

# Beanspruchung des Autofahrers durch Monotonie

Eine Untersuchung mit blick- und lidmotorischen Parametern



vorgelegt von Diplom-Ingenieur Christian Reitter

Von der Fakultät V – Verkehrs- und Maschinensysteme der Technischen Universität Berlin zur Erlangung des akademischen Grades Doktor der Ingenieurwissenschaften – Dr.-Ing. – genehmigte Dissertation.

Promotionsausschuß:

Vorsitzender: Prof. Arnold Upmeyer  
Berichter: Prof. Klaus-Peter Timpe  
Berichter: Prof. Wolfgang Friesdorf  
Berichter: Prof. Nils Galley (Universität zu Köln)

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 7. Juli 2000

Berlin 2001 D83



# Beanspruchung des Autofahrers durch Monotonie

Eine Untersuchung mit blick- und lidmotorischen Parametern

Diplom-Ingenieur Christian Reitter

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre an Eides statt, daß ich sowohl die Promotionsschrift eigenständig verfaßt habe als auch kein weiteres Promotionsverfahren an einer anderen Hochschule oder Fachbereich anhängig ist.

Technische Realisation:

Fotosatz Voigt  
Reuchlinstraße 10-11  
10553 Berlin (Moabit)  
Telefon 030/344 20 82  
Telefax 030/344 43 00

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung/Aufgabenstellung</b> . . . . .	5	C2 TLX-Fragebogen . . . . .	54
<b>Zusammenfassung</b> . . . . .	7	C3 Befragung mittels Proteus . . . . .	55
<b>Theoretische Grundlagen</b> . . . . .	9	<b>Vorversuch zur Rückwirkung zweier Methoden</b> . . . . .	57
A Modellbildung . . . . .	9	A Versuchsdesign . . . . .	58
A1 Vorhandene Modelle . . . . .	10	B Versuchsbedingungen . . . . .	58
A2 Kritik an den vorgestellten Modellen . . . . .	14	C Versuchsauswertung . . . . .	58
A3 Das Modell von Norman & Shallice (1986) . . . . .	16	D Ergebnis des Vorversuchs zur Rückwirkung zweier Methoden . . . . .	59
A4 Das Modell von Hockey (1993) . . . . .	18	<b>Vorversuch zur Belastungsart (Sounds)</b> . . . . .	60
A5 Das Modell von Reitter & Galley . . . . .	22	A Versuchsvorbereitung/Geräuschquellen . . . . .	60
B Begriffe und Operationalisierungen im Beanspruchungs- und Belastungskontext . . . . .	24	B Versuchsvorbereitung – Geräuschaufbereitung . . . . .	61
B1 Aktivierung . . . . .	25	C Versuchsdesign . . . . .	61
B2 Konzentration . . . . .	26	D Versuchsauswertung . . . . .	61
B3 Leistung . . . . .	26	E Ergebnis des Vorversuchs zur Belastungsart (Sounds) . . . . .	61
B4 Beanspruchung . . . . .	27	<b>Hauptversuch</b> . . . . .	63
B5 Ermüdung . . . . .	28	A Versuchsaufbau . . . . .	63
B6 Monotonie . . . . .	32	A1 Versuchsteilnehmer, Stichprobe . . . . .	63
C Blickbewegung . . . . .	35	A2 Streckenbeschreibung . . . . .	64
C1 Sakkaden/Orientierungsreaktion . . . . .	36	A3 Versuchsfahrzeug . . . . .	65
C2 Parameter der Sakkaden . . . . .	38	B Versuchsablauf, Durchführung . . . . .	69
C3 Augengleitbewegungen . . . . .	41	B1 Training der Probanden . . . . .	69
C4 Fixationen . . . . .	42	B2 Versuch . . . . .	69
C5 Lidschläge . . . . .	42	C Daten . . . . .	70
D Blickbewegungsaufgabe Springender Punkt . . . . .	42	C1 Fragebögen . . . . .	70
<b>Hypothesen</b> . . . . .	45	C2 Blickbewegungsdaten . . . . .	71
A Hypothese zur Leistung . . . . .	45	<b>Analysen der Hauptversuchsdaten</b> . . . . .	72
B Hypothese zur Ermüdung . . . . .	46	A Datenaufbereitung . . . . .	72
C Hypothese zur Versuchsvariation . . . . .	47	B Berechnungen . . . . .	73
<b>Methoden</b> . . . . .	49	B1 Erläuterungen zu den statistischen Verfahren . . . . .	75
A EOG als Registrierungsmethode für Blickbewegungen . . . . .	49	C Umgang mit geringen Stichprobengrößen . . . . .	80
A1 Grundsätzliche Schwierigkeiten beim Umgang mit dem EOG . . . . .	50		
B Springender Punkt als Blickbewegungsaufgabe . . . . .	52		
C Fragebögen/Befragung . . . . .	54		
C1 EZ34-Fragebogen . . . . .	54		

<b>Ergebnisdarstellung</b> . . . . .	82	<b>C</b> Ergebnisse der Fragebögen . . . . .	146
A Ergebnisse des Springenden Punktes	82	C1 TLX-Fragebogen . . . . .	146
A1 Übersicht über die Ergebnisse des Springenden Punktes . . . . .	82	C2 EZ34-Fragebogen . . . . .	147
A2 Reduktion der Anzahl der Parameter des Springenden Punktes . . . . .	83	C3 Befragung mittels Proteus . . . . .	147
A3 Gesamtbetrachtung zur Reduktion der Parameter des Springenden Punktes . . . . .	92	<b>D</b> Zusammenfassung der Ergebnisse .	149
A4 Anwendung der reduzierten Parameterliste des Springenden Punktes	96	D1 Versuchsabbrüche . . . . .	149
A5 Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse des Springenden Punktes . . . . .	114	D2 Springender Punkt . . . . .	150
<b>B</b> Ergebnisse der spontanen Blickverteilung . . . . .	120	D3 Spontane Blickverteilung . . . . .	151
B1 Übersicht über die Ergebnisse der spontanen Blickverteilung . . . . .	120	D4 TLX-Fragebogen . . . . .	152
B2 Reduktion der Anzahl der Parameter der spontanen Blickverteilung . . . . .	121	D5 EZ34-Fragebogen . . . . .	153
B3 Gesamtbetrachtung zur Reduktion der Parameter der spontanen Blickverteilung . . . . .	129	D6 Befragung mittels Proteus . . . . .	153
B4 Anwendung der reduzierten Parameterliste der spontanen Blickverteilungen . . . . .	131	<b>E</b> Gegenüberstellung von Ergebnissen und Hypothesen . . . . .	153
B5 Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der spontanen Blickverteilung . . . . .	143	E1 Leistung . . . . .	153
B6 Kurze Gegenüberstellung von bereits veröffentlichten Ergebnissen . . . . .	145	E2 Ermüdung . . . . .	153
		E3 Versuchsvariation . . . . .	154
		<b>F</b> Schlußfolgerungen . . . . .	156
		<b>Diskussion und Ausblick</b> . . . . .	158
		<b>Anhang</b> . . . . .	162
		A Abkürzungen . . . . .	163
		B EZ34-Fragebogen . . . . .	165
		C TLX-Fragebogen . . . . .	168
		D Proteus Befragung . . . . .	169
		E Tabellen . . . . .	170
		F Literatur . . . . .	177
		G Lebenslauf . . . . .	190

## Einleitung/Aufgabenstellung

Seit den Anfängen vor über hundert Jahren werden Autos optimiert. Es gibt in jeder Fahrzeuggeneration verschiedene Schwerpunkte der Optimierung: die Maximierung der Motorleistung wie in den Sechzigern, die Minimierung des Verbrauchs wie in den Siebzigern, die Schadstoffverminderung wie in den Achtzigern, in den Neunzigern die Befriedigung von Nischenmärkten. Ein weiteres immer wieder neu formuliertes Ziel, welches weniger technischer Natur ist, besteht in der arbeitswissenschaftlichen Optimierung des Arbeitsplatzes Auto. Hier gibt es bereits eine Vielzahl an Untersuchungen mit psychophysiologischen Indikatoren zur Beanspruchung und Monotonie des Arbeitsplatzes am Steuer (Übersicht bei Küting, 1976, Klebelsberg, 1982). Das Komforterleben ist jedoch so gut wie nicht untersucht. Das Fehlen von Belastung oder Monotonie, wie es in der Kontrollbedingung vorliegt, kann nicht unbedingt mit Komforterleben gleichgesetzt werden. Daran schließt sich diese Arbeit mit der Untersuchung von geringen Geräuschkulissen in der Fahrgastzelle unter ergonomischen Gesichtspunkten an.

Verkehrssituationen sind gekennzeichnet durch mehr oder weniger ausgeprägte Beanspruchung oder auch Monotonie. Verkehrssicherheit und Komforterleben hängen von diesen Faktoren ab. Hierfür wird das Blickverhalten in typisch monotonieinduzierenden Situationen erfaßt. Eine Fremd- und eine Selbsteinschätzung der Situation dienen der Evaluation der Indikatorfunktion der verwendeten okulomotorischen Parameter. Die Indikatoren (Laborversuche beispielsweise von Galley 1993, Galley et al., 1997 oder Boldt 1994 haben bereits verschiedene Indikatoren herauskristallisieren können) sollten auch eine unterschiedliche Empfänglichkeit der Autofahrer für Beanspruchung und Monotonie widerspiegeln, deren Existenz Akerstedt et al. (1991) nachweisen konnten.

Blickmotorische Indikatoren wie Fixationszeiten oder Übersehen von Verkehrszeichen, ebenso wie Lidschlagraten wurden bisher im Felde beim Kraftfahren vereinzelt eingesetzt, unter

Laborbedingungen (wie oben bereits zitiert) sind darüber hinaus jedoch noch eine Vielfalt anderer Indikatoren im Gebrauch: Sakkadengeschwindigkeiten, Sequenzanalysen des Blickverhaltens oder Lidschlagdauern. Waren bisher mehr durch vegetative Prozesse beeinflusste klassische psychophysiologische Parameter wie Herzrate oder Hautwiderstand (Übersicht zum Beispiel bei Schandry, 1981, oder jünger und auf das Führen von Kraftfahrzeugen bezogen bei De Waard, 1996) zur Beanspruchungsmessung herangezogen worden, so wird in letzter Zeit immer häufiger auf die Okulomotorik zurückgegriffen (Christophe & Philippe, 1996, Haider & Rohmert, 1976, Lobb & Stern, 1986, McGregor & Stern, 1986, Morris & Miller 1996, Stern et al., 1994, Summala et al., 1996, oder Torsvall & Akerstedt, 1988)), die sich durch ihre Nähe zu kognitiven Prozessen wie Wahrnehmung, Diskrimination relevanter versus irrelevanter Informationen und Beurteilung auszeichnet. So ist die Fixationsdauer nicht nur vom Kontrast sondern auch von der Informationsmenge und der Schwierigkeit ihrer Verarbeitung abhängig (Humphreys & Bruce, 1995). Auch der Moment des Lidschlags kennzeichnet das Ende eines Informationsverarbeitungszyklus' (Stern et al., 1984) und die Lidschlagrate ist insofern auch ein Kennzeichen für die im visuellen Kanal anfallende Informationsmenge. Auf der anderen Seite liegt mit der Sakkadengeschwindigkeit ein Indikator für Vigilanzminderung, aber auch Anstrengung vor, der, bisher sehr wenig genutzt, sowohl Beanspruchung als auch Monotonie indizieren kann. Zuständige amerikanische Behörden (Federal Highway Administration unter internationaler Beteiligung) haben sich auf einer Konferenz im April 1999 (Ocular-Based Measures of Driver Alertness Conference) auf die über sechs Minuten auf 20% der Pupillenfläche reduzierende, mit einem Infrarot-Eyetracker gemessene Lidspalte (Perelos, Dinges & Grace, 1998), als besten Einschlafwarner geeignet.

In vielen Untersuchungen wurde eine Zweitaufgabe eingeführt, um die dem Autofahrer verblei-

bende Kapazität an Informationsverarbeitung zu charakterisieren, die bei hoher Verkehrsdichte ebenso absinkt wie bei Ermüdung. Augenbewegungen auf vorgegebenen Reize eignen sich wie Reaktionszeitaufgaben oder ähnliche als Zweit- aufgabe (Miura, 1987, Cohen, 1984), um die verbleibende Leistungsfähigkeit zu messen. Hier soll eine gut untersuchte Blickbewegungsaufgabe (der Springende Punkt) eingesetzt werden, die mehrere Leistungsindikatoren (okulomotorische Reaktionszeiten, Antizipation) enthält.

Die der Arbeit zugrunde gelegte Frage ist, ob bei den gegenwärtig aktuellen Fahrzeugen unter Umständen eines der Optimierungsziele – die Verminderung der Geräusche in der Fahrgastzelle – nicht übererfüllt, die Fahrzeuge bereits zu leise sind. Hierbei wird sowohl dem Aspekt des Informationsverlustes über den Fahrzeugzustand Rechnung getragen als auch, und das ist der Schwerpunkt dieser Arbeit, den aktivierenden Komponenten der Geräusche (Fagerström & Lisper, 1977, wiesen auf den positiven Einfluß des Radiohörens beim Autofahren hin, Hockey, 1970, zeigte die aktivierende Wirkung von Geräuschen bei Vigilanztests, Landström, 1987, und Landström et al., 1988, zeigten dies in Labor- und Felduntersuchungen bei LKW-Fahrern, Nilsson et al., 1988, zeigten den Einfluß von Geräuschen und Temperaturen auf die Leistungsfähigkeit von Fahrern). Die Motivation zu dieser Arbeit entstammt mündlichen Mitteilungen verschiedener Fahrzeugentwickler, die von Langstreckenfahrten mit Fahrzeugen der Luxusklasse über ihnen unbekannte Monotonieerlebnisse berichteten und die Vermutung äußerten, daß eine mögliche Ursache in der vergleichsweise geringen Geräuschbelastung während der Testfahrten zu suchen sei. Die Aufgabenstellung läßt sich also folgendermaßen formulieren:

**Sind gegenwärtige Fahrzeuge in der Fahrgastzelle bereits so stark geräuschedämpft, daß das Fehlen von Geräuschen zu meßbaren Beanspruchungen bei Langzeitautobahnfahrten des Fahrers führt, das heißt zu vor-schneller Ermüdung?**

Eine entsprechende Literaturrecherche ergab, daß es derweil keine Arbeiten gibt, die sich dieses Themas der Unterforderung beim Fahren durch mangelnde akustische Stimulans annehmen. Die Fragestellung der Geräuschreduktion

(ohne daß die Umgebung, die Fahrzeugkabine objektiv leise wäre<sup>1</sup>) und die hiermit möglicherweise einhergehende Monotonie ist auch erst seit kurzem überhaupt relevant geworden, so daß auf diesem Gebiet Pionierarbeit zu leisten ist.

Grundsätzlich ist ein sehr sinnvoller Ansatz darin zu sehen, ein bereits sehr leises Fahrzeug noch etwas leiser zu gestalten, die Innenraumgeräusche also noch stärker zu dämmen, um so Änderungen des Monotonieerlebens beobachten zu können. Aus pragmatischen Überlegungen mußte jedoch darauf verzichtet werden, ein Fahrzeug wirklich leiser zu machen, der hierfür nötige technische Aufwand überschreitet bei weitem den Rahmen dieser Arbeit. Deshalb wurde eine andere nicht weniger zielführende Strategie entwickelt: Ein Versuchsfahrzeug wird dergestalt präpariert, daß es etwas lauter ist als im Serienzustand – die Modifikation muß jedoch so gering sein, daß sie bewußt nicht wahrgenommen werden kann, um somit kognitive klassifizierende Bewertungen des Bewußtseins/ Individuums auszuschließen. Hierdurch kann sichergestellt werden, daß mögliche Effekte nicht auf bewußte Entscheidungen zurückzuführen sind. Wenn als Ergebnis letztlich festgestellt werden kann, daß das modifizierte, lautere Fahrzeug weniger ermüdend also entmüdend wirkt als das leisere Fahrzeug im Grundzustand, dann ist das Fahrzeug im Grundzustand eindeutig so leise, daß es stärker ermüdend wirkt als lautere Fahrzeuge. Kann dieser Effekt jedoch nicht nachgewiesen werden, so darf davon ausgegangen werden, daß die Grenze zum zu leisen Fahrzeug noch nicht überschritten wurde.

<sup>1</sup> Es ist sicher noch reichlich Potential zur Reduzierung der Geräusche in der Fahrgastzelle vorhanden, fraglich ist, ob diese Reduzierung weiterhin eine Optimierung darstellt.

## Zusammenfassung

Um die der Arbeit zugrundeliegende Frage beantworten zu können, „Sind gegenwärtige Fahrzeuge in der Fahrgastzelle bereits so stark geräuschgedämpft, daß das Fehlen von Geräuschen zu meßbaren Beanspruchungen bei Langzeitautobahnfahrten des Fahrers führt, das heißt zu vorschneller Ermüdung?“, wurde ein theoretischer Rahmen geschaffen, mit dessen Hilfe eine nennenswerte Beanspruchung erfaßt werden kann. Der theoretische Rahmen basiert auf der Adaption zweier unterschiedlicher Modelle, die in ein neues überführt wurden. Von dem einen Modell (Norman & Shallice, 1986) wurde in erster Linie die Handlungsauswahl übernommen, vom zweiten Modell (Hockey, 1993) der Regulationsmechanismus.

Das neue Modell (Reitter & Galley) wurde zur Ableitung der Hypothesen über den Verlauf, die Stärke und möglicher Rangreihen physiologischer Parameter und Ergebnissen von Befragungen zur Interpretation von Beanspruchung und Monotonie des Autofahrers herangezogen.

In dieser Arbeit wurden folgende Methoden angewendet:

*Spontane Blickverteilung:* Die spontane Blickverteilung wird mit Hilfe eines EOG aufgezeichnet, hieraus werden diverse Parameter von Sakkaden und Lidschlägen ermittelt.

*Springender Punkt:* Der Springende Punkt ist eine Blickbewegungsaufgabe, bei der ein beschleunigter Rechteck-Reiz (zwei alternierend aufleuchtende LEDs) mit den Augen verfolgt wird. Die hierbei anfallenden Daten werden ebenfalls mit dem EOG aufgezeichnet, auch hier ergeben sich verschiedene Parameter.

Zur Überprüfung der Hypothesen wurde ein neues Versuchsfahrzeug aufgebaut, welches als Besonderheit die Möglichkeit besaß, unterschiedliche, fahrzeugeigene Geräuschquellen in modifizierter Form online in die Fahrerkabine einzuspielen, ohne daß dies von dem Fahrer bewußt wahrgenommen wurde.

In einem Vorversuch wurden verschiedene Geräuschquellen des Versuchsfahrzeugs auf ihre

Eignung als Belastungsvarianten untersucht. Ziel war es, zwei Geräusche im Fahrzeug zu identifizieren, von denen das eine als besonders angenehm, das andere als besonders unangenehm wahrgenommen wird. Hierbei zeigte sich, daß das Motorengeräusch, getrennt in zwei Frequenzbereiche (einen hohen und einen tiefen), diese Anforderung hervorragend erfüllt.

Es wurde folglich ein Versuchsdesign entwickelt, welches vorsah, den Teilnehmern modifizierte Motorengeräusche in die Fahrerkabine einzuspielen. Drei Varianten wurden entwickelt und getestet: (SD0) das Fahrzeuggeräusch ohne zusätzlich eingespielte Geräusche, sozusagen der Grundzustand, an dem die Änderungen gemessen werden können, (SD1) das Fahrzeug mit zusätzlich den hohen Komponenten des Motorengeräusches und (SD2) das Fahrzeug mit zusätzlich den tiefen Komponenten des Motorengeräusches.

Für den Hauptversuch wurden sechs Teilnehmer gebeten, jeweils dreimal von Berlin nach Rostock und zurück mit oben genanntem Fahrzeug zu fahren. Für jede der drei Fahrten wurde eine der drei Geräuschmodifikationen von den Teilnehmern unbemerkt in einer anderen Reihenfolge umgesetzt. Die Versuchsstrecke und die Randbedingungen des Versuchs wurden so gewählt, daß die Effekte der Beanspruchung durch Monotonie verstärkt wurden.

Anhand psychophysiologischer Parameter der Blickbewegungen (spontanes Blickverhalten), der im Labor erfolgreich angewandten Blickbewegungsaufgabe (Springender Punkt) und verschiedener Befragungen (TLX-Fragebogen, EZ34-Fragebogen, Befragung mittels Proteus) wurden Daten zur Beantwortung der Fragestellung erhoben. Die hinreichende Rückwirkungsfreiheit der Methoden Springender Punkt und der Befragung mittels Proteus wurden in einem gesonderten Vorversuch nachgewiesen.

Die Datenanalyse wurde in verschiedenen Schritten für jede Datenquelle getrennt durchgeführt. Die hierbei angewandten statistischen

Verfahren umfassen Signifikanzanalysen, Korrelationsanalysen, Diskriminanzanalysen, Faktorenanalysen und andere. Am Ende der Arbeit konnten alle Ergebnisse erfolgreich zu einer Gesamtschau zusammengefaßt und den Hypothesen gegenübergestellt werden.

Als die Fragestellung beantwortendes Ergebnis zeigte sich, daß im niedrigen Frequenzbereich bereits nicht mehr zwischen einer Zu- oder Abnahme der Beanspruchung sinnvoll differenziert werden kann, im hohen Frequenzbereich jedoch durchaus noch Potential für Optimierungen vorhanden zu sein scheint, und daß die Fahrten ohne eingespielte Geräusche entgegen der in der Einleitung formulierten ersten Arbeitshypothese nicht beanspruchender oder monotonisierender wirken als die Fahrten mit eingespielten Geräuschen. Dieses Ergebnis konnte im weiteren für einige sehr interessante Schlußfolgerungen bezüglich des Wesens der Monotonie herangezogen werden (siehe unten).

Des weiteren konnten besonders geeignete Parameter des Springenden Punktes und der spontanen Blickverteilung separiert werden, um Beanspruchung bei Langstreckenfahrten aufzuzeigen: Aus dem Springenden Punkt konnten die Parameter Anti % (Anteil der Antizipationssakkaden als Antwort auf den Reizwechsel des Springenden Punktes), Amp\_Exp (Amplitude der Expreßsakkaden bei der Antwort auf den Reizwechsel des Springenden Punktes) sowie V\_Anti und V\_Reak (Geschwindigkeiten der Antizipationssakkaden und Reaktionssakkaden als Antwort auf den Reizwechsel des Springenden Punktes) als besonders geeignet ermittelt werden, Ermüdung und Monotonie des Autofahrers zu beschreiben. Anhand der spontanen Blickverteilung konnten die Parameter Amp\_Sakk (Sakkadenamplitude), V\_Lid (Lidschlußgeschwindigkeit) sowie Dau\_Lid\_190 (Anzahl der Lidschläge, die länger als 190msec andauern) als besonders geeignet ermittelt werden.

Insgesamt konnten aus dieser Arbeit einige Quintessenzen<sup>1</sup> abgeleitet werden:

- Die Soundbedingungen SD0-ohne<sup>2</sup> und SD2-tief sind ununterscheidbar und weniger beanspruchend als SD1-hoch.
- Es gibt vier sehr gute Parameter, die sich aus dem Springenden Punkt, und drei weitere, die

sich aus den spontanen Blickverteilungen ableiten lassen.

- Aversiv getönte Aktivierung führt zu Ermüdung.
- Monotonie tritt auf, wenn drei Randbedingungen erfüllt werden: (1) einförmige Umweltbedingungen, (2) eingeschränkte Handlungsoptionen und (3) aversiv wahrgenommene Situationen.

<sup>1</sup> Der Begriff Quintessenz wurde von Alchimisten benutzt, deren auf griechischen Wurzeln beruhende Modellvorstellung von vier Essenzen (Feuer, Wasser, Erde und Luft) ausging und einer zusätzlichen fünften (der Quintessenz), welche über den vier anderen steht, in ihrer „Rohform“ jedoch nicht vorkommt. Sie wird aber benötigt, um einen Stoff, bestehend aus den vier Essenzen, in einen anderen zu überführen. Je ähnlicher die zwei Stoffe einander sind, desto leichter müßte das Überführen nach der damaligen Modellvorstellung von dem einen Stoff in den anderen möglich sein, folglich auch das Umwandeln von Blei in Gold. In diesem Sinne, daß eine Quintessenz entgegen der üblicherweise benutzten Sprachkonvention nicht nur eine simple Schlußfolgerung darstellt, sondern das über den anderen, in diesem Falle anderen Ergebnissen, Stehende ist, wird dieser Begriff benutzt.

<sup>2</sup> Ein kurze Erklärung zu den hier benutzten Abkürzungen: SD0-ohne – Fahrten ohne zusätzliche Geräuschbeaufschlagung; SD1-hoch – Fahrten mit den hohen Frequenzen des Motorengeräusches beaufschlagt; SD2-tief – Fahrten mit den tiefen Frequenzen des Motorengeräusches beaufschlagt.

## Theoretische Grundlagen

Im Abschnitt A dieses Kapitels werden grundsätzliche Modelle zur menschlichen Dauerleistung dargelegt, die zu einem neuen Modell führen. Im Rahmen dieses Modells greifen viele der Definitionen oder Operationalisierungen der arbeitswissenschaftlichen Beanspruchungs- und Belastungsforschung nicht mehr, so daß im Abschnitt B die entsprechenden Begrifflichkeiten kritisch referiert werden. Im Abschnitt C werden die Grundlagen für das Verständnis der zur Anwendung kommenden Methoden bezüglich der Blickbewegungen gelegt, die dann im Abschnitt D in den theoretischen Grundlagen der angewendeten Methoden münden.

Die weit verbreitete Tätigkeit des Autofahrens auf Autobahnen ist eine nicht sehr komplexe Leistung, die auf viele Stunden ausgedehnt doch zunehmend auch ausgeschlafene Fahrer früher oder später mit „vorschneller“ Ermüdung konfrontiert, die zu Fahrfehlern, zu Unfällen führt. „Vorschnell“, weil nach dem circadianen Rhythmus eigentlich noch gar kein Schlaf angezeigt wäre. Für diese vorschnelle Ermüdung wird gerne Monotonie verantwortlich gemacht, ohne daß es heute dem einzelnen Fahrer oder der Wissenschaft möglich wäre, den Zeitpunkt einer ernsthaften Ermüdung durch Einschlafen am Steuer genügend genau vorherzusagen. Einschlafwarner sollen im Auto der Zukunft aus dem Fahrerverhalten und vornehmlich okulomotorischen Zeichen beim Fahrer eine ernsthafte Ermüdung warnend anzeigen. Diese Arbeit ist auch als ein Beitrag zur Ermüdungsforschung anzusehen, die in einer gleichförmigen Fahrtsituation eine experimentelle Belastungsvariation einführt, deren Einfluß auf die Ermüdung beim Fahrer gemessen werden soll. Eine gängige wissenschaftliche Erklärung für dieses Verhalten war lange Zeit die Formulierung, daß eine gleichförmige Reizsituation zum Nachlassen der Aktivierung des Menschen führt, was wiederum zum Nachlassen der Leistung führt. Auch heute bestehen noch Forscher auf der nachlassenden Leistungsfähigkeit als einen objektiven Nachweis der Ermüdung, da den subjektiven Aussagen nur mit Einschränkungen zu

glauben sei, obwohl die Datenlage eher für ein Beibehalten der Leistung bei nachlassender Aktivierung spricht. Zuerst ist also der gegenwärtige Stand der Modellbildung über die Aufrechterhaltung menschlicher Leistung im Zustand des Wachseins aufzuzeigen, wobei es eine Reihe von Ansätzen zum Thema Leistung und Aktivierung zu referieren gibt.

### A Modellbildung

Mit einem geeigneten Modell lassen sich Vorhersagen hinsichtlich einer entsprechenden Fragestellung ableiten. Die Güte solcher Vorhersagen reicht von trivial bis anspruchsvoll, eine sinnvolle Auswahl ist zu treffen. Im Rahmen arbeitswissenschaftlicher Untersuchungen kommen viele verschiedene Modelle zur regelmäßigen Anwendung<sup>1</sup>, die alle ihre Stärken und ihre Schwächen haben. Üblich ist es, mögliche Modelle kritisch zu würdigen und auf ihre sinnvolle Anwendbarkeit hin zu prüfen. Das Ziel ist, das Modell auszuwählen, das die besten Prognosen erlaubt. Gesucht wird ein Modell oder Konstrukt, welches unter anderem die zur Beschreibung des Fahrerzustandes und Fahrerbefindens notwendigen Begriffe wie Aktivierung, Konzentration, Leistung, Monotonie, Ermüdung und Beanspruchung in sich vereint. In den Arbeiten von Schönplflug (1987) oder Hacker & Richter (1984) werden oben genannte Begriffe bereits operationalisiert, jedoch bieten diese Autoren zum einen keine Modelle an, wie sie für diese Arbeit notwendig wären, zum anderen basieren deren Arbeiten auf Grundlagen, die, wie im Folgenden noch ausgeführt wird, nicht mehr als uneingeschränkt gültig akzeptiert werden können, so daß deren Arbeiten und Operationalisierungen später erst einfließen werden.

Im Folgenden werden im Abschnitt A also verschiedene Modellansätze diskutiert und mit aus

<sup>1</sup> Was seine Ursache unter anderem im stark eklektischen Zusammentragen von Wissen aus diversen anderen Bereichen hat, wie es auch schon Luczak (1993) bereits in dem Vorwort seines Buches festgestellt hat.

der Literatur bekannter Kritik verglichen, um die Modelle herauszufiltern, die einer sich direkt anschließenden eingehenderen Betrachtung wert sind. Aus dem sich ergebenden Modell werden in Abschnitt B Operationalisierungen für verschiedene oben bereits aufgeführte Begriffe abgeleitet, die sich an Operationalisierungen der bekannten Literatur anlehnten. Dieser Weg ist etwas aufwendiger als übliche Wege, bei denen zuerst Definitionen der Begrifflichkeiten aus der Literatur übernommen werden und damit implizit auch ein entsprechendes Modell. Die Motivation für diese Vorgehensweise rührt zum einen aus der umfassenden Kritik an verschiedenen Modellen, die dergestalt für die Definitionen verschiedener Begrifflichkeiten nicht verfügbar ist, zum anderen aus dem Stellenwert, der dem Modell respektive den Begriffsoperationalisierungen beigemessen wird (später wird in erster Linie mit dem Modell gearbeitet werden, die Operationalisierungen sind hierbei lediglich Mittel zum Zweck).

## A1 Vorhandene Modelle

Für diese Arbeit kommen nur Modelle in Frage, die sich mit der Informationsverarbeitung<sup>2</sup> des Menschen befassen; der Kernfrage, auf die die gesamte Fragestellung reduziert werden könnte. Diese Modelle lassen sich in zwei Gruppen einteilen: Die einen befassen sich in erster Linie mit den Stufen, die anderen mit den Ressourcen der Informationsverarbeitung.

Stufenmodelle berücksichtigen im Besonderen, daß Informationsverarbeitung einem zeitlichen Faktor unterliegt, wobei noch immer nicht endgültig geklärt ist, an welcher Stelle welche Zeiten anzunehmen sind<sup>3</sup>. Die Autoren dieser Modelle gehen davon aus, daß Information verschiedene Stufen sequentiell passiert. Ein bekanntes Stufenmodell ist das auf Donders (1868, 1969 zitiert nach Gopher & Sanders, 1984) basierende von Sternberg (1975, siehe Abbildung 1). Es besagt, daß sich Reaktionszeiten summarisch aus den Bearbeitungszeiten einzelner, voneinander unabhängiger Informationsverarbeitungsstufen zusammensetzen. Eine Weiterentwicklung dieser Idee liegt in dem Kaskadenmodell von McClelland (1979, siehe Abbildung 2) vor. Es erlaubt parallel laufende Prozesse, deren Behandlung im Sternberg'schen Modell noch Fragen offen ließ.

So anschaulich diese Modelle sind, können sie jedoch allenfalls Reaktionszeitverlängerungen oder -verkürzungen vorhersagen. Sie können beobachtbare Parameter von Blickbewegungen oder Lidschlägen nicht sinnvoll prognostizieren. Die tatsächlich zu beobachtenden Veränderungen in den okulomotorischen Parametern erfordern also Modifikationen der Modelle (Galley et al., 1988, Boldt, 1994, Churan, 1997).

Einen anderen Ansatz verfolgen Norman und Shallice (1980). Sie erarbeiten ein „Entscheidungsmodell“, in dem sie sehr anschaulich analysieren, wie und in welchen Situationen es zu ungewollten und unbewußten Fehlhandlungen kommen kann. Auf dieses Modell wird im folgenden noch sehr ausführlich eingegangen.

Ressourcenmodelle scheinen gegenüber Stufenmodellen im Sinne dieser Arbeit Vorteile zu bieten<sup>4</sup>. Ein sehr häufig angewendetes Ressourcenmodell ist das von Kahneman (1973, siehe Abbildung 3 und 4). Es geht von einem nicht differenzierbaren Ressourcenpool aus, der jeder Aufgabe zu gleichen Teilen zur Verfügung steht. Eine der schwerwiegendsten Einschränkungen dieses Modells ist die fehlerhafte Vorhersage bei Dual-Task Aufgaben. Dies ist eine Voraussetzung dieser Arbeit, denn Autofahren beinhaltet immer mehrere Tasks, die parallel ausgeführt werden müssen. Abbildung 4 impliziert eine aus dem Modell vorhergesagte undifferenzierte Begrenzung der verfügbaren Ressourcen, die bei steigender Aufgabenanforderung schließlich die Leistung begrenzt.

Dieses Modell (Kahneman, 1973) wird von Wickens (1984a, siehe Abbildung 5) weiterentwickelt. Es stellt sich ihm jedoch das Problem, daß er die differenzierenden Ressourcen (Wickens, 1984b, siehe Abbildung 6) nicht

<sup>2</sup> Der Begriff „Information“ wird in der Informationstheorie völlig anders als im Alltagsgebrauch verwendet. Nach einem Gespräch zwischen Heinz von Foerster und Fritjof Capra (1994, zitiert nach Capra, 1996) ist es sinnvoller von Signalen und Signaltheorie zu sprechen anstatt von Informationen und Informationstheorie, entsprechend wird eigentlich mit einem bestimmten Signal eine bestimmte Information kodiert.

<sup>3</sup> Frühe versus späte Selektion, eine Diskussion dieser Problemstellung folgt gegen Ende dieses Kapitels.

<sup>4</sup> Mit der einfachsten Annahme von Ressourcen sind schon erste sinnvolle Vorhersagen bezüglich der Blickbewegungen oder Lidschläge möglich.

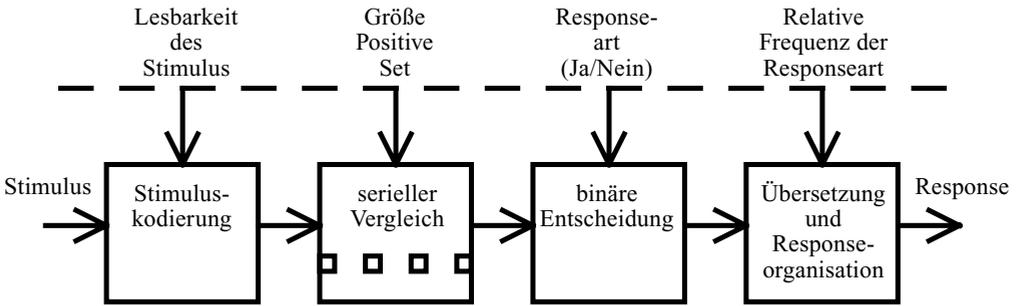


Abbildung 1: Stufenmodell nach Sternberg, 1975

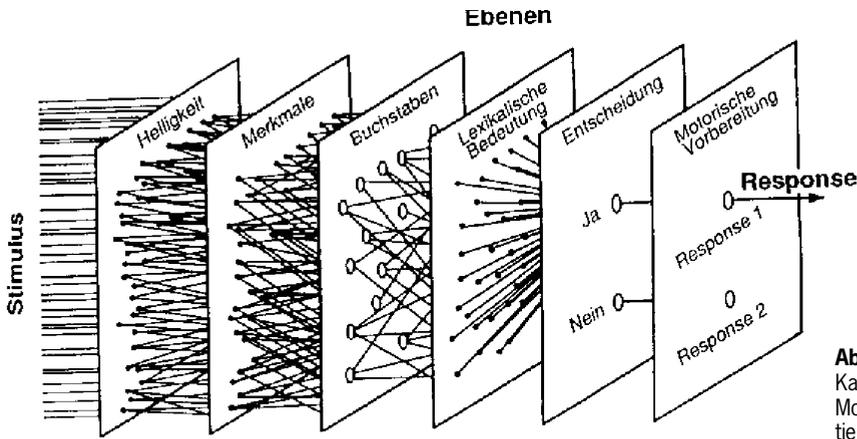


Abbildung 2: Kaskadenmodell nach McClelland, 1979, zitiert nach Luczak, 1993

gleichzeitig in ein Informationsverarbeitungsmodell (Abbildung 5) einbinden kann.

Er geht bei seinem Ressourcenmodell (Wickens, 1984b, siehe Abbildung 6) von mehreren Kapazitäten mit ressourcenartigen Eigenschaften aus. Er differenziert drei Dimensionen:

1. Stufen der Verarbeitung (Kodierung, Zentrale Verarbeitung, Beantwortung)
2. Stufen des Sensoriums (visuell, auditiv)
3. Stufen des Verarbeitungs-codes (räumlich, verbal).

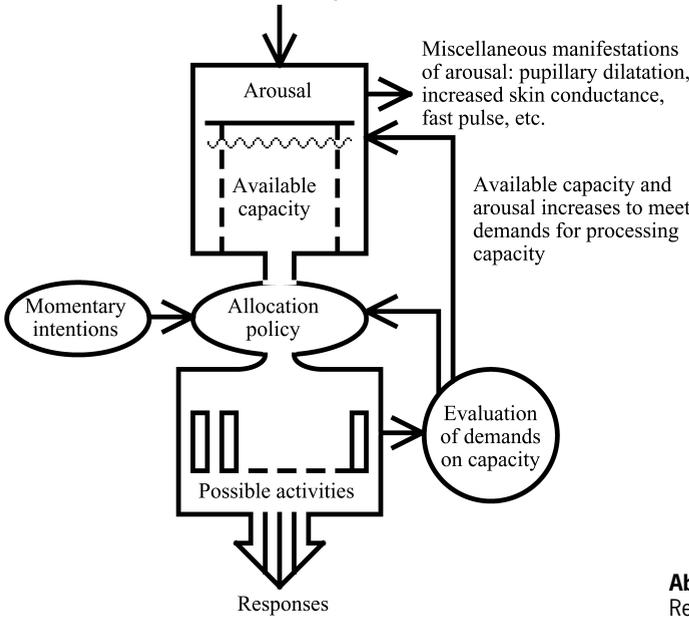
Dieses Modell sagt voraus, daß Aufgaben, die verschiedene Ressourcen zur Informationsverarbeitung nutzen, simultan ausgeführt werden können, andere Aufgaben, die jedoch dieselben Ressourcen nutzen, schwer interagieren. Somit stimmen die Vorhersagen dieses Modells mit

den Ergebnissen von Dual-Task Aufgaben eher überein als die Voraussagen, die sich aus dem Modell von Kahneman (1973) ableiten lassen. Es zeigt sich jedoch, daß es nur sehr spezielle Dual-Task Aufgaben sind, die den Voraussagen entsprechen. (Luczak, 1993, behauptet sogar, daß sehr gutes Time-Sharing dem Menschen so gut wie unmöglich sei<sup>5</sup>).

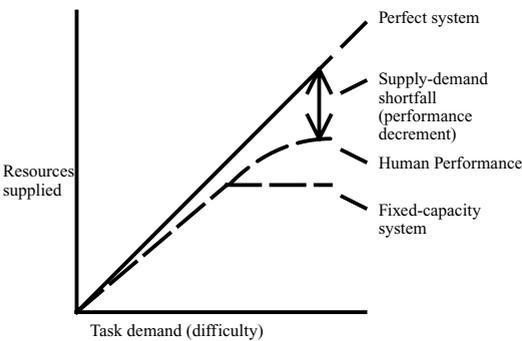
In seinem Informationsverarbeitungsmodell (Wickens, 1984a) geht er trotz des mehrdimensionalen Ressourcenmodells wieder von einem

<sup>5</sup> Selbst Spazierengehen und Denken lassen sich miteinander nicht 100% kompatibel kombinieren, häufig bleiben manche an sehr komplizierten oder komplexen Stellen des Gedankenganges lieber stehen, wobei sich an dieser Stelle natürlich einwenden ließe, daß das Stehen als solches auch als Tätigkeit zu werten sei, zugegebenermaßen aber als eine einfachere denn Gehen.

Miscellaneous sources of arousal: anxiety, fear, anger, sexual excitement, muscular strain, effects of drugs, intense stimulation, etc.



**Abbildung 3:** Ressourcenmodell nach Kahneman, 1973



**Abbildung 4:** Hypothetischer Zusammenhang zwischen benötigten Ressourcen und steigender Aufgabenschwierigkeit nach Kahneman, 1973

einzigen Ressourcenpool aus, ähnlich wie auch Kahneman (1973) es tut. Das Ziel dieses Modells ist es, eine einfache Beziehung aufzuzeigen zwischen den Stufenmodellen, die Zeitzusammenhänge berücksichtigen, und dem Gedanken eines Ressourcenmodells. In der zweiten, überarbeiteten Auflage seines Werks „Engineering Psychology and Human Performance“ (Wickens, 1992) ist es ihm auch 18 Jahre später

offensichtlich nicht gelungen, diese beiden von ihm selbst entwickelten Modellvorstellungen miteinander zu verbinden.

Eine weitere Möglichkeit wird von Sanders (1983, siehe Abbildung 7) entwickelt. Auch er bemüht sich um eine Verknüpfung von Stufen- und Ressourcenmodell mit dem Ziel, ein kognitiv energetisches Modell zu erstellen. Darauf baut später Mulders (1986, ohne Abbildung) Arbeit auf. Hier finden sich dann Begriffe wie Arousal, Effort und Activation, im Falle von Mulder sogar noch dem Begriff Core Activation. Diese Begriffe ermöglichen, zusätzlich zu der eigentlichen Informationsverarbeitung, den Zustand eines Menschen mit Hilfe dieser Parameter differenziert zu beschreiben.

Was diesen Modellen allerdings fehlt, ist eine Möglichkeit des Regels<sup>6</sup>. Dieser wesentlichen

<sup>6</sup> In diesen bisher vorgestellten Modellen scheint es, als liefe alles „automatisch“ ab, als gäbe es keinen Willen, keine Entscheidungsfreiheit oder kein Bewußtsein. Dies schneidet zwar eine stark ethisch-philosophische Fragestellung an, die an dieser Stelle nicht beantwortet werden soll, ein Verzicht auf den Willen und den sich daraus ableitenden Implikationen scheint dennoch nicht angemessen.

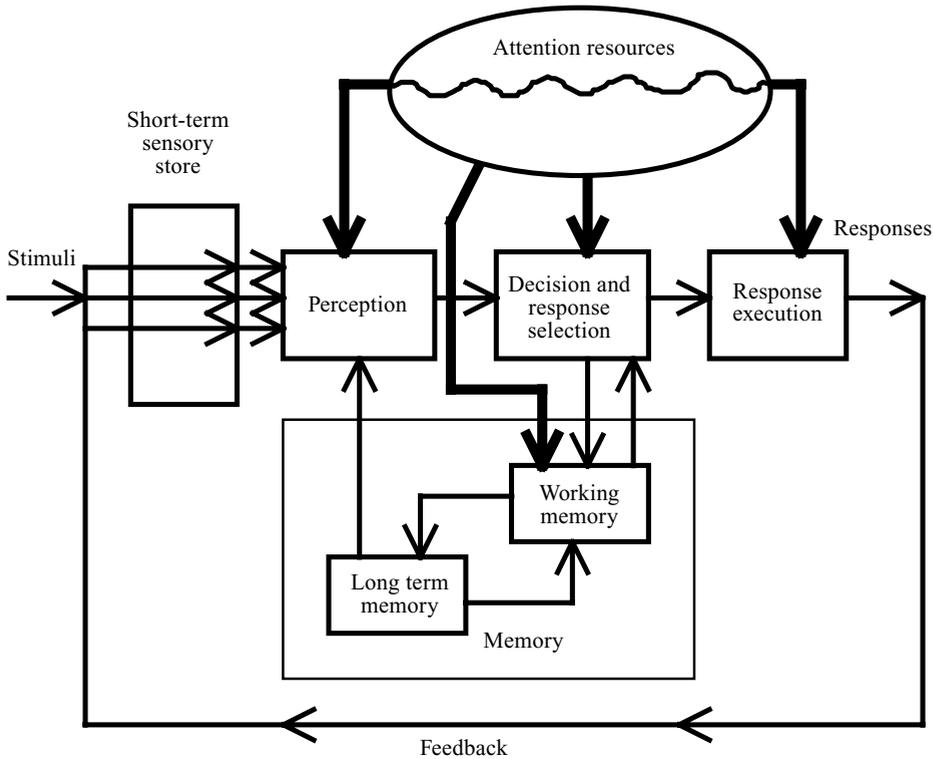


Abbildung 5: Informationsverarbeitungsmodell nach Wickens, 1984a

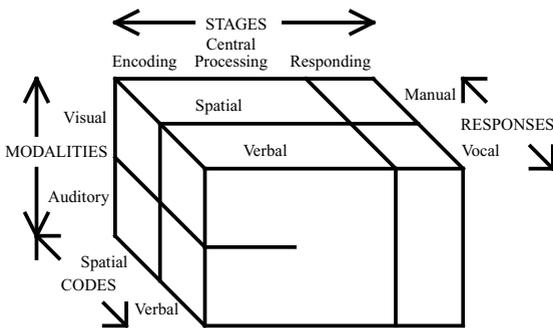


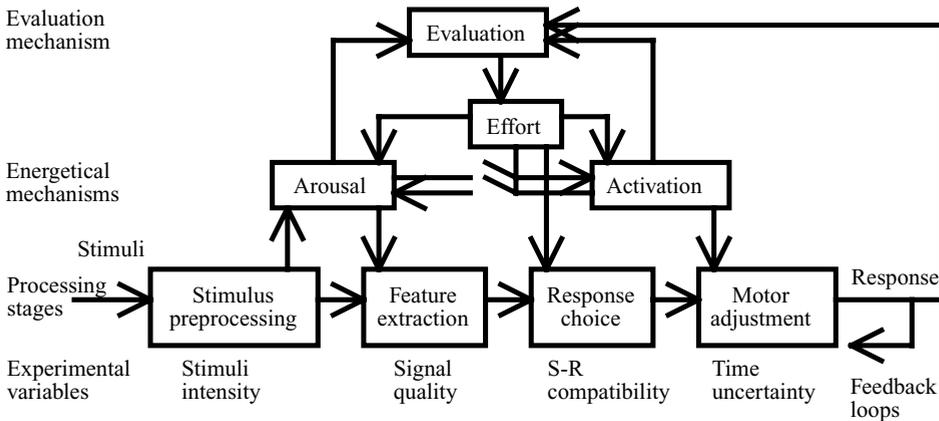
Abbildung 6: Dreidimensionale Verarbeitungsressourcen nach Wickens, 1984b

beschränkt sich dieses auf recht einfache Rückkopplungen. Erst wenn ein Modell solche Schleifen (eine oder mehrere) aufweist, kann es kybernetischen Ansprüchen gerecht werden.

Einen wesentlichen Schritt in die Richtung eines kybernetischen Systems hat Hockey (1993) geleistet, der sich seit 1973 mit Streß und dessen Verarbeitung beschäftigt. Dies ist das erste Modell, welches mit zwei Schleifen arbeitet und somit den speziellen Anforderungen eines kybernetischen Informationsverarbeitungsmodells gerecht wird. Es stellt den Ansatz dar, der am ehesten geeignet ist, in dieser Arbeit verwendet

Eigenschaft des Menschen wird sowohl bei Sanders als auch bei Mulder nur mittels einer recht kleinen „Feedback“-Schleife Rechnung getragen. Die Brisanz dieser Schleife<sup>7</sup> scheint unterschätzt. Es gibt also wohl ein Feedback, nur

<sup>7</sup> Diese angesprochenen „Feedback“-Schleifen beschränken sich auf den trivialen Fall des Feedbacks ausgeführter Reaktionen zum Ausführenden. Dieses Feedback ist ohne Zweifel vorhanden und muß berücksichtigt werden. Er kann allerdings auch als neue Systemeingabe interpretiert werden, ein echtes Feedback innerhalb des Systems (und über den Systemzustand) findet nicht statt.



**Abbildung 7:** Kognitiv-energetisches Stufenmodell nach Sanders, 1983

zu werden. Er wird im folgenden ausführlich erläutert.

## A2 Kritik an den vorgestellten Modellen

Die Kritik an den oben genannten Modellen hat in letzter Zeit eine neue Dimension angenommen. Ihre Ansätze lassen sich nicht mehr als Verbesserung vorhandener Modelle oder „Neu-“ Interpretationen verstehen. Prominente Vertreter einer solchen grundlegenden Kritik sind zum Beispiel Gopher & Sanders (1984) in einer recht moderaten Form. Andere, zum Beispiel Neuman (1992) oder Allport (1993), werden noch negativer in ihrer Bewertung. Der Umgang mit ihrer eher destruktiven Kritik bereitet dem arbeitswissenschaftlichen Anwender der Modelle erhebliche Sorgen: Einerseits kann er nicht mehr über diese Kritik, die im folgenden dargestellt wird, hinweggehen, andererseits wird er von den Autoren allein gelassen, denn die Diskussion hat noch zu keinen neuen und besseren Modellen geführt.

**Gopher & Sanders (1984)** Kritik an den vorherrschenden Modellen gipfelt in vier Fragen, die laut den Autoren mit einer Verbesserung der vorhandenen Modelle beantwortet werden müssen:

- Stehen sich Stufen- und Ressourcenmodelle wirklich gegenüber, oder sind sie nur verschiedene Herangehensweisen an das eigentliche Problem?

- Gibt es wirklich ein universell psychologisches Verarbeitungsmodell oder verschiedene Modelle mit begrenzter Validität?
- Wurden bei der Anwendung des Modells grundlegende Annahmen über die Art und Natur energetischer Ressourcen verletzt?
- Wenn das Modell gute Vorhersagen für eine Fragestellung liefert, wie gut sind sie in bezug auf andere Fragestellungen zu verallgemeinern?

**Neumans Kritik (1992)** bezieht sich auf die gängigen Aufmerksamkeitsmodelle, denen unter anderem gemeinsam ist, daß sie implizit zwei Annahmen voraussetzen, die sich bereits in den Arbeiten von Broadbent (1958, und später 1971, 1982) auffinden lassen: Aufmerksamkeit sei eine relativ einheitliche Komponente des Gesamtsystems, den anderen Komponenten des Gesamtsystems gewissermaßen gegenüberstehend. Es wird bei der Aufmerksamkeit davon ausgegangen, daß sie eine begrenzte Kapazität aufweist, willkürlich steuerbar ist und eine Repräsentation im Bewußtsein hat. Wo aber die Grenze der Kapazität verläuft, so argumentiert Neumann, wurde in den letzten dreißig Jahren unter dem Stichwort „frühe oder späte Selektion“ diskutiert und bisher nicht zufriedenstellend gelöst. Die Kapazität, vielmehr der Mangel daran, jedoch muß verwaltet werden. Dies geschieht, indem die Kapazität den konkurrierenden Prozessen zugeteilt wird. Populär geworden

ist diese Diskussion unter dem Stichwort „Selektivität der Aufmerksamkeit“. Die Repräsentation im Bewußtsein ist eng mit der Selektion verknüpft, wobei auch hier nicht klar ist, inwiefern entweder die Selektion oder das Ergebnis der Selektion ins Bewußtsein gelangen.

Neumann faßt anschließend die Ergebnisse der letzten dreißig Jahre wie folgt zusammen: „Diese Forschung ist in gewisser Hinsicht höchst erfolgreich gewesen. In anderer Hinsicht war sie, wie sich jetzt abzeichnet, ein Mißerfolg. Sie war ein Mißerfolg insofern, als inzwischen vermutet werden muß, daß nahezu keine ihrer Rahmenbedingungen stimmt. Ihr Erfolg liegt in der Fülle des empirischen Materials, das sie gleichwohl hervorgebracht hat.“

Nach eingehender Analyse der Schwierigkeiten, die sich aus den zugrundeliegenden Annahmen ableiten lassen, und einem geschichtlichen Abriss der Aufmerksamkeitsforschung bietet Neumann einen Ausblick oder besser einen Anforderungskatalog an zukünftige Modelle. Er legt dabei gesteigerten Wert darauf, daß die Funktion der Aufmerksamkeit stärker in den Vordergrund tritt und stellt ein Fünf-Komponenten-Konzept der Aufmerksamkeit vor (wörtlich zitiert):

- Verhaltenshemmung (behavioural inhibition), die verhindert, daß versucht wird, unvereinbare Handlungen zugleich auszuführen
- die Regulation des psychophysiologischen Erregungsniveaus
- Informationsselektion zur Handlungssteuerung (selection-for-action) als die Funktion der sensorischen Aufmerksamkeit
- die Spezifikation von Handlungen durch Handlungsplanung
- funktionell erforderliche Hemmungsvorgänge beim Einsatz von Fertigkeiten (skills)

In diesem Zusammenhang macht Neumann deutlich, daß eine stärkere Berücksichtigung neuronaler Befunde in der Modellentwicklung notwendig ist. Er verweist unter anderem auf die Arbeiten von Sanders (1983) oder Norman & Shallice (1986, welche sich im zugrundeliegenden Modell nicht wesentlich von der Arbeit von 1980 unterscheidet), bei denen neuronale Befunde bereits mit eingeflossen sind.

**Allport** (1993), als letzter der zitierten Kritiker, leitet mit seiner Frage „Hatten wir die falschen

Fragen gestellt?“ ähnlich wie Neumann (1992) eine Betrachtung der Forschungsentwicklung zur Aufmerksamkeit und ihrer Regelung während der letzten Jahrzehnte ein. Allport findet dabei einen nur etwas anderen Ansatz für seine Kritik und gipfelt in der Formulierung: „The penalty for such wishful thinking (einen einzigen Ort der Aufmerksamkeit, ein einziges Aufmerksamkeitssystem, eine einzige Aufmerksamkeitsressource – Anmerkung vom Autor) is to be condemned forever to appeal, in one’s theory, to ill-defined (or even completely undefined) causal mechanisms and constraints ... whose explanatory horsepower is nil.“ (Sinngemäß: Die Strafe solchen Wunschdenkens ist, für immer dazu verdammt zu sein, in seiner Theorie von falsch definierten (oder gar völlig undefinierten) kausalen Mechanismen und Randbedingungen ausgehen zu müssen, deren erklärerische Leistung null und nichtig ist.) Allport listet gegenwärtige, grundlegende Annahmen in seinem Artikel auf, von denen er behauptet, daß sie entweder fragwürdig oder gar schlicht falsch sind, und fordert darüber hinaus, sich mehr Gedanken über die neuronalen Grundlagen bei der Modellbildung zu machen.

Die oben genannte Kritik an den gängigen Modellen ist fundiert und die Forderungen an neue Modelle umfassend. Die beispielsweise von Milner & Goodale (1995) auf der Basis von Distler et al. (1993) für die visuelle Informationsverarbeitung bei Primaten oder von Fischer & Weber (1993) für Expreßsakkaden entwickelten neuronalen Modelle sind für diese Arbeit nicht geeignet, obwohl gerade sie die neuronalen Strukturen zu berücksichtigen suchen. Ersteres ist so kompliziert, daß selbst die Autoren kaum Implikationen aus diesem Modell ableiten, es vielmehr nur zur Beschreibung der neuronalen Vorgänge benutzen. Das zweite Modell ist wiederum so speziell auf eine einzige Fragestellung zugeschnitten, daß sich keine Verallgemeinerungen anbieten. Andererseits ist es einem Anwender solcher Modelle nicht möglich, ein eigenes, neues Modell zu entwickeln, so daß für diese Arbeit auf die interessantesten Modelle (Norman & Shallice, 1980, Abbildung 9 und Hockey, 1993, Abbildung 10) zurückgegriffen wird. Diese werden im folgenden zu einem einzigen, geschlossenen Modell zusammenggeführt. Einleitend werden beide Modelle mit ihren Grundlagen und ihrer Entwicklung dargestellt.

### A3 Das Modell von Norman & Shallice (1986)

Das Modell beider Autoren erklärt die Rolle der Aufmerksamkeit in der Handlungsauswahl sowohl bei automatischer Verrichtung als auch bei absichtlicher, aufmerksamer Kontrolle. Es wird ein theoretischer Rahmen vorgeschlagen, um die Handlung zu steuern. Hierzu werden eine Anzahl aktiver Schemata, im Falle automatisierter Handlungen mittels sensorischer Cues, die als Trigger wirken, angeschlossen. Als „automatisch“ definieren die Autoren:

- Wenn Aufgaben ohne Bewußtsein ihrer Leistung ausgeführt werden (wie das Laufen auf einem Stück ebenen, sicheren Untergrundes).
- Es beschreibt die Art, in der eine Handlung eingeleitet werden kann ohne absichtlicher Aufmerksamkeit oder Bewußtsein (wie das Ansetzen eines Glases während einer Unterhaltung).
- Es kann in Fällen wie Orientierungsreaktionen benutzt werden, bei denen die Aufmerksamkeit automatisch auf etwas gelenkt wird, ohne absichtlicher Kontrolle über die Richtung der Aufmerksamkeit.
- Es kann operationalisiert werden, um auf Situationen zu verweisen, in denen eine Aufgabe, ohne andere zu stören, ausgeführt wird. Hierbei verweisen die Autoren auf Shrifin & Schneider (1977), Kahneman & Treisman (1984) sowie Posner (1978).

Es ist demnach möglich, sich der Ausführung einer Handlung bewußt zu sein, ohne ihr aktive, unmittelbare Aufmerksamkeit zu zollen. Die allgemeinste Situation dieser Art ist das Einleiten von Routinehandlungen. In solch gut gelernten Aufgaben erfährt der Handelnde das Handeln als „das Bewußtsein der Entscheidung zu handeln“, selbst wenn nicht unmittelbar irgendeine Erfahrung der Handlungsintention vorausgegangen ist. Das Bewußtsein der Entscheidung kann aber auf jeden Fall auch fehlen.

Im Gegensatz zu Handlungen, denen keine aktive, unmittelbare Aufmerksamkeit gezollt wird, stehen solche, die unter absichtlicher, aufmerksamer Kontrolle ausgeführt werden. An dieser Stelle zitieren die Autoren James (1890), der zwischen „Ideo-Motor“ und „willentlichen“ Handlungen unterscheidet. Eine Anzahl verschiedener Arten von Handlungen scheint bewußte Aufmerksamkeitsressourcen zu benöti-

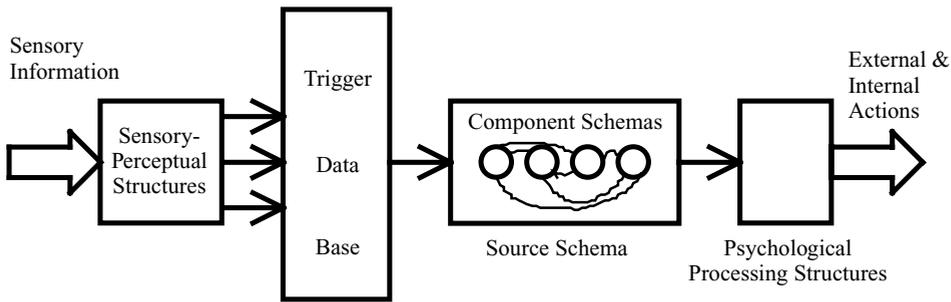
gen; die Autoren teilen diese willentlichen Handlungen in fünf Kategorien ein:

- Sie sind an Planung oder Entscheidungsfindung beteiligt.
- Sie sind Teil von Problemlösungen.
- Sie sind schlecht erlernt oder umfassen neue Handlungssequenzen.
- Sie werden als gefährlich oder technisch schwierig eingeschätzt.
- Sie sind mit dem Überwinden stark gewohnter Reaktionen oder dem Widerstehen von Versuchen verbunden.

Das allgemeine Prinzip ist, daß es spezielle Situationen sind, in denen die unkontrollierte Anwendung eines Handlungsschemas nicht erwünscht ist, aus Angst, es könnte zu Fehlern führen. Auf diesen Überlegungen basierend, entwickeln die Autoren ein Modell, um einige Phänomene der Handlungskontrolle zu erklären, wie

- einige Unterscheidungen der Handlungsleistung, die als automatisch klassifiziert werden können.
- Handlungssequenzen, die normalerweise automatisch ausgeführt werden und wenn es gewünscht wird, ebenfalls unter willentlicher, aufmerksamer Kontrolle ausgeführt werden können.
- den Weg über solch willentliche Kontrolle einerseits ungewollte Handlungen zu unterdrücken, andererseits gewollte zu steigern.
- für präzises Timing häufig geschickte Leistungen notwendig sind.
- bewußte Aufmerksamkeit auf obigem Leistungsaspekt die Handlung unterbrechen kann.
- Konflikte zwischen inkompatiblen Handlungen vermieden werden müssen.

Sie schlagen zwei gegensätzliche Prozesse der Handlungsauswahl und der Handlungskontrolle vor. Der eine ist ausreichend für einfache oder gut erlernte Handlungen, der andere erlaubt, durch willentliche, aufmerksame Kontrolle die Leistung zu modellieren. Den zugrundeliegenden Mechanismus, das „Streit“-Management (CS-Contention Scheduling), das mit Hilfe von Aktivierung und Hemmung der unterstützenden und sich widersprechenden Handlungsschemata



**Abbildung 8:** Horizontaler Faden nach Norman & Shallice, 1980/86

agiert, kann als ein Mechanismus zur Vermeidung von Konflikten während einer Leistung gedacht werden. Präzises Timing wird über einen Trigger gehandhabt, der es den passenden Schemata erlaubt, zum exakt benötigten Zeitpunkt initiiert zu werden. Die Autoren verweisen an dieser Stelle auf die Arbeiten von McClelland & Rummelhart (1981) sowie Rummelhart & Norman (1982).

Auf dem Weg zum Modell entwickeln die Autoren an dieser Stelle ein erstes Teilmodell, welches gut gelernte, gewohnheitsmäßige Aufgaben repräsentieren soll (siehe Abbildung 8). Der wichtige Punkt hierbei ist, daß die Verarbeitungsstrukturen, die einem solchen horizontalen Faden<sup>8</sup> unterliegen, im Prinzip sehr gut spezifiziert werden können. Wenn, so argumentieren die Autoren, zahlreiche Schemata zur gleichen Zeit **aktiviert** werden, muß es auch Mittel geben, die dafür Sorge tragen, daß ein besonderes Schema **selektiert** wird. Gelegentlich wird es zwischen potentiell relevanten Schemata zu Konflikten kommen, wofür eine Art Konfliktlöseprozedur vorgesehen sein muß. Die Autoren verweisen dabei auf die Arbeiten von McDermott & Forgy (1978) sowie Bellman (1979). Die nun vorgeschlagene Vorgehensweise sieht vor, die Auswahl mittels der variablen Menge von Aktivierung zu übernehmen. Das bedeutet, die individuellen Schemata haben jeweils einen Aktivationswert. Dieser wird mit Hilfe einer Kombination von Faktoren bestimmt, von denen einige **zwischen** den Schemata operieren, andere, resultierend aus speziellen Prozessen, **auf** dem Schema operieren.

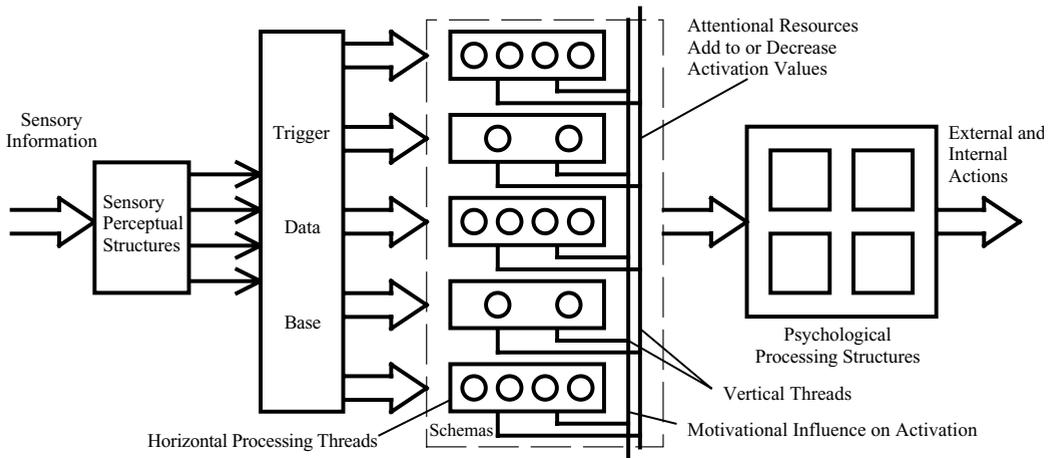
Wird ein Schema einmal selektiert, so liegt sein Aktivationslevel über einem Schwellwert und

wird ausgeführt, solange wie die Aktivierung nicht ausgeschaltet, das Ziel nicht erreicht oder die Handlung nicht abgeschlossen oder blockiert ist. Eine Handlung kann dadurch blockiert werden, daß entweder einige Ressourcen oder Informationen fehlen oder von höher aktivierten Schemata genutzt werden. Daraus ist ersichtlich, daß keine direkte Aufmerksamkeitskontrolle bei der Handlungsauswahl vonnöten ist. Bewußte Aufmerksamkeit manifestiert sich indirekt über die Festlegung der Aktivationswerte der Schemata.

An dieser Stelle wird der bereits eingeführte Begriff des Streitmanagements (CS-Contention Scheduling) erläutert. Das Streitmanagement hat die Aufgabe, den Wettstreit um Selektion, die Verhinderung von wettbewerblichem Gebrauch oder dem gemeinsamen Gebrauch gemeinsamer oder verwandter Strukturen zu regeln.

Im weiteren wird zwischen unterschiedlichen Arten des Aktivierungseinfluß' auf ein Schema differenziert: Einfluß des Streitmanagements, Befriedigung der Triggerbedingungen, Selektion anderer Schemata und vertikale Beeinflussung (wie anhand der Abbildung 9 deutlich wird). Die Triggerbedingungen legen fest, bei welchen Bedingungen ein Schema ausgelöst werden sollte, damit eine genaue Umgebungs-kontrolle der Leistung ermöglicht wird. Wie gut vorhandene Bedingungen die Triggerspezifikation erfüllen, legt die Menge der Aktivierung bezüglich dieses Faktors fest. Die Selektion eines Schemas kann zur Aktivierung anderer, meist untergeordneter Schemata führen.

<sup>8</sup> „Faden“ als Übersetzung des Begriffs „Thread“ wie er im Original benutzt wird.



**Abbildung 9:** Modell nach Norman & Shallice, 1980/86

Hier wird der entscheidende Begriff des überwachenden Aufmerksamkeitssystems (SAS-Supervisory Attentional System) eingeführt, das eine Kontrolle über die Schemata ausübt (von Shallice in Stuss et al. (1995) noch weiter spezifiziert als (1) Energetisierung im Sinne einer Aktivierung von Schemata aber auch einer willentlichen Anstrengungskomponente (2) Hemmung von nicht zielführenden aber präsenten, das heißt von aktivierten Schemata, (3) Adjustment of Contention Scheduling, (4) If-Then-Logik und (5) Monitoring).

Shallice bearbeitete dieses Modell noch lange Zeit weiter (1988, 1992, Stuss et al., 1995) und postulierte dabei Entsprechungen der einzelnen Elemente des Modells mit Hirnregionen (beispielsweise das SAS mit dem Frontallappen), womit er die oben genannten Anforderungen Neumanns (1992) und Allports (1993) bereits vorwegnahm.

#### A4 Das Modell von Hockey (1993)

Hockey entwickelt in seinem Artikel „Cognitive-energetical control mechanisms in the management of work demands and psychological health“ ein Kontrollmodell des Regulationsprozeß'. Es geht ihm dabei um die Bewältigung von Streß und Überlastung als gesundheitliche (Risiko-) Faktoren, wobei er die beiden Begriffe Streß und Überlastung selbst nicht näher definiert, sie vielmehr operationalisiert. Er sagt, daß Streß und Überlastung in der Form von Aktiva-

tionsmustern emotionaler und affektiver Reaktionen aus unangemessenen Umgangsformen mit der eigentlichen Arbeitsbelastung erwachsen. Er legt dabei kritisch das Modell von Karasek (1979) zugrunde, welches bereits auf „schützende“ Effekte mittels der Kontrollierbarkeit bei hohen Anforderungsniveaus hinweist. Es sei wahrscheinlich, so leitet er ab, daß die Auswirkungen von Kontrollmöglichkeiten auf das Wohlbefinden (wie auch auf die Leistung) kritisch von individuell unterschiedlichen Variablen abhängen, wie auch der Bedarf an Kontrolle und Wahrnehmung von Bewältigungsressourcen. Er legt daraufhin fest, daß seine weiteren Analysen auf den zwei Faktoren **Anforderung** (im Original „demands“) und **Kontrolle** (im Original „control“) aufbauen sollen. Seine eigentliche Modellentwicklung basiert auf dem bereits vorgestellten Modell von Kahneman (1973), der 1971 (Kahneman, 1971) die Stabilität von Leistung auf die Effektivität der Aufmerksamkeitskontrolle in der Behandlung der dominierenden der aktuellen Handlungen zurückführt. Leistung kann somit als „geschützt“ vor Umweltstörungen durch die Priorisierung stark arbeitsgerichteter Ziele beschrieben werden. Dieser Schutz wird jedoch auf Kosten einer verringerten Stabilität in anderen energetischen Systemen erlangt. Das stimmt mit den Untersuchungen überein (Hockey, 1979, 1986a und Hockey & Hamilton, 1983), die ergaben, daß erstens dort, wo Einbrüche der Leistung beobachtet wurden, eine spezifische Art der Änderung

auftritt, die mit unterschiedlichen Stressoren verbunden zu sein scheint. Zweitens ergaben sie, daß allen Stressoren eine zusätzliche, gemeinsame Wirkung auf die Leistung eigen ist, die sich in der Schwächung der Effektivität des Aufmerksamkeitskontrollsystems für allgemeine Aufgaben niederschlägt. Hockey legt Wert auf die Betonung, daß eine mangelnde Wirkung auf das Wohlbefinden nicht als Beweis für das Fehlen von Beeinträchtigungen gewertet werden dürfe. Die Strategie, die Leistung zu schützen, macht es demnach schwierig, einen entsprechenden Abfall in Primäraufgaben zu finden. Er stellt für die weitere Diskussion eine Tabelle möglicher Typen des Leistungsabfalls auf:

**Tabelle 1:** Typen des Leistungsabfalls sowie deren Charakteristika nach Hockey, 1993

Typ des Leistungsabfalls	Charakteristika des Leistungsabfalls
Primärabfall	direkte Beeinflussung der Primäraufgabenparameter
Kompensationskosten	Erhöhung der sympathischen Erregung und/oder negativen Affekte während der Aufgabenbearbeitung
Strategische Regulation	Wechsel zur Anwendung von Niedriganstrengungsstrategien oder verringerte Anwendung des Arbeitsgedächtnisses während der Aufgabenbearbeitung
Ermüdungsnachwirkungen	beobachtbares Vorziehen von Niedriganstrengungsstrategien beim „Probe“-Test <sup>9</sup> im Anschluß an lang andauerndes Arbeiten

### Primärabfall:

Hockey erläutert, daß Abfälle in den Primäraufgaben selten nachzuweisen sind. Er bezieht sich dabei auf Broadbent (1957), der auf entsprechend sensitive Aufgaben bei der Untersuchung von Geräuscheffekten hingewiesen habe, wie Vigilanzaufgaben oder selfpaced serielle Reaktionsaufgaben, die lange andauern, ohne Unterbrechung durchgeführt werden und unvorhersehbar sind, so daß lediglich Ausrutscher der Kontrolle, Antwortlatenzzeiten und Fehler gemessen werden können.

### Kompensationskosten:

Hockey weist darauf hin, daß das Fehlen von Auswirkungen auf die Leistung der Primärauf-

gabe von einer Steigerung der Kompensationskosten begleitet werden kann, wie zum Beispiel einer sympathischen Aktivierung und/oder subjektiven Aussage über gesteigerten Effort oder Belastung (im Original „strain“). Er bezieht sich in diesem Fall auf Arbeiten von Lundberg & Frankenhaeuser (1978) und Wilkinson (1962), die Kopfrechenaufgaben benutzten.

### Strategische Regulation:

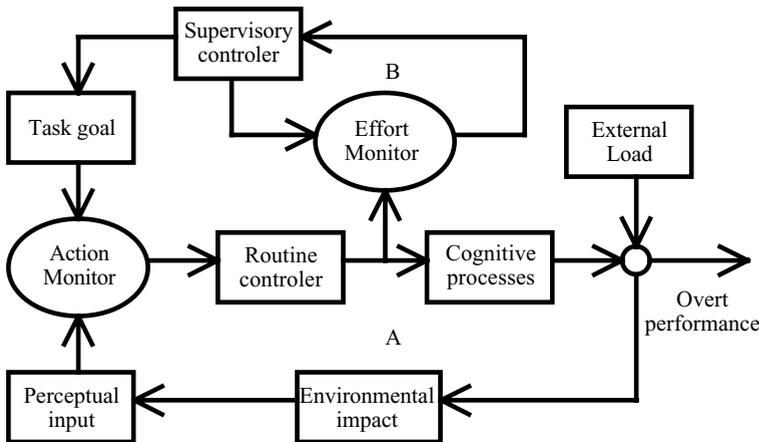
An dieser Stelle verweist Hockey auf die Möglichkeiten von Zweitaufgaben. Bei diesen können weniger anstrengende Lösungsstrategien benutzt werden, bis hin zu dem Phänomen der Aufmerksamkeitseinengung oder erhöhten Trennschärfe. Diese können als allgemeine Strategie angesehen werden, die Aufgabenanforderungen unter Streß oder langer, hoher Beanspruchung zu reduzieren. Er interpretiert hierbei die Einengung als strategische Regulation und nicht als automatische Folge von Streß.

### Ermüdungsnachwirkungen (im Original „fatigue after-effects“):

Es gibt nach Hockey Aufgaben oder Situationen (zum Beispiel Trecking- oder Reaktionszeitaufgaben), in denen keinerlei Leistungseinbrüche während der Aufgabenbearbeitung (um die 60 Stunden) meßbar sind. Dennoch treffen die Teilnehmer bei anschließenden Tests (beispielsweise der COPE-Aufgabe, Shingledecker & Holding, 1974) mehr riskante Entscheidungen, was er mit vermindertem Effort gleichsetzt. Des weiteren weist er auf die nachlassende Wirkung von Stressoren durch die optionalen Regulationsaktivitäten der Individuen hin.

An dieser Stelle führt Hockey das von ihm entwickelte Modell ein. Er beruft sich auf die grundlegenden Arbeiten von Hockey & Hamilton (1983), Hockey (1986a), Trumbell & Appley (1986), Kahneman (1973) sowie McGrath (1976). Hier schließt er sich den dort entwickel-

<sup>9</sup> Erläuterung nach Dorsch (1994): Probe-Technik, Reproduktionsverfahren in der Prüfphase eines Reihen-Lernversuches, bei dem die Reproduktion von nur einem Reihenglied verlangt wird, das durch einen Hinweisreiz bezeichnet ist, dessen Position angegeben ist oder das vor oder nach einem anderen geboten worden war. Die Probe-Technik eignet sich zur Untersuchung des Kurzzeitgedächtnis' (Gedächtnisspanne) und kann auch mit dem Paar-Assoziationen-Lernen verbunden werden.



**Abbildung 10:**  
Modell nach Hockey, 1993

ten Definitionen an, die für Streß als Unterbrechung des Gleichgewichtes zwischen kognitivem- und Umwelt-System durch externe Faktoren benutzt werden, und bedient sich ihrer. Als eigentliche Basis seines Modells zieht er Broadbents (1971) Zwei-Ebenen-Modell heran, wobei sich Hockeys Modell von anderen in der Betonung auf die zugrundeliegenden Mechanismen der Auswahl unterschiedlicher Bewältigungsstrategien unterscheidet. Wie in allen Kontrollmodellen, so Hockey, wird das Verhalten auf einem stabilen Niveau beibehalten, indem zielbasierte interne Referenzwerte mit dem negativen Feedback der gegenwärtigen Handlungen verglichen werden. Dabei wird das Feedback als Fehlersignal genutzt, um das Verhalten so zu modifizieren, daß die Diskrepanzen aufgelöst werden.

In dem Modell befinden sich zwei Schleifen (A und B), wobei Schleife A als Routine-Kontrollsystem gedacht ist, welches stabiles Verhalten sicherstellen soll: Ein Action Monitor (die englischsprachigen Ausdrücke, wie im Modell benutzt, werden beibehalten) vergleicht das Feedback der gegenwärtigen kognitiven Aktivitäten mit einem Zielzustand und aktiviert vertraute (im Original „familiar“) (automatische) Regulationen, die das Verhalten so lange modifizieren, bis ein Zielabgleich hergestellt ist. Das System ändert seine Geschwindigkeit, das Timing, die Gedächtnisnutzung und ähnliches, bis die Leistungen innerhalb akzeptabler Grenzen stabilisiert sind. Hierbei fallen dem Effort abhängig davon, wie er wahrgenommen wird, zwei unter-

schiedliche Rollen zu: Bei Steigerungen niedrigen Niveaus zeigt er fehlerhaftes Verhalten des Routine-Kontrollsystems auf und führt zu einer Verschiebung der Kontrollsysteme von Routine zu Überwachung, bei Änderungen hohen Niveaus stellt er ein Schlüsselement für die Auswahl des Kontrollmodus dar.

**Verschiebung des Kontrollniveaus:** Ist die vom Action Monitor wahrgenommene Diskrepanz hoch, wird ein stärker kontrolliertes Antwortverhalten benötigt und es findet eine Verschiebung zu Schleife B, dem Überwachungs-Kontrollsystem statt. Hockey postuliert für das Einschreiten dieses Kontrollsystems, daß ein Anstieg des Effortbedarfs des Regulationsmechanismus niedrigen Niveaus wahrgenommen wurde. Das Modell sagt demnach voraus, daß die Regulation in der Schleife A durchaus solange durchgeführt werden kann, bis das niedrige Niveau des Efforts einen Schwellwert überschreitet und dann auf hohem Niveau der Regulationsmechanismus geändert wird. Die Beteiligung der Kontrolle auf hohem Niveau kann durch verschiedene Änderungen der Regulationsaktivitäten ausgelöst werden: 1. Das Überwachungssystem kann sich über das Effort-Niveau hinweg- und dabei die Kontrolle mit einem erhöhten Effort-Budget fortsetzen, 2. die Zielwerte können verändert werden, indem zum Beispiel die Anforderung an die Ergebnisse reduziert oder auf andere Strategien zurückgegriffen wird, die weniger Effort benötigen; das Ziel kann aber auch völlig aufgegeben werden, was in Arbeitsumgebungen nur selten auftritt. Das

System kann allerdings auch im wesentlichen unverändert bleiben, wobei dann die wahrgenommene Diskrepanz trotz hohem Efforts bestehen bleibt.

**Verschiebung des Kontrollmodus:** Im Modell sind zwei Kontrollmöglichkeiten in Schleife B vorgesehen, eine direkte und eine indirekte. Die direkte Kontrolle bewirkt die Aufrechterhaltung der Leistungsziele auf Kosten gesteigerten Efforts. Die im Effort Monitor entdeckte Diskrepanz wird durch das zur Verfügungstellen zusätzlicher Ressourcen gelöst. Dabei wird das kognitive System zwar nicht berührt, doch ist es sehr anstrengend (Hamilton et al., 1977, Hockey, 1986b). Obwohl dieses Vorgehen für viele kognitive Aktivitäten normal ist, kann es auf Dauer bei der Streßregulation im Sinne von affektiven und psychophysiologischen Zuständen sehr teuer sein. Andauernde kognitive Belastung kann somit durch seine Auswirkung auf Kontrollressourcen als primäre Quelle der Ermüdung bei mentaler Arbeit angesehen werden. Die indirekte Kontrolle sorgt bei auftretender Diskrepanz für ein Herunterregeln des Leistungszieles (durch einen Wechsel des Referenzwertes), um mit den derzeit verfügbaren Ressourcen auszukommen. Das Aufgeben eines Leistungszieles ist jedoch unwahrscheinlich. Es wird entweder mit geringerer Priorität verfolgt (Schönplflug, 1987) oder mit modifizierten Leistungsbeschreibungen ausgestattet, die weniger Gebrauch von teuren Prozessen wie dem Arbeitsgedächtnis machen (Hamilton et al., 1977). In beiden Kontrollmodi wird die Wiederherstellung des Gleichgewichtes als Auflösung des Streßzustandes betrachtet.

**Effort und Belastung bei direkter Kontrolle:** Der Begriff Effort wird von Hockey benutzt, um Änderungen der Kontrollniveaus und der Kontrollmodi zu beschreiben. Er beruft sich hierbei auf eine Untersuchung von Carver & Scheier (1990), die den Begriff in derselben Weise benutzen. Es unterscheiden sich die beiden Ansätze im zugrundeliegenden Mechanismus. Er räumt ein, daß es sich bei Carver & Scheiers Modell um das allgemeinere handeln könnte, welches sich mit dem Fortgang komplexer persönlicher und sozialer Ziele über lange Zeiträume befaßt. Im Gegensatz zu diesem befaßt sich der Effort Monitor mit der Verschiebung des Kontrollniveaus, welches die stärkere Beteiligung energetischer Prozesse an Echt-Zeit Auf-

gaben betont, die über recht kurze Zeiträume ausgeführt werden. Hierfür wird die effektive Mobilisierung kognitiver Ressourcen benötigt. Hockey meint dennoch, daß Carver & Scheiers Konzept eines Metamonitoring Prozesses unwahrscheinlich ist, daß es vielmehr **verschiedene** Metamonitoring Prozesse geben wird, die unterschiedliche Funktionen hinsichtlich von Langzeit-, Mittelfrist- und Kurzzeitzielen unterstützen. Die Rolle des Efforts bei der Auswahl des Kontrollmodus (zugunsten der Effektivität oder zugunsten der Kostenminimierung) ist unabhängig von diesem Metamonitoring Prozeß und steht in Beziehung zu individuellen Unterschieden beim Umgang mit Belastung. Kognitive Belastung führt zu einem bleibend hohen Niveau zielgerichteten Efforts als Antwort auf gesteigerte Aufgaben- oder Umweltbelastungen; sie ist charakterisierbar mittels Angst (im Original „anxiety“), Erschöpfung (im Original „distress“), sympathischer Erregung und erhöhter adrenacorticaler Aktivität (Frankenhaeuser, 1986). Sind nur begrenzte Kontrollmöglichkeiten verfügbar, können Zustände hohen Efforts lediglich mit wesentlichem Kostenaufwand längere Zeit aufrechterhalten werden: Effort wird weitgehend als ein aversiver Zustand angesehen.

Hier wendet Hockey seine Modellvorstellungen an und versucht Vorhersagen aus den **Kontrollmodellen** und den entsprechenden **Bewältigungsstrategien** abzuleiten. Er unterscheidet zwischen zwei grundlegenden Bewältigungsstrategien, die er als problem- oder emotionszentriert (PZ/EZ) bezeichnet und bezieht sich damit auf eine Arbeit von Lazarus & Folkman (1984) und deren Nomenklatur. Sie stellen demnach die Primärziele der Bewältigung überhaupt dar. So zielt PZ-orientiertes Bewältigen auf die Erhaltung der effektiven Orientierung zu externen, kognitiven Zielen. Demgegenüber zielt EZ-orientiertes Bewältigen auf den Erhalt der persönlichen Stabilität und des Wohlbefindens. Direkte und indirekte Kontrollmodi können somit als Strategien angesehen werden, die der Umsetzung PZ- und EZ-orientierter Bewältigung dienen. Die Auswahl des Kontrollmodus' ist jedoch unabhängig von der gewählten Bewältigungsstrategie. Hockey schließt, daß eine aktive, problemorientierte Annäherung, um die Anforderungen zu reduzieren, nur angebracht ist, wenn 1. die Situation veränderbar ist, 2. gesteigerter

Effort das Problem überhaupt lösen kann und 3. weitere Anforderungen von energetischen Ressourcen noch toleriert werden können.

### A5 Das Modell von Reitter & Galley

Zusammenfassend werden an dieser Stelle kurz die Schwerpunkte der beiden oben erläuterten Modelle betont: Norman & Shallice' Modell ist auf eine Erklärung der Handlungsauswahl unter Berücksichtigung von Fehlleistungen ausgerichtet. Hockeys Modell ist hingegen auf eine Erklärung der Handlungsauswahl unter Berücksichtigung von Leistungsanforderungen ausgerichtet. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Modell benötigt, das im besonderen die Einschränkungen der Handlungsauswahlmöglichkeiten unter Dauerbelastung erklärt. Von einem Zusammenführen beider Modelle darf ein entsprechender Ansatz erwartet werden.

Englischsprachige Begriffe in diesem Modell deuten auf eine direkte Übernahme aus dem jeweiligen Modell von Norman & Shallice oder Hockey hin. Auf den ersten Blick ist im Modell (siehe Abbildung 11) sofort die waagerechte Struktur des Modells von Norman & Shallice sowie Hockeys Zwei-Schleifenstruktur zu erkennen. Eigene Bausteine Hockeys wurden nicht in das Modell eingefügt, des weiteren wurde Hockeys Nomenklatur zugunsten der von Norman & Shallice oder eigener Begriffe weitestgehend aufgegeben.

Norman & Shallice führen den Begriff des Supervisory Attention Systems (SAS) ein. Es wird als bewußt, kontrolliert, handlungsregulierendes System erst eingeschaltet, wenn das routinemäßige Abarbeiten von Handlungsschemata nicht mehr funktioniert. Das Abarbeiten der Handlungsschemata kann also weitgehend ohne bewußtes Kontrollieren oder Korrigieren ablaufen. Das Einschalten des SAS erfolgt erst

- beim Planen einer Handlung oder einer bewußten Entscheidung zwischen verschiedenen Handlungsalternativen,
- bei der Fehlersuche,
- bei gefährlichen oder besonders schwierigen Handlungsabläufen oder
- beim Überwinden stark gewohnheitsmäßiger Handlungsabläufe oder starker Versuchungen.

Dies alles trifft auf das Autofahren jedoch kaum zu, da das Fahren ein Handlungsschema dar-

stellt, welches so routiniert abgearbeitet werden kann, daß es häufig auch wie im Schlaf, das heißt hoch automatisiert, abläuft. Das Modell von Reitter & Galley ist demnach auch eine Erweiterung zur Beschreibung des Ablaufs von Routinehandlungen, die weitgehend ohne bewußte Korrekturen auskommen. Die sensorischen Wahrnehmungen durchlaufen entsprechende Wahrnehmungsmodule, die auf ein Set von Triggern stoßen, um dort als handlungsrelevant klassifiziert zu werden. In einem weiteren Schritt wird den handlungsrelevanten Wahrnehmungen bereits eine willentliche (aus der Zieldefinition stammende (SAS-Schleife – bei Hockey B-Schleife)) Prioritätenreihenfolge zugewiesen. Dieser Schritt ist in dem Modell von Norman & Shallice (1980) noch nicht sehr deutlich zu ersehen, findet sich aber in der Arbeit von Shallice (1992). Dem ursprünglichen Modell von Norman & Shallice folgend, laden die neuen Informationen mit unterschiedlich hoher Aktivierung (aus der Konzentrationsschleife, bei Hockey A-Schleife) auf die verschiedenen Schemata. Die Auswahl der Schemata erfolgt nach Norman & Shallice mittels Contention Scheduling und führt zu entsprechenden Handlungen. Zielabweichungen werden in tolerabel und nicht tolerabel unterschieden und haben entweder eine Reduktion beziehungsweise ein Beibehalten oder aber eine Steigerung des Efforts zur Folge. Die Zieldefinition hat zwei Optionen (nach Hockey), entweder modifiziert sie die Aufgabenstellung (SAS) oder sie erhöht den Effort (Konzentration).

Zur Verdeutlichung des Modells wurde es um eine Situation während des Autobahnfahrens ergänzt. In dieser Situation erkennt der Fahrer, daß die Verkehrsdichte steigt. Die Information dieser Änderung wird als erstes von den Sensory-Perceptual Structures aufgenommen. Diese reichen ihrerseits jedoch kein Bild der Autobahn mit den sich darauf befindenden Fahrzeugen weiter, sondern bereits die daraus abgeleiteten Informationen bezüglich der Verkehrsdichte. In der Trigger Data Base wird diesen Informationen (beispielsweise Straßenführung, Straßenzustand, rückwärtiger Verkehr oder Rastplatzschild) Handlungsrelevanz zugewiesen. Gänzlich irrelevante Informationen (zum Beispiel die Farbe des eigenen Autos) werden hier bereits gefiltert. Im sich daran anschließenden Block Trigger Value werden die Informationen nach

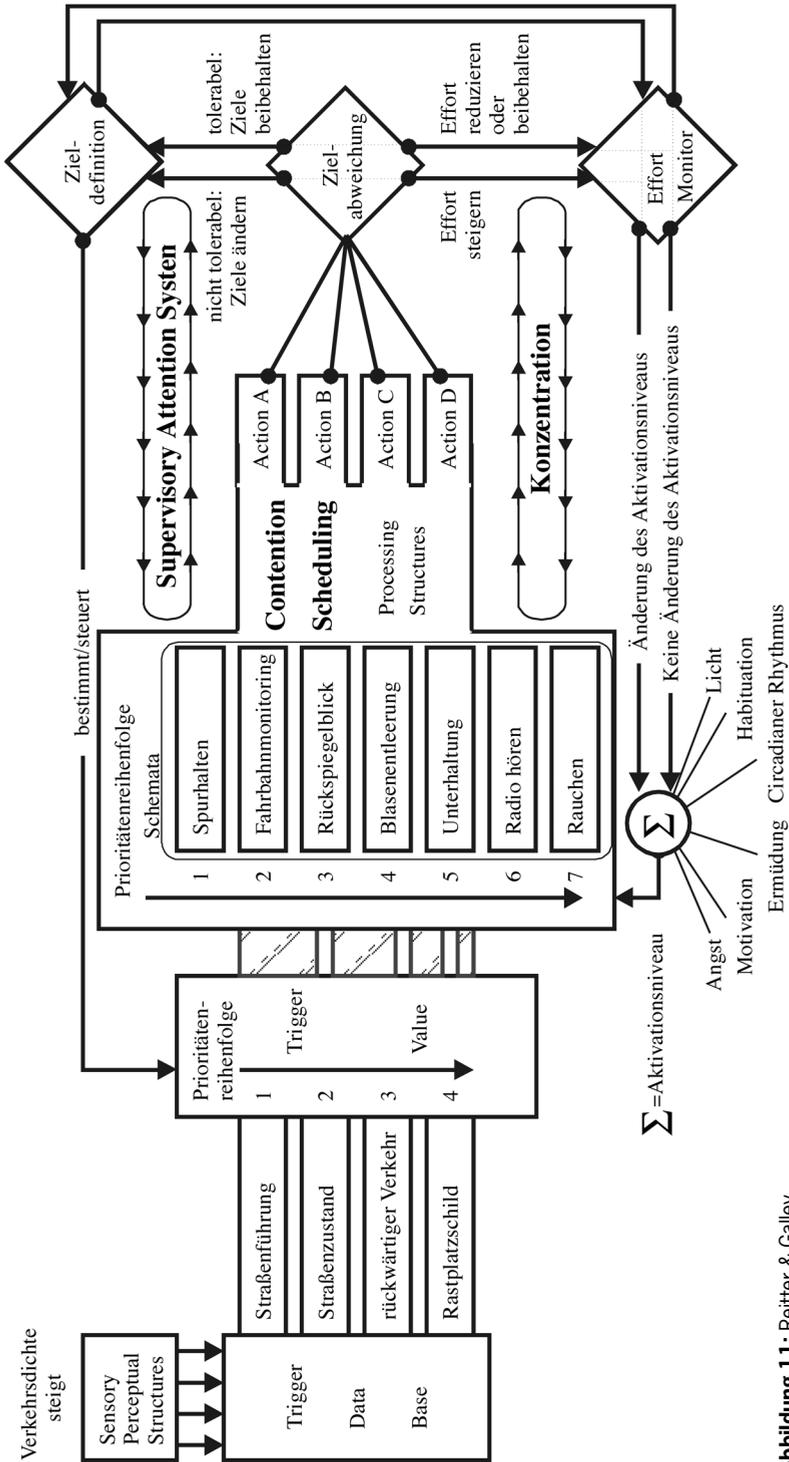


Abbildung 11: Reitter & Galley

Maßgabe der Zieldefinitionen priorisiert (1. Straßeführung, 2. Straßenzustand, ...), um in das Contention Scheduling zu gelangen. Es bekommen die Handlungsschemata den Zuschlag zur Ausführung, die die höchsten Aktivationswerte auf sich vereinen können. Hierbei ist eine Obergrenze der Anzahl möglicher Handlungen durch das allgemeine Aktivationsniveau gegeben.

Bei Aktivierung muß also folglich zwischen zwei Formen unterschieden werden: Aktivierung, wie sie von Norman & Shallice benutzt wird, ist eine auf ein einzelnes Schema oder einige einzelne Schemata wirkende Variable; allgemeine Aktivierung, wie sie im Begriff des Aktivationsniveaus zum Tragen kommt, kennzeichnet die für alle Handlungen (also auch alle Schemata) in der Summe zur Verfügung stehende Aktivierung. Beide Begriffe hängen eng zusammen. Die Summe der Aktivierungen, das Aktivationsniveau beschränkt folglich die Anzahl gleichzeitig verfolgter Schemata.

Bei der Zielabweichung werden zwei Informationen generiert, eine, die die SAS-Schleife betrifft (Zieldefinitionen), die andere, die die Konzentrationsschleife betrifft (Effort Monitor). An die Zieldefinition wird die Information gegeben, ob sich die Zielabweichung der aktuell ausgeführten Handlung in einem Bereich bewegt, der entweder als tolerabel oder als nicht tolerabel bezeichnet werden muß. Mit dieser Information sind gleichzeitig die Optionen „Ziele beibehalten“ oder „Ziele ändern“ verknüpft, unabhängig davon können natürlich auch Ziele in der Zieldefinition geändert oder ganz fallen gelassen werden, die eine tolerable Zielabweichung aufweisen. Dies ist dann als willentliche Entscheidung in diesem Modell zu berücksichtigen. An den Effort Monitor wird aus der Zielabweichung lediglich die Information Effort steigern beziehungsweise Effort reduzieren oder beibehalten weitergegeben. Der Effort kann nur im Falle nicht tolerabler Zielabweichungen unter Beibehaltung der Ziele sinnvoll gesteigert werden; andererseits kann der Effort solange reduziert werden, wie die Zielabweichung noch tolerabel ist. In diesem Wechselspiel liegt also die Möglichkeit, das System auf die jeweilige Zieldefinition hin zu optimieren.

Wesentlich sind die direkten Verbindungen zwischen Zieldefinition und Effortmonitor. Hier

gibt es einen wechselseitigen Informationsaustausch, der notwendig ist, um bei nicht tolerabler Zielabweichung den Effort zu steigern, auch wenn dabei unter Umständen die Zielabweichung nicht befriedigt werden kann. Dies heißt, das Ziel wird mit der zur Zeit gefahrenen Strategie zur Zielerfüllung um jeden Preis aufrecht erhalten, koste es, was es wolle.

Die Zieldefinition bestimmt/steuert im weiteren die Prioritätenreihenfolge der Informationen, die aus der Trigger Data Base in das übrige System gelangen. Der Effort Monitor legt die Änderungen (oder das Beibehalten) des Aktivationsniveaus fest, wobei letzteres noch von anderen Größen konfundiert wird wie zum Beispiel Angst, Motivation, Ermüdung, circadianer Rhythmus, Habitation oder Licht, deren Summe (Achtung, Vorzeichen beachten) dann als allgemeines Aktivationsniveau wesentlich die Anzahl gleichzeitig verfolgter Ziele beeinflusst. Zum Teil wirken diese konfundierenden Größen auch schon auf die Sensory Perceptual Structures. Diese Verbindung wurde jedoch in der Abbildung ebenso unterschlagen wie die alles umfassende Schleife von den Handlungen (Action A–D) zu den Sensory Perceptual Structures, da diese beiden Verbindungen einerseits trivial, im Sinne von selbstverständlich, einfach sind, andererseits die Abbildung so etwas übersichtlicher gehalten werden konnte.

Weiterführende Ausführungen zum Modell (insbesondere die genaue Anwendung der beiden Schleifen Supervisory Attention System und Konzentration) werden direkt bei den Formulierungen der Hypothesen und der sich hier anschließenden Begriffe und Operationalisierungen gegeben.

## **B Begriffe und Operationalisierungen im Beanspruchungs- und Belastungskontext**

Im Rahmen dieser Arbeit ist es zweckmäßig, einige Begriffe zu operationalisieren (so wie mit der Aussage „Diese Arbeit ist auf weißes Papier gedruckt“ nicht die Farbe „weiß“ definiert, sondern operationalisiert wird). Diese Operationalisierungen werden an dieser Stelle vereinbart, da aus dem Stand der Wissenschaft zur Zeit keine allgemeinverbindlichen Definitionen für hier interessierende Begrifflichkeiten einschließlich eines zugrundeliegenden Modells (siehe oben) ableitbar sind, so daß die Auswahl der Operatio-

nalisierungen unter Umständen ein wenig eklektizistisch wirken mag. Ziel der Operationalisierungen ist es jedoch in den meisten Fällen, allgemein akzeptierte Ansätze auszuwählen. Das heißt allerdings unter Umständen auch, nicht auf die neuesten Erkenntnisse zurückzugreifen, so sich diese in ihren Konsequenzen nicht wesentlich für diese Arbeit von älteren abheben oder diese Erkenntnisse ebenso umstritten wie die älteren sind.

## B1 Aktiviation

Der Begriff Aktiviation wird in der psychologischen Literatur mit unterschiedlichen Bedeutungen versehen. Seit kurzem wird darunter die Aktiviation bestimmter Hirnregionen verstanden, wie sie zum Beispiel in den bildgebenden Verfahren PET<sup>10</sup> oder NMR<sup>11</sup> gezeigt werden können (Damasio 1995). Hierbei handelt es sich um statistisch definierte Über- oder Unteraktiviation beispielsweise des rechten Amygdalums und frontalen Gyrus cinguli im Vergleich zu einem Basalwert.

Im historischen Kontext wird Aktiviation der aufsteigenden retikulären Aktiviationssysteme (Moruzzi & Magoun, 1949, häufig mit ARAS abgekürzt) als Kontinuum der Erregung zwischen Hoch-Erregung (Angst) und Niedrig-Erregung (Müdigkeit oder Schlaf) aufgefaßt, die durch Verhaltens-, Erlebens-, zentrale oder periphere physiologische Maße charakterisiert werden kann. Die Einheitlichkeit des Konstrukts einer eindimensionalen Aktiviation (Duffy 1972) hat sich durch Vergleich der verschiedenen physiologischen Aktivationsindikatoren (wie Herzrate, Blutdruck, Hautleitfähigkeit, Muskeltonus, Lidschlußrate, EEG-Frequenz usw.) als empirisch nicht haltbar erwiesen (Fahrenberg et al., 1979). Lange Zeit war man in der Arbeitspsychologie und -physiologie vom hiervon abgeleiteten Konzept des Yerkes-Dodson-Gesetzes (1908) oder der umgekehrten U-Kurve überzeugt, wonach die menschliche Leistungsfähigkeit bei einer jeweils typischen mittleren Aktivationslage optimal sei und bei Zunahme und Abnahme suboptimal werden müsse, ohne daß dieses in den 60 und 70 Jahren führende Theorem gründlich geprüft worden war. Bereits Näätänen (1973) bezweifelt die Gültigkeit dieser Zusammenhänge, die in der Vergangenheit zu einer einseitigen Betonung des Intensitäts-

aspektes der Aktivierung unter gleichzeitiger Vernachlässigung qualitativer, handlungsspezifischer physiologischer Aktivationsmuster führte. Näätänen vermutete in diesem funktionalen Zusammenhang einen Artefakt. Diese viel zitierte Kritik (unter anderem auch bei Hacker & Richter, 1984) wurde jedoch nicht ausreichend in neue Modelle der Definitionen eingearbeitet, so verweisen zum Beispiel Hacker & Richter (1984) selbst explizit und ausführlich auf Näätänen's Kritik, implizit findet sich der der inversen U-Funktion zugrundeliegende Gedankengang dennoch in allen ihren weiteren Überlegungen und Argumentationen (wie bei den meisten anderen Autoren übrigens auch) und führt somit fast zwangsläufig zu jeweils zu hinterfragenden Schlußfolgerungen (insbesondere bezüglich der Definitionen oder Operationalisierungen, wie sie im folgenden noch aufgestellt werden). Bei einer Überprüfung des funktionalen Zusammenhanges, wie ihn die invertierte U-Kurve beschreibt, mit Sakkadenparametern (Galley 1998a), wobei aus demselben Biosignal sowohl die Aktiviation (als Sakkadengeschwindigkeit) als auch verschiedene Leistungsindikatoren gewonnen wird, folgt die Leistung entgegen der Prognose nicht der ermüdungsbedingten Aktivationsabnahme. Aus den Ergebnissen folgert der Autor, daß Leistung in vielerlei Form durch Konzentration auch gegen Ermüdung stabilisiert werden kann. Umgekehrt zeigen sich mehrere Abhängigkeiten des Aktivationsindikators vom Leistungsverhalten, die für ein handlungsbezogenes, geregeltes Aktivationsniveau sprechen, wobei dessen physiologische Basis ungeklärt ist (Robbins & Everitt 1996). Ein hohes oder niedriges Aktivationsniveau wird als nicht direkt leistungsverändernd angesehen, wenn auch die indirekten Auswirkungen auf die Handlungsregulation (siehe Modell von Hockey, 1993) beachtet werden müssen.

<sup>10</sup> PET-Positronenemissionstomographie (rechnergestütztes Schichtaufnahmeverfahren) die von dem inkorporierten Radionuklid ausgehende Strahlung kann mit Hilfe von Ringdetektoren beziehungsweise einer rotierenden Gammakamera gemessen werden und dient zur Berechnung von Schnittbildern der untersuchten Organe (Psyhyrembel 1994).

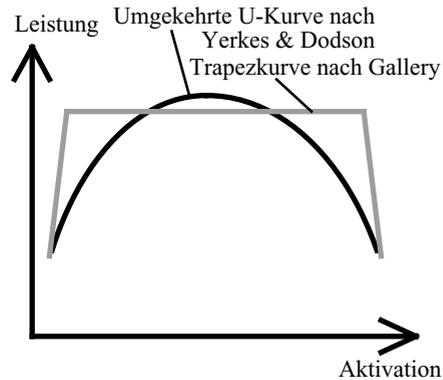
<sup>11</sup> NMR Nuclear Magnetic Resonance (Magnetresonanz, Kernspinresonanz, magnetische Kernresonanz, Kernspintomographie) Computergestütztes bildgebendes Verfahren der Topographie, das auf dem Prinzip der Magnetresonanz beruht (Psyhyrembel 1994).

In Abbildung 12 ist eine umgekehrte U-Kurve nach Yerkes & Dodson (1908, zitiert nach Wickens, 1992) dargestellt, bei der sich eine optimale Leistung in Abhängigkeit von einer optimalen Aktivierung ergibt. Da jedoch bisher ein solcher Zusammenhang zwischen Aktivierung und Leistung nicht zwingend nachgewiesen, beziehungsweise wie oben geschildert bezweifelt werden muß, hat Galley (1998) einen trapezförmigen Zusammenhang/Verlauf vorgeschlagen. Es scheint nämlich, als ob die Aktivierung in weiten Bereichen abhängig von der Zielabweichung geregelt wird und nicht umgekehrt. Dies bedeutet jedoch, daß die Aktivierung sehr wohl in weiten Bereichen schwanken kann, ohne daß die Leistung davon betroffen ist. Der Umsetzung in eine Grafik entspräche dann die Trapezkurve in der Abbildung 12.

Zielabweichung bedeutet also die Differenz zwischen der „ist“-Leistung und der angestrebten „soll“-Leistung, in diesem Sinne von ihrer jeweiligen mentalen Repräsentation. Wird also eine Leistung gefordert, die mit geringem Aufwand erbracht werden kann, da sie leicht ist (oder dem Individuum leichtfällt), weitgehend geübt ist oder nicht viel vom Erfolg oder Mißerfolg abhängt, so wird die (anfänglich meist erhöhte) Aktivierung herabgesetzt, um wieder anzusteigen, wenn eine wahrgenommene Zieldiskrepanz auftritt, die nicht mittels einfacher Anpassung zu beseitigen ist. Anstrengung ist das subjektiv wahrgenommene Korrelat einer Steigerung der Aktivierung, die in dem Modell (Reitter & Galley) durch das Festhalten an der Zielvorstellung bei gleichzeitig eintretender Zielabweichung ausgelöst wird, ähnlich argumentiert an dieser Stelle übrigens auch Schönplug (1987). Die subjektive Beanspruchung (siehe unten) ergibt sich, wenn die Zielabweichung dauerhaft mit einem erhöhten Aktivationsniveau, also trotz Anstrengung, nicht mehr befriedigend gering gehalten werden kann und keine befriedigende Neudefinition des Zieles vorgenommen wird.

## B2 Konzentration

Konzentration ist ein Begriff, der in der Diskussion um Beanspruchung oder Belastung in der Literatur so gut wie gar nicht genutzt wird (er findet sich beispielsweise weder in den Stichwortverzeichnissen von Luczak, 1993, Wickens, 1992, Monk, 1991, oder Nachreiner 1988). Wie



**Abbildung 12:** Umgekehrte U-Kurve/Trapezkurve

aus Galleys (1998a) Ausführungen jedoch zu entnehmen ist, stellt Konzentration ein wesentliches Konstrukt im Zusammenhang von Leistung und Aktivierung dar, so daß im folgenden Konzentration als ununterbrochenes Verfolgen eines subjektiv definierten Zieles angesehen wird, was sich von dem testpsychologischen und umgangssprachlichen Konzentrationsbegriff (Westhoff 1995) dadurch unterscheidet, daß die dort als substantiell angesehene Geschwindigkeitskomponente nicht als wesentlich betrachtet, sondern vielmehr dem Konstrukt Intelligenz zugeordnet wird (Galley 1993), was hier irrelevant ist. So gesehen, hat Konzentration mehr mit dem Unterdrücken irrelevanter Handlungsimpulse zu tun und hat Beziehungen zu Persönlichkeitsmerkmalen sowie zur Motivation und ist nicht zwingend mit Beanspruchung gekoppelt. Konzentration kann beim Feststellen einer schwierig zu beseitigenden Zieldiskrepanz (siehe auch Leistung) durchaus mit Anstrengungs- und anderen Gefühlserebnissen verbunden sein, wenn ein verringertes Anspruchsniveau oder das Aufgeben von Nebenzielen unumgänglich wird.

## B3 Leistung

Auch Leistung, ein Begriff, der der Arbeitswissenschaft immanent sein sollte, wird in der entsprechenden arbeitswissenschaftlichen Literatur (zum Beispiel Luczak, 1993) nur als Arbeitsleistung (im Sinne der physikalischen Definition  $\text{Leistung} = \text{Arbeit} / \text{Zeit}$ ) verstanden, bestenfalls erstreckt sich der Begriff noch auf Muskelkraft (auch wieder im Sinne der physikalischen Definition  $\text{Arbeit} = \text{Kraft} * \text{Weg}$ ). Operationalisierungen oder gar Definitionen, die Leistung im

Sinne von Leistungsvereinbarungen mit den Probanden bei Feld- oder Laborversuchen und der hieraus resultierenden Gültigkeit der benutzten Leistungsparameter (häufig werden Reaktionszeiten als Leistungsparameter herangezogen) problematisieren, existieren nicht, so daß Leistung in diesem Modell (Reitter & Galley) als Ergebnis einer Regelung operationalisiert wird. 100%ige Leistungserfüllung zeichnet sich demzufolge durch eine ausbleibende Zielabweichung aus, entsprechend sinkt die Leistung bei steigender Zielabweichung. Hieraus ergibt sich, daß die subjektive Repräsentanz des Zieles gewährleistet sein muß. So können zum Beispiel Reaktionszeiten nach diesem Leistungsbegriff eben nicht als Leistungsindikator verwendet werden, wenn das Individuum nicht weiß, daß es möglichst schnell reagieren muß und kein Nachlassen seiner Reaktionszeit feststellen kann, denn dann kann auch keine Zielabweichung vom Probanden festgestellt oder korrigiert werden.

Die Leistung wird durch Konzentration solange anstrengungslos erreicht, wie die Zielabweichungen aufgrund von Fähigkeiten oder Automatisierung für die Dauer der Aufgabe minimal gehalten werden können.

Modellgemäß wird Leistung entsprechend der höchsten Priorität am besten/effektivsten geregelt. Ermüdung (siehe auch Monotonie) wird als Störvariable zuerst geregelt, dann wird die Prioritätenliste verkleinert und nachrangige Ziele werden nicht mehr verfolgt. Höchste Priorität genießt das Zeitschema des Springenden Punktes (siehe auch Kapitel Blickbewegungsaufgabe Springender Punkt), der Reizwechsel, der besonders ökonomisch mit Antizipationssakkaden beantwortet wird. Dagegen ist das Beibehalten eines bestimmten Amplitudenverhaltens in der Regel nicht mit derselben hohen Priorität behaftet und wird beim Nachlassen der Leistungsmotivation eher als Zielgröße aufgegeben als das Zeitschema. Letztlich kann nur über eine Vergrößerung der Zielabweichung das Ziel weiter verfolgt/aufrecht erhalten werden. Werden geringere Sollwerte angestrebt, werden die Ziele ganz aufgegeben.

## B4 Beanspruchung

In der umfassenden Übersicht Schönplugs (1987) über Konzepte und Theorien der Beanspruchung und Belastung bei der Arbeit wird

die Abgrenzungen von Beanspruchung und Belastung im historischen Kontext sowie neuerer Begriffe wie Fehlbeanspruchung oder Ausgebranntsein aufgezeigt. Besonders interessant an seiner Arbeit ist die Aufstellung von zwölf Aspekten, die im Interesse einer Systematisierung Hervorhebung verdienen:

- Definition von Belastung/Beanspruchung als organismischer Zustand<sup>12</sup>
- Definition von Belastung/Beanspruchung als auslösende Bedingung
- Definition von Belastung/Beanspruchung als Prozeß der Umwelteinwirkung
- Unterscheidung von allgemeinen und individuelle Belastungen
- Unterscheidung von gegenwärtigen und zukünftigen Belastungen
- Definition der Beanspruchung als Funktionsaktivierung
- Definition der Beanspruchung als Funktionsbindung
- Definition der Beanspruchung als Funktionsschwächung
- Definition der Beanspruchung als Funktionsverlust
- Bestimmung von Bereichen der Beanspruchung
- Phänomenologie der Beanspruchung
- Evaluation der Beanspruchung und der Belastung

Weiter zeigt Schönpflug (1987) sechs Dimensionen der Belastung auf:

Herkunft, Qualität, Beeinflußbarkeit, Planmäßigkeit und Vorhersehbarkeit, Zeitcharakteristik sowie Auswirkungen von Belastungen.

Das diesen Überlegungen zugrundeliegende Ressourcenmodell, basierend in erster Linie auf Kahneman (1973), ist jedoch, wie bereits bei der Diskussion der Modelle aufgezeigt, nicht mehr zeitgemäß und folglich abzulehnen, worauf Schönpflug im weiteren einen gravierenden Mangel an theoretischen Modellen der Beziehung zwischen Belastungen und Beanspruchungen beklagt. Letztlich unterscheidet Schönpflug (1987) zwischen zwei Ebenen der Beanspruchung: Die Ebene der exekutiven Be-

<sup>12</sup> Beziehungsweise als Reaktion auf Anforderungen.

anspruchung, welche die unmittelbare Konsequenz der Konfrontation mit einer Belastung darstellt, und die Ebene der präparativen Beanspruchung, die in Erwartung einer Belastung entsprechende Ressourcen (im Sinne von Kahneman, 1973) freigibt oder vorenthält. Somit wird eine Doppelrolle der Beanspruchung postuliert, die für die gegebene Fragestellung jedoch keine Berechtigung hat.

Von der Vielzahl der hier vorgestellten Konzepte scheinen sich nach kritischer Lektüre<sup>13</sup> jedoch nur die bereits etwas älteren Konzepte (siehe unten) als ausreichend tragfähig für diese im Sinne der Belastungs- und Beanspruchungstheorien doch eher einfachen Untersuchung herauszustellen, so daß an dieser Stelle ganz bewußt auf neuere Konzepte verzichtet werden kann, wobei natürlich nachzuweisen bleibt, daß die letztlich gewählten Operationalisierungen obigen Ansprüchen weiterhin genügen.

Auch in dem Werk Hackers & Richters (1984), welches sich explizit mit psychischen Fehlbeanspruchungen befaßt, ist kein geschlossenes Konzept oder gar Modell zu sehen, welches noch kompatibel zu obigen Operationalisierungen (Aktivation, Konzentration, Leistung) wäre, so daß auch hier wieder eine dem Modell (Reitter & Galley) angepaßte Operationalisierung gefunden werden muß. Hacker & Richter (1984) beschreiben in einer Grafik Beanspruchung als Inanspruchnahme der Leistungsvoraussetzungen mit hervorgehobenen Aspekten der Selbstbeanspruchung (motivale Aspekt), dem Profil beanspruchter regulierend-psychischer Vorgänge, der Ausgefülltheit des Bewußtseins sowie der Intensität des Beanspruchtheins (psychische Beanspruchung).

Eine gängige, arbeitswissenschaftliche Definition der Beanspruchung in Zusammenhang mit der Belastung, abgeleitet aus werkstofftechnischen Definitionen, liefert somit Rohmert (Rohmert & Laurig, 1974):

Belastung: „... stellt die Summe aller auf den Menschen einwirkenden Faktoren der Arbeit dar, die überwiegend über das rezeptorische System wahrgenommen werden und/oder Anforderungen an das effektorische System darstellen.“

Beanspruchung: „... bezeichnet die Summe aller durch unterschiedliche, individuelle Eigenschaften und Fähigkeiten bedingten un-

terschiedlichen Auswirkungen von Belastungen im Menschen. Die Beanspruchung hängt damit sowohl von der Belastung als auch von der Ausprägung individueller Eigenschaften (zum Beispiel Leistungsfähigkeit oder Übungsgrad) ab.“

Letzteres ist eine neutrale Definition von Beanspruchung, wie sie auch in die für Ingenieure verbindliche DIN 33405 (1987) eingeflossen ist, die noch weiter mit den Adjektiven „geringgradig“, „mittelgradig“ oder „hochgradig“ spezifiziert werden muß. Häufig wird Beanspruchung jedoch lediglich im Sinne von hoher oder zu hoher Beanspruchung verstanden.

Eine so verstandene Beanspruchung ergibt sich in dem Modell (Reitter & Galley), wenn die Zielabweichung dauerhaft mit einem erhöhten Aktivationsniveau also trotz Anstrengung, nicht mehr befriedigend gering gehalten werden kann und keine befriedigende Neudefinition des Zieles vorgenommen wird. Daraus ergibt sich, daß Beanspruchung immer eine individuelle Reaktion des jeweiligen Individuums darstellt.

Im Rahmen dieser Arbeit ist jedoch mit einiger Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, daß die Probanden weit weniger unter hoher oder zu hoher Beanspruchung zu leiden haben werden, als viel mehr unter den Folgen geringer Beanspruchung, so daß stärkeren Wert auf tragfähige Operationalisierungen für Ermüdung und Monotonie gelegt werden muß.

## B5 Ermüdung

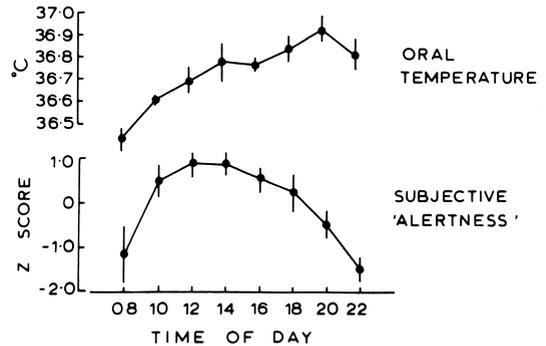
Da in dieser Studie, wie schon aus dem Untertitel ersichtlich, mit Hilfe einer Reihe von blick- und lidmotorischen Parametern unter anderem diese bei einer Langzeitautobahnfahrt auf ihre Tauglichkeit als Beanspruchungsindikatoren überprüft werden sollen, kommt der Ermüdung die entscheidende Rolle zu. Vorgreifend kann festgehalten werden, daß hohe Verkehrsdichte, Informationsüberangebote oder mangelnde Vertrautheit mit dem Fahrzeug so gut wie nur irgend möglich ausgeschlossen werden konnten,

<sup>13</sup> Schönpflug (1987) selber empfiehlt in seinem Schlußwort vor dem Hintergrund der Vielzahl an teilweise widersprüchlichen Konzepten und Theorien eine Anpassung der Konzepte an die Besonderheiten einzelner Praxisfelder, wobei die Begrifflichkeiten und vorausgehenden Annahmen der Anwendung entsprechend zu gewichten sind.

ebenso wie alle anderen Situationen der Möglichkeiten zur Entmüdung wie mittels Kaffeegetränk, Schnellfahrens oder Pausemachens. Das Autofahren auf einer vergleichsweise gering befahrenen Autobahn in einem den Probanden recht vertrauten und anerkannt komfortablen Fahrzeug stellt nur eine sehr gering beanspruchende Tätigkeit dar. Anscheinend kann ausschließlich mit Hilfe der unvernünftigen Überlänge des gleichförmigen Fahrens eine Beanspruchung in Form von Ermüdung induziert werden, indem dem zunehmenden Bedürfnis nach Erholung oder sogar nach Schlaf nicht nachgegeben wird.

Wie Unfallanalysen zeigen, wird auch in der täglichen Praxis dieser Unvernunft gehuldigt und der in aller Regel wahrgenommenen Ermüdung (Akerstedt 1991) nicht rechtzeitig nachgegeben, weshalb zur Zeit auch zunehmend über Einschlafwarner geforscht wird. Hierzu wird bevorzugt der Lidschlag, zum Beispiel in Form der Lidschlagrate, herangezogen, die scheinbar paradoxerweise zunimmt, sobald der Mensch müde wird (Stern et al., 1994).

Zur Ermüdung gibt es eine umfangreiche Literatur aus recht unterschiedlichen Forschungsgebieten. Einerseits stammen viele Erkenntnisse aus dem Bereich der Beanspruchungsforschung arbeitswissenschaftlicher Couleur (zum Beispiel Hacker & Richter, 1985, oder aus dem Kreis um Rutenfranz, beispielsweise Nachreiner, 1988). Einen anderen Ansatzpunkt haben die Schlafforscher gewonnen (zum Beispiel Monk, 1991). Bei letzteren sind in der jüngsten Vergangenheit neue Erkenntnisse generiert worden, die den Forderungen nach Mehrdimensionalität der Arbeitswissenschaftler weitgehend entsprechen. Diese Forderungen konnten die Arbeitswissenschaftler selber jedoch nicht ausreichend erfüllen, so argumentieren Hacker & Richter (1984) zwar in ihrem Werk, daß ein mehrdimensionaler Prozeß der psychischen Ermüdung zugrunde gelegt werden müsse, wenn es allerdings „zur Sache“ kommt, werden wieder die alten eindimensionalen Modellvorstellungen herangezogen, basierend auf Arbeiten aus den Sechziger bis Siebziger (siehe zum Beispiel die umfangreichen Werke Bartenwerfers oder Schmidtkes), die sich kaum mehr in das Modell (Reitter & Galley) integrieren lassen, so daß hier der Fokus stark auf die neueren Erkenntnisse der Schlaforschung gelegt wird.

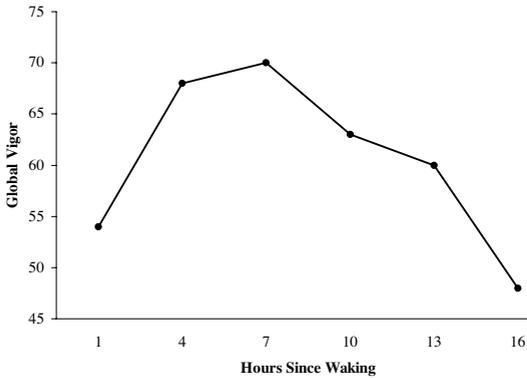


**Abbildung 13:** Tageszeit als Funktion subjektiver Erregung und oraler Körpertemperatur nach Folkard, 1983, zitiert nach Monk, 1991

Nun ist Müdigkeit oder Ermüdung ein primär subjektives Erlebnis (Brown 1994), das, um objektiviert zu werden, operationalisiert werden muß, wozu Befragungen, Leistungen und verschiedene Biosignale in einer Vielzahl von Untersuchungen eingesetzt wurden. Da jeder Ermüdung kennt, ist es durchaus naheliegend, daß in vielen Untersuchungen nur ein Zugangsweg gewählt wurde, zum Beispiel die subjektiv eingeschätzte Wachheit (als sich zur Ermüdung konträr verhaltend), die dann – je nach Fragestellung – in Beziehung zu einem zweiten Parameter gesetzt wird: In Abbildung 13 ist zu sehen, daß in einer Synopsis vieler Studien die Menschen gegen 12 Uhr im Mittel am wachsten sind, während ihr Temperaturmaximum erst gegen 20 Uhr erreicht wird. Andererseits zeigt sich bei der subjektiven Einschätzung von Ermüdung ein durchaus kritischer Effekt, so argumentieren McDonald (1989) und beinahe wortgleich Brown (1994), daß die Wahrnehmung und Selbstdiagnose bezüglich Ermüdung durch die Ermüdung selbst beeinträchtigt wird, Fairclough (1997) geht sogar soweit zu behaupten, daß die Ermüdung sogar die Wahrnehmung der eigenen Leistung einschränkt<sup>14</sup>.

Hiermit ist zugleich der völlig unbestrittene Konsens aller dieser Arbeiten ausgesprochen, daß Müdigkeit eine Funktion des endogenen circadianen Rhythmus' des Menschen ist: Wir werden müde, weil es ein biologischer Rhyth-

<sup>14</sup> Wobei er keine brauchbare Operationalisierung der eigenen Leistung anbietet, so daß es schwer fällt, sich seiner Meinung anzuschließen, seine Argumentation ist somit nicht hinreichend zwingend.



**Abbildung 14:** Globale Vitalität über Dauer des Wachseins nach Monk, 1991

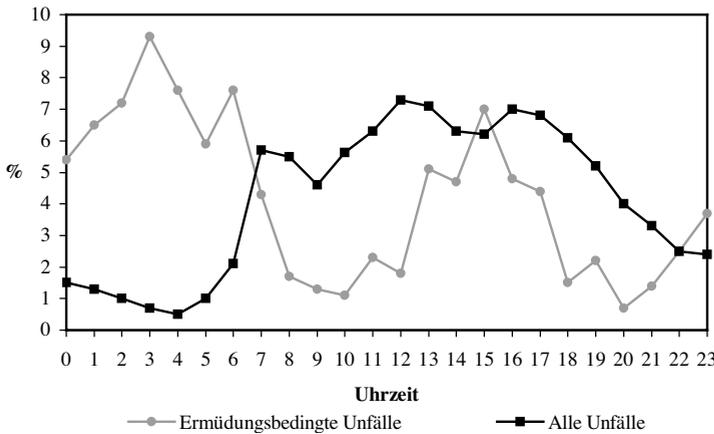
mus ist, wach zu sein beziehungsweise müde zu werden. Da hiermit zusammenhängend die meisten Menschen durch ihr Verhalten auch dem Tag einen annähernd gleichbleibenden Wach-Schlaf-Rhythmus verleihen, ergibt sich sofort, daß die empfundene Müdigkeit auch – und erstmals nicht davon zu trennen – eine Funktion der Dauer des Wachseins darstellt. Hierzu paßt jedoch in keiner Form, daß der Mensch zu Beginn seiner Wachphase nach einem Nachtschlaf noch nicht unbedingt über die voll ausgeprägte Wachheit verfügt, sondern viele Menschen (siehe Abbildung 14) noch vier, teilweise sogar bis zu sieben Stunden für eine Warmlaufphase benötigen, um ihren individuellen Wachheitstipfel mühsam zu erklimmen.

Beide Beispiele zeigen jedoch ein nur unvollständiges Bild menschlicher Ermüdung, da auf Grund der langen Meßintervalle von zwei beziehungsweise drei Stunden beispielsweise das Mittagstief verborgen bleibt (Shannon Theorem<sup>15</sup>), welches sich jedoch sofort zeigt, wenn kürzere Meßintervalle gewählt werden: So ist unter anderem seit langem bekannt, (Browne, 1949, Hildebrandt et al., 1974, Summala & Mikkola, 1994), daß Einschlaf-Autounfälle neben dem Nachtgipfel auch einen Nachmittagsgipfel aufweisen (siehe Abbildung 15). Hiermit ist phänomenologisch die Zweigipfligkeit menschlichen Wachseins am Tage erwiesen, und die Frage liegt nahe, ob sich nicht bei noch höherer Abtastrate ein weiterer, höherfrequenter Biorhythmus zeigt: Der 1,5 Stunden oder auch 90 Minutenrhythmus, der als REM-Rhythmus

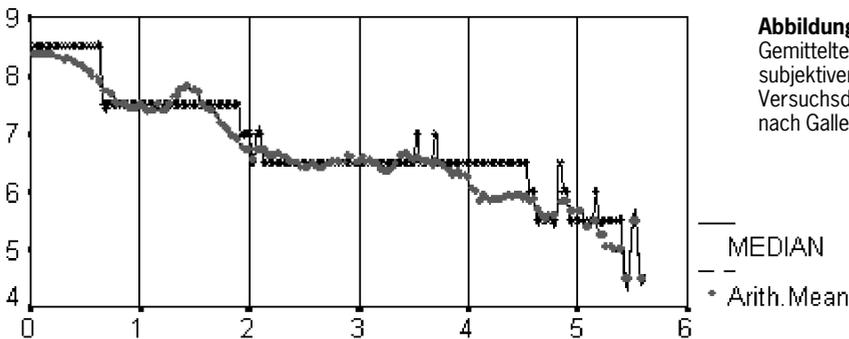
aus der menschlichen Schlafforschung sogar zu populärwissenschaftlichem Ruhm gelangt ist. So haben sich auch frühere Beobachtungen (Globus et al., 1971, Broughton, 1975, Klein & Armitage, 1979, Lavie, 1977, Lavie, 1979) bestätigt, nach denen eine 90 Minutenperiode am Tage existiert (Lavie, 1985, Broughton, 1989), deren Relevanz für die Einschlafgefährdung beim Autofahren in die derzeitige Forschung noch nicht ausreichend Eingang genommen hat.

Es fehlt jetzt noch ein wichtiger Einfluß: die Monotonie. An der Förderung der Müdigkeit durch Eintönigkeit gibt es in der Literatur keinen Zweifel, jedoch ist weder der Zeitgang einheitlich noch die Ursachen-Zuschreibung. So betont Hockey (1993), daß sich im Labor Ermüdung in aller Regel schneller einstellt als unter ansonsten vergleichbaren Feldbedingungen. Hockey führt dies jedoch auf die höhere Relevanz und der damit verbundenen Aktivierung der realen Arbeitssituation gegenüber der artifiziellen des Labors zurück. Dies würde bedeuten, daß nicht die Reizsituation an sich, sondern eher die Bedeutungsbeimessung des Individuums der alles entscheidende Faktor ist, folglich wäre also eine subjektive und keine objektive Eintönigkeit entscheidend. Unklar ist auch, ob es die Gleichförmigkeit der Reizsituation alleine oder die Einschränkungen der Handlungsmöglichkeiten ist, was die schnellere Ermüdung herbeiführt. Des weiteren zeigen Galley et al. (1997), daß sich anhand gemittelter Kurven (siehe Abbildung 16) in der Regel keine individuellen Oszillationen (zum Beispiel im 1,5 Stundenrhythmus) mehr erkennen lassen, die für die kurzzeitigen, kritischen Einzelereignisse des Einschlafens am Steuer in den Phasen der geringsten Wachheit zu erwarten sind. Aus solchen Kurven kann nur gefolgert werden, daß sich auf Dauer

<sup>15</sup> Das Shannon Theorem besagt, daß das Signal (der „Ermüdungswert“), um reliable Messungen zu erhalten, mindestens mit einer Frequenz abgetastet werden muß, die doppelt so hoch ist, wie die höchste auftretende. Da beim Menschen ein 90-Minuten-Zyklus bekannt ist, wäre eine angemessene Abtastrate (entsprechend Befragungsintervall) von längstens 30 Minuten sinnvoll. Wenn jedoch auch noch Mikroschlafattacken berücksichtigt werden sollen, die nur wenige Sekunden andauern, muß natürlich auf eine Abtastrate im Sekundenbereich zurückgegriffen werden, was das Versuchsdesign allerdings vor ernsthafte Schwierigkeiten stellen kann, wenn zur Merkmalerhebung eine Befragung herangezogen werden soll.



**Abbildung 15:** Ermüdungsbedingte Unfälle versus alle Unfälle über den Tag verteilt nach Lavie, 1991



**Abbildung 16:** Gemittelte Kurven (40 TN) der subjektiven Wachheit über die Versuchsdauer [Stunden] nach Galley et al., 1997

gesehen die mittlere Wachheit reduziert, wobei sehr fraglich bleibt, ob eine Reduktion der Wachheit von „8“ auf „5“ nach fünf Stunden des Autofahrens bereits einen kritischen Zustand beschreibt. Es sind mehr die anfallartigen Ermüdungsattacken, die zu fürchten sind und demnach vorherzusagen wären. Diese werden auch als Mikroschlafattacken oder Wegdriften (Akerstedt, 1991) bezeichnet und sind entweder mit dem Schließen der Augenlider verbunden oder gehen mit einem starren Blick sowie Bewußtseinsverlust einher oder genauer gesagt, mit einer Erinnerungslücke. Sie sind weder für den Betroffenen noch für den Beobachter vorhersehbar (O’Hanlon & Kelley, 1977, Torsvall & Akerstedt, 1987, Lisper et al., 1986). Die kurzzeitigen Ereignisse dauern nach Lisper et al. zum Beispiel lediglich eine Sekunde an. Akerstedt (1991) betont, daß dem nicht nur ein deutliches Ermüdungsgefühl vorangeht, sondern ein richtiger Kampf gegen das Einschlafen, des-

sen Ausgang in einer frühen Phase nicht zwingend das Wegdriften bedeuten muß, sondern auch das Wieder-Wacher-Werden bedeuten kann.

Als Vorzeichen vor dem Wegdriften haben Torsvall & Akerstedt (1987) eine deutliche Zunahme von alpha- und theta-Wellen im EEG registriert ebenso wie ein Auseinandergleiten der Augen und rollende Augenbewegungen. In einer sehr bemerkenswerten Arbeit über das Ermüden von Affen konnten Henn et al. (1984) zeigen, daß die vom Gleichgewichtssinn ausgelösten Augenbewegungen (vestibulo okuläre Reflexe), die den Blick gegen passive Körperbewegungen stabilisieren, aufhören, was auch psychophysisch nachzuvollziehen ist: bei extremer Ermüdung fängt die Straße vor den Augen an zu tanzen, das heißt, die Erschütterungen beim Autofahren führen zu retinalen Bildverschiebungen, die nicht mehr kompensiert werden können.

Wichtig ist an diesen Beobachtungen kritischer Einzelereignisse, daß beim Einschlafen im Feld immer ein Kampf dagegen vorauszugehen scheint. Dies ist nicht mit der Situation des Schlaflabors vergleichbar, wo bei geschlossenen Augen die Zeitspanne bis zum Einschlafen (definiert nach Kriterien, die aus dem EEG abgeleitet sind) als Maß für Müdigkeit oder Schlafverlangen angenommen wird; im Felde ist das Einschlafen nicht nur nicht erlaubt, sondern in der Regel äußerst gefährlich. Eine vergleichbare Instruktion im Schlaflabor „Versuchen nicht einzuschlafen“ (Pivik, 1991), hat keinerlei vergleichbare negativen Konsequenzen bei Nichtbeachtung wie im Falle des Autofahrens.

Dieser Kampf gegen das Einschlafen sollte aktivierungstheoretisch mit ansteigender Aktivierung einhergehen – im Gegensatz zur Ermüdung mit entsprechend abfallenden Kennwerten. So berichtet beispielsweise Apparies et al. (1998) von einem Herzratenanstieg von 75,6 Schlägen pro Minute auf 83 Schlägen pro Minute nach acht- bis zehnstündiger LKW-Fahrt. Biosignale, die nicht gezielt die kritischen Mikroschlafattacken und ihre Prodromalzeiten indizieren, sondern fortlaufend über kürzere oder längere Zeiten (zum Beispiel auf Minutenbasis) integriert sind, können demnach entweder der fallenden Tendenz „Müdigkeit“ oder der steigenden Tendenz „Kampf gegen das Einschlafen“ folgen oder aber auf entsprechende Regulationskonflikte hindeuten (ansteigende Variabilität): Galley et al. (1997) entdeckten in ihrer Untersuchung zwei fast gleich große Gruppen von Probanden, bei denen die eine bei subjektiven Ermüdungsangaben mit abfallenden Kennwerten verbunden ist, die andere mit steigenden, also dem umgekehrten Fall. Das bedeutet, daß die zweifellos immer vorhandene subjektiv gespürte Ermüdung sich an den Deaktivationsprozessen oder aber indirekt an den kompensatorischen Aktivationsprozessen festmachen kann. Man fühlt sich im letzteren Falle ermüdet, weil man zunehmend gegen das Einschlafen ankämpfen muß.

Für objektive Ermüdungsindikatoren aus dem Bereich der Biosignale ergibt sich hieraus die Konsequenz, daß sie Ermüdung nur auf der Ebene des Individuums vorhersagen kann und auf Gruppenebene sich möglicherweise wieder aufhebt.

Bei den Ermüdungsanzeichen waren eine Reihe okulomotorischer Veränderungen angesprochen, die nur teilweise bei den in dieser Arbeit angewendeten okulomotorischen Meßmethoden (Sakkaden und Lidschläge) erhoben werden:

- Das Vor-Sich-Hinstarren ist durch überlange Sakkadenintervalle gekennzeichnet.
- Der fehlende vestibulo okuläre Reflex ist allerdings nur aufwendig zu verifizieren, auf keinen Fall jedoch im Feld bei Fahrversuchen.
- Ebenfalls ist das Auseinandergleiten der Augen, der Verlust der Fusion der zwei Bilder beider Augen schwierig zu messen und setzt einen in der Form nicht verfügbaren apparativen Aufwand voraus.
- Die Zunahme der Lidschlaghäufigkeit (das heißt der Abnahme des Lidschlagintervalls) wird von Akerstedt (1991) bei seinen wenigen Probanden (vier an der Zahl) nicht als Prodromalzeichen für eine Mikroschlafattacke beobachtet.

Als Frühzeichen für generelle Ermüdung ist davon jedoch sehr häufig berichtet worden; zu deuten ist es als ein Nachlassen der Lidschlaghemmung, die beim angestrengten Monitoren des visuellen Kanals auftritt: So ist auch beim Lesen zum Beispiel eine Verdoppelung des Lidschlagintervalls zu beobachten, das im Verlauf einer langen Lesetätigkeit zum Beispiel von 8,7 auf 5,5 sec abnimmt. Das Vor-Sich-Hinstarren dürfte jedoch wiederum mit überlangen Lidschlagintervallen einhergehen, also dem Gegenteil verkürzter Intervalle. Allgemeine Frühzeichen für Ermüdung werden also das Nachlassen angestrenzter Aufmerksamkeit sein, spezielle Einschlafzeichen können dem teilweise entgegengesetzt sein.

## B6 Monotonie

Monotonie wird in vielen Arbeiten (DIN 33405, Schmidtke, 1965, Hacker & Richter, 1984) als ein ermüdungsähnlicher Zustand bezeichnet, wobei einzig eine phänomenale Unterscheidung zwischen Ermüdung und Monotonie aufgeführt wird: „Ermüdungsähnliche Zustände haben mit psychischer Ermüdung gemeinsam, daß in der Regel Müdigkeitsempfindungen auftreten. **Sie unterscheiden sich von psychischer Ermüdung durch ihre Flüchtigkeit.**“ In Schmidtkes Werk finden sich im Kapitel „Ermüdungsähnli-

**Tabelle 2:** Differenzierungsmerkmale unterschiedlicher Formen psychischer Fehlbeanspruchung, Auszug einer entsprechenden Tabelle nach Hacker & Richter (1984)<sup>16</sup>

Kriterien	Psychische Ermüdung	Monotonie
Phänomenale (Erlebens-) Leitmerkmale	Erschöpfung, Müdigkeit <b>ohne</b> Langeweile	Interesselosigkeit, Müdigkeit <b>mit</b> Langeweile
Zeitliche Beziehung zur Tätigkeit	nach längerer Tätigkeitsdauer, <b>stetiger</b> Verlauf	nach längerer Tätigkeitsdauer, <b>wellenförmiger</b> Verlauf
Auswirkungen eines Tätigkeitswechsels	gering	Leistungsverbesserung
Aktivation	anfangs kompensatorisch erhöht, später <b>gesenkt</b>	<b>gesenkt</b>

Kriterien	Psychische Sättigung	Streß
Phänomenale (Erlebens-) Leitmerkmale	unlustbetonte Gereiztheit, Widerwillen	erregt-geängstigte Gespanntheit, Unruhe, Sorge um Erfüllbarkeit der Aufgabe
Zeitliche Beziehung zur Tätigkeit	auch vorwegnehmend und während der Tätigkeit möglich	auch vorwegnehmend und während der Tätigkeit möglich
Auswirkungen eines Tätigkeitswechsels	?	nachhaltige Leistungsminde- rung wahrscheinlich
Aktivation	erhöht	erhöht

che Zustände“ leider keine deutlicheren Grenzen, um die verschiedenen Zustände voneinander zu unterscheiden. Auch jüngere Autoren vermeiden praktischere Definitionen von Monotonie. So wird beispielsweise bei Laurig (1990) Monotonie zwar thematisiert, jedoch nur in der Feststellung, daß sich die angeblich höhere Monotonieresistenz von Frauen wissenschaftlich nicht halten läßt, eine brauchbare Definition findet sich nicht; Johannsen (1993) stellt in seinem umfangreichen Lehrbuch auch keine Definition zur Verfügung; in der Aufsatzsammlung Monks (1991) über „Sleep, Sleepiness and Performance“ wird auch nur einmal das Wort Monotonie erwähnt (Horne, 1991): „Monotonous stimulation or that requiring sustained attention and frequent response to an inherently limited stimulus – including a mental stimulus – will potentiate habituation and the pressure to microsleep.“ (Sinngemäß: Monotone Stimulation oder der Bedarf anhaltender Aufmerksamkeit und häufiger Antworten auf einen von Natur aus begrenzten Reiz – einschließlich mentaler Reize – verstärkt Gewöhnung und den Drang nach Mikroschlaf.)

Hacker & Richter (1984) geben eine tabellarische Gegenüberstellung (Tabelle 2) der verschiedenen Formen psychischer Fehlbeanspruchung: Bei den phänomenalen Leitmerkmalen fügen die Autoren der Monotonie den Begriff der Langeweile hinzu. Die zeitliche Beziehung zur Tätigkeit scheint auch kein valides Unterscheidungsmerkmal zu sein, denn das erste Argument, beides träte nach längerer Tätigkeitsdauer auf, ist für beide Beanspruchungsformen identisch, und das zweite Argument, stetiger versus wellenförmiger Verlauf, ist empirisch nicht belegt und vermutlich falsch, denn Mikroschlafattacken überfallen den Ermüdeten anfallartig, ein deutliches Indiz gegen eine postulierte Stetigkeit. Auswirkungen eines Tätigkeitswechsels scheinen ebenfalls fraglich, einen ermüdeten von einem monotonisierten Probanden unterscheiden zu können, da solche Interventionen

<sup>16</sup> Im Original werden noch weitere Kriterien aufgeführt: Konfigurationen auslösender Leitmerkmale, Auswirkungen eines Tätigkeitswechsels, Individuelle Disposition, Rückbildungsverlauf und Vorbeugemaßnahmen.

in der Regel wenigstens kurzfristig entmüden (siehe auch Kapitel Vorversuch zur Rückwirkung zweier Methoden). Beim einzig interessanten Differenzierungskriterium, der Aktivierung, konstatieren die Autoren, daß sie zu einem früheren oder späteren Zeitpunkt keinen Unterschied mehr feststellen können (Hacker & Richter, 1984, Seite 208: „Allerdings bestehen insbesondere bei anhaltenden Monotoniezuständen fließende Übergänge zu psychischer Ermüdung, die insbesondere durch die Beanspruchung bedingt ist, die mit dem fortwährenden Ankämpfen gegen Dämmerzustände verbunden ist“). Der durch Monotonie induzierte Ermüdungszustand scheint sich demnach auch physiologisch nicht von andersartig induzierter Müdigkeit zu unterscheiden. Die angenommene schnellere Entmüdbarkeit müßte erstens empirisch belegt werden und spielt zweitens für die Fragen nach der Informationsverarbeitung, der Leistung oder dem Befinden im ermüdeten Zustand, wie auch immer induziert, keine Rolle. Erst mit der Länge und Art der Unterbrechung der Tätigkeit könnten die unterschiedlichen Verursachungen der Müdigkeit zum Tragen kommen.

Was in Tabelle 2 als Konsequenz eines Tätigkeitswechsel – die Leistungsverbesserung – beschrieben wird, wäre nach dem in dieser Arbeit benutzten Modell als eine schnellere Entmüdbarkeit zu interpretieren, da der Tätigkeitswechsel die Aversion und damit den Anlaß zur aktiven Ermüdung<sup>17</sup> beseitigt hat, in diesem Zusammenhang ist die psychische Sättigung als das Fehlen aller Appetenzaspekte zu betrachten.

Hacker (1989) nimmt seine oben dargestellte Position später insofern zurück, als daß er in seinem Handbuchartikel zur Monotonie selbigen Begriff zwar noch in der Überschrift beibehält, im weiteren Text spricht er dann fast nur noch von Monotoniezuständen und monotonieerzeugenden Situationen, insbesondere schränkt er den auch oben bereits aufgeführten wellenförmigen Verlauf als Kriterium stark ein und bezeichnet ihn nur noch als optionales Kriterium, welches bei weitem nicht bei allen Menschen zutrifft. In seiner beschreibenden Darstellung zur Monotonie finden sich einerseits Erlebensformen, die so nicht meßbar sind, andererseits „objektive Befunde“, die eine eindeutige Differenzierung zur allgemeinen Ermüdung auch nicht erlauben. Seine Kernaussage bleibt somit sein einleitender Satz „Als Monotoniezustand

bezeichnet man das Ergebnis einer Fehlbeanspruchung, nämlich anhaltender Unterforderung von Leistungsvoraussetzungen“. Widdel (1990) widmet in seiner Arbeit über industrielle Prozesse der Monotonie einen eigenen Abschnitt und kommt zu der Schlußfolgerung: „**Monotonie und Langeweile führen zu Widerspruch und negativer Einstellung dem System und seiner Umgebung gegenüber**“. Aus dieser Untersuchung wird genau die umgekehrte Wirkkette hervorgehen: Die negative Einstellung zu einer gegebenen Situation macht aus einer gleichförmigen Situation, der nicht entflohen und die nicht modifiziert werden kann, eine langweilige, auf die es eine evolutionär uralte Möglichkeit der Antwort gibt – das Einschlafen! Karsten weist in seinem kurzen Absatz in Arnold et al. (1997) darauf hin, daß „eine willentliche Anstrengung, damit man nicht in einen Monotoniezustand gerate, letztlich zur Folge hat, daß man gerade wegen dieser Bemühung, sich auf die einförmige Tätigkeit zu konzentrieren, um so leichter in Monotoniezustände (auch Ermüdung) gerät“. Er gibt aber keinen praktikablen Parameter zur Bestimmung an, ob es sich bei einem Versuchsteilnehmer um einen ermüdeten oder einen monotonisierten handele, solange keine Interventionen vorgenommen wird, die die Flüchtigkeit des Ermüdungszustandes nachweist. Eine solche Intervention vorzunehmen, ist allerdings unangemessen, wenn die Versuchssituation nicht noch künstlicher gestaltet werden soll, als sie es ohnehin ist. Folglich wird für diese Arbeit **Ermüdung** als einen physiologischen **Zustand** verminderter Aktivierung operationalisiert (gegenüber dem nicht ermüdeten Zustand) und **Monotonie** als eine **Situation**, die durch Reizarmut und nur eingeschränkte Handlungsalternativen Ermüdung induziert. Monotone Reizsituationen schränken in der Regel nämlich auch die Handlungsmöglichkeiten des Individuums ein, so daß mangelhafte Reizvielfalt und mangelhafte Handlungsalternativen zusammen vorkommen. Dem Autor sind keine experimentellen Untersuchungen zur Trennung

<sup>17</sup> Aktive Ermüdung im Gegensatz zu passiver Ermüdung: Ermüdung kann nicht nur als passiver Vorgang aufgefaßt werden, sondern auch als aktiver, als Bedürfnis nach Ruhe und Erholung; gesehen werden kann dieses als Konkurrenz zu anderen Bedürfnissen nach Tätigkeiten oder Ziele durch Aktivität zu verfolgen, dies bei fehlender Motivation zu Aktivitäten.

beider Faktoren bekannt: Es kann demnach sehr wohl sein, daß es gar nicht so sehr die gleichbleibende Reizsituation, sondern vielmehr die eingeschränkten Handlungsmöglichkeiten sind, die bereits evolutionär zur vermehrten Schlafneigung führen. So schläft eine eingesperrte Hauskatze unvergleichlich viel mehr als eine Wildkatze – ein Prinzip, das Horne (1988a, 1991) als Luxusschlaf im Gegensatz zum Kernschlaf bezeichnet. Man könnte formulieren: Gibt es für Mensch oder Tier **nichts Sinnvolles** zu tun, so schaltet der Organismus auf „Sparen“ – er wird müde und schläft ein. Gibt es wieder etwas Sinnvolles zu tun, schaltet er wieder auf „Wachsein“. Auf diese Weise könnte die leichtere Reversibilität erklärt werden. Monotonie geht in dieser Operationalisierung einher mit einer Reduzierung des Aktivationsniveaus. Der Umkehrschluß muß nicht zwangsläufig zutreffen, da ein Absinken des Aktivationsniveaus durchaus auch eine Anpassung an die Leistungsvereinbarung darstellen kann: Läßt sich die Leistung auch mit einem geringeren Aufwand erbringen, ist ein hohes Aktivationsniveau unnötig. Die Reduzierung der Prioritätenliste<sup>18</sup> auf die ersten Positionen sowie die abnehmende Fähigkeit, die Liste noch vollständig zu bearbeiten (wie auch bei der klassischen Ermüdung), könnte ein Signal für Monotonisierung sein. Monotonie führt demnach nicht zwingend zu Leistungseinbußen in der Haupttätigkeit oder zu erhöhter Beanspruchung.

Monotonie wird in ähnlicher Weise auch von anderen Autoren operationalisiert. Coblenz et al. (1988) benutzen den Begriff der Monotonie nur im Zusammenhang gleichbleibender Tätigkeiten oder Situationen, Eysenck (1988) beschreibt Monotonie im Zusammenhang von wenig abwechslungsreicher Arbeit, Leonard (1988b) benutzt den Begriff der Monotonie sehr eingeschränkt im Zusammenhang monotoner akustischer Stimulation. Keiner der Autoren liefert eine Definition der Monotonie, die allgemein anwendbar wäre.

Die angesprochenen Schwierigkeiten bei dem Nachweis von Monotonie, beziehungsweise die leichte Störbarkeit des aufgrund von Monotonie ermüdeten Zustandes, erfordern unter dem Aspekt der Rückwirkung besondere Sorgfalt bei der Auswahl der Meßmethoden. Eine entsprechend intensive Überprüfung der angewendeten Methoden wird folglich als erforderlich erachtet

(siehe Kapitel Vorversuch zur Rückwirkung zweier Methoden).

Ermüdung im Zusammenhang mit Monotonie wurde bisher nicht explizit operationalisiert, außer daß sie ein Zustand ist, der durch Monotonie induziert wird. Der Begriff der Ermüdung wird im folgenden als Übersetzung des englischen Begriffs Fatigue benutzt (zu deutsch – Abspannung, Erschöpfung, Ermüdung, übersetzt mit Pons-Globalwörterbuch, Stuttgart, 1983).

### C Blickbewegung

Von den verschiedenen Möglichkeiten der Wahrnehmung beim Menschen<sup>19</sup> zeichnet sich das Auge beziehungsweise das Sehen dadurch aus, daß es zum einen eine über den menschlichen Körper hinausgehende Reichweite aufweist, zum anderen sehr präzise bestimmte Richtungen ansteuern kann. Die außergewöhnliche Position des Auges für die menschliche Wahrnehmung zeigt sich zum Beispiel darin, daß vier von zwölf Hirnnerven<sup>20</sup> zum Sehen benutzt werden (Thompson, 1996). Das aktive Blicken ist in der Wirbeltierreihe nach Walls (1962) mit der Ausbildung einer viel höher auflösenden Fovea Centralis vergesellschaftet, die auf die ‚interessanteste‘ Stelle im Gesichtsfeld gerichtet wird. Das auswertende Gehirn steht dabei in dem Dilemma sowohl ein spezielles, ausgewähltes Objekt festhalten als auch auf weitere periphere Reize reagieren zu müssen, um von dort eventuell wichtige Informationen aufzunehmen, was in der Regel durch relativ kurze Verweildauern des Blickes auf einem Objekt, sogenannten Fixationen (mit einer mittleren Dauer von nur 250msec) gelöst wird. Wegen dieser beiden unterschiedlichen Aufgaben haben sich verschiedene Arten der Blick-

<sup>18</sup> Prioritätenliste im Sinne des Modells von Norman und Shallice (1980, 1986)

<sup>19</sup> Die Betonung auf den Menschen macht nicht nur Sinn, weil bei diesem Versuch Menschen als Probanden teilnahmen, sondern auch deshalb, weil jede Spezies eigene Blickbewegungen aufgrund unterschiedlicher Lebensweisen und Augen entwickelt (Thompson, 1996).

<sup>20</sup> Nervus Opticus (Nr. 2 – für das Sehen, Ursprung im Thalamus), Nervus oculomotorius (Nr. 3 – für die Augenbewegungen, Ursprung im Mittelhirn), Nervus trochlearis (Nr. 4 – für die Augenbewegungen, Ursprung im Mittelhirn) und Nervus abducens (Nr. 6 – für die Augenbewegungen, Ursprung in der Medulla)

bewegungen entwickelt, die im folgenden erläutert werden.

### C1 Sakkaden/Orientierungsreaktion

Sakkaden sind die mit Abstand häufigst auftretenden Blickbewegungen (im Mittel vier Sakkaden pro Sekunde, Galley, 1998a). Eine Sakkade kennzeichnet eine Verschiebung des Interesses, sie ist eigentlich eine ganz kleine Orientierungsreaktion im klassischen Sinne (Galley mündliche Mitteilung), da mit ihr ein kurzer Aktivationsanstieg einhergeht.

Eine Sakkade kann im Gehirn vom Colliculus Superior, Frontal Eye Field, Supplementär-Motorischen Areal, Präfrontalen Cortex, aber auch vom optischen Cortex ausgelöst werden (Galley, 1998a) (die Latenzzeit beträgt in der Regel zwischen 150 und 250 msec, siehe Abbildung 21). Eine Sakkade kann in erster Näherung als eine balistische Bewegung angenommen werden<sup>21</sup>, die, einmal gestartet, unweigerlich (im eigentlichen Sinne unmodifizierbar) ihr vorgesehenes Ziel erreichen wird. Ihre Amplitude ist linear abhängig von der Länge des Neuronenbursts, ihre Richtung von der Auswahl der Neuronen und ihre Geschwindigkeit von deren Entladungsrate (Milner & Goodale, 1995, Abbildung 17, 18 und 19).

Während der eigentlichen Sakkade (mit einer Dauer von 20 bis 70 msec) ist die Wahrnehmung teilweise ausgeblendet (Bridgeman et al., 1994). Während einer Sakkade fallen wegen der hohen Rotationsgeschwindigkeit auf den retinalen Rezeptoren nur undeutliche Informationen an, so daß sie nicht sinnvoll ausgewertet werden können. Ein Vergleich mit einem extrem schnellen Kameraschwenk ist vertretbar, der zum Beispiel bei Tanzfilmen verwendet wird, um Körperdrehungen der Protagonisten darzustellen. In dieser speziellen Einstellung nimmt der Zuschauer die Darstellung nur undeutlich wahr, obwohl ein solcher Kameraschwenk gewiß nicht dieselbe hohe Drehgeschwindigkeit aufweist, mit der eine Sakkade durchgeführt wird (durchschnittlich 370° pro Sekunde, jedoch sind Spitzenwerte in der Höhe von bis zu 600° pro Sekunde möglich). Ferner wird die „Auszeit“ während einer Sakkade zusätzlich genutzt, um bereits im Gehirn vorliegende Informationen auszuwerten.

An eine Sakkade schließt sich in der Regel ein Moment relativer Ruhe des Augapfels an (zirka

250 msec, häufig länger, manchmal kürzer), in dem die neuen Informationen, das aktuelle Bild, dem Gehirn zur Verfügung gestellt wird.

Expreßsakkaden bilden eine andere Gruppe Sakkaden mit kürzeren als den erwähnten Latenzzeiten von zirka 250 msec. Sie beträgt bei diesen nur zwischen 80 und 140 msec. Diese kurze Latenzzeit wird durch einen verkürzten Verarbeitungsweg im Gehirn ermöglicht (Fischer & Weber, 1993 vermuten direkt vom visuellen Cortex zum Colliculus Superior und dem Sakkadengenerator in der *Formatio Reticularis*). Eine eingehende Diskussion der Expreßsakkaden folgt in Kapitel Parameter der Sakkaden.

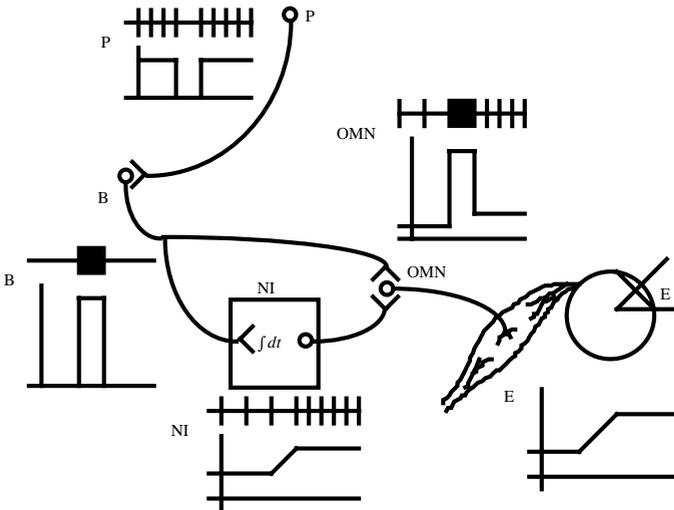
Im Rahmen dieser Untersuchung ist es notwendig, die Möglichkeiten eine Sakkade auszulösen, noch näher zu betrachten:

#### C1.1 Suchsakkaden

Das menschliche Auge ist beispielsweise im Gegensatz zu dem des Pferdes<sup>22</sup> mit einer kleinen, kreisförmigen (zirka 1,2° Durchmesser) Fovea ausgestattet, hier liegen die Zapfen sehr dicht beieinander und die räumliche Auflösung ist sehr hoch (siehe Abbildung 20). Es liegt nahe, den visuellen Raum permanent mittels Sakkaden zu überwachen, um von möglichst vielen Orten genaue Informationen zu erhalten. Dies stellt für uns Menschen eine überlebenswichtige Fähigkeit dar, deren evolutionäre Grundlagen weit zurück liegen könnten. Beispielsweise läuft die Suchtätigkeit auch bei geschlossenen Augen weiter, was evolutionär möglicherweise nicht „kein Bild“ sondern „sehr dunkle Lichtverhältnisse“ bedeuten könnte. Zufallgesteuerte Sakkaden bei geschlossenen Augen haben, weil kein spezielles Objekt untersucht werden muß/kann, als häufigste Amplitude einen Wert von 7°. Diese Amplitudengröße paßt zu den anatomischen Details, wonach kleine Sakkaden von 1,2° oder kleiner eigentlich überflüssig sind, da sich die Objekte bereits im Gebiet des scharfen Sehens befinden. Dagegen werden in einem Ab-

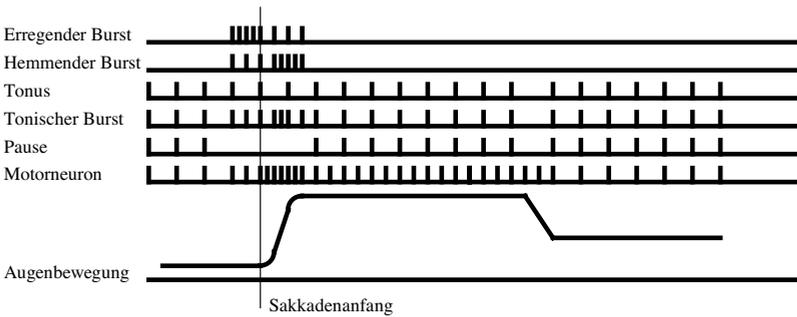
<sup>21</sup> Einschränkungen dieser Annahme werden unter anderem von Leigh & Zee (1991) diskutiert.

<sup>22</sup> Das Auge des Pferdes oder auch das des Hasen weist einen schmalen, länglichen Bereich auf, in dem scharf gesehen werden kann. Folglich haben sich bei diesen beiden Spezies auch andere Sakkaden als die für Menschen typische entwickelt.

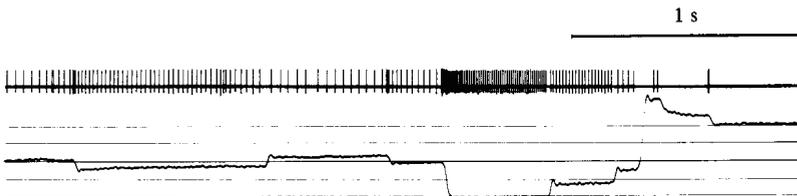


Das Verhältnis zwischen Pause Neuronen (P), Burst Neuronen (B) und neuronalem Integrator (NI) bei der Generation einer Sakkade, deren Kombinationen einen Inversionswechsel der Okularmotoneuronen (OMN) und somit eine Augenbewegung (E) zur Folge haben.

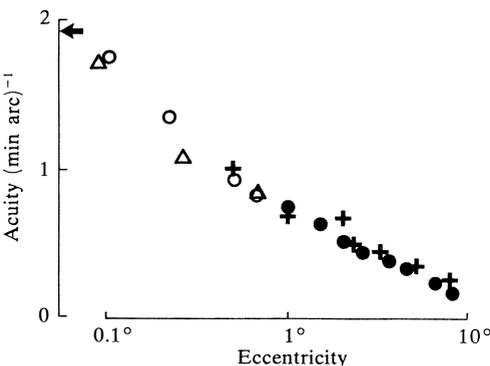
**Abbildung 17:**  
Modell nach Leigh & Zee, 1991



**Abbildung 18:**  
Entladung von Neuronen während einer Sakkade, nach Goldberg et al., 1991



**Abbildung 19:**  
Entladung von Neuronen während Sakkaden, nach Keller & Robinson, 1972, zitiert nach Carpenter, 1988



- Jones and Higgins (1947), normalised
- △ Jacobs (1979)
- + Wertheim (1887), normalised
- Green (1970), arrow indicates foveal acuit

**Abbildung 20:** Visuelle Schärfe und Zapfenabstand als eine Funktion des Abstandes von der Fovea, zitiert nach Carpenter, 1988 (die hier zitierten Autoren mögen bei Carpenter recherchiert werden)

stand von zirka  $10^\circ$  die Zapfen so selten, daß keine sehr hohe Auflösung mehr möglich ist, eine Sakkade also notwendig wird. Weiter peripher im Gesichtsfeld, das immerhin eine Größe von annähernd  $180^\circ$  hat, sind wir dennoch nicht blind, sondern sehen außerhalb der Fovea noch immer Konturen und vor allem Bewegungen sehr gut, nur entschieden weniger Einzelheiten.

### C1.2 Reizsakkaden

Sehr auffällig und gut untersucht (Rayner, 1984) sind durch Reize ausgelöste Sakkaden. Sie stellen die typische Reaktion auf Umweltveränderungen dar. Es gibt unterschiedliche Reize wie blinkende Lichter, Formen oder Farben oder auch Geräusche, die nicht in den Kontext passen. Selbstverständlich passen sich die Sakkadenamplituden über einen weiten Bereich (bis zu  $30^\circ$ ) dem Reiz an, spontane Sakkaden, das heißt Suchsakkaden überschreiten dagegen eine Grenze von  $15^\circ$  eher selten (Bahill et al., 1975b).

### C1.3 Gedächtnissakkaden

Sakkaden, die auf Erinnerung beruhen, einem mentalen Konzept, treten immer dann auf, wenn eine gut geübte Aufgabe ausgeführt wird. Als Beispiel möge dafür eine Standardsituation des Autofahrens dienen (Reitter & Hatzius, 1995): der Blick in den linken Seitenspiegel. Es gibt in der Regel weder einen Reiz an der Stelle des Spiegels noch wird der Spiegel mit den sonst typischen Suchsakkaden gesucht. Er wird direkt angeblickt. Es besteht folglich ein Konzept davon, wo sich der Spiegel befindet. Es wird eine bekannte Information aus dem Gedächtnis für die Berechnung der Sakkade herangezogen. Ein weniger bekanntes Beispiel kommt auch aus dem Bereich des Autofahrens, bei dem sich zum Teil gravierende Unterschiede bei den Blickbewegungen zwischen Fahranfängern und Fahrerfahrenen zeigen (Unema & Rötting, 1990). Dies wird auf unterschiedliche mentale Konzepte über das Autofahren zurückgeführt. Diese Konzepte können offensichtlich mittels langer Fahrtätigkeit modifiziert werden.

Gedächtnissakkaden sind auch solche, die bereits vor dem Auftauchen eines erwarteten Reizes in der Peripherie das Auge an den erwarteten Ort bringen. Man spricht von antizipatorischen oder Vorhersage-Sakkaden. Sie haben

andere Parameter als reaktive oder Expreßsakkaden, und es spricht einiges dafür, daß sie auch von anderen corticalen Zentren, zum Beispiel dem frontalen Augenfeld, ausgelöst werden (Pierrot-Deseilligny 1991).

## C2 Parameter der Sakkaden

Sakkaden lassen sich im Allgemeinen durch die Parameter Latenz, Amplitude, Richtung und Geschwindigkeit hinreichend beschreiben<sup>23</sup>. Diese Parameter, mit Ausnahme der Richtung, sind auch diejenigen, mit denen in dieser Untersuchung gearbeitet wird. Aus diesem Grunde werden sie vorgreifend unter dem Aspekt der Blickbewegungsaufgabe diskutiert, die von den Teilnehmern im Versuch geleistet werden muß.

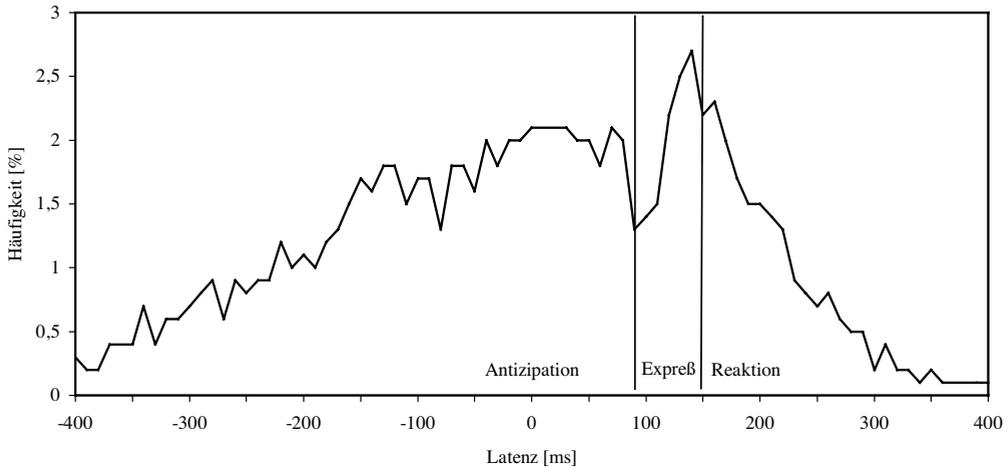
### C2.1 Latenz

Bei der wichtigsten Aufgabe dieser Untersuchung, dem Springenden Punkt (SPP, sakkadisches Verfolgen eines beschleunigten, zwischen bekannten Punkten hin- und herspringenden Lichtpunktes, siehe auch Kapitel Springender Punkt unter Theoretische Grundlagen sowie Methoden) sind folgende Gruppen von Sakkaden mit unterschiedlichen Latenzzeiten als Antwort auf einen Reizwechsel (Abbildung 21) zu registrieren (siehe auch Galley & Galley, 1999):

- Antizipationssakkaden früher als 90 msec
- Expreßsakkaden 90 msec bis 149 msec
- Reaktionssakkaden 150 msec und später

Diese Unterteilung in die einzelnen Antwortkategorien ist nicht unumstritten, so setzen Boch & Fischer (1983) die Grenze für Expreßsakkaden bereits 70 msec nach dem Reiz an – zeitlich davor sehen alle anderen Autoren ausschließlich antizipatorische Sakkaden. Diese frühe Grenze wird jedoch von anderen Forschern nicht geteilt (Cavegn & Biscaldi, 1995). Galley (1995b) und Munoz et al. (1995) befürworten eine sichere Grenze bei 100 msec, mittlerweile (Churan, 1997) wird eine sinnvolle Grenze bei 90 msec angenommen, was auch die in dieser Arbeit erhobenen Daten nahelegen (siehe Abbildung 21). Die Obergrenze bei 150 msec für Expreßsakkaden

<sup>23</sup> Spitzenbeschleunigung oder Schiefe werden zum Beispiel als zusätzliche Parameter von Becker (1991) als gelegentlich nützlich bezeichnet.



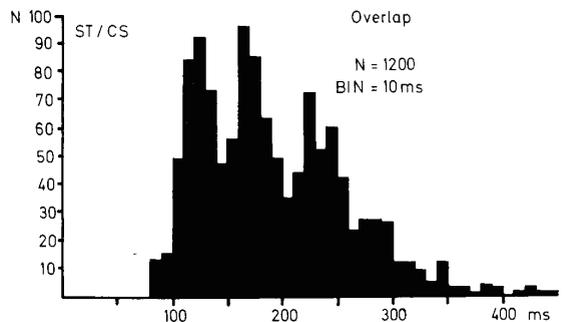
Datenbasis ist die Summe aller im Fahrversuch für diese Arbeit erhobenen Daten, die senkrechten Linien repräsentieren die Grenzen der Sakkadentypen, zum Zeitpunkt „0“ (Latenz = 0) finden die Reizwechsel statt.

**Abbildung 21:** Häufigkeitshistogramm der zeitlichen Abstände der Antwortsakkaden auf den Reizwechsel bei der Blickbewegungsaufgabe Springender Punkt

den ist noch schwieriger zu ziehen. Sie liegt bei anderen Untersuchungen früher (insbesondere bei Arbeiten des Kreises um Fischer (beispielsweise Biscaldi et al., 1995)). Die Wahl eines Grenzwertes von 150msec hat pragmatische Gründe: Diese Grenze stellt weniger eine obere Begrenzung der Expreßsakkaden dar als eine untere der Reaktionssakkaden. Dieser Grenzwert stellt sicher, von dort an ausschließlich Reaktionssakkaden vorzufinden. Eine weitere Sakkadenart, die zwischen Expreßsakkaden und Reaktionssakkaden liegen soll, wird von Fischer (1990, siehe Abbildung 22) postuliert<sup>24</sup>.

Antizipationssakkaden sind als Vorwegnahme der Antwort auf einen erwarteten Reizwechsel zu verstehen. Dies setzt natürlich voraus, daß bereits ein internes Modell über den zu erwartenden Verlauf der Blickbewegungsaufgabe, also des Reizwechsels gebildet wurde. Dies setzt wiederum auch voraus, daß diese Blickbewegungsaufgabe bereits einige Reizwechsel lang andauert, um die Zeit zu haben, ein solches internes Modell aufzubauen.

Die schnellstmöglichen Reaktionen sind die nach nur zirka 100msec einem Reiz folgenden Expreßsakkaden (Fischer & Weber, 1993). Ihre Existenz gilt als gesichert. Sie treten nicht bei



**Abbildung 22:** Expreßsakkaden, schnelle und langsame reguläre Sakkaden, nach Fischer, 1990

allen Menschen gleich häufig auf. Einige neigen stärker zu Expreßsakkaden, andere führen so gut wie keine aus. Die Modellvorstellung der Autoren legt nahe, daß bei der Ausführung einer Expreßsakkade das frontale Augenfeld in Areal

<sup>24</sup> Entsprechende Hinweise darauf, daß diese Fragestellung noch nicht abschließend gelöst ist, gab es bei den Diskussionen auf der Eight European Conference on Eye Movements in Darby im September 1995 während der Sitzung über Expreßsakkaden, bei der Fischer selbst den Vorsitz innehatte.

8 und das parietale Aufmerksamkeitsareal 7 ausgelassen werden (Fischer & Weber, 1993), die normalerweise an Reaktions- oder Antizipations-sakkaden beteiligt sind. Die Sakkade kann somit um die entsprechende Verarbeitungszeit dieser Bereiche schneller ausgelöst werden, also direkt vom optischen Cortex zum Colliculus Superior. Im Gegensatz zu den Expreßsakkaden werden Reaktionssakkaden überwiegend aus dem Parietallappen ausgelöst und Antizipations-sakkaden aus dem Frontallappen. Damit verbunden sind auch unterschiedliche Amplituden beziehungsweise Geschwindigkeiten, was eine getrennte Auswertung nahelegt.

## C2.2 Amplitude

Auf die Sakkadenamplituden wurde im Abschnitt Sakkaden/Orientierungsreaktion bereits eingegangen. An dieser Stelle ist noch nachzutragen, daß bei der Blickbewegungsaufgabe, wie sie in dieser Untersuchung angewendet wird, die Reizamplitude für jeden Teilnehmer individuell aber konstant bei etwas weniger als  $30^\circ$  liegt. Üblich ist, daß Sakkaden in einem solchen Reizwechsel eher unterschätzen, das heißt, der Blick folgt dem Reiz mit etwa 90% der Reizamplitude. Eventuell folgt anschließend eine Korrektursakkade. Sakkaden dieser Größe werden zwar noch als angenehm auszuführen bezeichnet, sie sind aber schon erheblich größer als diejenigen, die normalerweise spontan gemacht werden (bis etwa  $15^\circ$ ). Aus technischen Gründen wurden  $30^\circ$ -Amplituden gewählt, denn da sie bereits als sehr groß einzustufen sind, ergeben sich auch gute Möglichkeiten, Amplitudenverkürzungen und Geschwindigkeitsverringern der Sakkaden zu bestimmen, woraus sich wiederum Leistung und Leistungsmotivation ableiten lassen. Bei Sakkaden um  $7^\circ$  können aktivationsbedingte Änderungen der Sakkadengeschwindigkeit nur sehr schwer nachgewiesen werden (Galley 1998a).

Um die Amplituden der verschiedenen Teilnehmer bei der Blickbewegungsaufgabe Springender Punkt trotz sitzpositionsbedingter Unterschiede in der Reizgröße (Amplitude des Reizwechsels) sinnvoll miteinander vergleichen zu können, werden die Amplituden der Sakkaden als Antwort auf einen Reizwechsel an der Größe des Reizwechsels gemessen (in Prozent – 100% werden erreicht, wenn die Amplitude der Sakkade genau der des Reizwechsels entspricht).

## C2.3 Geschwindigkeit

Unter dem Begriff „Geschwindigkeit einer Sakkade“ wird bevorzugt die Spitzengeschwindigkeit (englisch: peak velocity) verstanden, die stellvertretend für den gesamten Geschwindigkeitsverlauf einer Sakkade steht. Diese Reduzierung einer komplexen Information auf nur einen Parameter scheint eingangs etwas befremdlich, läßt sich jedoch aufgrund der balistischen Flugbahn des Augapfels bei einer Sakkade nicht nur formal, sondern auch inhaltlich hervorragend vertreten.

Die Geschwindigkeit, mit der eine Sakkade ausgeführt wird, läßt sich nicht willentlich beeinflussen. Sie ist primär von der angestrebten Amplitude abhängig. (Siehe Abbildungen 23, 24 und 25, alle drei Grafiken wurden Carpenter, 1988, entnommen.) Man kann die Sakkadengeschwindigkeit also nicht losgelöst von der Sakkadenamplitude betrachten, da sie gekoppelt sind (Collewijn et al., 1988). Collewijn stellte für dieses Verhältnis eine Gleichung (siehe Gleichung 1) auf, die auch auf diese Daten angewendet wurde<sup>25</sup>:

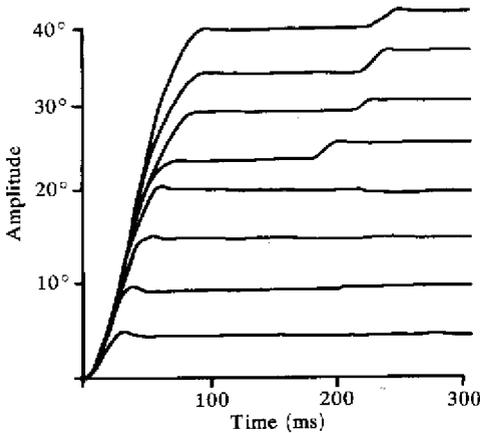
$$V_m = V_0(1 - e^{-A/A_0})$$

**Gleichung 1:** Verhältnis von Sakkadengeschwindigkeit zu Sakkadenamplitude nach Collewijn et al., 1988

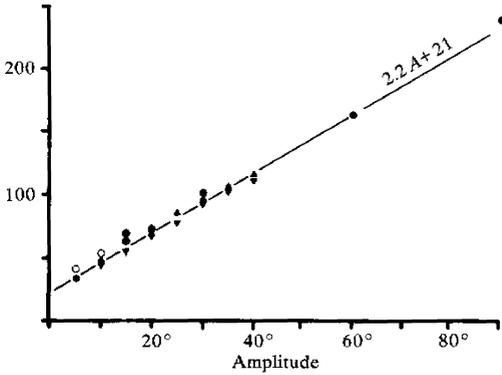
In dieser Gleichung steht  $V_m$  für die Spitzengeschwindigkeit einer Sakkade,  $A$  für die Sakkadenamplitude,  $V_0$  und  $A_0$  sind konstante Werte,  $V_0$  (450 deg/sec) beschreibt die asymptotische Grenze der höchsten Sakkadengeschwindigkeiten,  $A_0$  (7,9 deg) steht für die Sakkadenamplitude, die bei 63% von  $V_0$  erreicht wird. Diese Werte gelten für Sakkadenamplituden bis zu  $30^\circ$ . Bei größeren Amplituden ist  $V_0 = 520$  deg/sec und  $A_0 = 11,2$  deg anzunehmen.

Soll aus der Geschwindigkeit ein Indikator für Aktivations/Anstrengung gemacht werden, muß sie standardisiert werden, also die Geschwindigkeit auf den Normwert für die tatsächlich ausgeführte Amplitude bezogen werden (Galley, 1989).

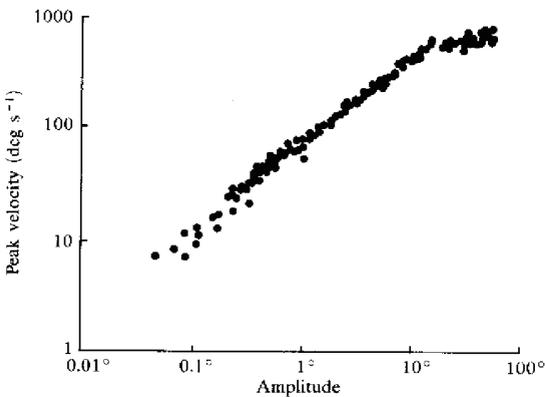
<sup>25</sup> An dieser Stelle muß nochmals mein Dank gegenüber Herrn Prof. Galley für die zur Verfügung gestellte Software, die eben jene Gleichung umsetzt, ausgesprochen werden.



**Abbildung 23:** Sakkaden unterschiedlicher Größe. Die Grafen wurden so überlagert, daß der Anfang jeder Bewegung beim Zeitpunkt Null liegt, zitiert nach Carpenter, 1988



**Abbildung 25:** Sakkadendauer als Funktion der Amplitude, zitiert nach Carpenter, 1988



**Abbildung 24:** Die „Main Sequence“, Sakkadenspitzen Geschwindigkeiten als eine Funktion ihrer Größe, zitiert nach Carpenter, 1988

### C3 Augengleitbewegungen

Unter dem Begriff Augengleitbewegungen werden verschiedene Bewegungen wie Augenfolgebewegungen, optokinetischer- sowie vestibulärer Nystagmus, Vergenzbewegungen und Drifts oder Glissaden subsumiert.

Beim Autofahren spielen gerade die Augenfolgebewegungen eine große Rolle, denn abgese-

hen vom eigenen Fahrzeug und dem Horizont bewegen sich nahezu alle anderen Dinge, die angeblickt und verfolgt werden, relativ zum Fahrer, woran sich das Auge in der Regel für eine Fixationszeit anheftet und dann sozusagen mitgenommen wird von der relativen Ortsveränderung des angeblickten Objektes, wenn selbiges nicht allzu schnell ist.

Ein Nystagmus besteht aus einer Augengleitbewegung und einer Sakkade und kann durch Eigenbewegungen (vestibulär) oder eine sich bewegende Umwelt (optokinetisch) ausgelöst werden. Der optokinetische Nystagmus kann sehr gut beim U-Bahnfahren beobachtet werden, wenn im begrenzten Ausschnitt des Fensters in relativer Nähe der Bahnsteig vorbeizieht und die Augen sägezahnartig die Szene verfolgen.

Augenfolgebewegungen sind cortical gesteuerte, konjugierte Bewegungen beider Augen, wobei die Fovea einem kleinen bewegten Objekt folgt.

Vergenzbewegungen regeln die Stellung der Augäpfel zueinander, insbesondere beim Beobachten extrem naher Gegenstände tritt dieser Effekt deutlich sichtbar auf (Schielen).

Drifts oder Glissaden (Bahill et al., 1978, sehr langsame, häufig asymmetrische Gleitbewegungen der Augen) treten gewöhnlich im Anschluß an Sakkaden auf, sie bringen das Objekt auf beide Foveas und korrigieren under- oder overshoots von Sakkaden.

Augengleitbewegungen stellen in ihrer Summe einen wichtigen Teil innerhalb der Blickbewegungen beim Autofahren dar. Im Rahmen dieser Untersuchung sind sie aber nicht analysiert worden und werden deshalb nur der Vollständigkeit halber hier angeführt.

#### C4 Fixationen

Fixationen sind formal gesehen Zeiten zwischen zwei Sakkaden; wenn sich nichts im Gesichtsfeld bewegt, sind es Zeiten der Ruhe der Augen. Sie dienen der eigentlichen Informationsaufnahme. (Untersuchungen haben gezeigt, daß es in sehr begrenztem Maße auch möglich ist, während einer Sakkade Informationen aufzunehmen.) Fixationen dauern in der Regel mindestens 80msec, können allerdings auch bis zu mehreren Sekunden lang sein, wobei letztere im sozialen Blickkontakt schon eher als unangenehm wahrgenommen wird (sowohl vom Anstarrenden als auch vom Angestarrten). Die Untergrenze von 80msec ergibt sich aus der Zeitspanne, die das menschliche Gehirn für die Berechnung eingegangener visueller Informationen zur Ermittlung eines neuen Fixationsortes, also der dafür notwendigen Sakkade benötigt.

Bewegt sich ein interessantes Objekt im Gesichtsfeld, so heftet das Gehirn den Blick daran und verfolgt es mit den sogenannten Augenfolgebewegungen. Während einer solchen Folgebewegung bleibt das Objekt des Interesses in der Fovea, so daß Fixationen auch als auf dem Blickobjekt ruhender Blick definiert werden können. In dieser Arbeit werden deshalb Fixationen mit Folgebewegungen und Ruhe-Fixationen nicht differenziert.

#### C5 Lidschläge

Auf der Hornhaut, der Cornea, muß regelmäßig der Feuchtfilm erneuert werden, wozu Lidschläge ausgeführt werden. Dabei verteilt das Lid die Tränenflüssigkeit der Tränendrüsen, die im äußeren oberen Lidwinkel sezerniert werden, über die vordere Augenfläche. Im Allgemeinen aber werden erheblich mehr Lidschläge spontan ausgeführt, als das Auge zur Aufrechterhaltung des Feuchtfilms benötigt. Die Spontanrate liegt individuell sehr unterschiedlich zwischen 5 bis 60 Lidschlägen pro

Minute (Stern et al., 1984). Bei näherer Betrachtung der Lidschlußintervalle zeigt sich, daß der Lidschluß um so mehr verzögert, das heißt gehemmt wird, je intensiver der visuelle Kanal überwacht werden muß. So reduziert sich zum Beispiel beim Lesen die Lidschlußrate in der Regel um mehr als 50%.

Ein Lidschluß geht mit einer Pupillenbedeckung, das heißt mit einem Informationsverlust oder besser mit der nicht Verfügbarkeit neuer Informationen, einher, so daß es reichlich Situationen gibt, in denen ein Lidschluß hinderlich bis störend wirkt. Andererseits gibt es viele Situationen bei denen er wenig stört. In der Regel wird also ein Lidschluß so lange unterdrückt, bis sich eine Gelegenheit bietet, den Lidschluß auszuführen, ohne daß er stört. Was sind jetzt solche Situationen, in denen ein Lidschluß gelegen kommt? – Ein Lidschluß, der bis zu 200 msec lang andauert (Stern et al., 1984, Stern et al., 1994), kommt in dem Augenblick gelegen, in dem das System keine Informationen aufnehmen kann, zum Beispiel während einer größeren Sakkade, wie beim Zeilenwechsel während des Lesens, oder wenn das System mit der Informationsverarbeitung so stark beschäftigt ist, daß neue Informationen nicht genutzt werden könnten. Häufig geschieht ein Lidschluß, wenn eine bestimmte Informationsverarbeitung abgeschlossen wurde, zum Beispiel der Blick in den Rückspiegel oder auf den Tacho beendet wird (Galley, 1993b).

Eine höhere Leistung steckt also in der intensiven Überwachung des visuellen Kanals, folglich in der Fähigkeit, einen Lidschluß verhindern und auf einen günstigen Moment warten zu können, des weiteren folgt daraus, daß die Lidschlußfrequenz auch ohne Anstrengung an die Informationsdichte angepaßt werden kann (Galley, Andrés im Druck, Galley et al., 1997).

#### D Blickbewegungsaufgabe Springender Punkt

Aus dem Antwortverhalten der Teilnehmer bei der Anwendung des Springenden Punktes (eine ausführliche Erläuterung der Methode Springender Punkt folgt im entsprechenden Kapitel) ergeben sich weitere, spezielle Parameter (siehe auch Kapitel Parameter der Sakkaden) aus der Vorgabe eines bestimmten zu verfolgenden Reizes: Die Latenzzeit, mit der auf den Reiz, bezie-

hungsweise auf den Reizwechsel geantwortet wird und die Sakkadenamplitude, die mehr oder weniger stark von der Reizamplitude abweichen kann. Die Reizzeitpunkte des Springenden Punktes werden zeitsynchron mit denen des EOGs in einem Datensatz aufgezeichnet.

Beim Verfolgen eines beschleunigten Rechteckreizes sind bei gleichbleibenden Reizorten sowohl Zeitpunkt des Erscheinens als auch Ort des jeweils folgenden Reizes für den Teilnehmer leicht vorhersehbar. Es gibt für den Probanden verschiedene Möglichkeiten, mit diesem im Prinzip vorhersehbaren Ereignis umzugehen:

- Er wartet auf einen Reizwechsel und reagiert dann (**Reaktionssakkade**).
- Er sagt den Reizwechsel vorher (**Antizipationssakkade**).
- Zwischen einer Reaktionssakkade und einer Antizipationssakkade liegt, wie erwähnt und empirisch von Fischer & Weber (1993) nachgewiesen, der Zeitraum, in dem eine **Expreßsakkade** ausgeführt werden kann.
- Eine vierte Möglichkeit besteht darin, auf einen Reizwechsel nicht zu antworten, also in einer **Auslassung**.
- Lidschläge können Antwortsakkaden maskieren. Diese werden aber vom Auswertungsprogramm nach bestimmten Kriterien überprüft und im positiven Fall als Antwort akzeptiert. Auslassungen können im Prinzip auch auf Fehlern des Sakkadenidentifizierungsprogramms beruhen, wenn dieses keine Sakkade erkannt hat, wo in Wirklichkeit eine vorhanden war. Beide Fälle sind selten (weniger als 2% der Antworten, Galley mündliche Mitteilung).
- Andere Auslassungen mögen daher rühren, daß der Proband, statt mittels einer Augenbewegung den Reiz in der Fovea zu behalten, eine **Verschiebung der Aufmerksamkeit** auf das periphere Bild des Reizes vorgenommen hat (Theeuwes, 1992).

Beim Springenden Punkt lassen sich verschiedene Leistungsindikatoren definieren (Galley 1993a): Einerseits die Reaktions- als auch die Antizipationslatenzzeiten. Weiterhin hat sich der Anteil der Antizipationssakkaden wie auch der Anteil der Auslassungen an den Gesamtantworten als Leistungsindikatoren bewährt, da sie

z.B. mit der Handlungsintelligenz korrelieren (Galley & Galley 1999). Weniger geeignet sind die Anteile von Reaktions- und Expreßsakkaden. Aber auch die Sakkadenamplituden sind im Prinzip als Leistungsmaß geeignet, auch wenn sie sich im Labor als zweitrangig erwiesen haben. Im Feldversuch erweisen sie sich jedoch aus folgenden Gründen als problematisch: Da Kopfbewegungen des Teilnehmers im Fahrzeug zugelassen werden müssen (aus leicht nachvollziehbaren Gründen), ist es also auch leicht möglich, daß sich im Laufe des Versuches die Entfernung des Kopfes zum Reizgerät geändert hat. Folglich kann eine Änderung der Sakkadenamplitude nicht sicher auf eine der beiden Faktoren zurückgeführt werden:

- die erwartete Änderung der Amplitude aufgrund der Beanspruchung oder der Wirkungen der Monotonie
- die unerwünschte Änderung der Amplitude aufgrund der veränderten Sitzposition

Eine weitere Beobachtung erscheint noch schwerwiegender: Während der zwanzig Sekunden, die die Blickbewegungsaufgabe andauert, ist der Teilnehmer auf das Gerät auf der Konsole fixiert (siehe zum Beispiel die Abbildung auf der Titelseite der Abbildung 38), muß aber dabei weiterfahren, obwohl er aufgrund der Nahakkommodation Informationen der Straße (Spurführung, Abstand vom Vorausfahrenden und so weiter) nur eingeschränkt aufnehmen kann. Dies führt manchmal dazu, daß die Sakkaden erheblich größer als notwendig durchgeführt werden, um den Straßenverlauf rechts und links der Hardware zu erhaschen<sup>26</sup>. Die Konse-

<sup>26</sup> Dies entspricht in etwa den Erfahrungen, die der Autor mit dem Springenden Punkt auf der Autobahn gewonnen hat. Während der Ausführung des Springenden Punktes hat er sich, um das Fahrzeug auf der Spur zu halten, an den Straßenmarkierungen auf der Autobahn orientiert. Insbesondere am Anfang des Springenden Punktes, als die Reizwechselfrequenz noch nicht sehr hoch war, hatte er ausreichend Zeit, das „Verhalten“ der Markierungen zu beobachten, als jedoch die Reizwechselfrequenz zunahm, gab es nicht mehr diese Möglichkeit, die Markierungen in der beschriebenen Form zu verfolgen, so daß er dazu überging, sich die Bereiche, in denen die Markierungen im Sichtfeld auftraten, für jede Seite getrennt zu merken, um so die für ihn notwendigen Informationen zu generieren. Er kann nicht sagen, ob er dabei wirklich noch dem Springenden Punkt richtig gefolgt ist oder ob er nicht „nur“ synchron mit dem Springenden

quenz daraus wäre, daß die Sakkadenamplitude weniger von der Reizwechselamplitude determiniert wird als viel mehr von der Baubreite der Hardware (siehe Abbildung 38) und dem individuellen Sicherheits- respektive Informationsbedürfnis über den Straßenverlauf und die eigene Position auf der Straße. Damit scheint die Sakkadenamplitude nur drittrangig in Frage zu kommen:

- die Reizamplitude interferiert mit der Baubreite der Hardware.

---

*(Fortsetzung)*

Punkt seinen fovealen Blick auf die Straßenmarkierungen gelenkt hat. Einschränkend zu diesen persönlichen Erfahrungen muß er allerdings auch gestehen, daß er erstens nicht die an die Versuchsteilnehmer gestellten Anforderungen, was die große Fahrerfahrungen angeht, erfüllt, zweitens es ihm nie so einfach fiel, den Springenden Punkt während der Autobahnfahrt durchzuführen, wie es ihm von den Versuchsteilnehmern oder dritten geschildert wurde, und schließlich drittens, daß ihm auch keiner derjenigen, die diese Blickbewegungsaufgabe während der Autobahnfahrt durchgeführt hatten, jemals von ähnlichen Eindrücken berichtet hatte.

## Hypothesen

Der Aufbau der nachfolgenden Kapitel ist jeweils derselbe: Ein einleitender Absatz stellt die Hypothese in reiner Prosa auf, dem schließt sich eine formelhaft/tabellarische Darstellung desselben Inhalts an, abschließend wird die Hypothese anhand des Modells (Reitter & Galley) und mit Hilfe der getroffenen Operationalisierungen vor dem Hintergrund des Feldversuches ausführlich begründet.

### A Hypothese zur Leistung

Die Leistung sollte sich verringern (es ist zu erwarten, daß bei den Teilnehmern eine Enthemmung stattfindet, da eine hohe Priorität auf das grundsätzliche Einhalten der Taktzyklen des Springenden Punktes gelegt wird, weniger auf die Güte der exakten Verfolgung des Springenden Punktes, so daß sich die physiologischen Parameter von der ersten zur zweiten Hälfte der Fahrtdauer für den Springenden Punkt wie folgt verhalten werden):

- Die Antwortenverteilung ändert sich nicht, Ausnahme: frühe Antizipationssakkaden nehmen leicht zu.
- Die Amplituden aller Sakkaden verringern sich, nehmen Standardwerte an.
- Die Geschwindigkeiten aller Sakkaden verringern sich.
- Die Zeitpunkte, zu denen Sakkaden gestartet werden, ändern sich nicht.

### Begründung:

Wie sich die Antwortverteilungen als Reaktion auf den Reizwechsel des Springenden Punktes verhalten werden, ist nicht eindeutig vorhersagbar. Einerseits sind die Antwortverteilungen (sowie die Zeitpunkte, an denen Sakkaden gestartet werden) als Eigenarten von Teilnehmern zu betrachten (Boldt, 1994); sie sind recht stabil für die jeweilige Person, es ist deshalb nicht davon auszugehen, daß sich bei diesen Werten signifikante Unterschiede zeigen werden<sup>1</sup>. Andererseits ist eine Zunahme von frühen Antizipations-sakkaden anzunehmen, dies ist dann als ein Zei-

chen der Enthemmung zu deuten. Daß sich jedoch auch die Zeitpunkte, zu denen die Sakkaden gestartet werden, wesentlich, also signifikant ändern werden, ist nicht anzunehmen, da dies genau der Leistungsvereinbarung entspricht, die nach der Operationalisierung, welche im Kapitel Theoretische Grundlagen vorgenommen wurde, als eine geregelte Größe angesehen werden muß. Beim Bearbeiten des Springenden Punktes ist also den richtigen Zeitpunkt zu treffen die eigentliche Aufgabe, die die Teilnehmer zu erfüllen haben.

Eindeutiger dagegen sind die Änderungen von Amplituden oder Geschwindigkeiten, denn diese unterliegen sehr wohl den Einflüssen der aktuellen Leistungsfähigkeit oder Leistungsmotivation. Das Modell sagt im Falle der Geschwindigkeit voraus, daß sie sich verringert. Die Geschwindigkeit einer Sakkade ist über ihre Amplitude abhängig von der Entladung der entsprechenden Burstneuronen. Dieser Zusammenhang ist in der Literatur seit langem bekannt und wird als **fast** linear angenommen (siehe Gleichung 1). Die Entladung der Neuronen ist wiederum ein Spiegel des Aktivationsniveaus. Anders verhält es sich bei den Amplituden. In ihnen steckt die eigentliche Leistung des Pro-

<sup>1</sup> Es kann andererseits auch der Fall eintreten, daß der Anteil der Antizipationssakkaden leicht steigt. Übungseffekte konnten bei entsprechenden Versuchen bisher ausgeschlossen werden, die entsprechenden Untersuchungen dauerten jedoch niemals so lange an, wie die Fahrten nach Rostock und zurück (zirka sechs Stunden). Da das Reagieren als Antwort auf den Reizwechsel des Springenden Punktes erfahrungsgemäß anstrengender ist als das Antizipieren des Reizwechsels des Springenden Punktes, kann es sein, daß im Sinne der Schonung der Ressourcen die Teilnehmer eine leichte Verschiebung hin zu den Antizipationssakkaden in der zweiten Hälfte der Fahrt vornehmen. Entsprechend ist eine Abnahme der Anteile der Reaktionssakkaden zu erwarten. Expreßsakkaden oder Auslassungen dürften von diesem Phänomen nicht in der Form betroffen sein. Erstere Hypothese scheint wahrscheinlicher, die zweite sollte jedoch nicht unberücksichtigt bleiben. Eine Entscheidung sollte sich aus den Ergebnissen des Versuchs ableiten lassen.

banden. Die Amplituden lassen zwar nach, aber aus einem völlig anderen Grunde als die Sakkadengeschwindigkeiten. Hier ist nicht mehr das Aktivationsniveau als solches ausschlaggebend, sondern die Motivation. Mit der Ermüdung und der damit einhergehenden Einschränkung der Schemaliste auf in diesem Falle drei Schemata „Wachbleiben“, „Spurhalten“ und „Springender Punkt“ ist deutlich abzulesen<sup>2</sup>, daß zwar für die beiden ersten Schemata noch genügend Ressourcen verfügbar gemacht werden können, das dritte Schema aber bereits Einschränkungen in der Form hinnehmen muß, daß es nachlässiger ausgeführt wird, nicht mehr die nötige Konzentration aufgebracht wird, die Augenbewegungen, sprich die Amplituden, dem Reiz wirklich akkurat folgen zu lassen.

Eine Schwierigkeit wird sich jedoch bei den Amplituden aus dem Versuchsdesign ergeben, was die Nachweisbarkeit der diesbezüglichen Hypothesen erheblich einschränken kann. Es muß davon ausgegangen werden, daß sich die Sitzposition respektive der Abstand des Kopfes zum Springenden Punkt (der Hardware) im Laufe der Versuchsdauer ändern wird. Da der Abstand Auge/Springender Punkt direkt in die Amplitudengröße eingeht, er sich während des Versuches jedoch nicht kontinuierlich feststellen läßt, müssen die entsprechenden Parameter also mit großen Vorbehalten betrachtet werden.

## B Hypothese zur Ermüdung

Die Ermüdung sollte zunehmen (bei den spontanen Blickbewegungen ist ein Nachlassen der Umweltüberwachung, ein Nachlassen der Hemmung und eine Orientierung des bevorzugten Blickortes zum Horizont zu erwarten):

- Die Anzahl der Sakkaden (als Kehrwert der Fixationsdauer) bleibt gleich.
- Die Sakkadengeschwindigkeit verringert sich.
- Die Sakkadendauer erhöht sich.
- Die mittlere Sakkadenamplitude verringert sich (Richtung Standardverhalten).
- Die mittlere Fixationsdauer verringert sich (Richtung Standardverhalten, beziehungsweise wird gesplittet, siehe nächsten Punkt).
- Die Anzahl überlanger Fixationsdauern (> 600 msec) erhöht sich.
- Die Anzahl der Lidschläge ist nicht prognostizierbar.

- Die Lidschlußgeschwindigkeit verringert sich.
- Die Lidschlußdauer erhöht sich.
- Die Anzahl überlanger Lidschlußdauern (> 190 msec) erhöht sich.
- Die Lidschlußamplitude verringert sich (Voraussetzung: kein Absenken des Kopfes).
- Die mittleren Lidschlußintervalle verringern sich.
- Die Anzahl überlanger Lidschlußintervalle (> 3000 msec) erhöht sich.

### Begründung:

Das spontane Blickverhalten<sup>3</sup> willentlich nicht steuern zu können, heißt, daß niemand beispielsweise die Sakkadengeschwindigkeit beeinflussen kann – **das System führt jede Sakkade immer so gut aus, wie es dazu augenblicklich in der Lage ist**, nicht besser, nicht schlechter, sondern einfach **optimal**. Die Konsequenzen, die hieraus erwachsen, lassen sich hervorragend mit dem Modell belegen. Wie schon oben dargelegt, müßten die Teilnehmer im Laufe der Versuchsfahrten ermüden. Das gesamte Aktivationsniveau wird abgesenkt. Dies hat zur Folge, daß alle mit „Geschwindigkeit“ behafteten Parameter der Sakkaden und Lidschläge sich verringern, alle mit „Dauer“ behafteten Parameter der Sakkaden und Lidschläge sich erhöhen. Die Amplituden wie die Fixationsdauern verringern sich und streben ein Standardverhalten an, gleichzeitig steigt allerdings auch die Anzahl überlanger Fixationen, was als ein Zeichen nachlassenden Interesses an der Umwelt gewertet werden muß. Wobei dies auch ein Spiegel der eingeschränkten Schemaliste ist, mit der nur noch sehr wenige Ziele gleichzeitig verfolgt werden. Die Anzahl überlanger Lidschlußdauern erhöht sich, was als untrügliches Zeichen für Ermüdung angesehen werden muß, da das Öffnen des Lides ein Kraftakt ist, wie es bei stark abgesenktem Aktivationsniveau von jedermann leicht zu erfahren ist. Die Lidschlußintervalle

<sup>2</sup> Die Reihenfolge, in der die möglichen Schemata aufgelistet sind, ist nicht willkürlich, sondern entspricht des Autors Einschätzung ihrer jeweiligen Priorität für den Probanden. Im Selbststudium hat er ein solches Verhalten auch an sich selbst beobachtet.

<sup>3</sup> Das spontane Blickverhalten jedes Menschen ist eine durch Jahrmillionen geprägte und evolutionär geformte Handlungsweise, über die weder nachgedacht wird noch wird sie willentlich beeinflusst.

verkürzen sich, da sie mittels Hemmungen verlängert werden. Diese Hemmung aufrechtzuerhalten ist nicht ohne ein gewisses Maß an Anstrengung, Effort zu vollbringen, doch gerade dieser ist nicht mehr ohne weiteres verfügbar. Die Anzahl der Lidschläge ist kein sehr gut vorhersagbares Maß, obwohl es, was Ermüdung betrifft, von vielen als sehr informationshaltig angesehen wird. Galley et al. (1997) konnten jedoch von vierzig nur bei elf Versuchsteilnehmern Änderungen der Anzahl der Lidschläge feststellen, wobei diese dann noch nicht einmal alle in dieselbe Richtung wiesen, bei acht von ihnen nahm die Anzahl der Lidschläge zu, bei den drei anderen nahm sie ab, so daß bei einer Stichprobe von nur sechs Teilnehmern überhaupt keine aussagekräftigen Ergebnisse zu erwarten sind. Im Gegensatz dazu erhöht sich allerdings die Anzahl überlanger Lidschlußintervalle, was bereits in den Bereich des Träumens mit offenen Augen reicht. Diese gesamten Auswirkungen können natürlich durch gesteigerte Konzentration jederzeit kompensiert werden. Zum Erfüllen der Hauptaufgabe, des Spurhaltens, ist eine solche Konzentrationsleistung gar nicht notwendig, beziehungsweise auf Dauer zu aufwendig, doch in besonderen Situationen, in denen zum Beispiel eine Gefahr wahrgenommen wird, wird die Anstrengung unternommen, sich noch einmal zu konzentrieren.

Obwohl sich so vieles an den oben beschriebenen Parametern ändern wird, ist jedoch zu erwarten, daß sich das Standardverhalten **nicht** ändern wird. Dies trifft in erster Linie die Anzahl der „gewöhnlichen“ Sakkaden sowie die Anzahl der „gewöhnlichen“ Lidschläge. Diese beiden Parameter sind evolutionär so stark gefestigt, daß sich dort keine Änderungen erwarten lassen. Unter Umständen muß auch angenommen werden, daß sich auch andere Parameter nicht wesentlich ändern, da auch sie entsprechend stark gefestigt sind, daß ihnen Beanspruchung oder Ermüdung in der dargebotenen Form nichts „anhaben“ kann. Die zu erwartenden Änderungen im Verhalten der Teilnehmer läßt sich summarisch vielleicht mit dem Begriff „stierendes“ Verhalten klassifizieren, das seine Ursache im Kampf gegen die Ermüdung hat und in erster Linie für eine Reduktion der Aufgaben/Ziele im Sinne des Aufrechterhaltens der unbedingt notwendigen (Kontroll-) Funktionen als Hauptaufgabe sorgt.

## C Hypothese zur Versuchsvariation

Als Versuchsvariationen sind zum Standardfahrzeug zwei verschiedene Verstärkungen des Hintergrundgeräusches, welches dann Online in das Fahrzeug eingespielt wird, vorgesehen. Die erste Versuchsbedingung (Variation ohne) stellt das Standardfahrzeug dar, an dem keinerlei Modifikationen vorgenommen wurden, die andere wird durch das Einspielen hoher Geräuschkomponenten realisiert (Variation hoch) und die letzte durch das Einspielen tiefer (Variation tief). Die Versuchsvariationen lassen sich bezüglich Ihrer Auswirkungen auf Beanspruchung und Monotonie in eine Rangreihenfolge bringen, es gibt zwei konkurrierende Haupthypothesen: Die eine Hypothese ist, die Fahrten ohne Variationen schneiden besser (geringere Beanspruchung) als die anderen beiden ab. Die andere Hypothese ist, die Fahrten mit Variationen schneiden besser ab, da die Variation aktivierend wirkt. Für letztere gibt es noch zwei Alternativen, denn was die beiden schlechter abschneidenden Variationen angeht, gilt dort entweder, daß die Variation mit hohen Geräuschkomponenten aufgrund der aktivierenden Wirkung noch besser ist als der Fall ohne Variation, oder aber, daß die Variation mit hohen Geräuschkomponenten bereits so unangenehm ist, daß er am schlechtesten abschneidet. Die resultierende Frage ist also, wo werden die Fahrten ohne Variation eingereiht? – Klar scheint, Variationen mit tiefen Geräuschanteilen sind besser als solche mit hohen, dies geht auch aus dem Vorversuch zur Belastungsart (Sounds) (siehe dort) hervor.

Rangreihenfolge der Fahrten:

- Ohne, Tief, Hoch
- Tief, Ohne, Hoch
- Tief, Hoch, Ohne

Die Rangreihenfolgen sollten sich in den Ergebnissen der unterschiedlichen Parameter entsprechend niederschlagen.

### Begründung:

Geräusche sind als solche problematisch, dies soll nicht nur an dem Beispiel des Musikhörens demonstriert werden (nach Wilhelm Busch, „Der Maulwurf“: „Musik wird oft nicht schön gefunden, weil sie stets mit Geräusch verbunden“). Ein anderes, relevanteres Beispiel soll

den Zusammenhang klären: Neben einem Netzwerkdrucker zu arbeiten, ist in der Regel eher unangenehm, insbesondere wegen der damit verbundenen Lärmbelastung, ist es aber der eigene Druckauftrag, der gerade bearbeitet wird, wird die Lärmbelastung als nicht so hoch wie sonst empfunden. Dieses Beispiel demonstriert jedoch erst eine Facette von Geräuschen in der Arbeitsumgebung. Eine andere Facette ist die Informationshaltigkeit von Geräuschen. Auch hierzu ein Beispiel: Volkswagen entwickelte gemeinsam mit der Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr einen sehr sparsamen Motor, der sich sofort ausschaltete, wenn er lastfrei lief. Herr Prof. Appel berichtete in einer entsprechenden Vorlesung, daß genau das Abschalten, damit einhergehend der Verlust an akustischen Informationen über den Zustand des Fahrzeuges, ein großes Problem für die Fahrer darstellte. Eine dritte und letzte Facette aus dem Bereich der Geräusche scheint allerdings den wesentlichen Ausschlag zu geben: Geräusche wirken aktivierend, zumindest alle lauten Geräusche. Auch den Geräuschen beider vorangegangener Beispiele muß unterstellt werden, daß sie aktivierend wirken, schließlich können zum Beispiel Orientierungsreaktionen durch diese Geräusche ausgelöst werden. Die Zusammenhänge von Geräuschen und Aktivierung wurden in verschiedenen Veröffentlichungen nachgewiesen (Unema, 1995, McBain, 1961, Jones, 1983, Koelega & Brinkman, 1986), und deren Konsequenzen müssen auch in dem Modell berücksichtigt werden. Geräusche werden demnach von den Sensory Perceptual Structures aufgenommen und erhöhen allgemein und unspezifisch das Aktivationsniveau mit den entsprechenden Konsequenzen. Die Frage ist folglich, wo innerhalb der Rangreihenfolge ordnen sich die Fahrten ohne Sound ein? Sind die Soundbeaufschlagungen so gering, daß sie das Aktivationsniveau leicht heben, und in dieser Form stimulierend wirken, entsprechend die Beanspruchung verringern, weil weniger in den Kampf gegen die Neigung einzuschlafen investiert werden muß? Oder sind die Soundbeaufschlagungen zwar stimulierend, jedoch bereits so stark stimulierend, daß damit ein erhöhter Ressourcenverbrauch, zusätzlich zum Kampf gegen die Neigung einzuschlafen, einhergeht, der dann zu einer erhöhten Beanspruchung führt? Im ersten Falle gilt die Rangreihenfolge „Ohne, Tief, Hoch“, im zweiten Falle eine der beiden ande-

ren. Eine Abschätzung, ob ohne Variationen an die zweite oder dritte Position innerhalb der Rangreihenfolge rutscht, ist mit dem Modell jedoch nicht möglich. Die Klärung dieser Frage beinhaltet damit auch gleich maßgeblich die Beantwortung der Aufgabenstellung dieser Arbeit.

## Methoden

Einer der grundlegenden Ansätze dieser Arbeit basiert auf der Messung von Ermüdung mittels Blickbewegungen, um hieraus auf die Beanspruchung durch Geräuschvariationen zu schließen. Die theoretischen Grundlagen der Blickbewegungen wurden hierfür von Galley (1990) gelegt, in Laborversuchen (Boltdt, 1994, Churan, 1997) wurde deren Validität nachgewiesen. Dafür kommt, wie in der zitierten Literatur auch angewendet, in erster Linie ein EOG (wird im folgenden erläutert) in Frage, da es in der Lage ist, Blickbewegungen in einer zeitlichen und räumlichen geeigneten Auflösung zu messen, um die zuvor aufgestellten Hypothesen zu verifizieren oder zu falsifizieren. Die Methode der Wahl, die im besonderen Parameter über den allgemeinen Zustand des Teilnehmers zu bestimmten Zeitpunkten liefern soll, ist der Springende Punkt (wird im folgenden erläutert). Ferner werden Außenkriterien benötigt, an denen die Ergebnisse der Blickbewegungen validiert werden können, dazu bieten sich unter anderem Fragebögen an: EZ34-Fragebogen (Gottlieb et al., 1995, Reitter & Hatzius, 1995), TLX-Fragebogen (Cseriac, 1996, Hart & Staveland, 1988, Nasa, 1986). Beide messen leider nur über den gesamten Zeitraum einer Versuchsfahrt. Eine andere Möglichkeit der Befragung tut not, die wie der Springende Punkt zu diskreten Zeitpunkten (alle zwölf Minuten, bis zu sechs Stunden lang) Auskunft über den jeweils aktuellen Zustand des Teilnehmers gibt. Eine solche Methode konnte in der Literatur nicht gefunden werden, so daß eine eigene Befragungsmethode entwickelt werden mußte: Befragung mittels Proteus (Erke, 1998).

Andere zur Verfügung stehende Methoden wurden verworfen. Entweder, weil sie genau dasselbe messen wie die bereits aufgeführten, was also nur den Aufwand im Versuch und der sich anschließenden Auswertung erhöht hätte, ohne essentiell Neues zu den Ergebnissen beizutragen, oder, weil sie nicht ausreichend genau (zeitliche oder räumliche Auflösung) messen. Dies betrifft insbesondere weitere Fragebögen oder Interviews, andere physiologische Meßgrößen wie

EKG, EDA, EMG und andere Meßverfahren für die Blickbewegungen wie das ETS. Andere Verfahren wie beispielsweise das EEG oder Hormonmessungen standen, obwohl sie unter Umständen sehr interessante Aspekte hätten beleuchten können<sup>1</sup>, mangels Verfügbarkeit nicht zur Disposition.

Es gibt unterschiedliche Verfahren, Blickbewegungen zu registrieren (Galley, 1998b im Druck, FAT Bericht, 1996). Zum Feldeinsatz standen zum Beispiel das EOG (Elektrookulogramm der Firma PAR-Elektronik) und das ETS (Eye Tracking System der Dornier AG) zur Verfügung, so daß eine Auswahl zwischen diesen beiden Systemen zu treffen war. Das ETS zeichnet Blickbewegungen mit 50Hz auf, was für die Auswertung von Sakkadenparametern (wie bei Latenz und Geschwindigkeit angesprochen) um mindestens eine Zehnerpotenz zu langsam ist. Der Nachteil der mangelnden räumlichen Stabilität des mit 1kHz arbeitenden EOG kann dann hingenommen werden, wenn die Aufgabe keine Auswertung des Blickortes einschließt, wie es bei der Bearbeitung der vorgesehenen Blickbewegungsaufgabe der Fall ist.

### A EOG als Registrierungsmethode für Blickbewegungen

Für die Aufzeichnung der Blickbewegungen und der Lidschläge fand ein EOG der Firma PAR Elektronik<sup>2</sup> Verwendung. In Verbindung mit einem zum Lieferumfang gehörenden Online Sakkadenerkennung (Königstein, 1989) erlaubt es sowohl Sakkaden, Lidschläge als auch Reizwechsel, wie sie der Springende Punkt (siehe unten) bietet, aufzuzeichnen.

<sup>1</sup> Kugler (1991), Kugler et al. (1992) oder Kugler et al. (1996) haben über die Bestimmung des Kortisolgehaltes im Speichel gearbeitet und in letztgenannter Arbeit beispielsweise sehr interessante Ergebnisse über die Streßbelastung von Fußballtrainern der deutschen Fußballbundesliga während eines Spieles gewonnen.

<sup>2</sup> Validierungsuntersuchungen zum EOG: unter anderem Galley (1989) oder Galley (1998a).



**Abbildung 26:** Versuchsteilnehmerin mit EOG-Hautelektroden beklebt

Das Meßprinzip basiert auf dem vektoriellen Abgriff eines sogenannten corneo-retinalen Bestandpotentials (Galley, 1995a), das durch die Millionen gleich ausgerichteter Sehzellen in der Retina aufgebaut wird, welches mittels in Augennähe angebrachter Ag-AgCl-Hautelektroden abgenommen wird (siehe Abbildung 26) und nach entsprechender Verstärkung der Gleichspannungsdifferenz zwischen zwei einander gegenüberliegenden Elektroden über einen weiten Bereich lineare Werte proportional der Augenstellung im Kopf liefert.

Mit einer Abtastrate von 1 kHz ermöglicht das verwendete EOG eine räumliche Auflösung von 0,5 – 1,5 Grad in einem horizontalen Meßbereich (und dieser interessiert hier besonders) von  $\pm 40$  Grad. Die weiteren technischen Daten des Verstärkers sind<sup>3</sup>:

- Verstärkungsfaktor = 2500
- Gleichtaktunterdrückung = 106 dB
- Tiefpassfilter fünfter Ordnung,  
Grenzfrequenz = 50 Hz

### **A1 Grundsätzliche Schwierigkeiten beim Umgang mit dem EOG**

Das Verfahren, mit Hilfe des EOGs Blickbewegungen zu messen, birgt einige grundsätzliche Schwierigkeiten. Die erste und gravierendste des EOG ist dessen mangelnde Ortsfestigkeit. Das heißt, daß die Verstärker einen kleinen Shift aufweisen, der dazu führt, daß das Auge scheinbar leichte Bewegungen vollführt, obwohl es ru-

hig gehalten wird (Fixation). Dies führt dazu, daß die Blickzuwendung zu einem bestimmten Punkt (Fixation) nur für einen kurzen Zeitraum (wenige Minuten) nach der Kalibrierung mit Sicherheit bestimmt werden kann, davon nicht betroffen sind in einem weiten Bereich jedoch relative Blickbewegungen, also Sakkaden im eigentlichen Sinne.

Das Problem mangelnder Ortsfestigkeit ist seit langem bekannt und wurde werkseitig bereits insofern berücksichtigt, als daß die Daten eine permanente Korrektur (Rekalibrierung mittels der speziellen EOG-Verstärker) in Richtung Geradeausblick erfahren. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, daß der Shift einen systematischen Fehler im EOG darstellt und somit auch mit entsprechendem Aufwand eliminiert werden kann, doch spielt dieser Fehler, der sich aus dem Shift ergibt, bei dieser Anwendung keine tragende Rolle, da sowohl die Korrekturen als auch die Shifts mit sehr geringen Geschwindigkeiten (entsprechend auch mit sehr geringen, die Sakkadengröße kaum verfälschenden Amplituden) durchgeführt werden beziehungsweise auftreten und entsprechend kaum einen Einfluß auf die Berechnung der Sakkadenparameter haben, die mit sehr hohen Geschwindigkeiten und Amplituden aufwarten.

Ein weiterer systematischer Fehler ist in den sich ändernden Übergangswiderständen zwischen Elektrode des EOG und der Haut des Probanden festzustellen. Dieser Fehler wird zum einen (1) durch das Eindringen des Elektrolytes in die Haut des Probanden hervorgerufen. Das Elektrolyt wird so stark aufgetragen, daß eine Sättigung des Elektrolytes in der Haut erfolgen kann. Dieser Vorgang folgt einer logarithmischen Funktion, die sich einem stabilen Widerstandswert asymptotisch annähert. Es ist müßig diesen Fehler analytisch zu beheben, da nach 10 bis 15 Minuten bereits kaum mehr eine Änderung des Übergangswiderstandes festgestellt werden kann, so daß dieses Phänomen während des eigentlichen Versuchs nicht mehr auftritt: Die Elektroden werden recht früh appliziert, um anschließend den angesprochenen Zeitraum sinnvoll mit Instruktionen, Fragebögen oder an-

<sup>3</sup> Diese Informationen konnten dem Autor nur mündlich mitgeteilt werden, da die Herstellerfirma offensichtlich nicht in der Lage ist, Kunden die ansonsten üblichen technischen Datenblätter zur Verfügung zu stellen.

deren Gesprächen zu überbrücken, bevor dann das EOG kalibriert wird. Diese Vorgehensweise wird im Allgemeinen bei allen EOG-Anwendungen praktiziert und führt zu replizierbaren Ergebnissen. Zum anderen (2) treten während der Messungen Veränderungen des Elektroden-Haut-Übergangswiderstandes, dem sogenannten Shift des Gleichspannungspotentials auf. Der Shift hat eine Zeitkonstante im Sekundenbereich. Dieser Fehler wird, wie oben bereits dargestellt, mittels der EOG-Verstärker kompensiert, außerdem ist dieser Fehler für die Berechnung von Sakkaden in höchstem Grade irrelevant, da die zur Berechnung einer Sakkade benutzten Flanken des EOG-Signals maximal eine zehntel Sekunde auseinander liegen, die Änderung durch den Shift folglich überhaupt nicht zum Tragen kommt. Ein letzter Grund (3), diesen Fehler vernachlässigen zu dürfen, liegt in der allgemeinen Funktionsweise des EOG. Die Kalibrierung (die Zuordnung einer Potentialdifferenz zu einem Blickwinkel) ist unabhängig vom Shift.

Eine andere Schwachstelle liegt selbstverständlich in dem Signal selber, welches durch das EEG und das EMG verrauscht wird. Ein entsprechender Filter (Juhola, 1991) ist zwar in dem Sakkadenerkennung implementiert, Fehler können, insbesondere im vertikalen EOG dennoch nicht völlig ausgeschlossen werden. In dieser Untersuchung hat das vertikale EOG jedoch keinen großen Stellenwert, da die beobachtbaren Sakkaden in erster Linie aus dem horizontalen EOG abgeleitet werden. Das vertikale EOG wird fast ausschließlich dazu benutzt, Lidschläge zu detektieren. Ein Lidschluß ist im EOG als ein Artefakt des EMG anzusehen<sup>4</sup>, der seinerseits das EOG massiv stört, jedoch so eindeutig und kräftig ist, daß er als solcher jederzeit sicher detektiert werden kann.

Sorgen bereiten des weiteren beleuchtungsbedingte Veränderungen des Corneo-Retinalen-Bestandspotentials. Aanta (1970) ermittelte einen Faktor 1:2 für den Unterschied zwischen photopischen (während des Tages) und skotopischen (während der Dämmerung) Beleuchtungsbedingungen. Da die Versuche ausschließlich tagsüber unter für den einzelnen Tag verhältnismäßig gleichbleibenden Beleuchtungsbedingungen (Wolken und Sonnenstand sind hier die relevanten Bedingungen) stattfinden, darf davon ausgegangen werden, daß auftretende Änderun-

gen bedingt durch wechselnde Beleuchtungsbedingungen einerseits kleiner als 10% sind andererseits das Ergebnis nicht systematisch verfälschen.

Aktivationsabhängige Änderungen des Corneo-Retinalen-Bestandspotentials wurde von Kris (1957) gefordert, Aanta (1970) beschreibt sie jedoch als vernachlässigbar klein (1,25 mV um 8 Uhr, 1,16 mV um 12 Uhr, 1,15 mV um 16 Uhr und 1,09 mV um 20 Uhr). Nach einer mündlichen Mitteilung (Galley, August 1999) konnten in diesbezüglichen Versuchen in seinem Labor nicht bei allen Probanden eine solche Abnahme nachgewiesen werden, ihr Einfluß wurde auf maximal 5% eingeschätzt und ist hiermit als gering zu klassifizieren.

Ein letzter Schwachpunkt des EOG liegt darin, daß es nicht kontaktfrei mißt wie einige andere Meßverfahren, zum Beispiel das Cornea-Reflex-Verfahren. Erfahrungen mit dem EOG besagen aber erfreulicher Weise, daß länger andauernde Beeinträchtigungen der Teilnehmer nicht auftreten, die Teilnehmer sich bereits nach wenigen Minuten nicht mehr der an ihnen klebenden Elektroden bewußt sind (Abbildung 26, Reitter & Hatzius, 1995).

Zusammenfassend muß festgestellt werden, daß es eine beachtliche Reihe von Einflußgrößen gibt, die Messungen mit Hilfe des EOG verfälschen können. Grundsätzlich muß an dieser Stelle jedoch hierzu auch angemerkt werden, daß alle der aufgeführten Einflußgrößen nur geringe Auswirkungen auf das Signal oder das Ergebnis aufweisen, die in den meisten Fällen auch noch stochastischer Natur und somit nicht systematisch eliminierbar sind, und des weiteren niemals alle zur Anwendung kommenden Parameter (siehe unter anderem Kapitel Theoretische Grundlagen) gleichzeitig oder in gleichem Maße kontaminieren. Es bleibt also hervorzuheben, daß trotz verschiedener Schwierigkeiten das EOG als eine valide Methode zur Erhebung von insbesondere sakkadischer Blickbewegungen angesehen werden darf.

<sup>4</sup> Der Einfluß des EMG auf die Messungen mit dem EOG ist auch ein Grund, den Teilnehmern das Sprechen während der Versuchsfahrten zu untersagen.

## B Springender Punkt als Blickbewegungsaufgabe

Der Springende Punkt ist sowohl Methode als auch Hardware. Inhaltlich sollte die Beschreibung der Hardware nicht an dieser Stelle erfolgen, da es aber für das weitere Verständnis der Methode sinnvoll ist, die grundsätzliche Funktionsweise der Hardware zu kennen, wird dieser Punkt jetzt vorgezogen. Die Hardware besteht aus zwei Leuchtdioden (LEDs). Sie wurde für diesen Versuch nach einem Muster von Herrn Prof. Galley von der Elektronikausbildung meines Arbeitgebers nachgebaut. Die LEDs leuchten alternierend (Rechteckfrequenz) mit einer Frequenz von ungefähr 0,65 Hz auf, so daß der Eindruck eines springenden Punktes entsteht (siehe Abbildung 27). Nachdem der Springende Punkt gestartet ist, beschleunigen die LEDs die Frequenz, mit der sie sechzehn Sekunden lang bis zu einer Frequenz von ungefähr 1,7 Hz alternierend aufleuchten (39 Reizwechsel). Nach diesen sechzehn Sekunden (beschleunigte Rechteckfrequenz) bleibt eine der beiden LEDs fünf Sekunden lang erleuchtet (die andere LED bleibt in der Zeit unbeleuchtet). Dies ist das Zeichen für den Versuchsteilnehmer, daß der Springende Punkt jetzt beendet ist. Ausgewertet werden jedoch aus technischen Gründen nur die Reizwechsel mit einer Frequenz über 0,7 Hz, so daß sich dann im Schnitt 35 Reizwechsel ergeben.

Die Grundfrequenz, mit der der Springende Punkt schwingt, ebenso der Anstieg als auch die Eckfrequenz des Springenden Punktes wurden für diese Fahraufgabe in Rücksprache mit Herrn Prof. Galley abgestimmt. In bisher durchgeführten Laborversuchen (Boltdt, 1994, Churan, 1997) wurde eine erheblich niedrigere Grundfrequenz, ein langsamerer Anstieg und eine andere Endfrequenz gewählt (90 Reizwechsel von zirka 0,2 Hz bis 1,5 Hz gesteigert, Churan, 1997), so daß die gesamte Blickbewegungsaufgabe deutlich länger als sechzig Sekunden dauerte, was für eine Aufgabe während des Fahrens als definitiv zu lang eingeschätzt wurde. Die für diesen Versuch gewählten Parameter sind folglich so festgelegt worden, daß zum einen die Blickbewegungsaufgabe möglichst kurz andauert, der aussagekräftige Frequenzbereich am Rande der Überforderung für den Teilnehmer aber immer noch gut vertreten ist. Die Information über den Springenden Punkt (welche LED

leuchtet wann auf) wird in dem Datensatz des EOG zeitsynchron abgeleitet.

Die Methode Springender Punkt ist eine Blickbewegungsaufgabe. Ein Teilnehmer, bei dem die Blickbewegungen zum Beispiel mit einem EOG aufgezeichnet werden können, setzt sich möglichst ruhig vor die Hardware Springender Punkt. Dieses ruhige Sitzen wird im Labor mit einer Kinnstütze gewährleistet, im Feld, also während des Autofahrens ist dies natürlich nicht möglich. Da die Teilnehmer im Allgemeinen jedoch sehr ruhig im Fahrzeug sitzen, kann davon ausgegangen werden, daß sie keine großen Kopfbewegungen während des Bearbeitens des Springenden Punktes ausführen. Es ist die Aufgabe des Teilnehmers, während der sechzehn Sekunden, die der Vorgang anhält, die abwechselnd leuchtende LED (auch Reizwechsel genannt, in der Abbildung 28 einmal als dunkler Kreis – leuchtend, andermal als heller Kreis – nicht leuchtend dargestellt) mit seinen Augen zu verfolgen, ohne dabei den Kopf zu bewegen. Ein Verfolgen des Springenden Punktes mit dem Kopf ist aufgrund der hohen Grundfrequenz, mit der der Punkt schwingt, weitgehend ausgeschlossen. Einen großen Unterschied zu den Laborversuchen stellt das Fehlen einer Kopfstütze in anderer Hinsicht dar. Ein Verschieben des Kopfes um nur fünf Zentimeter nach vorne hat eine Änderung der Reizamplitude je nach vorheriger Sitzposition von bis zu zehn Prozent zur Folge. Während eines Springenden Punktes wird ein Teilnehmer eine solche Kopfbewegung nicht durchführen. Es ist jedoch mit Sicherheit davon auszugehen, daß im Laufe der Versuchsdauer Kopfbewegungen mit dieser oder noch größerer Amplitude durchgeführt werden. Erschwerend kommt hinzu, daß der Abstand zwischen Auge und der Hardware des Springenden Punktes am Anfang und am Ende gemessen wird, wofür sich die Teilnehmer **immer** besonders aufrecht und gerade hinsetzen. Einer Aufforderung seitens des Versuchsleiters eine Körperhaltung wie während des Autofahrens einzunehmen, wird nicht in der erwünschten Stärke nachgegangen<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Diese Beobachtungen konnten im Laufe der Beschäftigung mit Blickbewegungsaufzeichnungen bei fast allen von über 200 Teilnehmern gemacht werden.

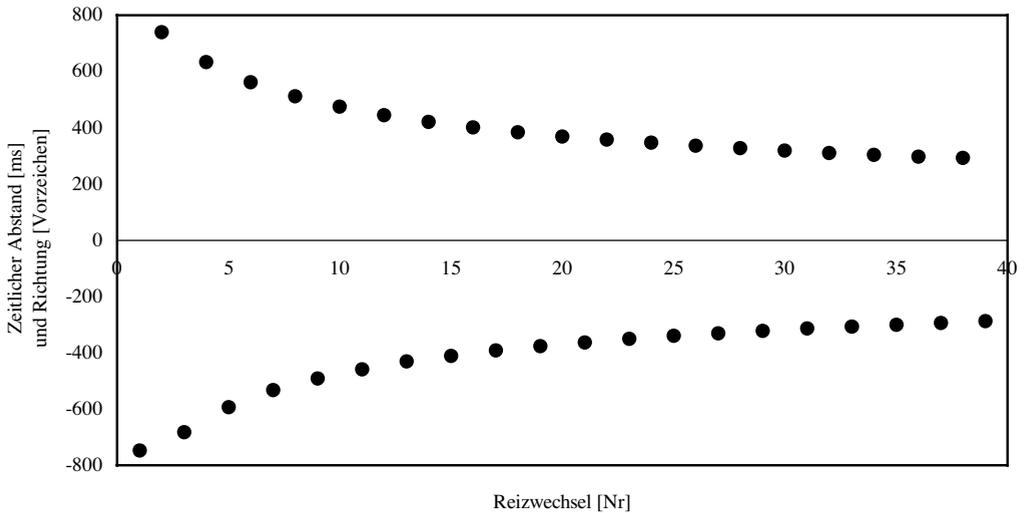


Abbildung 27: Zeitlicher Verlauf des Springenden Punktes

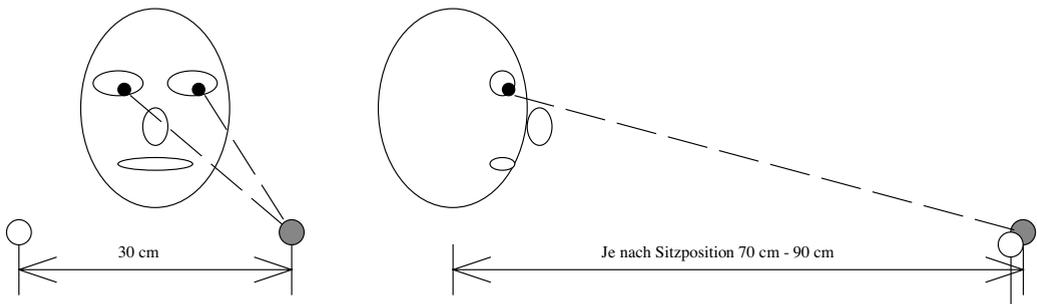


Abbildung 28: Prinzipskizze Springender Punkt

Während der Springende Punkt von den Teilnehmern ausgeführt wird, mißt das EOG die dazu gehörigen Blickbewegungen.

Der Springende Punkt wurde während der Fahrt jeweils nach der Befragung mittels des Proteus-systems ausgeführt, wobei folgende Einschränkungen aus Sicherheitsgründen galten: Der Springende Punkt durfte nur auf der Autobahn ausgeführt werden, nicht Innerorts und auch nicht auf Landstraßen. Er sollte nicht in Kurven, während des Passierens von Baustellen, in der Nähe von Anschlußstellen oder Parkplätzen oder während eines aktiven oder passiven Überholvorganges ausgeführt werden. Die Entscheidung sowie die Verantwortung für das Ausfüh-

ren eines Springenden Punktes lag bei den Versuchsteilnehmern (das Versuchsfahrzeug war nach § 19 Abs. 3 StVZO zugelassen und vom Hersteller versichert, was selbstverständlich § 1 Abs. 1 und 2 StVO nicht außer Kraft setzt). Die Instruktion dafür lautete klar und eindeutig **keine Gefährdung seiner selbst oder anderer – Sicherheit hat die höchste Priorität**. In auffälliger Häufigkeit wurden dennoch Springende Punkte an oben genannten Stellen durchgeführt. Es wurden aber keine erkennbare Schwierigkeiten oder Probleme ausgelöst, was als ein Zeichen dafür gewertet wird, daß die Teilnehmer den Springenden Punkt als problem- und gefahrlos eingeschätzt und sich auch keine großen Gedanken um seine Ausführung gemacht haben.

Dieser letzte Punkt verdient besondere Beachtung vor dem Hintergrund der Rückwirkung von Meßmethoden, dem ein eigenes Kapitel (Vorversuch zur Rückwirkung zweier Methoden) gewidmet ist.

## C Fragebögen/Befragung

In dieser Untersuchung wurden zwei verschiedene Fragebögen eingesetzt. Der EZ34-Fragebogen und der TLX-Fragebogen decken beide ein ähnliches Spektrum ab, den Eigenzustand und die Beanspruchung. Diese beiden Fragebögen werden zur Bewertung der Fahrten beziehungsweise der Beanspruchung durch die verschiedenen Geräuschvariationen herangezogen. Völlig anders dagegen die Befragung mittels Proteus: Sie gibt einen Zeitverlauf wieder, der zur Interpretation physiologischer Daten herangezogen wird.

### C1 EZ34-Fragebogen

Der EZ34-Fragebogen ist ein im Hause Daimler-Benz, Abteilung Mensch und Fahrzeug, entwickelter Fragebogen zur Erfassung des Eigenzustandes, der ursprünglich aus dem Bereich der Sportpsychologie stammt (Nitsch, 1970, Apenburg & Häcker, 1984, Marggraf & Liepmann, 1987), für Fahrtätigkeiten adaptiert wurde und bei beinahe jeder Versuchsfahrt der oben genannten Abteilung angewandt wird. Der Fragebogen liegt im Anhang vor. Er besteht aus jeweils 34 Adjektiven. Er wird vor Fahrtantritt und nach Fahrtende gereicht und hat in beiden Fällen eine unterschiedliche Reihenfolge der Adjektive. Die Teilnehmer werden befragt, in welchem Grade jedes dieser Adjektive auf ihren augenblicklichen Zustand zutrifft. Es sind sechs Antwortkategorien vorgegeben, von denen eine durch Ankreuzen ausgewählt werden soll. Die Beantwortung dieses Fragebogens ist sehr einfach und dauert jeweils zirka zwei Minuten.

Der Eigenzustand wird aus der Differenz der Zustände des Teilnehmers jeweils direkt vor Fahrtantritt (bereits im Fahrzeug sitzend, bei schon laufendem Motor) und direkt nach Fahrtende (noch im Fahrzeug sitzend, mit noch laufendem Motor) ermittelt. Der EZ34-Fragebogen führt zu vier den Eigenzustand beschreibenden Faktoren:

- Mood      erfaßt Stimmungsänderungen
- Tension   zeigt Entspannungsveränderungen
- Defizienz  Indikator für Wachheitsänderungen
- Effizienz  mißt Selbstwertänderungen

Die einzelnen Faktoren berechnen sich wie folgt: Alle auf einen Faktor ladenden Items werden summiert, und das Ergebnis wird durch die Anzahl der Items geteilt (arithmetisches Mittel). Diese Mittel werden für jeden Faktor und jeden Fragebogen (getrennt nach vorher und hinterher) berechnet. Die Differenzen zwischen vorher und hinterher ergeben den Eigenzustand des Teilnehmers für jeden einzelnen Faktor getrennt wieder. Der Wertebereich der Faktoren liegt zwischen  $-5$ , was einem extremen Abfall der Ladung auf einem Faktor bedeutet, und  $+5$ , was einem extremen Anstieg der Ladung auf einem Faktor bedeutet.

### C2 TLX-Fragebogen

Der TLX-Fragebogen (NASA Task Load Index, siehe auch das Kapitel TLX-Fragebogen im Anhang) wurde bei der NASA zur Messung der Beanspruchungen (MWWL-Mean Weighted Workload) von Kampfflugzeugpiloten entwickelt, folglich ist er für Beanspruchungen auf einem sehr hohen Niveau ausgelegt, jedoch bestätigen Wierwille & Eggemeier (1993) dem Fragebogen insbesondere im niedrigen Belastungsbereich eine hohe Sensitivität. Bei diesem Versuchsdesign werden verglichen mit den Validierungsuntersuchungen (in erster Linie Flug- und Flugsimulatorstudien, Battiste & Bortolussi, 1988, Corwin et al., 1989, Nataupky & Abbott, 1987, und viele andere) eher mittlere Beanspruchungen erwartet.

Der TLX-Fragebogen wurde in einer deutschen, computergestützten Version (Cseriac, 1996, Nasa, 1986) im direkten Anschluß an die Versuchsfahrten dargeboten. Es gibt an der deutschen Übersetzung des Fragebogens leider einige Kritik, die sich zum Beispiel an dem englischen Item „frustration“ (zu deutsch – Frustration, Zerschlagung, übersetzt mit Pons-Globalwörterbuch, Stuttgart, 1983) manifestiert, welches etwas zu einfach nur mit „Frustration“ übersetzt wurde.

Aus den oben genannten Kritikpunkten folgt, daß die Ergebnisse des Fragebogens mit einiger Vorsicht zu genießen sind.

**Tabelle 3:** TLX-Fragebogen Ergebnisdatei (mit beispielhafter Beantwortung: Die Ergebnisdatei ist in drei Spalten geteilt. Nach dem Header (die ersten vier Zeilen der ersten Spalte) werden die Werte der Einschätzung des Teilnehmers bezüglich der sechs Dimensionen des Fragebogens abgelegt, in der zweiten Spalte befinden sich die Ergebnisse des vollständigen Paarvergleiches (Paarvergleich (1–15), ob das gewählte Item an erster oder zweiter Stelle genannt wurde (1 oder 2), als letztes welches Item gewählt wurde), in den ersten sechs Zeilen der dritten Spalte ist die Häufigkeit dokumentiert mit der ein Item im Paarvergleich ausgewählt wurde, anschließend werden noch die Summe und der MWWL-Wert (siehe Beschreibung unten) genannt).

Datei:	20o.skl	Paar-Vergleich 1:1 körperliche Anforderung	MD:	1
		Paar-Vergleich 2:2 geistige Anforderung	PD:	1
Datum:	20.3.1997	Paar-Vergleich 3:1 Aufgabenerfüllung	TD:	1
Zeit:	18.24	Paar-Vergleich 4:1 Frustration	OP:	4
Name:	20o	Paar-Vergleich 5:1 Anstrengung	EF:	3
		Paar-Vergleich 6:1 zeitliche Anforderung	FR:	5
geistige Anforderung:	40	Paar-Vergleich 7:1 Aufgabenerfüllung		
körperliche Anforderung:	65	Paar-Vergleich 8:1 Frustration	Summe:	990
zeitliche Anforderung:	50	Paar-Vergleich 9:1 Anstrengung		
Aufgabenerfüllung:	35	Paar-Vergleich 10:2 Aufgabenerfüllung	<b>MeanWwlScore:</b>	<b>66</b>
Anstrengung:	65	Paar-Vergleich 11:2 Frustration		
Frustration:	100	Paar-Vergleich 12:2 Anstrengung		
		Paar-Vergleich 13:2 Frustration		
		Paar-Vergleich 14:1 Aufgabenerfüllung		
		Paar-Vergleich 15:2 Frustration		

Bei der Bearbeitung des Fragebogens schätzt der Versuchsteilnehmer als erstes die folgenden sechs Größen auf einer für ihn nicht weiter unterteilten (21 Stufen) Skala zwischen „hoch“ und „niedrig“ ein (dem deutschen Ausdruck folgt jeweils der im englischen Original benutzte sowie in Klammern die übliche Abkürzung des englischen Ausdrucks):

- Geistige Anforderung      Mental Demand (MD)
- Körperliche Anforderung      Physical Demand (PD)
- Zeitliche Anforderung      Temporal Demand (TD)
- Aufgabenerfüllung      Operational Performance (OP)
- Anstrengung      Effort (EF)
- Frustration      Frustration (FR)

Anschließend bewertet der Versuchsteilnehmer in einem vollständigen Paarvergleich, welches der jeweils beiden dargebotenen Skalen stärker zu seiner vorangegangenen Einschätzung beigetragen hat. Beispiel: Frustration (wurde mit 100 bewertet) versus geistige Anforderung (wurde mit 40 bewertet): In Paarvergleich 4 wurde Frustration als stärker die Gesamtbeanspruchung beeinflussend gewählt, siehe Tabelle 3 und 85).

Diese zweite Information wird genutzt, um erstere zu gewichten.

Das Programm wertet vor dem Speichern der Ergebnisse selbständig den Mean Weighted Workload Score aus (siehe Tabelle 3). Der MWWL errechnet sich wie folgt: Die Häufigkeit der beim Paarvergleich genannten Größen wird mit der Bewertung der jeweiligen Größe multipliziert, diese Produkte werden summiert, die Summe dividiert durch die Anzahl der Paar-

vergleiche (immer  $\sum_{n=1}^6 n - 1 = 15$  Vergleiche) ergibt den MWWL. Der Wertebereich des TLX-Fragebogen reicht von „0“, was keinerlei Beanspruchung entspricht, bis „100“, was maximaler Beanspruchung entspricht.

### C3 Befragung mittels Proteus

Proteus ist der Name einer Hardware zur automatisierten, computergestützten Befragung von Personen. Es werden hierfür Fragen vorbereitet, die von einem Computer während eines Versuches abgespielt werden und von einem Probanden mittels entsprechender Tastatur beantwortet werden können. Die Fragen sind eine Eigen-

entwicklung speziell für diesen Versuch (Erke, 1998). Sie wurden erstmals während eines Vorversuches zu dieser Arbeit eingesetzt und haben sich dort bewährt (siehe Kapitel Vorversuch zur Rückwirkung zweier Methoden). Eine kleine Modifikation gegenüber dem Vorversuch wurde vorgenommen, denn ein Fragenpaar wurde ersatzlos gestrichen<sup>6</sup>, weil es im Vorversuch zu keinen signifikanten Ergebnissen geführt hatte, so daß hier die drei verbliebenen Itempaare „Abgelenkt-Aufmerksam“ (Dimension: momentane Leistungsfähigkeit, als Grad der verfügbaren kognitiven Leistungspotentiale<sup>7</sup>), „Schläfrig-Wach“ (Dimension: Ermüdung, als relativ unspezifisches Bedürfnis nach Erholung) und „Gelangweilt-Interessiert“ (Dimension: aktuelle Leistungsmotivation, als angestrebter Erfüllungsgrad des Leistungsziels) zur Anwendung kamen.

Die Itempaare stellen Gegensatzpaare dar, wie sie aus einem Fragebogen (BLV – Künstler, 1980) herausgearbeitet wurden. Da es recht schwierig ist, die Gegensätzlichkeit solcher Paare mit hinreichender Sicherheit zu bestimmen, es im Rahmen dieser Untersuchung auch nicht von gravierender Bedeutung ist, in welchem Grade die Itempaare dieses Kriterium erfüllen, wurden lediglich Experten befragt, die die Gegensätzlichkeit auf den ersten Anschein hin bestätigt haben. Die Itempaare entstammen jeweils einer der ursprünglich vier Skalen des BLV<sup>8</sup>.

Diese Fragen (z. B. „Wie abgelenkt sind Sie?“) wurden mittels eines Audiorekorders eingesprochen und elektronisch so überarbeitet, daß keine Nebengeräusche oder andere störenden Einflüsse mehr zu hören waren. Die Fragen wurden alle zwölf Minuten mit einem einleitenden Piepton in gleichbleibender Reihenfolge gestellt, um die Ablenkung durch die Befragung möglichst gering zu halten. Auf die Fragen wurde von den Versuchsteilnehmern mittels einer speziellen Tastatur (siehe Abbildung 36) geantwortet. Die Tastatur besaß fünf für den Versuch relevante Tasten, beschriftet mit „1“ bis „5“, wobei eine „1“ (nicht) maximale Ablehnung zur verlesenen Frage bedeutete, „5“ (sehr) maximale Zustimmung.

Weitere Anmerkungen zu dieser Befragungsmethode, insbesondere zu deren Entwicklung befinden sich in dem Kapitel Vorversuch zur Rückwirkung zweier Methoden und bei Erke

(1998). Die Befragungsmethode selbst ist im Anhang dokumentiert.

Gelegentlich werden des besseren Ausdruckes wegen in der Arbeit die Begriffe Befragung mittels Proteus, Proteus Befragung oder nur Proteus synonym verwendet, es ist jederzeit dasselbe gemeint (Befragung mittels Proteus), sie können ohne weiteres substituiert werden.

<sup>6</sup> „Entspannt-Angestrengt“ (Dimension: psychische Anspannung, als Maß der eingebrachten Energie)

<sup>7</sup> Die Beschreibungen der Dimensionen sind Luczak (1993) entnommen.

<sup>8</sup> Eine anschließende Korrelationsanalyse bestätigte das Expertenurteil: Die Items der Dimension momentane Leistungsfähigkeit korrelieren hoch signifikant mit  $-0,57$ , die der Dimension Ermüdung mit  $-0,75$  und die der Dimension aktuelle Leistungsmotivation mit  $-0,52$ . (Wobei noch abschließend zu bemerken ist, daß Aufmerksam zusätzlich hoch signifikant mit Wach ( $+0,75$ ) und Schläfrig ( $-0,6$ ) korreliert, alle anderen Beziehungen zwischen den verschiedenen Items werden zwar auch hoch signifikant ( $N$  liegt zwischen 1868 und 1988), überschreiten aber die betragsmäßige Grenze von 0,5 nicht mehr, jedoch läßt sich dieses Ergebnis dahingehend interpretieren, daß die drei Dimensionen eng zusammenhängen (ohne damit den BLV oder seine Beweiskraft als solche in Frage stellen zu wollen).)

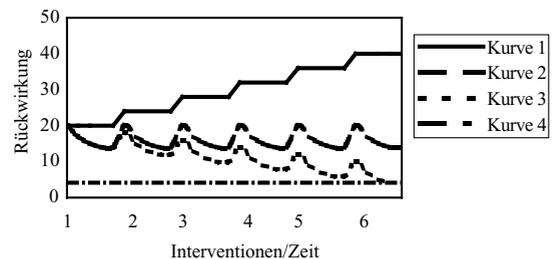
## Vorversuch zur Rückwirkung zweier Methoden

Daß wissenschaftliche Versuche Kriterien wie Reliabilität, Validität, Konkordanz, Sensibilität oder Utilität genügen müssen, ist allgemein bekannt und wird auch bei entsprechenden Untersuchungen gelegentlich überprüft. Implizit wird natürlich auch Rückwirkungsfreiheit gefordert (Wierwille & Eggemeier, 1993, fordern dies insbesondere für Zweitaufgaben), doch wird selbige in den aller seltensten Fällen wirklich getestet, es wird einfach davon ausgegangen, die entsprechende Methode sei per se rückwirkungsfrei, was bei allem Respekt selbstverständlich völliger Unsinn ist, keine Methode kann auch nur ansatzweise rückwirkungsfrei messen (Feynman, 1988, Heisenbergsche Unschärferelation von 1927,  $\Delta \times \Delta p_x \geq h$  nach Hering et al., 1992). Da aber gerade bei Messungen die Monotonie betreffend Rückwirkungen im Sinne des Versuches fatale Folgen haben können (ein Paradigma der Monotonie ist schließlich, daß die induzierte Ermüdung bei einem Tätigkeitswechsel augenblicklich verfliegt, wobei unter einem Tätigkeitswechsel sehr viel subsumiert wird), muß hier insbesondere sichergestellt werden, daß die Rückwirkungen so gering sind, daß keine Entmüdung auftritt.

Wie kann eine solche Rückwirkung aussehen? – Grundsätzlich muß dazu angemerkt werden, daß eine Versuchssituation, wie sie in den Versuchen vorliegen wird, von Hause aus schon eine so starke Rückwirkung hat, daß sie einfach nicht ignoriert oder übersehen werden darf, es fehlt jedoch eine Möglichkeit diese Rückwirkung direkt zu quantifizieren. Etwas einfacher sieht es bei Einzelereignissen während eines Versuches aus. Es geht in dem Versuch um die regelmäßige Befragung der Befindlichkeit und das Ausführen des Springenden Punktes während der Autofahrt, im Falle dieses Vorversuches werden sie allerdings als Interventionen, als Störgrößen betrachtet. In beiden Fällen beziehen sich die Rückwirkungen auf die Wirkung der Interventionen auf die Monotonie einer Vigilanzaufgabe (die Schwierigkeiten beim Messen von Monotonie wurden bereits in Kapitel Monotonie angeschnitten).

Es ist denkbar, daß die Rückwirkungen bei jeder Befragung und bei jedem Springenden Punkt kumulieren (Abbildung 29, Kurve 1), es kann sein, daß jede Befragung und jeder Springende Punkt dieselbe Rückwirkung haben, die dann innerhalb eines kürzeren Zeitraumes wieder abklingen (Kurve 2), es ist möglich, daß sich mit jeder Befragung und jedem Springenden Punkt die Rückwirkung verringert (Kurve 3), im Idealfall wäre es so, daß die Rückwirkungen so gering sind, daß sie nicht detektiert werden können (Kurve 4). In diesem Vorversuch soll also die Stärke der Rückwirkungen von Einzelereignissen (Interventionen) wie einer Befragung oder dem Springenden Punkt auf Monotonie bestimmt werden. Von den vier vorgestellten und möglichen Arten der Rückwirkung<sup>1</sup>, kommen als akzeptables Ergebnis nur die Kurven 3 oder 4 wegen der ausreichend geringen Rückwirkungen in Frage. Bei den Kurven 1 oder 2 müßte von den entsprechenden Methoden im Hauptversuch Abstand genommen werden.

Dieser Vorversuch wurde im Rahmen der vom Autor betreuten Diplomarbeit von Frau Erke (1998) durchgeführt.



**Abbildung 29:** Hypothetische Formen der Rückwirkung (die Rückwirkung hat in dieser Grafik keine Einheit, besser, die Einheit ist beliebig oder anders, sie ist abhängig von der Größe in der die Rückwirkung gemessen oder ermittelt wird)

<sup>1</sup> Andere Arten oder Formen der Rückwirkung sind natürlich denkbar. Die hier gewählte Darstellung möglicher Rückwirkungen ist nicht erschöpfend, sondern auf die als wesentlich erachteten beschränkt.

## A Versuchsdesign

Um die Rückwirkungen der im Hauptversuch geplanten Interventionen (Befragung und Springender Punkt) quantifizieren zu können, wurde ein Versuchsdesign für das Labor entwickelt, in dem die Interventionen als Störgrößen fungieren. Es wurde eine dem Autofahren ähnliche Situation entwickelt, eine Vigilanzaufgabe (Leonard, 1988a), bei der physiologische Parameter erhoben wurden, deren Änderungen einerseits den Vigilanzabfall (zum Beispiel Akerstedt et al., 1988), andererseits die eingetretenen Rückwirkungen aufzeigen.

Das Versuchsdesign war vierteteilt. Es bestand in drei Fällen aus einer Vigilanzaufgabe, die einmal mit dem Springenden Punkt (Bedingung SPP) und einmal mit der Befragung (Bedingung PRO) kombiniert, ein drittes mal allein (Bedingung VIG) dargeboten wurde. Im vierten Fall wurde ein Kartenspiel (Solitär, Bedingung SOL) am Computer durchgeführt. Jeder Durchgang dauerte eine Stunde. Der Versuch fand in einem geschlossenen, ruhigen, klimatisierten, fensterlosen und reizarmen Raum statt, in dem die Teilnehmer unbeaufsichtigt waren. Jeder Teilnehmer absolvierte alle vier Aufgaben an vier unterschiedlichen Tagen jeweils zur gleichen Uhrzeit. Die Reihenfolge, in der die vier Versuchsdurchläufe ausgeführt wurden, war für jeden Teilnehmer eine andere.

Die zwanzig Teilnehmer, die zu diesem Versuch eingeladen waren, wurden über den eigentlichen Sinn der Versuchsreihe nicht unterrichtet, ihnen wurde allerdings der Eindruck vermittelt, es handele sich um einen Leistungstest. Bei dem ersten Treffen mit jedem einzelnen Teilnehmer, das auch jeweils eine Stunde andauerte, wurden den Teilnehmern die vier Versuchsbedingungen erklärt, und sie führten jede probenhalber einige Minuten lang aus. Sofern sie das Kartenspiel nicht kannten, wurde es ihnen bei dieser Gelegenheit erklärt und beigebracht. Das Spiel ist im Lieferumfang der Betriebssystemerweiterung Microsoft Windows for Workgroups Version 3.11 enthalten und ist ein einfaches, leicht erlernbares Patience-Kartenlegespil, bei dem es darum geht, einen durchmischten Stapel von Karten, entsprechenden Regeln folgend, nach den vier unterschiedlichen Farben wieder in eine bestimmte Reihenfolge zu sortieren.

## B Versuchsbedingungen

Die **Vigilanzbedingung (VIG)** bestand darin, an einem Computer ein spezielles Zeichen (Achteck, rosa, nach rechts oben schraffiert) aus 42 durch Form (7 Formen: Achteck, Quadrat, Quadrat auf der Spitze stehend, Rechteck, Rechteck hochkant, Dreieck, Dreieck auf der Spitze stehend), Farbe (2 Farben: rosa, dunkel grau) und Schraffur (3 Schraffuren: waagrecht, nach rechts oben, nach rechts unten) unterscheidbaren Zeichen zu detektieren und durch Drücken der Space-Taste zu dokumentieren, sobald dieses spezielle Zeichen erschien. Alle Zeichen hatten dieselbe Fläche ( $4\text{cm}^2$ ) und wurden auf hellgrauem Hintergrund in unregelmäßiger (durchschnittlich 40 Zeichen pro Minute), zufälliger Reihenfolge dargeboten (die Darbietungsfrequenz und Reihenfolge war jedoch für jeden Versuchsdurchlauf dieselbe). Innerhalb von fünf zwölf-Minuten-Abschnitten erschien das zu entdeckende Zeichen jeweils neunmal. Den Teilnehmern wurden keinerlei Rückmeldungen über ihre Leistungen gegeben.

Die Bedingung **Springender Punkt (SPP)** (ausführlich im Kapitel Blickbewegungsaufgabe Springender Punkt beschrieben) stellt eine Erweiterung der Vigilanzaufgabe dar, die alle zwölf Minuten unterbrochen wurde, damit die Teilnehmer den Springenden Punkt selbsttätig auslösen und bearbeiten konnten.

Ähnliches gilt für die Bedingung **Proteus (PRO)**, bei der die Vigilanzaufgabe zwar nicht unterbrochen wurde, die Teilnehmer aber alle zwölf Minuten die Befragung mittels Proteus bearbeiten sollten. Diese Aufgabe diente gleichzeitig der Entwicklung der Methode (siehe auch dort).

Die Bedingung **Solitär (SOL)** wurde von den Teilnehmern eine Stunde lang ohne Unterbrechung gespielt.

## C Versuchsauswertung

Die physiologischen Parameter (HF, IBI, EDA, EMG), die während aller Versuchsdurchgänge erhoben wurden, dienten zweierlei: Zum einen sollte kontrolliert werden, ob es sich bei der Belastung (insbesondere VIG gegenüber SOL) wirklich um eine solche vigilanzmindernde handelt (dies trifft zu, siehe Erke, 1998) und dabei gleichzeitig die Vigilanzminderung innerhalb

der physiologischen Daten dokumentieren, zum anderen sollte eine Rückwirkung der Interventionen (SPP und PRO) innerhalb dieser Parameter zu erwarten sein, so daß mit Hilfe der VIG-Daten im Vergleich zu den SPP- und PRO-Daten diese Rückwirkung quantifiziert werden kann.

Die Daten der physiologischen Parameter wurden personenbezogen z-transformiert, und es wurden aus diesen Werten gleitende Mittelwerte (mit einer Basis von 60 Sekunden) gebildet.

#### D Ergebnis des Vorversuchs zur Rückwirkung zweier Methoden

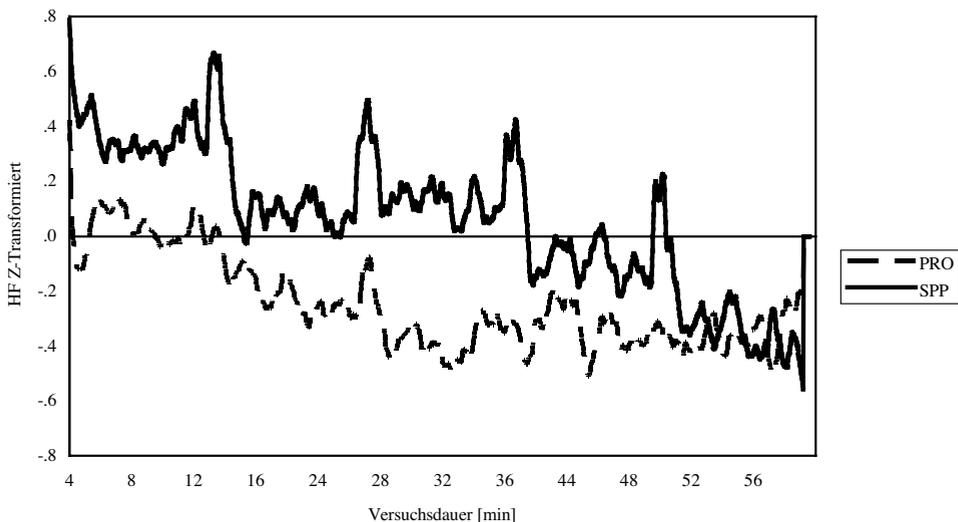
Die zu klärende Frage, welcher Art die Rückwirkung auf die beiden Interventionsarten SPP und PRO ist, kann jetzt anhand der Abbildung 30 beantwortet werden. Der Zeitverlauf der Herzfrequenz über die einstündige Versuchsdauer entspricht augenscheinlich Kurve 3 der Abbildung 29. Beide Interventionsarten sind folglich für den Hauptversuch sinnvoll anzuwenden.

Die Bedingungen SPP und PRO dauerten während der direkten Ausführung (zu den Minuten 12, 24, 36 und 48) eine halbe Minute an, nach weiteren 90 sec waren die physiologischen Parameter auf demselben oder niedrigeren Niveau als vor der Intervention. Deutlich sind in Abbildung 30 für die Versuchsbedingung SPP vier zirka zwei Minuten breite Peaks zu den oben genann-

ten Zeitpunkten zu sehen; für die Versuchsbedingung PRO ist dies nicht so deutlich zu erkennen, dort verschwimmen die Interventionsauswirkungen etwas im allgemeinen Rauschen. Jede einzelne Intervention hat einen ähnlichen Anstieg innerhalb der physiologischen Parameter zur Folge, es hat also weder eine Gewöhnung noch ein Lernvorgang stattgefunden. Der Zusammenhang von Vigilanz und Blickbewegung wurde bereits von Galley et al. (1988) aufgezeigt.

Die Frage, die sich im Anschluß zwangsläufig stellt, inwiefern nämlich die beiden Interventionen ermüdend oder entmüdend wirken, kann mit diesem Versuch abschließend geklärt werden. Gezeigt wurde, daß mit der Intervention eine theoriekonforme, zeitlich befristete Entmüdung einhergeht. Ein verstärkender Ermüdungseffekt konnte nicht festgestellt werden. Die Daten der Bedingung VIG (Erke 1998) zeigen einen abfallenden Verlauf, der den beiden in Abbildung 30 dargestellten insofern entspricht, als daß die Peaks, die hier zu den Zeitpunkten der Interventionen auftreten, dort nicht vorkommen.

Dieser Vorversuch führte unter anderem auch noch dazu, daß während des Hauptversuches den Teilnehmern die Konversation mit dem Versuchsleiter untersagt worden war, um damit den ansonsten mit Sicherheit eintretenden Rückwirkungen vorzubeugen.



**Abbildung 30:** Z-Transformierte Herzfrequenz aller Teilnehmer über die Bedingungen Proteus und Springender Punkt (in die Berechnung flossen außerdem noch die Daten der Bedingungen VIG und SOL mit ein).

## Vorversuch zur Belastungsart (Sounds)

Die Geräuschbelastung wird in vielen Untersuchungen (beispielsweise McBain, 1961, Finkelmann et al., 1977 oder Jones, 1983) als Einflußgröße auf Leistung hervorgehoben, bei Vigilanzuntersuchungen (z. B. Koelega & Brinkman, 1986) wird betont, daß sich insbesondere starke Geräusche negativ auf die Leistung auswirken, Hockey (1970) weist jedoch auf die leistungssteigernden Komponenten von Geräuschen in Vigilanztests hin. Aber auch andere Aspekte des Geräusches (Shibuya et al., 1993, oder Kuwano et al., 1994) und der Auswirkung auf den Menschen (Bryan & Tempest, 1972, oder Ronnebaum & Weber, 1996) wurden untersucht. Eine sehr gute Übersichtsarbeit haben Jones & Broadbent (1987) in einem Handbuchartikel gegeben. Sie beschreiben dort die im weiteren interessanten Effekte von Geräuschen auf die Leistung (im Original „Task Performance“) und differenzieren auf einer ersten Ebene zwischen vier verschiedenen Kategorien: (1) Auswirkungen auf die Aktivierung (im Original „Arousal“), (2) Auswirkungen bei mangelnder Kontrolle, (3) Auswirkungen auf die Strategie sowie (4) Auswirkungen auf die Aufmerksamkeit (im Original „Attention“). Bei Punkt (1) Auswirkungen auf die Aktivierung wird von den Autoren noch unterschieden zwischen (a) Geräuschspitzen, die entweder eine Schreckreaktion, eine Orientierungsreaktion oder einen Verteidigungsreflex auslösen (wobei bei einer lang andauernden Autobahnfahrt nur noch eine mögliche Orientierungsreaktion eine Rolle spielen sollte), und (b) Veränderungen des akustischen Hintergrundes, der bei den später erläuterten Versuchsfahrten für die einzelnen Fahrten jedoch konstant gehalten wurde (so weit es möglich war). Die im Rahmen dieser Arbeit wesentlichen Aussagen der Autoren sind zum einen, daß die Informationsaufnahme durch Geräusche beeinträchtigt wird, zum anderen, daß die Auswirkungen von Geräuschen mittels kompensatorischer Anstrengung (im Original „Effort“) überwunden werden können.

Der Vorversuch zur Belastungsart (Sounds) dient der Bestimmung interessanter Geräusch-

hintergründe für den Hauptversuch. In einem Fahrzeug (W210 2.3, siehe Abbildung 32) wurden bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h vier unterschiedliche Geräuschquellen gleichzeitig mit einem Vierkanal-Audio-Aufnahmesystem aufgenommen. Die Versuchsteilnehmer wurden um eine Bewertung der aufgenommenen Geräusche gebeten. Ziel war es **zwei** Geräusche zu finden, um sie als Variationen der Beanspruchung im Hauptversuch einsetzen zu können, eines, welches als möglichst positiv, ein anderes, welches möglichst negativ bewertet wird.

### A Versuchsvorbereitung/Geräuschquellen

Die vier Orte, an denen Mikrophone installiert wurden, sind über das gesamte Fahrzeug verteilt und decken ein sehr großes Spektrum von Geräuschen und deren Quellen ab:

- Innenraum
- Seitenspiegel rechts
- Motorenraum
- Hinterachse

Die Geräusche des Innenraumes wurden an der Kopfstütze des Fahrerplatzes abgenommen, sie entsprechen mit leichten Abweichungen denen, die der Fahrer während einer Autofahrt wahrnehmen kann und stellen somit das werkseitig optimierte Geräuscherleben dar.

Die Geräusche am rechten Seitenspiegel, das Mikrophon war geschützt hinter dem Spiegelglas im Spiegelgehäuse untergebracht, werden primär durch Windgeräusche determiniert.

Die Geräusche des Motorenraumes wurden direkt über dem Zylinderkopfdeckel abgenommen, geben damit also größtenteils mechanische Geräusche der Nockenwelle, der Ventile und des Primärtriebes wieder, Verbrennungsgeräusche sind nicht dominierend.

Die Geräusche an der Hinterachse bestehen größtenteils aus den Laufgeräuschen der Laufräder sowie den durch die Laufräder eingeleiteten Schwingungen in den Achsen, hier sind auch

noch deutlich Schallquellen außerhalb des Fahrzeuges wahrzunehmen.

Für den Vorversuch wurde ein Sample von 20sec benutzt, das weitestgehend nur die Geräusche des Versuchsfahrzeuges beinhaltet.

## B Versuchsvorbereitung – Geräusch-aufbereitung

Die Geräusche wurden für den Vorversuch präpariert, indem sie in drei Frequenzbänder zerlegt wurden, in ein hohes, ein mittleres und ein tiefes, so daß sich aus der einen Messung insgesamt

$$4 \text{ (Geräuschquellen)} * (3 \text{ (Frequenzbänder)} + 1 \text{ (Originalmessung)}) = 16 \text{ (Sounds)}$$

**Gleichung 2:** Berechnung der Anzahl möglicher Soundvarianten

ergaben. Die Grenzfrequenzen der Frequenzbänder wurden auf 120Hz beziehungsweise 2,4kHz gelegt.

## C Versuchsdesign

Die Befragung wurde an neun Teilnehmern durchgeführt, denen mitgeteilt wurde, es handle sich um 16 verschiedene Fahrzeuge, von denen jeweils eine 20 sec lange Geräuschmessung vorliege, die sie bitte bewerten mögen.

**Tabelle 4:** Beispielhafte Bewertung eines Sounds nach Tabelle 5

„störend“/„mittel“	=	-3
„angenehm“/„kaum“	=	2
„belästigend“/„mittel“	=	-3
„unaufdringlich“/„gar nicht“	=	1
„passend“/„kaum“	=	2
„unangenehm“/„mittel“	=	-3
„schmeichelnd“/„gar nicht“	=	1
„nervend“/„etwas“	=	-4

Die 16 Geräusche wurden in einem schallarmen Raum über freistehende Aktivboxen dargeboten. Zwischen jedem Geräusch lag eine fünf Sekunden lange Pause, in der die Bewertung der einzelnen Sounds mittels einer einfachen Befragung (siehe Tabelle 5) vorgenommen wurde.

**Tabelle 5:** Befragungsbogen für die 16 Geräusche (mit beispielhafter Bewertung eines Geräusches von einem Teilnehmer)

Wie gut beschreiben folgende Adjektive das aktuelle Geräusch?					
Geräusch Nr.:	gar nicht	kaum	mittel	etwas	sehr
störend			X		
angenehm		X			
belästigend			X		
unaufdringlich	X				
passend		X			
unangenehm			X		
schmeichelnd	X				
nervend					X

## D Versuchsauswertung

Für die Auswertung wurden die Items „angenehm“, „unaufdringlich“, „passend“ und „schmeichelnd“ positiv, die anderen negativ gewertet, anschließend wurden die Antworten gewichtet. Die Ausprägung „gar nicht“ wurde einfach gewichtet, „kaum“ zweifach, „mittel“ dreifach, „etwas“ vierfach und „sehr“ schließlich fünffach. Die Summe der Antworten, nach dem oben beschriebenen Verfahren ermittelt, ergibt dann einen vergleichbaren Gesamtscore für jedes der 16 Geräusche.

Für die oben beispielhaft ausgefüllte Tabelle 5 (siehe auch Tabelle 4) ergibt sich folglich ein Score von

$$-3 + 2 - 3 + 1 + 2 - 3 + 1 - 4 = -7.$$

## E Ergebnis des Vorversuchs zur Belastungsart (Sounds)

Das Gesamtergebnis der Befragung zu den 16 Sounds liegt in Tabelle 6 vor. Dafür, daß die Geräusche sehr differenziert wahrgenommen werden konnten, sprechen die großen Unterschiede in der Bewertungen der einzelnen Sounds die von -99 bis 57 reichen. Für eine Interpretation darf angenommen werden, daß positiv bewertete Geräusche auch positiv wahrgenommen wurden, entsprechend negativ bewertete negativ.

Als erstes fällt auf, daß dem Fahrzeughersteller offenbar eine sehr harmonische Abstimmung des Innenraumgeräusches gelungen ist, da alle

einzelnen Frequenzbänder negativ (-5, -49 und -45), das Gesamtgeräusch jedoch sehr positiv bewertet wurden (48, der zweithöchste positive Wert). Besonders hervorzuheben in dieser Tabelle ist dabei das Motorengeräusch (fett hervorgehoben), das in seiner Gesamterscheinung eher neutral bewertet wurde (3), jedoch bei den einzelnen Frequenzbändern die größten Unterschiede des Gesamtscores von 57 bei den tiefen Motorengeräusch bis zu über -90 bei den mittleren und hohen Frequenzanteilen aufweist. Allgemein ist festzustellen, daß die tiefen Frequenzbänder deutlich positiver als die anderen beiden bewertet wurden. Auch die Literatur ließ dieses Ergebnis erwarten (Ronnebaum & Weber, 1996).

Als Konsequenz aus diesem Vorversuch wird für den Hauptversuch das Motorengeräusch benutzt werden, da damit zum einen ein relativ einfacher Versuchsaufbau mit nur einer Geräuschquelle zu realisieren ist, zum anderen stellt das Motorengeräusch die Quelle dar, die die größte Spannweite in der Bewertung von den Versuchsteilnehmern erfahren hat und somit besonders geeignet ist, Monotonie und Vigilanz in verschieden starken Ausprägungen zu induzieren. Aus technischen Gründen werden die Grenzfrequenzen für den tiefen Bereich auf 25 bis 120 Hz und für den mittleren und hohen Bereich, die sich diesen Ergebnissen zu Folge nicht wesentlich unterscheiden, auf 2400 bis 7000 Hz festgelegt.

Es steht allerdings auch außer Frage, daß damit die zu diesem Kapitel eingangs zitierte Literatur auf eine ganz schmale und nicht einmal unumstrittene Basis reduziert wird. Es darf hierbei jedoch auch nicht die Aufgabe der Geräusche, die sie im Hauptversuch zu erfüllen haben, außer Acht gelassen werden. Nicht die Geräusche sind es, die untersucht werden sollen. Es ist vielmehr, daß die Geräusche als Belastung aufgebracht werden, und daher ist es im Prinzip fast völlig egal, was es für Geräusche sind. Sie müssen jedoch ihren Ursprung im Fahrzeug haben, denn erkannt werden dürfen sie auch nicht – wesentlich ist, daß sich die Geräusche unterscheiden, wenn sie in diesem Vorversuch wie gezeigt auch noch so dramatische Unterschiede zu Tage fördern, so ist das mehr als für den Hauptversuch notwendig wäre.

**Tabelle 6:** Ergebnisse des Vorversuchs zur Belastungsart (Sounds)

Bewertete Geräuschquellen	Bewertung
Innenraum gesamt	48
Innenraum tief	-5
Innenraum mittel	-49
Innenraum hoch	-45
Seitenspiegel gesamt	2
Seitenspiegel tief	1
Seitenspiegel mittel	-42
Seitenspiegel hoch	-24
Motorenraum gesamt	3
<b>Motorenraum tief</b>	<b>57</b>
<b>Motorenraum mittel</b>	<b>-97</b>
<b>Motorenraum hoch</b>	<b>-93</b>
Hinterachse gesamt	-36
Hinterachse tief	18
Hinterachse mittel	-84
Hinterachse hoch	-99

# Hauptversuch

## A Versuchsaufbau

Der Versuch fand in der Zeit zwischen dem 3. und 22. März 1997 statt. Es nahmen sechs Personen teil, die alle jeweils dreimal von Marienfelde nach Rostock und wieder zurück fuhren. Sie fuhren jedesmal mit demselben Fahrzeug, aber mit unterschiedlichen Belastungsarten (Soundmodifikationen).

### A1 Versuchsteilnehmer, Stichprobe

Bei der Auswahl von Teilnehmern stellt sich die Frage, wie die Stichprobe zusammengesetzt werden soll, wenn eine nur sehr kleine Stichprobe untersucht werden kann, sei es aus Gründen der Finanzierung, des Zeitaufwandes oder anderer Randbedingungen. Es gibt im Wesentlichen zwei Vorgehensweisen, die die gesamte Auswertung und insbesondere die Gültigkeit der zu gewinnenden Ergebnisse bestimmen: eine homogene oder eine inhomogene (siehe auch Kapitel Umgang mit geringen Stichprobengrößen).

Letztlich wurde letztere Möglichkeit aus dem Grunde gewählt, daß bereits mehr Erfahrungen mit kleinen, inhomogenen Stichproben vorliegen, als mit kleinen, homogenen. Daraus leitet sich das weitere Vorgehen bei der Auswahl der Versuchsteilnehmer ab:

Die Rahmenbedingungen schließen das Versuchsfahrzeug (Mercedes Benz E230, Typ W210) selbstverständlich mit ein, so daß bei den Versuchsteilnehmern eine ausreichende Mercedeserfahrung vorausgesetzt werden mußte. Die Gründe liegen auf der Hand: Jemand, der bisher ausschließlich mit einem VW Polo, ohne dieses Modell diskreditieren zu wollen, gefahren ist, wird sich in einem Mercedes nicht sofort optimal zurecht finden, so daß mit einer längeren Eingewöhnungsphase zu rechnen ist, die die Varianz der Daten naturgemäß unnötig erhöht. Ein mercedeserfahrener Teilnehmer jedoch wird sich in das Fahrzeug setzen und es wird ihm im Wesentlichen alles vertraut sein. Ferner kann er sich ganz auf das Fahren konzen-

trieren, ohne von einer ungewohnten, neuen Umgebung abgelenkt zu sein. Dies widerspricht zwar dem Paradigma der inhomogenen Stichprobe, diese Einschränkung kann aber aus eben genannten, pragmatischen Gründen zugelassen werden.

Da insgesamt sechs Versuchsteilnehmer finanziert werden konnten, inklusive des Honorars der Teilnehmer, des Fahrzeugs, der Räumlichkeiten und so weiter, liegt es nahe, Teilnehmer beider Geschlechter zu gleichen Teilen auszuwählen.

Ferner wurde darauf Wert gelegt, die Altersverteilung so zu streuen, daß ein möglichst breites Bevölkerungsspektrum abgedeckt wurde (siehe Tabelle 7), wobei folgende Einschränkungen berücksichtigt werden mußten: Da der Versuch höhere Anforderungen an die Fahrzeugbeherrschung und die Fahrerfahrungen stellte als üblich<sup>1</sup>, wurden keine Fahranfänger ausgewählt, das entsprechende Kriterium, welches demnach von den Teilnehmern erfüllt werden mußte, war mindestens 100.000 km Fahrerfahrung zu haben. Zusätzlich gab es auch eine obere Altersbeschränkung: Der Versuch erstreckte sich für jeden einzelnen Teilnehmer über drei Tage. Aufgrund dieser hohen Belastung wurde lieber darauf verzichtet, Teilnehmer, die älter als 65 Jahre sind, zu diesem Versuch zu bitten. Unter diesen Voraussetzungen wurde die Stichprobe in drei

**Tabelle 7:** Teilnehmer, Gesamtstichprobe

TN	Alter	Geschlecht
1	44 Jahre	Frau
2	28 Jahre	Mann
3	33 Jahre	Frau
4	38 Jahre	Mann
5	53 Jahre	Frau
6	56 Jahre	Mann

<sup>1</sup> „Als üblich“ im Sinne der ansonsten sicheren Teilnahme am Straßenverkehr.



gung führte, da sie jederzeit zweispurig in voller Breite zu befahren war. Störender war ein Brückenneubau über die Havel, bei der die nur einspurige Fahrbahn auf die gegenüberliegende Fahrspur umgeschwenkt wurde, dies ging mit einer entsprechenden drastischen Geschwindigkeitsbeschränkung und gelegentlichen kleineren Staus oder zähfließendem Verkehr einher. Drei weitere Baustellen, eine auf der A24, die anderen auf der A19, hatten keinen großen Einfluß auf das Verkehrsgeschehen oder den Versuchsablauf.

### A3 Versuchsfahrzeug

Das Versuchsfahrzeug war ein Mercedes-Benz W210-2,3 (siehe Abbildung 32) mit einer beinahe Vollausrüstung. Insbesondere auf die Klimaautomatik, den Tempomaten und das Bose-Soundsystem sowie die Einbauten für die Befragung mittels Proteus und den Springenden Punkt muß näher eingegangen werden.

Unter dem Gesichtspunkt einer Versuchsfahrt mit verschiedenen Belastungsarten (Soundmodifikationen) war es sehr wichtig, die Grundgeräusche über alle Teilnehmer und alle Fahrten so konstant wie möglich zu halten. Diese Prämisse verbietet natürlich das Öffnen von Fenstern, was den Teilnehmern ohne weitere Begründung untersagt wurde. Um dennoch eine dem Teilnehmer angenehme Klimatisierung zu ermögli-

chen, kam es sehr entgegen, daß das Fahrzeug mit einer Klimaautomatik ausgerüstet war, wobei das Gebläse der Klimaautomatik konstant auf Stufe zwei gehalten wurde. Die Benutzung des Radios wurde aus naheliegenden Gründen untersagt, es stellte für keinen der Teilnehmer ein Problem dar.

Der Tempomat wurde während der gesamten Autobahnfahrt eingesetzt und sollte nach Möglichkeit auf 120 km/h eingestellt sein. Für die Benutzung des Tempomates sprechen verschiedene Argumente: Als erstes ist selbstverständlich das Hintergrundgeräusch im Fahrzeug zu nennen, was bei allen Teilnehmern auf diesem Wege konstant gehalten werden konnte. Der zweite Grund für die Benutzung des Tempomates liegt eher in der Kompensationshaltung der Teilnehmer, beziehungsweise der Autofahrer im Allgemeinen (Bösser, Häcker, 1987, Berger et al. 1973, Utzelmann, 1976 und 1977). Wenn die Fahraufgabe zu wenig beanspruchend oder zu langweilig wird, der Autofahrer anfängt zu ermüden oder ähnliches, wird gerne die Geschwindigkeit variiert, bis hin zur Eigenaktivierung durch schnelles Fahren oder dichtes Auffahren, um etwas mehr Abwechslung in die Fahraufgabe zu bringen, was aber beim Versuchsdesign eher als kontraproduktiv beurteilt werden muß. Trotz der eindeutigen Aufforderung, den Tempomat für eine Geschwindigkeit von 120 km/h zu benutzen, taten sich zwei Teilnehmer mit dieser



**Abbildung 32:** Das Versuchsfahrzeug, W210 2,3 (mit Versuchsleiter)

Instruktion eindeutig schwer. Sie verstießen dagegen mit fadenscheinigen Begründungen, wie „man könne damit andere Fahrzeug nicht sinnvoll überholen“, „sie hätten es schlicht vergessen“ oder „die Autobahn sei so leer gewesen, daß diese geringe Geschwindigkeit einfach keinen Sinn mache“. Der dritte und pragmatischste Grund, der für die Benutzung des Tempomates sprach, war die annähernd einheitliche Versuchsdauer bei gleicher Fahrgeschwindigkeit aller Teilnehmer.

Das letzte wesentliche Ausstattungsmerkmal ist das Bose-Soundsystem (Abbildung 34), welches in das Fahrzeug extra für diesen Versuch eingebaut wurde. Um additive Hintergrundgeräusche sinnvoll in das Fahrzeug einzuspielen, bedarf es



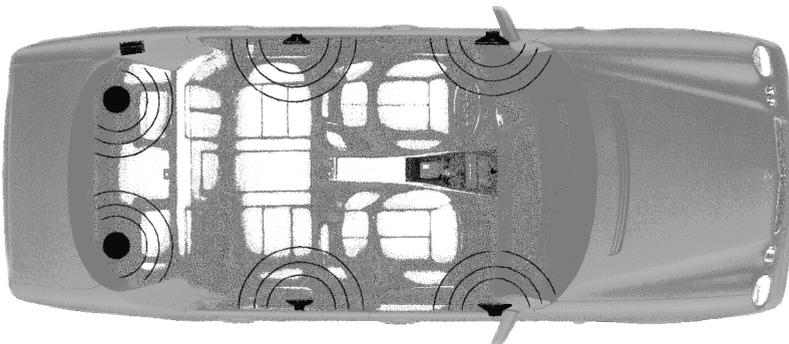
**Abbildung 33:** Radioblende

eines sehr leistungsstarken Soundsystems, was hervorragend auf das Fahrzeug abgestimmt sein muß. Schließlich soll das beaufschlagte Geräusch von den Versuchsteilnehmern weder erkannt noch lokalisiert werden können. Diese wesentlichen Voraussetzungen erfüllt das Bose-Soundsystem (im Rahmen einer kleinen Befragung, wurden Kollegen, die vom Soundsystem nichts wußten, um eine entsprechende Stellungnahme gebeten, die ausnahmslos im gewünschten Sinne ausfiel).

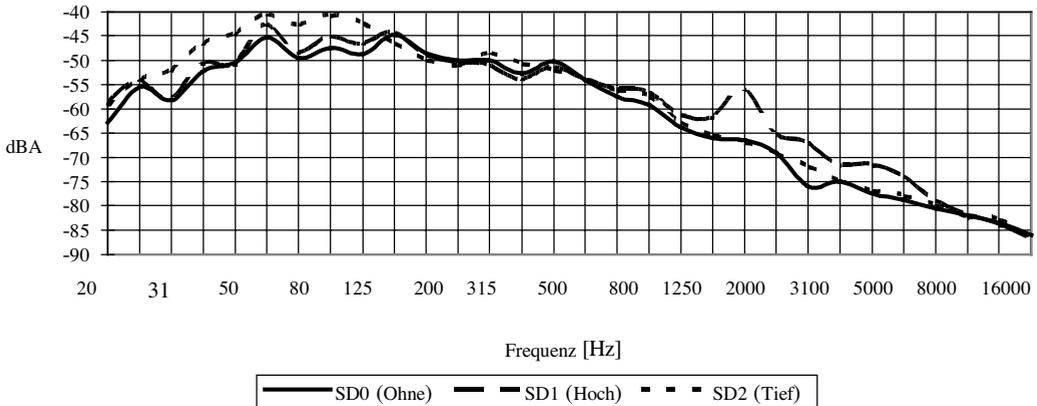
Weitere Modifikationen wurden an dem Bose-Soundsystem vorgenommen, um die additiven Hintergrundgeräusche einzuspielen. Das Motorengeräusch, welches direkt über dem Zylinderkopfdeckel mit einem Kondensatormikrofon (Sennheiser MKE40 mit Vorverstärker Sennheiser K6) aufgenommen wurde, wurde durch eine Frequenzweiche (Startech EXN-93 Crossover Network) in den CD-Eingang des Radios eingespielt. Die Flanken für die tiefen Frequenzen lagen bei 120 Hz, für die hohen bei 5 kHz. Um diese am Radio leicht sichtbare Modifikation zu tarnen (das Display zeigt das Abspielen einer CD an), war das Radio mit einer Blende (Abbildung 33) verdeckt.

Die Spektralanalyse des Geräusches in der Fahrgastkabine (Abbildung 35) zeigt sehr anschaulich die Wirkung dieser Modifikation auf den Sound.

Die der Spektralanalyse zugrundeliegende Messung wurde im Stand bei laufendem Motor mit einer Drehzahl von etwa 3300 U/min aufgenommen. Diese Drehzahl entspricht beim Fah-



**Abbildung 34:** Lautsprecher des Bose Soundsystem (die Grafik ist einem Werbeprospekt der Firma Mercedes-Benz AG entnommen)



**Abbildung 35:** Spektralanalyse der Soundmodifikationen des Versuchsfahrzeuges

ren auf der Autobahn etwa 120 km/h. Es ist in Abbildung 35 deutlich zu sehen, daß für die Beaufschlagung mit tiefen Frequenzen des Motorengeräusches (im folgenden mit SD2-tief gekennzeichnet) im Bereich zwischen 25 Hz und 120 Hz die Lautstärke im Schnitt um zirka 5 dBA höher als bei den anderen beiden Spektren (Beaufschlagung mit hohen Frequenzen des Motorengeräusches, mit SD1-hoch gekennzeichnet, und das unveränderte Geräusch, mit SD0-ohne gekennzeichnet) ist, gleiches ist für SD1-hoch im Bereich zwischen 2400 Hz und 7000 Hz zu sehen<sup>2</sup>. Daß die Frequenzen unterhalb 25 Hz und oberhalb 8000 Hz nicht verstärkt wurden, liegt an den Grenzfrequenzen des Gesamtsystems (bestehend aus Mikrophon, Vorverstärker, Verstärker, Lautsprecher und ähnlichem).

Die Befragung mittels Proteus, wie sie in dem Vorversuch zur Rückwirkung zweier Methoden entwickelt und eingesetzt wurde, basiert auf einem Computersystem, das Fragen vorliest, die dann mit einer dazugehörigen Tastatur beantwortet werden können. Die Fragen konnten bedauerlicherweise nicht auch über das Bose Soundsystem in die Fahrgastzelle eingespielt werden, so daß ein separates Lautsprecherpaar an der Kopfstütze des Fahrersitzes befestigt werden mußte (Abbildung 37). Unglücklicherweise war der Teilnehmer TN 6 aufgrund einer leichten Gehörschwäche<sup>3</sup> nicht immer in der Lage, die Fragen korrekt zu verstehen, bei ihm wurden die Fragen zusätzlich in schriftlicher Form auf dem Lenkrad befestigt. Die spezielle

Tastatur, die zur Beantwortung der Fragen notwendig war, wurde auf der Konsole anstelle einer Hutze für ein Taxameter befestigt, so daß sie von allen Teilnehmern ohne Veränderung ihrer jeweiligen Sitzposition bedient werden konnte (siehe Abbildung 36).

Der Springende Punkt ist eine Blickbewegungsaufgabe, bei der der Versuchsteilnehmer zwei alternierend aufblinkende LEDs mit seinem Blick verfolgen soll. Eine ausführliche Be-

<sup>2</sup> Die Überhöhung der Lautstärke bei der Soundmodifikation SD1-hoch im Frequenzbereich um 2 kHz war nicht beabsichtigt. Sie konnte jedoch auch nicht mit angemessenem Aufwand behoben werden. Da dieser Frequenzbereich an den gewünschten direkt angrenzt und außerdem im Vorversuch zur Belastungsart (Sounds) festgestellt wurde, daß sich die mittleren und hohen Frequenzbereiche des Geräusches im Motorenraum in ihrer Bewertung durch die Versuchsteilnehmer des entsprechenden Vorversuches nicht stark unterscheiden (siehe Tabelle: Motorenraum mittel = -97, Motorenraum hoch = -93), wurde diese kleine Unstimmigkeit im Versuchsaufbau hingenommen. Ihre Auswirkungen auf die Ergebnisse dürfen als minimal eingeschätzt werden. Einschränkungen oder besondere Maßnahmen sind weder aufgrund der theoretischen Grundlagen noch aufgrund der Hypothesen notwendig.

<sup>3</sup> Diese Information ergab sich erst während der ersten Fahrt mit diesem Teilnehmer, was sich in den Daten dergestalt niederschlug, daß während dieser Fahrt nur eine stark verringerte Anzahl an Befragungen beantwortet wurde, der Versuchsleiter gab während der Fahrt die Instruktion, nur die Fragen zu beantworten, die richtig und eindeutig verstanden wurden, mit dem Ziel, weitere Beeinträchtigungen des Versuchsdesigns und andere Interaktionen zu minimieren.



**Abbildung 36:** Proteus Tastatur



**Abbildung 37:** Proteus Lautsprecher



**Abbildung 38:** Springender Punkt

schreibung dieser Aufgabe findet sich im Kapitel Springender Punkt als Blickbewegungsaufgabe. Der Springende Punkt (die Hardware) mußte, um eine möglichst einfache und beeinträchtigungsarme Bedienung zu gewährleisten, wenige Grad unterhalb der Blickachse für die normale Autobahnfahrt befestigt werden (Siehe Abbildung 38). Dies wurde mit zwei Saugnapfstativen realisiert, die von innen an der Windschutzscheibe befestigt waren. Die unterschiedlichen Körpergrößen konnten problemlos mit der Sitzhöhenverstellung des Versuchsfahrzeuges ausgeglichen werden, so daß der Springende Punkt während aller Fahrten an derselben Stelle plaziert bleiben konnte. Am rechten Rand des Springenden Punktes befindet sich ein weißer Taster (auf der Abbildung zirka 1,4cm vom rechten Rand der Hardware entfernt, nicht zu verwechseln mit dem kleinen orangefarbenen Klebepunkt zirka 0,7cm vom rechten Rand entfernt), der zum Starten der Blickbewegungsaufgabe jeweils kurz gedrückt werden mußte. Auch diese Taster waren für alle Teilnehmer ohne Veränderung ihrer jeweiligen Sitzposition problemlos erreichbar. Für die horizontale Kalibrierung des EOG wurden rechts und links des Springenden Punktes kleine orangefarbene Klebepunkte ( $\varnothing$  8mm, der linke ist auf der Abbildung nur mit Mühe zu erkennen) angebracht; für die vertikale Kalibrierung war ein Klebepunkt auf der Konsole (auf der Abbildung vom Lenkrad verdeckt), ein weiterer auf der Windschutzscheibe befestigt (ist auf der Abbildung nicht zu sehen, dieser Klebepunkt beeinträchtigte die Sicht in keiner Form).

## B Versuchsablauf, Durchführung

### B1 Training der Probanden

Alle sechs Teilnehmer wurden sechs Wochen vor dem eigentlichen Versuchsbeginn zu einem Fahrertraining eingeladen. Ziel des Trainings war es, das Fahren unter Ausführung des Springenden Punktes auf der Autobahn zu üben. Erfahrungen mit dem Springenden Punkt während des Autofahrens legten ein solches Training nahe, da der Autor feststellte, daß sich erst wieder nach Übung von rund einem Dutzend Springender Punkte ein ruhiger und normaler Fahrstil einstellte, andere Kollegen, die das System beurteilten, berichteten ähnliches.

Es wurden jeweils drei Teilnehmer vormittags und drei nachmittags in das Werk (Marienfelde) bestellt. Dort wartete ein VW-Golf Automatik Fahrschulwagen mit Fahrlehrer<sup>4</sup> auf die Teilnehmer. Sie fuhren zirka drei Stunden auf der A10 (südlicher Berliner Ring) auf und ab und übten dabei unter Worst Case Bedingungen (dichter Verkehr, viele Anschlußstellen, Park- und Rastplätze, ...) den Springenden Punkt. Während des Ausführens des Springenden Punktes übernahm der Fahrlehrer die Geschwindigkeitsregelung (das Fahrschulfahrzeug verfügte nicht über einen Tempomaten) und simulierte somit einen Tempomaten. Für die Trainingsphase galten dieselben Randbedingungen (kein Springender Punkt in Kurven, Baustellen etc.) wie später für die eigentlichen Versuchsfahrten.

Die Teilnehmer berichteten einheitlich, daß sie keine großen Gewöhnungsprobleme gehabt hätten und daß alles sehr zufriedenstellend verlaufen sei. Der Fahrlehrer<sup>5</sup> korrigierte diese Selbstdarstellung im Anschluß zwar etwas nach unten, bestätigte dann jedoch allen sechs Teilnehmern für den Versuch ein ausreichendes Vermögen.

### B2 Versuch

Der Versuchsablauf war bei allen Fahrten derselbe, Variationen oder Abweichungen davon traten fast nicht auf. Die Teilnehmer wurden jeweils an drei aufeinander folgenden Tagen (Montag bis Mittwoch oder Donnerstag bis Sonnabend) zu zehn Uhr des Vormittags in das Werk (Marienfelde) bestellt. Bevor die einzelnen Teilnehmer dort eintrafen, wurde das Versuchsfahrzeug für die jeweilige Fahrt präpariert

**Tabelle 8:** Reihenfolge der Soundbeaufschlagungen

TN	erste Fahrt	zweite Fahrt	dritte Fahrt
1	SD0	SD1	SD2
2	SD1	SD2	SD0
3	SD2	SD0	SD1
4	SD2	SD1	SD0
5	SD1	SD0	SD2
6	SD0	SD2	SD1

(die entsprechende Konfiguration für das jeweilige Hintergrundgeräusch wurde eingestellt, die Scheiben gewaschen, das Fahrzeug getankt, der Luftdruck überprüft, ...). Die drei möglichen Soundvarianten wurden von jedem Teilnehmer gefahren, ihre Darbietungsreihenfolge wurde permutiert, die Reihenfolge in der das Hintergrundgeräusch für die einzelnen Teilnehmern konfiguriert wurde, ist in Tabelle 8 dokumentiert. So fuhr beispielsweise Teilnehmer 1 am ersten seiner drei Versuchstage ohne Modifikationen des Sounddesigns (SD0), für die zweite Fahrt am nächsten Tag war im Versuchsfahrzeug die Soundbedingung SD1 realisiert und am dritten und letzten Tag während der dritten Fahrt des Teilnehmers 1 die Soundbedingung SD2.

Beim jeweils ersten Treffen mit den einzelnen Versuchsteilnehmern fand eine ausführliche Instruktion über den Versuchsablauf statt, die bei den zwei weiteren Treffen dann gegebenenfalls durch freundliche Ermahnungen, die Instruktionen doch bitte etwas stärker zu beherzigen, ersetzt wurden. Es wurde darauf hingewiesen, daß dies eine sehr aufwendige Versuchsreihe zur Bestimmung der Beanspruchung beim Autofahren sei, weshalb auch jeweils drei Fahrten hintereinander notwendig seien. Der eigentliche Sinn (insbesondere die Modifikationen und Variationen) der Versuchsfahrten wurde vor den

<sup>4</sup> An dieser Stelle noch ein kleiner Dank an die Fahrschule Nawrath und deren Fahrlehrer in Berlin Marienfelde, deren freundliche Unterstützung mehrfach in Anspruch genommen wurde.

<sup>5</sup> Ein anderer Fahrlehrer hatte vorher gemeinsam mit dem Autor diese Versuchsbedingungen auf denselben Autobahnteilstücken trainiert. Er gab die rechtsverbindliche Information, daß er den Springenden Punkt nach etwas Training für ansonsten geübte Autofahrer für bedenkenlos im Straßenverkehr (Autobahnen, wie sie dort vorzufinden sind) einsetzbar halte.

Teilnehmern geheim gehalten. Die Teilnehmer wurden instruiert, während der Fahrt weder das Fenster zu öffnen noch das Radio, welches durch eine Verblendung verdeckt war (siehe Abbildung 33), zu bedienen oder sich mit dem sie begleitenden Versuchsleiter zu unterhalten. Den Teilnehmern wurde sehr deutlich gemacht, daß auch für sie die Straßenverkehrsordnung gelte, sie sich folglich an alle Vorschriften halten mögen (siehe auch Kapitel Methoden, Springender Punkt als Blickbewegungsaufgabe, in dem unter anderem die rechtlichen Grundlagen, auf denen diese Fahrversuche durchgeführt wurden, dargestellt sind). Insbesondere wurde auf zwei wesentlich Punkte hingewiesen: Einerseits die Benutzung des Tempomats auf der Autobahn bei einer Geschwindigkeit von 120 km/h. Wer mit einem Tempomat noch nicht vertraut war, bekam eine ausführliche Einführung in seine Benutzung, so daß es während der Fahrten zu keinerlei Schwierigkeiten mit seiner Anwendung kam. Andererseits auf die möglichen Gefahren während des Versuchs (die lange Versuchsdauer von zirka sechs Stunden oder der Springende Punkt als vom Straßenverkehr ablenkende Aufgabe).

Nachdem mittels Befragung sichergestellt wurde, daß sich die Teilnehmer in ausreichend guter Verfassung befanden, die Versuchsfahrt erfolgreich durchzustehen, wurden die Teilnehmer mit den EOG-Elektroden beklebt, die Teilnehmerinnen von Frau Janßen, vom Autor die Teilnehmer. Die anschließende Kalibrierung des EOG wurde bereits im Auto sitzend durchgeführt. Direkt vor der Abfahrt bekamen die Teilnehmer den ersten Teil des EZ34-Fragebogens in das Auto gereicht.

Nachdem der Fragebogen bearbeitet wurde, stieg einer der beiden Versuchsbetreuer (bei den Teilnehmerinnen Frau Janßen, der Autor bei den Teilnehmern) mit in das Auto und nahm auf dem hinteren, rechten Sitz Platz. Dies war leider notwendig, da das EOG während der Fahrt gelegentlicher Bedienung bedarf. Die Teilnehmer begannen dann ihre Fahrt entsprechend der Streckenbeschreibung, ohne eine Pause einzulegen, die Fahrtdauer auf der rund 580 km langen Versuchsstrecke betrug in der Regel ungefähr sechs Stunden.

Alle zwölf Minuten bearbeiteten die Teilnehmer die Befragung mittels Proteus, befanden sie sich in dem Augenblick auf der Autobahn, suchten

sie im Anschluß daran nach einer Möglichkeit, den Springenden Punkt auszuführen, die sich in den meisten Fällen auch innerhalb der nächsten Minute ergab. Der Versuchsbetreuer dokumentierte während der Fahrt etwaige Vorkommnisse (Staus, Unfälle, ...) sowie die Zeiten, zu denen die Befragung beziehungsweise der Springende Punkt durchgeführt wurde. Eine weitere Aufgabe des Betreuers bestand darin, während der Fahrt den Teilnehmer zu beobachten und bei Anzeichen stärkerer Ermüdung nach eigenem Ermessen die Versuchsfahrt abzubrechen, wobei der Teilnehmer dabei gebeten wurde, auf den nächsten Parkplatz zu fahren, um dann die Fragebögen zu bearbeiten. Im Anschluß daran fuhr dann der Betreuer das Fahrzeug ins Werk (Marienfelde) zurück.

Nachdem die Teilnehmer die Versuchsstrecke abgefahren hatten und wieder im Werk (Marienfelde) angekommen waren, wurde ihnen als erstes der zweite Teil des EZ34-Fragebogen zur Bearbeitung gereicht, im direkten Anschluß wurden sie gebeten, den TLX-Fragebogen zu bearbeiten. Anschließend erst wurden ihnen die Elektroden abgenommen. Nach einem kurzen Gespräch über die jeweilige Fahrt („Wie fühlen Sie sich jetzt?“, „Ist Ihnen etwas besonderes aufgefallen?“) wurden die Teilnehmer verabschiedet. Mit der Zeit für die Vor- und Nachbereitung sowie der Fahrtdauer waren die Teilnehmer zirka acht Stunden pro Tag an dem Versuch beteiligt. Im Anschluß daran wurden die Elektroden gereinigt und sämtliche Meßgeräte ausgeschaltet.

Ein Teilnehmerhonorar in Höhe von 800,- DM (100,- für das Training, 700,- für die Versuchsfahrten) wurde jedem Teilnehmer im Anschluß an die Versuchsfahrten bargeldlos überwiesen.

## C Daten

Die im Hauptversuch erhobenen Daten werden an dieser Stelle in aller Kürze noch einmal in einer Übersicht zusammengestellt.

### C1 Fragebögen

#### EZ34-Fragebogen:

Ein Fragebogen zum Eigenzustand (vier Dimensionen), er wird zweimal dargeboten (direkt vor und direkt nach der Fahrt), er besteht aus 34 Adjektiven, die mittels einer sechsstufigen Skala

gewertet werden, der Fragebogen wurde als Papier- und Bleistift-Befragung durchgeführt.

### **TLX-Fragebogen:**

Ein Fragebogen zur Beanspruchung (eine Dimension, sechs Unterdimensionen), er wird nach der Fahrt computergestützt dargeboten, nach einer Wertung der sechs Belastungsdimensionen, die zur aktuellen Beanspruchung geführt haben, wird ein vollständiger Paarvergleich (welche Belastung trug stärker zur Beanspruchung bei) zwischen den Belastungsdimensionen durchgeführt.

### **Befragung mittels Proteus:**

Die Befragung basiert auf dem BLV-Fragebogen zum Belastungsverlauf, er wurde reduziert auf sechs Fragen und drei Dimensionen, die Befragung wurde während der Fahrt alle zwölf Minuten computergestützt akustisch dargeboten und mittels einer fünfstufigen Skala beantwortet.

## **C2 Blickbewegungsdaten**

### **Blickbewegungsaufzeichnung mittels EOG (spontane Blickverteilung):**

Das EOG wird mittels vierer Elektroden um ein Auge abgenommen und mit 1000Hz abgetastet, eine Messung dauert bis zu zehn Minuten an, anschließend werden die Daten auf einem Computer abgelegt und eine neue Messung automatisch gestartet, aufgezeichnet werden dabei sechs Parameter der Sakkaden und acht des Lid-schluß' (sowie die Reizwechsel des Springenden Punktes).

### **Blickbewegungen beim Springenden Punkt:**

Der Springende Punkt ist eine Blickbewegungsaufgabe, bei der ein beschleunigter Rechteck-Reiz mit den Augen verfolgt werden soll, die Reizwechsel und die korrespondierenden Augenbewegungen werden mittels EOG aufgezeichnet, die Blickbewegungsaufgabe wurde während der Autobahnfahrt jeweils nach der Befragung mittels Proteus durchgeführt.

## Analysen der Hauptversuchsdaten

Dieser Abschnitt zeichnet die Analysewege der Daten des Hauptversuches vor.

### A Datenaufbereitung

Der **EZ34-Fragebogen** wird gemäß dem Handbuch (Marggraf & Liepmann, 1987) ausgewertet (siehe auch das Kapitel EZ34-Fragebogen). Seine Ergebnisse können in eine Rangreihenfolge gebracht und einem Signifikanztest unterzogen werden.

Der **TLX-Fragebogen** in der deutschen, computergestützten Fassung wertet sich, während die Versuchsteilnehmer ihn bearbeiten, selber aus (siehe auch das Kapitel TLX-Fragebogen und die Tabelle 3), die Ergebnisse können in eine Rangreihenfolge gebracht und einem Signifikanztest unterzogen werden.

Die Antworten der **Befragung mittels Proteus** (siehe auch das Kapitel Befragung mittels Proteus) werden für jeden Befragungszeitpunkt einzeln in einen zeitlichen Zusammenhang mit den Daten des Springenden Punktes und der spontanen Blickbewegung gesetzt (siehe unten), des weiteren werden eine Regressionsanalyse, sowie ein Signifikanztest der Daten durchgeführt.

### Blickbewegungen, allgemein:

Der Algorithmus (Königstein, 1989, gehört zum Lieferumfang der EOG Hardware) zum Identifizieren von Sakkaden (zum Beispiel Baloh et al., 1976, Ebisawa et al., 1988 oder Behrens & Weiss, 1991) nutzt die hohe Beschleunigung am Anfang und am Ende einer Sakkade im geglätteten Datensatz (Juhola, 1991). Lidschläge werden anhand zweier entgegengesetzter Sakkaden im vertikalen EOG Kanal identifiziert, wenn das erste Ereignis eine Aufwärtssakkade (der Lidschlußartefakt) und das zweite Ereignis nicht mehr als 80 msec später eine Abwärtssakkade (der Lidöffnartefakt) darstellt.

Die nun folgenden Berechnungen des EOG-Signals, beziehungsweise dessen Weiterverarbeitung, wurde mit Software durchgeführt, die

Prof. Galley freundlicherweise zur Verfügung gestellt hatte.

Das Lidschlußintervall wird definiert als der Zeitraum zwischen dem Ende des einen und dem Anfang des nächsten Lidschluß', wobei ein typisches Intervall beim Autofahren  $1700 \text{ msec} \pm 700 \text{ msec}$  dauert (Andrés, 1996). Ein überlanges Lidschlußintervall wird mit einer Dauer von länger als 3000 msec festgelegt. Die Lidschlußdauer wird als die Zeitspanne bestimmt, die zwischen dem Augenblick der Aufwärtssakkade und dem Punkt maximaler Abwärtsauslenkung liegt, was das Bestimmen des Endpunktes vermeidet, welcher asymptotisch erreicht wird (Stern et al., 1984, Stern et al., 1994). Typische Lidschlußdauern betragen  $140 \text{ msec} \pm 30 \text{ msec}$  (Andrés, 1996). Eine überlange Lidschlußdauer wird hier mit 190 msec oder länger festgelegt. Lidschlußamplitude und Geschwindigkeit werden aus dem Lidschlußartefakt des vertikalen EOG-Kanals ermittelt: Die Lidschlußamplitude wird definiert als Gradäquivalent, das sich aus der Amplitude berechnen würde, wenn es eine vertikale Sakkade wäre; typische Amplituden betragen  $17 \text{ Grad} \pm 7 \text{ Grad}$  (Andrés, 1996). Die Lidschlußgeschwindigkeit wird ebenso behandelt, als wäre der Lidschluß eine vertikale Sakkade.

Das Intervall zwischen zwei Sakkaden, die Fixationsdauer, wird als der Zeitraum zwischen dem Ende der letzten Sakkade und dem Anfang der nächsten Sakkade definiert. Ihre Länge ist aufgabenabhängig und dauert üblicherweise während des Fahrens auf der Autobahn  $450 \text{ msec} \pm 190 \text{ msec}$  (Galley et al., 1997). Sakkadenamplituden werden aus den vertikalen und den horizontalen EOG-Kanälen berechnet, die getrennt kalibriert werden. Typische Amplituden für die Autobahnfahrt liegen bei  $5,5 \text{ Grad} \pm 1,9 \text{ Grad}$  (Andrés, 1996). Die Sakkadenspitzen Geschwindigkeit wird standardisiert, um Einflüsse unterschiedlich großer Amplituden zu eliminieren. Das Standardisierungsverfahren folgt der Amplituden-Geschwindigkeitskurve nach Collewijn (1988) (siehe auch Gleichung 1, Seite

40). Gemessene Sakkadenspitzen­geschwindigkeiten werden umgerechnet in den Prozentwert des Wertes, der anhand der Amplitude der Normalwert-Kurve der Spitzen­geschwindigkeit zu erwarten wäre. Dieses Prozedere eliminiert den Einfluß unterschiedlich großer Sakkaden, was als eine Voraussetzung angesehen werden muß, wenn diese als Aktivationsindikator dienen sollen (Galley, 1989). Ein analoges Verfahren wird für die Berechnung der Lidschluß­geschwindigkeiten benutzt.

### Spontane Blickverteilung:

Es wird der Median okulomotorischer Parameter (Fixationsdauer, Sakkadengeschwindigkeit, Sakkadendauer, Sakkadenamplitude, Lidschlußintervall, Lidschlußgeschwindigkeit, Lidschlußdauer, Lidschlußamplitude) auf der Basis von zwei Minuten Intervallen berechnet, ebenso werden überlange Fixationen ( $> 600$  msec), Lidschlußintervalle ( $> 3000$  msec) und Lidschlußdauern ( $> 190$  msec) gezählt. Da Dinges & Kribbs (1991) betonen, daß bei Ermüdung die Variabilität diverser Maße ansteigt, werden des weiteren die Interquartile<sup>1</sup> der meisten Parameter einbezogen (siehe auch Galley et al., 1997, wo dies auf die benutzten Parameter in dieser Form wohl erstmalig angewendet wird).

### Springender Punkt:

Aus dem Springenden Punkt werden für jede Bearbeitung einzeln die folgenden Parameter berechnet, getrennt für die Reizwechselfrequenz unter- und oberhalb von 1,2 Hz: der mittlere Anteil (Median und arithmetisches Mittel) der Antworten der Antizipationssakkaden, der Expreßsakkaden, der Reaktionssakkaden und der Auslassungen, der Median der Amplitude der Antizipationssakkaden, der Expreßsakkaden und der Reaktionssakkaden, der Geschwindigkeit der Antizipationssakkaden, der Expreßsakkaden und der Reaktionssakkaden und der Zeitpunkte an denen Antizipationssakkaden, Expreßsakkaden und Reaktionssakkaden gestartet werden. Der Median (und hier auch die Differenz der 25% und 75% Interquartile) ist bei der Betrachtung von physiologischen Daten dem arithmetischem Mittel (implizit der Standardabweichung) manchmal vorzuziehen: Er ist nicht ausreißerempfindlich, wie es das arithmetische Mittel ist, und zudem erfüllen physiologische Daten häufig nicht die von der Statistik gefor-

derten Randbedingungen, um arithmetische Mittel<sup>2</sup> berechnen zu dürfen (Bortz, 1993).

## B Berechnungen

Um die Berechnungen durchzuführen, wurde eine SPSS-Datei (SPSS for Windows, Release 6.0, Norusis, 1993) erstellt, in die alle Meßergebnisse in ihrem zeitlichen Zusammenhang eingetragen sind.

Zur Validierung, beziehungsweise zur Falsifizierung der **allgemeinen** Hypothesen<sup>3</sup> genügt in den meisten Fällen eine Betrachtung der Zustände vor und nach den Fahrten. Beim EZ34-Fragebogen liegt diese Betrachtung bereits mittels des Auswertungsalgorithmus' implizit vor. Der TLX-Fragebogen wird nur im Anschluß an eine Belastung dargereicht, so daß zwar keine Vorherwerte verfügbar sind, sein Ergebnis jedoch auch direkt angewendet werden kann (Nasa, 1986). Bei der Befragung mittels Proteus bieten sich zwei unterschiedliche Berechnungsmethoden an, einerseits können die Mittelwerte direkt betrachtet werden, um sie in eine Rangreihenfolge zu bringen, andererseits können auch die Änderungen in eine Rangreihenfolge gebracht werden, wobei als Änderung die Steigung einer Regressionsgeraden interpretiert wird<sup>4</sup>. Um auch bei den physiologischen Parametern (so-

<sup>1</sup> Interquartile sind die Dispersionsmaße des Median und entsprechen bezüglich ihrer Bedeutung der Varianz  $s^2$  (beziehungsweise deren Wurzel, der Standardabweichung  $s$ ) als Dispersionsmaß des arithmetischen Mittels. Der Median ist derjenige Wert, der eine Häufigkeitsverteilung halbiert (50%)  $[(n-1)/2]$  für eine ungerade Anzahl von Werten,  $n/2$  für eine gerade Anzahl], die Interquartile (P - P für Percents, ein weiteres analoges Dispersionsmaß) sind diejenigen Werte, die eine Häufigkeitsverteilung vierteln ( $P_{25} = 25\%$ ,  $P_{50} = 50\%$ ,  $P_{75} = 75\%$ ), wobei  $P_{50}$  als dem bekannten Median entsprechend interpretiert werden kann (Bortz 1993).

<sup>2</sup> Welches Maß der zentralen Tendenz (Modalwert, Medianwert, arithmetisches Mittel, geometrisches Mittel, harmonisches Mittel oder gewichtetes Mittel) gewählt wird, hängt nicht nur von der Fragestellung ab, sondern auch von der Skalenart (Nominalskala, Ordinalskala, Intervallskala oder Verhältnisskala) in der die Daten vorliegen. Für Häufigkeiten und physiologische Meßwerte, wie sie in dieser Untersuchung auftreten, ist der Median das Maß der Wahl.

<sup>3</sup> Grundsätzlich gilt, eine Hypothese, die sich nicht falsifizieren läßt, widerspricht jeder empirischen Wissenschaftlichkeit, wobei andererseits das positive Falsifizieren einer Hypothese auch nicht zwangsläufig deren Gegenteil wahr werden läßt.

wohl spontaner Blickbewegungen als auch des Springenden Punktes) im Schema (der Datenaufbereitung/der Berechnungen) zu bleiben, werden die Daten in eine erste und eine zweite Hälfte als äquivalent zu den Messungen vor beziehungsweise nach der Fahrt unterteilt und dort Mediane der Parameter errechnet<sup>5</sup>. Die Hälfte bemißt sich in fast allen Fällen an der Hälfte der Versuchsstrecke (Wendepunkt Rostock Süd). In den Fällen, in denen die Fahrten vorher abgebrochen werden mußten (weil der Versuchsleiter den Probanden aufgrund seiner (der des Versuchsleiters) subjektiven Einschätzung für nicht mehr ausreichend fahrtauglich hielt), wird die Hälfte der Versuchsdauer als halbiesendes Element zugrunde gelegt<sup>6</sup>. Bei einer Fahrt wird aufgrund eines technischen Defektes die Fahrt bereits vor Rostock beendet, so daß in diesem Falle die Messung nur als erste Hälfte gewertet wird und eine entsprechende zweite Hälfte vollständig fehlt. Etwas mehr Aufmerksamkeit muß der Begutachtung der Rangreihenfolgen, in die die Ergebnisse gebracht werden können, geschenkt werden. Einerseits lassen sich problemlos die Ergebnisse beider oben genannter Fragebögen in eine solche Reihenfolge bringen, andererseits besteht natürlich auch die Möglichkeit, diese Rangreihenfolge innerhalb der Befragung mittels Proteus oder der physiologischen Parameter nachzuweisen, wobei auch hier wieder die Differenzen zwischen erster und zweiter Hälfte interessieren sollen.

Ein gänzlich anderes Verfahren der Datenaufbereitung und Berechnung verlangen die **speziellen** Hypothesen. Mit ihnen sollen Aussagen über den zeitlichen Verlauf der Monotonie und der Ermüdung, respektive der Beanspruchung gewonnen werden. Als erstes muß die Anzahl der zu betrachtenden Parameter auf ein sinnvolles und handhabbares Maß reduziert werden. Die dafür notwendigen Schritte sind die folgenden:

Die Analysen der Blickbewegungen wurden bezüglich der unabhängigen Variablen Teilnehmer, Sounds, Bereiche sowie Fahrten getrennt gerechnet (vier Schritte), um sie anschließend zusammenfassend gegenüberzustellen (fünfter Schritt), mit dem Ziel die Parameter benennen zu können, die die stärkste Aussagekraft auf sich vereinen. Daran schließt sich eine Überprüfung der Parameter an sowie die Betrachtung von Zeitverläufen, um dann in den drei folgenden Schritten die Ergebnisse zu analysieren.

### Erster Schritt: Signifikanzanalyse

Die Parameter werden bezüglich der unabhängigen Variablen einer Signifikanzanalyse unterzogen. Alle Analysen werden getrennt für die Frequenzbereiche bis 1,2 Hz (Reizwechselfrequenz des Springenden Punktes) beziehungsweise über 1,2 Hz durchgeführt. Die Parameter, die hierbei signifikante Ergebnisse erzielen, werden in den nächsten Analyseschritt übernommen.

### Zweiter Schritt: Korrelationsanalyse (nach Spearman)

Um die Liste der Parameter weiter zu verkürzen, werden die Parameter eliminiert, die hoch signifikant miteinander korrelieren. Bei der Auswahl der Parameter, die für die weiteren Analyseschritte nicht mehr berücksichtigt werden sollten, werden nicht nur die reinen Zahlenwerte der statistischen Analyse herangezogen, sondern auch bereits theoretische Überlegungen, die in dem entsprechenden Kapitel dargelegt wurden. Auf die entsprechenden Stellen, bei denen dies angewendet wird, wird im Kapitel Ergebnisdarstellung hingewiesen.

<sup>4</sup> Eine Betrachtungsweise, wie sie zum Beispiel der EZ34 Fragebogen vornimmt, indem die Differenz zwischen vor und nach der Messung gebildet wird, ist vom Prinzip her nichts anderes als eine sehr einfache Regressionsanalyse mit nur zwei Stützstellen, wobei die eigentliche Differenz ein Äquivalent zu der Steigung einer Regressionsgeraden darstellt (nach Backhaus et al. (1994) erfüllt die Regressionsanalyse damit bereits die grundsätzlichen Anforderungen an eine Zeitreihenanalyse).

<sup>5</sup> Die elegantere Methode der Regressionsanalyse ist hier nicht angemessen, da das Ermüdungsverhalten sehr individuell ist (wie Galley et al., 1997 eindrucksvoll gezeigt haben), folglich einheitliche Tendenzen über einen längeren Zeitraum nicht zu erwarten sind (eine entsprechende Analyse wird selbstverständlich trotzdem gerechnet und bestätigt das aus der Literatur bekannte Phänomen).

<sup>6</sup> Ziel der langen Fahrtdauer von zirka sechs Stunden ist nicht in erster Linie eine für alle Teilnehmer konstante oder gleiche Belastung aufzubringen, sondern einen Zustand zu erreichen, also eine Beanspruchung zu implizieren, die es erlaubt, die Hypothesen zu verifizieren; wenn also eine Fahrt vom Versuchsleiter abgebrochen wird, ist dieser Zustand bereits eingetreten, bevor die Versuchsstrecke zu Ende ist, wogegen der angestrebte Zustand von anderen Probanden vielleicht erst in Marienfelde oder gar nicht erreicht wird, so daß die standardmäßige Halbierung der Strecke bei Rostock als die pragmatische Lösung angesehen werden muß, die Halbierung der Versuchsdauer insbesondere bei Abbruch als ein Suboptimum.

### **Dritter Schritt: Diskriminanzanalyse**

Bei Parametern, die gemeinsam eine Gruppe bilden, kann unter Umständen darauf verzichtet werden, alle diese Parameter in der weiteren Analyse zu berücksichtigen, so daß sich hiermit die Liste der Parameter wieder sinnvoll kürzen läßt. In dem nächsten Schritt werden jedoch noch alle Parameter, die in die Diskriminanzanalyse eingeflossen sind, berücksichtigt.

### **Vierter Schritt: Klassifikationsmatrix**

Die Klassifikationsmatrix dient der Kontrolle der Diskriminanzanalyse. Zeigt sich dort eine schlechte Vorhersagegüte für die Gruppenzugehörigkeit, wird von den Ergebnissen der Diskriminanzanalyse Abstand genommen, und die entsprechenden Kürzungen der Parameterliste werden nicht durchgeführt.

### **Fünfter Schritt: Betrachtung der Analyse, Auswahl geeigneter Parameter**

Es ist nicht zu erwarten, daß die vier Analysen der Teilnehmer, der Sounds, der Bereiche sowie der Fahrten zwingend ein einheitliches Bild zeigen werden. Übereinstimmungen in den Analysen werden jedoch als Zeichen gewertet, daß die avisierte Reduzierung der Parameterliste sinnvoll und statistisch vertretbar ist.

### **Sechster Schritt: Überprüfung der Parameter anhand sogenannter Außenkriterien**

Die Parameter der reduzierten Parameterliste werden mit den Daten der EZ34- und TLX-Fragebögen sowie den Daten der Befragung mittels Proteus korreliert. Dies geschieht unter verschiedenen Aspekten wie Teilnehmer, Sounds und Bereiche. Dies führt zu einer weiteren Reduktion der Parameterliste.

### **Siebenter Schritt: Betrachtung der personenbezogenen Zeitverläufe**

Die Daten der reduzierten Parameterliste werden als personenbezogene Zeitverläufe betrachtet, gleichzeitig werden von diesen Daten Regressionsanalysen betrachtet und nach Besonderheiten im Zeitverlauf der einzelnen Teilnehmer gesucht.

### **Achter Schritt: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse**

Alle bisherigen Ergebnisse der Blickbewegungen werden mit Kerninhalten (reduzierte Parameterliste) zusammengefaßt, Besonderheiten werden hervorgehoben. An dieser Stelle schließt sich bei den Ergebnissen der spontanen Blickverteilung eine kurze Diskussion bereits veröffentlichter Ergebnisse an.

### **Neunter Schritt: Aufstellen von Rangreihenfolgen**

Von allen Parametern, die bis zu den letzten Analysen beibehalten werden, werden Rangreihenfolgen gebildet. In einer Übersicht der bisher erarbeiteten Korrelationsanalysen werden die Korrelationsrichtungen untersucht, um die Vergleichbarkeit der Rangreihenfolgen sicherzustellen.

### **Zehnter Schritt: Gegenüberstellung von Ergebnissen und Hypothesen**

Dieser Schritt stellt das eigentliche Ergebnis dieser Arbeit dar.

## **B1 Erläuterungen zu den statistischen Verfahren**

An dieser Stelle sollen nicht alle statistischen Methoden dargelegt oder diskutiert werden, die in dieser Arbeit zur Anwendung gekommen sind. Einfache oder grundlegende statistische Methoden, wie Lageparameter oder Dispersionsmaße, die auch sehr häufig in der ingenieurwissenschaftlichen Literatur verwandt werden, werden als allgemein bekannt vorausgesetzt, beziehungsweise wird an Stellen, an denen aus des Autors Sicht ein möglicher Klärungsbedarf besteht, in angemessener Weise hierauf eingegangen.

### **B1.1 Signifikanzanalyse**

Die Signifikanzanalyse prüft die Mittelwertsdifferenz entweder zweier unabhängiger Stichproben von Probanden mit demselben Variablen-satz auf statistische Signifikanz oder zweier Erhebungen derselben Variablen derselben Stichprobe zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Ein signifikanter Unterschied kann auch als ein bedeutsamer Unterschied zwischen zwei zu ver-

gleichenden Merkmalen oder Gruppen bezeichnet werden.

Die Voraussetzungen hierfür sind erstens die Unabhängigkeit der Stichproben, zweitens die Normalverteilung der Grundgesamtheiten, aus denen die Stichproben stammen, und drittens die Gleichheit der Varianz der Grundgesamtheiten, aus denen die Stichproben stammen. Das Verfahren ist jedoch gegen Verletzungen der zweiten und dritten<sup>7</sup> Voraussetzungen im Allgemeinen sehr robust, so daß eine Überprüfung dieser Voraussetzungen in aller Regel nicht vorgenommen wird.

Die Signifikanzanalyse ist eine einfache und schnelle Methode, um das Vorhandensein von Unterschieden festzustellen. Sind signifikante Unterschiede aufgezeigt worden, lohnt sich häufig die weiterführende Untersuchung möglicher anderer Zusammenhänge.

Die Signifikanzanalyse basiert auf einer zu prüfenden Hypothese ( $H_1$ ) und einer Nullhypothese ( $H_0$ ), die eine Negativhypothese der zu prüfenden ( $H_1$ ) ist, und von der behauptet wird, daß die zur Alternativhypothese ( $H_1$ ) komplementäre Aussage richtig sei. Das Signifikanzniveau, als das Ergebnis der Signifikanzanalyse, ist die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Fehler gemacht wird, wenn die Alternativhypothese ( $H_1$ ) als zutreffend angenommen wird. Beträgt die Wahrscheinlichkeit des Untersuchungsergebnisses unter der Annahme, die Nullhypothese ( $H_0$ ) sei richtig, höchstens 5%, so wird dieses Ergebnis als signifikant und häufig mit „\*“ gekennzeichnet. Beträgt diese Wahrscheinlichkeit höchstens 1%, so ist das Ergebnis hoch signifikant zu nennen und wird häufig mit „\*\*\*“ gekennzeichnet.

Häufig wird auch ein anderes Verfahren zur Berechnung signifikanter Unterschiede Anwendung finden, die Manova. Manova ist ein Verfahren zur multivariaten Analyse von Varianzen, das bei zwei oder mehr korrelierenden, abhängigen Variablen zum Einsatz kommt. Es erlaubt das gleichzeitige Testen einer oder mehrerer verschiedener Gruppierungsvariablen, die auch mehr als zwei Ausprägungen haben dürfen (zum Beispiel hat „Teilnehmer“ als gruppierende Variable die Ausprägungen „1“ bis „6“, stellvertretend für die sechs Teilnehmer).

An den entsprechenden Stellen in der Analyse wird nicht explizit darauf hingewiesen, welches

Verfahren zum Einsatz gekommen ist, da es eindeutig ist; wenn die abhängigen **Variablen getrennt voneinander** bezüglich einer unabhängigen Variablen mit **zwei Ausprägungen** getestet werden, dann wird eine einfache Signifikanzanalyse gerechnet (die Ergebnistabellen haben dann einen eher zeilenorientierten Aufbau), und wenn **korrelierte, abhängige Variablen gemeinsam** bezüglich einer Gruppierungsvariablen mit **zwei oder mehr Ausprägungen** getestet werden, dann wird eine Manova gerechnet (die Ergebnistabellen haben dann einen eher spaltenorientierten Aufbau).

Anhand des nachstehenden Ergebnis' einer Signifikanzanalyse soll die in dieser Arbeit übliche Ergebnisdarstellung erläutert werden. Fett hervorgehoben ist eine allgemeine Information über die analysierten Daten, in diesem Fall daß der Frequenzbereich des Springenden Punktes unterhalb der Eckfrequenz von 1,2 Hz analysiert wurde. In der ersten von drei Spalten sind die analysierten Parameter aufgeführt, in den folgenden beiden die dazugehörige Teststärke wie im Anschluß die eigentliche Signifikanz. Häufig werden in dieser Arbeit zwei Tabellen zu einer zusammengefaßt, wobei sich der formale Aufbau aus dem hier angeführten leicht ableiten läßt.

Frq 1,2Hz	Teststärke	Signifikanz
Ausl %	6,9207	0,0002
Reak %	4,3345	0,0047
Anti %	9,4610	0,0000
Amp_Anti	3,4481	0,0153
Amp_Exp	7,7812	0,0001
V_Reak	2,8612	0,0340

## B1.2 Korrelationsanalyse (Spearman)

Die Korrelationsanalyse ist eine Methode zur Überprüfung von Zusammenhangshypothesen. Korrelationen dürfen jedoch unabhängig von ihrer Höhe (Wertebereich:  $\pm 1$ ; +1 entspricht einem perfekt positiven, -1 einem perfekt negativen Zusammenhang, bei 0 besteht kein Zusam-

<sup>7</sup> Zu Problemen kommt es bei der dritten Voraussetzung, wenn sich die Stichprobengrößen stark voneinander unterscheiden.

menhang) nicht im Sinne von Kausalbeziehungen interpretiert werden.

Die Korrelationsanalyse basiert auf einer Regressionsanalyse, die bei stochastischen Zusammenhängen zur Merkmalsvorhersage benutzt wird, wobei die Korrelationsanalyse im Gegensatz zur Regressionsanalyse invariant gegenüber einer Maßstabsveränderung der untersuchten Merkmale ist. Dies wird durch eine z-Transformation der Eingangsdaten erzielt.

Eine Regressionsanalyse stellt im einfachsten Fall einen linearen Zusammenhang zwischen Prädiktorvariablen (abhängige Variablen) und Kriteriumsvariablen (unabhängige Variablen) in Form einer Geradengleichung dar.

Die Korrelation nach Spearman stellt eine Sonderform der Produkt-Moment-Korrelation oder auch Bravais-Pearson-Korrelation dar. Die Produkt-Moment-Korrelation setzt intervallskalierte Daten voraus, im Gegensatz dazu setzt die Korrelation nach Spearman Rangreihen<sup>8</sup> voraus.

Die Signifikanz einer Korrelation ist in erster Linie von der Anzahl der Meßwerte abhängig. Es sind bei  $N \geq 120$  Meßwerten Korrelationen von 0,18 bereits mit einer geringen Wahrscheinlichkeit ab 5% zufällig und unter 0,23 immer noch mit ab 1% zufällig. Auf der anderen Seite sind bei 100 durchgeführten Korrelationen immerhin bereits 5% zufällig signifikant, so daß üblicherweise das Zufallsniveau in Abhängigkeit von der Anzahl der benutzten Korrelationen nach oben korrigiert wird. Da hier eine deutliche Reduktion der Variablen vorgenommen wird, erscheint bei der großen Anzahl von Meßwerten (Sakkaden und Lidschläge werden zirka 4/sec beziehungsweise 18/min gemacht) ein Korrelationswert von 0,3 einen guten Kompromiß darzustellen, der für sich genommen bei mehr als 250 Werten eine Zufallswahrscheinlichkeit von weniger als 1/100 000 besitzt.

Frq 1,2 Hz	Ausl %	Reak %	Anti %	Amp_Anti
Reak %	0,34**			
Anti %	-0,68**	-0,80**		
Amp_Anti		0,15**	0,17**	
Amp_Exp				0,30**
V_Reak	-0,26**		0,16*	

Anhand des vorstehenden Ergebnis' einer Korrelationsanalyse soll die in dieser Arbeit übliche Ergebnisdarstellung erläutert werden. Fett hervorgehoben ist eine allgemeine Information über die analysierten Daten, in diesem Fall daß der Frequenzbereich des Springenden Punktes unterhalb der Eckfrequenz von 1,2 Hz analysiert wurde. Ergebnisse von Korrelationsanalysen haben üblicherweise einen quadratischen Aufbau, wenn es hiervon zu Abweichungen kommt, so liegt es daran, daß in dem Falle, daß einige Spalten oder Zeilen nicht eine signifikante Korrelation aufweisen, selbige vollständig zur Erhöhung der Lesbarkeit entfernt wurden. In der ersten Spalte und der ersten Zeile finden sich die korrelierten Parameter, in den weiteren Feldern die Ergebnisse der Korrelationsanalyse. Mit \*\* gekennzeichnete Zahlenwerte sind als hoch signifikant zu bewerten, mit \* gekennzeichnete Werte als signifikant.

### B1.3 Diskriminanzanalyse und Klassifikationsmatrix

Die **Diskriminanzanalyse** ist eine multivariate Analyseverfahren zur Gruppenanalyse, das heißt, zur Analyse der Frage, mittels welcher Variablen sich zum Beispiel die Probanden am besten unterscheiden lassen. Hierbei können Unterschiede sowohl kognitive Variablen wie zum Beispiel Intelligenz als auch andere Persönlichkeitsspezifische Ausprägungen wie Ermüdbarkeit, Neurozitisismus oder ähnliches umfassen. Die Klassifikationsmatrix ist eine Methode um die Güte der Diskriminanzanalyse zu beurteilen.

<sup>8</sup> Es handelt sich um eine Rangreihe, wie sie zum Beispiel die Beantwortung der Befragung mittels Proteus erzeugt. Es ist nicht zwingend davon auszugehen, daß die Abstufungen zwischen den vorgegebenen fünf Antwortkategorien äquidistant sind, dies wird insbesondere deutlich an dem Item Wach: Mit dem Wert „1“ bewertet bedeutet es „nicht wach“, mit fünf bewertet „sehr wach“. Eine weitergehende Interpretation dieser Werte sowie der Zwischenwerte war den Teilnehmern freigestellt. „Nicht wach“ könnte demnach in der Interpretation der Teilnehmer mit schlafend gleichgesetzt werden, die nächste Stufe beispielsweise mit kaum aus den Augen gucken können, und die dritte Stufe mit „wach, wie man es für gewöhnlich nach dem Mittagessen ist“ beschrieben werden und so weiter. An dieser Stelle ist bereits deutlich, daß die Differenz zwischen erster und zweiter Stufe nicht der Differenz zwischen zweiter und dritter Stufe entsprechen muß. Die Aussagen lassen sich jedoch jederzeit in eine sinnvolle Rangreihenfolge bringen.

Zur Gruppenanalyse können neben der Diskriminanzanalyse auch andere Methoden wie die Faktorenanalyse oder die Clusteranalyse herangezogen werden. Die Anwendung der Diskriminanzanalyse wird in den Analysen der Hauptversuchsdaten erfolgen. In der Literatur (Bliersbach & Dellen<sup>9</sup>, 1981, Schubö et al.<sup>10</sup>, 1991, Bortz<sup>11</sup>, 1993, auch Klecka et al., 1975, oder Backhaus et al., 1994, geben eine gute Einführung zu diesem Thema) finden sich verschiedene Hinweise darauf, daß für die Fragestellung dieser Untersuchungen die Diskriminanzanalyse sehr gut geeignet ist. Bamber & Bauer (1987) unterscheiden zwischen Q-Techniken (Diskriminanzanalyse, Clusteranalyse) und R-Techniken (Hauptkomponentenanalyse, Faktorenanalyse, kanonische Korrelationsanalyse) und heben hervor, daß R-Techniken sehr stark auf die Zusammenhänge zwischen den Variablen eingehen, Q-Techniken hingegen auf die Zusammenhänge zwischen den Untersuchungsobjekten. Letztlich liegt das Interesse stärker am Untersuchungsobjekt als an den Variablen.

Die Methode der Diskriminanzanalyse, wie sie auch vom Programmpaket SPSS (Norusis 1993) umgesetzt wird, ist folgende: Die Einzelwerte und die Mittelwerte (sie werden vom Programmpaket automatisch berechnet) der Eingabedaten werden in ein Koordinatensystem eingetragen, das eine Dimension weniger hat, als Merkmalsvariablen vorhanden sind, maximal jedoch auch nur so viele Dimensionen hat, wie Merkmalsvariablen zur Verfügung stehen. Dann wird mittels Achsrotation zum einen versucht, die Mittelwerte der Eingabedaten der Gruppen möglichst weit voneinander zu trennen, und zum anderen, die Überschneidungsbereiche der Einzelwerte der Eingabedaten der Gruppen möglichst gering zu halten. Das heißt, daß die Quadratsummen der Mittelwerte (QSM-square, sum, mean) maximiert, die Quadratsumme der Meßwerte (QSV-square, sum, value) jedoch minimiert werden muß. Folglich muß der Kehrwert (1/QSV) maximiert werden. Der Quotient aus beiden (QSM/QSV) muß demnach auch maximiert werden. Dies erfolgt über Gewichtungskoeffizienten, die so gewählt werden, daß bei der Achsrotation die Trennung maximal wird<sup>12</sup>.

Anhand des nebenstehenden Ergebnis' einer Diskriminanzanalyse sollen die Funktionen als Ergebnis der Diskriminanzanalyse erklärt wer-

den. Fett hervorgehoben ist eine allgemeine Information über die analysierten Daten, in diesem Fall daß der Frequenzbereich des Springenden Punktes unterhalb der Eckfrequenz von 1,2 Hz analysiert wurde. Die Zeilen der Tabelle sind so sortiert, daß die Werte mit der höchsten Ladung auf die jeweilige Funktion an oberster Stelle, danach die mit niedriger Ladung stehen. Die Spalten der Tabelle sind so geordnet, daß die Funktion mit der höchsten Ladung an erster Stelle steht, alle weiteren Funktionen folgen der jeweils höchsten Ladung entsprechend. Die fett gesetzten Werte stellen die Werte dar, die auf die jeweilige Funktion am höchsten laden. Den Funktionen ist keine zwingende, inhaltliche Interpretation eigen, da sie lediglich die Achsen eines rotierten, mehrdimensionalen (im dargestellten Falle vierdimensionalen) Koordinatensystems darstellen. Ähnlich einer Faktorenanalyse läßt sich natürlich auch hier sagen, daß Funktion 1 (Funk 1) in erster Linie die diskriminierenden Eigenschaften von V\_Reak (der Reaktionsgeschwindigkeit) beschreibt.

Frq 1,2Hz	Funk 1	Funk 2	Funk 3	Funk 4
V_Reak	<b>0,896</b>	0,022	-0,414	-0,156
Amp_Anti	0,277	<b>0,870</b>	0,337	0,231
Anti %	0,306	0,199	<b>0,777</b>	-0,513
Ausl %	-0,080	0,058	<b>-0,475</b>	0,280
Amp_Exp	0,495	-0,474	0,469	<b>0,557</b>
Reak_Zeitp	-0,118	0,204	-0,186	<b>-0,276</b>

<sup>9</sup> „... erlaubt eine Diskriminanzanalyse, eine vorgegebene Gruppenbildung bezüglich eines unbekanntes Variablensets daraufhin zu prüfen, ob sich die Gruppenunterschiede als Ordnungsgesichtspunkt auch in den zu prüfenden Variablensets durchsetzen.“

<sup>10</sup> „Eine Diskriminanzanalyse kann angewendet werden, wenn einerseits ein Satz von quantitativ unabhängigen Variablen für jeden Fall erhoben wurde, und wenn andererseits eine damit zusammenhängende Klassifikationsvariable oder gleichwertig eine Gruppeneinteilung der Fälle vorliegt.“

<sup>11</sup> Eine Diskriminanzanalyse ist die geeignete Methode, wenn es interessiert herauszufinden, „in welchem Ausmaß die einzelnen Teilaspekte beziehungsweise die einzelnen abhängigen Variablen am Zustandekommen des Gesamtunterschiedes beteiligt sind“.

<sup>12</sup> Ein sehr instruktives, zweidimensionales Beispiel ist bei Bortz (1993) zu finden.

Eine der Randbedingungen der Diskriminanzanalyse ist unter anderem, daß alle in die Analyse einfließenden Werte voneinander unabhängig sein müssen. Dies ist eine Bedingung, die von Zeitverläufen naturgemäß nicht selbstverständlich erfüllt wird, da sich häufig die Parameter in Zeitverläufen stetig und nicht diskret ändern. Es ist also möglich, aus einer gewissen Anzahl bekannter Werte auf den als nächsten folgenden zu schließen. Blickbewegungsparameter werden jedoch diskret erhoben, des weiteren werden sie durch das Bilden von Zeitfenstern weiter diskretisiert. Eine gravierendere Sorge ergibt sich aus der geringen Stichprobengröße von nur drei mal sechs (= 18) Fahrten, da jedoch die Fahrten nicht als solche in die Analyse eingehen, sondern die Meßwerte, die alle zwölf Minuten erhoben werden (oder in Zwölf-Minuten-Intervalle zusammengefaßt – diskretisiert – werden), liegt die Stichprobengröße oberhalb entsprechender kritischer Grenzen.

Die **Klassifikationsmatrix** dient der Überprüfung der mittels der Diskriminanzanalyse vorgenommenen Klassifikation des Datenmaterials.

Die Klassifikationsmatrix stellt die tatsächliche Gruppenzugehörigkeit der Meßwerte der mittels der Diskriminanzfunktion bewirkten Klassifikation, also der vorhergesagten Gruppenzugehörigkeit gegenüber. Das Abschätzen der Güte der Vorhersage anhand dieser Matrix gestaltet sich etwas schwierig, im Falle einer zwei mal zwei Matrix ist der Fall recht einfach: 50% Treffer der Vorhersage entsprechen einer Zufallsverteilung, bei größeren Matrizen ist dies nicht mehr der Fall (bei einer drei mal drei Matrix liegt die Zufallsverteilung bei nur noch 33,3%, bei einer vier mal vier bei 25 % und so weiter). Eine andere Schwierigkeit, die bei der Beurteilung der Klassifikationsmatrix auftreten kann, liegt vor, wenn für die Diskriminanzanalyse und deren Überprüfung derselbe Datensatz herangezogen wird, denn dann liegt die Trefferrate für richtiges Vorhersagen der Gruppenzugehörigkeit naturgemäß etwas höher, als wenn die Stichprobe vorher in zwei zufällig getrennte Hälften geteilt wurde, wobei dann die erste Hälfte der Berechnung der Diskriminanzanalyse dienen sollte, die zweite der Überprüfung derselben. Auf diese Möglichkeit wurde jedoch bewußt verzichtet, um das begrenzte Datenmaterial durch solch eine Vorgehensweise nicht unnötig zu schmälern.

TN, Frq 1,2Hz	1	2	3	4	5	6	Row
1	<b>2</b>		8	1		5	16
2	3	<b>1</b>	4		2	1	11
3	2		<b>58</b>		1	6	67
4	1		1	<b>2</b>	2	2	8
5			4		<b>24</b>	10	38
6			19		6	<b>23</b>	48
Column	8	1	94	3	35	47	188

Anhand der vorstehenden Klassifikationsmatrix soll die allgemeine Funktionsweise dieser Matrizen erklärt werden. Dargestellt ist das Ergebnis einer Diskriminanzanalyse bezüglich der Teilnehmer im Frequenzbereich 0,7–1,2Hz (oben links findet sich die entsprechende Information: TN, Frq 1,2Hz – letzteres fett hervorgehoben). In den Zeilen (beschriftet mit „1“ bis „6“ finden sich die „original“ Teilnehmer, in den Spalten mit derselben Beschriftung die Zuordnung der Daten zu den Teilnehmern, wie sie sich als Ergebnis der Diskriminanzanalyse manifestieren. Die sich mittels dieser sechs mal sechs Elemente aufspannende Matrix läßt sich jetzt wie folgt lesen: Die Originaldaten von Teilnehmer 1 werden mittels der Ergebnisse der Diskriminanzanalyse zweimal korrekt dem Teilnehmer 1 zugeordnet, jedoch fälschlicherweise achtmal dem Teilnehmer 3, einmal dem Teilnehmer 4 und fünfmal dem Teilnehmer 6, und so weiter für die nächsten fünf Zeilen. Folglich finden sich auf der Hauptdiagonalen immer die korrekten Zuordnungen. Um das Lesen der Matrix etwas einfacher zu gestalten, wurden alle „Nullen“ weggelassen und die Elemente der Hauptdiagonalen fett gesetzt. Die letzte Zeile (Column) und die letzte Spalte (Row) beinhalten jeweils die Summe der entsprechenden Spalten beziehungsweise der Zeilen, respektive die Zahl unten rechts die Summe aller Zeilen und Spalten, folglich aller Zellen. Die Summe der korrekten Zuordnungen (die fett gesetzten Werte der Hauptdiagonalen) dividiert durch die Summe aller Zuordnungen (Zahl unten rechts) multipliziert mit 100 ergibt den Anteil aller korrekten Zuordnungen, der dann mit dem oben beschriebenen Wert für eine Zufallsverteilung verglichen werden kann. Im oben dargestellten Beispiel sind 110 von 188 Fällen korrekt zugeordnet worden, dies entspricht 58,5%. Bei einer Zufallsverteilung wäre eine korrekte Zuordnung von 16% zu erwarten gewesen.

### C Umgang mit geringen Stichproben- größen

Die Stichprobengröße ist bei allen Untersuchungen von entscheidender Bedeutung, sind doch viele statistische Maße von ihr direkt abhängig. Als sinnvolle Stichprobengröße wird hierbei in der Literatur (beispielsweise Kleppmann, 1998, oder Rodeghier, 1997) häufig eine von Probandenanzahlen von mindestens 50 bis 100 angenommen, besser jedoch bis zu 1000 Probanden. Dies sind sicherlich sehr sinnvolle Größenordnungen, wenn ausschließlich die Aussagekraft der statistischen Auswertungen berücksichtigt wird. Es stellt sich allerdings sofort ein Problem anderer Art ein, wenn entweder der Zeitaufwand für jeden Probanden erheblich wird oder die mit jedem Probanden verbundenen Kosten vertretbare Größenordnungen überschreiten. Bei dem geplanten Versuchsdesign könnten pro Woche lediglich zwei Probanden betreut werden (ein paralleles Betreuen der Probanden/des Versuches war mangels entsprechend mehrfach vorhandener Hardware nicht möglich) und die Kosten lagen bei rund 1000 DM pro Proband und Tag, so daß hier beide Kriterien Dauer und Kosten einen Rahmen vorgaben, der sehr enge Grenzen setzte.

Der Umgang mit geringen Stichprobengrößen wird in der Literatur nicht sonderlich gut dokumentiert, so gibt es in der oben zitierten Literatur wie auch in den Handbüchern zu SPSS (Norris, 1993) ebensowenig Hinweise auf den Umgang wie bei Bortz (1993) oder Backhaus et al. (1994). Bei einigen Methoden reicht jedoch bereits eine Stichprobe von drei Teilnehmern völlig aus, weil physiologische Maße erhoben werden sollen, die über die Bevölkerung so robust sind, daß eine Erweiterung der Stichprobe zu keinem signifikanten Erkenntnisgewinn führt, bei anderen Untersuchungen geht es mehr individualdiagnostische Fragestellungen, bei denen eine Stichprobe von wenigen bereits fast die Gesamtheit abdeckt. Bei der vorliegenden Arbeit können beide Argumente zur Rechtfertigung einer kleinen Stichprobe herangezogen werden: Zum einen ist das Blickverhalten über die Bevölkerung per se sehr stabil, zum anderen werden die Daten teilweise auch sehr stark probandenbezogen ausgewertet. Die Einschränkungen über die statistische Signifikanz oder andere statistische Parameter bleiben natürlich erhalten. Mit Hilfe eines Designs der Meßwiederholung

(jeder Proband wird unter jeder Designvariante beobachtet) lassen sich individuelle Unterschiede minimieren. Die Permutation der Designvarianten tut ein Übriges, um die Basis zu verbessern.

Erfahrungen mit derartigen Stichproben besagen, daß für derartige Untersuchungen mindestens drei Probanden angebracht sind, jeder weitere Proband verbessert trotzdem die Basis, so daß eine Stichprobe von sechs gut ausgewählten Probanden zwar nicht mehr als genug sind, jedoch eine als solide zu bezeichnende Stichprobe darstellen.

Wesentliche Einschränkungen bei geringen Stichprobenumfängen müssen in der Anwendbarkeit statistischer Verfahren hingenommen werden, so daß im folgenden gesondert auf diese eingegangen werden muß. Ein Weg, diesem Dilemma zu entkommen, besteht darin, wiederholt verschiedene „kleine“ Verfahren anzuwenden, um mit ihnen die Ergebnisse der „großen“ Verfahren absichern zu können, dies legt schon eine weitere Einschränkung nahe: Einzelergebnisse sind nicht belastbar! – Nur die Summe der Ergebnisse, in die auch der allgemeinen Tendenz oder Aussage widersprechende Ergebnisse mit einfließen müssen, dürfen belastet beziehungsweise interpretiert werden, der starre Blick auf Signifikanzen muß für das Gesamtbild der Ergebnisse geweitet werden. Der Weg über verschiedene „kleine“ Verfahren bietet einige Vorteile auch bei großen Stichproben, ein „Verständnis“ oder „Gefühl“ für die Daten entwickelt sich, Fehler in den Datensätzen werden leichter erkannt, der Sinn oder Unsinn „großer“ Verfahren läßt sich solider einschätzen. Leider ist es nicht der Fall, daß geringere Stichprobenumfänge gleichermaßen geringen Arbeitsaufwand bedeuteten, das Gegenteil trifft zu.

Ein letzter Punkt ist bei geringen Stichprobengrößen noch zu beachten, die Auswahl der Stichprobe: Einmal kann eine möglichst homogene Stichprobe gewählt werden. Das heißt zum Beispiel: Alle Teilnehmer haben dasselbe Geschlecht, ungefähr das gleiche Alter, den gleichen Erfahrungshintergrund und so weiter. Die Folge sind üblicherweise sehr präzise Aussagen über die oben beschriebene Stichprobe mit sehr eingeschränkten Möglichkeiten zur Verallgemeinerung. Die andere Möglichkeit besteht darin, einen größeren Bereich mit der Stichprobe

abzudecken. In diesem Falle heißt das zum Beispiel: Teilnehmer beiderlei Geschlechts, unterschiedlichen Alters, verschiedener Erfahrungshintergründe und so weiter. Bei einer geringen Stichprobengröße ist es dann entsprechend müßig, signifikante Ergebnisse zu erwarten, da die Varianz innerhalb der Stichprobe jede Varianz innerhalb des Versuchsdesigns überbieten kann. Die Stärke einer solchen Stichprobe besteht allerdings darin, allgemeine Tendenzen aufzeigen zu können, sie ist somit gut geeignet, Hypothesen zu generieren (was das Aufstellen von Arbeitshypothesen zu Anfang einer Untersuchung jedoch nicht überflüssig macht).

## Ergebnisdarstellung

Dieses Kapitel ist in sechs Abschnitte unterteilt. Die ersten drei Abschnitte (Ergebnisse des Springenden Punktes, Ergebnisse der spontanen Blickverteilung und Ergebnisse der Fragebögen) widmen sich direkt den eigentlichen Ergebnissen des Hauptversuchs. Dem schließen sich in jeweils eigenen Abschnitten eine Zusammenfassung der Ergebnisse sowie eine Gegenüberstellung von Ergebnissen und Hypothesen (allgemeinen und speziellen) an. Im sechsten Abschnitt Schlußfolgerungen wird dann die Aufgabenstellung anhand der gewonnenen Ergebnisse betrachtet und beantwortet. Die im folgenden recht häufig auftretenden Tabellen sind beispielhaft im Kapitel Erläuterungen zu den statistischen Verfahren diskutiert und mit Lesebeispielen versehen worden.

### A Ergebnisse des Springenden Punktes

Die Ergebnisse des Springenden Punktes (SPP) werden im folgenden in verschiedenen, chronologisch aufeinanderfolgenden Arbeitsschritten dokumentiert. Wie bereits in den Hypothesen dargelegt, ist zu erwarten, daß sich nicht alle Ergebnisse oder Parameter gleichermaßen für die Überprüfung der Hypothesen eignen. Die Auswahl geeigneter Parameter des SPP erfolgt sukzessive wie im vorherigen Kapitel beschrieben. Die Darstellung der Ergebnisse wird eine Übersicht einleiten, dem schließt sich die Reduktion der Anzahl der Parameter an und führt zu einer Gesamtbetrachtung der Ergebnisse des SPP. Eine analoge Vorgehensweise wird auch bei den Daten der spontanen Blickverteilung erfolgen.

#### A1 Übersicht über die Ergebnisse des Springenden Punktes

Die Ergebnisse des SPP haben einen Umfang von diversen Megabytes, verteilt auf einige hundert Dateien. Sie wurden in eine SPSS-Datei überführt, um die statistischen Berechnungen bequemer ausführen zu können. Alle Ergebnisse des SPP liegen in einer Übersicht (siehe Tabelle 87) vor.

Für die genannte Übersicht wurden folgende Lageparameter und Dispersionsmaße errechnet:

- arithmetische Mittelwerte (**Mean**)
- Standardabweichungen (**Std Dev**)
- Interquartile (**25 %**, **Median**, **75 %**)

Die Ergebnisse als Reaktion auf den Reizwechsel werden zum einen unterteilt in:

- **Antizipationen** des Reizwechsels
- **Expresßakkaden** mit dem Reizwechsel
- **Reaktionen** auf den Reizwechsel
- **Auslassungen** beim Reizwechsel

Zum anderen sind die Daten in vier Gruppen unterteilt:

- **Anteil (%)**; dies ist der Anteil der Blickbewegungen an der Gesamtheit der Blickbewegungen.

Da für die Berechnungen der Mittelwerte nur die Messungen herangezogen werden, in denen die entsprechenden Sakkadenarten beziehungsweise Auslassungen überhaupt auftreten, sind folglich in der Summe immer nur Werte von 100% oder darüber zu erwarten.

Die Auslassungen liegen naturgemäß einzig in dieser Unterteilung vor.

- **Amplitude**; sie beschreibt die Größe der Reizantwort in Abhängigkeit der Reizgröße.
- **Geschwindigkeit (V)**; gemeint ist die maximale Geschwindigkeit der Reizantwort, nachdem sie nach einem Algorithmus, der von Collewijn (Collewijn et al., 1988) veröffentlicht wurde, standardisiert wurde; dieser Algorithmus erlaubt es, Sakkadengeschwindigkeiten in Abhängigkeit von ihrer Sakkadenamplitude zu normieren.
- **Zeitpunkt**; er beschreibt den Zeitpunkt, an dem die verschiedenen Sakkaden in Beziehung zum Reizwechsel starten.

Des weiteren liegen für die mittlerweile  $3 \times 4 + 1$  Gruppen folgende detailliertere Ergebnisse vor:

- **Entire Population**; dies sind die Ergebnisse für die Gesamtstichprobe.

- **Erste und zweite Hälfte;** wobei die Hälfte spätestens bei Rostock zu finden ist, teilweise aber auch schon früher, wenn zum Beispiel die Fahrt abgebrochen wurde (Sicherheitsbedenken), dann verschiebt sich die Hälfte automatisch weiter nach vorne, eine Ausnahme bildet dabei eine Fahrt die kurz vor Rostock wegen eines technischen Fehlers abgebrochen werden mußte, ihre Daten fließen ausschließlich in die erste Hälfte ein (siehe auch Kapitel Analysen der Hauptversuchsdaten).
- **Ohne, Hohe und Tiefe Sounds** (SD0, SD1, SD2); diese Unterteilung gilt für die Fahrten mit den verschiedenen Soundbedingungen (differenziert nach jeweils der ersten und zweiten Hälfte der Versuchsfahrt).

Das erste, was beim Betrachten dieser Tabelle auffällt, sind die offensichtlichen Unterschiede zwischen den jeweils ersten und zweiten Hälften bei den Amplituden und Geschwindigkeiten. Ein Mittelwertvergleich (siehe Tabelle 88) zeigt deutlich (fett hervorgehoben), daß einige Unterschiede signifikant, teilweise sogar hoch signifikant sind. Diese Analyse dient wiederum nur der Übersicht, Implikationen werden hieraus noch nicht abgeleitet. Eine erste Tendenz läßt sich jedoch aus diesen Daten bereits ablesen: Es ist nicht zu erwarten, daß die Zeitpunkte, zu denen die Sakkaden gestartet werden ebenso wie die Anteile der Expreßsakkaden oder der Reaktionssakkaden bei den Antworten auf den SPP eine hohe Vorhersagekraft haben werden.

## A2 Reduktion der Anzahl der Parameter des Springenden Punktes

Tabelle 88 zeigt deutlich, daß nicht alle verfügbaren Parameter in gleicher Weise geeignet sind, die Fragestellung dieser Arbeit zu beantworten. Um die Beurteilung (Verifizierung/Falsifizierung) der Hypothesen nicht mit ungeeigneten Parametern zu erschweren, ist es angebracht, die Liste **möglicher** Parameter auf eine Liste **sinnvoller** Parameter zu reduzieren, so daß ein allgemein verwendbares Parameterset des SPP für die sich anschließenden Analysen entsteht.

Die folgenden Analysen werden jeweils getrennt für die zwei verschiedenen Frequenzbereiche des SPP durchgeführt (von 0,7 Hz bis 1,2 Hz und über 1,2 Hz bis 1,7 Hz, die Bereiche werden mit der jeweils oberen Grenzfrequenz

gekennzeichnet, ersterer folglich mit Frq 1,2 Hz, letzterer mit Frq 1,7 Hz).

Diese Analysen werden bezüglich verschiedener Gruppierungsvariablen wie Teilnehmer, Sounds, Bereiche und Fahrten durchgeführt<sup>1</sup>. Es ist nicht davon auszugehen, daß sich die Ergebnisse in allen vier Fällen entsprechen, vielmehr muß angenommen werden, daß zwar die Hauptaussagen in allen vier Analysen dieselben sein werden, sie sich jedoch gerade in der „Stärke“ der Aussagen und den sie begleitenden Nebenaussagen teilweise sogar wesentlich voneinander unterscheiden können.

Der erste Schritt einer jeden der nun folgenden Analysen ist eine Signifikanzanalyse (bezüglich der Teilnehmer, der Sounds, der Bereiche und der Fahrten). Die signifikanten Parameter werden in eine sich anschließende Korrelationsanalyse übernommen. Hoch korrelierende, signifikante Parameter werden hier zusammengefaßt, beziehungsweise es wird ein sie stellvertretender Parameter ausgewählt. Die verbleibenden Parameter bilden die Basis für eine Diskriminanzanalyse. Das Ergebnis der Diskriminanzanalyse wird anschließend mit Hilfe einer Klassifikationsmatrix getestet.

Die Parameter des Springenden Punktes entstammen vier unterschiedlichen „Dimensionen“: Anteile [%], Amplituden, Geschwindigkeiten und Zeitpunkte, an denen die Sakkaden gestartet werden. Wenn die Anzahl der Parameter reduziert werden soll, so ist zu erwarten, daß sich aus jeder der „Dimensionen“ ein Vertreter herauskristallisiert, der die entsprechende „Dimension“ in den späteren Analysen repräsentieren kann. Dies liegt in erster Linie daran, daß sich die „Dimensionen“ interindividuell stärker als intraindividuell unterscheiden werden. Es sind also demnach nicht wesentlich mehr als vier Parameter in einer reduzierten Parameterliste zu erwarten.

<sup>1</sup> Es ließen sich natürlich noch andere als die vier genannten Gruppierungen denken (bei den Teilnehmern könnte sie bezüglich des Alters oder des Geschlechtes vorgenommen werden, die Versuchsstrecke könnte erheblich feiner in verschiedene Autobahnabschnitte untergliedert werden), das Ziel einer Parameterreduktion wird jedoch bereits mittels einer Betrachtung der vier genannten Gruppierungen, die sich sehr einfach, fast von allein ergeben, zufriedenstellend erreicht.

Es kann jedoch auch der Fall eintreten, daß die eine oder die andere „Dimension“ ganz aus der Liste der reduzierten Parameter herausfällt. Dies ist der Fall, wenn sich die Werte der entsprechenden „Dimension“ mehr oder weniger willkürlich/zufällig ändern.

Der andere Fall, daß aus einer „Dimension“ zwei Parameter in die Liste der reduzierten Parameter übernommen werden, ist auch möglich, dies wäre beispielsweise dann der Fall, wenn beide Parameter von unterschiedlichen physiologische Zentren aus gesteuert werden.

#### A2.1 Analyse der Parameter bezüglich der Teilnehmer

##### Signifikanzanalyse

Dargestellt werden hier und den meisten anderen der folgenden Tabellen dieses Kapitels nur die signifikanten Ergebnisse. Parameter, die weder im niedrigen Frequenzbereich des SPP noch im hohen das 5% Signifikanzniveau überschritten haben, werden gar nicht mehr aufgeführt, so daß teilweise der Eindruck der Unvollständigkeit entstehen kann, der hiermit gewonnenen Übersicht jedoch nachgeordnet wurde.

Es treten signifikante Unterschiede in den abhängigen Variablen bezüglich der Teilnehmer 1 bis 6 auf. Diese werden jeweils für den nächsten Analyseschritt, der Korrelationsanalyse, getrennt für die Frequenzbereiche des SPP weiter verwendet, die anderen Parameter, die zum Teil in der Tabelle 9 auch schon nicht mehr aufgeführt wurden, werden nicht mehr betrachtet.

**Tabelle 9:** Signifikanzanalysen der SPP-Daten bezüglich der Teilnehmer

	Frq 1,2 Hz		Frq 1,7 Hz	
	Teststärke	Signifikanz	Teststärke	Signifikanz
Ausl%	6,9207	0,0002	23,5667	0,0000
Reak %	4,3345	0,0047		
Anti%	9,4610	0,0000	14,7600	0,0000
Amp_Anti	3,4481	0,0153	8,5835	0,0000
Amp_Exp	7,7812	0,0001	5,4043	0,0002
V_Reak	2,8612	0,0340	9,8079	0,0000
V_Anti			8,7189	0,0000
V_Exp			6,5630	0,0000
Reak_Zeitp			10,0090	0,0000

##### Korrelationsanalyse

Signifikante Ergebnisse der Korrelationsanalyse werden hier und in den folgenden Tabellen mit „\*“ gekennzeichnet, hoch signifikante mit „\*\*“.

Viele Anteil % korrelieren hoch signifikant miteinander, teilweise auch auf einem sehr hohem Korrelationsniveau. Dies trifft sowohl im niedrigen als auch im hohen Frequenzbereich des SPP zu, jedoch gibt es große Unterschiede zwischen den beiden Frequenzbereichen.

Die Amplituden der Antizipationssakkaden korrelieren zwar hoch signifikant im niedrigen Frequenzbereich des SPP mit verschiedenen Anteilen der Antwortsakkaden auf den Reizwechsel des SPP sowie mit den Amplituden der Expreßsakkaden im hohen Frequenzbereich, jedoch in keinem der Fälle auf sehr hohem Korrelationsniveau.

Die Geschwindigkeiten der Antworten auf den Reizwechsel des SPP sind ein auffälliges Ergebnis dieser Korrelationsanalyse: Im niedrigen Frequenzbereich des SPP gibt es zwar hoch signifikante Korrelationen der Geschwindigkeit der Reaktionssakkaden zu anderen Parametern, sie befinden sich jedoch auf einem niedrigen Korrelationsniveau. Das Bild ändert sich grundlegend für die hohen Frequenzen des SPP. Hier zeigt sich, daß alle Geschwindigkeiten der Antwortsakkaden auf den Reizwechsel des SPP zum einen hoch signifikant korrelieren, zum anderen dies auf einem sehr hohen Korrelationsniveau tun, dies jedoch nicht mit anderen Variablen.

Der Zeitpunkt, zu dem Reaktionssakkaden gestartet werden, korreliert zwar hoch signifikant mit den Anteilen der Ausfälle sowie der Antizipationssakkaden als Antwort auf einen Reizwechsel des SPP, das Korrelationsniveau ist jedoch nicht sehr hoch.

In die Auswahl der in den nächsten Analyseschritt einzubeziehenden Parameter fließen im folgenden bereits theoretische Überlegungen mit ein, die allesamt im Kapitel Theoretische Grundlagen dargelegt wurden.

Für den niedrigen Frequenzbereich kann auf den Parameter Reak % verzichtet werden, da er zum einen hoch signifikant mit allen anderen Anteil (%) Parametern korreliert, zum anderen mit Anti % und dies auch noch auf einem sehr hohen Korrelationsniveau. Die anderen beiden Anteil (%) Parameter, Ausl % und Anti %, wer-

**Tabelle 10:** Korrelationsanalysen der SPP-Daten bezüglich der Teilnehmer

<b>Frq 1,2 Hz</b>	Ausl %	Reak %	Anti %	Amp_Anti		
Reak %	0,34**					
Anti %	-0,68**	-0,80**				
Amp_Anti		-0,15**	0,17**			
Amp_Exp				0,30**		
V_Reak	-0,26**		0,16*			

<b>Frq 1,7 Hz</b>	Ausl %	Anti %	Amp_Anti	Amp_Exp	V_Reak	V_Anti
Anti %	-0,60**					
Amp_Exp			0,50**			
V_Anti					0,91**	
V_Exp				0,17*	0,85**	0,85**
Reak_Zeitp	0,36**	-0,24**				

den in der Diskriminanzanalyse berücksichtigt. Sie korrelieren zwar ebenso wie mit Reak % auf hohem Korrelationsniveau hoch signifikant miteinander, stellen jedoch unterschiedliche Aspekte der Antwort auf einen Reizwechsel des SPP dar, so daß sie vorsorglich in der Analyse behalten werden. Der hohe Frequenzbereich steuert bezüglich besserer Auswahlkriterien keine weiteren Informationen bei.

Da die Korrelationen der Geschwindigkeiten im hohen Frequenzbereich so hoch sind, können diese auf einen Parameter reduziert werden. Es bietet sich dafür V\_Reak an, da er sowohl im niedrigen als auch im hohen Frequenzbereich vertreten ist.

Expreßsakkaden sind sowohl wegen ihrer zeitlichen Einschränkung und ihrem seltenen Auftreten (um die 12 %, siehe Tabelle 88) als auch wegen ihrer geringeren Korrelation nicht sehr aussagekräftig.

Somit verbleiben die Parameter Ausl %, Anti %, Amp\_Anti, Amp\_Exp, V\_Reak, Reak\_Zeitp für die weitere Untersuchung. Diese Parameter werden für die Diskriminanzanalyse für beide Frequenzbereiche des SPP verwendet.

### Diskriminanzanalyse

In den Tabellen der Diskriminanzanalyse ist die Zugehörigkeit der einzelnen Parameter zu ihren Gruppen mit fettem Satz gekennzeichnet. Bei sechs Teilnehmern als gruppierende Variable

sind bis zu fünf Gruppen als Ergebnis einer Diskriminanzanalyse zu erwarten.

Das Ergebnis der Diskriminanzanalyse ist, insbesondere wenn man den Fokus auf die Analyse für die hohen Frequenzen des SPP lenkt, daß die Anteile (%), die Sakkadengeschwindigkeit, die Amplitude und der Zeitpunkt des Startens einer Sakkade jeweils relativ eigenständige Gruppen bilden. Dies ist, ohne daß im Kapitel Hypothesen explizit darauf hingewiesen worden wäre, theoriekonform und legt die Idee nahe, diese Zusammenhänge in einer zweiten Diskriminanzanalyse zu verdeutlichen/zu verfestigen. Hierfür wird die Anzahl der Parameter auf vier, entsprechend den vier Parametergruppen, begrenzt, wie es bereits in der Einleitung zu diesem Kapitel angedeutet wurde.

Die Entscheidung für den Vertreter der Gruppe Anteil (%) ist etwas willkürlich auf Anti % gefallen. Im niedrigen Frequenzbereich des SPP liegt die Wahl klar und eindeutig bei Anti %, im hohen Frequenzbereich bei Ausl %. Im hohen Frequenzbereich läßt Ausl % rund 0,1 höher als Anti % im niedrigen Frequenzbereich, andererseits liegen beide Werte im hohen Frequenzbereich näher beieinander als im niedrigen Frequenzbereich. Den Ausschlag dafür, daß letztlich Anti % ausgewählt wurde, gab die Einsicht, daß eine Auslassung im Zweifelsfalle natürlich keine Blickbewegung darstellt und außerdem in anderen Untersuchungen (Andrés, 1996, Galley

**Tabelle 11:** Diskriminanzanalysen (1) der SPP-Daten bezüglich der Teilnehmer

Frq 1,2 Hz	Funk 1	Funk 2	Funk 3	Funk 4	
V_Reak	<b>0,896</b>	0,022	-0,414	-0,156	
Amp_Anti	0,277	<b>0,870</b>	0,337	0,231	
Anti %	0,306	0,199	<b>0,777</b>	-0,513	
Ausl %	-0,080	0,058	<b>-0,475</b>	0,280	
Amp_Exp	0,495	-0,474	0,469	<b>0,557</b>	
Reak_Zeitp	-0,118	0,204	-0,186	<b>-0,276</b>	

Frq 1,7 Hz	Funk 1	Funk 2	Funk 3	Funk 4	Funk 5
Ausl %	<b>0,867</b>	-0,085	-0,243	0,401	0,147
Anti %	<b>-0,639</b>	0,215	0,309	0,383	0,551
Amp_Anti	-0,111	<b>0,818</b>	-0,551	-0,097	-0,078
Amp_Exp	-0,106	<b>0,309</b>	-0,154	-0,117	-0,077
V_Reak	0,277	0,496	<b>0,650</b>	0,020	-0,505
Reak_Zeitp	0,478	0,077	0,060	<b>-0,619</b>	0,615

et al., 1997, Churan, 1997) die Anti % einen höheren Stellenwert hatten als die Ausl %.

Bei den Amplituden fiel die Entscheidung zugunsten Amp\_Anti sehr viel leichter als in obigem Fall. Die Amplituden der Expresßsakkaden sind zwar im niedrigen Frequenzbereich des SPP der dominierende Parameter der Funktion 1, nur läßt Amp\_Exp auch auf den drei anderen Funktionen fast genauso hoch und bildet entgegen der Theorie eine Gruppe gemeinsam mit Reak\_Zeitp. Eindeutiger ist das Bild, welches sich aus den hohen Frequenzen des SPP ergibt. Dort bilden die beiden Amplituden eine gemeinsame Gruppe, die extrem stark von Amp\_Anti bestimmt wird.

In die zweite Diskriminanzanalyse werden somit die Parameter Anti %, V\_Reak, Amp\_Anti und Reak\_Zeitp übernommen. Hierbei sollte sich eine Trennung aller vier Parameter voneinander zeigen.

Im niedrigen Frequenzbereich des SPP ist das Ergebnis nicht ganz so befriedigend wie im hohen. Als erstes fällt im niedrigen Frequenzbereich des SPP natürlich auf, daß nicht wie erwartet, vier, sondern nur drei Gruppen gebildet werden sind. Hierbei läßt Anti % auf alle drei Gruppen ähnlich hoch. V\_Reak bildet zufriedenstellend eine eigene Gruppe, ebenso wie

Amp\_Anti. Reak\_Zeitp bildet keine eigene Gruppierung.

Im hohen Frequenzbereich übertrifft die Gruppenbildung jedoch alle Erwartungen. Alle vier Parameter bilden jeweils eine eigene Gruppe aus und laden jeweils als einziger Parameter darauf, jeweils mit Ladungen um 0,9.

Für das weitere Vorgehen werden die Parameter der Diskriminanzanalysen (2) herangezogen.

**Tabelle 12:** Diskriminanzanalysen (2) der SPP-Daten bezüglich der Teilnehmer

Frq 1,2 Hz	Funk 1	Funk 2	Funk 3	
Amp_Anti	<b>0,961</b>	0,067	-0,269	
Reak_Zeitp	<b>-0,112</b>	-0,074	0,013	
V_Reak	0,278	<b>0,798</b>	0,535	
Anti %	0,570	-0,576	<b>0,586</b>	

Frq 1,7 Hz	Funk 1	Funk 2	Funk 3	Funk 4
Anti %	<b>0,940</b>	0,108	0,227	-0,232
Amp_Anti	-0,176	<b>0,940</b>	-0,088	-0,277
Reak_Zeitp	-0,315	0,048	<b>0,911</b>	0,263
V_Reak	0,166	0,307	-0,283	<b>0,893</b>

### Klassifikationsmatrix

In den Klassifikationsmatrizen werden die Zellen fett gesetzt, bei denen die Zuordnung korrekter Weise erfolgen sollte. Es dient der leichteren Lesbarkeit der Matrizen.

Im niedrigen Frequenzbereich des SPP wurde mittels der Gruppierung, die von der Diskriminanzanalyse vorgeschlagen wurde, in 110 von 188 Fällen (58,5%) richtig zugeordnet. Bei einer zufälligen Gruppierung wäre eine Trefferquote von 16% zu erwarten gewesen. Für die hohen Frequenzen sieht das Ergebnis ähnlich aus, 161 von 285 Fällen (56,5%) wurden richtig zugeordnet. Es kann so mit einiger Sicherheit behauptet werden, daß die Gruppierung zu einer befriedigenden Vorhersage der diskriminierenden vier Parameter beiträgt.

**Tabelle 13:** Klassifikationsmatrizen der SPP-Daten bezüglich der Teilnehmer

TN, Frq 1,2 Hz	1	2	3	4	5	6	Row
1	<b>2</b>		8	1		5	16
2	3	<b>1</b>	4		2	1	11
3	2		<b>58</b>		1	6	67
4	1		1	<b>2</b>	2	2	8
5			4		<b>24</b>	10	38
6			19		6	<b>23</b>	48
Column	8	1	94	3	35	47	188

TN, Frq 1,7 HZ	1	2	3	4	5	6	Row
1	<b>11</b>		11	12		4	38
2		<b>4</b>	1	3		1	9
3	7		<b>43</b>	2	8	2	62
4	2	1	8	<b>33</b>	5	3	52
5			5	6	<b>31</b>	14	56
6			16	7	6	<b>39</b>	68
Column	20	5	84	63	50	63	285

### A2.2 Analyse der Parameter bezüglich der Sounds

#### Signifikanzanalyse

Abweichend von der ansonsten gepflegten Praxis nur aussagekräftige Ergebnisse aufzuzeigen, werden bei diesen Signifikanzanalysen ausnahmsweise alle Ergebnisse präsentiert.

Da einzig die Amplituden der Expresßakkaden (fett) signifikant wurden, lohnt keine weitere Analyse. Dies wirft jedoch ein beunruhigendes Licht auf die Untersuchung bezüglich der eigentlichen Aufgabenstellung. In weiteren Analysen muß sich zeigen, ob die Soundmodifikationen wirklich so „bedeutungslos“ waren, wie es diese Signifikanzanalyse nahelegt.

**Tabelle 14:** Signifikanzanalysen der SPP-Daten bezüglich des Sounds

	Frq 1,2 Hz		Frq 1,7 Hz	
	Teststärke	Signifikanz	Teststärke	Signifikanz
Ausl %	0,3791	0,6866	1,0618	0,3488
Reak %	0,7556	0,4753	0,2996	0,7416
Anti %	0,3405	0,7132	1,1061	0,3339
Exp %	1,1414	0,3281	0,4335	0,6492
Amp_Reak	0,9602	0,3902	0,5420	0,5829
Amp_Anti	1,4939	0,2350	0,4839	0,6175
Amp_Exp	0,8718	0,4248	<b>5,0891</b>	<b>0,0074</b>
V_Reak	1,5463	0,2237	0,0774	0,9256
V_Anti	0,9597	0,3904	0,0694	0,9330
V_Exp	1,2266	0,3025	0,2382	0,7884
Reak_Zeitp	2,6990	0,0777	0,6264	0,5361
Anti_Zeitp	1,1271	0,3326	0,5509	0,5778
Exp_Zeitp	0,2706	0,7641	2,0679	0,1306

### A2.3 Analyse der Parameter bezüglich der Bereiche<sup>2</sup>

#### Signifikanzanalyse

Die Parameter V\_Reak und V\_Exp wurden (willkürlich) in die weitere Analyse mit einbezogen, da sie im Gegensatz zu den anderen Parametern das 5% Signifikanzniveau nur knapp verfehlten. Es deutet sich aber schon hier ein

<sup>2</sup> Als Bereiche werden die erste und die zweite Hälfte der Versuchsstrecke bezeichnet.

ähnliches Ergebnis wie das bei der Analyse der Parameter bezüglich der Teilnehmer an.

**Tabelle 15:** Signifikanzanalysen der SPP-Daten bezüglich der Bereiche

	Frq 1,2 Hz		Frq 1,7 Hz	
	Teststärke	Signifikanz	Teststärke	Signifikanz
Reak %			4,0292	0,0470
Amp_Reak	6,5765	0,0135		
Amp_Anti	4,0728	0,0492	4,7281	0,0317
V_Reak	3,4104	0,0710		
V_Anti	4,4244	0,0407		
V_Exp	2,8383	0,0985		

### Korrelationsanalyse

Die Geschwindigkeiten der Sakkaden korrelieren alle drei hoch signifikant miteinander, so daß sie nicht alle drei für weitere Analysen mit herangezogen werden müssen, folglich werden sie wieder auf V\_Anti reduziert, wie es sich bereits bei der Signifikanzanalyse angeboten hatte.

Eine weitere auffällige Korrelation tritt bei den beiden Parametern der Amplitude auf, so daß sicherlich auch auf eine der beiden Parameter verzichtet werden könnte. Da sie jedoch nicht so hoch miteinander korrelieren, daß ein Ausschluß des einen oder des anderen Parameters ohne Zweifel zu rechtfertigen wäre, werden sie beide vorsichtshalber in die Diskriminanzanalyse mit einbezogen.

**Tabelle 16:** Korrelationsanalysen der SPP-Daten bezüglich der Bereiche

Frq 1,2 Hz	Reak %	Amp_Reak	Amp_Anti	V_Reak	V_Anti
Amp_Anti	-0,15**	0,44**			
V_Reak		0,21**			
V_Anti		0,19**	0,15**	0,90**	
V_Exp	0,21*			0,90**	0,85**

Frq 1,7 Hz	Amp_Reak	V_Reak	V_Anti
Amp_Anti	0,58**		
V_Anti		0,91**	
V_Exp		0,85**	0,85**

### Diskriminanzanalyse

Die Ergebnisse der Diskriminanzanalyse sind nicht sehr einheitlich bezüglich der beiden Frequenzbereiche des SPP. In beiden Analysen steht zwar die Amplitude der Reaktionssakkaden an erster Stelle, andererseits laden bis auf den Anteil der Reaktionssakkaden als Antwort auf den Reizwechsel des SPP die anderen Parameter in beiden Fällen unterschiedlich hoch.

Grundsätzlich muß jedoch an dieser Stelle auch eingeräumt werden, daß die Anwendung der Diskriminanzanalyse auf eine Gruppierungsvariable mit nur zwei Ausprägungen der Diskriminanzanalyse nicht gerecht wird. Die Diskriminanzanalyse kann bei zwei Ausprägungen keine eigene Gruppierung vornehmen, sondern ausschließlich das Koordinatensystem rotieren (siehe auch Kapitel Theoretische Grundlagen), so daß die einzelnen Werte möglichst wenig um den Mittelwert streuen. Folglich können leichte Änderungen einzelner Werte empfindliche Veränderungen des Koordinatensystems hervorrufen, die sich dann entsprechend in den Ergebnissen der Diskriminanzanalyse niederschlagen.

**Tabelle 17:** Diskriminanzanalysen der SPP-Daten bezüglich der Bereiche

	Frq 1,2 Hz	Frq 1,7 Hz
	Funk 1	Funk 1
Amp_Reak	0,879	0,402
Amp_Anti	0,699	0,000
V_Anti	0,220	0,043
Reak %	-0,038	0,072

### Klassifikationsmatrix

Für den niedrigen Frequenzbereich des SPP wurde mittels der Gruppierung, die von der Diskriminanzanalyse vorgeschlagen wurde, in 118 von 183 Fällen (64,5%) richtig zugeordnet. Bei einer zufälligen Gruppierung wäre eine Trefferquote von 50% zu erwarten gewesen. Für die hohen Frequenzen sieht das Ergebnis ähnlich aus, 173 von 305 Fällen (56,7%) wurden richtig zugeordnet.

Da sich die Quote der korrekten Vorhersagen kaum von der bei einer zufälligen Unterteilung unterscheidet, sollte diesem Ergebnis, wie bereits oben dargelegt, kein hohes Gewicht beigemessen werden. Festgehalten werden sollten jedoch die benutzten vier Parameter *Reak %*, *Amp\_Anti*, *Amp\_Reak* und *V\_Anti*, wie sie aus der Signifikanzanalyse hervorgegangen sind.

**Tabelle 18:** Klassifikationsmatrizen der SPP-Daten bezüglich der Bereiche

Bereich, <b>Frq 1,2 Hz</b>	1	2	Row
1	<b>91</b>	14	105
2	51	<b>27</b>	78
Column	142	41	183

Bereich, <b>Frq 1,7 Hz</b>	1	2	Row
1	<b>144</b>	25	169
2	107	<b>29</b>	136
Column	251	54	305

### A2.4 Analyse der Parameter bezüglich der Fahrten<sup>3</sup>

#### Signifikanzanalyse

Viele Parameter unterscheiden sich zwischen den Fahrten hoch signifikant. Es sind nur zwei weniger (*Ausl %* und *Reak %*) als bei der entsprechenden Analyse bezüglich der Teilnehmer. Dies ist nicht überraschend, stellen doch die Teilnehmer eine „Übergruppe“ der Fahrten dar. Es sind folglich ähnliche Ergebnisse wie bei der Analyse der Teilnehmer zu erwarten.

**Tabelle 19:** Signifikanzanalysen der SPP-Daten bezüglich der Fahrten

Variable	<b>Frq 1,2 Hz</b>		<b>Frq 1,7 Hz</b>	
	Teststärke	Signifikanz	Teststärke	Signifikanz
<i>Anti %</i>	3,9951	0,0005	4,4954	0,0000
<i>Amp_Anti</i>			3,4778	0,0000
<i>Amp_Exp</i>	2,9661	0,0049	2,7635	0,0006
<i>V_Reak</i>	28,3550	0,0000	27,5194	0,0000
<i>V_Anti</i>	40,4213	0,0000	21,4255	0,0000
<i>V_Exp</i>	2,6214	0,0112	20,2319	0,0000
<i>Reak_Zeitp</i>			3,3676	0,0000

#### Korrelationsanalyse

Auch bei dieser Korrelationsanalyse zeigt sich, daß die Sakkadengeschwindigkeiten sehr hoch und hoch signifikant miteinander korrelieren. Wie auch in den vorangegangenen Analysen finden deshalb mit derselben Argumentation die Parameter *V\_Reak* und *V\_Exp* in den weiteren Analysen keine Berücksichtigung.

<sup>3</sup> Als Fahrten werden alle 18 Fahrten bezeichnet und als gruppierende Variablen betrachtet, mögliche Reihenfolgeeffekte, die mittels der Permutation, in der die Soundmodifikationen dargeboten wurden, bereits eliminiert sein sollten, werden hierbei nicht berücksichtigt.

**Tabelle 20:** Korrelationsanalysen der SPP-Daten bezüglich der Fahrten

Frq 1,2 Hz	Anti%	Amp_Anti	Amp_Exp	V_Reak	V_Anti
Amp_Anti	0,17**				
Amp_Exp		0,30**			
V_Reak	0,16*				
V_Anti		0,15**		0,90**	
V_Exp				0,90**	0,85**
Reak_Zeitp		-0,15*	-0,30*		
Frq 1,7 Hz	Anti%	Amp_Anti	Amp_Exp	V_Reak	V_Anti
Amp_Exp		0,50**			
V_Anti				0,91**	
V_Exp			0,17*	0,85**	0,85**
Reak_Zeitp	-0,24**				

### Diskriminanzanalyse

Das Besondere an diesen Ergebnissen ist die Anzahl der Gruppen, die gebildet wurden. Es könnten bei fünf Merkmalsvariablen auch bis zu fünf Gruppen gebildet werden, jedoch wurden wie bei der Analyse der Parameter bezüglich der Teilnehmer vier Gruppen gebildet.

Der Parameter Anti % bildet in den niedrigen und hohen Frequenzbereichen des SPP eine eigenständige Gruppe aus. Dies ist in etwa dasselbe Ergebnis wie bei der Analyse der Parameter bezüglich der Teilnehmer, auch dort bildete Anti % eine eigenständige Gruppe.

Das Verhalten von V\_Anti ist etwas problematisch. Im niedrigen Frequenzbereich des SPP bildet es gemeinsam mit Amp\_Anti eine Gruppe, was sich als solches inhaltlich nicht ohne weiteres erklären läßt<sup>4</sup>, bei weiterer Betrachtung fällt allerdings auf, daß V\_Anti als einziger Parameter hoch auf die erste Gruppe läßt, fast so hoch wie auf die gemeinsame Gruppe mit Amp\_Anti. Etwas eindeutiger, jedoch nicht wesentlich ist das Ergebnis bei der Diskriminanzanalyse der hohen Frequenzen des SPP. Dort bildet V\_Anti zwar die gewünschte eigene Gruppe, läßt aber fast genauso hoch auf die eigene Gruppe wie auf die, die von den beiden Parametern der Amplituden gebildet wird.

Die Amplituden Parameter (Amp\_Anti und Amp\_Exp) werden im niedrigen Frequenzbereich des SPP eindeutig zwei unterschiedlichen

Gruppen zugeordnet, auf die sie auch beide Mal sehr hoch laden. Im Falle des hohen Frequenzbereiches des SPP liegen zwar beide Parameter wieder in einer Gruppe, diese wird jedoch von Amp\_Anti völlig dominiert, und der Einfluß von Amp\_Exp liegt sogar noch unter dem von V\_Anti, der nicht einmal zu dieser Gruppe gehört.

Der Parameter Reak\_Zeitp zeigt ebenso wie die anderen Parameter kein einheitliches Bild. Im Falle der niedrigen Frequenzen des SPP wird er dem Parameter Amp\_Exp zugeordnet, läßt jedoch fast nicht auf diese Gruppe. Bei den hohen Frequenzen des SPP bildet er zwar eine eigenständige Gruppe, läßt allerdings auch fast so hoch auf die Gruppe des Parameters Anti %.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß dieses Ergebnis zwar nicht so schön ist, wie das der Analyse der Parameter bezüglich der Teilnehmer, aber dennoch verwendbar scheint. Die Klassifikationsmatrix wird hierüber Klarheit schaffen.

<sup>4</sup> Natürlich hängen Amplitude und Geschwindigkeit linear zusammen, wie bereits ausführlich dargelegt. Wäre dieser Zusammenhang jedoch derart, daß sie gemeinsam eine Gruppe bilden sollten, stellt sich die Frage, warum es hier zum ersten Male auftritt, und es nicht schon längst bei allen drei Sakkadenarten geschehen ist. Eine mögliche Erklärung bietet natürlich die Auswahl der Parameter für die Diskriminanzanalyse, bei der es eine ähnliche Kombination nicht gegeben hat. Dieses Problem wird jedoch als nicht gravierend betrachtet.

**Tabelle 21:** Diskriminanzanalysen der SPP-Daten bezüglich der Fahrten

Frq 1,2 Hz	Funk 1	Funk 2	Funk 3	Funk 4
Amp_Anti	<b>0,978</b>	0,204	-0,034	-0,033
V_Anti	<b>0,722</b>	0,077	-0,089	0,682
Amp_Exp	-0,126	<b>0,899</b>	-0,419	-0,018
Reak_Zeitp	-0,043	<b>-0,288</b>	0,169	0,123
Anti%	0,338	0,515	<b>0,788</b>	-0,009

Frq 1,7 Hz	Funk 1	Funk 2	Funk 3	Funk 4
Amp_Anti	<b>0,941</b>	-0,086	0,282	-0,168
Amp_Exp	<b>0,332</b>	0,014	0,072	0,151
Anti%	-0,089	<b>0,883</b>	0,451	-0,095
Reak_Zeitp	-0,318	-0,619	<b>0,718</b>	0,019
V_Anti	0,656	-0,014	0,338	<b>0,674</b>

**Klassifikationsmatrix**

Für den niedrigen Frequenzbereich des SPP wurde mittels der von der Diskriminanzanalyse vorgeschlagenen Gruppierung, in 47 von 80 Fällen (58,8%) richtig zugeordnet. Bei einer zufälligen Gruppierung wäre eine Quote von 5,6% zu erwarten gewesen. Für die hohen Frequenzen sieht das Ergebnis ähnlich aus, 89 von 249 Fällen (35,7%) wurden richtig zugeordnet.

Die bereits in der Diskriminanzanalyse angesprochenen Unklarheiten der Zuordnung spiegeln sich natürlich und offensichtlich in den Klassifikationsmatrizen wider. Überraschenderweise liegt die Quote korrekter Zuordnungen im niedrigen Frequenzbereich des SPP erheblich über der des hohen Frequenzbereiches, obwohl die Diskussion der Ergebnisse der Diskriminanzanalyse ein etwas geschlosseneres Bild beim hohen Frequenzbereich ergab. Die Quoten von 58,8% beziehungsweise 35,7% weisen die Ergebnisse der Diskriminanzanalyse als valide aus.

**Tabelle 22:** Klassifikationsmatrizen der SPP-Daten bezüglich der Fahrten

Frq 1,2 Hz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Row
1	<b>1</b>				1						1								3
2		<b>0</b>																	0
3			<b>2</b>								1					1			4
4				<b>5</b>															5
5					<b>1</b>						1								2
6			1		1	<b>2</b>											1		5
7						1	<b>3</b>												4
8				1				<b>4</b>											5
9									<b>8</b>										8
10										<b>0</b>	1								1
11	1		1			1					<b>3</b>								6
12			1								1	<b>0</b>							2
13			1			1							<b>4</b>				1		7
14														<b>2</b>					2
15									1				1		<b>0</b>				2
16			2										1			<b>3</b>	2		8
17						1							1			1	<b>4</b>	1	8
18											1	1				1		<b>5</b>	8
Column	2	0	8	6	3	6	3	4	9	0	9	0	8	2	0	6	8	6	80

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung Tabelle 22

Frq 1,7 Hz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Row
1	<b>2</b>									5									7
2	1	<b>3</b>		2				9											15
3			<b>0</b>								4	3					2	2	11
4				<b>3</b>				1	1										5
5					<b>2</b>														2
6						<b>0</b>					1							1	2
7							<b>2</b>				1				1				4
8		3		2				<b>15</b>											20
9									<b>10</b>			1			3				14
10			2							<b>11</b>	1								14
11							1			8	<b>9</b>	1			1			1	21
12										2	4	<b>2</b>			2		1		11
13							1		1	1	5	1	<b>2</b>		13		1	2	27
14									1					<b>10</b>					11
15			1						3		1	1	4		<b>5</b>		1	3	19
16									2		3	1			3	<b>0</b>	6	3	18
17			1							1	5		1		1		<b>5</b>	10	24
18			1				1			1	2	1			5		5	<b>8</b>	24
Column	3	6	5	7	2	0	5	25	17	30	36	11	7	10	34	0	21	30	249

### A3 Gesamtbetrachtung zur Reduktion der Parameter des Springenden Punktes

Aus obigen Analysen läßt sich ableiten, daß eine Reduktion der Anzahl der SPP-Parameter auf Anti %, V\_Anti, V\_Reak, Amp\_Exp, Amp\_Anti und Reak\_Zeitp vielversprechend/zielführend ist. Es sind die bisher am häufigsten in Erscheinung getretenen Parameter. Sie werden mit den Parametern anderer erhobener Größen (Befragung mittels Proteus, TLX- und EZ34-Fragebogen) korreliert, um hierfür ihre Vorhersagekraft zu untersuchen. Ein mögliches und durchaus noch immer angestrebtes Ergebnis ist eine weitere Reduktion der obigen Parameterliste.

#### A3.1 Implikationen bezüglich der Befragung mittels Proteus

##### Korrelationsanalyse Befragung mittels Proteus

Alle Daten der Tabellen 23 und 24 korrelieren hoch signifikant miteinander. Auffallend ist, daß es keinerlei Widersprüche in der Richtung der Korrelationen gibt. Wenn beispielsweise ein SPP Parameter negativ mit Abgelenkt korreliert,

dann ebenso mit Schläfrig und Gelangweilt und entsprechend positiv mit den drei weiteren, und genauso umgekehrt (siehe auch Kapitel Methoden). Jedoch ist diese Tabelle noch sehr umfangreich.

Wenn im Sinne einer weiteren Reduktion der Anzahl der Parameter nur noch die signifikanten Korrelationen berücksichtigt werden, bei denen die Korrelation (unabhängig ob im niedrigen Frequenzbereich des SPP oder im hohen) über 0,3 korrelieren, ergibt sich folgendes Bild:

Die auffallendste und dabei gewollte Änderung hat sich durch die Reduktion sowohl der Parameter der Befragung mittels Proteus als auch der SPP Parameter ergeben. Weggefallen sind demnach die Parameter Gelangweilt der Befragung mittels Proteus, der auch schon in Tabelle 23 nur sehr schwach mit den einzelnen Parametern des SPP korrelierte, als auch Amp\_Anti und Reak\_Zeitp des SPP. Auch diese zeigten in Tabelle 23 nur schwache Korrelationen.

Es bietet sich eine zweifache Diskussion der Tabelle 24 an, einmal aus Sicht der SPP Parameter,

ein andermal aus Sicht der Parameter, die sich aus der Befragung mittels Proteus ergeben. Eine Korrelationsanalyse erlaubt (siehe Kapitel Korrelationsanalyse (Spearman)) keine Aussagen über kausale Zusammenhänge, so daß jeweils beide Seiten beleuchtet werden sollten.

- Der SPP Parameter Anti % korreliert mit Abgelenkt, Aufmerksam, Wach
- Der SPP Parameter Amp\_Exp korreliert mit Schläfrig
- Der SPP Parameter V\_Reak korreliert mit Interessiert, Aufmerksam, Wach

- Der SPP Parameter V\_Anti korreliert mit Interessiert

Die drei SPP Parameter Anti %, V\_Reak und V\_Anti zeigen eine deutliche Nähe zueinander, so daß unter Umständen sogar noch auf den Parameter V\_Reak verzichtet werden könnte, da er in dieser Dreiergruppe offensichtlich redundant ist. Amp\_Exp nimmt eine etwas andere Position ein und steht für sich.

- Der Proteus Parameter Abgelenkt korreliert mit Anti %
- Der Proteus Parameter Interessiert korreliert mit V\_Reak, V\_Anti

**Tabelle 23:** Korrelationsanalysen (1) der SPP-Daten bezüglich der Ergebnisse der Befragung mittels Proteus

Frq 1,2 Hz	Abgelenkt	Interessiert	Schläfrig	Aufmerksam	Gelangweit	Wach
Anti %	-0,45	0,15	-0,27	0,45		0,38
Amp_Anti			0,20			-0,14
Amp_Exp	0,23		0,32			-0,23
V_Reak	-0,19	0,44		0,34	-0,16	0,37
V_Anti		0,36		0,26		0,22
Reak_Zeitp					0,16	

Frq 1,7 Hz	Abgelenkt	Interessiert	Schläfrig	Aufmerksam	Gelangweit	Wach
Anti %	-0,29	0,17	-0,23	0,39	-0,14	0,33
Amp_Anti			0,15			-0,15
Amp_Exp			0,35			-0,25
V_Reak		0,33		0,31		0,25
V_Anti		0,34		0,27		0,25
Reak_Zeitp	0,25		0,17	-0,16		-0,16

**Tabelle 24:** Korrelationsanalysen (2) der SPP-Daten bezüglich der Ergebnisse der Befragung mittels Proteus

Frq 1,2 Hz	Abgelenkt	Interessiert	Schläfrig	Aufmerksam	Wach
Anti %	-0,45			0,45	0,38
Amp_Exp			0,32		
V_Reak		0,44		0,34	0,37
V_Anti		0,36			

Frq 1,7 Hz	Abgelenkt	Interessiert	Schläfrig	Aufmerksam	Wach
Anti %	-0,29			0,39	0,33
Amp_Exp			0,35		
V_Reak		0,33		0,31	0,25
V_Anti		0,34			

- Der Proteus Parameter Schläfrig korreliert mit Amp\_Exp
- Der Proteus Parameter Aufmerksam korreliert mit Anti %, V\_Reak
- Der Proteus Parameter Wach korreliert mit Anti % und V\_Reak

Die beiden Proteus Parameter Aufmerksam und Wach bedeuten nach den obigen Daten offensichtlich in der Einschätzung durch die Versuchsteilnehmer etwas sehr ähnliches, und könnten im Zweifel sogar noch von den Proteus Parametern Abgelenkt und Interessiert substituiert werden<sup>5</sup>.

### A3.2 Implikationen bezüglich des TLX- und des EZ34-Fragebogens

#### **Korrelationsanalyse TLX- und EZ34-Fragebogen**

Alle Daten korrelieren wieder hoch signifikant miteinander. Auffallend ist hier, wie auch schon in Tabelle 23, daß es kaum zu Widersprüchen wegen der Vorzeichen der Korrelationen kommt, einzig der Parameter V\_Reak bildet eine Ausnahme. Er überrascht durch zwei Vorzeichenwechsel bei den Korrelationen mit den Parametern des EZ34-Fragebogens. Alle Korrelationen des SPP Parameters V\_Reak mit den Parametern des EZ34-Fragebogens befinden sich allerdings auf einem sehr niedrigen Niveau, so daß dieser Punkt vernachlässigt werden kann, da bei der folgenden Reduktion der unübersichtlichen Tabelle, wie es ebenfalls bei der Tabelle 23 vorgenommen wurde, diese Werte nicht mehr auftreten werden.

Um das Bild etwas übersichtlicher zu gestalten, werden wie oben nur die Werte beibehalten, die über 0,3 liegen oder in beiden Frequenzbereichen gleichermaßen vertreten sind.

Aus den Parametern der TLX- und EZ34-Fragebögen, die beide über die gesamte Fahrtdauer messen, lassen sich auf den ersten Blick zwei Aussagen ableiten:

- Der SPP Parameter Amp\_Exp korreliert zwar mit dem TLX-Fragebogen Parameter EF (Effort), jedoch nicht so hoch wie Anti % und birgt keinen über Anti % hinausgehenden Erkenntnisgewinn, er kann also vernachlässigt werden.

- Die SPP Parameter V\_Reak und V\_Anti verhalten sich bezüglich des TLX-Fragebogens einheitlich, auch hier gilt, daß im Zweifel einer von beiden unberücksichtigt bleiben könnte.

Ergänzend zu den SPP Parametern V\_Reak und V\_Anti, korreliert Anti % mit fast allen anderen Parametern der beiden Fragebögen (nicht jedoch mit EFFI (Effizienz) des EZ34-Fragebogens, mit dem im hohen Frequenzbereich des SPP V\_Reak und V\_Anti noch mit  $-0,27$  beziehungsweise  $-0,28$  korrelieren, siehe Tabelle 25).

Eine Darstellung der Ergebnisse aus Sicht der TLX- oder EZ34-Fragebogen Parameter wie im vorherigen Kapitel scheint nicht mehr erkenntniserhöhend.

<sup>5</sup> Es läßt sich bereits aus diesen Daten ablesen, daß die Befragung mittels Proteus nicht den Stand eines vollwertigen Fragebogens erreicht hat. Die Ergebnisse des Vorversuch zur Rückwirkung zweier Methoden waren sehr eindeutig und vielversprechend und rechtfertigten durchaus seinen Einsatz in diesem Versuch, jedoch sollte von einer weiteren Verallgemeinerung und breiten Anwendung dieser Befragungsmethode ohne weitere Untersuchungen abgeraten werden.

**Tabelle 25:** Korrelationsanalysen (1) der SPP-Daten bezüglich TLX- und EZ34-Fragebogen

Frq 1,2 Hz	MWWL	MD	PD	TD	OP	EF	FR	MOOD	DEFI	EFFI	TENS
		Mental Demand	Physical Demand	Temporal Demand	Operational Performance	Effort	Frustration	Mood	Defizienz	Effizienz	Tension
Anti%	-0,39	-0,56	-0,57	0,20	0,30	-0,55	-0,24	0,30	0,58		0,48
Amp_Anti	0,11			0,17							
Amp_Exp						0,35					
V_Reak				-0,61	-0,28		0,46		0,26		
V_Anti		0,20	0,12	-0,52	-0,20		0,40	-0,18			-0,31

Frq 1,7 Hz	MWWL	MD	PD	TD	OP	EF	FR	MOOD	DEFI	EFFI	TENS
		Mental Demand	Physical Demand	Temporal Demand	Operational Performance	Effort	Frustration	Mood	Defizienz	Effizienz	Tension
Anti%	-0,33	-0,49	-0,45	0,13	0,21	-0,36	-0,15	0,26	0,52		0,42
Amp_Anti				0,13							
Amp_Exp						0,15					
V_Reak		0,14		-0,46	-0,16		0,42	-0,13	0,15	-0,27	
V_Anti		0,18		-0,47	-0,20		0,36	-0,18		-0,28	
Reak_Zeitp		0,16	0,22	-0,23	-0,17	0,12	0,18		-0,14		-0,12

**Tabelle 26:** Korrelationsanalysen (2) der SPP-Daten bezüglich TLX- und EZ34-Fragebogen

Frq 1,2 Hz	MWWL	MD	PD	TD	OP	EF	FR	MOOD	DEFI	EFFI	TENS
		Mental Demand	Physical Demand	Temporal Demand	Operational Performance	Effort	Frustration	Mood	Defizienz	Effizienz	Tension
Anti%	-0,39	-0,56	-0,57		0,30	-0,55		0,30	0,58		0,48
Amp_Exp						0,35					
V_Reak				-0,61			0,46				
V_Anti				-0,52			0,40				

Frq 1,7 Hz	MWWL	MD	PD	TD	OP	EF	FR	MOOD	DEFI	EFFI	TENS
		Mental Demand	Physical Demand	Temporal Demand	Operational Performance	Effort	Frustration	Mood	Defizienz	Effizienz	Tension
Anti%	-0,33	-0,49	-0,45		0,21	-0,36		0,26	0,52		0,42
Amp_Exp						0,15					
V_Reak				-0,46			0,42				
V_Anti				-0,47			0,36				

**A4 Anwendung der reduzierten Parameterliste des Springenden Punktes**

Die reduzierte Parameterliste des Springenden Punktes beinhaltet, wie bereits in Gesamtbeachtung zur Reduktion der Parameter des Springenden Punktes aufgeführt, nur noch die folgenden Parameter:

**Tabelle 27:** Reduzierte Parameterliste des Springenden Punktes

• Anti %	Anteil der Antizipationssakkaden an den Reaktionen auf den Reizwechsel
• Amp_Anti	Amplitude der Antizipationssakkade bezogen auf die Reizamplitude
• Amp_Exp	Amplitude der Expreßsakkade bezogen auf die Reizamplitude
• V_Anti	Geschwindigkeit der Antizipations-sakkade
• V_Reak	Geschwindigkeit der Reaktionssakkade
• Reak_Zeitp	Zeitpunkt, an dem die Reaktionssakkaden gestartet werden

In den nächsten Analyseschritten wird untersucht, wie gut sich aus diesen Parametern die Ergebnisse der Befragung mittels Proteus und der beiden TLX- und EZ34-Fragebögen unter

den unterschiedlichen Soundbedingungen sowie die unterschiedlichen Teilnehmer vorhersagen lassen. Letztere werden also als Gruppierungsmerkmale herangezogen. Die folgenden Ergebnistabellen stellen wieder nur noch die hoch signifikanten Ergebnisse die höher als 0,3 korrelieren dar.

Für beide folgenden Analysen (Kapitel Anwendung auf die Sounds und Kapitel Anwendung auf die Teilnehmer) gelten die Tabelle 28 und Tabelle 29 als Übersicht. Die angesprochenen nachfolgenden Analysen haben denselben Aufbau wie diese beiden Tabellen (der erste Teil ist eine Korrelationsanalyse bezüglich der Befragung mittels Proteus, der zweite bezüglich der TLX- und EZ34-Fragebögen).

Erstaunlich ist, daß von den sechs in der Parameterliste verbliebenen Parametern des SPP nur drei, beziehungsweise vier Parameter in den beiden obigen Tabellen wieder auftauchen, obwohl die reduzierte Liste der Parameter nur noch diejenigen enthalten hatte, die sich in den bisherigen Analyseschritten als besonders aussagekräftig herauskristallisiert haben. In den ursprünglichen Tabellen existierten zwar noch weitere hoch signifikante Korrelationen für alle sechs Parameter, jedoch überschritten diese Korrelationen den Wert von 0,3 nicht.

**Tabelle 28:** Korrelationsanalyse Proteusbefragung – Springender Punkt (Übersicht reduzierte Parameterliste)

	Aufmerksam	Abgelenkt	Gelangweilt	Interessiert	Schläfrig	Wach
Anti%	0,38	-0,33				0,32
Amp_Exp					0,34	
V_Anti				0,35		
V_Reak	0,32			0,38		0,30

**Tabelle 29:** Korrelationsanalyse TLX- und EZ34-Fragebogen – Springender Punkt (Übersicht reduzierte Parameterliste)

	MWWL	MD	PD	TD	OP	EF	FR	MOOD	TENS	DEFI	EFFI
		Mental Demand	Physical Demand	Temporal Demand	Operational Performance	Effort	Frustration	Mood	Tension	Defizienz	Effizienz
Anti%	-0,36	-0,50	-0,49			-0,43			0,43	0,52	
V_Anti				-0,48			0,37				
V_Reak				-0,52			0,43				

#### A4.1 Anwendung auf die Sounds

Die Ergebnisse dieses Analyseschrittes sind nicht sehr einheitlich. Zum einen wäre zu erwarten gewesen, daß sowohl die Übereinstimmungen der Korrelationen zwischen den verschiedenen Soundbedingungen (dabei geht es gar nicht um den absoluten Betrag der Korrelationen als viel mehr um das Auftreten von Korrelationen in denselben Zellen wie in der Tabelle 30 und Tabelle 31) als auch die Übereinstimmungen zwischen der Tabelle 28 und Tabelle 29 gegenüber Tabelle 30 und Tabelle 31 höher wären. Zum anderen treten überraschende Vorzeichenwechsel an verschiedenen Stellen der Tabellen auf: Abgelenkt/V\_Anti, Abgelenkt/V\_Reak, Schläfrig/V\_Reak, PD/V\_Anti, PD/V\_Reak,

Tens/V\_Anti, Tens/V\_Reak, Defi/V\_Anti, Defi/V\_Reak. Bemerkenswert an dieser Liste ist unter anderem, daß erstens diese Korrelationen nicht in den Übersichten der Tabelle 28 und Tabelle 29 auftreten und zweitens diese Korrelationen immer nur in zwei der drei Soundbedingungen hoch signifikant sind und über 0,3 korrelieren.

Es kann dies als ein erstes deutliches Indiz dafür gewertet werden, daß die Soundbedingungen ihrer Aufgabe als unterschiedliche und unterscheidbare Belastungsausprägungen gerecht wurden und es erklärt auch, warum im vorhergegangenen Kapitel Reduktion der Anzahl der Parameter des Springenden Punktes die Analyse der Parameter bezüglich der Sounds mißlang.

**Tabelle 30:** Korrelationsanalysen Proteusbefragung – Springender Punkt (die Sounds einzeln)

<b>SD0</b>	Aufmerksam	Abgelenkt	Gelangweilt	Interessiert	Schläfrig	Wach
Anti %	0,38	-0,52				
V_Anti	0,61	-0,49	-0,42	0,72	-0,46	0,63
V_Reak	0,64	-0,49	-0,40	0,71	-0,46	0,65
<b>SD1</b>	Aufmerksam	Abgelenkt	Gelangweilt	Interessiert	Schläfrig	Wach
Anti %						0,38
Amp_Exp					0,39	
V_Reak					0,50	
<b>SD2</b>	Aufmerksam	Abgelenkt	Gelangweilt	Interessiert	Schläfrig	Wach
Anti %	0,40					
V_Anti		0,36				
V_Reak		0,41				

**Tabelle 31:** Korrelationsanalyse TLX- und EZ34-Fragebogen – Springender Punkt (die Sounds einzeln)

<b>SD0</b>	MWWL	MD	PD	TD	OP	EF	FR	MOOD	TENS	DEFI	EFFI
		Mental Demand	Physical Demand	Temporal Demand	Operational Performance	Effort	Frustration	Mood	Tension	Defizienz	Effizienz
Anti%	-0,47	-0,58	-0,46			-0,42			0,46	0,57	-0,49
Amp_Exp			0,33			0,36				-0,31	0,21
V_Anti	-0,52		-0,32	-0,34	-0,50				0,66	0,51	-0,72
V_Reak	-0,50		-0,39	-0,32	-0,61	-0,35			0,75	0,50	-0,78
<b>SD1</b>	MWWL	MD	PD	TD	OP	EF	FR	MOOD	TENS	DEFI	EFFI
Anti%		-0,45	-0,48	0,35		-0,33			0,42	0,45	
Amp_Exp						0,39					
V_Anti		0,67	0,51	-0,55		0,46	0,65	-0,45	-0,45	-0,67	
V_Reak		0,61	0,46	-0,57		0,51	0,63	-0,48	-0,43	-0,61	
<b>SD2</b>	MWWL	MD	PD	TD	OP	EF	FR	MOOD	TENS	DEFI	EFFI
Anti%	-0,53	-0,34	-0,57		0,50	-0,43		0,56	0,61	0,56	
Amp_Anti											-0,31
V_Anti				-0,65							
V_Reak				-0,66				0,32		0,32	

#### A4.2 Anwendung auf die Teilnehmer

Das Ergebnis entspricht formal dem des vorherigen Kapitels mit der Einschränkung, daß sich die Wechsel in den Vorzeichen nicht mehr mit unterschiedlichen Soundbedingungen erklären lassen, sondern mittels individueller Unterschiede der Teilnehmer. Daß die individuellen Unterschiede dramatisch sein können, haben bereits Galley et al. (1997) nachgewiesen.

Es gibt offensichtlich keine Korrelation zwischen den Parametern des Springenden Punktes und der Befragung mittels Proteus oder den beiden Fragebögen, die für alle sechs Teilnehmer gleichermaßen hohe Werte erzielt. Unter diesem Aspekt ist es sinnvoll, sich das individuelle Verhalten der Teilnehmer bezüglich des Springenden Punktes genauer anzusehen.

**Tabelle 32:** Korrelationsanalysen Proteusbefragung – Springender Punkt (die Teilnehmer einzeln)

<b>TN 1</b>	Aufmerksam	Abgelenkt	Gelangweilt	Interessiert	Schläfrig	Wach
V_Anti		-0,45				
V_Reak	-0,39	-0,43				
<b>TN 2</b>	Aufmerksam	Abgelenkt	Gelangweilt	Interessiert	Schläfrig	Wach
Amp_Anti				0,34		
V_Anti		-0,48	-0,73	0,52		
V_Reak		-0,55	-0,68			
<b>TN 3</b>	Aufmerksam	Abgelenkt	Gelangweilt	Interessiert	Schläfrig	Wach
V_Anti				0,30		
V_Reak				0,37		

Fortsetzung Tabelle 32

<b>TN 4</b>	Aufmerksam	Abgelenkt	Gelangweilt	Interessiert	Schläfrig	Wach
Amp_Exp					0,42	-0,33
V_Anti					0,45	
V_Reak					0,43	
<b>TN 5</b>	Aufmerksam	Abgelenkt	Gelangweilt	Interessiert	Schläfrig	Wach
Amp_Exp	0,44	-0,42				0,43
V_Anti	0,34	-0,37		0,42	-0,59	0,38
V_Reak		-0,34		0,42	-0,52	0,36
<b>TN 6</b>	Aufmerksam	Abgelenkt	Gelangweilt	Interessiert	Schläfrig	Wach
Amp_Exp				0,34		
V_Anti	0,38			0,40		0,33
V_Reak	0,30			0,30		

#### A4.3 Zeitlicher Verlauf der Parameter des Springenden Punktes einzelner Teilnehmer

Die nun folgenden sechs Abbildungsblöcke (Abbildung 39 bis Abbildung 44) zeigen den zeitlichen Verlauf der Daten der reduzierten Parameterliste in übersichtlicher Form. Auf die Darstellung der Parameter Amp\_Anti und Reak\_Zeitp, wie es noch in der Einleitung zu diesem Kapitel nahegelegt wird, wird verzichtet, erstgenannter Parameter tritt in Tabelle 28 bis Tabelle 33 lediglich zweimal auf (einmal in der Korrelation von TN 2 mit Interessiert, 0,3365, und einmal in der Korrelation von SD2-tief mit EFFI, -0,3146), letzterer gar nicht. Die Abbildungen haben folgende innere Struktur: Spaltenweise sind die Soundbedingungen (SD0-ohne, SD1-hoch, SD2-tief) angeordnet, zeilenweise die Frequenzbereiche des Springenden Punktes (tief: 0,7–1,2 Hz, hoch: 1,2–1,7 Hz). Pro Teilnehmer ergibt sich ein Block von sechs Grafiken.

An die Abbildungen jedes Teilnehmers schließen sich jeweils zwei Tabellen (Tabelle 34 bis Tabelle 39) an. Die jeweils erste enthält die Daten der Mittelwerte und Standardabweichungen der verbleibenden vier Parameter unter den drei Soundmodifikationen. Die Tabellen haben jeweils fünf Zeilen, die erste Zeile ist mit „Entire“ betitelt und beinhaltet die Daten (Mittelwerte, Standardabweichungen) der Gesamtpopulation, die an den Versuchen teilgenommen hatten, die zweite Zeile ist mit „TN“ sowie einer Teilneh-

mernummer betitelt und beinhaltet die entsprechenden Werte des jeweiligen Teilnehmers, die folgenden drei Zeilen sind mit dem jeweiligen Kürzel der drei verschiedenen Soundbedingungen betitelt und stellen die eigentlichen Ergebnisse dar. Die zweite Tabelle enthält die Daten einer linearen Regressionsanalyse der verbleibenden vier Parameter bezogen auf die Zeitdauer der Fahrten. Sie ist untergliedert in die drei Soundmodifikationen sowie die zwei Frequenzbereiche des Springenden Punktes.

Anschließend werden die Ergebnisse in kurzer Form diskutiert. Der Aufbau der Diskussion ist für alle sechs Teilnehmer derselbe: Unter der Überschrift **Allgemeines** werden Besonderheiten der Fahrten aufgeführt, die bei der Diskussion berücksichtigt werden müssen. Die drei folgenden Absätze sind mit **Anteil [%]**, **Amplitude** und **Geschwindigkeiten** betitelt und behandeln die entsprechenden Parameter. Abschließend folgt gelegentlich noch ein Absatz **Sonstiges**, der Ergebnisse zusammenfaßt, die sich unter die bereits genannten nicht subsumieren lassen.

Ein kurzes Lesebeispiel soll die Struktur der Abbildungen anhand Abbildung 39 (siehe Seite 102) verdeutlichen: Die erste Grafik oben, links gibt die folgende Situation wieder: Teilnehmer 1 (TN 1) fuhr die Versuchsstrecke Berlin-Rostock-Berlin unter der Bedingung ohne Soundbeaufschlagung (SD0), dargestellt sind die tie-

**Tabelle 33:** Korrelationsanalyse TLX- und EZ34-Fragebogen – Springender Punkt (die Teilnehmer einzeln)

<b>TN 1<sup>6</sup></b>	MWWL	MD	PD	TD	OP	EF	FR	MOOD	TENS	DEFI	EFFI
		Mental Demand	Physical Demand	Temporal Demand	Operational Performance	Effort	Frustration	Mood	Tension	Defizienz	Effizienz
Amp_Exp			-0,45			-0,45	-0,43	.	.	.	.
V_Anti	-0,60	0,90	0,33	-0,84		0,33	0,72	.	.	.	.
V_Reak	-0,60	0,92	0,34	-0,85		0,34	0,75	.	.	.	.
<b>TN 2</b>	MWWL	MD	PD	TD	OP	EF	FR	MOOD	TENS	DEFI	EFFI
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<b>TN 3</b>	MWWL	MD	PD	TD	OP	EF	FR	MOOD	TENS	DEFI	EFFI
Amp_Exp	0,47	0,53	-0,04			0,45		0,51			
V_Anti	0,57	0,46	0,54	-0,40	-0,54	0,87	0,79	0,30	-0,30		
V_Reak	0,59	0,48	0,60	-0,39	-0,60	0,88	0,83	0,31	-0,33		
<b>TN 4</b>	MWWL	MD	PD	TD	OP	EF	FR	MOOD	TENS	DEFI	EFFI
V_Anti						-0,55	-0,56	-0,55	0,56	0,55	
V_Reak						-0,59	-0,58	-0,59	0,58	0,59	
<b>TN 5</b>	MWWL	MD	PD	TD	OP	EF	FR	MOOD	TENS	DEFI	EFFI
V_Anti	-0,55		-0,55			-0,56	-0,56	-0,56	0,55		-0,56
V_Reak	-0,48		-0,48			-0,48	-0,48	-0,48	0,48		-0,48
<b>TN 6</b>	MWWL	MD	PD	TD	OP	EF	FR	MOOD	TENS	DEFI	EFFI
V_Anti	0,43	0,43	-0,41	-0,34							
V_Reak	0,31	0,31	-0,31								

fen Frequenzen des Springenden Punktes (0,7–1,2Hz), bei der ersten Messung wurden ausschließlich Antizipationssakkaden ausgeführt (Anti % liegt bei 100), direkt darunter befindet sich die Grafik desselben Teilnehmers unter derselben Bedingung, diesmal jedoch sind die hohen Frequenzen des Springenden Punktes dargestellt.

Die Abbildungen weisen unterschiedliche Wertebereiche auf. Die Abszisse reicht immer von 0–30. Auf ihr sind die Nummern der Messungen (alle zwölf Minuten) abgetragen. Die Ordinate hat in den meisten Fällen einen Wertebereich von 0–200, in zwei Fällen von 0–300 (TN 5, SD0-ohne, beide Frequenzbereiche des Springenden Punktes). Auf ihr gelten unterschiedliche Einheiten: für Anti % der Anteil [%] der Antworten auf den Springenden Punkt (Wertebereich: 0% bis 100%), für V\_Anti und V\_Reak

die Geschwindigkeiten [°/sec] (Wertebereich: 0°/sec bis maximal 600°/sec (Literaturwert), Spitzenwerte liegen hier unter 300°/sec) und für Amp\_Exp die Amplitude [% der Reizamplitude] (Wertebereich:  $-\infty^7$  bis  $+\infty$ , übliche Werte liegen um 100%). Die Legende gilt für alle sechs Abbildungen.

- Anti %
- ◆ Amp\_Exp
- ▲ V\_Anti
- V\_Reak

<sup>6</sup> An den Positionen der Tabelle, an denen ein „.“ steht, kann keine Korrelation berechnet werden, da nicht ausreichend Datenmaterial zur Verfügung steht. Im Falle von TN 1 wurde der EZ34 Fragebogen nach der dritten Fahrt nicht ausgefüllt. Im Falle von TN 2 wurde die Fahrt kurz vor der Hälfte der Versuchsstrecke abgebrochen. Es wurde auf die Aufnahme der Fragebögen verzichtet, weil hier zu starke Interventionen seitens des Versuchsleiters vorausgegangen waren und der Teilnehmer bereits sichtlich irritiert wirkte.

Einen weiteren Hinweis zum Lesen der Abbildungen vorweg: Wenn die Amplitude (Amp\_Exp) oder die Geschwindigkeit (V\_Anti, V\_Reak) den Wert „0“ haben, ist dies nicht in dem Sinne zu verstehen, daß diese Parameter wirklich diesen Wert aufweisen (eine Sakkade mit einer Amplitude oder Geschwindigkeit von „0“ ist schließlich keine Sakkade), sondern daß die entsprechende Antwortkategorie (Anti, Exp, Reak) gar nicht belegt ist, also Anti %, Exp % oder Reak % gleich null sein muß, und entsprechend der Wert „0“ als „Missing Value“<sup>8</sup> zu interpretieren ist. Liegen die Werte aller vier Parameter bei „0“, so heißt das wiederum, daß diese Aufgabe nicht richtig durchgeführt wurde, sei es, daß der Teilnehmer bedingt durch eine unübersichtliche Verkehrssituation die Aufgabe abbrechen mußte (dies müßte sich dann insbesondere bei den hohen Frequenzen des SPP zeigen) oder die Messung als solche fehlerhaft war (entsprechende Fälle sind jedoch nicht aufgefallen).

Des weiteren gibt es bei den Teilnehmern TN 1 und TN 2 auffallend weniger Messungen als bei den übrigen, dies liegt nicht daran, daß sie schneller gefahren sind oder Abkürzungen genommen haben, sondern schlicht, daß erst ab dem dritten Teilnehmer die Messungen auf die gesamte Versuchsstrecke ausgedehnt wurden, nachdem sich bei den ersten beiden Teilnehmern gezeigt hatte, wie leicht und einfach es ihnen fiel, die Blickbewegungsaufgabe während der Fahrt nach Einschätzung der Versuchsleiter sicher und souverän auszuführen.

Bei allen Teilnehmern ist folgende Besonderheit oder Abweichung gegenüber zitierten Laborversuchen festzustellen: Im niedrigen Frequenzbereich des SPP weist der Parameter V\_Reak häufig den Wert „0“ auf. Dies ist, wie dargelegt, als das Fehlen von Reaktionssakkaden zu interpretieren. Normalerweise, und die bereits zitierten Laborversuche haben dies auch bestätigt, müßten jedoch gerade im niedrigen Frequenzbereich des SPP Reaktionssakkaden auftreten, da sie **zwingend notwendig** sind, um ein Modell des Reizwechsels zu bilden. Die daraus abzuleitende Schlußfolgerung ist, nachdem andere bekannte mögliche Fehlerquellen überprüft und ausgeschlossen werden konnten, daß die Teilnehmer, bevor sie den Springenden Punkt starteten, sich bereits an der Grundfrequenz, mit der der Springenden Punkt die ganze Zeit kontinu-

ierlich läuft, eintakteten, **das Modell also beim Starten des Springenden Punktes vollständig entwickelt war**. Das Auftreten von „0“ abweichenden Werten des Parameters V\_Reak im hohen Frequenzbereich des SPP ist wiederum als Zeichen dafür zu werten, daß die Teilnehmer in einen Bereich der Überforderung geraten waren oder aus anderen Gründen die Blickbewegungsaufgabe nicht mehr in der bisherigen Form mit Antizipations- oder Expreßsakkaden fortsetzen konnten, so daß sie eine oder mehrere Auslassungen hatten, aus dem Rhythmus kamen, bevor sie sich mittels Reaktionssakkaden wieder eintakteten, folglich ein neues Modell des Reizwechsels bilden konnten.

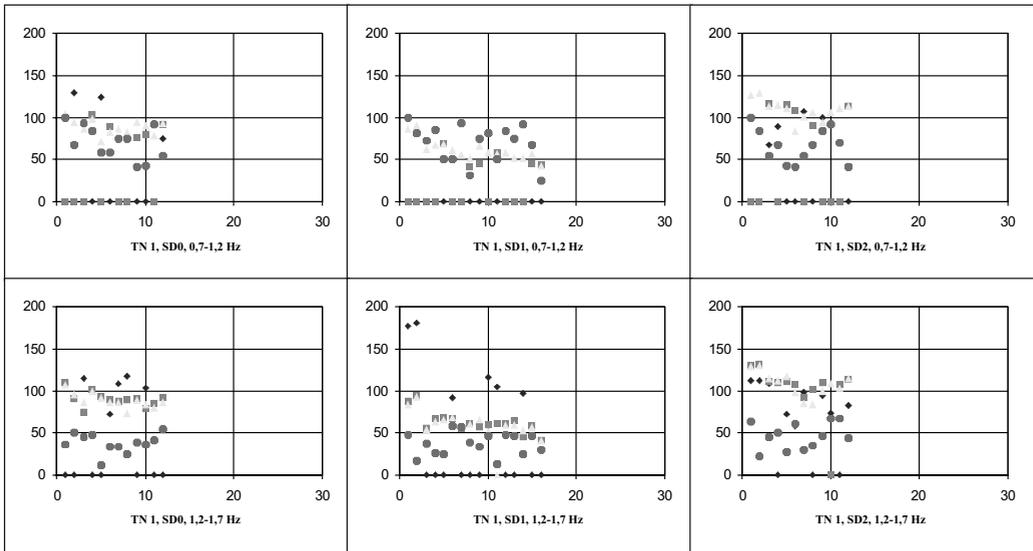
Es könnte etwas irritieren, daß die Startwerte (also die Werte der jeweils ersten Messung) der vier dargestellten Parameter bei den drei Soundbedingungen (SD0-ohne, SD1-hoch, SD2-tief) für einen Teilnehmer nicht jeweils dieselben sind. Zwei Gründe jedoch sprechen im Wesentlichen gegen solche konstanten Startwerte:

- Der Zustand der Teilnehmer am Anfang jeder neuen Messung, ist nicht an jedem der drei Tage derselbe (auch ein Grund die Reihenfolge der Soundmodifikationen zu permutieren, da am dritten Tage bereits von einer möglicherweise kumulierten Ermüdung ausgegangen werden muß).
- Die erste Messung erfolgte nicht direkt vor oder nach Fahrtantritt, sondern erst auf der Autobahn, nachdem die Teilnehmer bereits zirka eine halbe Stunde im Auto auf dem Wege zur Autobahn saßen, so daß die Soundbedingungen bereits eine gewisse Zeit hatten, auf die Teilnehmer zu wirken.

<sup>7</sup> Für den Fall, daß die Sakkade in entgegengesetzter Richtung zum Reizwechsel durchgeführt wird, wie es bei anderen Versuchsdesigns in der Literatur durchaus zu finden ist (Stichwort Gegen- der Antisakkaden)

<sup>8</sup> „Missing Value“ ist der Ausdruck, den SPSS für das Fehlen von Werten in einer Analyse benutzt.

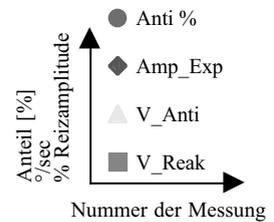
**Teilnehmer 1**



**Abbildung 39:** Zeitlicher Verlauf der SPP-Parameter des TN 1

**Tabelle 34:** Regressionskoeffizienten, Mittelwerte, Standardabweichungen der SPP-Parameter des TN 1

Regression	Anti %	Amp_Exp	V_Anti	V_Reak
SD0, 1,2Hz	-0,23	-0,71	-0,15	-0,58
SD0, 1,7Hz	0,04	0,03	-1,15	-0,23
SD1, 1,2Hz	-0,05	<sup>9</sup>	-1,61	-0,77
SD1, 1,7Hz	-0,06	0,40	-1,22	-1,07
SD2, 1,2Hz	0,04	0,43	-0,27	-0,24
SD2, 1,7Hz	0,34	-0,23	-0,29	-0,40



Mittelwerte	Anti %		Amp_Exp		V_Anti		V_Reak	
	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev
Entire	50,0	22,9	104,0	17,9	110,9	34,3	113,2	34,5
TN 1	52,8	20,9	96,6	19,2	82,3	22,4	81,8	24,0
SD 0	52,6	21,2	105,5	21,2	87,3	7,3	88,2	8,2
SD 1	52,1	22,9	102,3	10,6	58,2	7,0	56,3	9,3
SD 2	54,0	18,9	88,7	17,8	106,8	12,7	109,2	9,8

**Allgemeines**

Versuchsleiter: Janßen; Reihenfolge der Soundmodifikationen: SD0-ohne, SD1-hoch, SD2-tief

tionsakkaden auf (bei SD1-hoch treten sogar überhaupt keine Expreßakkaden auf), es dominieren die Antizipationsakkaden.

**Anteil [%]**

Bei den tiefen Frequenzen des SPP treten bei allen drei Fahrten nur wenige Expreß- oder Reak-

<sup>9</sup> Es haben während dieser Fahrt und diesem Frequenzbereich keine Expreßakkaden stattgefunden.

Bei der Bedingung SD2-tief läßt sich weiterhin besonders anschaulich ein Verlauf der Anteile [%] der Antizipationssakkaden an den Antworten auf den Reizwechsel erkennen. Bei der **ersten Messung** werden im niedrigen Frequenzbereich des SPP wie bei **allen drei Versuchsbedingungen** ausschließlich Antizipationssakkaden ausgeführt (der Wert des Anti % Parameters liegt jeweils bei 100%), er wird unter den anderen beiden Versuchsbedingungen nie wieder erreicht, deren Anteil verringert sich unter der Bedingung SD2-tief während der nächsten fünf Messungen nahezu monoton auf unter 50%, um im Laufe der nächsten fünf Messungen – diesmal sogar streng monoton – wieder auf beinahe 100% anzusteigen. Die letzten beiden Messungen dieser Versuchsfahrt dokumentieren dann nur noch einen raschen Abfall der Anteile der Antizipationssakkaden an den Antworten auf den Reizwechsel auf wieder unter 50%. Eine ähnliche Tendenz, jedoch nicht so deutlich ausgeprägt, läßt sich auch bei den anderen beiden Fahrten im niedrigen Frequenzbereich des SPP sehen.

Im hohen Frequenzbereich des SPP erreicht der Anteil der Antizipationssakkaden nur in einigen Fällen den Wert von 50%, meist liegt er darunter. Ein in allen drei Fällen vergleichbarer Verlauf des Parameters läßt sich auf den ersten Blick nicht erkennen.

Insbesondere unter der Soundbedingung SD1-hoch treten im niedrigen Frequenzbereich des SPP bei einigen Messungen keine Expreßsakkaden oder Reaktionssakkaden auf, gleichzeitig liegt der Wert für die Anteile [%] der Antizipationssakkaden, abgesehen von den bereits beschriebenen ersten Messungen, nicht bei 100%. Die verbleibenden Antworten auf die Reizwechsel des SPP müssen also Auslassungen sein (23,5% bei insgesamt sechs Messungen, siehe Tabelle 40).

### Amplitude

Wenn Expreßsakkaden auftreten, liegen ihre Amplituden um 100% der Reizamplitude. Unter der Soundbedingung SD1-hoch nehmen die Amplituden der Expreßsakkaden während der ersten beiden Messungen Werte um 180% der Reizwechselamplitude an. Es muß davon ausgegangen werden, daß dies keine sinnvollen Werte darstellt. Die mit der Amplitude der Sakkaden

verbundenen Schwierigkeiten bezüglich der veränderlichen Sitzposition des Teilnehmers wurden bereits mehrfach angesprochen.

### Geschwindigkeiten

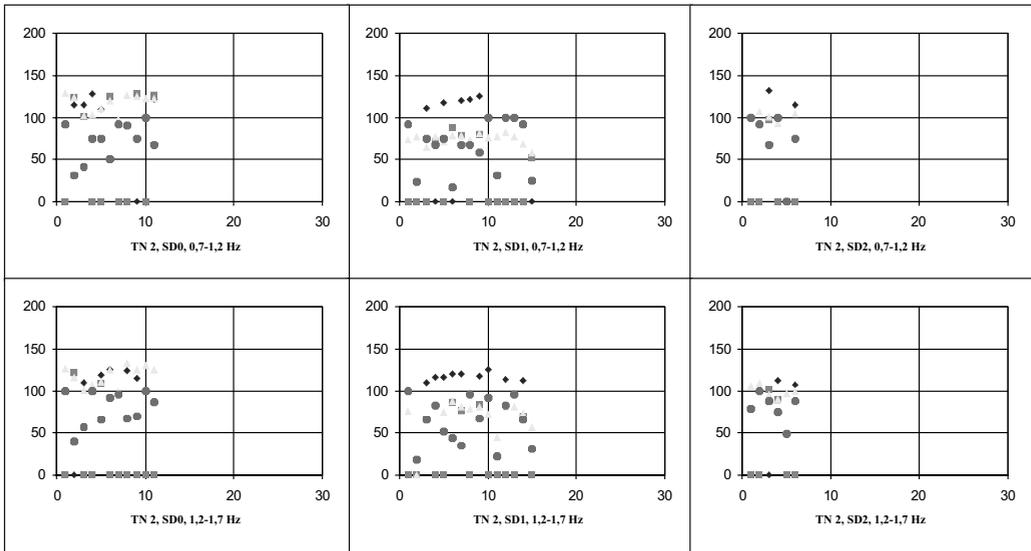
V_Anti	Mean	Std Dev	Cases
TN 1	82,3	22,4	71
SD0	87,3	7,3	22
Frq 1,2Hz	87,1	8,0	11
Frq 1,7Hz	87,4	6,9	11
SD1	58,2	7,0	27
Frq 1,2Hz	57,9	7,0	14
Frq 1,7Hz	58,6	7,2	13
SD2	106,8	12,7	22
Frq 1,2Hz	107,5	11,8	11
Frq 1,7Hz	106,0	14,1	11

Die Geschwindigkeiten der Antizipationssakkaden weisen unter allen drei Soundbedingungen, besonders im hohen Frequenzbereich des SPP, eine deutlich nachlassende Tendenz auf, die sich bei SD2-tief durch einen Anstieg in der zweiten Hälfte der Versuchsfahrt in dieser Deutlichkeit nicht in den Werten der Regressionsanalyse niederschlägt. Die Geschwindigkeiten der Antizipationssakkaden haben sich auf den ersten Blick über die Frequenzgrenze von 1,2Hz hinaus nicht wesentlich geändert (siehe obenstehende Tabelle, unter der Soundbedingung SD0-ohne beträgt die Änderung +0,3°/sec, unter SD1-hoch +0,7°/sec und unter SD2-tief -1,5°/sec), jedoch unterscheiden sie sich erheblich zwischen den drei verschiedenen Fahrten voneinander: Im Mittel liegen sie für SD0-ohne bei 87,3°/sec, bei SD1-hoch liegen sie erheblich tiefer (58,2°/sec) und bei SD2-tief erheblich höher (106,8°/sec).

Im Vergleich mit den anderen Teilnehmern liegt TN 1 mit seiner Antizipationssakkadengeschwindigkeit sehr niedrig (Mittelwert für die Gesamtstichprobe ist 110,9°/sec, bei TN 1 liegt der Mittelwert bei 82,3°/sec).

Im Gleichklang mit den Geschwindigkeiten der Antizipationssakkaden befinden sich die Geschwindigkeiten der Reaktionssakkaden, sie befinden sich in derselben Größenordnung und weisen einen ähnlichen Abfall über die Versuchsdauer auf.

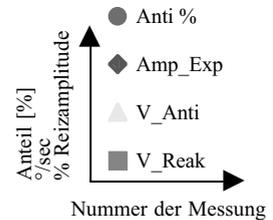
**Teilnehmer 2**



**Abbildung 40:** Zeitlicher Verlauf der SPP-Parameter des TN 2

**Tabelle 35:** Regressionskoeffizienten, Mittelwerte, Standardabweichungen der SPP-Parameter des TN 2

Regression	Anti %	Amp_Exp	V_Anti	V_Reak
SD0, 1,2Hz	0,27	0,42	0,37	0,55
SD0, 1,7Hz	0,23	0,46	0,46	-0,69
SD1, 1,2Hz	0,26	1,7	0,46	0,42
SD1, 1,7Hz	0,20	0,21	-0,18	0,02
SD2, 1,2Hz	0,01	-0,54	0,38	
SD2, 1,7Hz	-0,04	-1,30	0,66	-0,22



Mittelwerte	Anti %		Amp_Exp		V_Anti		V_Reak	
	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev
Entire	50,0	22,9	104,0	17,9	110,9	34,3	113,2	34,5
TN 2	69,7	24,2	117,6	6,1	94,2	21,1	95,8	21,0
SD 0	73,5	21,4	118,5	6,3	116,3	11,4	118,9	10,5
SD 1	64,8	27,4	117,3	4,7	75,7	8,3	77,6	7,4
SD 2	77,2	16,8	116,2	10,5	97,1	4,9	95,8	6,8

**Allgemeines**

Versuchsleiter: Reitter; Reihenfolge der Soundmodifikationen: SD1-hoch, SD2-tief, SD0-ohne

Die Fahrt TN 2, SD2-tief mußte aufgrund eines technischen Defektes bereits kurz vor Rostock vom Versuchsleiter abgebrochen werden. Sie

geht in allen Analysen als erste Hälfte der Versuchsstrecke ein, auf eine zweite Hälfte muß verzichtet werden (siehe auch Kapitel Analysen der Hauptversuchsdaten).

Die Fahrt TN 2, SD0-ohne wurde kurz vor Ende der Versuchsstrecke wegen Ermüdung des Teilnehmers vom Versuchsleiter abgebrochen.

### Anteil [%]

Gegenüber der Gesamtstichprobe fällt bei TN 2 auf, daß der Anteil [%] der Antizipationssakkaden an den Antworten auf den Reizwechsel des SPP erheblich höher ist (69,7% gegenüber 50% bei der Gesamtstichprobe, nur noch TN 4 weist mit 69,2% ähnlich hohe Anteile [%] an Antizipationssakkaden auf), obwohl TN 2 die Möglichkeit, sich vor dem Start einzutakten, offensichtlich nicht ganz so ausgiebig genutzt hat wie andere Teilnehmer, da im niedrigen Frequenzbereich des SPP seltener Messungen bei den Expreßsakkaden oder Reaktionssakkaden den Wert „0“ aufweisen.

Interessant ist in diesem Zusammenhang festzustellen, daß TN 2 eine mit der Versuchsdauer nachlassende Neigung zu Expreßsakkaden hat, besonders deutlich ist dies an den niedrigen Frequenzen des SPP zu sehen, wo es unter den Soundbedingungen SD0-ohne und SD1-hoch in der jeweils zweiten Hälfte so gut wie keine Expreßsakkaden mehr gibt.

### Amplitude

Unter der Bedingung SD2-tief zeigt sich im hohen Frequenzbereich eine auffallend geringe Variation der Amplitude der Expreßsakkaden, was unter Umständen auf ein ruhiges Sitzen und unverändertes Beibehalten einer bestimmten Strategie bei der Bearbeitung des SPP schließen läßt.

### Geschwindigkeiten

V_Anti	Mean	Std Dev	Cases
TN 2	94,2	21,1	52
SD0	116,3	11,4	20
Frq 1,2Hz	115,5	11,0	10
Frq 1,7Hz	117,2	12,3	10
SD1	75,7	8,3	25
Frq 1,2Hz	75,7	5,1	13
Frq 1,7Hz	75,6	11,1	12
SD2	97,1	4,9	7
Frq 1,2Hz	99,3	6,4	3
Frq 1,7Hz	95,5	3,6	4

Bei TN 2 sieht es so aus, daß sich die Mittelwerte der Antizipationssakkadengeschwindigkeiten zwischen den niedrigen und den hohen Frequenzen des SPP nicht sonderlich deutlich voneinander unterscheiden (unter der Soundbedingung

SD0-ohne +1,7°/sec, unter SD1-hoch -0,1°/sec und unter SD2-tief -3,8°/sec, letzterer Wert ist dann doch etwas größer als die anderen, in Anbetracht der vergleichsweise geringen Anzahl, drei beziehungsweise vier Messungen, die in diese Analyse eingehen, sollte dieser Wert nicht überbewertet werden, siehe vorstehende Tabelle), was auch für die einzelnen Messungen gilt. Des weiteren entsprechen sich die Geschwindigkeiten der Antizipationssakkaden und der Reaktionssakkaden über weite Strecken.

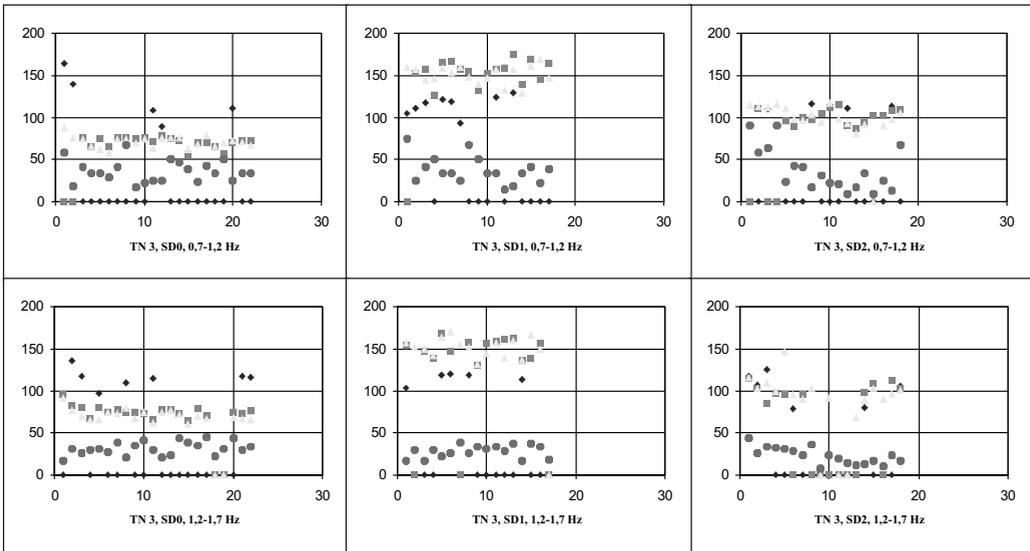
TN 2 überrascht bei seinen Sakkadengeschwindigkeiten insofern, als daß die Ergebnisse der Regressionsanalyse auf einen Anstieg der Sakkadengeschwindigkeiten hinweisen. Hierbei sind die Werte der Reaktionssakkaden nicht ganz so interessant wie bei den Antizipationssakkaden, da TN 2 eher zu Antizipationssakkaden neigt. Unter der Soundbedingung SD2-tief fällt die Sakkadengeschwindigkeit gegen Ende der Messungen ab, so daß im hohen Frequenzbereich des SPP doch noch eine negative Regression auftritt, ansonsten ist dieses Bild der positiven Regressionen über die Versuchsdauer recht einheitlich.

Die Geschwindigkeiten der Antizipationssakkaden unterscheiden sich sehr stark in Abhängigkeit von den Soundmodifikationen.

### Sonstiges

Bei TN 2 fällt noch auf, daß offensichtlich wenige Auslassungen (insgesamt über alle drei Versuchsbedingungen sind es nur 16 Messungen in denen Auslassungen auftreten, siehe Tabelle 40) beim Bearbeiten der Blickbewegungsaufgabe aufzuweisen sind. (Auslassungen im Sinne von Überforderungen und nachfolgendem Abbruch haben ein erneutes Eintakten mittels Reaktionssakkaden zu Folge, die Geschwindigkeit der Reaktionssakkaden liegt jedoch in den niedrigen wie auch in den hohen Frequenzen des SPP sehr häufig bei „0“.)

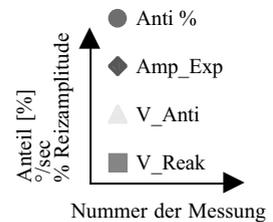
**Teilnehmer 3**



**Abbildung 41:** Zeitlicher Verlauf der SPP-Parameter des TN 3

**Tabelle 36:** Regressionskoeffizienten, Mittelwerte, Standardabweichungen der SPP-Parameter des TN 3

Regression	Anti %	Amp_Exp	V_Anti	V_Reak
SD0, 1,2Hz	0,18	-0,09	-0,20	-0,29
SD0, 1,7Hz	0,30	0,44	-0,21	-0,05
SD1, 1,2Hz	-0,25	0,39	-0,00	0,18
SD1, 1,7Hz	0,16	-3,80	-0,06	0,03
SD2, 1,2Hz	-0,28	2,64	-0,73	0,16
SD2, 1,7Hz	-1,01	-0,31	-0,36	1,43



Mittelwerte	Anti %		Amp_Exp		V_Anti		V_Reak	
	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev
Entire	50,0	22,9	104,0	17,9	110,9	34,3	113,2	34,5
TN 3	31,8	12,7	113,0	11,4	102,9	31,2	103,5	31,0
SD 0	33,5	9,5	114,4	8,9	83,5	17,1	84,6	15,4
SD 1	31,8	11,0	116,7	9,3	150,8	10,9	152,7	12,7
SD 2	27,9	18,5	105,2	15,8	100,3	13,7	100,7	8,6

**Allgemeines**

Versuchsleiter: Janßen; Reihenfolge der Soundmodifikationen: SD2-tief, SD0-ohne, SD1-hoch

TN 3 ist bei der Fahrt SD1-hoch kurz vor Ende der Autobahn (kurz nach der letzten Messung) von der Spur abgekommen und beinahe in einen Graben gefahren.

**Anteil [%]**

TN 3 macht weniger Antizipationssakkaden (31,8%) als das Mittel der Gesamtstichprobe (50%), dies fällt jedoch gar nicht als erstes auf, es ist vielmehr, daß TN 3 die Strategie, die von anderen Teilnehmern verfolgt wurde, nämlich sich einzutakten, bevor der Springende Punkt

gestartet wird, bei allen drei Fahrten nur für die jeweils ersten Messungen angewendet wurde. Ansonsten zeigt er bei den anderen Messungen immer Reaktionssakkaden in den niedrigen Frequenzbereichen des SPP; oder anders ausgedrückt, TN 3 hat in keinem Fall ausschließlich Antizipationsakkaden durchgeführt. Eine Überforderung, wie sie bei anderen Teilnehmern für die Reizwechsel im hohen Frequenzbereich des SPP postuliert werden kann, läßt sich hier auch nicht mit Sicherheit für den niedrigen Frequenzbereich des SPP ausschließen, da TN 3 wie die anderen Teilnehmer ja auch während der hohen Frequenzen des SPP sehr häufig Reaktionssakkaden ausführte.

Bemerkenswert ist ferner, daß in den hohen Frequenzbereichen der Soundbedingungen SD0-ohne und SD1-hoch über die Zeit ein leichtes Ansteigen der Anteile [%] der Antizipationsakkaden festzustellen ist (Regressionskoeffizienten 0,30 für SD0-ohne und 0,16 für SD1-hoch) und unter der Soundbedingung SD2-tief ein starker gegenteiliger Trend zu beobachten ist (Regressionskoeffizient  $-1,01$ ).

Eine Überraschung bergen die Ergebnisse der Soundbedingung SD2-tief, bei denen TN 3 bei den Messungen um die Mitte der Versuchsstrecke herum auf einmal kaum noch Reaktionssakkaden im hohen Frequenzbereich des SPP aufweist und gleichzeitig keine Expreßsakkaden ausgeführt hat, dabei liegt aber der Anteil [%] der Antizipationsakkaden nur um die 20%. Dies ist ein Ergebnis, das etwas seltsam anmutet, so liegt der Schluß nahe, daß TN 4 mehrere Messungen hintereinander recht früh abgebrochen und keine Versuche unternommen hat, sich wieder einzutakten.

Bei den Messungen unter der Soundbedingung SD2-tief läßt sich noch etwas anderes beobachten: Im Gegensatz zu den beiden anderen Fahrten gibt es hier eine abnehmende Tendenz in den Anteilen [%] der Antizipationsakkaden, dies sowohl bei den niedrigen als auch bei den hohen Frequenzen des SPP. Bei den hohen Frequenzen des SPP ist dieser Trend besonders gut zu beobachten.

Auch wenn in den oben vorliegenden Daten nichts direkt darauf hinweist, so hat doch TN 3 mit 135 Messungen die Auslassungen enthalten (siehe Tabelle 40) unangefochten die Spitzenposition innerhalb der Gesamtstichprobe bezüglich dieses Parameters eingenommen.

## Amplitude

Die Amplituden der Expreßsakkaden zeigen kein einheitliches Bild, sie liegen im Durchschnitt ( $113^\circ$ ) etwas höher als bei der Gesamtstichprobe ( $104^\circ$ ). Das wenig einheitliche Bild setzt sich auch bei der Betrachtung der Unterschiede zwischen den Frequenzbereichen des SPP fort (siehe auch nachstehende Tabelle).

Amp_Exp	Mean	Std Dev	Cases
Entire	113,0	11,4	41
SD0	114,4	8,9	21
Frq 1,2Hz	111,7	10,9	7
Frq 1,7Hz	115,7	7,8	14
SD1	116,7	9,3	11
Frq 1,2Hz	116,2	11,8	7
Frq 1,7Hz	117,6	2,7	4
SD2	105,2	15,8	9
Frq 1,2Hz	112,5	2,7	4
Frq 1,7Hz	99,4	19,9	5

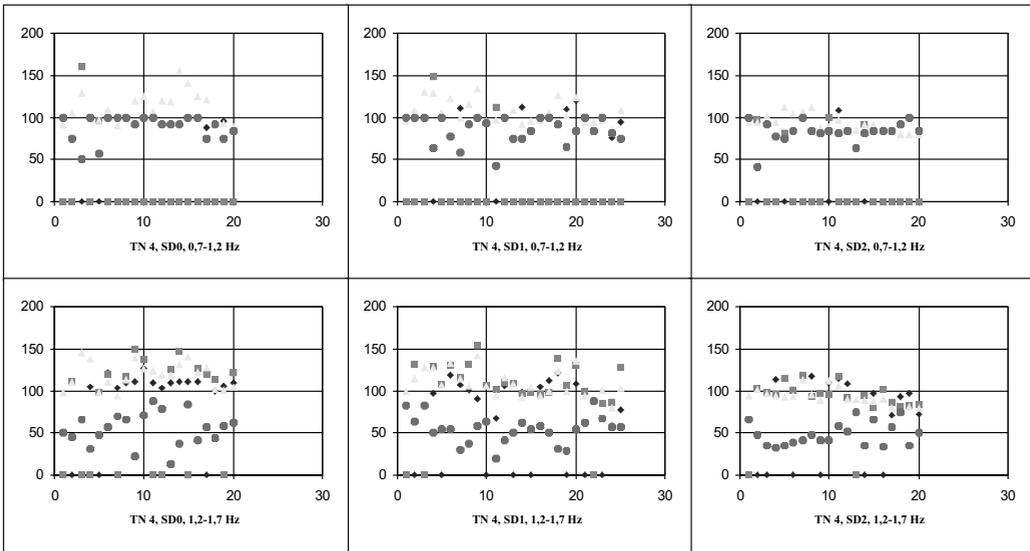
## Geschwindigkeiten

Die Geschwindigkeiten der Reaktionssakkaden verändern sich jeweils über die Zeitverläufe aller drei Messungen und beider Frequenzbereiche des SPP nicht sehr stark, jedoch ist eine leichte Tendenz zu beobachten, einerseits bei der Soundbedingung SD0-ohne über die Versuchsdauer nachzulassen und andererseits bei den anderen beiden Versuchsbedingungen wellenförmig anzusteigen.

Die Geschwindigkeiten der Antizipationsakkaden weisen gegenüber den Geschwindigkeiten der Reaktionssakkaden eine etwas höhere Streuung auf; die für die Geschwindigkeiten der Reaktionssakkaden beschriebenen Muster lassen sich hier nicht so leicht erkennen.

Das Auffälligste ist jedoch, daß sich die Geschwindigkeiten zwischen den drei verschiedenen Soundbedingungen, wie auch schon bei den anderen beiden Teilnehmern beobachtet, dramatisch unterscheiden, wogegen sich die Geschwindigkeitsunterschiede zwischen Antizipationsakkaden und Reaktionssakkaden eher bescheiden ausnehmen.

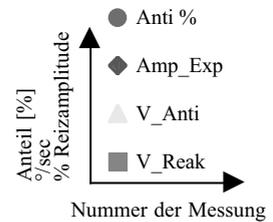
**Teilnehmer 4**



**Abbildung 42:** Zeitlicher Verlauf der SPP-Parameter des TN 4

**Tabelle 37:** Regressionskoeffizienten, Mittelwerte, Standardabweichungen der SPP-Parameter des TN 4

Regression	Anti %	Amp_Exp	V_Anti	V_Reak
SD0, 1,2Hz	0,17	1,05	0,05	-0,06
SD0, 1,7Hz	0,04	-0,49	-0,15	0,26
SD1, 1,2Hz	0,08	-0,58	-0,52	-0,50
SD1, 1,7Hz	0,12	-0,29	-0,52	-0,30
SD2, 1,2Hz	0,07		-1,21	-1,58
SD2, 1,7Hz	0,16	-0,82	-1,01	-0,81



Mittelwerte	Anti %		Amp_Exp		V_Anti		V_Reak	
	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev
Entire	50,0	22,9	104,0	17,9	110,9	34,3	113,2	34,5
TN 4	69,2	22,7	102,6	15,1	106,3	17,7	111,0	20,4
SD 0	71,3	24,5	107,6	9,0	116,0	17,1	124,5	18,7
SD 1	68,4	22,7	99,5	17,9	107,8	15,2	113,7	18,9
SD 2	67,5	20,8	100,5	16,3	90,7	10,6	94,2	11,7

**Allgemeines**

Versuchsleiter: Reitter; Reihenfolge der Soundmodifikationen: SD2-tief, SD1-hoch, SD0-ohne

Die Fahrt TN 4, SD0-ohne wurde kurz vor Ende wegen Ermüdung abgebrochen.

Die Fahrt TN 4, SD2-tief wurde kurz vor Ende in einem längeren Stau abgebrochen.

**Anteil [%]**

Im niedrigen Frequenzbereich des SPP werden von TN 4 häufig ausschließlich (100%) Antizipationssakkaden ausgeführt. Dies trifft insbesondere auf SD0-ohne und SD1-hoch zu. Bei SD2-tief tritt ein anderes Phänomen auf: Wenn der Anteil [%] der Antizipationssakkaden nicht bei

100% liegt, liegt er in den meisten Fällen bei ~ 80%. Auffallend ist hier, daß bei sehr wenigen Expreßsakkaden so gut wie keine Reaktionssakkaden auftreten (bei SD0-ohne und SD1-hoch je zwei Messungen mit Reaktionssakkaden, bei SD2-tief vier). Folglich muß es bereits im niedrigen Frequenzbereich des SPP zu einer gewissen Anzahl an Auslassungen gekommen sein. (Bei SD0-ohne und SD2-tief kam es einmalig zu einigen wenigen, (14,3% und 18,2%), bei SD1-hoch jedoch zu drei Auslassungen, wobei diese auch keinen sehr hohen Anteil aufweisen (19,4%), es zeigt sich, daß TN 4 während der hohen Frequenzbereiche des SPP neunmal mehr Auslassungen durchführte als im niedrigen Frequenzbereich, siehe Tabelle 40.)

Im hohen Frequenzbereich des SPP sinkt der Anteil der Antizipationssakkaden auf etwas über 50% (siehe folgende Tabelle, im niedrigen Frequenzbereich des SPP liegt der Anteil bei deutlich über 80%), wodurch dennoch ein Mittelwert für den Gesamtversuch deutlich über dem der Gesamtstichprobe erreicht wird (Mittelwert der Anteile [%] der Antizipationssakkaden für die Gesamtstichprobe ist 50%, für TN 4 liegt er bei 69,2%). Im hohen Frequenzbereich des SPP treten insbesondere unter der Versuchsbedingung SD0-ohne vermehrt Expreßsakkaden auf.

Bemerkenswert scheint des weiteren der zeitliche Verlauf des Anteils [%] der Antizipationssakkaden im hohen Frequenzbereich des SPP bei SD2-tief. Für die ersten vier Messungen ist ein kontinuierlicher Abfall der Anteile [%] von zirka 70% auf zirka 30% zu beobachten, der nach weiteren vier Messungen auf knapp 50% wieder ansteigt. Anschließend schwanken die Anteile [%] mit einer abnehmenden Tendenz stark alternierend, der Regressionskoeffizient spiegelt solche Verläufe nicht wider. Ein ver-

gleichbarer Verlauf ist bei den anderen Soundbedingungen nicht zu beobachten.

### Amplitude

Für SD2-tief liegen im niedrigen Frequenzbereich des SPP keine Regressionswerte vor, da nur eine Messung Expreßsakkaden aufweist.

In den hohen Frequenzbereichen des SPP bei SD0-ohne zeigt sich eine auffallend geringe Variation (9,0°) in den Amplituden der Expreßsakkaden, die in 15 von 20 Messungen aufgetreten sind. Unter den anderen Soundbedingungen liegt die Varianz fast doppelt so hoch (17,9° für SD1-hoch, 16,3° für SD2-tief). Da sich der „Ursprung“ der Größe der Amplituden nicht klären läßt, ist eine Analyse dieser Ergebnisse nicht sehr tiefschürfend, der Schluß, daß TN 4 während SD0-ohne besonders ruhig auf seinem Platz saß und hierbei immer dieselbe Strategie zur Beantwortung des SPP angewendet hat, scheint allerdings naheliegend und zulässig.

### Geschwindigkeiten

Dank der geringen Anzahl an Reaktionssakkaden in den niedrigen Frequenzbereichen des SPP sind die Regressionsparameter der Reaktionsgeschwindigkeiten nicht sehr aussagekräftig.

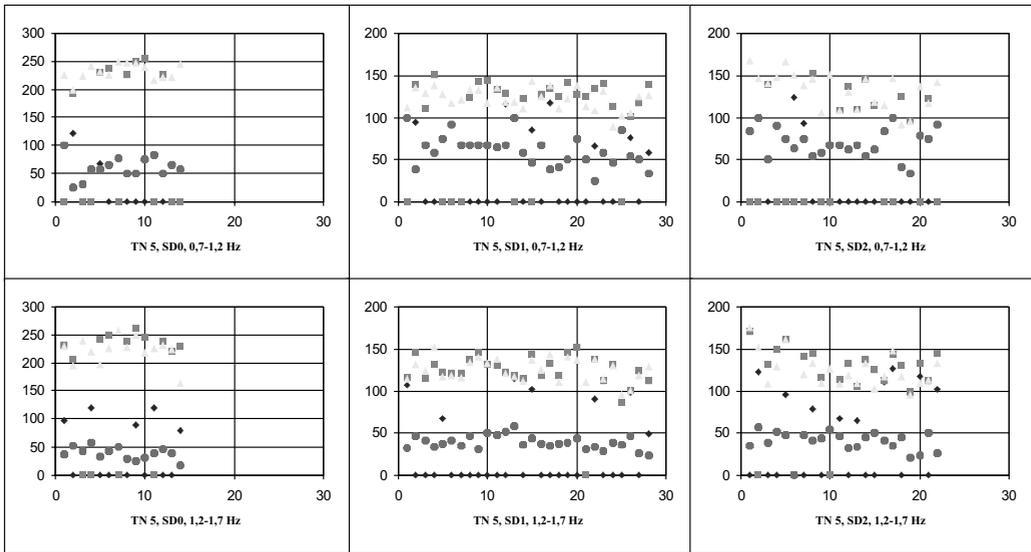
Für die Antizipationsgeschwindigkeiten sieht dies jedoch völlig anders aus: Hier läßt sich über die drei Soundbedingungen ein immer stärkerer Abfall in den Regressionsparametern feststellen (bei SD0-ohne liegt ein linearer Regressionsparameter von -0,15 vor, bei SD1-hoch von -0,52 und bei SD2-tief von -1,21). Dieser Verlauf findet seine Entsprechung im hohen Frequenzbereich des SPP.

Im hohen Frequenzbereich des SPP ist ein ähnlicher Verlauf auch für die Ergebnisse der Reaktionssakkaden zu sehen, wobei hier bei SD0-ohne sogar noch ein positiver Regressionskoeffizient zu beobachten ist (0,26), der dann bei SD1-hoch auf -0,30 und bei SD2-tief auf -0,81 abfällt.

Bei TN 4 treten somit größere Unterschiede in den Geschwindigkeiten zwischen den Antizipationssakkaden und den Reaktionssakkaden auf. Ein solches Verhalten ist bei den anderen Teilnehmern nicht zu beobachten. Des weiteren verhalten sich die Werte beider Geschwindigkeiten nicht wie bei den anderen Teilnehmern synchron zueinander.

Anti %	Mean	Std Dev	Cases
TN 4	69,2	22,7	112
SD0	71,3	24,5	38
Frq 1,2Hz	88,1	15,2	19
Frq 1,7Hz	54,5	20,2	19
SD1	68,4	22,7	46
Frq 1,2Hz	84,3	16,1	23
Frq 1,7Hz	52,6	16,3	23
SD2	67,5	20,8	28
Frq 1,2Hz	84,6	8,8	14
Frq 1,7Hz	50,5	14,1	14

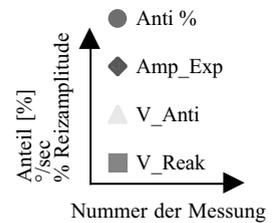
**Teilnehmer 5**



**Abbildung 43:** Zeitlicher Verlauf der SPP-Parameter des TN 5

**Tabelle 38:** Regressionskoeffizienten, Mittelwerte, Standardabweichungen der SPP-Parameter des TN 5

Regression	Anti %	Amp_Exp	V_Anti	V_Reak
SD0, 1,2Hz	0,29	-0,11	0,12	0,27
SD0, 1,7Hz	-0,51	-0,36	-0,08	0,06
SD1, 1,2Hz	-0,29	-0,48	-0,47	-0,37
SD1, 1,7Hz	-0,76	-0,20	-0,33	-0,31
SD2, 1,2Hz	0,07	-0,07	-0,31	-0,35
SD2, 1,7Hz	-0,69	0,29	-0,20	-0,36



Mittelwerte	Anti %		Amp_Exp		V_Anti		V_Reak	
	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev
Entire	50,0	22,9	104,0	17,9	110,9	34,3	113,2	34,5
TN 5	50,7	17,8	93,5	22,3	147,2	45,7	146,5	43,6
SD 0	48,3	17,2	99,7	23,8	227,1	20,6	234,4	17,4
SD 1	49,3	17,0	87,2	22,7	124,2	13,2	127,6	13,9
SD 2	54,4	19,2	97,6	21,3	125,7	19,1	127,9	17,1

**Allgemeines**

Versuchsleiter: Janßen; Reihenfolge der Soundmodifikationen: SD1-hoch, SD0-ohne, SD2-tief

Der Teilnehmer TN 5 hatte bei der zweiten Fahrt (SD0-ohne) erhebliche Schwierigkeiten, sich an die Anweisungen bezüglich der vorgegebenen Höchstgeschwindigkeit zu halten. Die Höchstge-

schwindigkeit lag teilweise um bis zu 40 km/h über der vorgegebenen von 120km/h, entsprechend kurz war die Versuchsdauer. Anschließend die Vereinbarungen etwas strenger zu beachten, haben bei der letzten Fahrt wieder zu der gewünscht längeren Versuchsdauer geführt.

### Anteil [%]

Der Anteil [%] der Antizipationssakkaden an den Antworten auf den Reizwechsel des SPP liegt in der Größenordnung des Mittelwertes der Gesamtstichprobe. Auffallend ist jedoch, daß TN 5 während der drei Versuchsbedingungen nur bei insgesamt sechs Messungen (bezogen jeweils auf die niedrigen Frequenzanteile des SPP) ausschließlich (100%) Antizipationssakkaden ausgeführt hat. Auffallend ist des Weiteren, daß ihr Anteil [%] an den Antworten auf den Reizwechsel recht geringen Variationen unterworfen ist, bei SD1-hoch und SD2-tief läßt sich im niedrigen Frequenzbereich des SPP auch eine deutlich abnehmende Tendenz herauslesen, die im hohen Frequenzbereich jedoch keine Entsprechung aufweist. Der Anteil [%] der Antizipationssakkaden nimmt über den Frequenzbereichswechsel des SPP deutlich ab.

Expresßsakkaden werden nur selten ausgeführt.

Reaktionssakkaden werden dagegen auch im niedrigen Frequenzbereich sehr häufig benutzt, so daß es durchaus möglich ist, daß TN 5 nicht den Zeitraum vor dem Starten des SPP zum Eintakten genutzt hat, sondern die ersten Reizwechsel dafür benutzte.

Bei einigen Messungen muß jedoch auch von einem gewissen Anteil [%] an Auslassungen ausgegangen werden (im niedrigen Frequenzbereich des SPP ist mit 20,1% zu rechnen, im hohen mit 35,7%, siehe Tabelle 40), da der Anteil [%] an Antizipationssakkaden in einigen Fällen deutlich unter 100% liegt, Reaktionssakkaden oder Expresßsakkaden jedoch nicht ausgeführt wurden.

### Amplitude

Bei den Amplituden der Expresßsakkaden fällt auf, daß sie im Mittel bei allen drei Soundbedingungen unter 100% des Reizwechsels liegen, was bei den anderen vier Teilnehmern in dieser Form nicht der Fall war.

Eine Besonderheit stellen in diesem Zusammenhang die Ergebnisse des hohen Frequenzbereiches des SPP der Messungen bei SD2-tief dar. Dort ist ein über fünf Stützpunkte gehender deutlicher Abfall der Amplitude der Expresßsakkaden zu sehen, der sich anschließend in ähnlicher Form noch einmal über drei Stützpunkte erstreckend wiederholt. Eine solche Beobachtung läßt sich bei den anderen Soundbedingungen oder dem Frequenzbereich des SPP nur mit sehr viel

Phantasie durchführen. An dieser Stelle sollte nochmals auf die bereits genannten Schwierigkeiten bei der Interpretation dieses Parameters hingewiesen werden.

### Geschwindigkeiten

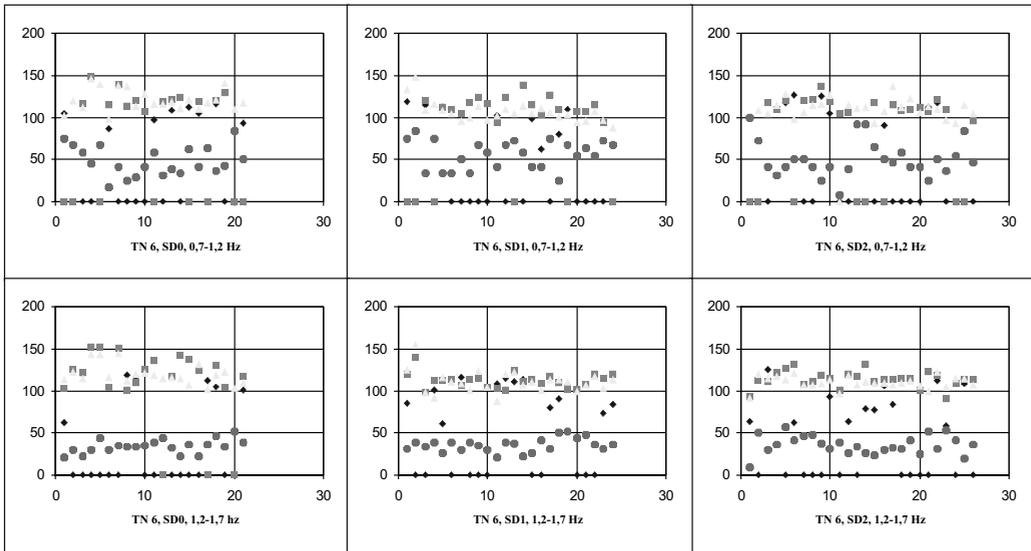
Das Auffälligste an den Sakkadengeschwindigkeiten findet sich in den Messungen unter Soundbedingung SD0-ohne. Hier wurden Geschwindigkeiten für die Antizipations- sowie für die Reaktionssakkaden von bis weit über 200°/sec gemessen. Dies ist ein Wertebereich, in den kein anderer Teilnehmer vorgestoßen ist. Auch bei den anderen Soundbedingungen liegt TN 5 mit Geschwindigkeiten zwischen 124,2°/sec und 127,9°/sec mehr als 10% über den Sakkadengeschwindigkeiten der Gesamtstichprobe. Die Sakkadengeschwindigkeiten bei SD1-hoch und SD2-tief zeichnen sich durch eine vergleichsweise hohe Varianz aus. Es ist insbesondere bei den hohen Frequenzen des SPP bei SD1-hoch eine wellenförmige Änderung der Sakkadengeschwindigkeiten zu beobachten.

### Sonstiges

Es liegt nahe, die extrem hohen Sakkadengeschwindigkeiten bei SD0-ohne, wenn nicht mit im Nachhinein nicht mehr nachvollziehbaren Meßfehlern, so doch mit der erheblich höheren Geschwindigkeit, mit der TN 5 während dieser Versuchsfahrt gefahren ist, in Zusammenhang zu bringen. Inhaltlich läßt sich dieser Zusammenhang auch gut belegen, führt doch die erheblich höhere Belastung beim schnelleren Autofahren zu einer höheren Erregung/Aktivierung<sup>10</sup>, die sich unter anderem auch auf die Sakkadengeschwindigkeiten niederschlägt. Andererseits ist Frage nach Meßfehlern auch nicht mit letzlicher Gewißheit auszuschließen (eine Überprüfung dieser Datensätze brachte kein Licht in diese Fragestellung), so daß allein die Vermutung von Fehlern diese Daten stark belastet. Somit muß diese Meßreihe als nicht auswertbarer Ausreißer angesehen werden, insbesondere da die Belastungsänderung aufgrund der hohen Fahrgeschwindigkeit die Modifikationen des Sounds vollständig überlagert und sich Aussagen im Sinne der Aufgabenstellung nicht mehr ableiten lassen.

<sup>10</sup> Die Strategie, die Geschwindigkeit während Autobahnfahrten zu erhöhen, um Ermüdungserscheinungen vorzubeugen, ist seit längerem bekannt (Berger et al., 1973, Utzelmann, 1976).

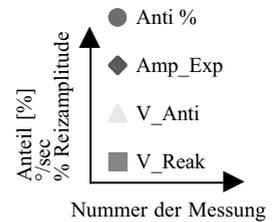
**Teilnehmer 6**



**Abbildung 44:** Zeitlicher Verlauf der SPP-Parameter des TN 6

**Tabelle 39:** Regressionskoeffizienten, Mittelwerte, Standardabweichungen der SPP-Parameter des TN 6

Regression	Anti %	Amp_Exp	V_Anti	V_Reak
SD0, 1,2Hz	0,38	0,69	-0,29	0,29
SD0, 1,7Hz	0,41	-2,35	-0,77	-0,16
SD1, 1,2Hz	0,22	-0,52	-0,92	-0,33
SD1, 1,7Hz	0,54	-0,18	-0,18	-0,15
SD2, 1,2Hz	0,10	-0,39	-0,28	-0,84
SD2, 1,7Hz	-0,45	-0,11	-0,64	-0,54



Mittelwerte	Anti %		Amp_Exp		V_Anti		V_Reak	
	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev
Entire	50,0	22,9	104,0	17,9	110,9	34,3	113,2	34,5
TN 6	43,0	15,9	100,1	18,6	112,2	11,9	115,5	11,4
SD 0	40,3	13,9	105,8	10,2	119,7	11,9	123,1	13,9
SD 1	45,4	16,3	96,9	18,2	107,9	12,6	112,3	9,91
SD 2	42,7	16,8	99,7	22,4	111,0	8,7	114,2	9,1

**Allgemeines**

Versuchsleiter: Reitter; Reihenfolge der Soundmodifikationen: SD0-ohne, SD2-tief, SD1-hoch Die Fahrt TN 6, SD0-ohne wurde kurz vor Ende wegen Ermüdung abgebrochen.

**Anteil [%]**

Der Anteil [%] der Antizipationsakkaden an den Antworten auf den Reizwechsel des SPP ist

unter allen drei Soundbedingungen deutlich niedriger als bei der Gesamtstichprobe. In den hohen Frequenzen des SPP erreicht deren Anteil [%] nicht einmal 40% (siehe untenstehende Tabelle), im niedrigen liegt der Wert nur bei SD1-hoch über 50% (55,1%) in den meisten Fällen liegt er deutlich darunter.

Diese Beobachtung geht mit der weiteren einher, daß fast immer während der einzelnen Messungen auch Reaktionsakkaden und gelegentlich auch Expreßakkaden durchgeführt wurden.

Direkte Hinweise auf Auslassungen sind nicht zu erkennen. Die Anwesenheit von Reaktionsakkaden bei fast allen Messungen in den hohen Frequenzbereichen des SPP (unter SD0-ohne gibt es nur drei Messungen, in denen keine Reaktionsakkaden auftraten) legt die Vermutung nahe, daß doch Auslassungen aufgetreten sind (mit 101 Auslassungen hat TN 6 sehr viele Auslassungen, siehe Tabelle 40).

Bei dem Anteil [%] der Antizipationsakkaden ist insbesondere bei den hohen Frequenzen des SPP ein wellenförmiger Verlauf bei allen Soundbedingungen zu beobachten: Bei SD0-ohne steigt deren Anteil [%] bis zur zwölften Messung bis fast 50% an, fällt dann auf um 25%, um anschließend wieder anzusteigen. Ähnlich verhält sich bei SD1-hoch, dort schwankt der Anteil [%] der Antizipationsakkaden während der ersten acht Messungen um zirka 40%, fällt auf unter 30% ab, zeigt zwei vergleichsweise hohe Werte über 40% und startet dann seinen Anstieg wieder von unter 30% bis auf über 50%. Den Abschluß bilden drei Messungen mit fallender Tendenz. Bei SD2-tief ist während der ersten acht Messungen ein Anstieg auf zirka 50% zu beobachten, um danach für zehn Messungen auf 30% zu fallen, anschließend schwanken die Werte stark.

### Amplitude

Die Amplituden der Expreßakkaden liegen im Mittel etwas unter denen der Gesamtstichprobe, die Variationen innerhalb der einzelnen Messungen sind dennoch recht hoch.

Anti %	Mean	Std Dev	Cases
TN 6	43,0	15,9	130
SD0	40,3	13,9	34
Frq 1,2Hz	44,7	17,2	17
Frq 1,7Hz	35,9	7,8	17
SD1	45,4	16,3	46
Frq 1,2Hz	55,1	16,8	23
Frq 1,7Hz	35,8	8,3	23
SD2	42,7	16,8	50
Frq 1,2Hz	48,8	19,9	25
Frq 1,7Hz	36,5	10,1	25

### Geschwindigkeiten

Die Sakkadengeschwindigkeiten der Antizipationsakkaden und der Reaktionsakkaden sind ähnlich der Gesamtstichprobe (siehe untenstehende Tabelle, V\_Anti 110,9°/sec, V\_Reak 113,2°/sec), sie liegen hier jedoch etwas höher (V\_Anti 112,2°/sec, V\_Reak 115,5°/sec).

Bei den hohen Frequenzen des SPP bei SD1-hoch und SD2-tief unterscheiden sich die Geschwindigkeiten der Antizipationsakkaden (SD1-hoch 110,2°/sec, SD2-tief 111,0°/sec) kaum von denen der Reaktionsakkaden (SD1-hoch 111,6°/sec, SD2-tief 114,4°/sec). Bei SD0-ohne ist diese Übereinstimmung nicht so deutlich zu sehen (V\_Anti 118,7°/sec, V\_Reak 124,9°/sec).

Die Messungen unter SD0-ohne zeigen einen unruhigen Verlauf der Sakkadengeschwindigkeiten, insbesondere bei den Reaktionsakkaden. Im hohen Frequenzbereich ist besonders für die Reaktionsakkaden auch ein zweifaches Ansteigen und Abfallen zu beobachten, die jeweils ihren Tiefstwert bei 100°/sec und ihr Maximum bei zirka 150°/sec hat.

	V_Anti			V_Reak		
	Mean	Std Dev	Cases	Mean	Std Dev	Cases
TN 6	112,2	11,9	129	115,5	11,4	109
SD0	119,7	11,9	34	123,1	13,9	25
Frq 1,2Hz	120,7	12,1	17	120,7	8,4	11
Frq 1,7Hz	118,7	11,9	17	124,9	17,1	14
SD1	107,9	12,6	46	112,3	9,9	41
Frq 1,2Hz	105,6	11,6	23	113,1	11,2	18
Frq 1,7Hz	110,2	13,3	23	111,6	9,0	23
SD2	111,0	8,7	49	114,2	9,1	43
Frq 1,2Hz	111,1	10,7	24	113,9	9,2	18
Frq 1,7Hz	111,0	6,4	25	114,4	9,2	25

## A5 Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse des Springenden Punktes

Die folgende zusammenfassende Darstellung orientiert sich in ihrem Aufbau streng an den vorangegangenen Ergebnisdarstellungen des zeitlichen Verlaufs der Parameter des SPP der einzelnen Versuchsteilnehmer (mit der Unterscheidung in Anteil [%], Amplitude, Geschwindigkeit, Zeitpunkt und Sonstiges unterteilt nach den verschiedenen Sakkadenarten), sie berücksichtigt aber darüber hinaus selbstverständlich alle bisher erarbeiteten Ergebnisse des Springenden Punktes.

### A5.1 Anteil [%]

Die Anteile [%] der verschiedenen Sakkadenarten korrelieren häufig bei den verschiedensten Analysen hoch miteinander, auch werden sie häufig im Rahmen der Diskriminanzanalysen zu einer Gruppe zusammengefaßt.

Die verschiedenen Sakkadenarten werden von unterschiedlich corticalen Zentren ausgelöst, gesteuert oder überwacht, doch autark sind diese Bereiche auch nicht, so daß es nicht überrascht, daß es Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Sakkadenarten gibt. Dies ermöglicht andererseits aber auch, **einen** Parameter hervorzuheben, um ihn besonders zu beobachten. Als besonders geeignet haben sich hier in verschiedenen Analyseschritten die Anteile [%] der Antizipationssakkaden (Anti %) herauskristallisiert, da sie den größten Anteil ausmachen.

### Antizipationssakkaden

Der Anteil [%] der Antizipationssakkaden an den Antworten auf den Reizwechsel des SPP variiert stark: Im arithmetischen Mittel der Gesamtstichprobe werden genau zur Hälfte Antizipationssakkaden durchgeführt. Es lassen sich dennoch auch einige bemerkenswerte Regelmäßigkeiten festhalten:

- Anti % ist im niedrigen Frequenzbereich des SPP in der Regel niedriger als im hohen, eine Ausnahme bildet häufig die Soundbedingung SD2-tief.
- Es gibt kein eindeutig einheitliches Verhalten der Teilnehmer über die zeitlichen oder soundbedingten Veränderungen der Anti %, weder interindividuell noch intraindividuell, jedoch einige sehr bemerkenswerte Einzelver-

läufe, die auf ein der Situation angepaßtes spezielles und individuelles Verhalten hindeuten.

- Anti % korreliert mit fast allen Parametern der TLX- oder EZ34-Fragebögen, ebenso mit der Befragung mittel Proteus und unterstreicht so seine hervorragende Rolle für die Beurteilung von Beanspruchung und Monotonie (die Parameter der Befragung mittels Proteus bilden dabei eine kleine Ausnahme, denn mit Gelangweilt, Interessiert oder Schläfrig korreliert mit Anti % so gut wie gar nicht).

### Expreßsakkaden

Expreßsakkaden treten während der Versuche in unterschiedlicher Häufigkeit auf, in der Regel etwas häufiger im hohen Frequenzbereich des SPP als im niedrigen.

Muster, wie sie die postulierte individuelle Nutzung von Reaktionssakkaden nahelegt, konnten mit den durchgeführten Analysen nicht nachgewiesen werden, deren Fehlen jedoch auch nicht.

Expreßsakkaden spielen mit einem Anteil [%] von 12 % an allen Antworten auf den Reizwechsel des SPP bei der Gesamtstichprobe eine eher untergeordnete Rolle im Antwortverhalten auf den Springenden Punkt.

### Reaktionssakkaden

Die bereits zitierten Laborversuche lassen ein Eintakten bei niedrigen Frequenzen des Springenden Punktes erwarten. Diese Erwartung wurde in den seltensten Fällen erfüllt, da der Springende Punkt während der gesamten Versuchsdauer mit einer Grundfrequenz von 0,7 Hz schwingt, die vor dem Start der eigentlichen Blickbewegungsaufgabe bereits von den Teilnehmern genutzt wird, um sich einzutakten.

Das häufige Auftreten von Reaktionssakkaden im hohen Frequenzbereich des SPP läßt auf Auslassungen (siehe nächsten Absatz) schließen. Die Anteile [%] der Reaktionssakkaden sind nach den Schritten zur Reduktion der Parameterliste nicht von tragender Bedeutung.

### Auslassungen

Da die Auslassungen als mögliche Antworten auf den Reizwechsel des Springenden Punktes nicht die notwendigen Kriterien erfüllten, um in die Liste der reduzierten Parameter aufgenommen zu werden, wurden sie auch noch nicht

weiter untersucht (ein Grund war unter anderem, daß Auslassungen als solche keine Sakkaden oder allgemeine Blickbewegungen darstellen und folglich nicht in der Form geeignet sind, die verschiedenen Sakkadenarten als andere Formen der Antwort zu repräsentieren, unabhängig davon, daß eine andere Sakkadenart in den meisten Analysen bessere Ergebnisse erzielte). In der bisherigen Darstellung der Ergebnisse wurde jedoch schon einige Male auf untenstehende Tabelle 40 verwiesen, um Unstimmigkeiten oder Schwierigkeiten bei den Ergebnissen zu klären. Tabelle 40 ist somit eine nachträgliche Gesamtübersicht über die Auslassungen während des Springenden Punktes.

Der erste Absatz der dreigeteilten Tabelle gibt den Mittelwert, die Standardabweichung und die Anzahl der Messungen (Cases), in denen es zu Auslassungen gekommen ist, für die Gesamtstichprobe wieder. Dem folgen zwei gleichstrukturierte Absätze, der erste für die ersten drei, der zweite für die verbleibenden Teilneh-

mer. Die erste Zeile enthält jeweils oben genannte Werte für die einzelnen Teilnehmer. Diese werden anschließend in zwei Stufen aufgeschlüsselt, als erste in die beiden Frequenzbereiche (0,7–1,2 Hz und 1,2–1,7 Hz), danach in die drei Soundbedingungen (SD0-ohne, SD1-hoch und SD2-tief).

**Achtung:** In die Mittelwerts- und Standardabweichungsberechnung fließen **nur** die Messungen (Bearbeitungen des SPP) ein (Cases), in denen während der Versuchsfahrten überhaupt Auslassungen stattgefunden haben. Alle anderen Messungen werden hier als „Missing Value“ betrachtet (siehe auch die Fußnote 8 auf Seite 103, die sich schon einmal mit dem Thema der „Missing Values“ befaßt) und ignoriert (leere Zellen in den Tabellen). Das heißt, daß nicht im arithmetischen Mittel aller Messungen 31,5% Auslassungen auftraten, sondern das in den Fällen, in denen Auslassungen auftraten, 31,5% aller Reizwechsel mit einer Auslassung beantwortet wurden.

**Tabelle 40:** Mittelwerte der Auslassungsanteile [%] aller Teilnehmer während des SPP

	Mean	Std Dev	Cases						
Entire Pop	31,5	14,3	439						
	TN 1			TN 2			TN 3		
	Mean	Std Dev	Cases	Mean	Std Dev	Cases	Mean	Std Dev	Cases
Teilnehmer	28,2	10,3	49	30,0	20,9	16	38,8	16,8	135
Frq 1,2Hz	24,0	11,1	13	37,2	20,5	4	29,9	12,9	65
SD0	30,5	14,0	3	23,1		1	27,9	11,0	36
SD1	23,5	13,2	6	41,9	22,3	3	26,2	9,7	14
SD2	19,8	2,9	4	38,3	16,5	15			0
Frq 1,7Hz	29,7	9,7	36	27,6	21,4	12	47,0	15,8	70
SD0	29,6	8,1	11	17,1	12,7	6	40,3	11,8	37
SD1	35,0	8,8	14	36,0	26,2	5	47,3	13,3	16
SD2	23,0	8,7	11	48,7		1	61,3	16,5	17
	TN 4			TN 5			TN 6		
	Mean	Std Dev	Cases	Mean	Std Dev	Cases	Mean	Std Dev	Cases
Teilnehmer	18,4	8,6	50	30,5	10,2	88	31,1	10,3	101
Frq 1,2Hz	18,1	6,0	5	20,1	6,8	29	22,7	7,6	36
SD0	14,3		1	22,3	9,7	11	22,8	7,8	13
SD1	19,4	7,9	3	19,1	4,9	9	19,7	5,8	10
SD2	18,2		1	18,4	3,3	9	24,8	8,2	13
Frq 1,7Hz	18,4	8,9	45	35,7	7,3	59	35,8	8,5	65
SD0	18,9	8,7	15	38,4	7,1	13	40,8	6,2	17
SD1	18,0	9,8	21	35,8	6,4	27	33,0	9,1	23
SD2	18,6	7,8	9	33,6	8,2	19	34,9	8,2	25

Eine Tendenz, Auslassungen unter bestimmten Soundbedingungen eher zuzulassen als unter anderen, ist nicht aus obiger Tabelle abzulesen. Es ist jedoch eindeutig zu sehen, daß im hohen Frequenzbereich des SPP eindeutig mehr Auslassungen zu finden sind als im niedrigen, teilweise bis zu neunmal so viele (TN 4). Das erklärt sich ganz natürlich mit der erhöhten Schwierigkeit durch die hohen Frequenzen, mit denen der Springende Punkt alterniert. Einen gewissen Anteil mögen allerdings auch sich ändernde Verkehrssituationen haben, die mit fortschreitender Versuchsdauer<sup>11</sup> kritischer werden; doch kann dieser Anteil nicht sehr hoch sein (die entsprechenden Beobachtungen der Teilnehmer durch die Versuchsleiter während der Versuchsfahrten lassen diesen Schluß zu).

## A5.2 Amplitude

Wie schon an anderen Stellen verschiedentlich erwähnt, zeigt sich bei den Amplituden der Sakkaden ein Verhalten, welches **nicht** in erster Linie durch die Blickbewegungsaufgabe, sondern durch die Fahraufgabe während des Versuches determiniert ist. Die Strategien, die die Teilnehmer zur Bewältigung der Blickbewegungsaufgabe angewendet haben, sind nicht einheitlich, nicht einmal innerhalb einer Fahrt, so daß die Ergebnisse dieser Parameter im Zweifel nicht für die weitere Analyse herangezogen werden können. Auf deren Ursachen wird an anderer Stelle näher eingegangen.

In den vorausgegangenen Analysen zeigt sich unter anderem, daß die Amplituden der verschiedenen Sakkadenarten zum einen in erster Linie mit sich selber korrelieren (gelegentliche Korrelationen mit anderen physiologischen Parametern erreichen keine hohen Werte), zum andern mit den anderen Parametern der TLX- oder EZ34-Fragebögen sowie der Befragung mittels Proteus nicht sonderlich hoch korrelieren, des weiteren werden die Amplituden bei den Diskriminanzanalysen häufiger anderen Parametern zugeordnet, was ihre Ausnahmestellung gegenüber den anderen physiologischen Parametern noch verdeutlicht.

Zwei allgemeine, interessante Aussagen lassen sich nichtsdestotrotz aus den Ergebnissen der vorausgegangenen Analysen ziehen:

- Es läßt sich feststellen, daß die Amplituden aller Sakkadenarten über die Versuchsdauer

kleiner werden (siehe Tabelle 88). Dieses Ergebnis hält jedoch Überprüfungen in Einzelfällen kaum stand (bezüglich der Gesamtstichprobe ist der Unterschied zwischen erster und zweiter Hälfte der Versuchsstrecke für die Amplituden der Reaktionsakkaden sogar signifikant).

- In den verschiedenen Analyseschritten zeigt sich, daß die Amplituden der Expressakkaden diejenigen sind, von denen am ehesten interessante Ergebnisse zu erwarten sind.

## Antizipationssakkaden

Amp\_Anti dominiert häufig über die entsprechenden Parameter der anderen Sakkadenarten. Überraschender Weise konnten sich Amp\_Anti jedoch überhaupt nicht bei der Betrachtung der einzelnen Teilnehmer durchsetzen, wodurch seine Aussagekraft erheblich geschmälert wurde.

Amp\_Anti hat bei der Signifikanzanalyse (siehe Tabelle 88) nur knapp das Signifikanzniveau von 5% verfehlt.

## Expressakkaden

Amp\_Exp hat sich bei den Analysen als der aussagekräftigste Parameter herausgestellt, obwohl er als einziger der in der Signifikanzanalyse (siehe Tabelle 88) deutlich jedes Signifikanzniveau überschritten hat.

Amp\_Exp ist der Parameter, der bei der Analyse der Parameter bezüglich der Sounds (siehe Tabelle 88) signifikant geworden ist. Eine weitere Analyse dieser Beziehungen wurde jedoch nicht vorgenommen.

Nur Amp\_Exp korreliert mit dem Parameter Schläfrigkeit der Befragung mittels Proteus. Er korreliert überhaupt nicht mit dem EZ34-Fragebogen und nur mit Effort (EF) des TLX-Fragebo-

<sup>11</sup> „Mit fortschreitender Versuchsdauer“ bedeutet natürlich nicht die fortschreitende Gesamtversuchsdauer, sprich die Fahrtdauer, sondern die Versuchsdauer eines vollständigen Durchganges der Blickbewegungsaufgabe von zirka 20 sec. Kritisch werden kann es dadurch, daß sich die Verkehrssituation in dem Zeitraum, den die Blickbewegungsaufgabe andauert, verändert und zu einer Neueinschätzung seitens des Teilnehmers führen kann – im „schlimmsten“ Falle mit der Konsequenz des Abbruchs der Blickbewegungsaufgabe und sofortigen Hinwendung zum allgemeinen Verkehrsgeschehen, wie es auch die Aufgabenstellung vorgesehen hat (siehe auch Kapitel Methoden).

gens. Das Bild ändert sich nur wenig, wenn die einzelnen Sounds oder Teilnehmer betrachtet werden. Hervorzuheben sind in diesem Zusammenhang lediglich die Teilnehmer 1 und 3, für die Amp\_Exp offensichtlich einen interessanten Parameter darstellt, jedoch konnte bei genauerer Betrachtung dieses Bild auch nicht aufrecht erhalten werden.

### Reaktionssakkaden

Obwohl, wie oben dargelegt, die Amp\_Reak bei der Betrachtung der Gesamtstichprobe eines der wenigen signifikanten Ergebnisse erzielte (siehe Tabelle 88), konnte sich dieser Parameter für die weiteren Untersuchungsschritte nicht qualifizieren. Es wurden keine darüber hinausgehenden Auswertungen vorgenommen.

### A5.3 Geschwindigkeit

Die Sakkadengeschwindigkeiten der verschiedenen Sakkadenarten als Antwort auf den Reizwechsel des Springenden Punktes stellen nach den Ergebnissen der Analysen eindeutig die herausragenden Parameter des SPP zur Vorhersage dar. Sie korrelieren zwar unter fast allen Konstellationen hoch und meist auch noch hoch signifikant miteinander; es hat sich jedoch in den Analysen vielfach gezeigt, daß zwei von ihnen (V\_Anti und V\_Reak) auch geeignet sind, gemeinsam das Verhalten der sechs Teilnehmer zu beschreiben.

Zwei Punkte verdienen besondere Hervorhebung, weil sie auf alle drei Parameter gleichermaßen zutreffen:

- Die Sakkadengeschwindigkeit beim Antworten auf den SPP läßt zwischen der ersten und zweiten Hälfte der Versuchsstrecke fast immer nach (teilweise sogar mehr als 10%). Es gibt hier eine wesentliche Ausnahme, Teilnehmer 2, bei dem häufiger ein Anstieg der Sakkadengeschwindigkeit zu verzeichnen ist.
- Als weiteres Merkmal ist der Umstand zu nennen, daß sich die Sakkadengeschwindigkeiten bei allen Teilnehmern eindeutig (für jeden einzelnen Teilnehmer) bezüglich der drei verschiedenen Soundbedingungen verhalten.

Ein letzter Punkt ist noch von Bedeutung: Die Geschwindigkeiten der drei Sakkadenarten unterscheiden sich nur in wenigen Fällen auffallend voneinander, meist weichen sie nur wenig

voneinander ab, häufig sind auch die zeitlichen Verläufe der Geschwindigkeiten synchron. (Wenigstens zwischen V\_Anti und V\_Reak, wo dieses getrennt für alle Teilnehmer und Soundbedingungen, also für jede einzelne Versuchsfahrt beobachtet werden konnte.)

Es ist des weiteren häufig zu beobachten, daß in den Analysen der reduzierten Parameterliste V\_Anti und V\_Reak mit denselben Parametern korrelieren.

### Antizipationssakkaden

Der Mittelwertsunterschied zwischen erster und zweiter Hälfte der Versuchsstrecke bezüglich der Gesamtstichprobe wurde signifikant (siehe Tabelle 88) und beträgt mindestens 10%.

Als allgemeine Beobachtungen können die beiden folgenden gelten:

- V\_Anti wird bezüglich der verschiedenen Gruppierungsvariablen signifikant, steht jedoch selten besser als V\_Reak da.
- V\_Anti korreliert mit Interessiert (Befragung mittels Proteus) und den beiden Parametern Temporal Demand sowie Frustration des TLX-Fragebogens, allerdings nicht mit den Parametern des EZ34-Fragebogens.

Dieses Bild ändert sich jedoch grundlegend,

- wenn V\_Anti bezüglich der einzelnen Soundbedingungen betrachtet wird: Unter der Soundbedingung SD0-ohne korreliert V\_Anti mit allen Parametern der Befragung mittels Proteus, unter SD1-hoch nur noch mit Schläfrig und unter SD2-tief nur noch mit Abgelenkt. Ähnlich diffus ist das Bild bezüglich des TLX- und EZ34-Fragebogens. Der einzige Parameter, der sich dort unter allen drei Soundbedingungen behaupten kann, ist Temporal Demand.
- wenn V\_Anti bezüglich der einzelnen Teilnehmer untersucht wird: V\_Anti korreliert mal mit dem einen, mal mit dem anderen Parameter und wenn V\_Anti bei zwei Teilnehmern mit denselben Parametern korreliert, so heißt das nicht einmal, daß die Korrelation dasselbe Vorzeichen haben muß.
- wenn die einzelnen Teilnehmer betrachtet werden: Meist sinkt die Sakkadengeschwindigkeit während des jeweiligen Versuchs, einzelne, auch gravierende Abweichungen hiervon sind dennoch zu beobachten.

Der naheliegende Schluß, V\_Anti sei ein unzuverlässiger Parameter, ist dennoch nicht zwingend, es scheint vielmehr, daß **V\_Anti ganz besonders die individuellen Reaktionen hochauflösend dokumentiert** und die Teilnehmer in den verschiedenen Versuchsbedingungen und Situationen auf kein festgefahrenes Handlungs- oder Reaktionsmuster zurückgreifen, statt dessen legen sie in jeder Situationen ein eigenes Verhalten an den Tag, das sich in den verschiedenen Verlaufsformen der Sakkadengeschwindigkeiten niederschlägt.

### Expreßsakkaden

V\_Exp wurde in erster Linie aus theoretischen Überlegungen nicht in die reduzierte Parameterliste aufgenommen. Grundsätzlich hätte V\_Exp durchaus dazugehören können, aber es kamen noch die geringe Anzahl Expreßsakkaden hinzu, so daß V\_Exp nicht aufgenommen wurde.

### Reaktionssakkaden

V\_Reak unterscheidet sich von V\_Anti nicht grundlegend, im Schnitt liegen die Werte von V\_Reak etwas höher als von V\_Anti.

Bei Teilnehmer 3 ist eine Besonderheit zu beobachten. Hier ist ein gegenläufiges Zeitverhalten zwischen V\_Reak und V\_Anti unter der Soundbedingung SD2-tief zu beobachten. Ansonsten gelten die für V\_Anti getroffenen Aussagen weitestgehend auch auf V\_Reak zu.

## A5.4 Zeitpunkt

Gelegentlich trat der Zeitpunkt der Reaktions-sakkaden in den Analysen in Erscheinung, konnte sich allerdings nirgendwo durchsetzen, die Zeitpunkte der anderen Sakkadenarten traten in keiner Form erwähnenswert auf. Wie schon im Kapitel Theoretische Grundlagen dargestellt, ist von diesen Parametern auch nicht viel mehr zu erwarten, so daß sich eine nach den Sakkadenarten untergliederte Betrachtung erübrigt. Die fehlende Veränderung der Zeitpunkte, an denen die Sakkaden gestartet werden, wird als Beleg für Regelung mittels Konzentration angesehen.

## A5.5 Sonstiges

Zwei allgemeine Ergebnisse der vorliegenden Analysen sind nochmals zu betonen:

- Die Reduktion auf vier Parameter (Anti %, Amp\_Exp, V\_Anti und V\_Reak) war erfolgreich. Mit Hilfe dieser lassen sich ein Großteil der beobachteten (Fragebögen und Befragung mittels Proteus) Verhaltensweisen beschreiben.
- Die Teilnehmer können situationsspezifische und sehr individuelle Coping-Strategien entwickeln.

Den Abschluß dieses Abschnittes bilden Rangreihenfolgen der vier Parameter unter verschiedenen Aspekten. Da sich ein sehr stark individuelles Verhalten zeigt, werden Rangreihenfolgen jeweils für die Gesamtstichprobe, die beiden Versuchshälften sowie für die Teilnehmer gebildet. Unterschieden wird hierbei nochmals zwischen dem gesamten Frequenzbereich des Reizwechsels des SPP und den beiden einzelnen (0,7–1,2 Hz/1,2–1,7 Hz). Die Tabelle liest sich wie folgt: „>“ bedeutet, die links vom Symbol stehende Variation ist weniger beanspruchend, somit besser als die rechts stehende; „≈“ bedeutet, daß beide benachbarten Variationen ungefähr gleich wirken. Das bedeutet für die erste Zeile der Tabelle beispielsweise, SD1 ist besser, weniger beanspruchend als SD2 und SD0, die ungefähr gleich wirken.

**Tabellen 41–44:** Rangreihenfolge der Parameter des Springenden Punktes

<b>Anti %</b>	Alle Frequenzen	Frq 0,7–1,2Hz	Frq 1,2–1,7Hz
Gesamtstichprobe:	SD1 > SD2 ≈ SD0	SD1 > SD2 > SD0	SD1 ≈ SD0 > SD2
erste Versuchshälfte:	SD2 ≈ SD1 > SD0	SD1 > SD2 > SD0	SD2 > SD1 ≈ SD0
zweite Versuchshälfte:	SD1 > SD0 > SD2	SD1 > SD0 > SD2	SD0 ≈ SD1 > SD2
Teilnehmer 1:	SD2 > SD0 ≈ SD1	SD0 ≈ SD1 > SD2	SD2 > SD0 ≈ SD1
Teilnehmer 2:	SD2 > SD0 > SD1	SD2 > SD0 > SD1	SD0 > SD2 > SD1
Teilnehmer 3:	SD0 > SD1 > SD2	SD0 ≈ SD1 ≈ SD2	SD0 > SD1 > SD2
Teilnehmer 4:	SD0 > SD1 ≈ SD2	SD0 > SD2 ≈ SD1	SD0 > SD1 > SD2
Teilnehmer 5:	SD2 > SD1 ≈ SD0	SD2 > SD1 > SD0	SD2 > SD1 ≈ SD0
Teilnehmer 6:	SD1 > SD2 > SD0	SD1 > SD2 > SD0	SD2 ≈ SD0 ≈ SD1

<b>Amp_Exp</b>	Alle Frequenzen	Frq 0,7–1,2Hz	Frq 1,2–1,7Hz
Gesamtstichprobe:	SD0 > SD1 > SD2	SD2 > SD0 > SD1	SD0 > SD1 > SD2
erste Versuchshälfte:	SD0 > SD1 > SD2	SD1 > SD0 ≈ SD2	SD0 > SD1 > SD2
zweite Versuchshälfte:	SD0 > SD1 > SD2	SD2 > SD0 > SD1	SD0 > SD1 > SD2
Teilnehmer 1:	SD0 > SD1 > SD2	<sup>12</sup> SD0 > SD2	SD0 ≈ SD1 > SD2
Teilnehmer 2:	SD0 > SD1 > SD2	SD2 > SD1 ≈ SD0	SD0 > SD1 > SD2
Teilnehmer 3:	SD1 > SD0 > SD2	SD1 > SD2 ≈ SD0	SD1 > SD0 > SD2
Teilnehmer 4:	SD0 > SD2 ≈ SD1	SD2 > SD1 > SD0	SD0 > SD2 > SD1
Teilnehmer 5:	SD0 > SD2 > SD1	SD2 > SD1 > SD0	SD0 > SD2 > SD1
Teilnehmer 6:	SD0 > SD2 > SD1	SD2 > SD1 > SD0	SD0 > SD1 > SD2

<b>V_Anti</b>	Alle Frequenzen	Frq 0,7–1,2Hz	Frq 1,2–1,7Hz
Gesamtstichprobe:	SD0 > SD1 ≈ SD2	SD0 > SD2 > SD1	SD0 > SD1 > SD2
erste Versuchshälfte:	SD0 > SD1 ≈ SD2	SD0 > SD2 > SD1	SD0 > SD1 > SD2
zweite Versuchshälfte:	SD0 > SD2 > SD1	SD0 > SD2 > SD1	SD0 > SD1 ≈ SD2
Teilnehmer 1:	SD2 > SD0 > SD1	SD2 > SD0 > SD1	SD2 > SD0 > SD1
Teilnehmer 2:	SD0 > SD2 > SD1	SD0 > SD2 > SD1	SD0 > SD2 > SD1
Teilnehmer 3:	SD1 > SD2 > SD0	SD1 > SD2 > SD0	SD1 > SD2 > SD0
Teilnehmer 4:	SD0 > SD1 > SD2	SD0 > SD1 > SD2	SD0 > SD1 > SD2
Teilnehmer 5:	<sup>13</sup> SD2 > SD1	SD2 > SD1	SD1 > SD2
Teilnehmer 6:	SD0 > SD2 > SD1	SD0 > SD2 > SD1	SD0 > SD2 ≈ SD1

<b>V_Reak</b>	Alle Frequenzen	Frq 0,7–1,2Hz	Frq 1,2–1,7Hz
Gesamtstichprobe:	SD1 > SD0 > SD2	SD1 > SD2 > SD0	SD0 > SD2 ≈ SD1
erste Versuchshälfte:	SD1 ≈ SD0 > SD2	SD1 > SD0 > SD2	SD= > SD1 > SD2
zweite Versuchshälfte:	SD1 > SD2 > SD0	SD1 > SD2 > SD0	SD0 > SD2 > SD1
Teilnehmer 1:	SD2 > SD0 > SD1	SD2 > SD0 > SD1	SD2 > SD0 > SD1
Teilnehmer 2:	SD0 > SD2 > SD1	SD0 > SD2 > SD1	SD0 > SD2 > SD1
Teilnehmer 3:	SD1 > SD2 > SD0	SD1 > SD2 > SD0	SD1 > SD2 > SD0
Teilnehmer 4:	SD0 > SD1 > SD2	SD1 > SD0 > SD2	SD0 > SD1 > SD2
Teilnehmer 5:	SD2 ≈ SD1	SD1 > SD2	SD2 > SD1
Teilnehmer 6:	SD0 > SD2 > SD1	SD0 > SD2 ≈ SD1	SD0 > SD2 > SD1

<sup>12</sup> TN 1 hatte im niedrigen Frequenzbereich des SPP unter SD1-hoch keine Expreßsakkaden ausgeführt.

<sup>13</sup> Teilnehmer 5 hatte unter der Soundbedingung SD0-ohne erheblich von der Gesamtstichprobe abweichende Sakkadengeschwindigkeiten (sowohl für Antizipationssakkaden als auch für Reaktions-sakkaden), diese Daten können, wie bereits auf Seite 113 geschildert, nicht in die Ergebnisbewertung mit einbezogen werden.

## B Ergebnisse der spontanen Blickverteilung

Das spontane Blickverhalten (SPON) umfaßt alle Blickbewegungsdaten der Versuchsfahrten, die während der Fahrten auf der Autobahn aufgenommen und nicht dem Springenden Punkt zugeordnet wurden.

Die Daten basieren auf Messungen, die jeweils ungefähr zwei Minuten lang andauerten.

Ebenso wie bei der Auswertung der Daten des Springenden Punktes ist nicht zu erwarten, daß alle Parameter, die sich aus den SPON Daten errechnen lassen, in gleicher Weise geeignet sind, die Hypothesen zu verifizieren oder falsifizieren. Der Weg, um zu geeigneten Parametern zu gelangen, ist ebenso aufwendig und im Verlauf dem ähnlich, wie er für die SPP Daten beschritten wurde. Tabellen oder Abbildungen werden in diesem Abschnitt nicht mehr in der Ausführlichkeit erklärt, wie im vorangegangenen Abschnitt. Wenn es darüber hinausgehenden Klärungsbedarf gibt, wird selbstverständlich in der gewohnten Sorgfalt darauf eingegangen, ansonsten wird auf die Erläuterungen des vorausgegangenen Kapitels verwiesen.

### B1 Übersicht über die Ergebnisse der spontanen Blickverteilung

Entsprechend der Tabelle 87 des Abschnittes Ergebnisse des Springenden Punktes werden auch bezüglich der Tabelle 89 Lageparameter und Dispersionsmaße aller SPON Parameter dargestellt.

Die Parameter werden in einer ersten Stufe in zwei Gruppen unterteilt:

- **Sakkaden**
- **Lidschläge**

Für die Sakkaden und Lidschläge liegt noch eine weitere Unterteilung in vier verschiedene Parameter vor:

- **Anzahlen**; dies sind Häufigkeiten, mit denen während der einzelnen Messungen Sakkaden oder Lidschläge durchgeführt wurden. Hier wurde nochmals zwischen zwei Amplituden (**1** und **2**) unterschieden. Die mit 1 bezeichneten Parameter der Sakkaden oder Lidschläge erfüllen als zusätzliches Kriterium, daß sie jeweils größer als 5° sind und somit zur Normierung der entsprechenden Geschwindigkeiten herangezogen werden können.

- **Amplituden** der spontanen Blickverteilung sind im Gegensatz zu denen des SPP die direkt gemessenen Werte. Die Amplituden der Lidschläge wurden bei der Berechnung als Äquivalente für vertikale Sakkaden angenommen.
- **Geschwindigkeiten (V)** wurden wie beim SPP auf ihre Amplituden bezogen, das heißt, als Prozent ihres Normwertes für die jeweilige Amplitude berechnet, Lidschläge wurden dabei behandelt, als wären sie vertikale Sakkaden.
- **Dauern** beschreiben, wie lange eine vertikale Sakkade oder ein Lidschluß andauern.

Zusätzlich treten noch die folgenden Parameter auf:

- **Fixationen** bezeichnen den Zeitraum (die Dauer) zwischen zwei aufeinanderfolgenden Sakkaden
- **Intervalle** sind die Dauer zwischen zwei Lidschlägen.

Des weiteren gibt es von vielen Parametern noch einen weiteren berechneten, der auch schon umfassend im Kapitel Theoretische Grundlagen behandelt wurde:

- **Interquartile** sind ein Dispersionsmaß, daß als eigenständiger Parameter behandelt wird und für alle oben genannten Parameter, mit Ausnahme der Anzahlen zur Verfügung steht.

Zusätzlich zu den bisher aufgeführten Parametern gibt es noch drei sehr spezielle Parameter, die unter anderem bereits von Galley et al. (1997) erfolgreich für ähnliche Anwendungen benutzt wurden:

- Anzahl der Lidschlußdauern, die länger als 190 msec andauern (**Dau\_Lid\_190**).
- Anzahl der Fixationen, die länger als 600 msec andauern (**Dau\_Fix\_600**).
- Anzahl der Lidschlußintervalle, die länger als 3000 msec andauern (**Int\_Lid\_3000**).

Nachstehende Tabelle 45 gibt die SPON Parameter in einer Übersicht wieder, in der auch die Ergebnisse in Tabelle 89 angeordnet sind.

Auch hier, wie bei den Daten des SPP (siehe Tabelle 87), gibt es teilweise nennenswerte Unterschiede zwischen der ersten und der zweiten Hälfte der Versuchsfahrten, so daß als erster Analyseschritt diesbezüglich ein Signifikanztest gerechnet wird.

**Tabelle 45:** Parameter der spontanen Blickverteilung

	<b>Sakkaden</b>	<b>Lidschläge</b>
<b>Anzahl</b>	Anz_Sakk_1 + _2	Anz_Lid_1 + _2
<b>Amplitude</b>	Amp_Sakk + _lq	Amp_Lid + _lq
<b>Geschwindigkeit</b>	V_Sakk + _lq	V_Lid + _lq
<b>Dauer</b>	Dau_Sakk + _lq	Dau_Lid + _lq + _190
<b>Intervall</b>	Dau_Fix + _lq + _600	Int_Lid + _lq + _3000

## B2 Reduktion der Anzahl der Parameter der spontanen Blickverteilung

Auch hier zeigt sich, wie schon bei der Analyse der SPP-Daten, daß eine Reduktion der Anzahl der verfügbaren Parameter auf eine Liste der sinnvollen Parameter notwendig ist. Die Vorgehensweise bei der Reduktion der Anzahl der Parameter entspricht im Groben der, wie sie schon für die SPP-Daten angewendet wurde. Ein wesentlicher Unterschied besteht lediglich darin, daß die Analysen natürlich nicht in zwei Frequenzbereiche unterteilt werden (die zwei Frequenzbereiche ergaben sich aus der Reizwechselfrequenz des SPP).

### B2.1 Analyse der Parameter bezüglich der Teilnehmer

#### Signifikanzanalyse

Da alle 23 Parameter ausnahmslos hoch signifikant geworden sind, stellt sich hier die Frage nach einer Reduktion besonders deutlich. Alle Parameter werden in den nächsten Schritt, die Korrelationsanalyse, übernommen.

**Tabelle 46:** Signifikanzanalyse der SPON-Daten bezüglich der Teilnehmer

	Teststärke	Signifikanz		Teststärke	Signifikanz
Anz_Sakk_1	164,0	0,000	Anz_Lid_1	306,1	0,000
Anz_Sakk_2	37,1	0,000	Anz_Lid_2	223,2	0,000
Amp_Sakk	305,0	0,000	Amp_Lid	688,2	0,000
Amp_Sakk_lq	200,8	0,000	Amp_Lid_lq	120,0	0,000
V_Sakk	262,5	0,000	V_Lid	609,4	0,000
V_Sakk_lq	131,4	0,000	V_Lid_lq	96,6	0,000
Dau_Sakk	87,4	0,000	Dau_Lid	307,4	0,000
Dau_Sakk_lq	203,5	0,000	Dau_Lid_lq	99,8	0,000
			Dau_Lid_190	282,4	0,000
Dau_Fix	48,1	0,000	Int_Lid	53,6	0,000
Dau_Fix_lq	40,4	0,000	Int_Lid_lq	70,4	0,000
Dau_Fix_600	53,5	0,000	Int_Lid_3000	171,6	0,000

## Korrelationsanalyse

Da ein hohes Signifikanzniveau bereits bei einer Korrelation von 0,05 erreicht wird, fast alle Parameter hoch signifikant miteinander korrelieren, wird zugunsten der Übersichtlichkeit der  $23 \times 23$  Zellen großen Ergebnismatrix auf die Darstellung aller Korrelationen kleiner als 0,5 verzichtet (bei einer Darstellung der Korrelationswerte größer als 0,3 sind noch immer über 15% aller Zellen besetzt, erst bei 0,5 sind nur noch 7% der Zellen besetzt, so daß 0,5 als Grenze aus pragmatischen Gründen gewählt wird). Auf die Darstellung leerer Zellen wird aus Platzgründen verzichtet.

Das Auffälligste und, obwohl es im Kapitel Theoretische Grundlagen nicht explizit formuliert wurde, theoriekonforme Ergebnis ist, daß es keine Korrelationen größer als 0,5 zwischen den Parametern, die sich aus den Sakkaden und denen, die sich aus den Lidschlägen ableiten, gibt, daher werden im folgenden diese beiden Parametergruppen getrennt behandelt.

Grundsätzlich kann festgehalten werden, daß in der Regel die Interquartile oder andere Untergruppen eines Parameters mit dem ursprünglichen Parameter korrelieren.

**Tabelle 47:** Korrelationsanalyse der SPON-Daten bezüglich der Teilnehmer

	Anz_Sakk_1	Anz_Sakk_2	Amp_Sakk	Amp_Sakk_lq	V_Sakk	Dau_Sakk	Dau_Fix	Dau_Fix_lq
Anz_Sakk_2	0,70							
Amp_Sakk	0,69							
Amp_Sakk_lq	0,53		0,81					
V_Sakk_lq					0,64			
Dau_Sakk			0,76	0,63				
Dau_Sakk_lq			0,53	0,73		0,52		
Dau_Fix	-0,55	-0,80						
Dau_Fix_lq	-0,65	-0,88					0,75	
Dau_Fix_600	-0,58	-0,83					0,96	0,82

	Anz_Lid_1	Anz_Lid_2	Amp_Lid	Amp_Lid_lq	V_Lid	Dau_Lid	Dau_Lid_lq	Int_Lid	Int_Lid_lq
Anz_Lid_2	0,91								
Amp_Lid_lq			0,52						
V_Lid			0,94	0,58					
V_Lid_lq			0,57	0,60	0,64				
Dau_Lid_190						0,70	0,72		
Int_Lid	-0,79	-0,87							
Int_Lid_lq	-0,82	-0,90						0,82	
Int_Lid_3000	-0,84	-0,92						0,91	0,93

## Sakkaden

Anz\_Sakk\_1 korreliert außer mit Anz\_Sakk\_2 (was nicht sehr spannend ist, da Anz\_Sakk\_1 eine Teilmenge von Anz\_Sakk\_2 darstellt), mit den Sakkadenamplituden und negativ mit den Fixationsdauern. Überraschenderweise korreliert Anz\_Sakk\_2 jedoch nicht mehr mit den Sakkadenamplituden.

Die Sakkadenamplituden korrelieren mit den Sakkadendauern. Dieser Zusammenhang ist

nicht sehr überraschend, da die Sakkadendauer direkt von der Amplitude abhängt. Der fehlende Zusammenhang zwischen den Sakkadenamplituden und den Sakkadengeschwindigkeiten, der von Collewyn et al. (1988) postuliert wurde, ist nicht mehr festzustellen, da die Geschwindigkeiten in Abhängigkeit der Amplitudengröße normiert wurden.

Die Sakkadendauern unterscheiden sich untereinander kaum, korrelieren jedoch mit den Sakkadenamplituden.

Bei den Fixationsdauern wird der höchste Korrelationskoeffizient mit der Anzahl der Fixationen, die länger als 600msec andauern, von 0,9564 erreicht. Dies läßt den Schluß zu, daß es nur sehr wenige Fixationsdauern unter 600msec gegeben haben kann. Es ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf das lange Fahren auf der Autobahn zurückzuführen. Gegebenenfalls könnte dieser Parameter so verändert werden, daß er nur die Anzahl der Fixationen betrachtet, die noch erheblich länger als 600msec andauern, sinnvoll scheint ein doppelt so langer Zeitraum.

Die Parameter der Sakkaden für die weitere Analyse ergeben sich fast natürlich, aus den fünf Parametergruppen stammt jeweils ein Parameter, der die gesamte Parametergruppe repräsentieren kann (siehe Tabellen 46 und 47).

- **Anz\_Sakk\_1**  
Die Wahl zwischen Anz\_Sakk\_1 und Anz\_Sakk\_2 wird durch die Korrelationen mit Amp\_Sakk\_1 entschieden, des weiteren hat Anz\_Sakk\_1 in der Signifikanzanalyse den höheren Wert in der Teststärke. Eine bessere theoretische oder datenbasierte Entscheidungsgrundlage konnte nicht gefunden werden.
- **Amp\_Sakk**  
Als Entscheidungsgrundlage dient die Feststellung, daß Amp\_Sakk auf sich marginal höhere Korrelationen als Amp\_Sakk\_Iq vereint, des weiteren hat auch Amp\_Sakk in der Signifikanzanalyse den höheren Wert in der Teststärke.
- **V\_Sakk**  
Da V\_Sakk und V\_Sakk\_Iq nur miteinander korrelieren, wird einzig die in der Signifikanzanalyse ermittelte höhere Teststärke als Entscheidungskriterium für V\_Sakk herangezogen.
- **Dau\_Sakk**  
Die Wahl fällt auf Dau\_Sakk aufgrund der höheren Korrelationskoeffizienten, die höhere Teststärke weist jedoch Dau\_Sakk\_Iq auf.
- **Dau\_Fix\_600**  
Bei den drei Parametern der Fixationsdauer fällt die Wahl trotz der oben genannten Einschränkung auf Dau\_Fix\_600 aufgrund der etwas höheren Korrelationen mit den anderen

beiden Fixationsdauer-Parametern sowie der etwas besseren Teststärke, der Malus, nicht so hoch mit den Amplituden zu korrelieren, wiegt dagegen nicht so schwer.

### Lidschläge

Die höchsten Korrelationen werden von den Parametern des Lidschluß' erzielt, hier liegen sogar sechs Werte über 0,9.

Die Anzahl der Lidschläge korrelieren mit den Lidschlußdauern.

Die Lidschlußamplituden korrelieren mit den Lidschlußgeschwindigkeiten.

Dau\_Lid\_190 korreliert einzig mit den Lidschlußdauern, bei denen insbesondere auffällt, daß Dau\_Lid sowie Dau\_Lid\_Iq nicht miteinander korrelieren, was eine bemerkenswerte Abweichung zu allen anderen Parametern darstellt.

Auch hier ist festzustellen, daß aus jeder der fünf Parametergruppen jeweils einer ähnlich wie bei den Sakkaden die gesamte Parametergruppe stellvertreten kann (siehe Tabellen 46 und 47).

- **Anz\_Lid\_1**  
Dieser Parameter erhält den Vorzug gegenüber Anz\_Lid\_2 aufgrund der höheren Teststärke in der Signifikanzanalyse.
- **Amp\_Lid**  
Amp\_Lid weist die höhere Teststärke in der Signifikanzanalyse auf.
- **V\_Lid**  
Gegenüber V\_Lid\_Iq weist V\_Lid die höheren Korrelationsparameter auf und die höhere Teststärke in der Signifikanzanalyse.
- **Dau\_Lid\_190**  
Bei den Lidschlußdauern dominiert Dau\_Lid\_190 die anderen beiden Parameter seiner Parametergruppe dadurch, daß er allein mit den anderen beiden hohe Korrelationen aufweist. In der Teststärke in der Signifikanzanalyse ist er nur etwas schlechter als der Gruppenbeste.
- **Int\_Lid\_3000**  
Aus der Gruppe der Lidschlußintervallparameter führt Int\_Lid\_3000 die Gruppe in jeder Disziplin an.

**Diskriminanzanalyse**

Das Ergebnis der Diskriminanzanalyse zeigt eine Vierteilung. Die Diskriminanzfunktion 5 wird von keinem der zehn Parameter mit den höchsten Werten belegt. Die Gruppenzugehörigkeiten sind bei fast allen Parametern sehr eindeutig, sie laden außer auf der Gruppe, zu der sie zugeordnet sind, kaum noch auf andere Gruppen. Dies läßt sehr gute Ergebnisse bei der Klassifikationsmatrix erwarten. Die Diskriminanzanalyse stellt größtenteils die bereits aus der Signifikanzanalyse bekannten Zusammenhänge wieder her.

Die Lidschlußgeschwindigkeit bildet gemeinsam mit der Lidschlußamplitude die erste Gruppe.

Die zweite Gruppe bilden die Anzahlen der verschiedenen Lidschlußparameter wie die der Lidschläge, die länger als 3000 msec andauern, und die der Lidschlußdauern, die länger als 190 msec andauern, als letzter Parameter, der augenscheinlich (inhaltlich) nicht so gut in diese Gruppierung paßt, tritt hier die Sakkadengeschwindigkeit auf.

Die dritte Gruppe setzt sich aus Sakkadenparametern zusammen. Sie wird dominiert von der Sakkadendauer, gefolgt von der Sakkadenamplitude und der Anzahl der Sakkaden.

Die Anzahl der Fixationsdauern, die länger als 600 msec andauern, bildet völlig eigenständig eine vierte Gruppe.

**Tabelle 48:** Diskriminanzanalyse der SPON-Daten bezüglich der Teilnehmer

	Funk 1	Funk 2	Funk 3	Funk 4	Funk 5
V_Lid	<b>0,785</b>	-0,143	0,034	0,076	0,397
Amp_Lid	<b>0,775</b>	-0,083	-0,165	-0,181	0,512
Anz_Lid_1	0,159	<b>0,757</b>	0,081	-0,058	0,224
Int_Lid_3000	-0,001	<b>-0,608</b>	-0,161	0,474	-0,035
Dau_Lid_190	-0,231	<b>-0,569</b>	0,094	0,249	0,342
V_Sakk	0,316	<b>-0,553</b>	0,249	-0,140	-0,227
Dau_Sakk	-0,050	-0,000	<b>0,634</b>	-0,079	0,075
Amp_Sakk	-0,266	-0,074	<b>0,584</b>	-0,106	0,456
Anz_Sakk_1	-0,180	-0,080	<b>0,491</b>	0,266	0,314
Dau_Fix_600	0,113	0,271	-0,047	<b>-0,465</b>	-0,064

**Klassifikationsmatrix**

Die Gruppierungen, wie sie von der Diskriminanzanalyse vorgeschlagen wurden, ordnen die Teilnehmer in 1364 von 1543 Fällen richtig zu (88,4%). Bei einer zufälligen Verteilung wäre eine Trefferquote von 16% zu erwarten gewesen. Dies ist als ein hervorragendes Ergebnis zu werten.

**Tabelle 49:** Klassifikationsmatrix der SPON-Daten bezüglich der Teilnehmer

Teilnehmer	1	2	3	4	5	6	Row
1	<b>176</b>	22	3	1		6	208
2	13	<b>138</b>	2			14	167
3	22	17	<b>314</b>	12	7	2	374
4	4	12	14	<b>237</b>			267
5		2	1	2	<b>205</b>	1	211
6		4	18			<b>294</b>	316
Column	215	195	352	252	212	317	1543

B2.2 Analyse der Parameter bezüglich der Sounds

**Signifikanzanalyse**

In Anbetracht der Ergebnisse der Tabelle 46 Signifikanzanalyse der SPON-Daten bezüglich der Teilnehmer nimmt es eher Wunder, daß es bei der entsprechenden Analyse bezüglich der Sounds überhaupt Parameter gibt, die nicht signifikant werden (auch wenn es nur drei Parameter beim Lidschluß sind, andererseits steht diesem Ergebnis auch das Ergebnis der Tabelle 14 Signifikanzanalysen der SPP-Daten bezüglich des Sounds gegenüber, bei dem gerade einmal ein einziger Parameter signifikant zwischen den drei Soundbedingungen unterscheidet).

Bei dem nächsten Analyseschritt, der Korrelationsanalyse, werden die drei nicht signifikant gewordenen Parameter des Lidschluß', Amp\_Lid, Amp\_Lid\_Iq sowie Int\_Lid, nicht mehr berücksichtigt, alle anderen werden wie gehabt beibehalten.

**Tabelle 50:** Signifikanzanalyse der SPON-Daten bezüglich der Sounds

	Teststärke	Signifikanz		Teststärke	Signifikanz
Anz_Sakk_1	25,61565	0,000	Anz_Lid_1	10,05101	0,000
Anz_Sakk_2	51,44057	0,000	Anz_Lid_2	8,65435	0,000
Amp_Sakk	33,25346	0,000			
Amp_Sakk_Iq	16,91062	0,000			
V_Sakk	10,84323	0,000	V_Lid	5,88887	0,003
V_Sakk_Iq	6,55421	0,001	V_Lid_Iq	12,79585	0,000
Dau_Sakk	112,19171	0,000	Dau_Lid	6,55202	0,001
Dau_Sakk_Iq	7,74253	0,000	Dau_Lid_Iq	9,21294	0,000
			Dau_Lid_190	17,83588	0,000
Dau_Fix	23,48744	0,000			
Dau_Fix_Iq	14,54899	0,000	Int_Lid_Iq	5,36903	0,005
Dau_Fix_600	41,30500	0,000	Int_Lid_3000	7,92704	0,000

### Korrelationsanalyse

Da die Korrelationsanalyse bezüglich der Teilnehmer vollständig war (jeder Parameter ging in die Analyse mit ein), wird auf eine wiederholte komplette Darstellung der Tabelle 47 verzichtet. Es wird nur der Teil, der die Lidschläge betrifft, dargestellt, weil sich hier durch das Weglassen dreier Parameter das Bild der Tabelle etwas gewandelt hat.

Die Analyse dieser Ergebnisse entspricht für die Sakkadenparameter der Teilnehmer, die Abweichungen bei den Parametern der Lidschläge werden jedoch nochmals analysiert.

### Lidschläge

Die höchsten Korrelationen werden von den Parametern des Lidschluß' erzielt, hier liegen immer noch vier Werte über 0,9.

Die Anzahl der Lidschläge korrelieren mit den Lidschlußdauern.

Dau\_Lid\_190 korreliert einzig mit den Lidschlußdauern, bei denen insbesondere auffällt, daß Dau\_Lid sowie Dau\_Lid\_Iq nicht miteinander korrelieren, was eine bemerkenswerte Abweichung zu allen anderen Parametern darstellt.

Auch hier ist festzustellen, daß aus jeder der nunmehr vier Parametergruppen jeweils einer, ähnlich wie bei den Sakkaden, die gesamte Parametergruppe stellvertreten kann.

**Tabelle 51:** Korrelationsanalyse der SPON-Daten (Lidschläge) bezüglich der Sounds

	Anz_Lid_1	Anz_Lid_2	V_Lid	Dau_Lid	Dau_Lid_Iq	Int_Lid_Iq
Anz_Lid_2	0,91					
V_Lid_Iq			0,64			
Dau_Lid_190				0,70	0,72	
Int_Lid_Iq	-0,82	-0,90				
Int_Lid_3000	-0,84	-0,92				0,93

- **Anz\_Lid\_1**  
Dieser Parameter hat gegenüber Anz\_Lid\_2 den Vorzug aufgrund der höheren Teststärke in der Signifikanzanalyse (siehe Tabelle 50) bekommen.
- **V\_Lid\_Iq**  
Gegenüber V\_Lid weist V\_Lid\_Iq die höhere Teststärke in der Signifikanzanalyse (siehe Tabelle 50) auf.
- **Dau\_Lid\_190**  
Bei den Lidschlußdauern dominiert Dau\_Lid\_190 die anderen Parameter seine Parametergruppe dadurch, daß allein er mit den anderen beiden hohe Korrelationen aufweist. In der Teststärke in der Signifikanzanalyse (siehe Tabelle 50) führt dieser Parameter als Gruppenbester auch die anderen beiden an.
- **Int\_Lid\_3000**  
Aus der Gruppe der Lidschlußintervallparameter führt Int\_Lid\_3000 die Gruppe in jeder Disziplin an.

Es haben sich folglich gegenüber der Analyse der SPON-Daten bezüglich der Teilnehmer nur folgende zwei Änderungen ergeben:

- Es tritt kein Parameter der Lidschlußamplituden mehr auf.
- Die Lidschlußgeschwindigkeiten werden durch die Interquartile vertreten.

**Diskriminanzanalyse**

Das Ergebnis der Diskriminanzanalyse überzeugt nicht so recht, bei nur zwei möglichen Diskriminanzfunktionen ist auch nicht sehr viel mehr zu erwarten. Es fällt jedoch schon unangenehm auf, daß nicht einmal die Zuordnung zu den physiologischen Ursprüngen (Sakkaden/Lidschläge) korrekt erfolgt. Dadurch, daß die Funktionswerte der Diskriminanzfunktionen auch nicht sehr hoch sind, ist auch keine übermäßig präzise Zuordnung bei der Klassifikationsmatrix zu erwarten.

**Tabelle 52:** Diskriminanzanalyse der SPON-Daten bezüglich der Sounds

	Funk 1	Funk 2
Dau_Sakk	<b>0,756</b>	0,169
Dau_Fix_600	<b>0,409</b>	-0,374
Dau_Lid_190	<b>-0,304</b>	-0,030
Anz_Lid_1	<b>-0,228</b>	-0,022
Anz_Sakk_1	-0,018	<b>0,629</b>
V_Sakk	0,049	<b>-0,401</b>
V_Lid_Iq	-0,131	<b>0,384</b>
Int_Lid_3000	0,148	<b>0,240</b>

**Klassifikationsmatrix**

Bei der Klassifikationsmatrix wurden 845 von 1543 (54,8%) Messungen korrekt zugeordnet. Bei einer zufälligen Verteilung wären 33% zu erwarten gewesen. Die korrekten Zuordnungen liegen zwar deutlich über dem Wert für eine Zufallsverteilung, doch ist dieses Ergebnis als gerade noch befriedigend einzustufen.

**Tabelle 53:** Klassifikationsmatrix der SPON-Daten bezüglich der Sounds

Sounds	SD0	SD1	SD2	Row
SD0	<b>257</b>	121	82	460
SD1	179	<b>286</b>	112	577
SD2	80	124	<b>302</b>	506
Column	516	531	496	1543

**B2.3 Analyse der Parameter bezüglich der Bereiche**

**Signifikanzanalyse**

Bei den Sakkaden verbleiben für die sich anschließenden Analysen nur noch Parameter aus vier Gruppen. Es fehlen die Sakkadenamplitudenparameter. Bei den Lidschlägen sind sogar nur noch zwei Parameter für die Analysen verblieben.

**Tabelle 54:** Signifikanzanalyse der SPON-Daten bezüglich der Bereiche

	Teststärke	Signifikanz
Anz_Sakk_2	140,67147	0,000
V_Sakk	200,90811	0,000
V_Sakk_Iq	80,63698	0,003
Dau_Sakk	120,14301	0,001
Dau_Fix	130,13170	0,000
Dau_Fix_Iq	150,61180	0,000
Dau_Fix_600	130,82172	0,000
Amp_Lid_Iq	80,35538	0,004
Dau_Lid_190	60,77719	0,009

### Korrelationsanalyse

Die bekannte Tabelle der Korrelationsanalyse ist auf ein Minimum reduziert. Da die Parameter Dau\_Sakk sowie Amp\_Lid\_Iq und Dau\_Lid\_190 mit den anderen Parametern nicht korrelieren, treten sie in der Korrelationsmatrix nicht mehr auf. Sie dürfen jedoch nicht versehentlich unterschlagen werden. Anz\_Sakk\_2 übernimmt die Position, die ansonsten Anz\_Sakk\_1 innehatte. Bei den Sakkadengeschwindigkeiten verfügt V\_Sakk über die höhere Teststärke. Nur bei den Parametern der Fixationsdauer ist eine „größere“ Auswahl möglich. Dau\_Fix\_600 hat zwar immer noch die höheren Korrelationen, weist aber nicht die höchste Teststärke auf, so daß die Wahl auf Dau\_Fix\_Iq für die weitere Analyse fällt.

**Tabelle 55:** Korrelationsanalyse der SPON-Daten bezüglich der Bereiche

	Anz_Sakk_2	V_Sakk	Dau_Fix	Dau_Fix_Iq
V_Sakk_Iq		0,64		
Dau_Fix	-0,80			
Dau_Fix_Iq	-0,88		0,75	
Dau_Fix_600	-0,83		0,96	0,82

### Diskriminanzanalyse

Diese Diskriminanzanalyse ist so gut wie aussagenneutral und hier nur der Vollständigkeit halber aufgeführt, und um zu sehen, ob sich mit Hilfe dieser sechs Parameter eine sinnvolle

Gruppenvorhersage ermöglichen läßt. Aufgrund der eher mittleren Funktionswerte der Diskriminanzanalyse ist jedoch keine gute Voraussage zu erwarten.

**Tabelle 56:** Diskriminanzanalyse der SPON-Daten bezüglich der Bereiche

	Funk 1
V_Sakk	-0,710
Dau_Fix_Iq	0,614
Anz_Sakk_2	-0,595
Dau_Sakk	0,541
Amp_Lid_Iq	-0,449
Dau_Lid_190	-0,404

### Klassifikationsmatrix

Mit 866 von 1543 (56,1%) richtig zugeordneten Messungen liegt diese Zuordnung nur unwesentlich über der bei einer Zufallsverteilung (50%). Siehe auch die Diskussion der entsprechenden Analysen der SPP-Daten auf Seite 89.

**Tabelle 57:** Klassifikationsmatrix der SPON-Daten bezüglich der Bereiche

Bereich	1	2	Row
1	<b>385</b>	286	671
2	391	<b>481</b>	872
Column	776	767	1543

## B2.4 Analyse der Parameter bezüglich der Fahrten

### Signifikanzanalyse

Das Ergebnis der Signifikanzanalyse entspricht dem der Analyse der Parameter bezüglich der Teilnehmer. Die meisten Parameter weisen hier eine etwas geringere Teststärke auf als bei obiger Analyse (als Ausnahme hervorzuheben ist hier V\_Sakk mit einem Wert für die Teststärke von 1190).

**Tabelle 58:** Signifikanzanalyse der SPON-Daten bezüglich der Fahrten

	Teststärke	Signifikanz		Teststärke	Signifikanz
Anz_Sakk_1	67,35258	0,000	Anz_Lid_1	138,11936	0,000
Anz_Sakk_2	41,62581	0,000	Anz_Lid_2	134,30754	0,000
Amp_Sakk	222,20755	0,000	Amp_Lid	575,94053	0,000
Amp_Sakk_lq	76,51843	0,000	Amp_Lid_lq	79,15547	0,000
V_Sakk	1190,28696	0,000	V_Lid	626,63038	0,000
V_Sakk_lq	139,82182	0,000	V_Lid_lq	63,22346	0,000
Dau_Sakk	192,30938	0,000	Dau_Lid	113,92110	0,000
Dau_Sakk_lq	67,93996	0,000	Dau_Lid_lq	38,12585	0,000
			Dau_Lid_190	109,28717	0,000
Dau_Fix	31,78001	0,000	Int_Lid	34,30651	0,000
Dau_Fix_lq	31,20095	0,000	Int_Lid_lq	40,11560	0,000
Dau_Fix_600	37,22986	0,000	Int_Lid_3000	100,86407	0,000

### Korrelationsanalyse

Die Korrelationsanalyse entspricht selbstverständlich der, wie sie in Tabelle 47 dargelegt ist, die Schlußfolgerungen sind entsprechend dieselben.

### Diskriminanzanalyse

Das Ergebnis der Diskriminanzanalyse sind zehn Diskriminanzfunktionen, jedoch sind nicht alle Diskriminanzfunktionen auch mit einem am höchsten ladenden Parameter besetzt (die Diskriminanzfunktionen 8 bis 10 haben keinen am höchsten ladenden Parameter). In der Regel laden die Parameter nur auf eine Gruppe sehr hoch, nicht aber auf mehreren.

- V\_Sakk bildet alleine eine Gruppe.
- Amp\_Lid und V\_Lid bilden gemeinsam eine Gruppe (sie korrelieren mit 0,9357).
- Amp\_Sakk und Dau\_Sakk bilden auch gemeinsam eine Gruppe (sie korrelieren mit 0,7613).
- Anz\_Lid\_1 und Int\_Lid\_3000 bilden eine gemeinsame Gruppe (sie korrelieren mit 0,8412; Int\_Lid\_3000 lädt noch auf die Funktion 6, die von Dau\_Fix\_600 dominiert wird).
- Dau\_Lid\_190 ist eine Gruppe für sich (lädt aber auch noch auf die Funktion 9, die ohne führenden Parameter geblieben ist).

- Dau\_Fix\_600 stellt auch eine eigene Gruppe dar (lädt noch etwas auf die Funktionen 7 und 10, letztere ist ohne führenden Parameter geblieben).
- AnzSakk\_1 ist eine eigene Gruppe.

Das Ergebnis der Diskriminanzanalyse bilden sieben Gruppen, wobei die Gruppen, die aus zwei Parametern bestehen, auch schon vorher hohe Korrelationen aufzeigten. Die Eindeutigkeit der Zuordnung und die Höhe der Funktionswerte der Diskriminanzfunktion lassen eine gute Vorhersagefähigkeit der Diskriminanzfunktionen erwarten.

**Tabelle 59:** Diskriminanzanalyse der SPON-Daten bezüglich der Fahrten

	Funk 1	Funk 2	Funk 3	Funk 4	Funk 5
Amp_Sakk	<b>0,848</b>	-0,096	0,205	0,269	-0,029
Dau_Sakk	<b>0,786</b>	-0,044	0,011	0,062	-0,225
V_Sakk	0,021	<b>0,844</b>	-0,272	0,333	0,195
Amp_Lid	-0,221	0,286	<b>0,746</b>	-0,092	0,258
V_Lid	-0,262	0,375	<b>0,702</b>	0,179	0,118
Anz_Lid_1	-0,259	-0,149	0,207	<b>0,713</b>	0,140
Int_Lid_3000	0,208	-0,143	-0,049	<b>0,672</b>	0,330
Dau_Lid_190	0,204	0,046	0,099	-0,051	<b>-0,631</b>
Dau_Fix_600	0,000	-0,043	-0,006	0,036	0,244
Anz_Sakk_1	0,385	-0,028	0,125	0,202	-0,109

Fortsetzung Tabelle 59

	Funk 6	Funk 7	Funk 8	Funk 9	Funk 10
Amp_Sakk	0,022	-0,031	-0,060	-0,123	-0,369
Dau_Sakk	0,092	0,135	0,122	0,399	-0,354
V_Sakk	-0,120	-0,054	0,078	-0,176	-0,097
Amp_Lid	-0,308	-0,010	0,289	0,224	-0,097
V_Lid	0,258	0,137	-0,325	0,239	0,064
Anz_Lid_1	-0,254	0,323	0,285	0,258	-0,157
Int_Lid_3000	0,506	0,126	-0,045	-0,255	0,187
Dau_Lid_190	0,179	0,343	0,248	-0,523	0,246
Dau_Fix_600	<b>0,630</b>	0,472	-0,206	-0,277	0,445
Anz_Sakk_1	0,582	<b>-0,598</b>	0,248	-0,141	0,068

### Klassifikationsmatrix

Aus der Klassifikationsmatrix läßt sich ablesen, daß 1333 von 1433 Messungen (93,0%) den Fahrten richtig zugeordnet werden können. Bei einer Zufallsverteilung wäre eine Trefferquote von 5,6% zu erwarten gewesen. Dies ist ein überragend deutliches Ergebnis.

### B3 Gesamtbetrachtung zur Reduktion der Parameter der spontanen Blickverteilung

Ähnlich wie bei den Parametern des Springenden Punktes scheint es sinnvoll, eine Reduktion der verfügbaren Parameter durchzuführen, jedoch geschieht dies bei den Daten der spontanen Blickverteilung unter anderen Voraussetzungen. Ging es bei den Daten des Springenden Punktes im Wesentlichen darum, aus jeder Parametergruppe den oder, wie sich dann gezeigt hat, die bestgeeigneten Parameter auszuwählen, wobei die Systematik, mit der die verschiedenen Parameter zusammenhängen, deutlich klarer und vor allem einfacher war, so stellt sich hier die Frage unter einem gänzlich anderen Vorzeichen: Einerseits existieren mehr völlig unterschiedliche Parameter als beim Springenden Punkt, andererseits setzt sich die Parametervielfalt beinahe zur Hälfte aus Teilmengen der eigentlichen Parameter zusammen. Eine schlichte Auswahl, ob die eine oder andere Teilmenge besser oder schlechter geeignet ist, in die reduzierte Parameterliste aufgenommen zu werden, vereinfacht die Fragestellung einer Reduktion der Parameter auf eine nur unbefriedigende Weise.

**Tabelle 60:** Klassifikationsmatrix der SPON-Daten bezüglich der Fahrten

Fahrtnummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Row
1	<b>54</b>			3				1											58
2		<b>50</b>																	50
3			<b>82</b>									2			1				85
4	10	2		<b>105</b>				5		1									123
5	1		2	1	<b>14</b>														18
6						<b>41</b>											1	1	43
7							<b>98</b>			3	2	3							106
8		1		2				<b>80</b>		1									84
9									<b>79</b>						1				80
10							3	1		<b>71</b>	9	1							85
11							2			2	<b>87</b>								91
12							2				13	<b>70</b>				2			87
13													<b>51</b>		2				53
14														<b>72</b>					72
15			1										7		<b>75</b>				83
16	2															<b>71</b>	1	1	75
17	3																<b>121</b>		124
18						1										2	1	<b>112</b>	116
Column	70	53	85	111	14	42	105	87	79	78	111	76	58	73	80	73	124	114	1433

Bei den Parametern des Springenden Punktes war eine Menge von vier avisiert worden (was sich dann auch erfüllte, obwohl sich die Zusammensetzung dieser Parameterliste nicht in der Form ergab, wie es erwartet wurde), eine Parameterliste für die spontanen Blickverteilungen in dieser Größenordnung wäre wünschenswert. Der eigentliche Grund, warum nicht wesentlich mehr als vier verschiedene Parameter in der Liste der reduzierten Parameter sein sollten, liegt darin, daß keine Konzepte bekannt sind, die wesentlich mehr als vier Dimensionen beinhalten. (Zum Beispiel kommt der EZ34-Fragebogen mit vier Dimensionen aus, der TLX-Fragebogen benutzt sechs, kumuliert sie dann jedoch auf eine einzige, der BLV-Fragebogen, der als Basis für die Befragung mittels Proteus diente, geht auch von vier verschiedenen Dimensionen aus.) Wesentlich mehr als vier Dimensionen, um Beanspruchung oder Monotonie zu beschreiben, wären also eher unwahrscheinlich.

Die weitere Vorgehensweise lehnt sich an der bereits erfolgreich mit den Springenden Punkt-Daten praktizierten an. Die Parameter werden an der Vorhersagegüte der verschiedenen Befragungsmethoden gemessen. Eine Besonderheit gegenüber den Springenden Punkt-Daten besteht darin, daß bereits vielfältige Untersuchungen zum spontanen Blickverhalten vorliegen, die zur Analyse/Interpretation der Analyseschritte jeweils mit herangezogen werden können.

Die bereits mehrfach aufgezeigte deutliche Trennung der Parameter der spontanen Blickverteilung in ihre verschiedenen Quellen (Sakkaden/Lidschläge) wird hier nicht nur beibehalten, sondern zum Prinzip erhoben. Alle folgenden Analysen werden für beide Parametergruppen getrennt vorgenommen.

Von den ursprünglich 23 Parametern der spontanen Blickverteilung haben sich bei den Sakkadenparametern die folgenden fünf für eine weitergehende Betrachtung qualifiziert:

- Anz\_Sakk\_1 Anzahl der Sakkaden (bei einer Analyse liegt Anz\_Sakk\_2 vorne)
- Amp\_Sakk Sakkadenamplitude
- V\_Sakk Sakkadengeschwindigkeit
- Dau\_Sakk Sakkadendauer
- Dau\_Fix\_600 Anzahl der Fixationen, die länger als 600msec andauern (bei einer Analyse bekam Dau\_Fix\_Iq den Zuschlag)

Bei den Lidschlägen sind es diese fünf Parameter:

- Anz\_Lid\_1 Anzahl der Lidschläge
- Amp\_Lid Lidschlußamplitude (bei einer Analyse wird Amp\_Lid\_Iq favorisiert)
- V\_Lid Lidschlußgeschwindigkeit (einmal liegt V\_Lid\_Iq vorne)
- Dau\_Lid\_190 Anzahl der Lidschlußdauern, die länger als 190msec andauern
- Int\_Lid\_3000 Anzahl der Lidschlußintervalle, die länger als 3000msec andauern

Deutlich ist an der obigen Aufzählung abzulesen, daß aus jeder Parametergruppe ein Vertreter in die nächsten Auswerteschritte einbezogen wird.

### B3.1 Implikationen bezüglich der Befragung mittels Proteus

In Tabelle 61 und den nächsten Tabellen sind bereits nur noch die Korrelationen eingetragen, die zum einen hoch signifikant sind, zum anderen einen Korrelationskoeffizienten größer als 0,3 aufweisen, wie es bereits mit Erfolg für die Analysen der SPP-Daten angewendet wurde. Für Tabelle 61 hat diese Vorgehensweise ein wenig verheerende Konsequenzen, drei Werte

**Tabelle 61:** Korrelationsanalysen der SPON-Daten bezüglich der Befragung mittels Proteus

<b>Sakkaden</b>	Abgelenkt	Interessiert	Schläfrig	Aufmerksam	Gelangweilt	Wach
Amp_Sakk	-0,43					
<b>Lidschläge</b>	Abgelenkt	Interessiert	Schläfrig	Aufmerksam	Gelangweilt	Wach
Dau_Lid_190		-0,33			0,32	

verdienen in aller Regel mitnichten den Ausdruck Tabelle.

Es bleibt dennoch festzuhalten, daß diese drei Korrelationen zwischen Sakkadenamplituden und Abgelenkt sowie zwischen Anzahl der Lid-schlußdauern länger als 190msec und Interessiert sowie Gelangweilt auftreten. Dies hebt in dieser ersten Analyse die beiden physiologischen Parameter in besonderer Weise hervor.

### B3.2 Implikationen bezüglich des TLX- und des EZ34-Fragebogens

Im Gegensatz zu den Ergebnissen der vorherigen Analyse ist Tabelle 62 noch immer sehr gut gefüllt.

#### Sakkaden

Bei den Ergebnissen der Sakkadenparameter lassen sich zwei Parameter hervorheben: Anz\_Sakk\_1 und Amp\_Sakk. Diese beiden Parameter korrelieren zwar, abgesehen von jeweils einem Fragebogenparameter, viermal mit denselben Parametern, jedoch bergen die verbleibenden Parameter keinen zusätzlichen Erkenntnisgewinn. Die Korrelationen des Parameters V\_Sakk werden vollständig auch von Amp\_Sakk erklärt (ein kleiner Wermutstropfen bleibt an dieser Stelle, da V\_Sakk mit TD rund 30% höher korreliert) und die Korrelationen Dau\_Sakk werden in gleicher Weise von Anz\_Sakk\_1 erklärt.

#### Lidschläge

Bei den Lidschlägen läßt sich ähnliches wie bei den Sakkaden beobachten. Der Parameter Int\_Lid\_3000 wird vollständig von Anz\_Lid\_1 abgedeckt, ebenso ist Amp\_Lid in V\_Lid vollständig erklärt. Der Parameter Dau\_Lid\_190 belegt völlig andere Korrelationen als die bereits erwähnten und steht somit für sich allein.

### B4 Anwendung der reduzierten Parameterliste der spontanen Blickverteilungen

Obige Analysen ergeben diese fünf Parameter für die reduzierte Parameterliste der spontanen Blickverteilungen:

**Tabelle 63:** Reduzierte Parameterliste der spontanen Blickverteilung

#### Sakkaden:

- Anz\_Sakk\_1 Anzahl der Sakkaden
- Amp\_Sakk Sakkadenamplitude

#### Lidschläge:

- Anz\_Lid\_1 Anzahl der Lidschläge
- V\_Lid Lidschlußgeschwindigkeit
- Dau\_Lid\_190 Anzahl der Lidschläge, die länger als 190msec andauern

Wie schon bei der Analyse der Daten des Springenden Punktes werden im folgenden die fünf Parameter der reduzierten Parameterliste bezüg-

**Tabelle 62:** Korrelationsanalysen der SPON-Daten bezüglich TLX- und EZ34-Fragebogen

Sakkaden	MWWL	MD	PD	TD	OP	EF	FR	MOOD	DEFI	EFFI	TENS
		Mental Demand	Physical Demand	Temporal Demand	Operational Performance	Effort	Frustration	Mood	Defizienz	Effizienz	Tension
Anz_Sakk_1		-0,34	-0,37	0,40	0,39				0,33		
Amp_Sakk		-0,41	-0,36	0,40	0,50		-0,31				
V_Sakk				-0,58			0,33				
Dau_Sakk		-0,31	-0,32		0,31				0,34		
Lidschläge	MWWL	MD	PD	TD	OP	EF	FR	MOOD	DEFI	EFFI	TENS
Anz_Lid_1	-0,40	-0,41	-0,31					0,51			0,31
Amp_Lid	-0,39					-0,43			0,41		0,40
V_Lid	-0,43	-0,33	-0,34			-0,45			0,47		0,45
Dau_Lid_190				0,44	0,30						
Int_Lid_3000	0,36	0,32	0,30					-0,53			

lich ihrer Vorhersagekraft für das Fahrerverhalten bei den unterschiedlichen Soundbedingungen sowie das Fahrerverhalten der einzelnen Versuchsteilnehmer getestet, und es wird der Zeitverlauf der Daten dieser Parameter in der bekannten Form analysiert.

B4.1 Anwendung auf die Sounds

Beim Betrachten der Tabellen fällt auf, daß sowohl Anz\_Sakk\_1 als auch Anz\_Lid\_1 keinen wesentlichen, über den der anderen Parameter hinausgehenden Beitrag leisten. In dem einen Fall, in dem Anz\_Sakk\_1 einen eigenen Beitrag leistet (SD2-tief, Anz\_Sakk\_1 – OP), liegt die Korrelation mit 0,3077 nur ganz knapp über dem Ausschlußkriterium von 0,3.

**Tabelle 64:** Korrelationsanalysen Proteusbefragung – spontane Blickverteilung (die Sounds einzeln)

<b>SD0</b>	Abgelenkt	Interessiert	Schläfrig	Aufmerksam	Gelangweit	Wach
Amp_Sakk		-0,33				
V_Lid	-0,41		-0,31	0,37		0,33
<b>SD1</b>	Abgelenkt	Interessiert	Schläfrig	Aufmerksam	Gelangweit	Wach
Anz_Sakk_1				0,31		0,31
Amp_Sakk	-0,46		-0,31	0,56		0,51
Anz_Lid_1		0,44				
V_Lid		0,35	0,45			
Dau_Lid_190	-0,30	-0,57				
<b>SD2</b>	Abgelenkt	Interessiert	Schläfrig	Aufmerksam	Gelangweit	Wach
Amp_Sakk	-0,44					
Anz_Lid_1	-0,50					
V_Lid	-0,42	0,30				
Dau_Lid_190	-0,32					

**Tabelle 65:** Korrelationsanalysen TLX- und EZ34-Fragebogen – spontane Blickverteilung (die Sounds einzeln)

<b>SD0</b>	MWWL	MD	PD	TD	OP	EF	FR	MOOD	DEFI	EFFI	TENS
		Mental Demand	Physical Demand	Temporal Demand	Operational Performance	Effort	Frustration	Mood	Defizienz	Effizienz	Tension
Anz_Sakk_1				0,38	0,44				0,35		
Amp_Sakk		-0,35		0,49	0,68						
Anz_Lid_1		-0,42						0,39			
V_Lid	-0,57	-0,35	-0,52			-0,55	-0,80	-0,51	0,68	-0,66	0,64
Dau_Lid_190				0,48	0,38			-0,48			
<b>SD1</b>	MWWL	MD	PD	TD	OP	EF	FR	MOOD	DEFI	EFFI	TENS
Anz_Sakk_1		-0,41	-0,49	0,59					0,41		0,34
Amp_Sakk		-0,63	-0,71	0,68		-0,46	-0,34		0,63		0,68
Anz_Lid_1	-0,59	-0,46	-0,36		-0,43			0,64	0,46		0,32
V_Lid				-0,38	-0,37		0,55				
Dau_Lid_190	0,63				0,68		-0,24	-0,62			
<b>SD2</b>	MWWL	MD	PD	TD	OP	EF	FR	MOOD	DEFI	EFFI	TENS
Anz_Sakk_1	-0,38		-0,45		0,3077						0,35
Amp_Sakk	-0,57		-0,59	0,31			-0,59			0,30	0,34
Anz_Lid_1	-0,60	-0,63	-0,50			-0,67		0,36	0,36	-0,35	0,38
V_Lid	-0,46	-0,81	-0,31	-0,32		-0,79		0,40	0,40	-0,62	0,31
Dau_Lid_190		-0,32		0,52			0,31			-0,47	

Die verbleibenden drei physiologischen Parameter ergänzen sich dagegen häufig sehr gut, so daß ein großer Anteil der Parameter aus der Befragung mittels Proteus oder der Fragebögen erklärt werden kann.

Die Korrelationen, wie sie in Tabelle 61 und Tabelle 62 auftreten, werden gelegentlich unter den verschiedenen Soundbedingungen repliziert, das Bild gleicht somit dem von Tabelle 30 und Tabelle 31, das auf den Analysen des Springenden Punktes beruht.

#### B4.2 Anwendung auf die Teilnehmer

Auch hier, wie schon im Abschnitt zuvor, ist deutlich zu sehen, daß die beiden Parameter Anz\_Sakk\_1 sowie Anz\_Lid\_1 kaum den anderen Parametern etwas hinzufügen können. Einzig unter den Korrelationen zwischen den beiden genannten Parametern und einigen Parametern der Befragung mittels Proteus treten bei den Teilnehmern 2 und 4 von den anderen Parametern abweichende Korrelationen auf.

Bei den Korrelationen mit den Fragebögen ist häufig eine sehr gute Vorhersage möglich.

**Tabelle 66:** Korrelationsanalysen Proteusbefragung – spontane Blickverteilung (die Teilnehmer einzeln)

<b>TN 1</b>	Abgelenkt	Interessiert	Schläfrig	Aufmerksam	Gelangweilt	Wach
Anz_Sakk_1	-0,38		0,44	-0,42		-0,40
Amp_Sakk	-0,39		0,42	-0,46		-0,43
V_Lid	-0,33		0,31	-0,38		-0,36
<b>TN 2</b>	Abgelenkt	Interessiert	Schläfrig	Aufmerksam	Gelangweilt	Wach
Anz_Sakk_1	0,55		-0,34		0,37	0,34
V_Lid	0,48			-0,31	0,50	
<b>TN 3</b>	Abgelenkt	Interessiert	Schläfrig	Aufmerksam	Gelangweilt	Wach
Amp_Sakk			-0,31			
V_Lid	-0,31	0,47		0,35		
<b>TN 4</b>	Abgelenkt	Interessiert	Schläfrig	Aufmerksam	Gelangweilt	Wach
Anz_Sakk_1				0,30		
Anz_Lid_1		0,36	0,45	-0,41		-0,52
V_Lid			0,34			
<b>TN 5</b>	Abgelenkt	Interessiert	Schläfrig	Aufmerksam	Gelangweilt	Wach
Amp_Sakk	0,46	-0,43	0,57			-0,58
Anz_Lid_1	0,45	-0,32	0,37			-0,32
V_Lid	-0,44	0,36	-0,31			0,39
Dau_Lid_190						
<b>TN 6<sup>14</sup></b>	Abgelenkt	Interessiert	Schläfrig	Aufmerksam	Gelangweilt	Wach

<sup>14</sup> Für Teilnehmer 6 ergeben sich gar keine signifikanten Korrelationen höher als 0,3.

**Tabelle 67:** Korrelationsanalysen TLX- und EZ34-Fragebogen – spontane Blickverteilung (die Teilnehmer einzeln)

TN 1 <sup>15</sup>	MWWL	MD	PD	TD	OP	EF	FR	MOOD	DEFI	EFFI	TENS
		Mental Demand	Physical Demand	Temporal Demand	Operational Performance	Effort	Frustration	Mood	Defizienz	Effizienz	Tension
Anz_Sakk_1		0,59		-0,55			0,48	.	.	.	.
Amp_Sakk		0,83	0,64	-0,59		0,64	0,81	.	.	.	.
Anz_Lid_1		-0,37		0,38				.	.	.	.
V_Lid		0,85	0,69	-0,58	0,35	0,69	0,85	.	.	.	.
Dau_Lid_190	0,70		0,39	0,54	0,62	0,39		.	.	.	.
TN 2	MWWL	MD	PD	TD	OP	EF	FR	MOOD	DEFI	EFFI	TENS
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TN 3	MWWL	MD	PD	TD	OP	EF	FR	MOOD	DEFI	EFFI	TENS
Amp_Sakk	-0,53	-0,51				-0,71	-0,37	-0,45			
Anz_Lid_1						-0,36	-0,38				
V_Lid				-0,81			0,51		0,38		-0,54
Dau_Lid_190						0,33					
TN 4	MWWL	MD	PD	TD	OP	EF	FR	MOOD	DEFI	EFFI	TENS
Anz_Sakk_1	0,42	-0,42	0,42	0,42	0,34		-0,31			0,34	0,31
Amp_Sakk	0,48	-0,48	0,48	0,48	0,48					0,48	
Anz_Lid_1	-0,55	0,55	-0,55	-0,55	-0,48		0,35			-0,48	-0,35
V_Lid	-0,35	0,35	-0,35	-0,35	-0,59	-0,65	-0,36	-0,65	0,65	-0,59	0,36
Dau_Lid_190						-0,31		-0,31	0,31		
TN 5	MWWL	MD	PD	TD	OP	EF	FR	MOOD	DEFI	EFFI	TENS
Amp_Sakk	0,53	-0,30	0,53		0,30	0,61	0,61	0,61		0,61	-0,53
Anz_Lid_1	0,49	-0,34	0,49		0,34	0,43	0,43	0,43		0,43	-0,49
V_Lid	-0,75	0,70	-0,75	0,50	-0,70	-0,35	-0,35	-0,35	-0,50	-0,35	0,75
Dau_Lid_190	-0,30		-0,30		-0,48	-0,48	-0,48		-0,48	0,30	
TN 6	MWWL	MD	PD	TD	OP	EF	FR	MOOD	DEFI	EFFI	TENS
Anz_Sakk_1					0,41		-0,41	-0,41	0,38	0,41	-0,41
Amp_Sakk			0,33	-0,52	0,71	0,73	-0,71	-0,71	0,80	0,71	-0,71
Anz_Lid_1				0,48	-0,62	-0,66	0,62	0,62	-0,70	-0,62	0,62
V_Lid	-0,46	-0,46		0,73	-0,60	-0,85	0,60	0,60	-0,80	-0,60	0,60
Dau_Lid_190	-0,38	-0,38		0,56	-0,42	-0,64	0,42	0,42	-0,58	-0,42	0,42

### B4.3 Zeitlicher Verlauf der Parameter der Spontanen Blickverteilungen

Eine Parameterreduktion der spontanen Blickverteilung um die Parameter Anz\_Sakk\_1 und Anz\_Lid\_1 scheint sinnvoll (siehe oben), so daß hier nur noch die drei verbliebenen Parameter Amp\_Sakk, V\_Lid und Dau\_Lid\_190 betrachtet werden.

Um diese drei Parameter sinnvoll in jeweils einer Abbildung darstellen zu können, wurde die Lidschlußgeschwindigkeit mit zehn dividiert.

<sup>15</sup> Bei den Teilnehmern 1 und 2 gibt es für einige Korrelationen wie auch schon bei den Analysen der Daten des Springenden Punktes nicht ausreichend viele Daten, so daß dort ein „.“ als Kennzeichen fehlender Korrelationen steht (siehe auch Tabelle 33 mit der dazugehörigen Fußnote).

Ansonsten entspricht die Darstellung weitgehend derjenigen, der Daten des Springenden Punktes (für jeden Teilnehmer, TN 1 bis TN 6, für jede Soundbedingung, SD0-ohne, SD1-hoch und SD2-tief; selbstverständlich ist die Unterteilung in hohe und tiefe Frequenzbereiche weggefallen). Dem schließt sich eine Tabelle an, welche die Mittelwerte, Standardabweichungen und Regressionskoeffizienten der drei Parameter (Amp\_Sakk, V\_Lid und Dau\_Lid\_190) jeweils für die Gesamtstichprobe (Entire), den Teilnehmer (TN 1 bis TN 6) sowie für die einzelnen Soundbedingungen (SD0-ohne, SD1-hoch und SD2-tief, nur hierfür sind die Regressionskoeffizienten verfügbar) enthält. Nebenstehende Legende gilt für alle sechs Teilnehmer.

- ◆ Amp\_Sakk
- V\_Lid/10
- ▲ Dau\_Lid\_190

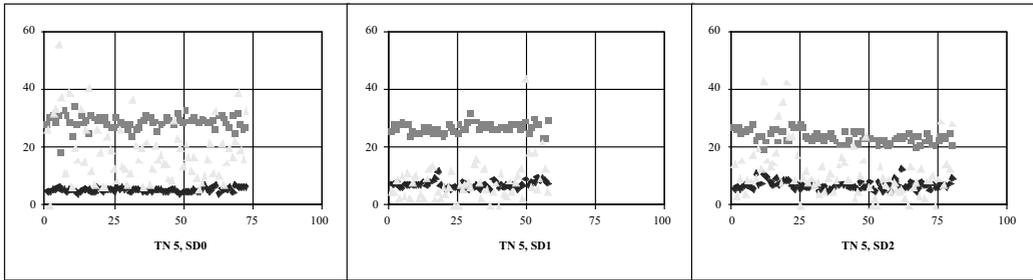
Eine Unterteilung für die Diskussion der Ergebnisse in der Form, wie sie für die Parameter des Springenden Punktes vorgenommen wurde, ist hier nicht möglich, so daß die drei Parameter einfach nur getrennt voneinander betrachtet werden. Eingeleitet wird die Diskussion durch einen kurzen Abschnitt „Allgemeines“, der jeweils identisch ist mit dem des Kapitels Ergebnisdarstellung/Ergebnisse des Springenden Punktes.

Auch bei den nun folgenden Abbildungen müssen die unterschiedlichen Wertebereiche der Abbildungen berücksichtigt werden. Die Ordinate reicht in den meisten Fällen von 0 bis 100, in fünf Fällen jedoch bis 160, die Abszisse reicht in den meisten Fällen von 0 bis 60, in zwei Fällen jedoch bis 90; abgesehen von der Beschriftung (und den dargestellten Daten) unterscheiden sich die Abbildungen nicht voneinander.

Auf der Abszisse sind die Nummern (chronologisch) der einzelnen Meßbereiche aufgetragen. Ein Meßbereich hatte in der Regel eine Dauer von zirka zwei Minuten (abhängig von der Anzahl der Sakkaden oder Lidschläge, dies hat seine Ursache in der Software, mit der die Daten aufgezeichnet wurden, die nur eine endliche Menge an Sakkaden oder Lidschlägen registrieren konnte und sie dann in einer kleinen Pause von zirka einer Minute auf den Datenträger schrieb). Auf der Ordinate gelten wie gehabt für die drei Parameter unterschiedliche Einheiten: Amp\_Sakk wird in  $^{\circ}$  aufgetragen. Da nur der

Betrag der Sakkadenamplitude betrachtet wird, existieren nur positive Werte, die theoretisch von  $0^{\circ}$  bis fast  $200^{\circ}$  reichen können. Hier sollten die Werte um den Betrag einer Standardsakkadenamplitude von  $7^{\circ}$  liegen. V\_Lid wird in  $^{\circ}/10$  sec aufgetragen, in den Tabellen sind die Werte jedoch wieder mit der Einheit  $^{\circ}/sec$  dargestellt. Die Werte dieses Parameters können laut zitierter Literatur bis zu  $600^{\circ}/sec$  reichen, bewegen sich hier allerdings in der Größenordnung zwischen 100 und  $200^{\circ}/sec$  (was auch von der geringen Sakkadenamplitude abhängt). Ein Wert „0“ bedeutet natürlich wieder, daß keine Lidschläge ausgeführt wurden, nicht, daß sie ohne Geschwindigkeit verliefen. Dau\_Lid\_190 wird in „Anzahl“ aufgetragen, dies ist auch der einzige Parameter, der gelegentlich den Wert „0“ aufweist. Im Gegensatz zu den Darstellungen des Springenden Punktes und der Lidschlußgeschwindigkeit bedeutet „0“ hier wirklich, daß keine Lidschlußdauern länger als 190msec während eines Meßbereiches stattgefunden haben.

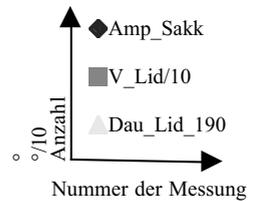
**Teilnehmer 1**



**Abbildung 45:** Zeitlicher Verlauf der SPON-Parameter des TN 1

**Tabelle 68:** Mittelwerte, Standardabweichungen und Regressionskoeffizienten der SPON-Parameter des TN 1

	Amp_Sakk			V_Lid			Dau_Lid_190		
	Mean	Std Dev	Regress	Mean	Std Dev	Regress	Mean	Std Dev	Regress
Entire	7,7	2,5		167,5	59,6		13,8	11,4	
TN 1	7,8	2,3		196,2	45,9		5,3	5,3	
SD0	6,8	1,1	-0,02	170,4	48,9	1,06	1,8	4,5	-0,12
SD1	5,6	1,1	0,00	167,5	25,2	0,01	10,0	4,7	0,04
SD2	10,0	1,5	0,00	235,3	14,0	-0,18	5,4	3,9	0,01



**Allgemeines**

Versuchsleiter: Janßen  
 Reihenfolge der Soundmodifikationen: SD0-ohne, SD1-hoch, SD2-tief

**Sakkadenamplituden**

Die Sakkadenamplituden bewegen sich im Mittel auf dem Niveau der Gesamtstichprobe, jedoch sind unter den verschiedenen Soundbedingungen größere Abweichungen festzustellen.

Unter der Soundbedingung SD0-ohne ist ein wellenförmiger Verlauf der Sakkadenamplituden zu beobachten, der drei relative Maxima aufzuweisen hat: eines kurz nach Anfang der Meßstrecke, ein zweites bei zirka dem 50sten Meßbereich und ein letztes am Ende der Meßstrecke. Ein solch deutlicher wellenförmiger Verlauf ist unter den anderen beiden Soundbedingungen nicht zu sehen, es sei denn, die Frequenz hat sich erheblich verkürzt.

**Lidschlußgeschwindigkeit**

Die Lidschlußgeschwindigkeit hält sich unter den Soundbedingungen SD0-ohne und SD1-

hoch auf einem gleichbleibenden Niveau (der Regressionskoeffizient für SD0-ohne von 1 ist nur durch das Fehlen von Lidschlägen in den Meßbereichen 6 bis 9 zu erklären, dies ist in der Abbildung nicht gut zu sehen), wie er auch dem Mittelwert der Gesamtstichprobe entspricht, unter Soundbedingung SD2-tief erhöht sich die Lidschlußgeschwindigkeit (unter gleichzeitiger Verringerung der Varianz).

**Anzahl der Lidschläge, die länger als 190 msec andauern**

Verglichen mit der Gesamtstichprobe neigt TN 1 kaum zu längeren Lidschlägen<sup>16</sup>. Unter der Versuchsbedingung SD0-ohne fällt dies besonders auf, hier macht der Teilnehmer so gut wie keine längeren Lidschläge. Dies läßt sich nicht nur in den Abbildungen gut sehen, beeindruckend sind auch der Mittelwert von 1,8 längeren Lidschlägen und der dazugehörigen zweieinhalbmal so großen Standardabweichung (hier

<sup>16</sup> Der Begriff „längere Lidschläge“ wird im folgenden als Verkürzung des Ausdrucks „Anzahl der Lidschläge, die länger als 190msec andauern“ synonym benutzt.

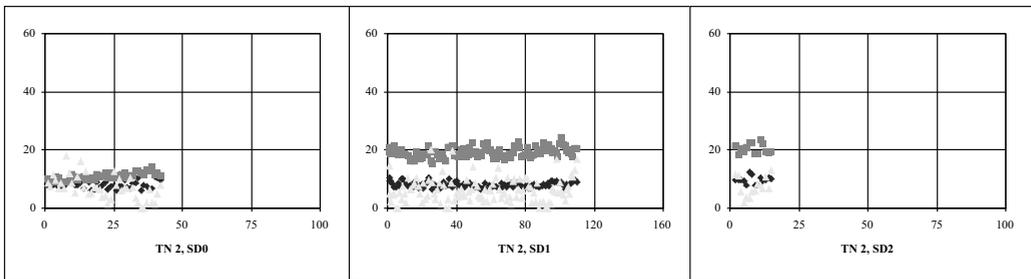
muß noch berücksichtigt werden, daß es keine negativen Werte für die Parameter geben kann).

Unter der Soundbedingung SD1-hoch macht der Teilnehmer die meisten längeren Lidschläge.

Während unter der Soundbedingung SD0-ohne eine mit der Zeit deutlich abnehmende Tendenz zu längeren Lidschlägen anhand der Regressionskoeffizienten zu beobachten ist, ist bei den anderen Soundbedingungen eine ganz leichte

Zunahme zu beobachten. In den Abbildungen läßt sich die abnehmende Tendenz nicht nachvollziehen, dort sieht es so aus, als bestes auch hier eine konstante Neigung zu längeren Lidschlägen, die jedoch durch einige recht frühe längere Lidschläge unterbrochen wird, so daß der Korrelationskoeffizient hierdurch massiv beeinflußt wird. Es besteht die Möglichkeit, diese frühen längeren Lidschläge als Ausreißer zu betrachten.

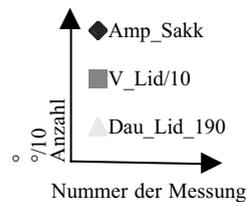
**Teilnehmer 2**



**Abbildung 46:** Zeitlicher Verlauf der SPON-Parameter des TN 2

**Tabelle 69:** Mittelwerte, Standardabweichungen und Regressionskoeffizienten der SPON-Parameter des TN 2

	Amp_Sakk			V_Lid			Dau_Lid_190		
	Mean	Std Dev	Regress	Mean	Std Dev	Regress	Mean	Std Dev	Regress
Entire	7,7	2,5		167,5	59,6		13,8	11,4	
TN 2	8,1	1,2		171,0	39,6		6,4	4,1	
SD0	8,0	1,3	0,03	109,1	12,4	1,78	6,9	4,0	-0,40
SD1	7,9	1,0	-0,00	190,3	17,4	0,43	6,1	4,1	0,02
SD2	9,7	1,3	0,13	204,2	16,8	0,35	7,3	3,3	0,45



**Allgemeines**

Versuchsleiter: Reitter  
 Reihenfolge der Soundmodifikationen: SD1-hoch, SD2-tief, SD0-ohne

Die Fahrt TN 2, SD2-tief mußte aufgrund eines technischen Defektes bereits kurz vor Rostock vom Versuchsleiter abgebrochen werden. Sie geht in allen Analysen als erste Hälfte der Versuchsstrecke ein, auf eine zweite Hälfte muß jedoch verzichtet werden.

Die Fahrt TN 2, SD0-ohne wurde kurz vor Ende der Versuchsstrecke wegen Ermüdung des Teilnehmers vom Versuchsleiter abgebrochen.

**Sakkadenamplituden**

Die Sakkadenamplituden sind (unter Vernachlässigung der Daten von SD2-tief) nur etwas größer als die der Standardstichprobe, ansonsten jedoch in keiner Form auffällig.

**Lidschlußgeschwindigkeit**

Unter der Soundbedingung SD0-ohne führt Teilnehmer 2 verglichen mit den anderen beiden Soundbedingungen sowie mit den Mittelwerten der Gesamtstichprobe nur sehr langsame Lidschläge aus, dies bei einer bemerkenswert geringen Streuung. Weiter ist an dieser Versuchsbe-

dingung der überaus deutliche Anstieg der Lidschlußgeschwindigkeit während der Versuchsdauer zu bemerken.

Unter der Soundbedingung SD1-hoch ist ebenso wie unter SD0-ohne ein Anstieg zu beobachten, jedoch nicht in derselben Stärke und mit einer deutlich höheren Streuung.

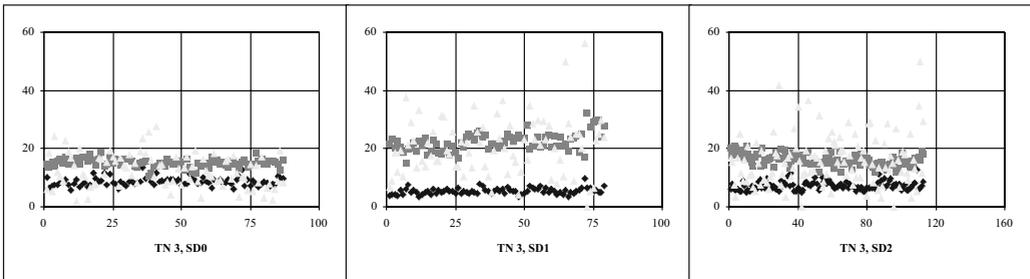
**Anzahl der Lidschläge, die länger als 190 msec andauern**

Teilnehmer 2 führt im Mittel nur halb so viele längere Lidschläge aus wie die Gesamtstichpro-

be, gelegentlich treten Meßbereiche auf, die ganz ohne längere Lidschläge auskommen.

Bei den Daten unter der Soundbedingung SD0-ohne läßt sich selbst mit bloßem Auge eine über die Versuchsdauer nachlassende Tendenz zu längeren Lidschlägen feststellen, die unter SD1-hoch nicht mehr zu bemerken ist. Der kurze, aber heftige Anstieg unter der Soundbedingung SD2-tief ist aufgrund der geringen Anzahl an Meßbereichen nicht so aussagekräftig wie die anderen beiden.

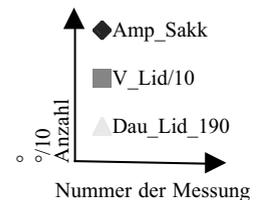
**Teilnehmer 3**



**Abbildung 47:** Zeitlicher Verlauf der SPON-Parameter des TN 3

**Tabelle 70:** Mittelwerte, Standardabweichungen und Regressionskoeffizienten der SPON-Parameter des TN 3

	Amp_Sakk			V_Lid			Dau_Lid_190		
	Mean	Std Dev	Regress	Mean	Std Dev	Regress	Mean	Std Dev	Regress
Entire	7,7	2,5		167,5	59,6		13,8	11,4	
TN 3	6,7	1,8		162,3	40,0		16,6	8,8	
SD0	7,1	1,8	0,02	137,2	19,8	0,35	15,5	7,9	-0,04
SD1	5,3	1,1	0,04	222,7	31,6	2,12	20,6	9,9	0,14
SD2	7,1	1,5	0,02	160,4	20,3	-1,01	15,8	8,7	0,16



**Allgemeines**

Versuchsleiter: Janßen  
 Reihenfolge der Soundmodifikationen: SD2-tief, SD0-ohne, SD1-hoch

TN 3 ist bei der Fahrt SD1-hoch kurz vor Ende der Autobahn (kurz nach der letzten Messung) von der Spur abgekommen und beinahe in einen Graben gefahren.

**Sakkadenamplituden**

Die Sakkadenamplituden des Teilnehmer 3 sind etwas geringer als die der Gesamtstichprobe. Dies trifft insbesondere auf die Daten der Soundbedingung SD1-hoch zu, die mit ihrer vergleichsweise geringen Streuung einen Hinweis auf den Tunnelblick bieten könnten (siehe auch TN 5 SD0-ohne und TN 6 SD0-ohne, SD1-hoch).

Ansonsten sind die Werte eher unauffällig und ändern sich auch nicht wesentlich über die Versuchsdauer.

**Lidschlußgeschwindigkeit**

Die Lidschlußgeschwindigkeiten variieren in Abhängigkeit der Soundbedingung ganz erheblich. Der Mittelwert der Meßfahrt SD2-tief liegt in derselben Größenordnung wie der der Gesamtstichprobe, bei der Meßfahrt unter Soundbedingung SD0-ohne liegt er erheblich niedriger und unter SD1-hoch erheblich höher, ohne bei den Daten von SD0-ohne und SD2-tief auffallende Streuungen aufzuweisen. Anders verhält es sich bei der Meßfahrt unter der Soundbedingung SD1-hoch, dort sind die auftretenden Streuungen auffallend hoch.

Weiter fallen die stark unterschiedlichen Korrelationskoeffizienten unter den drei verschiedenen Soundbedingungen auf. So ist bei der Meßfahrt unter SD0-ohne verglichen mit den anderen beiden Bedingungen ein moderater Anstieg

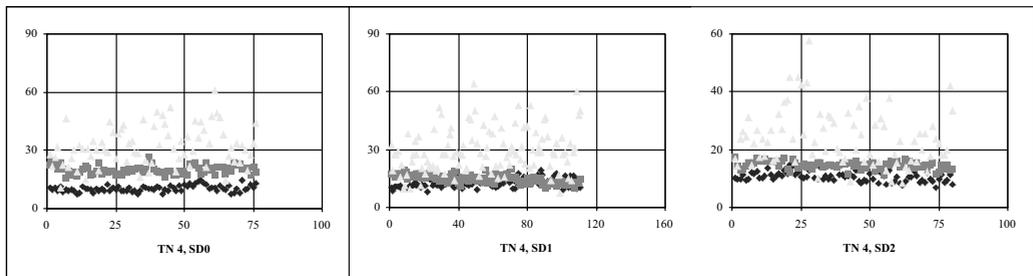
über die Versuchsdauer zu bemerken, jedoch unter SD1-hoch ein recht dramatischer Anstieg und unter SD2-tief ein immer noch bemerkenswerter Abstieg zu konstatieren.

**Anzahl der Lidschläge, die länger als 190 msec andauern**

Bei den längeren Lidschlägen fällt nicht nur die hohe Varianz in den Mittelwerten zwischen den verschiedenen Soundbedingungen auf, die insbesondere unter der Soundbedingung SD1-hoch deutlich über dem Mittel der Gesamtstichprobe liegen, sondern auch die großen Unterschiede in den Streuungen innerhalb der einzelnen Soundbedingungen.

Bei den Daten der Soundbedingungen SD1-hoch und SD2-tief ist ein leichter Anstieg der längeren Lidschläge über die Versuchsdauer zu bemerken. Unter der Soundbedingung SD0-ohne bleibt der Anteil der längeren Lidschläge über die Versuchsdauer nahezu konstant.

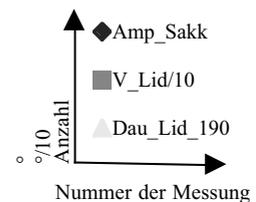
**Teilnehmer 4**



**Abbildung 48:** Zeitlicher Verlauf der SPON-Parameter des TN 4

**Tabelle 71:** Mittelwerte, Standardabweichungen und Regressionskoeffizienten der SPON-Parameter des TN 4

	Amp_Sakk			V_Lid			Dau_Lid_190		
	Mean	Std Dev	Regress	Mean	Std Dev	Regress	Mean	Std Dev	Regress
Entire	7,7	2,5		167,5	59,6		13,8	11,4	
TN 4	11,3	2,2		161,2	30,6		28,6	11,0	
SD0	10,1	1,6	0,06	198,1	21,5	0,26	32,1	10,1	0,23
SD1	12,6	2,3	0,08	147,3	22,3	-1,65	29,4	11,5	0,27
SD2	10,6	1,6	-0,06	145,3	13,1	-0,38	24,0	9,6	-0,15



**Allgemeines**

Versuchsleiter: Reitter

Reihenfolge der Soundmodifikationen: SD2-tief, SD1-hoch, SD0-ohne

Die Fahrt TN 4, SD0-ohne wurde kurz vor Ende wegen Ermüdung abgebrochen. Die Fahrt TN 4, SD2-tief wurde kurz vor Ende während eines längeren Staus abgebrochen.

**Sakkadenamplituden**

Die Sakkadenamplituden liegen deutlich über dem Mittel der Gesamtstichprobe und weisen dabei nur sehr geringe Änderungen über die Versuchsstrecke auf, jedoch zeigt Teilnehmer 4 von allen sechs Teilnehmern die größte Variation in seinen Lidschlußamplituden auf.

**Lidschlußgeschwindigkeit**

Die Lidschlußgeschwindigkeiten des Teilnehmers 4 liegen im Mittel leicht unter denen der Gesamtstichprobe, jedoch variieren sie erheblich unter den verschiedenen Soundbedingungen. Insbesondere fallen hier die Ergebnisse der Soundbe-

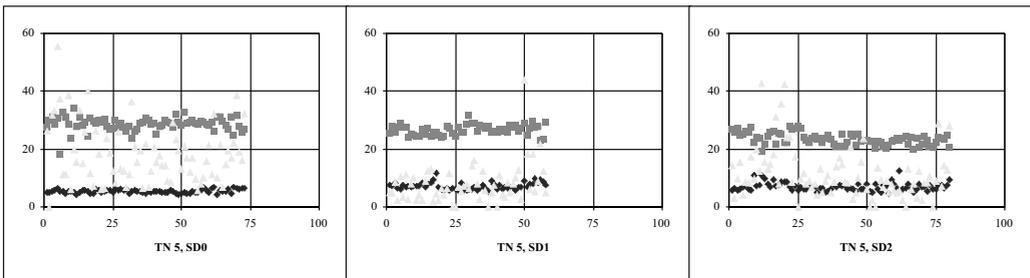
dingung SD0-ohne auf, die gut ein Drittel über denen der anderen Soundbedingungen liegen.

Auffallend ist unter der Soundbedingung SD1-hoch der starke Abfall der Lidschlußgeschwindigkeit (der Regressionskoeffizient hat einen Wert von  $-1,65$ ) bei einer im üblichen Rahmen befindlichen Standardabweichung. Solch eine starke Änderung während der Versuchsfahrt (Versuchsdauer) ist bei den anderen Soundbedingungen nicht festzustellen.

**Anzahl der Lidschläge, die länger als 190 msec andauern**

Teilnehmer 4 führt erheblich häufiger als das Mittel der Gesamtstichprobe längere Lidschläge aus. Die Anzahl der längeren Lidschläge schwankt beachtlich, teilweise werden in den relativ kurzen Meßabschnitten über 60 längere Lidschläge ausgeführt. Zu beachten ist ferner, daß unter der Soundbedingung SD2-tief verglichen mit den anderen beiden Soundbedingungen zum einen weniger längere Lidschläge auftreten, sich zum anderen unter SD2-tief im Gegensatz zu SD0-ohne und SD1-hoch ein negativer Korrelationskoeffizient ergibt.

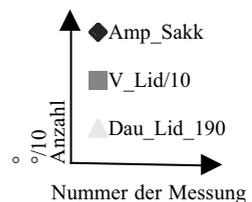
**Teilnehmer 5**



**Abbildung 49:** Zeitlicher Verlauf der SPON-Parameter des TN 5

**Tabelle 72:** Mittelwerte, Standardabweichungen und Regressionskoeffizienten der SPON-Parameter des TN 5

	Amp_Sakk			V_Lid			Dau_Lid_190		
	Mean	Std Dev	Regress	Mean	Std Dev	Regress	Mean	Std Dev	Regress
Entire	7,7	2,5		167,5	59,6		13,8	11,4	
TN 5	6,4	1,4		260,7	30,2		12,8	9,8	
SD0	5,3	0,6	0,02	285,4	23,9	0,05	18,3	10,3	-0,31
SD1	7,1	1,2	0,01	265,7	17,2	0,52	7,9	6,8	0,25
SD2	6,9	1,4	-0,01	234,5	20,2	-0,90	11,5	8,9	-0,21



## Allgemeines

Versuchsleiter: Janßen

Reihenfolge der Soundmodifikationen: SD1-hoch, SD0-ohne, SD2-tief

Der Teilnehmer TN 5 hatte bei der zweiten Fahrt (unter der Soundbedingung SD0-ohne) erhebliche Schwierigkeiten, sich an die Anweisungen bezüglich der vorgegebenen Höchstgeschwindigkeit zu halten. Seine Höchstgeschwindigkeit lag teilweise um bis zu 40 km/h über der vorgegebenen von 120 km/h, entsprechend kurz war die Versuchsdauer. Anschließend Ermahnungen, die Vereinbarungen etwas strenger zu beachten, haben bei der letzten Meßfahrt wieder zu längeren Versuchsdauern geführt.

## Sakkadenamplituden

Teilnehmer 5 führt in der Regel nur vergleichsweise kleine Sakkadenamplituden aus, besonders kleine treten unter der Soundbedingung SD0-ohne auf, die auch noch mit besonders geringen Streuungen aufwarten können.

Dies könnte wie auch bei Teilnehmer 3 unter der Soundbedingung SD1-hoch oder bei Teilnehmer 6 unter den Soundbedingungen SD0-ohne und SD1-hoch ein Hinweis auf den Tunnelblick sein, der in der populärwissenschaftlichen Literatur (Bockelmann, 1987) so häufig postuliert wurde, jedoch in wissenschaftlichen Untersuchungen noch keinen nennenswerten Niederschlag gefunden hat.

## Lidschlußgeschwindigkeit

Die Lidschlußgeschwindigkeiten des Teilnehmers 5 liegen erheblich über denen der Gesamtstichprobe. Besonders bemerkenswert sind jedoch die Korrelationskoeffizienten. Während unter der Soundbedingung SD0-ohne der Korrelationskoeffizient um „0“ liegt, sich die Lidschlußgeschwindigkeit über die Versuchsdauer nicht wesentlich ändert, steigt die Lidschlußgeschwindigkeit unter der Soundbedingung SD1-hoch deutlich an und fällt noch viel heftiger unter der Soundbedingung SD2-tief ab.

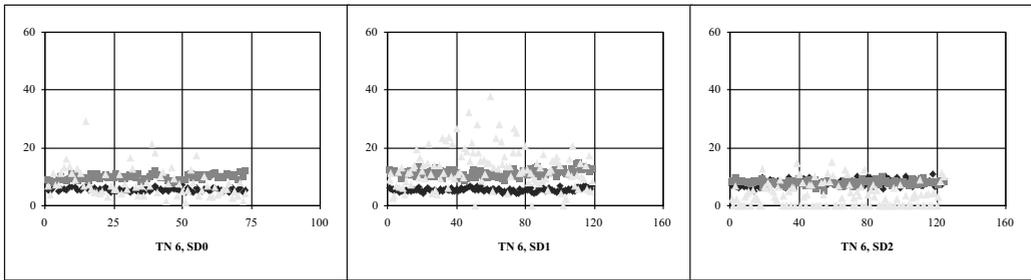
## Anzahl der Lidschläge, die länger als 190 msec andauern

Im Mittel macht Teilnehmer 5 nur einen längeren Lidschluß weniger als die Gesamtstichprobe, es treten jedoch drastische Unterschiede zwischen den verschiedenen Soundbedingungen auf. Unter der Soundbedingung SD0-ohne macht der Teilnehmer 5 2,3-mal so viele längere Lidschläge als unter der Soundbedingung SD1-hoch. Die Streuung der Meßwerte geht mit den Mittelwerten der Meßwerte einher.

Während unter der Soundbedingung SD1-hoch ein positiver Korrelationskoeffizient auftritt, ist bei den anderen Soundbedingungen ein negativer Korrelationskoeffizient mit vergleichbarem Betrag festzustellen.

Als Besonderheit sei an dieser Stelle noch auf das periodische Verhalten des Auftretens von längeren Lidschlägen zu beobachten, was sich auch deutlich in den recht hohen Standardabweichungen niederschlägt. Unter der Soundbedingung SD0-ohne gibt es zwei auffallende Gipfel, die jeweils am Anfang und Ende der Meßstrecke auftreten, unter SD1-hoch jedoch nur am Ende der Meßstrecke. Unter der Soundbedingung SD2-tief sind sogar drei Gipfel über die Versuchsstrecke verteilt zu beobachten.

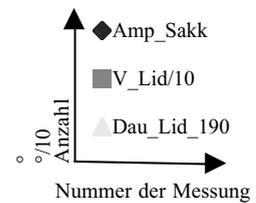
**Teilnehmer 6**



**Abbildung 50:** Zeitlicher Verlauf der SPON-Parameter des TN 6

**Tabelle 73:** Mittelwerte, Standardabweichungen und Regressionskoeffizienten der SPON-Parameter des TN 6

	Amp_Sakk			V_Lid			Dau_Lid_190		
	Mean	Std Dev	Regress	Mean	Std Dev	Regress	Mean	Std Dev	Regress
Entire	7,7	2,5		167,5	59,6		13,8	11,4	
TN 6	6,3	1,4		96,1	17,9		8,1	6,7	
SD0	5,4	0,7	-0,01	98,2	9,3	0,29	7,8	5,0	-0,14
SD1	5,4	0,6	0,01	112,6	11,4	0,23	12,9	6,8	-0,02
SD2	7,7	1,1	0,04	79,0	8,9	0,02	3,6	3,9	-0,02



**Allgemeines**

Versuchsleiter: Reitter  
 Reihenfolge der Soundmodifikationen: SD0-ohne, SD2-tief, SD1-hoch

Die Fahrt TN 6, SD0-ohne wurde kurz vor Ende wegen Ermüdung abgebrochen.

**Sakkadenamplituden**

Die Sakkadenamplituden liegen bei den Soundbedingungen SD0-ohne und SD1-hoch auffallend unter denen der Gesamtstichprobe, nur bei der Soundbedingung SD2-tief weist Teilnehmer 6 die durchschnittliche Sakkadenamplitude der Gesamtstichprobe auf. Bei allen drei Soundbedingungen ändern sich die Meßwerte nicht nennenswert mit der Versuchsdauer.

Wie schon bei der Diskussion der Ergebnisse der Teilnehmer 3 und 5 bemerkt, ist hier bei den Soundbedingungen SD0-ohne und SD1-hoch ein Verhalten zu beobachten, daß dem eines Tunnelblickes entsprechen könnte.

**Lidschlußgeschwindigkeit**

Verglichen mit der Gesamtstichprobe weist Teilnehmer 6 auffallend geringe Lidschlußgeschwindigkeiten auf.

Zwischen den Soundbedingungen variiert die Lidschlußgeschwindigkeit erheblich.

Unter den ersten beiden Soundbedingungen (SD0-ohne und SD1-hoch) ist ein leichter Anstieg der Lidschlußgeschwindigkeit über die Versuchsdauer zu beobachten, der unter der Soundbedingung SD2-tief nicht mehr in der Stärke auftritt.

**Anzahl der Lidschläge, die länger als 190 msec andauern**

Teilnehmer 6 führt im Mittel weniger längere Lidschläge durch als die Gesamtstichprobe. Besonders deutlich ist dies unter der Soundbedingung SD2-tief zu sehen, bei der häufig gar keine längeren Lidschläge auftreten. (Daß die Standardabweichung größer als der Mittelwert ist, ist, da keine negativen Werte möglich sind, als weiterer Indiz in diese Richtung zu deuten.)<sup>17</sup>

Unter der Soundbedingung SD1-hoch ist jedoch ein gänzlich anderes Verhalten des Teilnehmers zu beobachten. Gegen Hälfte der Versuchsstrecke fängt die Anzahl der längeren Lidschläge extrem (für den Teilnehmer 6 extrem) an zu streuen, gegen Ende läßt diese Tendenz wieder nach. Dadurch, daß dieses Verhalten beinahe symmetrisch ist, schlägt es sich nicht auf den (linearen) Regressionskoeffizienten nieder, und es ist auch hier dasselbe leichte Nachlassen wie unter den anderen beiden Soundbedingungen zu sehen.

## **B5 Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der spontanen Blickverteilung**

Die folgende Zusammenfassung der Ergebnisse orientiert sich an den drei Parametern, die hier ausgewertet werden. Es gehen jedoch selbstverständlich alle bisherigen Auswertungen der spontanen Blickverteilung in diese Betrachtung mit ein.

Hervorzuheben ist an dieser Stelle bereits, daß lediglich drei der ursprünglich 23 Parameter, die aus der spontanen Blickverteilung ermittelt werden, in die reduzierte Parameterliste (Amp\_Sakk, V\_Lid und Dau\_Lid\_190) aufgenommen werden können. Diese drei zeichnen sich unter anderem dadurch aus, daß sie alle drei bei der ersten groben Übersichtsanalyse (siehe Tabelle 90) nicht signifikant werden.

### **B5.1 Sakkadenamplituden**

Allgemein läßt sich als erstes für die Sakkadenamplituden feststellen, daß sie im Mittel der Gesamtstichprobe etwas größer als sieben Grad sind, was auch aus der Theorie gefordert wurde. Des weiteren fällt auf, daß die Sakkadenamplitude im Laufe der Versuchsdauer (wieder im Mittel der Gesamtstichprobe) eine nicht signifikante Tendenz hat, größer zu werden.

Bei den Analysen bezüglich der Teilnehmer, der Sounds und der Fahrten weist der Parameter Sakkadenamplitude häufig hoch signifikante Unterschiede mit bemerkenswert hohen Teststärken auf.

Außer mit dem anderen Parameter, der sich direkt aus den Sakkadenamplituden ableiten läßt (Amp\_Sakk\_Iq), korrelieren (hoch signifikant) die Sakkadenamplituden häufig mit den Sakkadendauern (Dau\_Sakk, Dau\_Sakk\_Iq) sowie mit

Abgelenkt (Befragung mittels Proteus) und den meisten Parametern des TLX-Fragebogens (jedoch nicht mit MWL), aber mit keinem der vier Parameter des EZ34-Fragebogens.

Je tiefer man die Daten analysiert (und dies gilt ebenso für die Lidschlußgeschwindigkeiten wie für die längeren Lidschläge), desto stärker weichen die sich ergebenden Bilder von den bereits aufgezeigten ab, desto stärker machen sich Unterschiede zwischen den Teilnehmern oder den Versuchsbedingungen bemerkbar. Verallgemeinerbare Aussagen lassen sich kaum mehr ableiten (siehe zum Beispiel Tabelle 64 bis Tabelle 67).

### **B5.2 Lidschlußgeschwindigkeit**

Im Überblick ändert sich die Lidschlußgeschwindigkeit im Mittel der Gesamtstichprobe kaum, sie nimmt während der Versuchsdauer nicht signifikant um 0,4°/sec ab, was einem Gleichbleiben entspricht.

Die Lidschlußgeschwindigkeiten unterscheiden sich bezüglich der Teilnehmer, der Sounds und der Fahrten bei sehr hohen Teststärken hoch signifikant.

Der Parameter Lidschlußgeschwindigkeit korreliert (hoch signifikant) häufig sehr hoch mit der anderen direkt aus der Lidschlußgeschwindigkeit ableitbaren Größe (V\_Lid\_Iq), mit den Lidschlußamplituden (Amp\_Lid, Amp\_Lid\_Iq) sowie vielen Parametern des TLX- und EZ34-Fragebogens.

### **B5.3 Anzahl der Lidschläge, die länger als 190 msec andauern**

Für die Gesamtstichprobe läßt sich aus Tabelle 90 eine leichte Verringerung der Anzahl der Lidschläge, die länger als 190 msec andauern<sup>17</sup>, über die Versuchsdauer um 1,5 ablesen.

Die längeren Lidschläge zeichnen sich bezüglich der Teilnehmer, der Sounds, der Bereiche

<sup>17</sup> Dieses Ergebnis wirkt etwas überraschend, weil die Lidschlußgeschwindigkeiten, wie erwähnt, bei diesem Teilnehmer besonders niedrig ausfallen, ein solcher Zusammenhang wurde jedoch auch nicht postuliert.

<sup>18</sup> Auch hier wird im folgenden für die unhandliche Formulierung „Anzahl der Lidschläge, die länger als 190 msec andauern“ die bereits vorher benutzte Wendung „längere Lidschläge“ synonym verwendet.

**Tabelle 74:** Mittelwerte der Gesamtpopulation bezüglich der spontanen Blickverteilung

	Amp_Sakk		V_Lid		Dau_Lid_190	
	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev
Entire	7,6844	2,4986	167,5120	59,5632	13,8000	11,3924
SD0	7,1048	2,0740	163,8624	63,3153	14,6884	11,8370
SD1	7,6211	3,0699	174,6723	52,5693	15,2416	11,6982
SD2	8,3550	2,0191	163,6431	61,9535	11,3325	10,1418

**Tabelle 75:** Rangreihenfolgen der reduzierten Parameterliste der spontanen Blickverteilung

	Sakkadenamplituden	Lidschlußgeschwindigkeit	Anzahl der Lidschläge, die länger als 190 msec andauern
Gesamtstichprobe:	SD2 > SD1 > SD0	SD1 > SD0 ≈ SD2	SD1 > SD0 > SD2
erste Versuchshälfte:	SD2 > SD1 > SD0	SD0 > SD1 > SD2	SD1 > SD0 > SD2
zweite Versuchshälfte:	SD2 > SD1 > SD0	SD1 > SD2 > SD0	SD0 ≈ SD1 > SD2
Teilnehmer 1:	SD2 > SD0 > SD1	SD2 > SD0 > SD1	SD1 > SD2 > SD0
Teilnehmer 2:	SD2 > SD0 ≈ SD1	SD2 > SD1 > SD0	SD2 > SD0 > SD1
Teilnehmer 3:	SD2 ≈ SD0 > SD1	SD1 > SD2 > SD0	SD1 > SD2 ≈ SD0
Teilnehmer 4:	SD1 > SD2 ≈ SD0	SD0 > SD1 > SD2	SD0 > SD1 > SD2
Teilnehmer 5:	SD1 > SD2 > SD0	SD0 > SD1 > SD2	SD0 > SD2 > SD1
Teilnehmer 6:	SD2 > SD0 ≈ SD1	SD1 > SD0 > SD2	SD1 > SD0 > SD2

und der Fahrten durch hoch signifikante Unterschiede bei sehr hohen Teststärken aus.

Die längeren Lidschläge erweisen sich als recht unabhängig von den anderen Parametern. Sie korrelieren (hoch signifikant) lediglich mit den anderen beiden aus der Lidschlußdauer ableitbaren Parametern (Dau\_Lid, Dau\_Lid\_Iq, sowie mit Interessiert und Gelangweilt (Befragung mittels Proteus) und Temporal Demand und Effort (TLX-Fragebogen).

#### B5.4 Sonstiges

Als allgemeine Ergebnisse der Analyse der spontanen Blickverteilung können folgende drei gelten:

- Die Parameter, die sich aus der Anzahl der Sakkaden oder der Lidschläge ableiten lassen, ebenso wie Fixationsdauern oder die Lidschlußintervalle haben sich als nicht so gut herausgestellt, um die Beanspruchung oder Monotonie des Autofahrers vorauszusagen.
- Die drei Parameter Sakkadenamplituden, Lidschlußgeschwindigkeit sowie Anzahl der Lid-

schläge, die länger als 190 msec andauern, sind gut geeignet, einen großen Anteil des beobachteten (Fragebögen und Befragung mittels Proteus) Verhaltens stellvertretend für die spontanen Blickverteilungen (beziehungsweise aller ihrer Parameter) zu beschreiben.

- Auch hier hat sich gezeigt, daß die Teilnehmer sehr individuell auf die unterschiedlichen Situationen reagieren.

An dieser Stelle folgt, wie auch schon bei der Ergebnisdarstellung der Daten des Springenden Punktes, eine Übersicht über die Rangreihenfolgen der drei Parameter bezüglich der Gesamtstichprobe, der ersten und der zweiten Versuchshälfte sowie der einzelnen Teilnehmer; doch zuvor noch eine kleine Tabelle mit Mittelwerten, die zum Ausfüllen der Rangreihen noch fehlen.

Wie die obige Tabelle zu lesen ist, wurde gegen Ende des Kapitels Ergebnisse des Springenden Punktes ausführlich erläutert.

## B6 Kurze Gegenüberstellung von bereits veröffentlichten Ergebnissen

Es wird sich hier explizit auf die Ergebnisse Galleys et al., 1997 bezogen. Datenbasis dieser Erkenntnisse sind Versuchsfahrten, die mit minimalen Alkoholdosen durchgeführt wurden, die für die dort vorgestellten Ergebnisse jedoch ohne Belang waren. Es wurden während dreistündigen Autobahnfahrten von 20 Teilnehmern mit einem vergleichbaren EOG-System die spontanen Blickbewegungen aufgezeichnet. Die Ergebnisse müssen in aller Kürze repliziert werden:

- Lidschlußparameter eignen sich zur Vorhersage der subjektiven Ermüdung besser als Sakkadenparameter.
- Subjektive Ermüdung hat für die unterschiedlichen Individuen zu unterschiedlichen Zeiten verschiedene Bedeutungen. Während die meisten eine rechte enge Verknüpfung zwischen Ermüdung und Fahrtdauer aufzeigen, verhalten sich andere konträr dazu.
- Neben der subjektiven Ermüdung (die meist der Neigung zum Einschlafen entspricht) gibt es eine weitere Funktion, den Kampf gegen das Einschlafen.
- Fahrtdauer bildet den überragenden Prädiktor für Ermüdung.
- Die Parameter lassen sich sinnvoll in vier Faktoren zerlegen: Der erste hängt mit dem Intervall und der Amplitude des Lidschluß' zusammen, der zweite mit dessen Dauer, der dritte mit der Fixationsdauer sowie den Geschwindigkeiten von Sakkaden und Lidschlägen und der letzte mit der Dauer und der Amplitude von Sakkaden.

Grundlage dieser Ergebnisse sind eine Korrelationsanalyse sowie eine Faktorenanalyse. Korrelationsanalysen wurden auch im Rahmen dieser Arbeit häufig durchgeführt, auf eine Faktorenanalyse wurde verzichtet (siehe Argumentation in Kapitel Diskriminanzanalyse und Klassifikationsmatrix).

Die Ergebnisse bezüglich der spontanen Blickverteilung **dieser** Arbeit sind die Folgenden:

- Es gibt **drei** geeignete Parameter der spontanen Blickverteilung, die subjektive Ermüdung vorherzusagen (die Reihenfolge, in der sie aufgeführt werden, gibt keine Wertung vor):

Sakkadenamplitude, Lidschlußgeschwindigkeit und Anzahl der Lidschläge, die länger als 190 msec andauern.

- Die individuellen Reaktionen auf die aufgebrauchte Belastung unterscheiden sich teilweise sehr stark und sind für einen einzelnen Teilnehmer weder über alle drei Versuchsfahrten noch über eine einzelne zwingend konstant, es gibt folglich mehr als eine Möglichkeit, mit der Belastung umzugehen.

Eine Faktorenanalyse dieser Daten ergibt ein vergleichbares Ergebnis, welches gleichzeitig den Erfolg bei der Auswahl der Parameter für die reduzierte Parameterliste hervorhebt. Es ergeben sich zwar sechs Faktoren (die Anzahl der Faktoren hängt ja lediglich von der Höhe des Eigenwertes ab, der größer als „1“ sein muß und als Kriterium herangezogen wird). Faktorenladungen mit einem geringeren Betrag als 0,2 wurden der Übersichtlichkeit halber nicht aufgeführt.

Dieses Ergebnis der Faktorenanalyse ist zwar nicht überraschend im eigentlichen Sinne, jedoch immer noch beeindruckend dadurch, daß die Zuordnung der einzelnen Parameter der spontanen Blickverteilung sehr stark den impliziten theoretischen Überlegungen entspricht, daß nämlich Parameter desselben Ursprunges gemeinsame Faktoren bilden müssen. Über die drei bereits bekannten Parameter Amp\_Sakk, V\_Lid (gleichwertig mit Amp\_Lid) und Dau\_Lid\_190 ergeben sich hier noch die drei weiteren Parameter Int\_Lid\_3000, Anz\_Sakk\_2 und V\_Sakk\_Iq, die als trennende Variablen hätten benutzt werden können, sich jedoch bei dem hier favorisierten Lösungsweg nicht durchsetzen konnten.

Im Gegensatz zu den oben in aller Kürze wiedergegebenen Ergebnissen von Galley et al. (1997) sieht hier die Faktorenzusammensetzung (schon allein aufgrund der Tatsache, daß es sechs Faktoren statt vier sind) etwas anders aus: Auf den ersten Faktor laden positiv die Lidschlußintervalle und negativ die Anzahl der Lidschläge (dies macht auch Sinn, schließlich hängen beide Größen direkt miteinander zusammen; nimmt die Anzahl der Lidschläge ab, so muß zwangsläufig das Lidschlußintervall zunehmen und umgekehrt), der zweite Faktor zeigt dasselbe Bild einschließlich des Vorzeichenwechsels für die Sakkaden, den dritten Faktor bilden die Ampli-

**Tabelle 76:** Faktorenanalyse der spontanen Blickverteilungen

	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5	Faktor 6
Int_Lid_3000	<b>0,925</b>					
Int_Lid	<b>0,873</b>					
Int_Lid_lq	<b>0,873</b>					
Anz_Lid_1	<b>-0,821</b>	-0,208		0,275		-0,287
Anz_Lid_2	<b>-0,876</b>	-0,230				
Anz_Sakk_2	<b>0,906</b>					
Anz_Sakk_1	<b>0,715</b>		0,538			
Dau_Fix_lq	<b>-0,857</b>					
Dau_Fix	<b>-0,875</b>					
Dau_Fix_600	<b>-0,901</b>					
Amp_Sakk			<b>0,910</b>			
Amp_Sakk_lq			<b>0,874</b>		0,234	
Dau_Sakk			<b>0,865</b>		-0,231	
Dau_Sakk_lq			<b>0,811</b>	-0,206	0,249	0,243
V_Lid				<b>0,934</b>		
Amp_Lid				<b>0,934</b>		
V_Lid_lq				<b>0,634</b>	0,265	
Amp_Lid_lq				<b>0,557</b>	0,277	0,444
Dau_Lid_190	0,200	0,259			<b>0,855</b>	
Dau_Lid_lq	0,266				<b>0,767</b>	
Dau_Lid			0,221	0,349	<b>0,750</b>	
V_Sakk_lq				0,259		<b>0,859</b>
V_Sakk	0,316			0,204		<b>0,803</b>

tuden und die Dauern der Sakkaden (daß beide indirekt über die Geschwindigkeit<sup>19</sup> zusammen hängen, hat Collewijn et al. (1988) nachweisen können, siehe auch Gleichung 1), Parameter vier zeigt den direkten Zusammenhang von Amplituden und Geschwindigkeiten für Lidschläge (der bisher lediglich postuliert wurde, es möge dies hier als Nachweis für die Gültigkeit dieses Postulates gelten), den fünften Parameter bilden die Lidschlußdauern, den sechsten die Sakkadengeschwindigkeiten. Was diese Faktorenanalyse als eigentliches Ergebnis zeigt, ist nichts anderes als die saubere Trennung in erstens Sakkaden und Lidschläge und zweitens in Parameter, die „gezählt“ werden, und die, die nicht „gezählt“ werden. Das einzige kleine Überraschungsmoment tritt in der unscharfen Trennung von Amplituden, Geschwindigkeiten und Dauern auf, welches nicht durch theoretische Annahmen unterbaut ist, im Zweifel jedoch in der statistischen Methode begründet liegt.

## C Ergebnisse der Fragebögen

### C1 TLX-Fragebogen

Die Unterschiede in der Bewertung der drei verschiedenen Sounds (SD0-ohne, SD1-hoch, SD2-tief) durch die verschiedenen Teilnehmer sind hoch signifikant (bei einer Teststärke von 92,62 und einer Signifikanz von 0,001) bezüglich der Teilnehmer, jedoch nicht signifikant (bei einer Teststärke von 1,87 und einer Signifikanz von 0,216) bezüglich der Sounds. Dennoch läßt sich eine Tendenz für die Rangreihenfolge<sup>20</sup> zeigen:

<sup>19</sup> Der von Collewijn et al. (1988) aufgestellte Zusammenhang bezog sich eigentlich auf Amplitude und Geschwindigkeit, jedoch ist die aus den beiden genannten Größen resultierende die Dauer einer Sakkade.

<sup>20</sup> Wie die Rangreihenfolgen im folgenden zu lesen sind, wurde gegen Ende des Kapitels Ergebnisse des Springenden Punktes erläutert. Auf eine erklärende Kommentierung der nebenstehenden Tabel-

- MWWL: SD1 > SD2 > SD0

**Tabelle 77:** Ergebnis TLX-Fragebogen

TN	SD0	SD1	SD2
1	30	49	40
2	55	53	21
3	67	78	66
4	56	65	56
5	26	48	58
6	66	57	62
<b>Mean</b>	50,0	58,3	56,4
<b>Std Dev</b>	17,8	11,4	9,9

## C2 EZ34-Fragebogen

Zwischen den Teilnehmern erreichen die Ergebnisse Signifikanzniveaus zwischen 0,003 (Defizienz), 0,089 (Effizienz), 0,037 (Mood) und 0,193 (Tension), jedoch wird keine der Soundbedingungen signifikant. Die Eigenzustände ergeben kein einheitliches Bild bezüglich der Rangreihenfolge:

- Defizienz: SD0 > SD2 > SD1
- Effizienz: SD0 ≈ SD2 > SD1
- Mood: SD2 > SD1 > SD0
- Tension: SD2 > SD0 > SD1

**Tabelle 78:** Ergebnis EZ34-Fragebogen

Mean (Std Dev)	SD0	SD1	SD2
<b>Defizienz</b>	-1,2321 (1,0494)	-0,8125 (0,9040)	-1,0313 (1,0477)
<b>Effizienz</b>	-0,3968 (0,4050)	-0,2407 (0,3252)	-0,3889 (0,2645)
<b>Mood</b>	-1,1209 (0,8103)	-1,3333 (1,0521)	-1,4423 (0,6324)
<b>Tension</b>	-0,5000 (0,8660)	-0,2083 (0,6003)	-0,8125 (0,8985)

## C3 Befragung mittels Proteus

Die Ergebnisse der Befragung mittels Proteus werden in keinem Fall signifikant. Eine Regressionsanalyse zeigte jedoch ein recht einheitliches

Bild, in allen Fällen und unter allen Soundbedingungen weisen Abgelenkt, Gelaugweilt und Schläfrig eine positive Steigung auf, wogegen die anderen drei eine negative Steigung zeigen. Aber auch hier ergeben die Rangreihenfolgen bezüglich der Mittelwerte kein sehr einheitliches Bild:

### Mittelwerte

- Abgelenkt: SD0 > SD2 > SD1
- Aufmerksam: SD2 > SD1 > SD0
- Gelaugweilt: SD2 > SD0 > SD1
- Interessiert: SD1 > SD0 > SD2
- Schläfrig: SD2 > SD1 > SD0
- Wach: SD2 > SD1 > SD0

**Tabelle 79:** Ergebnis Proteusbefragung (z-transformierte Mittelwerte)

Mittelwerte	SD0	SD1	SD2
<b>Abgelenkt</b>	-0,2706	0,2629	-0,1529
<b>Aufmerksam</b>	0,1952	-0,0607	-0,0727
<b>Gelaugweilt</b>	-0,0730	0,2448	-0,2719
<b>Interessiert</b>	0,1643	-0,2622	0,2316
<b>Schläfrig</b>	0,1447	0,1065	0,0350
<b>Wach</b>	0,2810	-0,0307	-0,1719

Etwas einheitlicher ist das Bild der Regressionsanalyse:

### Steigungen (Beträge)

- Abgelenkt: SD0 > SD1 > SD2
- Aufmerksam: SD0 > SD2 > SD1
- Gelaugweilt: SD0 > SD1 ≈ SD2
- Interessiert: SD0 > SD2 > SD1
- Schläfrig: SD0 ≈ SD1 > SD2
- Wach: SD0 > SD1 > SD2

(Fortsetzung)

len wird aufgrund der einfachen Struktur derselben verzichtet.

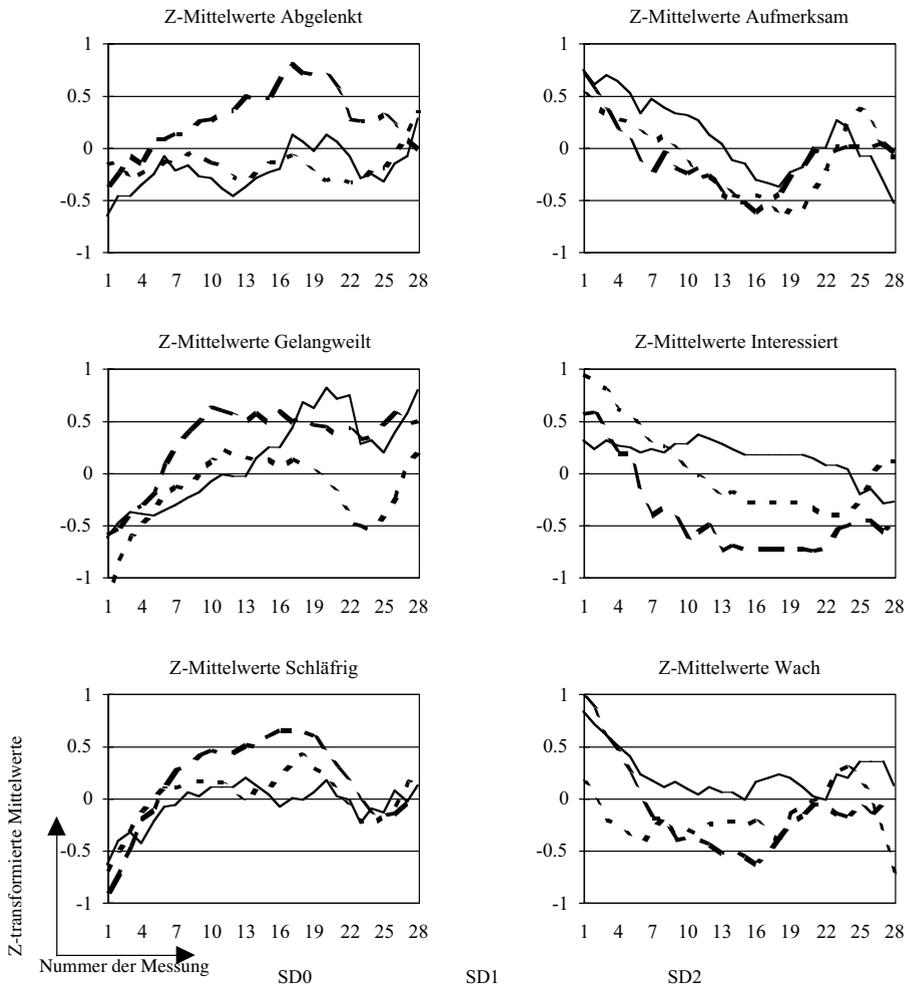
<sup>21</sup> Teilnehmer 2 konnte SD2-tief wegen eines technischen Problems nicht bewerten.

**Tabelle 80:** Ergebnis Proteusbefragung (Regressionskoeffizienten)

Steigungen	SD0	SD1	SD2
<b>Abgelenkt</b>	,0429	,0334	,0129
<b>Aufmerksam</b>	-,0529	-,0170	-,0307
<b>Gelangweilt</b>	,0736	,0394	,0347
<b>Interessiert</b>	-,0445	-,0254	-,0372
<b>Schläfrig</b>	,0299	,0295	,0166
<b>Wach</b>	-,0393	-,0285	-,0118

Diese Ergebnisse können in einer anderen Form etwas anschaulicher dargestellt werden. Die Datenbasis sind die z-transformierten Mittelwerte über der Nummer der Messung:

Wie schon in den Daten (siehe Tabelle 80) ist auch hier (Abbildung 51) die Gegensätzlichkeit der Zeitverläufe der drei Itempaare (Abgelenkt – Aufmerksam, gelangweilt – Interessiert, Schläfrig – Wach) deutlich ausgeprägt. Mehr oder weniger gut ist in allen sechs Graphiken zu sehen, daß kurz nach der Hälfte der Messungen



**Abbildung 51:** Zeitverläufe der Befragung mittels Proteus

(variiert ab Messung 17 bis Messung 22) eine Änderung oder Umkehr der allgemeinen, vorherigen Tendenz auftritt.

Auf der Abszisse sind die Nummern (chronologisch) der einzelnen Messungen aufgetragen, auf der Ordinate die einheitenlosen z-transformierten Mittelwerte der sechs Items.

## D Zusammenfassung der Ergebnisse

Dieses Kapitel dient der Übersicht aller Ergebnisse, die während der vorangegangenen Analysen generiert werden. Teilweise werden die Ergebnisse nur neu zusammengefaßt, in einigen Fällen werden auch nochmals kleine Analysen vorgenommen, wenn die bisherigen Analyseergebnisse nicht in einer geschlossenen Form vorliegen.

Der Fall, daß die Ergebnisse noch nicht in geschlossener Form dargestellt werden, trifft so gleich auf das nächste Kapitel zu, welches sich mit den vom Versuchsleiter eingeleiteten Versuchsabbrüchen beziehungsweise dem einen beobachteten Beinaheunfall befaßt. Auf die Versuchsabbrüche wird bereits an verschiedenen Stellen hingewiesen, jedoch werden sie noch keiner geschlossenen Betrachtung unterzogen.

Die anderen Kapitel beziehen sich jeweils auf eine der verschiedenen benutzten Datenquellen und haben alle ungefähr denselben Aufbau. Als erstes werden die Daten so dargestellt, daß sie geeignet sind, die Hypothesen zu verifizieren/falsifizieren, anschließend werden bei den Datenquellen, die sich aus dem Blickverhalten ableiten, die Parameter vorgestellt, bei denen sich eine gute Vorhersagekraft aus den Analysen ableiten läßt. Des weiteren wird deren Verhalten unter den verschiedenen Belastungsbedingungen aufgezeigt. Hierbei wird gelegentlich zwischen allgemeinen und speziellen Ergebnissen unterschieden. Allgemeine Ergebnisse beziehen sich auf den Eigenzustand, Beanspruchung, Belastungsverlauf, Leistung, Ermüdung und Versuchsvariationen, die speziellen beziehen sich auf den Springenden Punkt und die spontanen Blickbewegungen.

### D1 Versuchsabbrüche

Versuchsabbrüche werden bisher nicht explizit behandelt, da sie inhaltlich nicht unter die drei vorangegangenen Abschnitte sinnvoll subsu-

miert werden können, weil sie weder spezifisch für Blickbewegungen in der einen oder anderen Form sind, noch für Fragebögen oder Befragungen.

**Tabelle 81:** Übersicht über Versuchsabbrüche

TN	SD	Fahrt	VL
2	0	3	Reitter
3	1	3	Janßen
4	0	3	Reitter
6	0	1	Reitter

Es sind in diesem Zusammenhang die Abbrüche des Gesamtversuches gemeint, nicht einzelner Messungen des Springenden Punktes oder der Befragung mittels Proteus. Insgesamt dreimal wurde die Versuchsfahrt wegen Ermüdung des Teilnehmers vom Versuchsleiter abgebrochen, einmal kam es wegen Ermüdung des Teilnehmers beinahe zu einem Unfall (Abkommen von der Spur und anschließende Fahrt in Richtung des Straßengrabens), letzteres kann durchaus mit den erstgenannten gleichgesetzt werden. Tabelle 81 gibt eine Übersicht der Versuchsabbrüche unter den unterschiedlichen Soundbedingungen, Fahrtnummern und Versuchsleiter.

Beim ersten Blick auf Tabelle 81 spricht alles dafür, daß unter der Soundbedingung SD0-ohne die Teilnehmer so schnell ermüden, daß die Versuchsfahrten abgebrochen werden mußten. Diese Interpretation ist jedoch vorschnell und nicht tragbar. Folgende zwei Einschränkungen müssen hier **unbedingt** berücksichtigt werden:

- Alle Abbrüche der Versuchsfahrten unter der Soundbedingung SD0-ohne werden von demselben Versuchsleiter durchgeführt; es könnte durchaus sein, daß sich hier ein schwerer **Versuchsleitereffekt** bemerkbar macht<sup>22</sup>.

<sup>22</sup> Versuchsleiterin Janßen hat keine Versuchsabbrüche vorgenommen. In Gesprächen nach Abschluß der Versuchsreihe haben sich trotz entsprechender vorheriger Absprachen unterschiedliche Kriterien für ein Eingreifen der Versuchsleiter herauskristallisiert. Versuchsleiter Reitter zeigte hierbei ein erheblich höheres Sicherheitsbedürfnis als Versuchsleiterin Janßen und war deshalb eher geneigt, eine Versuchsfahrt abzubrechen als Versuchsleiterin Janßen.

- Drei der abgebrochenen Versuchsfahrten waren die jeweils letzten Fahrten der Teilnehmer; der Verdacht eines **Reihenfolgeeffektes** drängt sich an dieser Stelle geradezu auf.

Mögliche Reihenfolgeeffekte sind zu erwarten, weshalb die Darbietungsreihenfolge der verschiedenen Soundbedingungen auch permutiert werden. Versuchsleitereffekte werden in dieser Form nicht erwartet. Die Konsequenz aus obiger Tabelle und den nachfolgenden Überlegungen muß folglich sein, daß dieses Ergebnis in die weiteren Analysen **nicht** einfließen darf, da seine Ursachen nicht klar ermittelbar sind.

Die Daten von Teilnehmer 5 während der Fahrt ohne Soundmodifikation können in die weitere Analyse ebenso wenig mit einbezogen werden, selbiges wird bereits an entsprechender Stelle erläutert.

## D2 Springender Punkt

Für die **allgemeinen Ergebnisse** wird eine Darstellung gewählt, in der die Sakkadenarten, die Sakkadenamplituden, die Sakkadengeschwindigkeiten und die Zeitpunkte, an denen die Sakkaden gestartet werden, jeweils zusammengefaßt betrachtet werden.

### Sakkadenarten

Die Verteilungen der drei Sakkadenarten (Antizipation, Expreß, Reaktion) sowie die Auslassungen als eine weitere Möglichkeit der Antwort auf einen Reizwechsel zeigen im Vergleich von der ersten zur zweiten Hälfte einer jeden Versuchsfahrt keine gravierenden Änderungen, insbesondere keine, die unter allen drei Versuchs-, Soundbedingungen dieselben sind.

### Sakkadenamplituden

Die Sakkadenamplituden lassen ausnahmslos über die beiden Versuchshälften nach, teilweise sogar um bis zu zehn Prozent.

### Sakkadengeschwindigkeiten

Bei den Sakkadengeschwindigkeiten zeigt sich ein ähnliches Bild, auch hier ist ein deutlicher Abfall der Geschwindigkeiten über die beiden Hälften eines jeden Durchlaufes zu beobachten.

### Zeitpunkte

Die Zeitpunkte, an denen Sakkaden gestartet werden, verschieben sich ein wenig nach vorne (hin zu früherem Starten), dieses Bild ist jedoch nicht sehr ausgeprägt.

Die **speziellen Ergebnisse** werden wie folgt zusammengefaßt:

Es gibt vier Parameter, mit denen sich ein großer Teil der beobachtbaren Verhaltensweisen beschreiben läßt:

- **Anti %** Anteil [%] der Antizipationssakkaden an den Antworten auf den Reizwechsel des Springenden Punktes
- **Amp\_Exp** Amplitude der Expreßsakkaden als Antwort auf den Reizwechsel des Springenden Punktes
- **V\_Anti** Geschwindigkeit der Antizipationssakkaden als Antwort auf den Reizwechsel des Springenden Punktes
- **V\_Reak** Geschwindigkeit der Reaktions-sakkaden als Antwort auf den Reizwechsel des Springenden Punktes

Dabei ist darauf zu achten, daß es teilweise signifikante Unterschiede zwischen den beiden Frequenzbereichen gibt (0,7 Hz bis 1,2 Hz und 1,2 Hz bis 1,7 Hz), mit denen der Springende Punkt alternierend den Reizwechsel darbietet.

Ein gut verallgemeinerbares Ergebnis läßt sich aufgrund der großen individuellen Unterschiede nicht aus den bisher vorliegenden Daten ziehen, so daß an dieser Stelle die Tabelle 41 bis Tabelle 44, die die Rangreihen enthalten, nochmals in anderer Form zusammengefaßt werden, um Aussagen über die Rangreihenfolgen bezüglich der unterschiedlichen Belastungsvarianten (Sounds) zu machen.

Die Tabelle 82 besteht aus vier Blöcken à drei Spalten. Jeder Block gibt die Daten für einen der vier Parameter wieder, die drei Spalten sind mit „Alle“, „Low“ und „High“ beschriftet, „Alle“ steht dabei für den gesamten Frequenzbereich des Reizwechsels des Springenden Punktes, „Low“ für den Bereich zwischen 0,7 Hz und 1,2 Hz und „High“ für den zwischen 1,2 Hz und 1,7 Hz. In den Zellen sind die sechs

**Tabelle 82:** Rangordnungen bei den Ergebnissen des Springenden Punktes

	Anti %			Amp_Exp			V_Anti			V_Reak		
	Alle	Low	High	Alle	Low	High	Alle	Low	High	Alle	Low	High
SD0 > SD1	0,20	0,17	0,23	0,29	0,00	0,24	0,25	0,25	0,27	0,27	0,20	0,25
SD0 > SD2	0,13	0,08	0,23	0,35	0,07	0,35	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,19
SD1 > SD0	0,07	0,17	0,00	0,06	0,29	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,13	0,06
SD1 > SD2	0,13	0,17	0,15	0,18	0,07	0,24	0,13	0,13	0,20	0,13	0,20	0,13
SD2 > SD0	0,27	0,25	0,15	0,00	0,29	0,00	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
SD2 > SD1	0,20	0,17	0,23	0,12	0,29	0,12	0,25	0,25	0,13	0,20	0,13	0,25

möglichen verschiedenen Beziehungen der einzelnen Belastungsvarianten (Sound) zueinander aufgetragen. Die Daten in der Tabelle stehen für die Häufigkeit des Auftretens [%] der in den Zeilen genannten Relationen.

### Anti %

Bei diesem Parameter ist eine getrennte Betrachtung der Ergebnisse für beide Frequenzbereiche des Reizwechsels des Springenden Punktes sinnvoll, da sich die Ergebnisse für beide Bereiche voneinander unterscheiden.

Für die niedrigen Frequenzreihen gelten folgende Zusammenhänge: SD1 > SD0, SD2 > SD0 und SD1 = SD2, dies bedeutet als Ergebnis:

- Anti % (0,7 – 1,2 Hz) SD1 = SD2 > SD0

Dem stehen folgende Zusammenhänge im hohen Frequenzbereich gegenüber: SD0 > SD1, SD0 > SD2 und SD2 > SD1, daraus leitet sich folgendes, dem obigen entgegengesetztes Ergebnis ab:

- Anti % (1,2 – 1,7 Hz) SD0 > SD2 > SD1

### Amp\_Exp

Auch hier liegen große Unterschiede zwischen den beiden Frequenzbereichen des Reizwechsels des Springenden Punktes vor, so daß beide getrennt voneinander betrachtet werden müssen.

Im niedrigen Frequenzbereich gelten folgende Zusammenhänge: SD1 > SD0, SD2 > SD0 sowie SD2 > SD1, als Ergebnis bedeutet dies:

- Amp\_Exp (0,7 – 1,2 Hz) SD2 > SD1 > SD0

Im hohen Frequenzbereich kehren sich die Zusammenhänge nachgerade um: SD0 > SD1,

SD0 > SD2 und SD1 > SD2, folglich ergibt sich als Ergebnis:

- Amp\_Exp (1,2 – 1,7 Hz) SD0 > SD1 > SD2

### V\_Anti und V\_Reak

Hier fällt insbesondere zweierlei auf, zum einen unterscheiden sich die Ergebnisse beider Parameter nicht wesentlich voneinander, zum anderen ist beinahe eine Gleichverteilung der Ergebnisse erreicht worden, so daß die Ergebnisse hier nicht so offensichtlich sind.

Recht eindeutig ist, daß der Zusammenhang SD1 > SD0 nicht zutrifft, sondern SD0 > SD1. Die anderen Zusammenhänge sind jedoch weniger ausgeprägt, so ist der Tabelle zu entnehmen, daß SD0 > SD2 häufiger als das Gegenteil auftritt, ebenso wie SD2 > SD1.

Als Ergebnis läßt sich somit die folgende Rangreihenfolge über den gesamten Frequenzbereich des Springenden Punktes festhalten:

- V\_Anti und V\_Reak SD0 > SD2 > SD1

### D3 Spontane Blickverteilung

Die Systematik, mit der die verschiedenen Parameter der spontanen Blickbewegungen vorgestellt wurden (siehe auch Tabelle 45), gilt weiterhin, im einzelnen läßt sich folgendes für die **allgemeinen Ergebnisse** festhalten:

#### Anzahl

Die Anzahl der Sakkaden verringert sich leicht während der Versuchsdauer jeder einzelnen Versuchsfahrt, die Anzahl der Lidschläge bleibt jedoch weitgehend gleich.

## Amplituden

Die Sakkadenamplituden nehmen im Laufe der einzelnen Versuchsfahrten minimal zu, die Lidschlußamplituden hingegen werden minimal geringer.

## Geschwindigkeiten

Die Sakkadengeschwindigkeiten nehmen deutlich über die einzelnen Versuchsfahrten ab, nicht so deutlich ist das in die gleiche Richtung weisende Ergebnis der Lidschlußgeschwindigkeiten.

## Dauern

Die Sakkadendauern nehmen leicht zu (zwangsläufig, wenn Amplituden fast konstant bleiben, die Geschwindigkeiten jedoch nachlassen, siehe Kapitel Theoretische Grundlagen, Collewijn et al., 1988), die Lidschlußdauern lassen ein wenig nach. Die Anzahl der Lidschläge, die länger als 190msec andauern, nimmt stärker ab als die Gesamtanzahl an Lidschlägen (siehe oben). Die Fixationsdauern nehmen erheblich während der einzelnen Versuchsfahrten zu, die Anzahl an Fixationen, die länger als 600msec andauern, nimmt stärker zu als die Anzahl der Sakkaden abnimmt (siehe oben). Die Länge der Lidschlußintervalle steigt erheblich während der einzelnen Versuchsfahrten an, die Anzahl der Lidschlußintervalle, die länger als 3000msec andauern, nimmt minimal ab, ganz im Gegensatz zu der zunehmenden Anzahl sonstiger Lidschläge (siehe oben).

Für die **speziellen Ergebnisse** läßt sich folgende Zusammenfassung formulieren:

Die Analysen der Daten der spontanen Blickverteilung ergeben drei Parameter, mit denen ein großer Teil des Verhaltens der Teilnehmer beschrieben werden kann:

- Amp\_Sakk Sakkadenamplituden
- V\_Lid Lidschlußgeschwindigkeit
- Dau\_Lid\_190 Anzahl der Lidschläge, die länger als 190msec andauern

Auch bei den Daten der spontanen Blickverteilung muß konstatiert werden, daß sie sich aufgrund der großen individuellen Unterschiede nicht verallgemeinern lassen. Die nachfolgende Tabelle entspricht weitgehend der Tabelle 82

(die Differenzierung in verschiedene Frequenzbereiche fehlt natürlich).

**Tabelle 83:** Rangordnungen bei den Ergebnissen der spontanen Blickverteilung

	Amp_Sakk	V_Lid	Dau_Lid_190
SD0 > SD1	0,14	0,17	0,18
SD0 > SD2	0,00	0,22	0,18
SD1 > SD0	0,14	0,11	0,18
SD1 > SD2	0,14	0,22	0,24
SD2 > SD0	0,29	0,17	0,12
SD2 > SD1	0,29	0,11	0,12

### Amp\_Sakk

Die Zusammenhänge der Sakkadenamplitude sind die Folgenden: SD2 > SD0 und SD2 > SD1, zwischen SD1 und SD0 besteht kein Unterschied in der Häufigkeit des Auftretens. Die sich ergebende Rangordnung ist diese:

- Amp\_Sakk SD2 > SD1 = SD0

### V\_Lid

Bei diesem Parameter zeigen sich diese Zusammenhänge: SD0 > SD2 und SD1 > SD2 sowie SD0 > SD1, als Ergebnis bedeutet dies:

- V\_Lid SD0 > SD1 > SD2

### Dau\_Lid\_190

Die einzelnen Zusammenhänge dieses Parameters sind die folgenden: SD0 > SD2 und SD1 > SD2, zwischen SD0 und SD1 besteht kein Unterschied in der Häufigkeit des Auftretens. Das Ergebnis sieht wie folgt aus:

- Dau\_Lid\_190 SD1 = SD0 > SD2

## D4 TLX-Fragebogen

Beim Nasa Task Load Index gibt es nur ein Maß, den „mean weighted workload index“, der folglich ohne weiterführende Analysen übernommen werden kann:

Als **allgemeines Ergebnis** läßt sich eine mittlere Beanspruchung zwischen 26 und 78 festhalten, die Mittelwerte liegen da deutlich (das heißt mit weniger Streuung) zwischen 50 und 59.

Für die **speziellen Ergebnisse** läßt sich folgende Rangreihenfolge aufstellen:

- MWWL  $SD1 > SD2 > SD0$

## D5 EZ34-Fragebogen

Als **allgemeines Ergebnis** des EZ34-Fragebogens läßt sich erst einmal festhalten, daß die Werte aller vier Parameter, die als vier unterschiedliche Dimensionen des Eigenzustandes angenommen werden können, zwischen den beiden Stützstellen (vor der Fahrt und nach der Fahrt) eindeutig nachlassen. Besonders deutlich ist dieser Abstieg des Eigenzustandes bei den Parametern Defizienz (im Mittel  $-1,0$ ) und Mood (im Mittel  $-1,3$ ) zu beobachten. Die anderen Werte geben nicht ganz so stark nach (Effizienz (im Mittel  $-0,3$ ), Tension (im Mittel  $-0,5$ )).

Das **spezielle Ergebnis** in Form von Rangreihenfolgen sieht wie folgt aus, wenn davon ausgegangen wird, daß alle vier Dimensionen in gleichen Anteilen dazu beitragen den Eigenzustand zu beschreiben: (Aufgrund der Übersichtlichkeit der Ergebnisse wird an dieser Stelle auf eine Tabelle im Stile der Tabelle 82 oder der Tabelle 83 verzichtet.)  $SD2 > SD1$ ,  $SD0 > SD1$  und  $SD2 > SD0$ , so daß sich die folgende Rangreihenfolge ergibt:

- EZ34  $SD2 > SD0 > SD1$

## D6 Befragung mittels Proteus

Für das **allgemeine Ergebnis** wird an dieser Stelle nicht auf die Mittelwerte, sondern auf Tabelle 80 referiert, die die Steigungen, also den Zeitverlauf darstellt. Dort ist sehr deutlich sichtbar, daß die Werte der Items „Abgelenkt“, „Gelangweilt“ sowie „Schläfrig“ im Laufe der Zeit einer Versuchsfahrt deutlich zunehmen, bei den verbleibenden drei Items „Aufmerksam“, „Interessiert“ und „Wach“ in derselben Größenordnung nachlassen.

Unter der Prämisse, daß jeweils zwei der sechs Items komplementär zueinander stehen, wie es ausführlich in dem Kapitel Theoretische Grundlagen dargelegt wurde, dürfen, um die **speziellen Ergebnisse** etwas einfacher zu gestalten, die Hälfte der Items „umgedreht“ werden. Dieser Schritt wurde an den „negativen“ Items „Abgelenkt“, „Gelangweilt“ und „Schläfrig“ vorgenommen, so daß folgendes Ergebnis resultierte:

$SD1 > SD0$ ,  $SD1 > SD2$  und  $SD0 = SD2$ , und als Rangreihenfolge ergibt sich:

- Befragung mittels Proteus  $SD1 > SD2 = SD0$

## E Gegenüberstellung von Ergebnissen und Hypothesen

Der Einfachheit halber werden die tabellari-schen Formulierungen der jeweiligen Hypothesen den folgenden Absätzen jeweils vorangestellt, um sie dann den Ergebnissen gegenüberzustellen, die an dieser Stelle jedoch nicht noch einmal wiederholt werden. Den Gegenüberstellungen schließt sich an dieser Stelle jeweils die Interpretation vor dem Hintergrund der theoretischen Grundlagen insbesondere des Modells von Reitter & Galley an.

### E1 Leistung

#### Hypothesen

- Die Antwortenverteilung ändert sich nicht, Ausnahme: frühe Antizipationssakkaden nehmen leicht zu.
- Die Amplituden aller Sakkadentypen verringern sich.
- Die Geschwindigkeiten aller Sakkadentypen verringern sich.
- Die Zeitpunkte, zu denen Sakkaden gestartet werden, ändern sich nicht.

Alle vier Hypothesen lassen sich mit Hilfe der vorliegenden Analysen bestätigen. Zur ersten Hypothese läßt sich noch ergänzend hinzufügen, daß auch die Anzahl der Auslassungen minimal zunimmt, jedoch in noch geringerem Maße als die Antizipationssakkaden zunehmen. Die Zeitpunkte, zu denen Sakkaden gestartet werden, variieren in einem unbedeutenden Rahmen.

### E2 Ermüdung

#### Hypothesen

- Die Anzahl der Sakkaden (als Kehrwert der Fixationsdauer) bleibt gleich.
- Die Sakkadengeschwindigkeit verringert sich.
- Die Sakkadendauer erhöht sich.
- Die mittlere Sakkadenamplitude verringert sich (Richtung Standardverhalten).

- Die mittlere Fixationsdauer verringert sich (Richtung Standardverhalten, beziehungsweise wird gesplittet, siehe nächsten Punkt).
- Die Anzahl überlanger Fixationsdauern (> 600msec) erhöht sich.
- Die Anzahl der Lidschläge ist nicht prognostizierbar.
- Die Lidschlußgeschwindigkeit verringert sich.
- Die Lidschlußdauer erhöht sich.
- Die Anzahl überlanger Lidschlußdauern (> 190msec) erhöht sich.
- Die Lidschlußamplitude verringert sich (Voraussetzung: kein Absenken des Kopfes).
- Die mittleren Lidschlußintervalle verringern sich.
- Die Anzahl überlanger Lidschlußintervalle (> 3000msec) erhöht sich.

Entgegen der Hypothese verringert sich die Anzahl der Sakkaden leicht, beim Aufstellen der Hypothesen wird offensichtlich der Anzahl überlanger Fixationen, die sich erwartungsgemäß erhöht hat, nicht ausreichend Rechnung getragen. Die Anzahl der Lidschläge bleibt von solchen Nebeneffekten jedoch weitgehend verschont, so daß sich dort die Hypothese erwartungsgemäß bestätigt.

Bei den Sakkadenamplituden zeigt sich eine offensichtliche Fehleinschätzung, denn sie nehmen eher zu als ab, wie prognostiziert wird. Eine Erklärung dieses überraschenden Ergebnis' könnte darin gesehen werden, daß in der Anfangsphase der Versuchsfahrt die Konzentration auf den Straßenverlauf noch hoch ist und damit eine Einengung des sakkadisch abgetasteten Sichtbereiches stattfindet<sup>23</sup>, welche nicht ausreichend in den theoretischen Überlegungen gewürdigt wird. Später, wenn die Konzentration auf den Straßenverlauf nachläßt und sich das Standardverhalten wieder einstellt, nimmt die Größe der Sakkadenamplituden wieder etwas zu. Bezüglich der Lidschlußamplituden stimmen die Vorhersagen mit den Ergebnissen bestens überein.

Bezüglich der Geschwindigkeiten stimmen die Vorhersagen mit den Ergebnissen überein: ganz bei den Sakkaden, beinahe ganz bei den Lidschlägen.

Bei den Dauern der Sakkaden und Lidschläge stimmen die Hypothesen nicht so gut mit den Ergebnissen überein, wie dies bisher der Fall ist. Zwar erhöhen sich die Sakkadendauern sowie die Anzahl überlanger Fixationsdauern, alle anderen fünf Parameter verhalten sich nicht erwartungskonform. Hierbei handelt es sich um einen Folgefehler, denn wenn sich schon die Anzahl der Sakkaden entgegen den Hypothesen leicht verringert, müssen sich die Fixationsdauern entsprechend verlängern. Anders gestaltet es sich bei den Lidschlägen, die sich in keiner Form mit den Hypothesen in Einklang bringen lassen. An dieser Stelle muß eingestanden werden, daß für das Verhalten der Lidschläge keine Erklärung auf Basis der theoretischen Überlegungen geboten werden kann. Dort treten offensichtlich Mechanismen zu Tage, die keinen Eingang in die theoretischen Überlegungen finden oder nicht entsprechend gewürdigt werden.

### E3 Versuchsvariation

#### Hypothesen

Bei den Hypothesen zu der Rangreihenfolge der Sounds wird ein Standpunkt vertreten, der als ein eher hypothesengenerierender bezeichnet werden kann, so daß sich erst an dieser Stelle zeigen muß, welche der Annahmen zutreffend ist. In diese Analyse fließen erheblich mehr Informationen ein als in die fünf vorangegangenen, sie stellt somit auch eines der Highlights dieser Arbeit dar. Da die Ergebnisse der verschiedenen Methoden bezüglich dieser Fragestellung nicht einheitlich sind, werden sie im folgenden schrittweise zusammengeführt. Zur Übersicht und Erinnerung werden, wie gehabt, erst noch einmal die aufgestellten Hypothesen in tabellarischer Form dargestellt:

Rangreihenfolge der Fahrten:

- Ohne, Tief, Hoch
- Tief, Ohne, Hoch
- Tief, Hoch, Ohne

<sup>23</sup> Dieser Aspekt verdient durchaus eine weitergehende Analyse der vorliegenden Daten.

Eine Schwierigkeit beim Zusammenführen der verschiedenen Ergebnisse bezüglich der Rangreihenfolge besteht darin, festzulegen, ob die Ergebnisse positiv oder negativ miteinander korrelieren, also ob „größer“ bei der einen Methode auch dasselbe wie bei einer anderen Methode bedeutet. Eine Möglichkeit, dieser Schwierigkeit beizukommen, besteht in einer statistische Herangehensweise, eine andere besteht in der theoretischen Durchdringung der Ergebnisse. Letztere Methode ist jedoch nicht in der Form geeignet, da ja diese Überlegungen bereits in das Kapitel Theoretische Grundlagen eingeflossen sind. Aus diesem Grunde wird die statistische Methode vorgezogen und somit wird auf die verschiedenen Tabellen mit Korrelationsanalysen in den vorangegangenen Kapiteln verwiesen, auf die sich im weiteren bezogen wird. In Tabelle 84 sind die Korrelationsrichtungen, also die Vorzeichen der einzelnen Korrelationen, wie sie aus den verschiedenen Korrelationstabellen herauszulesen sind, dokumentiert (Zellen, die in der Tabelle nicht belegt sind, deuten auf sehr geringe oder fehlende Korrelationen hin). Korrelationen zwischen den physiologischen Parametern treten hierbei so gut wie nicht auf, da das Fehlen entsprechender Korrelationen schließlich häufig eines der Kriterien ist, die die Parameter zu erfüllen haben, um in die weiterführende Auswertung aufgenommen zu werden.

**Tabelle 84:** Korrelationsrichtungen der physiologischen Parameter mit den Befragungsmethoden

	Anti %	Amp_Exp	Amp_Sakk	V_Lid	Dau_Lid_190
MWWL	-			-	
EZ34	+			+	
Proteus	+	-	+		-

Obwohl fast die Hälfte aller Zellen der Tabelle 84 ohne Werte bleibt, reicht diese Information aus, um die Ergebnisse der Rangreihenfolgen einander anzupassen, so daß sich folgende Rangreihenfolgen ergeben (MWWL, Amp\_Exp und Dau\_Lid\_190 wurden umgedreht, so daß „>“ inhaltlich mit „geringerer Beanspruchung“ und den sich daraus ergebenden Implikationen übersetzt werden kann):

- Anti % (0,7 – 1,2 Hz) SD1 = SD2 > SD0
- Anti % (1,2 – 1,7 Hz) SD0 > SD2 > SD1
- Amp\_Exp (0,7 – 1,2 Hz) SD0 > SD1 > SD2
- Amp\_Exp (1,2 – 1,7 Hz) SD2 > SD1 > SD0
- V\_Anti und V\_Reak SD0 > SD2 > SD1
- Amp\_Sakk SD2 > SD1 = SD0
- V\_Lid SD0 > SD1 > SD2
- Dau\_Lid\_190 SD2 > SD0 = SD1
- MWWL SD0 > SD2 > SD1
- EZ34 SD2 > SD0 > SD1
- Proteus SD1 > SD2 = SD0

Wenn das unter dem Kapitel Zusammenfassung der Ergebnisse häufig benutzte Verfahren zur Bestimmung der Rangreihenfolge hier auch noch einmal angewendet wird, zeigen sich folgende Zusammenhänge SD2 > SD1, SD0 > SD1 und SD2 = SD0. Somit ergibt sich diese Rangreihenfolge über alle Parameter:

- Alle Parameter SD0 = SD2 > SD1

In anderen Worten: Die Soundbedingungen „Beaufschlagung mit tiefen Frequenzen des Motorenspektrums“ und „ohne Beaufschlagung“ sind ununterscheidbar, wirken aber auf alle Fälle weniger beanspruchend auf die Teilnehmer als die Soundbedingung „Beaufschlagung mit hohen Frequenzen des Motorenspektrums“.

Hiermit sind die beiden ersten der drei oben wiederholten Hypothesen als gleichwertig und zutreffend validiert worden, wogegen die dritte eindeutig falsifiziert worden ist.

In den vorangegangenen Abschnitten erübrigt sich eine weitergehende Interpretation, da sie im Wesentlichen den Hypothesen entsprechen, und somit soll auf die Argumentation für die entsprechenden Hypothesen rekuriert werden. Bei der Versuchsvariation ist jedoch weder eine Übereinstimmung mit den Hypothesen erzielt worden, als daß sich eine weiterführende Diskussion der Ergebnisse erübrigen würde noch gab es im theoretischen Teil überhaupt diese tieferschürfende Diskussion, vielmehr wird darauf verwiesen, daß der Schwerpunkt dieser Analyse eher als hypothesengenerierend aufgefaßt wird, so daß nun mit diesem Ergebnis die eigentliche Interpretation erst eine Basis erhalten hat. Die

Ableitungen aus dieser Interpretation schlagen sich dann wieder konsequenter Weise in dem Kapitel Schlußfolgerungen nieder.

### Interpretation

Nur die Beaufschlagung mit hohen Frequenzen des Motorengeräusches kostet langfristig Ressourcen und trägt zu einer stärkeren Ermüdung der Teilnehmer bei. Dies ist der Fall, obwohl die stimulierende Wirkung der Soundbeaufschlagungen davon selbstverständlich unbenommen bleibt, andererseits hat auch die tiefe Soundbeaufschlagung ihre stimulierende Wirkung, wie jedes andere Geräusch auch (siehe Kapitel Vorversuch zur Belastungsart (Sounds)). Wie aus dem Vorversuch zur Soundbeaufschlagung jedoch auch eindeutig als Kriterium der Auswahl dieser beiden Sounds hervorgeht, werden die beiden Sounds unterschiedlich emotional bewertet, einmal aversiv (im Falle der hohen Frequenzen, SD1) und das andere Mal nicht (im Falle der tiefen Frequenzen, SD2). Die naheliegende Schlußfolgerung ist also, daß das **Bekämpfen der aversiven Stimulation auf Dauer** (und dies ist ein wichtiger Punkt) meßbar ermüdend wirkt.

Die Ununterscheidbarkeit der Soundbedingungen SD0-ohne und SD2-tief wird in Rahmen des Modells so interpretiert, daß die **aversionsfreie Aktivierung auf Dauer keinen Einfluß** ausübt – weder im Sinne einer Entmüdung noch im Sinne einer Ermüdung.

### F Schlußfolgerungen

Die mit dieser Arbeit zu beantwortende Frage lautet:

**Sind gegenwärtige Fahrzeuge in der Fahrgastzelle bereits so stark geräuschedämpft, daß das Fehlen von Geräuschen zu meßbaren Beanspruchungen bei Langzeitautobahnfahrten des Fahrers führt, das heißt zu vorschnel-  
ler Ermüdung?**

Die Antwort ist ein eindeutiges „Nein“, an dem Versuchsfahrzeug Mercedes-Benz (W210 2,3) konnte das in der Aufgabenstellung beschriebene Verhalten an insgesamt sechs Probanden nicht nachgewiesen werden. Da sich dieses Ergebnis aus verschiedenen Teilergebnissen zusammensetzt, werden die einzelnen im folgen-

den getrennt und in ihrem Zusammenhang mit der Fragestellung gewürdigt. Der nun folgende Abschnitt ist in nummerierte Sektionen unterteilt. Die Reihenfolge reflektiert weder die Wichtigkeit noch irgendeine andere Wertung der einzelnen Aussagen, sondern orientiert sich lose an der Struktur der gesamten Arbeit und der Reihenfolge, in der die zugrundeliegenden Ergebnisse generiert wurden.

#### 1

Zur Beantwortung der eigentlichen Fragestellung werden Variationen des Hintergrundgeräusches benutzt, die Wirkungen der Variationen auf die Beanspruchung respektive die Monotonie als eines der herausragenden Ergebnisse dieser Arbeit lassen sich in Rangreihenfolgen bringen. Hierbei zeigt sich:

- Die Soundvariationen „Beaufschlagung mit tiefen Frequenzen des Motorenspektrums“ und „ohne Beaufschlagung“ sind ununterscheidbar und
- sie wirken weniger beanspruchend als die Soundvariation „Beaufschlagung mit hohen Frequenzen des Motorenspektrums“.

Das heißt im Sinne der Fragestellung, daß das Versuchsfahrzeug noch nicht den Punkt erreicht hat, an dem es Dank zu geringer Geräuschbelastung in der Fahrgastzelle bereits negative Begleiterscheinungen im Sinne erhöhter Beanspruchung hervorruft (Verallgemeinerungen sind wenigstens auf diese Modellreihe mit der entsprechenden Motorisierung sicherlich zulässig, da sich das Fahrzeug weitestgehend im Serienzustand befand). Das Ergebnis macht insbesondere deutlich, daß, wenn Verbesserungen im Bereich der Fahrzeuginnenraumgeräusche vorgenommen werden, die stärksten positiven Effekte weiterhin in einer Minimierung der hohen Geräuschanteile zu erwarten sind. Eine Verallgemeinerung auf hohe Frequenzen anderer Quellen als nur der Motorengeräusche scheint durchaus zulässig, auch wenn der Vorversuch dessen dominante Stellung deutlich hervorgehoben hat.

#### 2

Des weiteren kann mit dieser Arbeit die wissenschaftliche Grundlage gelegt beziehungsweise erweitert werden, um mittels blick- und lidmotorischer Parameter Beanspruchung des Auto-

fahrers durch Monotonie zu ermitteln. Die Grundlagen für die gewählte Herangehensweise wurden bereits erfolgreich in Laborexperimenten geschaffen, der Transfer zur Feldtauglichkeit der Methoden (Springender Punkt und spontane Blickverteilung) ist erst mit dieser Arbeit gelungen. Das interessanteste Ergebnis ist hierbei in den Gruppen der Parameter zu sehen, die zu den Ergebnissen wesentlich beigetragen haben:

- Springender Punkt:  
Antizipationssakkaden %, Amplitude der Expreßsakkaden, Geschwindigkeiten der Antizipationssakkaden und der Reaktionssakkaden
- Spontane Blickverteilung:  
Sakkadenamplitude, Lidschlußgeschwindigkeit, Anzahl der Lidschläge, die länger als 190msec andauern

Diese beiden Parametergruppen sind im Besonderen geeignet, Beanspruchung über einen langen Zeitraum (im Rahmen dieser Untersuchung von zirka sechs Stunden) zu beschreiben. Es lassen sich hierbei auch theoriekonforme Zeitverläufe beobachten.

### 3

Um unterschiedlich starke Monotoniezustände zu induzieren, werden den Probanden im Feldversuch jeweils drei unterschiedliche Geräuschvariationen an jeweils drei unterschiedlichen Tagen dargeboten. Es wird in der Arbeit von der diskutierten Annahme ausgegangen, daß die beiden Geräuschvariationen mit additivem Charakter eine Aktivierung in gleicher Intensität (vom Intensitätsaspekt sind SD2-tief und SD1-hoch gleich, siehe Abbildung 30, die Erhöhung der Lautstärke beider Frequenzbereiche ist einander äquivalent) beim Teilnehmer induzieren, so daß gefolgert werden darf, daß es nicht die **neutrale** Aktivierung ist, die zur stärkeren Ermüdung führt, sondern nur die **aversiv getönte** Aktivierung.

- Aktivierung als solches ist nicht leistungsmindernd oder ermüdungsfördernd, solange keine negative emotionale Komponente mit dieser Aktivierung für das Individuum verbunden ist. Deren Kompensation/Regelung scheint das kritische Element bei einer entsprechenden Dauerbelastung zu sein.

Hieraus ergibt sich eine Möglichkeit, das in der Literatur widersprüchlich diskutierte Konzept der Ressourcen zu operationalisieren: Ressourcen sind nicht eine mehr oder weniger frei verfügbare Entität, die verschiedenen Prozessen mal in der einen, mal in der anderen Form zur Verfügung gestellt werden kann, sondern der Entzug von Ressourcen scheint ein aktiver Prozeß zu sein wie ein Aufbau von Ermüdungsstoffen (Hilakivi 1987), der mittels Umschaltens auf einen Ruhe- und Erholungsprozeß eingeleitet wird. Als Schalter könnte die Aversion gegen die monotone Tätigkeit fungieren, die zu einer vorschnellen Ermüdung führt. Das heißt dann, daß das Time-on-Task Konzept um den Punkt der emotionalen Bindung an die Aufgabe erweitert gesehen werden muß. Verfügt die Aufgabe über keine aversive Komponente, ist interessant, abwechslungsreich etc., dann ist Time on Task eine erst spät wirkende Variable, wogegen bei einer aversiven Tätigkeit, und dazu gehört ganz eindeutig jede monotone Tätigkeit, Time on Task schnell in den Vordergrund tritt und zu der beobachtbaren Reduktion der Ressourcen, dem Anstieg der Ermüdungsstoffe führt.

## Diskussion und Ausblick

In diesem Kapitel wird nicht mehr auf die einzelnen Ergebnisse der einzelnen Untersuchungs- oder Auswerteschritte eingegangen sondern auf die drei im vorherigen Kapitel Schlußfolgerungen zusammengefaßten beginnend mit einer allgemeinen Feststellung zu den einleitenden theoretischen Überlegungen. Dem wird sich dann ein Ausblick anschließen, der sich schwerpunktmäßig mit verbesserten Operationalisierungen und dann mit neuen Ansätzen für die Ermüdungsforschung beschäftigt.

### Zu theoretischen Überlegungen:

Auffällig an den theoretischen Überlegungen und den realisierten Ergebnissen ist die Überschätzung des Einflusses von Ermüdung auf die physiologischen Parameter der spontanen Blickverteilung. In den theoretischen Überlegungen wird zwar immer wieder darauf hingewiesen, daß das okulomotorische System über unzählige Generationen hin optimiert wurde und folglich gerade das Standardverhalten nur geringfügig auf Ermüdung reagieren dürfte. Daß jedoch beinahe keine Reaktion sichtbar wird, liegt offensichtlich daran, daß Ermüdung hervorragend geregelt werden kann, besonderes Augenmerk verdient in diesem Zusammenhang natürlich nochmals die Zweidimensionalität der Ermüdung, die von den Teilnehmern auch nicht einheitlich wahrgenommen wird. Die Ergebnisse von Gallely et al. (1997) zeigen deutlich, daß für einen Teil der Teilnehmer Ermüdung mit einem Aktivationsabfall einhergeht, während ein anderer Teil den wahrgenommenen Kampf gegen dieselbe als Ermüdung bezeichnet.

### Zu Schlußfolgerung 1:

Es ist an dieser Stelle unter anderem die Frage zu beantworten, ob nicht in Anbetracht der doch recht einfachen Fragestellung und dem auch eher trivialen, weil bekannten Ergebnis der zur Anwendung kommende Aufwand unangemessen hoch ist? Umgangssprachlich ließe sich diese Frage auch wie folgt formulieren, wird hier nicht mit Kanonen auf Spatzen geschossen? – Wenn lediglich die Fragestellung und das Er-

gebnis betrachtet wird, muß diese Frage sicherlich mit einem klaren „Ja“ beantwortet werden, hierfür hätte unter Umständen auch eine vergleichsweise simple Expertenbeurteilung genügt, doch dies ist nicht alles: Die Erkenntnis, daß die Versuchsvariation mit den tiefe Frequenzen von der Versuchsvariation ohne Beaufschlagung nicht zu unterscheiden ist, ist in dieser Form nicht aus der Literatur ableitbar und stellt somit einen gewissen Erkenntnisgewinn dar. Auch stellt die Vorgehensweise, aus einer minimalen Erhöhung der Geräusche auf Potentiale für eine Geräuschminderung zu schließen, eine gewisse Innovation dar. Darüber hinaus bieten sich über das eigentliche Versuchsdesign hinausgehende Verallgemeinerungsmöglichkeiten an, die mittels einer Expertenbefragung nicht guten Gewissens möglich wären.

### Zu Schlußfolgerung 2:

Diese Ergebnisse stellen zum Teil eine Bestätigung bekannter Ergebnisse dar, die bisher jedoch lediglich Gültigkeit im Rahmen sehr künstlicher Laboruntersuchungen hatten, ohne eine entsprechende Feldvalidierung genossen zu haben. Zum anderen konnten verschiedene in der Diskussion hoch gehaltene Parameter erfolgreich ausgeschlossen werden. Insgesamt sind dem Anwender ähnlicher Methoden nunmehr vier Parameter für den Springenden Punkt und drei für die spontane Blickverteilung an die Hand gegeben, die den Arbeitsaufwand für zukünftige Untersuchungen doch drastisch reduzieren sollten. Entsprechende Parameter anderer Disziplinen wie elektrodermale Aktivität, Herzschläge, insbesondere deren Variabilität, Flimmerverschmelzungsfrequenz und gegebenenfalls auch Kortisoluntersuchungen könnten in nachfolgenden Untersuchungen noch Verbesserungen der Aussagegenauigkeit bieten jedoch keine Überraschungen im eigentlichen Sinne.

### Zu Schlußfolgerung 3:

Dieses Ergebnis stellt das wichtigste Ergebnis dieser Arbeit dar. Wie aus den Analysen der Literatur und vielen Diskussionen mit engagierten

Fachleuten hervorgegangen ist, sind die vorhandenen Definitionsversuche oder Operationalisierungsbemühungen des Begriffes Monotonie unzureichend: Sie können das Phänomen der vor-schnellen Ermüdung nicht erklären. Mit der in dieser Arbeit gefundenen Koppelung von Ermüdung mit der subjektiven Bewertung (neutral versus aversiver Tönung) scheint Monotonie erstmals überzeugend operationalisiert und somit für weitere Forschungen nutzbar.

### Hieraus folgen bessere Operationalisierungen:<sup>1</sup>

**Aktivierung** durch sensorische Stimulation (SD1-hoch versus SD2-tief) ist nur dann ermüdungsrelevant, wenn eine Aversionskomponente damit verbunden ist. Neutrale sensorische Aktivierung ist auf die Dauer irrelevant.

**Konzentration** ist eine Regelung für den Beibehalt der vereinbarten Leistungsziele, die sowohl deaktivierend als auch aktivierend wirken kann: Anfangsaktivierung aktueller wie auch im Lernprozeß befindlicher Tätigkeiten, die nach Optimierung der tätigkeitsrelevanten Informationsverarbeitungen nicht mehr benötigt wird, wird eingespart; umgekehrt wird mittels Konzentration die Aktivierung erhöht, wenn das Leistungsziel nicht mehr anstrengungsfrei erreicht werden kann oder durch konkurrierende Ziele gefährdet ist.

**Leistung** ist kein primärer Indikator für Ermüdung, da sie üblicherweise geregelt ist. Ein Leistungsabfall ist dann anzunehmen, wenn die Aufrechterhaltung der Leistung nicht zu den bevorzugten Regelungszielen zählt.

**Monotonie** ist die aversive Wahrnehmung und Bewertung einer reizarmen Umwelt sowie geringer Handlungsalternativen und wirkt erst durch den Kampf dagegen ermüdend.

**Ermüdung** (im Sinne von Sleep Propensity) ist sowohl eine periodische Funktion eines circadianen und ultradianen Rhythmus', hierbei werden Ermüdungsstoffe für die Dauer des Wachseins kumuliert, als auch ein aktiver Prozeß, der bei fehlenden Anreizen für Tätigkeit als „Sparform des Überlebens“ angestrebt wird.

**Beanspruchung** (im Sinne von mentaler Beanspruchung) ist die vom Individuum erlebte Anstrengung, wie zum Beispiel im Kampf gegen Ermüdung oder aversive Zustände (womit Mo-

notonie implizit als beanspruchungssteigernd interpretiert werden muß).

Abschließend läßt sich hieraus noch der weiterführende und bisher nur in der Einleitung benutzte Begriff des Komforts doch noch operationalisieren (Reitter, 1992, hat in einer Analyse des Komfortbegriffs keine Operationalisierungen für Komfort im Zusammenhang mit Fahrtätigkeiten finden können):

**Komfort** sichert die Größe des Handlungsspielraums: Die Anzahl der gleichzeitig verfolgten Schemata kann aufrechterhalten werden, oder „Ich werde nicht Sklave der Regelungsaufgabe“, das subjektive Wohlbefinden bleibt auf einem hohen Niveau, ein aversiver Zustand, der einen Kampf induzieren würde, wird vermieden.

### Zu neuen Ansätzen zwischen Sleep-Propensity und Tätigkeitsforschung:

Mittels der Untersuchungsergebnisse lassen sich neue Ansätze für die Ermüdungsforschung ableiten:

- Biorhythmus (Lavie, 1991)  
Ermüdung ist eine Funktion zweier elementarer Biorhythmen, des circadianen Schlaf-Wach-Rhythmus und des auch am Tage weiterlaufenden 90 Minutenrhythmus, der die Länge eines Schlafzyklus determiniert. Wenn beide Zyklen ein gemeinsames Minimum aufweisen, sollte die Wahrscheinlichkeit für eine Mikroschlafattacke am höchsten sein.

<sup>1</sup> Wie wichtig gute Operationalisierungen und ein gutes Modell sind, zeigt sich beispielsweise an der jüngst veröffentlichten Arbeit von Fairclough (1997), bei der er sich in der Ergebnisdiskussion „nur noch wundert“, warum seine Ergebnisse den Hypothesen nicht konform sind („The failure of the other speed control measures ... may indicate an overwhelming influence of transient and static features of traffic environment“ – sinngemäß: „Das Versagen der anderen Maße zur Geschwindigkeitsregulation ... könnte auf den überwältigenden Einfluß transients oder statischer Züge des Verkehrsgeschehen hindeuten“ oder „These analyses revealed a number of surprising results“ – sinngemäß: „Diese Analysen bringen eine Anzahl überraschender Ergebnisse zum Vorschein“). Ihm entgeht in seiner ansonsten sehr interessanten Arbeit leider völlig, welche der von ihm gemessenen Größen denn vom Fahrer geregelt werden können und welche überhaupt in der Lage sind, Ermüdung zu diagnostizieren.

- Biorhythmus + Wachzeit (Borbély, 1982)  
Borbély's Zwei-Komponententheorie bringt zusätzlich die Länge der abgelaufenen Wachzeit ins Spiel: Bei Berücksichtigung der Phasenlage der circadianen Periode läßt sich daraus die Dauer des Schlafes vorhersagen.
- Biorhythmus + Wachzeit + Time on Task (Hockey, 1993 (schnellere Ermüdbarkeit im Labor), Stern et al., 1994 (Tätigkeit moduliert die Geschwindigkeit der Ermüdung))  
Die Art der Tätigkeit ist über die reine Wachzeit hinaus ein seit langem bekannter Faktor für die Ermüdung – Time on Task impliziert nicht nur die Länge der Wachzeit sondern auch die Art der Tätigkeit. Welche Faktoren führen nun zu mehr und welche zu weniger Ermüdung innerhalb derselben Zeit? Seit langem akzeptiert ist, daß eine anstrengendere Tätigkeit, sei es körperlicher oder aber auch mentaler Art, schneller ermüdet. Umgekehrt, eine weniger anstrengende Tätigkeit ermüdet weniger, da sie einer leichteren körperlichen Tätigkeit entspricht. Damit wird nahegelegt, daß es die Anstrengungskomponente ist, die ermüdet, unabhängig davon, ob es sich um eine körperliche oder mentale Tätigkeit handelt.

Scheinbar im Widerspruch dazu ermüden Probanden in Laborversuchen schneller als in entsprechenden Feldsituationen (Hockey, 1986a) **Wieso?**

Ebenfalls im Widerspruch dazu induzieren wenig anstrengende Daueraufgaben häufig hohe Ermüdung. **Wieso?**

In beiden Fällen bieten sich die Erkenntnisfortschritte aus dem neuen Konzept der Ermüdung an:

#### **Gut bekannt ist:**

Je höher die körperliche Arbeit oder die aufgewendete mentale Anstrengung um so mehr ermüdet man in der Zeit, das heißt auch umgekehrt eine weniger anstrengende Tätigkeit entspricht einer leichteren körperlichen Tätigkeit. Ermüdung resultiert anscheinend aus der akkumulierten Anstrengung.

#### **Kampfkosten:**

Die vorschnelle Ermüdung bei vorliegender Monotonie resultiert also aus dem zusätzlichen Kampf des Individuums gegen den aversiven Zustand der wahrgenommenen Situation. Dieses

könnte der Kern des Monotoniekonzeptes darstellen: **Kompensation von Aversion** (mit Wirkung auf die Prioritätenreihenfolge) bedeutet **eine Erhöhung der Anstrengungskomponente**. Weder die eintönige Umgebungsbedingung noch der geringe Handlungsspielraum sind belastend – erst wenn diese mit einer Aversionskomponente verbunden sind, erwächst eine Belastung, die über die Kompensation der Aversionskomponente erschöpfend oder ermüdend wirkt. Erst jetzt sollte man von Monotonie reden. Daraus folgt unter anderem, daß ein aversionsfreies sich Hingeben in eine gegebene, objektiv reizarme und bezüglich der Handlungsalternativen eingeschränkte Umweltsituation weder als monoton wahrgenommen, noch in erhöhter Ermüdung resultieren wird. Hieraus läßt sich eine Voraussage der Monotonieanfälligkeit eines Individuums ableiten: Entsteht für diesen Menschen keine Aversionskomponente aus der gegebenen Situation, ist eine hohe Resistenz gegenüber Monotonie zu erwarten.

#### **Verzögerte Ermüdung:**

Komfort sichert die Größe des Handlungsspielraums (die Anzahl der gleichzeitig verfolgten Schemata kann länger aufrechterhalten werden); man wird nicht Sklave der Regelungsaufgabe. Hierdurch bleibt das subjektive Wohlbefinden auf einem hohen Niveau, ein aversiver Zustand wird vermieden.

#### **Schnellere Ermüdung:**

Schnellere Ermüdung im Labor und bei leichter Tätigkeit ist noch nicht erklärt: Im Labor fallen einige positive Handlungsanreize für die Tätigkeit weg, die Versuchsteilnehmer tun es häufig nur für den Versuchsleiter und sehen für sich selbst keinen weitergehenden Sinn in der Tätigkeit, das heißt, es resultiert eine Reduzierung der Anreize für diese Tätigkeit. Bei leichter Tätigkeit ist die Zielerreichung ohne mentalen Aufwand oder Anstrengung garantiert, damit reduziert sich nach der obigen Regelungstheorie der Leistung die Aktivierung, wenn jetzt keine deutlich positiven Anreize in der dauernden Durchführung der Tätigkeit selbst besteht, gewinnt der Antrieb nach Beendigung der Tätigkeit, nach Ruhe und Entspannung (Horne, 1988a, 1988b), die Sleep Propensity (Lavie, 1991, 1992) die Oberhand. So wie das Essen nur positiv erlebt wird, wie keine Sättigung eingetreten ist, wird nach dem Eintreten der Sättigung das Essen folglich aversiv und eingestellt.

Vermutlich gestalten sich viele mit positiver Motivation versehene Tätigkeiten ähnlich, so daß bei Anreizreduktion die Tätigkeit zunehmend aversiv wahrgenommen wird und zu ihrer weitergehenden Aufrechterhaltung immer mehr kompensatorisch, aversiv zu überwindender Aufwand notwendig wird, der zum Beispiel in Form der Ermüdungsstoffe kumuliert und den Schalter in Richtung Sleep Propensity umlegt.

Möglicherweise trifft beides zu: Gleichförmige Tätigkeit führt schnell zu Sättigung, das heißt zur Reduktion der positiven Anreize, aber auch eine deutliche Aversion gegen die Tätigkeit erreicht schneller das Umkippen in die Motivation zur Beendigung der Tätigkeit, zur Ruhe und Erholung, zur Sleep Propensity.

Widdels (1990) postulierte (und bereits im Kapitel Theoretische Grundlagen zitierte) Aussage „Monotonie und Langeweile führen zu Widerspruch und negativer Einstellung dem System und seiner Umgebung gegenüber“ ist also nach diesen Ergebnissen genau umgekehrt zu betrachten – erst wenn sich eine negative Einstellung dem System und seiner Umgebung gegenüber entwickelt, erst dann tritt Monotonie auf. „Langeweile“ und psychische Sättigung charakterisieren den psychologischen Zustand fehlender positiver Anreize an der ausgeübten Tätigkeit. Bei fehlenden Anreizen zu tätigem Wachsen gewinnt die Sleep Propensity, das Bedürfnis nach Ruhe und Erholung, nach komfortabler Entspannung die Oberhand, der Organismus schaltet auf Schlafeinleitung um.

Nach Schönplflug (1987) oder Hacker & Richter (1984), (bereits im Kapitel Theoretische Grundlagen zitiert) bewegt man sich mit dem aversiven Element der Monotonie bereits im Bereich der psychischen Sättigung, der in den bisherigen Überlegungen nicht weiter aufgeführt wurde, doch nach deren Definition müßte dafür ein Widerwille gegen die Fortführung der Arbeit vorherrschen sowie befriedigende Ergebnisse oder Ergebnisfolgen fehlen; beide Voraussetzungen können jedoch mitnichten als erfüllt betrachtet werden.

Ferner läßt sich (etwas spekulativ) postulieren, daß sich die Reversibilität der Ermüdung bei Monotonie, wie sie in aller diesbezüglich zitierten Literatur gefordert wird, nicht bei Monotonie, die länger als 90 Minuten andauert, nachweisen lassen wird. Innerhalb von 90 Minuten

wird jeweils der ultradiane Rhythmus durchlaufen, der bei Monotonie, also beim Kampf als Kompensation von Aversion, ermüdend wirkt, folglich diese Ermüdung auch in der Talsohle des ultradianen Rhythmus verstärkend wirkt, so daß ein Aufstieg aus dieser Talsohle nicht mehr spontan erfolgen kann, sondern mit erheblichen Anstrengungen/Effort verbunden sein und entsprechend eine gewisse Zeitdauer in Anspruch nehmen wird, so daß ein nur einfacher Tätigkeitswechsel nicht die geforderte erlösende, entmüdende, spontane Wirkung haben wird.

## Anhang

An dieser Stelle soll nun folgenden Personen (in alphabetischer Reihenfolge) für ihren teilweise herausragenden Einsatz und ihre Hilfsbereitschaft gedankt werden:

Frau **Erke**, die eine Diplomarbeit über die Rückwirkungen zweier von mir benutzter Methoden schrieb.

Herrn **Prof. Galley**, dem ich die Anregung zu dieser Arbeit verdanke, der für mich mehr als nur ein jederzeit offenes Ohr hatte und mir das Gefühl uneingeschränkter Wertschätzung vermittelte<sup>1</sup>.

Frau **Janßen**, die im Rahmen ihres Praktikums unter schwierigen Verhältnissen die Versuchsfahrten gemeinsam mit mir betreute.

Frau **Radke**, meiner Lebensgefährtin, für ihr Vertrauen, ihre Motivation und ihre Geduld.

Frau **Reitter**, meiner Schwester, der Sie es verdanken, daß diese Arbeit den Ansprüchen der deutschen Schriftsprache genügt.

Herrn **Dipl.-Ing. Selle**, der mich bei meinen Bemühungen um die Beanspruchungsvarianten tatkräftig und beratend unterstützte.

Herrn **Prof. Timpe**, der mir immer wieder aufs Neue engagiert sein Interesse entgegenbrachte und fruchtbare Anregungen bot.

Dank gebührt natürlich auch allen **Kollegen**, ohne deren großzügige Unterstützung diese Untersuchung nicht hätte realisiert werden können.

---

<sup>1</sup> Diese Wertschätzung möchte ich natürlich an dieser Stelle in aller Form erwidern.

## A Abkürzungen

In eckigen Klammern ([ ]) stehen im Anschluß an die Erklärung der Abkürzungen die jeweiligen Einheiten, in denen die Größen gemessen wurden, einige Größen sind jedoch auch einheitenfrei oder reine Zählgrößen, dies wird nicht gesondert hervorgehoben. Insbesondere bei eini-

gen Tabellen wurde der Übersichtlichkeit halber auf die Angabe der Einheiten verzichtet, es gelten dann die in dieser tabellarischen Übersicht dokumentierten; Mittelwerte und verwandte Lagparameter übernehmen selbstverständlich die Einheiten ihrer jeweiligen Ursprungsgröße.

AMP	Amplitude (einer Sakkade oder eines Lidschluß') [°] (bei Daten des Springenden Punktes [% der Reizamplitude])	ETS	Eye Tracking System (Blickbewegungsaufzeichnesystem)
ANTI	Antizipationssakkade (als Antwort auf einen Reizwechsel)	EXP	Expreßsakkade (als Antwort auf einen Reizwechsel)
ANTI %	Anteil der Antizipationssakkaden an allen Antworten auf einen Reizwechsel [%]	EXP %	Anteil der Expreßsakkaden an allen Antworten auf einen Reizwechsel [%]
ANZ	Anzahl (Sakkaden oder Lidschläge)	EZ34	Eigenzustandsfragebogen
ARAS	Aufsteigendes Retikuläres Aktivationsystem	FÄ	Leistungsfähigkeit (Dimension der Befragung mittels Proteus)
AUSL	Auslassung (als Antwort auf einen Reizwechsel)	FIX	Fixation
AUSL %	Anteil der Auslassungen an allen Antworten auf einen Reizwechsel [%]	FR	Frustration (Frustration – TLX-Fragebogen)
BLV	Fragebogen zum Belastungsverlauf	FRQ	Frequenzbereich des Reizwechsels des Springenden Punktes mit Angabe der Obergrenze (Frq 1,2 Hz reicht von 0,7 Hz bis 1,2 Hz, Frq 1,7 Hz reicht von 1,2 Hz bis 1,7 Hz)
CS	Contention Scheduling	FUNK	Funktion/Diskriminanzfunktion
DAU	Dauer (Sakkaden, Lidschläge oder Fixationen) [msec]	GPS	Global Positioning System (Satellitenavigationssystem)
DEFI	Defizienz (Wachheit – EZ34-Fragebogen)	HF	Herzfrequenz
DEG	Grad	HIGH	Hoher Frequenzbereich des Reizwechsels des Springenden Punktes (1,2 Hz bis 1,7 Hz)
EDA	Elektrodermale Aktivität	IBI	Inter Beat Intervall der Herzfrequenz
EEG	Elektroenzephalogramm	INT	Intervall (bei Sakkaden, Fixationen, bei Lidschlägen Lidschlußintervalle) [msec]
EF	Effort (Anstrengung – TLX-Fragebogen)	IQ	Interquartil (25 % oder 75 %)
EFFI	Effizienz (Selbstwert – EZ34-Fragebogen)	LED	Light Emitting Diode
EKG	Elektrokardiogramm	LID	Lidschluß
EMG	Elektromyogramm	LOW	Niedriger Frequenzbereich des Reizwechsels des Springenden Punktes (0,7 Hz bis 1,2 Hz)
ENTIRE	Entire Population, Daten oder Ergebnisse, die sich auf die Gesamtstichprobe beziehen	NMR	Nuclear Magnetic Resonance
ENTIRE POP	Entire Population, Daten oder Ergebnisse, die sich auf die Gesamtstichprobe beziehen	MD	Mental Demand (Geistige Anforderung – TLX-Fragebogen)
EOG	Elektrookulogramm	MEAN	Arithmetischer Mittelwert
ER	Ermüdung (Dimension der Befragung mittels Proteus)	MO	Leistungsmotivation (Dimension der Befragung mittels Proteus)
ET AL.	Et alii (Latein – und andere)		

MOOD	Mood (Stimmung – EZ34-Fragebogen)	SD0	Natürliche Hintergrundgeräusche ohne zusätzliche Frequenzen
MSEC	Millisekunde		
MV	Millivolt	SD1	Natürliche Hintergrundgeräusche plus hohe Frequenzen des Motorengeräusches
MWWL	Mean Weighted Workload (TLX-Fragebogen)		
MWWS	Mean Weighted Workload Score (TLX-Fragebogen)	SD2	Natürliche Hintergrundgeräusche plus tiefe Frequenzen des Motorengeräusches
OP	Operational Performance (Aufgabenerfüllung – TLX-Fragebogen)	SEC	Sekunde
PD	Physical Demand (Körperliche Anforderung – TLX-Fragebogen)	SOL	Solitär Spiel (Versuchsbedingung)
PET	Positronenemissionstomographie	SPON	Spontane Blickverteilung
POP	Entire Population, Daten oder Ergebnisse, die sich auf die Gesamtstichprobe beziehen	SPP	Springender Punkt (Versuchsbedingung)
PRO	Proteus/Befragung mittels Proteus (Versuchsbedingung)	STD DEV	Standard Deviation (Standardabweichung)
QSM	Square, Sum, Mean – Quadratsumme der Mittelwerte	TD	Temporal Demand (Zeitliche Anforderung – TLX-Fragebogen)
QSV	Square, Sum, Value – Quadratsumme der Meßwerte	TENS	Tension (Entspannung – EZ34-Fragebogen)
REAK	Reaktionssakkade (als Antwort auf einen Reizwechsel)	TLX	NASA Task Load Index (Fragebogen)
REAK %	Anteil der Reaktionssakkaden an allen Antworten auf einen Reizwechsel [%]	TN	Teilnehmer/Teilnehmernummer
REGRESS	Regressionskoeffizient	V	Geschwindigkeit (Peakvelocity – einer Sakkade) [°/sec]
REM	Rapid Eye Movement	VIG	Vigilanz (Versuchsbedingung)
SAKK	Sakkade	VL	Versuchsleiterin/Versuchsleiter
SAS	Supervisory Attention System	ZEITP	Zeitpunkt (zu dem eine Sakkade ausgeführt wird) [sec]
SCL	Hautleitwert (Skin Conductance Level)	*	Signifikant auf dem 5% Niveau
SCR	Hautreaktion (Skin Conductance Response)	**	Signifikant auf dem 1% Niveau
		25 %	25 % Interquartil
		75 %	75 % Interquartil



Die zweite Seite des EZ34-Fragebogens für **vor** Fahrtantritt:

Auf meinen augenblicklichen Zustand zutreffend						
	kaum	etwas	einigermaßen	ziemlich	überwiegend	völlig
	1	2	3	4	5	6
zufrieden	:	:	:	:	:	:
geübt	:	:	:	:	:	:
abgespannt	:	:	:	:	:	:
aufgeschlossen	:	:	:	:	:	:
nervös	:	:	:	:	:	:
arbeitsfreudig	:	:	:	:	:	:
anerkannt	:	:	:	:	:	:
erschöpft	:	:	:	:	:	:
kontaktbereit	:	:	:	:	:	:
gefestigt	:	:	:	:	:	:
matt	:	:	:	:	:	:
abgehetzt	:	:	:	:	:	:
ärgerlich	:	:	:	:	:	:
geschätzt	:	:	:	:	:	:
fröhlich	:	:	:	:	:	:
erfahren	:	:	:	:	:	:
schläfrig	:	:	:	:	:	:
heiter	:	:	:	:	:	:
anstrengungsbereit	:	:	:	:	:	:
hektisch	:	:	:	:	:	:
überlegen	:	:	:	:	:	:
ausdauernd	:	:	:	:	:	:
geachtet	:	:	:	:	:	:
vergnügt	:	:	:	:	:	:
müde	:	:	:	:	:	:
gesprächig	:	:	:	:	:	:
angesehen	:	:	:	:	:	:
erholungsbedürftig	:	:	:	:	:	:
reizbar	:	:	:	:	:	:
unternehmungslustig	:	:	:	:	:	:
beliebt	:	:	:	:	:	:
verausgabt	:	:	:	:	:	:
interessiert	:	:	:	:	:	:
gutgelaunt	:	:	:	:	:	:

Die zweite Seite des EZ34-Fragebogens für **nach** Fahrtende (geänderte Reihenfolge der Items gegenüber der Reihenfolge der zweiten Seite für vor Fahrtantritt):

Auf meinen augenblicklichen Zustand zutreffend						
	kaum	etwas	einigermaßen	ziemlich	überwiegend	völlig
	1	2	3	4	5	6
geübt	:	:	:	:	:	:
aufgeschlossen	:	:	:	:	:	:
anerkannt	:	:	:	:	:	:
erschöpft	:	:	:	:	:	:
gefestigt	:	:	:	:	:	:
abgehetzt	:	:	:	:	:	:
fröhlich	:	:	:	:	:	:
erfahren	:	:	:	:	:	:
heiter	:	:	:	:	:	:
hektisch	:	:	:	:	:	:
überlegen	:	:	:	:	:	:
geachtet	:	:	:	:	:	:
müde	:	:	:	:	:	:
angesehen	:	:	:	:	:	:
reizbar	:	:	:	:	:	:
unternehmungslustig	:	:	:	:	:	:
verausgabt	:	:	:	:	:	:
gutgelaunt	:	:	:	:	:	:
zufrieden	:	:	:	:	:	:
abgespannt	:	:	:	:	:	:
nervös	:	:	:	:	:	:
arbeitsfreudig	:	:	:	:	:	:
kontaktbereit	:	:	:	:	:	:
matt	:	:	:	:	:	:
ärgerlich	:	:	:	:	:	:
geschätzt	:	:	:	:	:	:
schläfrig	:	:	:	:	:	:
anstrengungsbereit	:	:	:	:	:	:
ausdauernd	:	:	:	:	:	:
interessiert	:	:	:	:	:	:
erholungsbedürftig	:	:	:	:	:	:
gesprächig	:	:	:	:	:	:
beliebt	:	:	:	:	:	:
vergnügt	:	:	:	:	:	:

### C TLX-Fragebogen

Der NASA Task Load Index (TLX-) Fragebogen wird nach einer Belastung dargeboten, in dieser Arbeit wurde eine deutschsprachige, computergestützte Version benutzt.

Der erste Bildschirm des TLX-Fragebogens ist der Dokumentation gewidmet. Es werden Daten wie das Datum, die Uhrzeit, der Teilnehmername sowie der Dateiname abgefragt. Diese Seite wird vom Versuchsleiter ausgefüllt, der Teilnehmer bekommt sie nicht zu sehen.

Die erste Seite, die der Teilnehmer zu sehen bekommt, ist in Abbildung 52 dokumentiert. Dort wird vom Teilnehmer seine individuelle Beanspruchung den sechs Dimensionen geistige Anforderung, körperliche Anforderung, zeitliche Anforderung, Aufgabenerfüllung, Anstrengung und Frustration zugeordnet. In der letzten Zeile ist die Bedienung für den Anwender dokumentiert. (Die Originale sind farbig.)

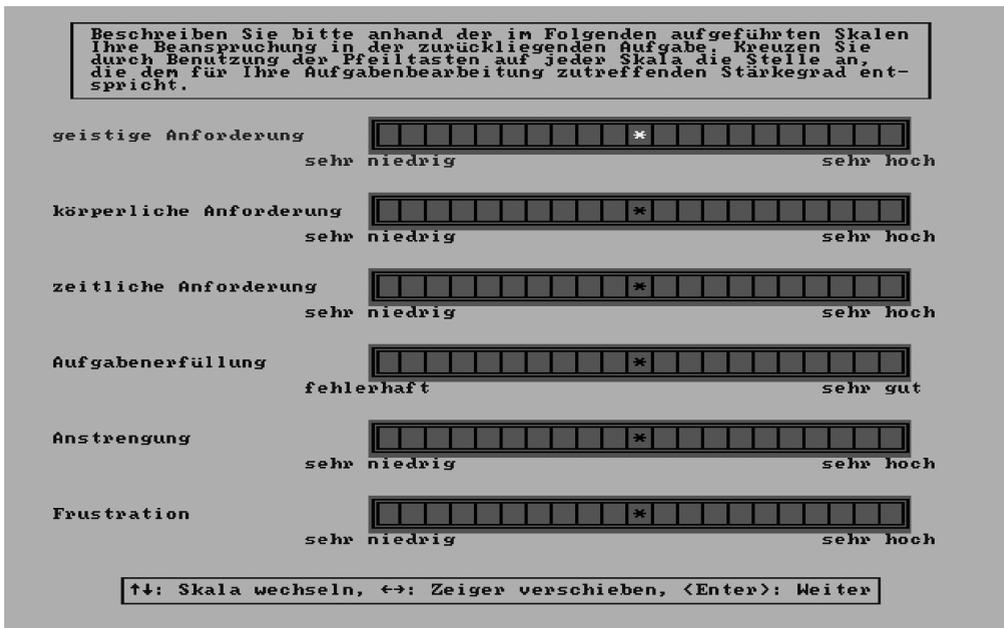
Anschließend finden die fünfzehn Paarvergleiche (der erste ist wiederum als Hardcopy in Abbildung 53 dargestellt) statt, bei denen der Teilnehmer gebeten wird, auszuwählen, welche der jeweils beiden Dimensionen stärker zu seinem

**Tabelle 85:** Liste der Paarvergleiche des TLX-Fragebogens

1.	Körperl. Anforderung	–	Geistige Anforderung
2.	Zeitliche Anforderung	–	Geistige Anforderung
3.	Aufgabenerfüllung	–	Geistige Anforderung
4.	Frustration	–	Geistige Anforderung
5.	Anstrengung	–	Geistige Anforderung
6.	Zeitliche Anforderung	–	Körperl. Anforderung
7.	Aufgabenerfüllung	–	Körperl. Anforderung
8.	Frustration	–	Körperl. Anforderung
9.	Anstrengung	–	Körperl. Anforderung
10.	Zeitliche Anforderung	–	Aufgabenerfüllung
11.	Zeitliche Anforderung	–	Frustration
12.	Zeitliche Anforderung	–	Anstrengung
13.	Aufgabenerfüllung	–	Frustration
14.	Aufgabenerfüllung	–	Anstrengung
15.	Anstrengung	–	Frustration

derzeitigen Zustand beitragen. Die Reihenfolge der Paarvergleiche ist in Tabelle 85 dokumentiert.

Nachdem der Teilnehmer alle fünfzehn Paarvergleiche bearbeitet hat, erscheint ein abschließender Bildschirm mit dem Ergebnis der Befragung



**Abbildung 52:** Hardcopy des TLX-Fragebogens, Beanspruchungsmessung

Markieren Sie mit den Pfeiltasten jeweils den Skalenbegriff der nach Ihrer Meinung stärker zur Beanspruchung in vorangegangenen Experiment beigetragen hat.

körperliche Anforderung

or

geistige Anforderung

↑↓: Begriff markieren, <Enter>: Weiter

**Abbildung 53:** Hardcopy des TLX-Fragebogens, Paarvergleich

in der Form: „Ergebnis Mean WL Score:“ mit dem entsprechenden Zahlenwert. Auch befindet sich in der letzten Zeile die Erläuterung der Bedeutung für den Anwender.

## D Proteus Befragung

Die Proteus Befragung besteht aus sechs Fragen, die in gleichbleibender Reihenfolge en Block den Teilnehmern alle zwölf Minuten dargeboten werden. Ein Fragenblock wird jeweils mit einem Piepton eingeleitet, worauf dann die Fragen von einem Computer abgespielt werden. Zur Beantwortung auf einer speziellen fünfstufigen Tastatur (siehe Abbildung 36) stehen jeweils zehn Sekunden zur Verfügung, bis die nächste Frage gestellt wird. Die Tasten zur Beantwortung sind mit „1“ bis „5“ beschriftet, die Instruktion besagt, daß die Antwort „1“ für „nicht“, die „5“ für „sehr“ steht. Es bleibt den Teilnehmern überlassen, eine Abstufung zwischen diesen beiden Werten zu bestimmen.

Die Fragen wurden im Rahmen einer Diplomarbeit von Frau Erke (Erke, 1998), basierend auf dem BLV (Fragebogen zum Belastungserleben),

entwickelt. Zwei Item zur psychischen Anspannung, die in der ersten Version für die Diplomarbeit noch zusätzlich gestellt wurden, wurden ersatzlos gestrichen, da sie bei den Ergebnissen der Diplomarbeit keine signifikanten Unterschiede aufwiesen. Die verbliebenen Fragen sind somit nur noch den drei Skalen „Momentane Leistungsfähigkeit“, „aktuelle Leistungsmotivation“ und „Ermüdung“ entnommen. Die Items dieser drei Skalen bilden jeweils Gegensatzpaare.

**Tabelle 86:** Fragen für die Befragung mittels Proteus

Frage	Skala
Wie abgelenkt sind Sie?	momentane Leistungsfähigkeit
Wie interessiert sind Sie?	aktuelle Leistungsmotivation
Wie schläfrig sind Sie?	Ermüdung
Wie aufmerksam sind Sie?	momentane Leistungsfähigkeit
Wie gelangweilt sind Sie?	aktuelle Leistungsmotivation
Wie wach sind Sie?	Ermüdung

**E Tabellen**

**Lesebeispiele:**

Der Anteil an Antizipationsakkaden an den Gesamtsakkaden des SPP lag für alle Teilnehmer bei einem arithmetischen Mittel von 50,0%. Die Standardabweichung des Anteils an Antizipationsakkaden an den Gesamtsakkaden bei der

Bearbeitung des SPP lag für alle Teilnehmer während der ersten Hälfte bei 21,3%. Das 25% Interquartil der Antizipationsakkaden an den Gesamtsakkaden bei der Bearbeitung des SPP lag für alle Teilnehmer während der ersten Hälfte bei den Fahrten unter der Soundbedingung SD0-ohne bei 29,2%.

**Tabelle 87:** Ergebnisübersicht des Springenden Punktes

<b>Anti %</b>	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Entire Pop	50,0	22,9	33,3	43,5	66,7
Erste Hälfte	49,0	21,3	33,3	42,9	64,5
Ohne Sounds	45,7	21,8	29,2	40,5	58,3
Hohe Sounds	50,7	21,1	33,3	46,0	66,7
Tiefe Sounds	50,7	20,8	36,4	47,8	64,4
Zweite Hälfte	51,3	24,6	33,3	45,8	66,7
Ohne Sounds	52,6	23,8	33,7	43,5	73,6
Hohe Sounds	53,6	24,6	33,3	50,0	73,3
Tiefe Sounds	47,2	25,0	25,0	41,7	66,7

<b>Exp %</b>	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Entire Pop	12,0	7,4	7,7	8,7	16,7
Erste Hälfte	12,1	7,2	8,3	8,7	16,7
Ohne Sounds	11,9	8,0	7,1	8,7	16,7
Hohe Sounds	11,8	6,8	8,3	8,7	16,7
Tiefe Sounds	12,9	6,6	8,3	12,5	17,4
Zweite Hälfte	11,9	7,6	7,7	8,7	16,7
Ohne Sounds	12,0	7,7	8,3	8,3	16,7
Hohe Sounds	12,7	8,2	7,4	9,1	16,7
Tiefe Sounds	10,8	6,6	7,7	8,3	13,0

<b>Reak %</b>	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Entire Pop	21,8	11,8	12,9	20,4	29,2
Erste Hälfte	21,9	11,8	12,5	21,4	29,2
Ohne Sounds	22,5	12,2	12,8	21,4	33,3
Hohe Sounds	22,2	11,5	13,0	21,6	29,2
Tiefe Sounds	20,6	11,6	9,1	17,4	27,3
Zweite Hälfte	21,7	11,8	13,0	19,0	29,2
Ohne Sounds	21,7	11,0	13,0	18,2	30,4
Hohe Sounds	22,1	12,0	13,0	20,0	29,2
Tiefe Sounds	21,2	12,4	12,1	18,2	27,9

<b>Ausl %</b>	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Entire Pop	28,7	15,4	16,7	28,6	38,1
Erste Hälfte	28,8	14,2	16,7	29,2	39,1
Ohne Sounds	31,2	12,8	16,7	33,3	41,1
Hohe Sounds	27,3	14,8	16,7	26,1	37,5
Tiefe Sounds	27,8	15,0	16,7	25,0	37,5
Zweite Hälfte	28,6	16,8	16,7	27,3	37,5
Ohne Sounds	27,3	14,2	16,7	26,1	34,8
Hohe Sounds	27,1	15,0	12,0	27,0	34,8
Tiefe Sounds	31,6	20,6	14,3	30,4	41,7

<b>Amp_Anti</b>	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Entire Pop	107,1	18,1	101,7	112,8	118,3
Erste Hälfte	110,4	17,2	108,0	115,4	120,4
Ohne Sounds	112,9	13,8	111,4	116,0	120,2
Hohe Sounds	111,1	15,3	106,9	114,9	120,4
Tiefe Sounds	106,3	22,2	95,0	115,7	120,5
Zweite Hälfte	103,0	18,3	96,8	109,0	115,6
Ohne Sounds	110,2	13,6	106,6	112,8	118,9
Hohe Sounds	102,0	19,1	93,7	107,6	115,5
Tiefe Sounds	96,0	19,2	86,7	100,7	110,7

<b>Amp_Exp</b>	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Entire Pop	104,0	17,9	94,6	109,7	116,8
Erste Hälfte	106,8	17,3	98,6	111,6	118,4
Ohne Sounds	111,7	14,2	108,5	115,2	121,6
Hohe Sounds	106,9	14,9	100,2	112,1	116,9
Tiefe Sounds	101,5	21,2	89,6	108,4	115,6
Zweite Hälfte	100,5	18,2	90,1	105,5	113,3
Ohne Sounds	107,8	11,5	103,1	110,1	116,5
Hohe Sounds	97,1	21,9	78,7	104,8	113,5
Tiefe Sounds	96,1	17,1	80,7	97,2	111,1

Fortsetzung Tabelle 87

<b>Amp_Reak</b>	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Entire Pop	109,0	16,2	103,6	113,3	118,9
Erste Hälfte	111,6	14,8	106,7	115,4	120,4
Ohne Sounds	113,0	13,9	110,2	115,8	120,7
Hohe Sounds	111,5	14,6	105,8	115,0	119,3
Tiefe Sounds	109,9	16,0	103,2	114,1	120,6
Zweite Hälfte	105,5	17,4	99,6	110,9	116,9
Ohne Sounds	110,9	13,8	108,7	115,2	118,2
Hohe Sounds	102,4	21,0	95,4	108,1	116,1
Tiefe Sounds	103,9	14,9	95,9	107,5	114,9

<b>V_Anti</b>	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Entire Pop	110,9	34,3	91,2	107,4	124,0
Erste Hälfte	116,2	37,3	95,6	110,9	129,5
Ohne Sounds	122,0	53,3	85,6	105,7	130,4
Hohe Sounds	113,3	28,6	95,7	115,9	134,7
Tiefe Sounds	112,6	17,4	99,5	110,5	119,1
Zweite Hälfte	104,5	29,1	88,5	103,0	118,0
Ohne Sounds	108,9	36,5	86,8	102,5	122,4
Hohe Sounds	101,5	29,3	81,7	102,4	122,0
Tiefe Sounds	103,1	16,3	91,0	104,0	113,5

<b>Anti_Zeitp</b>	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Entire Pop	-89,4	81,2	-138,8	-87,0	-28,0
Erste Hälfte	-88,1	80,8	-140,0	-86,5	-23,0
Ohne Sounds	-87,0	74,3	-140,5	-84,5	-26,8
Hohe Sounds	-86,8	78,4	-130,0	-91,0	-22,5
Tiefe Sounds	-91,5	92,3	-154,0	-89,0	-25,0
Zweite Hälfte	-91,0	81,7	-137,0	-87,0	-28,8
Ohne Sounds	-86,4	72,4	-127,0	-84,0	-28,0
Hohe Sounds	-79,2	78,3	-132,5	-75,0	-16,0
Tiefe Sounds	-110,3	92,2	-165,0	-96,0	-39,5

<b>V_Exp</b>	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Entire Pop	113,6	39,8	91,2	109,2	127,5
Erste Hälfte	119,4	47,2	95,9	112,0	129,9
Ohne Sounds	119,4	46,4	90,6	109,0	130,2
Hohe Sounds	126,1	63,6	94,4	116,9	146,8
Tiefe Sounds	112,0	16,5	100,5	111,4	122,5
Zweite Hälfte	106,4	26,4	86,1	102,7	121,9
Ohne Sounds	113,6	31,9	90,2	109,8	128,9
Hohe Sounds	100,2	25,4	82,1	99,3	113,3
Tiefe Sounds	105,8	17,6	90,2	107,3	116,8

<b>V_Reak</b>	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Entire Pop	113,2	34,5	93,6	111,0	126,8
Erste Hälfte	116,6	36,8	95,9	112,4	131,7
Ohne Sounds	117,2	52,2	79,6	103,4	122,9
Hohe Sounds	117,7	29,2	104,5	121,2	138,2
Tiefe Sounds	114,1	17,0	100,9	111,5	121,1
Zweite Hälfte	108,8	30,9	90,5	109,2	123,9
Ohne Sounds	106,0	40,1	76,2	103,5	122,7
Hohe Sounds	111,7	32,4	96,1	113,7	138,3
Tiefe Sounds	108,2	14,2	98,7	110,0	115,0

<b>Exp_Zeitp</b>	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Entire Pop	122,5	13,9	111,0	123,0	134,0
Erste Hälfte	122,9	13,8	113,0	122,0	135,0
Ohne Sounds	123,1	14,4	111,0	124,0	136,0
Hohe Sounds	122,3	13,8	115,0	122,0	134,0
Tiefe Sounds	123,5	13,4	112,0	122,0	136,0
Zweite Hälfte	122,0	14,0	109,0	124,0	133,0
Ohne Sounds	125,9	14,3	110,0	129,0	139,0
Hohe Sounds	119,1	13,9	105,0	121,5	130,0
Tiefe Sounds	121,3	12,8	108,8	123,5	132,0

Fortsetzung Tabelle 87

<b>Reak_Zeitp</b>	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Entire Pop	219,0	46,2	188,5	211,0	237,0
Erste Hälfte	220,4	46,9	190,0	213,0	240,0
Ohne Sounds	226,5	44,5	196,5	221,0	248,5
Hohe Sounds	220,8	52,1	188,0	212,5	240,2
Tiefe Sounds	211,6	40,8	186,8	204,0	228,5
Zweite Hälfte	217,2	45,3	186,2	211,0	235,0
Ohne Sounds	206,5	37,2	178,0	200,0	223,0
Hohe Sounds	221,8	51,5	187,5	214,0	238,5
Tiefe Sounds	222,5	43,7	196,0	215,5	236,0

**Tabelle 88:** Signifikanzen des Springenden Punktes bezüglich erster und zweiter Hälfte der einzelnen Versuchsfahrten

	Anti %	Exp %	Reak %	Ausl %	Amp_Anti	Amp_Exp	Amp_Reak
<b>Erste Hälfte</b>							
Mean	49,0	12,1	21,9	31,2	110,4	106,9	111,6
Std Dev	21,3	7,2	11,8	13,0	17,2	17,3	14,8
<b>Zweite Hälfte</b>							
Mean	51,3	11,9	21,7	32,0	103,0	100,5	105,5
Std Dev	24,6	7,6	11,8	15,7	18,320	18,2	17,4
<b>Ergebnis</b>							
Mean Differenz	-2,3	0,2	0,2	-0,8	7,4	6,3	6,0
Teststärke F	9,300	0,028	0,027	1,394	3,707	1,354	4,621
Signifikanz P	<b>0,002</b>	0,867	0,871	0,238	0,055	0,246	<b>0,032</b>
	V_Anti	V_Exp	V_Reak	Anti_Zeitp	Exp_Zeitp	Reak_Zeitp	
<b>Erste Hälfte</b>							
Mean	116,2	119,4	116,6	-88,1	122,9	220,4	
Std Dev	37,3	47,2	36,8	80,8	13,8	46,9	
<b>Zweite Hälfte</b>							
Mean	104,5	106,4	108,8	-91,0	122,0	217,2	
Std Dev	29,1	26,4	30,9	81,7	14,0	45,3	
<b>Ergebnis</b>							
Mean Differenz	11,7	13,0	7,8	2,9	0,9	3,1	
Teststärke	6,937	3,129	2,372	0,086	0,301	0,267	
Signifikanz	<b>0,009</b>	0,078	0,124	0,770	0,584	0,605	

**Tabelle 89:** Ergebnisübersicht der spontanen Blickverteilung

Anz_Sakk_1	Mean	Std Dev	25%	Median	75%	Anz_Lid_1	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Eintire Pop	53,3	21,8	37,0	50,0	66,0	Eintire Pop	36,6	17,1	24,0	35,0	48,0
Erste Hälfte	53,8	21,5	38,0	51,0	67,0	Erste Hälfte	36,2	16,6	24,0	34,0	46,0
Ohne Sounds	49,1	18,1	36,0	46,0	61,0	Ohne Sounds	35,3	15,8	25,0	34,0	46,0
Hohe Sounds	56,5	24,6	37,0	53,0	72,0	Hohe Sounds	38,5	17,6	25,0	34,0	48,0
Tiefe Sounds	56,2	20,8	42,0	53,0	68,5	Tiefe Sounds	34,7	16,1	21,5	33,0	46,0
Zweite Hälfte	52,9	22,1	36,0	49,0	66,0	Zweite Hälfte	37,1	17,7	24,0	35,0	49,0
Ohne Sounds	47,1	19,8	33,0	45,0	59,8	Ohne Sounds	40,4	15,4	29,3	37,0	52,0
Hohe Sounds	58,7	26,7	37,0	54,0	75,0	Hohe Sounds	38,1	19,6	22,0	36,0	51,8
Tiefe Sounds	52,2	16,6	40,0	52,0	63,0	Tiefe Sounds	33,0	16,8	19,0	33,0	47,0

Anz_Sakk_2	Mean	Std Dev	25%	Median	75%	Anz_Lid_2	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Eintire Pop	119,4	32,3	96,0	116,0	139,0	Eintire Pop	42,1	17,2	29,0	40,0	54,0
Erste Hälfte	122,5	31,6	99,0	122,0	140,0	Erste Hälfte	41,9	17,1	29,0	40,0	54,0
Ohne Sounds	120,0	29,5	99,3	122,0	139,0	Ohne Sounds	41,9	17,9	29,3	41,0	55,0
Hohe Sounds	131,1	33,5	107,0	132,0	156,0	Hohe Sounds	43,1	18,7	29,0	38,0	54,0
Tiefe Sounds	116,3	29,9	95,0	112,0	133,0	Tiefe Sounds	40,6	14,0	29,0	40,0	49,5
Zweite Hälfte	116,3	32,7	94,0	111,0	135,0	Zweite Hälfte	42,4	17,3	29,0	41,0	55,0
Ohne Sounds	111,6	33,3	89,0	109,5	133,8	Ohne Sounds	46,5	16,2	34,0	44,5	59,0
Hohe Sounds	129,4	34,7	102,3	124,5	153,0	Hohe Sounds	42,1	20,1	25,0	40,0	54,8
Tiefe Sounds	106,5	24,5	90,0	106,0	120,0	Tiefe Sounds	38,7	14,0	27,0	37,0	50,0

Amp_Sakk	Mean	Std Dev	25%	Median	75%	Amp_Lid	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Eintire Pop	7,7	2,5	5,8	7,2	9,1	Eintire Pop	30,2	13,6	19,0	30,0	41,1
Erste Hälfte	7,6	2,5	5,5	7,1	9,2	Erste Hälfte	29,9	13,3	18,6	30,2	40,1
Ohne Sounds	6,9	1,9	5,3	6,5	8,5	Ohne Sounds	23,0	14,9	18,3	28,6	41,5
Hohe Sounds	7,5	3,0	5,2	6,6	9,5	Hohe Sounds	30,0	11,3	18,8	31,1	37,2
Tiefe Sounds	8,4	2,2	6,7	8,0	9,9	Tiefe Sounds	29,6	13,5	22,3	29,8	42,7
Zweite Hälfte	7,8	2,5	5,9	7,4	9,1	Zweite Hälfte	30,6	13,9	19,5	29,9	42,3
Ohne Sounds	7,3	2,2	5,6	6,7	8,5	Ohne Sounds	29,1	12,1	20,1	28,450	39,1
Hohe Sounds	7,8	3,2	5,6	6,8	8,8	Hohe Sounds	32,4	13,7	19,6	32,8	43,0
Tiefe Sounds	8,3	1,9	7,0	8,0	9,4	Tiefe Sounds	30,1	15,3	12,0	29,2	45,8

Amp_Sakk_lq	Mean	Std Dev	25%	Median	75%	Amp_Lid_lq	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Eintire Pop	9,1	3,9	6,3	8,2	10,8	Eintire Pop	11,8	8,1	6,7	9,7	13,9
Erste Hälfte	9,1	3,9	6,2	8,2	11,1	Erste Hälfte	12,4	9,0	6,7	9,8	14,6
Ohne Sounds	8,3	3,3	5,7	7,750	9,8	Ohne Sounds	13,7	12,5	5,9	8,150	16,7
Hohe Sounds	9,1	4,3	6,0	7,7	11,7	Hohe Sounds	11,5	4,5	8,2	10,7	13,9
Tiefe Sounds	9,9	4,1	6,9	9,6	11,7	Tiefe Sounds	11,8	7,6	6,1	10,3	14,9
Zweite Hälfte	9,1	3,9	6,5	8,3	10,6	Zweite Hälfte	11,2	7,0	6,8	9,5	13,5
Ohne Sounds	8,4	3,7	5,7	7,6	9,7	Ohne Sounds	10,8	8,8	5,8	7,4	11,1
Hohe Sounds	9,1	4,3	6,2	8,1	10,4	Hohe Sounds	12,1	5,8	8,8	10,8	14,4
Tiefe Sounds	9,6	3,4	7,4	9,1	11,4	Tiefe Sounds	10,5	6,0	6,3	9,5	13,3

Fortsetzung Tabelle 89

V_Sakk	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Eintire Pop	75,1	21,6	63,0	74,0	84,0
Erste Hälfte	77,6	24,0	64,0	75,0	87,0
Ohne Sounds	83,0	32,9	59,0	75,0	90,0
Hohe Sounds	73,4	20,4	55,0	75,0	87,0
Tiefe Sounds	76,0	10,9	67,0	74,0	85,0
Zweite Hälfte	72,6	18,4	61,0	73,0	82,0
Ohne Sounds	72,7	23,3	59,0	68,0	80,0
Hohe Sounds	70,8	19,6	52,0	74,0	84,0
Tiefe Sounds	74,5	9,7	68,0	74,0	82,0

V_Sakk_lq	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Eintire Pop	24,2	12,0	17,0	22,0	29,0
Erste Hälfte	25,1	13,4	17,0	22,0	29,0
Ohne Sounds	27,6	19,3	14,0	20,0	35,0
Hohe Sounds	23,0	8,4	17,0	22,0	27,0
Tiefe Sounds	24,4	8,4	19,0	23,0	29,0
Zweite Hälfte	23,3	10,2	16,0	22,0	28,0
Ohne Sounds	23,6	14,2	14,0	19,0	29,8
Hohe Sounds	23,7	8,7	18,0	23,0	29,0
Tiefe Sounds	22,5	6,8	17,0	23,0	27,0

Dau_Sakk	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Eintire Pop	44,2	6,8	39,0	45,0	49,0
Erste Hälfte	43,6	6,6	39,0	44,0	48,0
Ohne Sounds	42,7	4,4	39,0	43,0	46,0
Hohe Sounds	41,1	8,1	35,0	39,0	48,0
Tiefe Sounds	47,3	5,1	44,0	48,0	51,0
Zweite Hälfte	44,8	6,9	40,0	45,0	49,0
Ohne Sounds	42,8	5,0	39,0	43,0	47,0
Hohe Sounds	43,5	8,4	37,0	44,0	49,0
Tiefe Sounds	48,1	5,5	44,0	48,0	51,0

Dau_Sakk_lq	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Eintire Pop	27,6	10,2	21,0	25,0	32,0
Erste Hälfte	27,3	9,4	21,0	25,0	32,0
Ohne Sounds	25,8	7,7	21,0	24,0	30,0
Hohe Sounds	28,1	10,0	21,0	26,0	34,0
Tiefe Sounds	28,2	10,3	20,0	26,0	34,5
Zweite Hälfte	27,8	10,9	21,0	25,0	32,0
Ohne Sounds	26,6	10,4	19,3	24,0	31,0
Hohe Sounds	28,2	11,2	21,0	25,0	31,0
Tiefe Sounds	28,6	10,8	21,0	27,0	35,0

V_Lid	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Eintire Pop	167,5	59,6	119,0	163,0	208,0
Erste Hälfte	167,7	60,5	119,0	165,0	204,8
Ohne Sounds	169,1	71,2	109,3	161,0	201,0
Hohe Sounds	167,6	45,3	125,0	169,0	191,0
Tiefe Sounds	166,3	61,6	127,5	165,0	222,0
Zweite Hälfte	167,3	58,7	120,0	162,0	210,0
Ohne Sounds	157,8	52,3	118,0	146,0	183,0
Hohe Sounds	181,4	57,9	127,0	179,0	220,5
Tiefe Sounds	161,2	62,3	93,0	155,0	224,0

V_Lid_lq	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Eintire Pop	50,5	24,1	36,0	48,0	62,0
Erste Hälfte	51,6	24,3	36,0	49,0	64,8
Ohne Sounds	50,4	30,9	31,0	43,0	64,0
Hohe Sounds	53,0	18,5	40,0	51,0	63,0
Tiefe Sounds	51,3	21,2	35,0	52,0	66,0
Zweite Hälfte	49,5	23,9	35,0	47,0	62,0
Ohne Sounds	44,5	20,3	31,0	41,0	53,8
Hohe Sounds	56,3	28,3	41,0	53,0	65,0
Tiefe Sounds	46,9	19,7	32,0	48,0	62,0

Dau_Lid	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Eintire Pop	129,6	20,9	117,0	128,0	140,0
Erste Hälfte	130,6	21,2	121,0	129,0	141,0
Ohne Sounds	128,7	25,1	120,0	129,0	140,0
Hohe Sounds	134,8	18,6	123,0	131,0	147,0
Tiefe Sounds	128,3	18,3	118,0	127,0	137,5
Zweite Hälfte	128,6	20,6	115,0	127,0	139,0
Ohne Sounds	129,9	23,6	117,0	127,0	142,8
Hohe Sounds	129,4	20,8	114,3	127,0	139,0
Tiefe Sounds	126,5	16,8	115,0	125,0	137,0

Dau_Lid_lq	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Eintire Pop	51,4	31,9	32,0	45,0	63,0
Erste Hälfte	52,5	31,1	32,3	47,0	63,8
Ohne Sounds	50,8	27,7	32,3	46,5	63,0
Hohe Sounds	57,1	34,2	34,0	53,0	69,0
Tiefe Sounds	49,3	30,7	32,0	42,0	57,0
Zweite Hälfte	50,3	32,7	31,0	42,0	62,0
Ohne Sounds	50,2	29,8	30,3	44,0	63,0
Hohe Sounds	54,7	40,1	32,0	43,0	67,8
Tiefe Sounds	45,8	25,2	30,0	40,0	57,0

Fortsetzung nächste Seite

## Fortsetzung Tabelle 89

Es gibt hier keine Entsprechung der Sakkadenparameter für den Lidschlußparameter Dau\_Lid\_190.

Dau_Fix	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Eintire Pop	543,4	183,3	422,0	502,0	629,0
Erste Hälfte	526,6	176,1	414,0	485,0	607,0
Ohne Sounds	540,4	174,8	423,5	496,0	614,0
Hohe Sounds	491,8	183,3	380,0	448,0	538,0
Tiefe Sounds	548,2	164,4	432,5	515,0	636,0
Zweite Hälfte	560,3	189,0	432,0	521,0	655,0
Ohne Sounds	566,5	196,2	427,5	521,5	657,3
Hohe Sounds	512,1	175,3	399,3	478,0	584,8
Tiefe Sounds	605,9	184,6	486,0	551,0	701,0

Dau_Fix_Iq	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Eintire Pop	1063	429	790	992	1282
Erste Hälfte	1021	386	774	948	1211
Ohne Sounds	1042	407	806	963	1192
Hohe Sounds	979	405	678	876	1207
Tiefe Sounds	1042	335	818	994	1226
Zweite Hälfte	1107	465	808	1041	1323
Ohne Sounds	1174	582	840	1069	1353
Hohe Sounds	987	386	716	918	1261
Tiefe Sounds	1171	387	898	1131	1354

Dau_Fix_600	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Eintire Pop	45,0	9,1	38,7	44,7	51,4
Erste Hälfte	44,1	8,8	37,8	43,8	50,5
Ohne Sounds	45,1	8,2	39,3	44,4	50,5
Hohe Sounds	41,6	8,8	35,8	40,7	47,1
Tiefe Sounds	45,7	8,8	34,0	45,7	51,9
Zweite Hälfte	45,8	9,3	39,6	46,0	52,1
Ohne Sounds	45,9	9,1	39,3	46,1	52,8
Hohe Sounds	43,0	9,3	36,2	43,750	49,0
Tiefe Sounds	48,8	8,6	43,3	48,1	54,6

Dau_Lid_190	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Eintire Pop	13,8	11,4	5,3	10,8	19,6
Erste Hälfte	14,5	11,1	6,4	11,8	20,0
Ohne Sounds	14,8	11,0	6,6	12,6	21,2
Hohe Sounds	16,2	11,3	7,9	13,7	21,9
Tiefe Sounds	12,5	10,8	4,8	9,4	17,3
Zweite Hälfte	13,0	11,6	4,5	9,8	18,9
Ohne Sounds	14,6	12,8	4,9	10,9	21,4
Hohe Sounds	14,3	12,0	5,6	10,350	21,0
Tiefe Sounds	10,3	9,4	3,2	7,8	15,4

Int_Lid	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Eintire Pop	2333	1272	1592	1993	2603
Erste Hälfte	2299	1188	1574	1988	2575
Ohne Sounds	2400	1500	1572	1931	2634
Hohe Sounds	2189	924	1529	2008	2554
Tiefe Sounds	2301	1020	1619	2020	2611
Zweite Hälfte	2367	1351	1609	1999	2624
Ohne Sounds	2090	807	1570	1844	2353
Hohe Sounds	2545	1789	1554	2023	2774
Tiefe Sounds	2437	1168	1721	2118	2688

Int_Lid_Iq	Mean	Std Dev	25%	Median	75%
Eintire Pop	3035	2327	1539	2342	3761
Erste Hälfte	2988	2185	1522	2413	3761
Ohne Sounds	3032	2566	1411	2303	3632
Hohe Sounds	2871	1801	1450	2387	3871
Tiefe Sounds	3064	2089	1655	2511	3810
Zweite Hälfte	3082	2462	1556	2294	3763
Ohne Sounds	2451	1699	1335	1987	2908
Hohe Sounds	3476	3115	1557	2406	4235
Tiefe Sounds	3254	2154	1772	2706	4195

Int_Lid_3000	Mean	StdDev	25%	Median	75%
Eintire Pop	32,9	18,1	19,5	31,7	44,4
Erste Hälfte	33,0	18,0	19,5	32,350	44,4
Ohne Sounds	33,1	20,1	17,7	31,0	45,2
Hohe Sounds	31,5	17,4	18,9	32,3	44,4
Tiefe Sounds	34,4	15,7	22,2	34,1	44,4
Zweite Hälfte	32,8	18,3	19,2	31,1	44,8
Ohne Sounds	27,8	16,0	13,9	25,550	38,9
Hohe Sounds	34,4	21,5	17,7	31,850	47,6
Tiefe Sounds	35,8	15,5	24,1	34,3	46,9

**Tabelle 90:** Signifikanzen der spontanen Blickverteilung bezüglich erster und zweiter Hälfte der einzelnen Versuchsfahrten

	Anz_Sakk_1	Anz_Sakk_2	Amp_Sakk	Amp_Sakk_lq	V_Sakk	V_Sakk_lq
Erste Hälfte						
Mean	53,8	122,5	7,6	9,1	77,6	25,1
Std Dev	21,5	31,6	2,5	3,9	24,0	13,4
Zweite Hälfte						
Mean	52,9	116,3	7,8	9,1	72,6	23,3
Std Dev	22,1	32,7	2,5	3,9	18,4	10,2
Ergebnis						
Mean Differenz	0,9	6,3	-0,2	-0,0	5,0	1,8
Teststärke F	0,337	0,770	0,662	2,717	21,329	19,620
Signifikanz P	0,562	0,380	0,416	0,099	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>

	Dau_Sakk	Dau_Sakk_lq	Dau_Fix	Dau_Fix_lq	Dau_Fix_600
Erste Hälfte					
Mean	43,6	27,3	526,6	1020,7	44,1
Std Dev	6,6	9,4	176,1	386,1	8,8
Zweite Hälfte					
Mean	44,8	27,8	560,3	1106,6	45,8
Std Dev	6,9	10,857	189,0	464,935	9,3
Ergebnis					
Mean Differenz	-1,2	-0,5	-33,7	-85,9	-1,7
Teststärke F	0,057	4,964	4,125	7,993	1,913
Signifikanz P	0,811	<b>0,026</b>	<b>0,042</b>	<b>0,005</b>	0,167

	Anz_Lid_1	Anz_Lid_2	Amp_Lid	Amp_Lid_lq	V_Lid	V_Lid_lq
Erste Hälfte						
Mean	36,2	41,9	29,9	12,4	167,7	51,6
Std Dev	16,6	17,1	13,3	9,0	60,5	24,3
Zweite Hälfte						
Mean	37,1	42,4	30,6	11,2	167,3	49,5
Std Dev	17,7	17,3	13,9	7,0	58,7	23,9
Ergebnis						
Mean Differenz	-0,9	-0,5	-0,7	1,2	0,4	2,1
Teststärke F	3,232	0,240	3,489	22,211	0,118	2,863
Signifikanz P	0,072	0,624	0,062	<b>0,000</b>	0,732	0,091

	Dau_Lid	Dau_Lid_lq	Dau_Lid_190	Int_Lid	Int_Lid_lq	Int_Lid_3000
Erste Hälfte						
Mean	130,6	52,5	14,5	2298,8	2988,4	33,0
Std Dev	21,2	31,1	11,1	1188,4	2185,1	18,0
Zweite Hälfte						
Mean	128,6	50,3	13,0	2366,8	3081,5	32,8
Std Dev	20,6	32,7	11,6	1350,6	2462,0	18,3
Ergebnis						
Mean Differenz	2,0	2,2	1,5	-68,0	-93,1	0,2
Teststärke F	0,452	0,537	0,694	1,325	4,488	0,047
Signifikanz P	0,502	0,464	0,405	0,250	<b>0,034</b>	0,828

**F Literatur**

- Aanta 1970 Aanta, E., Light-induced and spontaneous variation in the amplitude of the electro-oculogram, *Acta Oto-Laryngologica*, 267 (Supplement), pp. 5–37
- Akerstedt 1991 Akerstedt, T., Sleepiness at work: effects of irregular work hours, in *Sleep, sleepiness, and performance* (Hrsg. T. H. Monk), pp. 129–154, Wiley, Chichester
- Akerstedt et al. 1991 Akerstedt, T., Kecklund, G., Sigurdsson, K., Anderzén, I., Gillberg, M., Methodological aspects on ambulatory monitoring of sleepiness, in: *proceedings of the workshop 'Psychophysiological Measures in Transport Operations'* (Hrsg. A. Gundel) (Interne Berichte der DLR IB-316-91-01), Köln
- Akerstedt et al. 1988 Akerstedt, T., Torsval, L., Gillberg, M., Ambulatory Measurement of Vigilance, in: *Vigilance: Methods, Models and Regulation* (Hrsg. J. P. Leonard), *Studies in Industrial and Organizational Psychology, Proceedings 5*, pp. 73–80
- Allport 1993 Allport, A., Attention and Control: Have We Been Asking the Wrong Questions? A Critical Review of Twenty-Five Years, in: *Attention and Performance XIV: Synergies in Experimental Psychology, Artificial Intelligence, and Cognitive Neuroscience* (Hrsg. D. E. Meyer und S. Kornblum), Cambridge
- Andrés 1996 Andrés, G., Sakkadische Augenbewegungen und Lidschläge bei Langstreckenfahrten auf der Autobahn unter geringen Alkoholdosen, Köln, Dissertation
- Apenburg, Häcker 1984 Apenburg, E., Häcker, H., Untersuchungen zur Modifikation der Eigenzustandsskala von Nitsch, Bergische Universität, Wuppertal
- Apparies et al. 1998 Apparies, R. J., Riniolo, T. C., Porges, S. W., A psychophysiological investigation of the effects of driving longer-combination vehicles, *Ergonomics*, Vol. 41, pp. 581–592
- Arnold et al. 1997 Arnold, W., Eysenck, H. J., Meili, R., *Lexikon der Psychologie*, Bechtermünz, Augsburg
- Backhaus et al. 1994 Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W., Weiber, R., *Multivariate Analysemethoden, eine anwendungsorientierte Einführung*, Springer, Berlin
- Bahill, Stark 1975 Bahill, A. T., Stark, L., Overlapping Saccades and Glissades are Produced by Fatigue in the Saccadic Eye Movement System, *Experimental Neurology*, Academic Press, no 48, pp. 95–106
- Bahill et al. 1975a Bahill, A. T., Clark, M. R., Stark, L., Glissades – Eye Movements Generated by Mismatched Components of the Saccadic Motoneuronal Control Signal, *Mathematical Biosciences*, Vol. 26, 303–318
- Bahill et al. 1975b Bahill, A. T., Adler, D., Stark, L., Most Naturally occurring Human Saccades Have Magnitudes of 15 Degrees or Less, *Investigative Ophthalmology*, Vol. 14, pp. 468–469
- Bahill et al. 1978 Bahill, A. T., Hsu, F. K., Stark, L., Glissadic Overshoots Are Due to Pulse with Errors, *Archives of Neurology*, Vol. 35, pp. 138–142
- Baloh et al. 1976 Baloh, R. W., Kumley, W. E., Honrubia, V., Algorithm for Analyses of Saccadic Eye Movements Using a Digital Computer, *Aviation, Space and Environmental Medicine*, Vol. May, pp. 523–527

- Battiste, Bortolussi 1988 Battiste, V., Bortolussi, M., Transport Pilot Workload: A Comparison of two Subjective Techniques, in: Proceedings of the Human Factors Society 32<sup>nd</sup> Annual Meeting, Santa Monica CA, Human Factors and Ergonomics Society, pp. 150–154
- Becker 1991 Becker, W., Saccades, in: Eye Movements, Vision and Visual Dysfunctions (Hrsg. J. R. Cronley-Dillon), McMillan Press, Houndmills, Basingstokes, pp. 95–137
- Behrens, Weiss 1991 Behrens, F., Weiss, L.-R., An Algorithm Separating Saccadic from Nonsaccadic Eye Movements Automatically by Use of the Acceleration Signal, Vision Research, Vol. 3, pp. 889–893
- Bellman 1979 Bellman, K., The Conflict Behaviour of the Lizard, *Sceloporus Occidentalis*, and its Implication for the Organization of Motor Behavior, Unpublished Doctoral Dissertation, University of California, San Diego
- Berger et al. 1973 Berger, H.-J., Bliersbach, G., Dellen, R. G., Macht und Ohnmacht auf der Autobahn, Frankfurt am Main
- Biscaldi et al. 1995 Biscaldi, M., Cavegn, D., Fischer, B., Saccades to Small Target Eccentricities in Express-Saccades Makers and in Normal Subjects, Vortrag auf der Eight European Conference on Eye Movements, Derby
- Bliersbach, Dellen 1981 Bliersbach, G., Dellen, R. G., Informationsverarbeitung und Einstellung im Straßenverkehr, BaSt, Köln
- Boch, Fischer 1983 Boch, R., Fischer, B., Saccadic Reaction Times and Activation of the Prelunate Cortex: Parallel Observations in Trained Rhesus Monkeys, Experimental Brain Research, Vol. 50, pp. 201–210
- Bockelmann, 1987 Bockelmann, W. D., Auge, Brille, Auto: Besser sehen – Sicher fahren, Berlin
- Bösser, Häcker 1987 Bösser, T., Häcker, H., Gefährliche und aggressive Verhaltensweisen des Autofahrers, TÜV Rheinland, Köln
- Boldt 1994 Boldt, M., Evaluation einer okulomotorischen Aufgabe „Springender Punkt“, Köln, Diplomarbeit
- Borbély 1982 Borbély, A. A., A Two-Process Model of Sleep Regulation, Human Neurobiology, Vol. 1, pp. 195–204
- Bortz 1993 Bortz, J., Statistik für Sozialwissenschaftler, Springer, Berlin
- Bridgeman et al. 1994 Bridgeman, B., Heijden, A. H. C. v. d., Velichkowsky, B. M., A Theory of Visual Stability across Saccadic Eye Movements, Behavioral and Brain Sciences, Vol. 17, pp. 247–258 + 288–292
- Broadbent 1957 Broadbent, D. E., Effects of Noise on Behaviour, in: Handbook of Noise Control (Hrsg. C. M. Harris), McGraw-Hill, New York
- Broadbent 1958 Broadbent, D. E., Perception and Communication, Pergamon Press, New York
- Broadbent 1971 Broadbent, D. E., Decision and Stress, Academic Press, London
- Broadbent 1982 Broadbent, D. E., Task Combination and Selective intake of Information, Acta Psychologica, Vol. 50, pp. 253–290
- Broughton 1975 Broughton, R. J., Biorhythmic variations in consciousness and psychological functions, Canadian Psychological Review, Vol. 16, pp. 217–239

- Broughton 1989 Broughton, R. J., Chronobiological aspects and models of sleep and napping, in *Sleep and alertness* (Hrsg. D. F. Dinges & R. J. Broughton), pp. 71–98, Raven, New York
- Brown 1994 Brown, I. D., Driver fatigue, *Human Factors*, Vol. 36, pp. 298–314
- Browne 1949 Browne, R. C., The day and night performance of teleprinter switchboard operators, *Occupational Psychology*, Vol. 23, pp. 21–126
- Bryan, Tempest 1972 Bryan, M., Tempest, W., Does Infrasound Make Drivers „Drunk“?, *New Scientist*, pp. 584–586
- Capra 1996 Capra, F., *Lebensnetz*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt
- Carpenter 1988 Carpenter, R. S. H., *Movements of the Eyes*, (zweite Auflage), Pion London
- Carver, Scheier 1990 Carver, C. S., Scheier, M. F., Origin and Functions of Positive and Negative Affect: A Control Systems View, *Psychological Review*
- Cavegn, Biscaldi 1995 Cavegn, D., Biscaldi, M., Express Saccades and Fixation Control, Vortrag auf der Eight European Conference on Eye Movements, Derby
- Christophe, Philippe 1996 Christophe, L., Philippe, D. L., Results of a feasibility study of a system for warning of drowsiness at the steering wheel based on analysis of driver eyelid movements, paper at the ESV Conference, Melbourne
- Churan 1997 Churan, J., Einfluß medikamenteninduzierter Aktivierungsveränderungen auf die Leistung und die Augenbewegungsparameter von Probanden, Köln, Diplomarbeit
- Coblentz et al. 1988 Coblentz, A., Ignazi, G., Mollard, R., Sauvignon, M., Effect of Monotony on Vigilance and Biomedical Behavior, in: *Vigilance: Methods, Models and Regulation* (Hrsg. J. P. Leonard), *Studies in Industrial and Organizational Psychology*, Proceedings 5, pp. 73–80
- Cohen 1984 Cohen, A. S., Einflußgrößen auf das nutzbare Sehfeld, Bericht zum Forschungsprojekt 8005 der BAST, 100
- Collewijn et al. 1988 Collewijn, H., Erkelens, C. J., Steinman, R. M., Binocular Co-Ordination of Human Horizontal Saccadic Eye Movements, *Journal of Psychology*, 494, pp. 157–182
- Coron 1988 Der große Coron, Lachen am Zürichsee
- Corwin et al. 1989 Corwin, W. H., Sandry-Garza, D. L., Biferno, M. H., Boucek, G. P., Logan, A. L., Jonsson, J. E., Metalis, S. A., Assessment of Crew Workload Measurement Methods, Techniques, and Procedures: Volume 1. Process, Methods, and Results, Technical Report WRDC-TR-89-7006, Wright Research and Development Center
- Cseriac 1996 <http://www.dtic.dla.mil/iac/cseriac/tlx.html>
- Damasio 1995 Damasio, H., *Human Neuroanatomy from Computerized Images*, New York
- De Waard 1996 De Waard, D., The Measurement of Driver's Mental Workload, Traffic Research Centre, Groningen
- DIN 33405 1987 *Psychische Belastung und Beanspruchung*, Beuth, Berlin
- Dinges, Kribbs 1991 Dinges, D. F., Kribbes, N. B., Performing while Sleepy: Effects of Experimentally-Induced Sleepiness, in *Sleep, Sleepiness and Performance* (Hrsg. T. H. Monk), pp. 97–128, Wiley, Chichester

- Dinges, Grace 1998 Dinges, D. F., Grace, R., Perclos: A Valid Psychophysiological Measure of Alertness as Assessed by Psychomotor Vigilance, US-Department of Transportation, Federal Highway Administration, Publication No. FHWA MCRT-98-006
- Distler et al. 1993 Distler, C., Boussaoud, D., Desimone, R., Ungerleider, L. G., Cortical Connections of Inferior Temporal Area TEO in Macaque Monkeys, *Journal of Comparative Neurology*, Vol. 334, pp. 125–150
- Donders 1868/1969 Donders, F. C., On the Speed of Mental Processes, Translation by W. G. Koster, *Acta Psychologica*, Vol. 30, pp. 412–431, Zitiert nach Gopher & Sanders 1984
- Dorsch 1998 Dorsch, F., Häcker, H., Stapf, K. H., Dorsch – Psychologisches Wörterbuch, Bern, Huber
- Duden 1983 Der kleine Duden – Fremdwörterbuch, Bibliographisches Institut, Mannheim
- Duffy 1972 Duffy, E., Activation, in *Handbook of Psychophysiology* (Hrsg. N. S. Greenfield & R. A. Sternbach), New York, Rinehart & Winston
- Düker 1963 Düker, H., Über reaktive Anpassungssteigerung, *Zeitschrift für experimentelle angewandte Psychologie*, Vol. 10, pp. 46–72
- Ebisawa et al. 1988 Ebisawa, Y., Minamitani, H., Mori, Y., Takase, M., New Methods for Removing Saccades in Analysis of Smooth Pursuit Eye Movement, *Biological Cybernetics*, Vol. 60, pp. 111–119
- Erke 1998 im Druck Erke, A., Der Weckeffekt zweier Methoden zur Ermüdungsmessung, Marburg, Diplomarbeit
- Eysenck 1988 Eysenck, M. W., Individual Differences, Arousal and Monotonous Work, in: *Vigilance: Methods, Models and Regulation* (Hrsg. J. P. Leonard), *Studies in Industrial and Organizational Psychology*, Proceedings 5, pp. 111–118
- Fagerström, Lisper 1977 Fagerström, K. O., Lisper, H. O., Effects of Listening to Car-radio, Experience and Personality of the Driver on Subsidiary Reaction Time and Heart-rate in a Long-term Driving Task, in: *Vigilance* (Hrsg. R. R. Mackie), New York, Plenum
- Fahrenberg et al. 1979 Fahrenberg, J., Walschenburger, P., Foerster, F., Myrtek, M., Müller, W., *Psychologische Aktivierungsforschung*, München, Minerva
- Fairclough 1997 Fairclough, S. H., Monitoring Driver Fatigue via Driving Performance, in: *Ergonomics and Safety of Intelligent Driver Interfaces* (Hrsg. Y. I. Noy) Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, New Jersey, pp. 363–379
- FAT 1996 FAT Schriftenreihe Nr. 127, Blickbewegungsmessung als Werkzeug für die Gestaltung und Bewertung von bord- und straßenseitigen Informationssystemen für den Kraftfahrer, BaSt, T. Partmann, H.-J. Reinig, G. Struck
- Feynman 1988 Feynman, R. P., QED, Piper, München
- Finkelmann et al. 1977 Finkelmann, J. M., Zeitlin, L. R., Filippi, J. A., Friend, M. A., Noise and Driver Performance, *Journal of Applied Psychology*, Vol. 62, pp. 713–718
- Fischer 1987 Fischer, B., The Preparation of Visually Guided Saccades, *Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol.*, Vol. 106, pp. 1–35
- Fischer 1990 Fischer, B., Neurophysiologische Grundlagen willkürlicher zielgerichteter Blicksprünge, in: *Augenbewegung und Visuelle Wahrnehmung*, phy-

- siologische, psychologische und klinische Aspekte (Hrsg. H. Mühlendyck, W. Rüssmann), Enke, Stuttgart, pp. 44–46
- Fischer, Weber 1993 Fischer, B., Weber, H., Express Saccades and Visual Attention, *Behavioral and Brain Sciences*, Vol. 16, pp. 553–610
- Folkard 1983 Folkard, S., Diurnal Variation, in *Stress and Fatigue in Human Performance* (Hrsg. G. R. J. Hockey), pp. 245–272, Wiley, New York
- Frankenhaeuser 1986 Frankenhaeuser, M., A Psychobiological Framework for Research on Human Stress and Coping, in: *Dynamics of Stress: Physiological, Psychological and Social Perspectives* Hrsg. M. H. Appley und R. Trumbell), pp. 21–46, Plenum, New York
- Galley 1989 Galley, N., Saccadic Eye Movement Velocity as an Indicator of (De) Activation. A Review and some Speculations, *Journal of Psychophysiology*, Vol. 3, pp. 229–244
- Galley 1990 Galley, N., Von Augen-blick zu Augen-blick. Eine experimentelle Psychologie der sakkadischen Augenbewegungen (unveröffentlichte Habilitationsschrift an der Philosophischen Fakultät der Universität zu Köln), Köln
- Galley 1993 Galley, N., The Evaluation of the Electrooculogram as a Psychophysiological Measuring Instrument in the Driver Study of Driver Behaviour. *Ergonomics*, Vol. 36, pp. 1063–1070
- Galley 1993a Galley, N., Augenbewegungen, Antizipation und Leistung. Auf dem Wege zu einem neuropsychologischen Modell der Konzentration, in *Aufmerksamkeit und Energetisierung. Facetten von Konzentration und Leistung* (Hrsg. J. Beckmann, E. Hahn & H. Strang) pp. 229–246, Göttingen, Hogrefe
- Galley 1995a Galley, N., Manuskript zu Physiologische Grundlagen und Meßmethoden der okulomotorischen Aktivität, *Enzyklopädie der Psychologie*
- Galley 1995b Galley, N., Express Saccades vs Anticipatoric Ones: A Statistical Analysis, Vortrag auf der Eight European Conference on Eye Movements, Derby
- Galley 1998a Galley, N., An Enquiry into the Relationship between Activation and Performance Using Saccadic Eye Movement Parameters, *Ergonomics*, Vol. 41, pp. 698–720
- Galley 1998b im Druck Galley, N., Psychologische Grundlagen und Meßmethoden der okulomotorischen Aktivität, in *Enzyklopädie der Psychologie (Serie Biologische Psychologie, Bereich Psychophysiologie)* (Hrsg. F. Rösler), Hogrefe, Göttingen
- Galley, Andrés 1998 im Druck Galley, N., Andrés, G., Saccadic Eye Movements and blinks During Long-Term Driving on the Autobahn with Minimal Alcohol Ingestion, (im Druck) *Vision in Vehicles V*, North Holland Amsterdam
- Galley, Galley 1999 Galley, N., Galley, L., Fixation durations and saccadic latency as indicators of mental speed, in *Personality Psychology in Europe* (Hrsg. I. Merivielde, I. Deary, F. De Fruyt, & F. Ostendorf), Vol. 7 Tilburg University Press, pp. 221–234
- Galley et al. 1997 Galley, N., Andrés, G., Reitter, C., Drivers Fatigue as Identified by Saccadic and Blink Indicators, Vortrag auf der Vision in Vehicles Konferenz in Marseille

- Galley et al. 1988 Galley, N., Boldt, M., Groetzner, C., Strzeletz, P., Vigilance Measurements on an Eye Movement Task, in: *Vigilance: Methods, Models and Regulation* (Hrsg. J. P. Leonard), *Studies in Industrial and Organizational Psychology, Proceedings 5*, pp. 35–44
- Globus et al. 1971 Globus, G., Drury, R., Phoebus, E., Boyd, R., Ultradian rhythms in human performance, *Perceptual and Motor Skills*, Vol. 33, pp. 1171–1174
- Goldberg et al. 1991 Goldberg, M. E., Eggers, H. M., Gouras, P., The Ocular Motor System, in: *Principles of Neural Science* (Hrsg. E. R. Kandel, J. H. Schwartz, T. M. Jessel), Elsevier, New York
- Gopher, Sanders 1984 Gopher, D., Sanders, A. F., S-Oh-R: Oh Stages! Oh Resources!, in: *Cognition And Motor Processes* (Hrsg. W. Prinz, A. F. Sanders), pp. 231–253, Springer, Berlin
- Gottlieb et al. 1995 Gottlieb, W., Hatzius, J., Müller, B., Reitter, C., Konditionssicherheit W210 Stuttgart-Calais-Stuttgart Paarvergleich Malmshiem, Werkstattbericht, Mensch und Fahrzeug, F1M/FM, Daimler-Benz AG
- Hacker 1989 Hacker, W., Monotonie, in *Arbeits- und Organisationspsychologie* (Hrsg. S. Greif, H. Holling, N. Nicholson), Psychologie Verlags Union, München, pp. 329–332
- Hacker, Richter 1984 Hacker, W., Richter, P., Psychische Fehlbeanspruchung, Psychische Ermüdung, Monotonie, Sättigung und Streß, Band 2 Spezielle Arbeits- und Ingenieurpsychologie in Einzeldarstellungen, Springer, Berlin
- Haider, Rohmert 1976 Haider, E., Rohmert, W., Blink frequency during four hours of simulated truck driving, *European Journal of Applied Psychology*, Vol. 35, pp. 137–147
- Hamilton et al. 1977 Hamilton, P., Hockey, G. R. J., Reijman, M., The Place of the Concept of Activation in Human Information Processing Theory: An Integrative Approach, in: *Attention and Performance*, Vol. 6 (Hrsg. S. Dornic) Academic Press, New York
- Hart, Staveland 1988 Hart, S. G., Staveland, L. E., Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research, in: *Human Mental Workload* (Hrsg. P. A. Hancock, N. Meshkati) North-Holland, Elsevier Science Publishers B. V., pp. 139–183
- Hartley 1997 Hartley, L. R., Beyond One Size Fits all Hours of Service Regulations, *International Conference Proceedings – Managing Fatigue in Transportation*, Tampa, Florida
- Hautzinger, Wahl 1989 Hautzinger, M., Wahl, R., Verhaltensmedizin – eine Einführung, Verhaltensmedizin (Hrsg. R. Wahl, M. Hautzinger), Deutscher Ärzte-Verlag, Köln, pp. 17–27
- Henn et al. 1984 Henn, V., Baloh, R. W., Hepp, K., The sleep-wake transition in the oculomotor system *Experimental Brain Research*, Vol. 54, pp. 166–176
- Hering et al. 1992 Hering, E., Martin, R., Stohrer, M., Physik für Ingenieure, VDI-Verlag, Düsseldorf
- Hilakivi 1987 Hilakivi, I., Biogenic Amines in the Regulation of Wakefulness and Sleep, *Medical Biologie*, Vol. 65, pp. 97–104
- Hildebrandt et al. 1974 Hildebrandt, G., Rohmert, W., Rutenfranz, J., 12 and 14 Hour Rhythms in Error Frequency of Locomotive Drivers and the Influence of Tiredness, *International Journal of Chronobiology*, Vol. 2, pp. 175–180

- Hockey 1970      Hockey, G. J. R., Signal Probability and Spatial Location as Possible Bases for Increased Selectivity in Noise, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, Vol. 22, pp. 37–42
- Hockey 1979      Hockey, G. R. J., Stress and the Cognitive Components of Skilled Performance, in: *human Stress and Cognition: An Information Processing Approach* (Hrsg. V. Hamilton, D. M. Warburton), pp. 141–178, Wiley, Chichester
- Hockey 1986a      Hockey, G. R. J., Operator Efficiencies Function of Effects of Environmental Stress, Fatigue and Circadian Rhythm, in: *Handbook of Perception and Human Performance*, Vol. 2 (Hrsg. K. Boff, L. Kaufman, J. P. Thomas), pp. 1–49, Wiley, New York
- Hockey 1986b      Hockey, G. R. J., A State Control Theory of Adaptation and Individual Differences in Stress Management, in: *Energetics and Human Information Processing, Series D: Behavioral and Social Sciences*, pp. 285–298
- Hockey 1993      Hockey, G. R. J., Cognitive-energetical control mechanisms in the management of work demands and psychological health, In: *Attention: Selection, Awareness, and Control*, (Hrsg. A. Baddeley, L. Weiskrantz), pp. 346–373, Clarendon Press, Oxford
- Hockey, Hamilton 1983      Hockey, G. R. J., Hamilton, P., The Cognitive Pattern of Stress States, in: *Stress and Fatigue in Human Performance* (Hrsg. G. R. J. Hockey), pp. 331–362, Wiley, Chichester
- Horne 1988a      Horne, J. A., *Why we Sleep: The Functions of Sleep in Humans and Other Mammals*, Oxford University Press, Oxford
- Horne 1988b      Horne, J. A., Sleep need and sleepiness, in *Vigilance, Methods, Models, and Regulation* (Hrsg. J. P. Leonard), Oxford University Press, Oxford
- Horne 1991      Horne, J. A., Dimensions to Sleepiness, in *Sleep, Sleepiness, and Performance* (Hrsg. T. H. Monk), Wiley, Chichester
- Humphreys, Bruce 1995      Humphreys, G. W., Bruce, V., *Visual Cognition, Computational, Experimental, and Neuropsychological Perspectives*, Hillsdale
- James 1890      James, W., *The Principles of Psychology*, Holt, New York
- Johannsen 1993      Johannsen, G., *Mensch-Maschine-Systeme*, Springer, Berlin
- Jones 1983      Jones, D. M., Noise, in: *Stress and Fatigue in Human Performance* (Hrsg. G. R. J. Hockey), pp. 61–95
- Jones, Broadbent 1987      Jones, D. M., Broadbent, D. E., Noise, in *Handbook of Human Factors* (Hrsg. G. Salvendy), Wiley, New York, pp. 623–649
- Juhola 1991      Juhola, M., Median Filtering is Appropriate to Signals of Saccadic Eye Movements, *Computational Biological Medicine*, Vol. 21, No. 1/2 pp. 43–49
- Kahneman 1971      Kahneman, D., Remarks on Attentional Control, in: *Attention and Performance*, Vol. 3, (Hrsg. A. F. Sanders), North-Holland, Amsterdam
- Kahneman 1973      Kahneman, D., *Attention and Effort*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs
- Kahneman, Treisman 1984      Kahneman, D., Treisman, A. M., Changing Views of Attentional Automaticity, in: *Varieties of Attention* (Hrsg., R. Parasuraman, R. Davies), Academic Press, New York

- Karasek 1979 Karasek, R. A., Job Demands, Job Decision Latitude and Mental Strain: Implications for Job Redesign, *Administrative Science Quarterly*, Vol. 24, pp. 285–308
- Keller, Robinson 1972 Keller, E. L., Robinson, D. A., Abducens Unit Behavior in the Monkey During Vergence Movements, *Vision Research*, Vol. 12, pp. 369–382
- Klebelberg 1982 Klebelberg, D., *Verkehrspsychologie*, Springer, Berlin
- Klecka et al. 1975 Klecka, W. R., Nie, N. H., Hadlai, H. C., *SPSS Primer, Statistical Package for the Social Sciences Primer*, McGraw Hill, New York
- Klein, Armitage 1979 Klein, R., Armitage, R., Rhythms in human performance: 1 1/2-hour oscillations in cognitive style, *Science*, Vol. 204, pp. 1326–1328
- Kleppmann 1998 Kleppmann, W., *Taschenbuch Versuchsplanung, Produkte und Prozesse optimieren*, Hanser, München
- Koelega, Brinkman 1986 Koelega, H. S., Brinkman, J.-A., Noise and Vigilance: An Evaluative Review, *Human Factors*, Vol. 28 (4), pp. 465–481
- Königstein 1989 Königstein, Die On-Line-Identifizierung sakkadischer Augenbewegungen aus dem Elektrookulogramm (Diplomarbeit), Bonn
- Kris 1958 Kris, C., Corneo-fundal potential variations during light and dark adaptation, *Nature*, 182, pp. 1027–1028
- Kugler 1991 Kugler, J., Radioimmunologische Bestimmung von Kortisol im Speichel: Meßgüte und psychoendokrinologische Einsatzfelder, *Psychologische Beiträge*, Vol. 33, pp. 132–144
- Kugler et al. 1992 Kugler, J., Hess, M., Haake, D., Secretion of Salivary Immunoglobulin A in Relation to Age, Saliva Flow, Mood States, Secretion of Albumin, Cortisol and Catecholamines in Salvia, *Journal of Clinical Immunology*, Vol. 12, 1, pp. 45–49
- Kugler et al. 1996 Kugler, J., Reijntjes, F., Tewes, V., Schedlowski, M., Competition Stress in Soccer Coaches Increases Salivary Immunoglobulin A and Salivary Cortisol Concentrations, *Journal of Sports, Medicine and Physical Fitness*, Vol. 36, pp. 117–120
- Künstler 1980 Künstler, B., *Psychologische Belastung durch die Arbeitstätigkeit – Theoretisches Rahmenkonzept der Entwicklung eines Fragebogens zum Belastungserleben, Probleme und Ergebnisse der Psychologie*, Vol. 74, pp. 45–67
- Kütting 1976 Kütting, H. J., *Belastung und Beanspruchung des Kraftfahrers*, BaSt, Köln
- Kuwano et al. 1994 Kuwano, S., Namba, S., Hato, T., Matui, K., Imai, H., Psychologische Bewertung von Lärm in Personenwagen: Analyse nach Nationalität, Alter und Geschlecht, *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, Vol. 41, pp. 78–83
- Landström 1987 Landström, U., Laboratory and Field Studies on Infrasound and its Effects on Humans, *Journal of Low Frequency and Vibrations*, Vol. 6, pp. 29–33
- Landström et al. 1988 Landström, U., Lindblom, S., Häggqvist, P. L., Low Frequency Noise in Lorries and Correlated Effects on Drivers, *Journal of Low Frequency and Vibrations*, Vol. 7, pp. 104–109
- Laurig 1990 Laurig, W., *Grundzüge der Ergonomie: Erkenntnisse und Prinzipien*, Beuth, Berlin

- Lavie 1979 Lavie, P., Ultradian rhythms in alertness – a pupillometric study, *Biological Psychology*, Vol. 9, pp. 49–62
- Lavie 1985 Lavie, P., Ultradian rhythms: gates of sleep and wakefulness, in *Ultradian rhythms in physiology and behavior* (Hrsg. H. Schulz & L. Lavie), pp. 110–124, Springer, Berlin
- Lavie 1991 Lavie, P., The 24-Hour Sleep Propensity Function (SPF): Practical and Theoretical Implications, in: *Sleep, Sleepiness and Performance* (Hrsg. T. H. Monk), pp. 65–93, Wiley, Chichester
- Lavie 1992 Lavie, P., Modelling sleep propensity – a need for rethinking, *Journal of Sleep Research*, Vol. 1, pp. 99–102
- Lavie, Kripke 1977 Lavie, P., Kripke, D. F., Ultradian rhythms in urine flow in waking humans *Nature*, Vol. 269, pp. 142–143
- Lazarus, Folkmann 1984 Lazarus, R. S., Folkmann, S., *Stress, Appraisal and Coping*, Springer, New York
- Leonard 1988a Leonard, J. P., Experimental Models of Vigilance Regulation: Accelerated and Decelerated Sleep Onset under the Control of Monotonous Stimulation, in: *Vigilance: Methods, Models and Regulation* (Hrsg. J. P. Leonard), *Studies in Industrial and Organizational Psychology, Proceedings 5*, pp. 119–128
- Leonard 1988b Leonard, J. P., *Vigilance: Methods, Models and Regulation* (Hrsg. J. P. Leonard), *Studies in Industrial and Organizational Psychology, Proceedings 5*
- Lisper et al. 1986 Lisper, H. O., Laurell, H., van Loon, J., Relation between time of falling asleep behind the wheel on a closed track and changes in subsidiary reaction time during prolonged driving on a motorway, *Ergonomics*, Vol. 29, pp. 445–453.
- Lobb, Stern 1986 Lobb, M. L., Stern, J. A., Pattern of Eyelid Motion Predictive of Decision Errors During Drowsiness: Oculomotor Indices of Alerted States, *International Journal of Neuroscience*, Vol. 30, pp. 17–22
- Luczak 1993 Luczak, H., 1993, *Arbeitswissenschaft*, Springer, Berlin
- Lundberg, Frankenhaeuser 1978 Lundberg, U., Frankenhaeuser, M., Psychophysiological Reactions to Noise as Modified by Personal Control over Noise Intensity, *Biological Psychology*, 6, pp. 55–59
- Mairs 1983 Großer Touring Atlas, Mairs Geographischer Verlag, Ostfildern
- Marggraf, Liepmann 1987 Marggraf, C, Liepmann, *Belastung und Beanspruchung bei Fahrtätigkeiten*, FU-Berlin, Berlin
- McBain 1961 McBain, W. N., Noise, the „Arousal Hypothesis“ and Monotonous Work, *Journal of Applied Psychology*, Vol., 45, 5, pp. 309–317
- McClelland 1979 McClelland, J. L., On the Time Relations of Mental Processes: An Examination of Systems of Processes in Cascade, *Psychological Review*, Vol. 86, 4, pp. 287–330
- McClelland, Rummelhart 1981 McClelland, J. L., Rummelhart, D. E., An interactive Activation Model of Context Effects in Letter perception: Part 1, An Account of Basic Findings, *Psychological Review*, Vol. 88, pp. 375–407
- McDermott, Forgy 1978 McDermott, J., Forgy, C., Production System Conflict Resolution Strategies, in *Pattern Directed Inference Systems* (Hrsg. D. A. Waterman und F. Hayes-Roth), Academic Press, New York

- McDonald 1989 McDonald, N., Fatigue and Driving, Alcohol, Drugs and Driving, Vol. 5, pp. 185–192
- McGrath 1976 McGrath, J. E., Stress and Behaviour in Organisations, in: Social and Psychological Factors in Stress (Hrsg. M. D. Dunette), pp. 1352–1395, Holt, New York
- McGregor, Stern 1996 McGregor, D. K., Stern, J. A., Time on Task and Blink Effects on Saccade Duration, Ergonomics, Vol. 39, pp. 649–660
- Michels 1992 Michels, P., Nichtparametrische Analyse und Prognose von Zeitreihen, in Arbeiten zur Angewandten Statistik, Vol. 36, Physica, Heidelberg
- Milner, Goodale 1995 Milner, D. A., Goodale, M. A., The Visual Brain in Action, Oxford University Press, Oxford
- Miura 1987 Miura, T., Behavior oriented vision: functional field of view and processing resources, in: Eye Movements, From Physiology to Cognition (Hrsg. J. O'Regan, A. Levy-Schoen), North Holland, pp. 563–572
- Monk 1991 Monk, T. H. (Hrsg.), Sleep, Sleepiness and Performance, Wiley, Chichester
- Morris, Miller 1996 Morris, T. C., Miller, J. C., Electrooculographic and Performance Indices of Fatigue During Simulated Flight, Biological Psychology, Vol. 42, pp. 343–360
- Moruzzi, Magoun 1949 Moruzzi, G., Magoun, H. W., Brain Stem Reticular Formation and Activation of the EEG. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, Vol. 1, pp. 455–473
- Mulder 1986 Mulder, G., The Concept and Measurement of Mental Effort, in Energetics and Human Information Processing, Series D: Behavioral and Social Sciences, pp. 175–198
- Munoz et al. 1995 Munoz, D. P., Dorris, M. C., Pare, M., Istvan, P. J., Neuronal Correlates for Saccadic Reaction Times in the Monkey Superior Colliculus, Vortrag auf der Eighth European Conference on Eye Movements
- Näätänen 1973 Näätänen, R., The Inverted-U Relationship between Activation and Performance: A Critical Review, in Attention and performance (Hrsg. S. Kornblum), Vol. IV, pp. 155–174, Academic Press, New York
- Nachreiner 1988 Nachreiner, F., Aktuelle Probleme der Belastungs- und Beanspruchungsforschung, Festschrift zum 60. Geburtstag von Joseph Rutenfranz, Lang, Frankfurt
- Nasa 1986 NASA Task Load Index (TLX), Human Performance Research Group, NASA Ames Research Centre Moffett Field, California
- Nataupsky, Abbott 1987 Nataupsky, M., Abbott, T. S., Comparison of Workload Measures on Computer-generated Primary Flight Displays, in: Proceedings of the Human Factors Society 31<sup>st</sup> Annual Meeting, Santa Monica CA, Human Factors and Ergonomics Society, pp. 548–552
- Neumann 1992 Neumann, O., Theorien der Aufmerksamkeit: von Metaphern zu Mechanismen, Psychologische Rundschau, Vol. 43, pp. 83–101
- Nilsson et al. 1988 Nilsson, L., Morén, B., Törnros, J., Landström, U., The Influence of Noise, Infrasound and Temperature on Driver Performance and Wakefulness during Standardized Conditions, Third International Conference on the Combined Effects of Environmental Factors, ICCEF 88, Tampere, Finland

- Nitsch 1970 Nitsch, J., Theorie und Skalierung der Ermüdung, Deutsche Sporthochschule, Köln
- Norman, Shallice 1980 Norman, D. A., Shallice, T., Attention to Action: Willed and Automatic Control of Behavior, Centre for Human Information Processing, University of California, San Diego
- Norman, Shallice 1986 Norman, D. A., Shallice, T., Attention to Action, Willed and Automatic Control of Behavior, In: Consciousness and Self Regulation (Hrsg. R. J. Davidson, G. E. Schwartz, D. Shapiro) Vol. 4, Plenum, New York
- Norusis 1993 SPSS for Windows, Release 6.0, Statistical Package for the Social Sciences, Dokumentationen/Handbücher zur Software
- O'Hanlon, Kelley 1977 O'Hanlon, J. F., Kelley, G. R., Comparison of performance and physiological changes between drivers who perform well and poorly during prolonged vehicle operation, in Vigilance (Hrsg. R. R. Mackie), pp. 87–111, Plenum Press, New York
- Pierrot-Deseilligny 1991 Pierrot-Deseilligny, C., Cortical Control of Saccades in Man, Acta Neurologica Belgica, Vol. 91, pp. 63–79.
- Pivik 1991 Pivik, R. T., The Several Qualities of Sleepiness: Psychophysiological Considerations, in Sleep, Sleepiness and Performance (Hrsg. T. H. Monk), pp. 3–37, Wiley, Chichester
- Pons 1983 Globalwörterbuch Englisch-Deutsch, Klett, Stuttgart
- Posner 1978 Posner, M. I., Chronometric Explorations of Mind, Hillsdale, NJ, Erlbaum
- Psyhyrembel 1994 Klinisches Wörterbuch, de Gruyter, Berlin
- Rayner 1984 Rayner, K., Visual Selection in Reading, Picture Perception and Visual Search, in Attention and Performance 10, Control of Language Processes (Hrsg. H. Bouma & D. G. Bouwhuis), pp. 67–96, Lawrence Erlbaum Assoc., Hillsdale, New Jersey
- Reitter 1992 Reitter, C., Zukünftige Komfortanforderungen an PKW vor dem Hintergrund alternativer Zukunftsszenarien, unveröffentlichte Studienarbeit an der TU-Berlin
- Reitter, Hatzius 1995 Reitter, C., Hatzius, J., Psychologische Untersuchung über den asphärischen Außenspiegel/Fahrerseite, Technischer Bericht 95-0025, Daimler-Benz AG
- Robbins, Everitt 1996 Robbins, T. W., Everitt, B. J., Arousal Systems and Attention, in The Cognitive Neurosciences (Hrsg. M. S. Gazzaniga), pp. 703–720, MIT Press, Cambridge, Mass.
- Rodeghier, 1997 Rodeghier, M., Marktforschung mit SPSS, Analyse, Datenerhebung und Auswertung, Thomson
- Ronnebaum, Weber 1996 Ronnebaum, T., Weber, R., Lautstärke und Unangenehmheit von Schallen im tieffrequenten Bereich, in Fortschritte der Akustik (Hrsg. Deutsche Gesellschaft für Akustik), DAGA 96, pp. 350–351, Oldenburg
- Rohmert, Laurig 1974 Rohmert, W., Laurig, W., Entwicklung und Erkenntnisse der Arbeitswissenschaft, Beuth, Berlin
- Rummelhart, Norman 1982 Rummelhart, D. E., Norman, D. A., Simulating a Skilled Typist: A Study of Skilled Cognitive-Motor Performance, Cognitive Science, Vol. 6, 1–36

- Sanders 1983 Sanders, A. F., Towards a Model of Stress and Human Performance, *Acta Psychologica*, Vol. 53, pp. 61–97
- Schandry 1981 Schandry, R., *Psychophysiologie, Körperliche Indikatoren menschlichen Verhaltens*, München
- Schmidtke 1965 Schmidtke, H., Ermüdungsähnliche Zustände, In: H. Schmidtke, *Die Ermüdung*, Hanser, Bern, Stuttgart, 1965, pp. 195–225 + 291–324
- Schmitz 1989 Schmitz, B., Einführung in die Zeitreihenanalyse, in *Methoden der Psychologie* (Hrsg. K. Pawlik), Vol. 10, Huber, Bern
- Schönplflug 1987 Schönplflug, W., Beanspruchung und Belastung bei der Arbeit – Konzepte und Theorien, in: *Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich B: Methodologie und Methoden, Serie 1: Forschungsmethoden der Psychologie, Band 3: Messen und Testen* (Hrsg. C. Graf Hoyos und B. Zimolong), Hogrefe, Göttingen, pp. 130–184
- Schubö et al. 1991 Schubö, Uehlinger, Perleth, SPSS, Fischer, Stuttgart
- Shallice 1988 Shallice, T., *From Neuropsychology to Mental Structure*, Cambridge University Press, Cambridge
- Shallice 1992 Shallice, T., Information-Processing Models of Consciousness: Possibilities and Problems, In: Marcel, A. J., Bisiach, E. (Eds.), *Consciousness in Contemporary Science*, Clarendon Press, Oxford, pp. 305–333
- Shingledecker, Holding 1974 Shingledecker, C. A., Holding, D. H., Risk and Effort Measures of Fatigue, *Journal of Motor Behavior*, Vol. 6, pp. 17–25
- Shriffin, Schneider 1977 Shriffin, R. M., Schneider, W., Controlled and Automatic Human Information Processing: II. Perceptual Learning, Automatic Attending, and a General Theory, *Psychological Review*, Vol. 84, pp. 127–190
- Shibuya et al. 1993 Shibuya, H., Wilgenhof, E., Nanbu, T., The Differences in Sensitivity to Vehicle Noise Performance Between European and Japanese Subjects, in *Proceedings of the 1993 International Congress on Noise Control Engineering, Inter-Noise 93*, Vol. 3, pp. 1513–1516, Leuven
- Stern et al. 1994 Stern, J. A., Boyer, D., Schroeder, D., Blink Rate: A Possible Measure of Fatigue, *Human Factors*, Vol.: 36(2), pp. 285–297
- Stern et al. 1984 Stern, J. A., Walrath, L. C., Goldstein, R., The Endogenous Eyeblink, *Psychophysiology*, Vol. 21 (1), pp. 22–33
- Sternberg 1975 Sternberg, S., Memory Scanning: New Findings and Current Controversies, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, Vol. 27, pp. 1–32
- Stuss et al. 1995 Stuss, D. T., Shallice, T., Alexander, M. P., Picton, T. W., A Multidisciplinary Approach to Anterior Attentional Functions, *Annals New York Academy of Sciences*, Vol. 769, pp. 191–211
- Summala, Mikkola 1994 Summala, H., Mikkola, T., Fatal accidents among car and truck drivers: effects of fatigue, age, and alcohol consumption, *Human Factors*, Vol. 36, pp. 315–326
- Summala et al. 1996 Summala, H., Salmi, H., Mikkola, T., Sinkkonen, J., Task Effects on Fatigue Symptoms in Overnight Driving, Paper presented at ICTP in Valencia
- Theeuwes 1992 *Selective Attention in the Visual Field*, Dissertation, Bariet, Ruinen
- Thompson 1996 Thompson, R. F., *Das Gehirn, Von der Nervenzelle zu Verhaltenssteuerung*, JFLehmanns, Köln

- Torsvall, Akerstedt 1987 Torsvall, L., Akerstedt, T., Sleepiness on the job: continuously measure EEG changes in train drivers *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, Vol. 66, pp. 502–511
- Torsvall, Akerstedt 1988 Torsvall, L., Akerstedt, T., Extreme Sleepiness: Quantification of EOG and Spectral EEG Parameters, *International Journal of Neuroscience*, Vol. 38, pp. 435–441
- Trumbell, Appley 1986 Trumbell, R., Appley, M. H., A Conceptual Model for the Examination of Stress Dynamics, in: *Dynamics of Stress: Physiological, Psychological and Social Perspectives* (Hrsg. M. H. Appley und R. Trumbell), pp. 21–46, Plenum, New York
- Unema, 1995 Unema, P., *Eye Movements and Mental Effort*, Dissertation TU-Berlin
- Unema, Rötting 1990 Unema, P., Rötting, M., Differences in Eye Movements and Mental Workload between Experienced and Inexperienced Motor-Vehicle Drivers, in: *Visual Search* (Hrsg. D. Brogan), Taylor and Francis, pp. 193–202
- Utzelmann 1976 Utzelmann, H. D., *Tempowahl und -motive*, Tetzlaff, Darmstadt
- Utzelmann 1977 Utzelmann, H. D., Merkmale des Fahrerhaltens und ihrer Zuordnung zu motivationalen Bedingungen, *Unfall- und Sicherheitsforschung im Straßenverkehr*, Symposium 77
- Walls 1962 Walls, G. L., The Evolutionary History of Eye Movements, *Vision Research*, Vol. 2, pp. 69–80
- Westhoff 1995 Westhoff, K., Aufmerksamkeit und Konzentration, in *Verhaltens- und Leistungsunterschiede, Differentielle Psychologie und Persönlichkeitsforschung* (Hrsg. M. Amelang), *Enzyklopädie der Psychologie*, pp. 375–402, Göttingen, Hogrefe
- Wickens 1984a Wickens, C. D., *Engineering Psychology and Human Performance* (1. Auflage), Harper Collins, New York
- Wickens 1984b Wickens, C. D., Processing Resources in Attention, in: *Varieties of Attention* (Hrsg. R. Parasuraman und R. Davies), Academic Press, New York
- Wickens 1992 Wickens, C. D., *Engineering Psychology and Human Performance* (2. Auflage), Harper Collins, New York
- Widdel 1990 Widdel, H., Steuerung und Überwachung industrieller Prozesse, in: *Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich D: Praxisgebiete, Serie III: Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie, Band 2: Ingenieurpsychologie* (Hrsg. C. Graf Hoyos und B. Zimolong), Hogrefe, Göttingen, pp. 396–425
- Wierwille, Eggemeier 1993 Wierwille, W. W., Eggemeier, F. T., Recommendations for Mental Workload Measurement in a Test and Evaluation Environment, *Human Factors*, Vol. 35 (2) pp. 263–281
- Wilkinson 1962 Wilkinson, R. T., Muscle Tension During Mental Work under Sleep Deprivation, *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 64, pp. 565–571
- Yerkes, Dodson 1908 Yerkes, R. M., Dodson, J. D., The Relation of Strength of Stimulus to Rapidity of Habit Formation, *Journal of Comparative Neurological Psychology*, Vol. 18, pp. 459–482

## G Lebenslauf

**Christian Eduard Reitter,**  
 Mahlestr. 25, 70376 Stuttgart,  
 geboren am 17. Juli 1964 in Berlin, ledig  
 Helmut Reitter, Ingenieur/Programmierer  
 bei der IBM Deutschland GmbH,  
 Antje Reitter, geb. Burmeister, Krankenschwester



### Eltern

### Schule

08/1970 – 06/1977 Maltesser Grundschule in Berlin  
 08/1977 – 12/1983 Beethoven Gymnasium in Berlin: Abitur

### Praktika

03/1987 – 04/1987 Bernard's Motorrad-Service, Berlin  
 09/1988 – 11/1988 Daimler-Benz, Lehrlingswerkstatt, Berlin  
 02/1991 – 04/1991 Drake Betriebsmittelkonstruktion, Berlin

### Studium

04/1984 – 09/1985 Philosophie (TU Berlin) und Romanistik (FU Berlin)  
 10/1985 – 10/1993 Verkehrswesen/Fahrzeugtechnik (TU Berlin), Note: gut  
 09/1992 – 11/1992 Studienarbeit bei der Daimler-Benz AG, Berlin,  
 Forschung Gesellschaft und Technik, Note: sehr gut  
 07/1993 – 10/1993 Diplomarbeit bei der Daimler-Benz AG, Berlin,  
 Forschung Mensch und Fahrzeug, Note: gut

### Beruflicher Werdegang

07/1990 – 09/1990 Technisch-wissenschaftlicher Mitarbeiter für die Versuchsauswertung der IAV (Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr), Berlin  
 10/1991 – 09/1993 Tutor für die Betreuung von CAD Lehrveranstaltungen am ISM (Institut für Schiffs- und Meerestechnik) der TU Berlin  
 11/1993 – 12/1994 Freie Mitarbeit als Versuchsleiter der Daimler-Benz AG, Berlin, Forschung Mensch und Fahrzeug, Arbeitsgebiete: Blickbewegungsforschung, Beanspruchungsmessung  
 01/1995 – 01/1998 Doktorand der Daimler-Benz AG, Berlin, Forschung Mensch und Fahrzeug, Arbeitsgebiete: Blickbewegungsforschung, Beanspruchungsmessung, Fragebogenentwicklung, Versuch  
 02/1996 Einmonatige Forschungsarbeit in Wien in Zusammenarbeit mit dem KfV (Kuratorium für Verkehrssicherheit) im Auftrage der Daimler-Benz AG, Berlin, Forschung Mensch und Fahrzeug  
 01/1998 – 03/1998 Erstellen der Promotionsschrift  
 04/1998 – 02/2000 Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Daimler-Benz AG, Stuttgart, Forschung Mensch und Fahrzeug, Arbeitsgebiete: Bedieneradaptive Systeme, Mensch-Maschine-Interaktionen  
 03/2000 DaimlerChrysler AG, Sindelfingen, Gesamtfahrzeugkonstruktion SL-/SLK-Klasse, Aufgabengebiete: Funktionsgruppensprecher R171, Ergonomie große Baureihe