

**Analyse von  
Tunnelgestaltungselementen II**



# **Analyse von Tunnelgestaltungselementen II**

Befahrung der Tunnelkette Klaus:

Fahrverhaltensanalyse mit SAF,  
Belastungsmessung mittels HeartMan,  
Befragung und psychologische Testung der  
Versuchspersonen

Kuratorium für Verkehrssicherheit  
Institut für Verkehrspsychologie  
Mag. Michael Gatscha, Mag. Michael Smuc, Günther Schreder, Susanne Prantl,  
Mag. Dr. Rainer Christ

in Zusammenarbeit mit dem  
JOANNEUM RESEARCH Institut für Nichtinvasive Diagnostik  
Mag. Vincent Grote, DI Helmut Lackner, DI Matthias Frühwirth,  
Mag. DI Ludwig Piskernik, Univ. Prof. Maximilian Moser

im Auftrag der Österreichischen Autobahnen und Schnellstrassen  
Gesellschaft m.b.H. (ÖSAG)  
DI Gerhard Eberl, Ing. Werner Riffnaller

Wien, Juli 2004



# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>INTERESSE UND ZIELSETZUNG DER STUDIE</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>METHODIK UND VERSUCHSAUFBAU</b>	<b>6</b>
2.1	VERSUCHSAUFBAU	6
2.1.1	Auswahl der Versuchsstrecke und Versuchsbedingungen	6
2.1.2	Auswahl der Versuchspersonen, Stichprobenbeschreibung	7
2.1.3	Abwicklung von Befragung und Versuchsfahrten	10
2.2	ERHEBUNGSMETHODEN	11
2.2.1	System zur Analyse des Fahrverhaltens (SAF)	11
2.2.1.1	Datenaufbereitung und Auswertungsschritte	14
2.2.1.2	Fahrverhaltensvariablen	14
2.2.1.2.1	Fehlerzählung durch den mitfahrenden Beobachter	14
2.2.1.2.2	Variablen auf Basis instrumentierter Datenerhebung	16
2.2.1.3	Inhalte der Befragung der Versuchspersonen	17
2.2.2	Physiologische Messungen	18
2.2.2.1	Exkurs: Grundlagen physiologischer Messung	18
2.2.2.1.1	Kennwerte des ANS	21
2.2.2.1.2	Das AutoChrono Bild	22
2.2.2.2	Methode der Erfassung physiologischer Kennwerte	25
2.2.2.2.1	Durchführung und Ablauf	25
2.2.2.2.2	Herzfrequenzvariabilitäts (HRV) - Analyse	25
2.2.2.2.3	Auswertungssoftware	26
2.2.3	Psychologische Fragebögen	27
2.2.3.1	Basler Befindlichkeits-Skala	27
2.2.3.2	NEO-Fünf-Faktoren-Inventar (NEO-FFI)	27
2.2.3.3	State-Trait Angstinventar	28
2.3	ÜBERBLICK: VERWENDETE MESSGRÖßEN, STATISTISCHE KENNWERTE, OPERATIONALISIERUNG	29
2.3.1	Befragung	31
2.3.2	SAF	31
2.3.2.1	Fehlerzählung	31
2.3.2.2	Geschwindigkeit	31
2.3.3	HeartMan	31
2.3.4	Psychologische Fragebögen	31
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>31</b>
3.1	BEFINDLICHKEIT DER VERSUCHSPERSONEN BEI DEN FAHRTEN	31
3.1.1	Befragungsergebnisse	31
3.1.2	Psychologische Fragebogenergebnisse	32
3.1.2.1	Ängstlichkeit	32
3.1.2.2	Neurotizismus	33
3.1.2.3	Offenheit für Erfahrungen	34
3.1.2.4	Verträglichkeit	35
3.1.2.5	Gewissenhaftigkeit	37
3.1.3	Überblick der Belastung der VPN - Gesamtstrecke	37
3.1.4	Zusammenfassung	39
3.2	ALTE VS. NEUE TUNNEL, TUNNELWÄNDE	40
3.2.1	Befragungsergebnisse - Tunnelwände und Tunnelausstattung	40
3.2.2	Verhaltensdaten (SAF)	41
3.2.2.1	Fahrfehlerzählung	41
3.2.2.2	Geschwindigkeitsüberschreitungen	42
3.2.3	Belastungsmaße HeartMan (Rückfahrt)	43
3.2.4	Zusammenfassende Bewertung	45
3.3	EIN- VS. ZWEIRÖHRIGE TUNNEL, LANGE VS. KURZE TUNNEL	47
3.3.1	Befragungsergebnisse – Gegenverkehr und Röhrigkeit	47
3.3.2	Verhaltensdaten (SAF)	47
3.3.2.1	Fahrfehlerzählung	48
3.3.2.1.1	Ein- vs. zweiröhri-ge Tunnel	50
3.3.2.1.2	Lange vs. kurze Tunnel	50
3.3.3	Auswirkungen des Tunnelalters, der Tunnellänge und der Röhrenanzahl auf die Gesamtfehleranzahl	50

3.3.3.1	Geschwindigkeitsüberschreitungen .....	51
3.3.3.1.1	Ein- vs. zweiröhrige Tunnel .....	51
3.3.3.1.2	Lange vs. kurze Tunnel .....	51
3.3.4	Röhrigkeit HeartMan-Daten .....	52
3.3.5	Exkurs: Typischer Herzratenverlauf in einem langen Tunnel .....	53
3.3.6	Zusammenfassende Bewertung .....	53
3.4	STRECKENMERKMALE .....	55
3.4.1	Beurteilung der Übergangsbereiche .....	55
3.4.2	Verhaltensdaten (SAF) .....	55
3.4.2.1	Fahrfehlerzählung .....	56
3.4.3	Streckenmerkmale HeartMan-Daten .....	57
3.4.4	Zusammenfassende Bewertung .....	59
3.5	PORTALE UND AUSFAHRTEN .....	59
3.5.1	Beurteilung von Tunneleinfahrten- Befragungsergebnisse .....	59
3.5.2	Fahrverhaltensdaten (SAF) .....	62
3.5.2.1	Fahrfehlerzählung .....	62
3.5.2.2	Geschwindigkeitsüberschreitungen .....	62
3.5.3	Exkurs: Orientierungs- Defensivreaktion bei Tunneleinfahrten und Ausfahrten (Alt vs. neu, HeartMan-Daten) .....	63
3.5.4	Zusammenfassende Bewertung .....	64
3.6	WEITERE SICHERHEITS- UND GESTALTUNGSASPEKTE .....	65
3.6.1	Beurteilung von Verkehrszeichen - Befragungsergebnisse .....	65
3.6.2	Beleuchtung .....	66
3.6.3	Wahrnehmung von Bodenmarkierungen und Reflektoren .....	67
3.6.4	Beurteilung von Sicherheitseinrichtungen .....	67
3.6.5	Zusammenfassung .....	69
<b>4</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>70</b>
<b>5</b>	<b>LITERATUR .....</b>	<b>70</b>



# 1 Interesse und Zielsetzung der Studie

In den letzten Jahren sind im Tunnelneubau und in der Tunnelsanierung neue Maßstäbe gesetzt worden. Die Vorschläge aus Expertengesprächen und aus der seitens der ÖSAG im Jahr 2001 beauftragten und unsererseits durchgeführten Studie zur Tunnelgestaltung, sind nun an einigen Orten konsequent umgesetzt worden. Es wurde somit versucht, die Gestaltung von Tunneln auf Benutzerkomfort und Verkehrssicherheit zu optimieren.

Bestmögliche Wahrnehmungsbedingungen, Sicherung einer positiven emotionalen Grundstimmung bei gleichzeitiger Wahrung eines hohen Aufmerksamkeitsniveaus und Risikobewusstseins, sind Zielsetzungen für die nun umgesetzte Tunnelgestaltung.

Eine Prüfung, ob diese Effekte durch die neuen baulichen Maßnahmen erreicht worden sind, sollte im Rahmen dieses Projektes mittels der bewährten Methoden SAF (System zur Analyse des Fahrverhaltens, siehe Smuc & Christ, 2001) und Befragung der Versuchspersonen nach durchgeführter Versuchsfahrt erfolgen. Durch diese Kombination von Methoden können objektive Maße zum Fahrverhalten mit subjektiven Aspekten des Fahrens gleichermaßen erfasst und einander gegenüber gestellt werden.

Zusätzlich wurden mit dem Institut für Nichtinvasive Diagnostik des Joanneum in Weiz die bisherigen Methoden der Datenerhebung mit der Messung und Analyse der Herzfrequenzvariabilität mittels „HeartMan“ kombiniert. Somit sind nun Belastungsindikatoren verfügbar, deren Sensibilität über die bisherigen angewandten Methoden hinausgeht. Die Messung dieser physiologischen Kennwerte bedeutete zwar in der Versuchsabwicklung zusätzlichen Aufwand, der sich aber in einem Rahmen bewegte, der einen Vergleich mit der Tunnelstudie 2001 (siehe Christ et al., 2002) durchaus erlaubt.

Messungen der Aktivität des vegetativen Nervensystems (mittels hochauflösender EKG-Aufzeichnung) haben sich in den letzten Jahren bei der Messung von körperlicher und mentaler Belastung, auch in kurzfristigen Belastungssituationen, bewährt. Daher ist diese Methode hervorragend geeignet, Einflüsse, die auf den gesamten Organismus wirken, zu untersuchen.

Wie schon erwähnt, orientiert sich die vorgelegte Studie an den Standards der Vorgängerstudie aus dem Jahr 2001. Versuchsaufbau und Methodik entsprechen in vielen Bereichen der Tunnelstudie im Jahr 2001, es können Vergleiche zwischen damaligen und heutigen Standards gezogen werden.

Die nun gewählte Teststrecke enthält einen Großteil der zuletzt befahrenen Strecke der Pyhrnautobahn und zusätzlich die neu errichtete Tunnelkette Klaus (Ardning – Micheldorf und zurück).

Wiederum wurde eine Stichprobengröße von 69 Personen angestrebt, wobei ungeübte Tunnelfahrer, geübte Tunnelfahrer und Senioren gleichermaßen vertreten waren.

Je 12 Personen der angeführten Kategorien absolvierten die Teststrecke bei Tag, je 11 Personen bei Nacht. Um vergleichbare Bedingungen zur Voruntersuchung aus dem Jahr 2001 herzustellen, wurde die Felderhebung ebenfalls im Herbst (3.-21. November 2003) durchgeführt.



## 2 Methodik und Versuchsaufbau

### 2.1 Versuchsaufbau

Ziel dieser Untersuchung war es, eine große Variation von Tunnelgestaltungselementen zu erfassen um systematische Vergleiche anzustellen. Die Datensammlung sollte im Rahmen von realitätsnahen Fahrten erfolgen. Die Daten sollten von typischen Fahrern stammen, wobei eine Streuung über verschiedene Typen ins Auge gefasst wurde, da Tunnels ja für alle Straßenbenutzer sicher sein sollen und alle Fahrer in Tunnels ein klar vorhersehbares Verhalten zeigen sollen.

#### 2.1.1 Auswahl der Versuchsstrecke und Versuchsbedingungen

Die Auswahl der zu befahrenden Strecke war durch den Auftrag teilweise vorgegeben: befahren und beurteilt werden sollte die neu erbaute Tunnelkette Klaus der Pyhrnautobahn. Um Vergleiche zu früherer Tunnelgestaltung zu ermöglichen, wurden der Lainbergtunnel und der Bosrucktunnel in die Versuchsstrecke einbezogen.

Startpunkt der Versuchsstrecke war die Autobahnauffahrt Arding/Admont. Die Pyhrnautobahn wurde dann Richtung Norden bis zum Autobahnende bei Schön befahren. Nach dem Erreichen der Bundesstraße wurde auf einem Firmenparkplatz gewendet und die selbe Strecke Richtung Süden zurückgefahren. Die Fahrt endete wieder bei der Autobahnabfahrt Arding/Admont.

Durch diese Streckenwahl wurde die Untersuchung folgender Bedingungen bzw. Tunnelmerkmale ermöglicht:

Tunnelalter	Tunnel alt vs. neu <sup>1</sup>
Tageszeit	Tag vs. Nachtbedingung
Streckenmerkmale	Tunnel vs. freie Strecke vs. häufiger Wechsel von Tunnel und freier Strecke <sup>2</sup>
Röhrigkeit	ein vs. zweiröhrige Tunnels
Tunnellänge	lange vs. kurze Tunnels
Rolle Ängstlichkeit	

<sup>1</sup> Klauser (neu) vs. Lainberg (alt)

<sup>2</sup> Bosruck vs. 5km frei vs. Abschnitte Nr. 2 - 7, siehe Abbildung 1

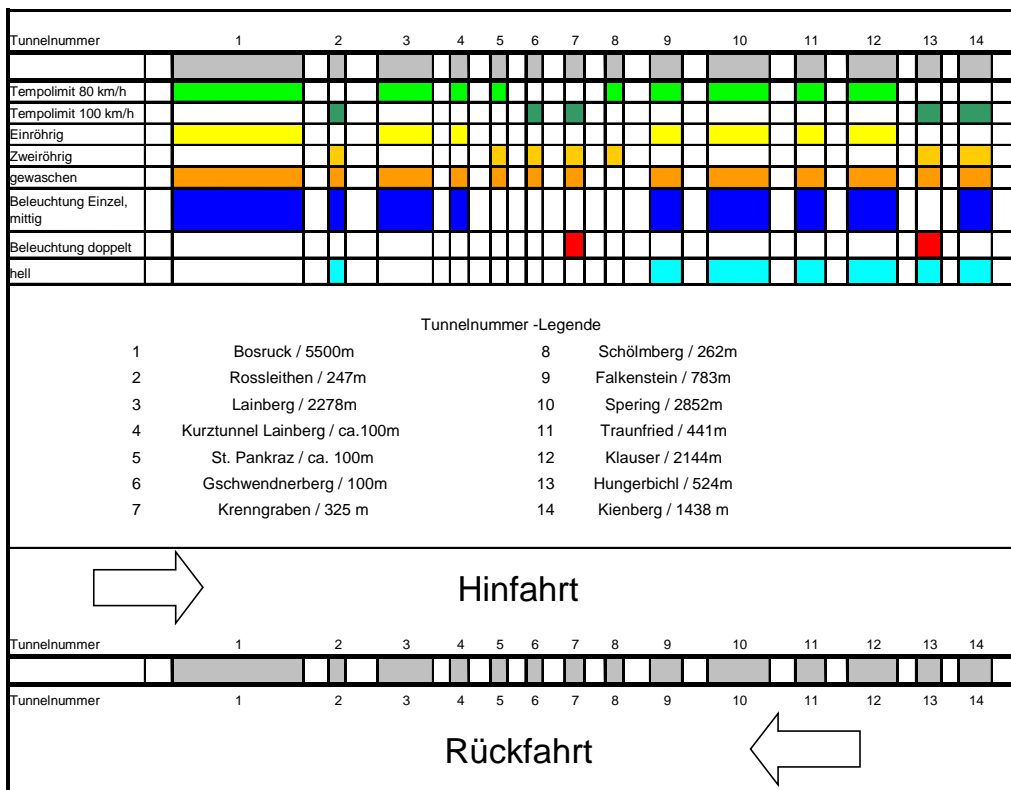


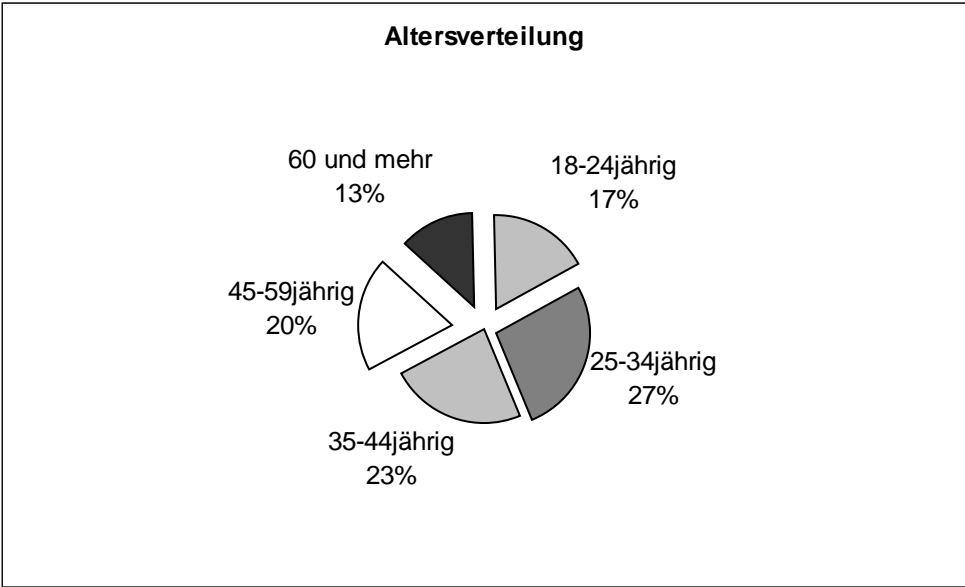
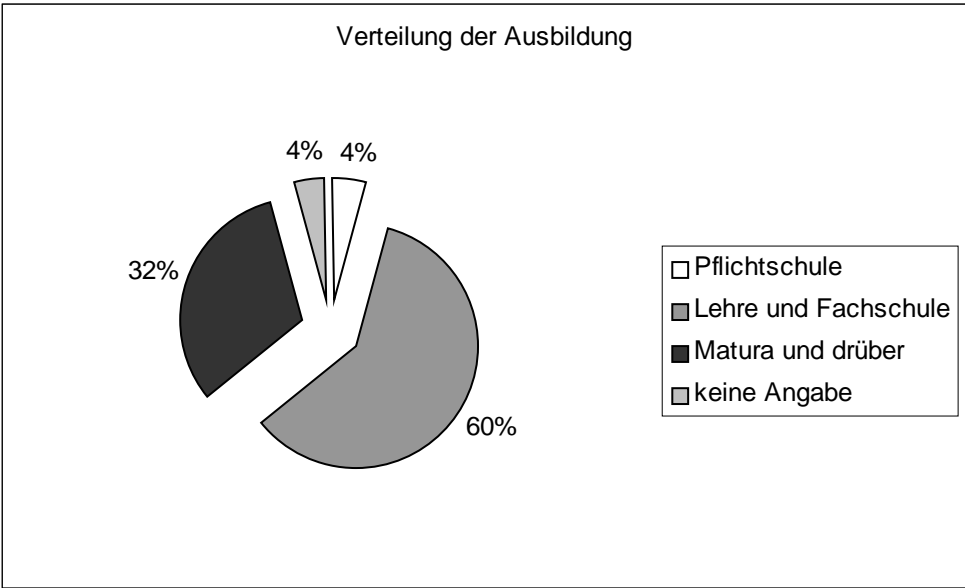
Abbildung 1: Versuchsstrecke und Tunnelmerkmale.

## 2.1.2 Auswahl der Versuchspersonen, Stichprobenbeschreibung

Analog zur ersten Tunnelstudie 2001 war auch bei der aktuellen Studie eine Stichprobe im Umfang von 69 Personen geplant. Davon sollte etwa je ein Drittel auf Fahrer mit geringer Tunnelenerfahrung, Fahrer mit regelmäßiger Tunnelenerfahrung sowie auf ältere Verkehrsteilnehmer entfallen.

Je 12 Personen der angeführten Kategorien absolvierten die Teststrecke bei Tag, je 11 Personen bei Nacht. Die Fahrten konnten innerhalb von 3 Wochen absolviert werden, wobei ausschließlich an Wochentagen (Montag bis Freitag) gefahren wurde. Die Daten vorliegender Untersuchung wurden von Personen aus der Umgebung des Autobahnabschnittes erhoben, wobei sich die Annahme bestätigte, dass der überwiegenden Mehrheit der Versuchspersonen der erst wenige Wochen vor der Untersuchung eröffnete Autobahnabschnitt mit der Tunnelkette Klaus nicht bekannt war.

Die Versuchspersonen wurden in erster Linie über Telefonkontakte zur Teilnahme gewonnen, für die Teilnahme wurde den Personen ein Honorar von 50 Euro ausbezahlt.



**Abbildung 2: Versuchspersonen nach Alter und Ausbildung**

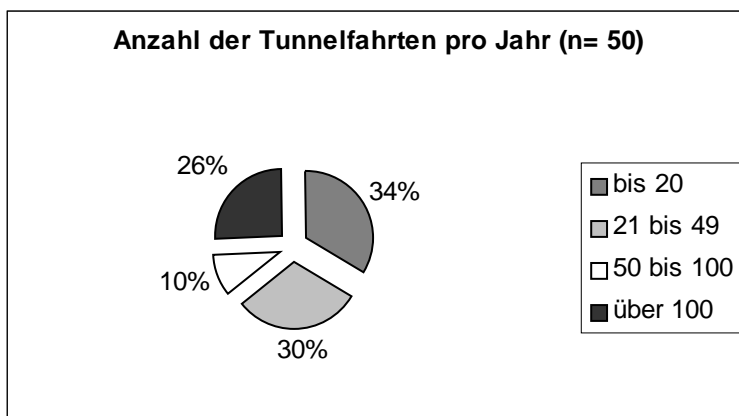
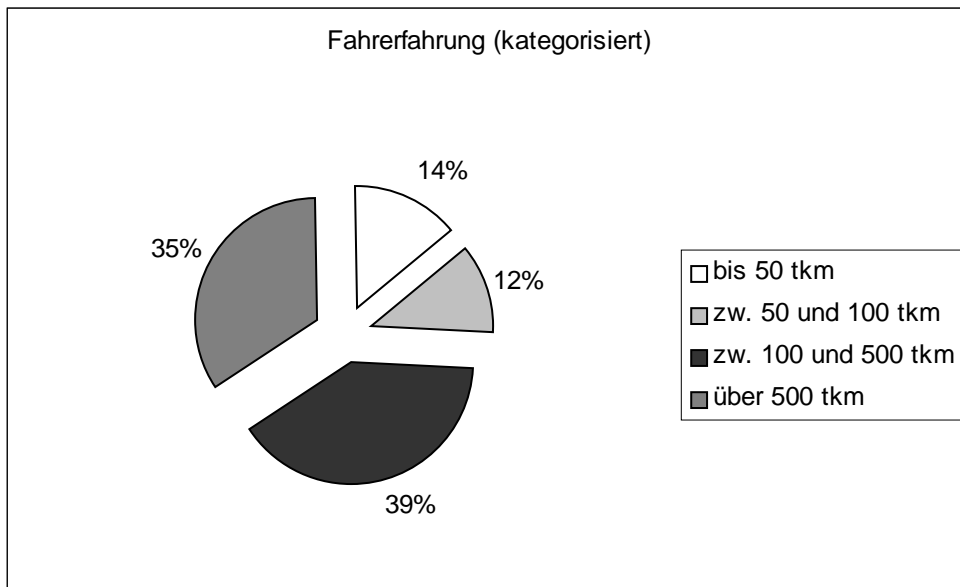


Abbildung 3: Versuchspersonen nach Fahrerfahrung und Tunnelerfahrung. Fahrerfahrung in 1000 Kilometer (tkm).

Die Versuchspersonen waren zwischen 19 und 77 Jahren alt. Es nahmen rund zwei Drittel Männer und ein Drittel Frauen an den Testfahrten teil (siehe auch Abbildung 2). Rund 13% besaßen zum Zeitpunkt der Untersuchung den Führerschein weniger als zwei Jahre.

14% der Versuchspersonen (Vpn) berichteten eine Fahrleistung von bis zu 50.000 km. 35% hingegen brachten eine Fahrerfahrung von über 500.000 km mit (siehe auch Abbildung 3).

Bei der Frage nach der ungefähren Zahl absolvierter Tunnelfahrten pro Jahr zeigt sich, dass ein gutes Drittel der Vpn weniger als 20 Mal im Jahr auf Strecken mit Tunnelabschnitten unterwegs sind. 100 Mal oder öfter sind etwa ein Viertel der Testpersonen unterwegs.

### **2.1.3 Abwicklung von Befragung und Versuchsfahrten**

Die Daten wurden vom Institut für Verkehrspsychologie im Zeitraum vom 3. bis 21. November 2003 erhoben. Es waren kontinuierlich zwei Versuchsleiter in Ardning im Einsatz.

Die Versuchspersonen kamen zum vereinbarten Zeitpunkt zur Autobahnmeisterei in Ardning. Zunächst wurde ihnen ein tragbares EKG angelegt. Anschließend wurde die aktuelle Befindlichkeit mit dem Basler Befindlichkeitsfragebogen erhoben. Weiters wurde die psychische Belastbarkeit mittels zwei Persönlichkeitsfragebögen (STAI, NEO-FFI) festgestellt.

Im Anschluss wurde unter Instruktion durch den Versuchsleiter die Testfahrt durchgeführt (VW Polo, SDI, ausgestattet mit den Instrumentarien des SAF – siehe nächster Abschnitt).

Der Versuchsleiter (am Rücksitz und mit Eingabetastatur) sagte den Versuchspersonen die Fahrtstrecke an, gab aber keine weiteren Verhaltensanweisungen. Der Zweck der Fahrt wurde nicht näher angegeben, jedenfalls wurde vermieden, die Studie in Zusammenhang mit Straßentunnels zu stellen.

Nach der Fahrt wurde erneut die Befindlichkeit erfragt und anschließend das EKG – Gerät abgeschlossen. Abschließend erfolgte eine Befragung zur Fahrtstrecke und Einschätzung der durchfahrenen Tunnels.

Der Versuchsablauf nahm rund zweieinhalb Stunden pro Person in Anspruch.

## **2.2 Erhebungsmethoden**

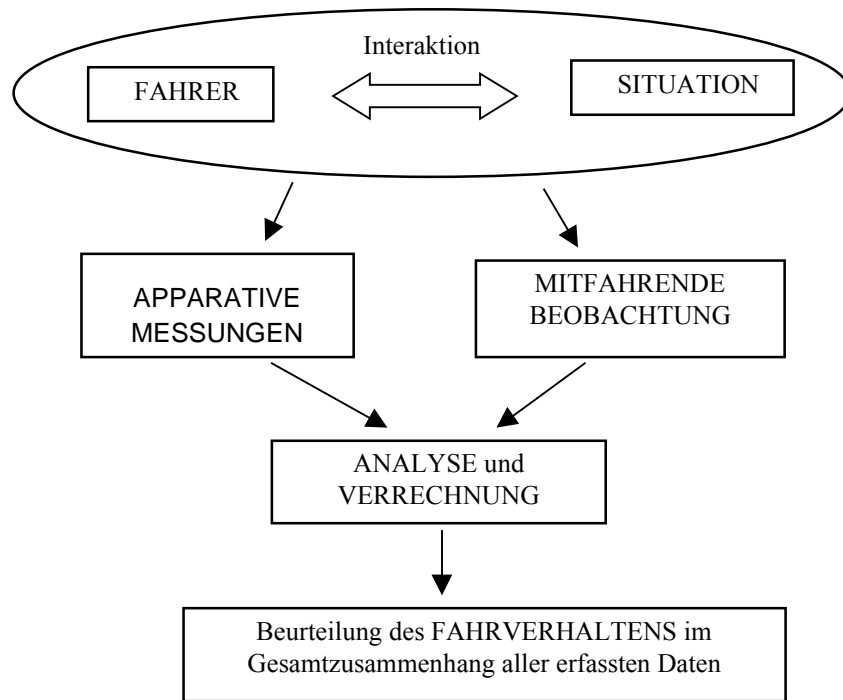
### **2.2.1 System zur Analyse des Fahrverhaltens (SAF)**

Das Kuratorium für Schutz und Sicherheit entwickelte in Zusammenarbeit mit dem Institut für Messdynamik und Messtechnik (TU-Wien) eine Methode zur Beobachtung und Beurteilung des Fahrverhaltens.

Hier werden in einem speziell ausgestatteten Fahrzeug (Kleinwagen mit Unfalldatenspeicher) Statussignale des Fahrzeugs (siehe unten) und Daten wie Geschwindigkeit, Quer- und Längsbeschleunigung aufgezeichnet. Gleichzeitig wird die Fahrt über 4 verschiedene Videokameras aufgenommen, ein mitfahrender Beobachter zeichnet interessierende Merkmale auf.

SAF kombiniert zwei unterschiedliche Informationsquellen, die zur begleitenden Beurteilung des Fahrerverhaltens herangezogen werden können. Die Wiener Fahrprobe, die am Institut für Verkehrspsychologie in den 80 er Jahren entwickelt worden ist, stellt die Beobachtung durch geschulte Beobachter in den Mittelpunkt (Risser, Brandstätter 1985, Brandstätter, 1989). Eine andere Möglichkeit stellt die instrumentierte Messung dar, bei der technisch messbare Daten Rückschlüsse auf das Verhalten und die Intentionen des Fahrers ermöglichen sollen (Wassermann, 1999).

Bei der Entwicklung von SAF wurde versucht, beide Ansätze zu kombinieren und die jeweiligen Nachteile möglichst auszuschalten: Einerseits kann der mitfahrende Beobachter Ereignisse festhalten, die nicht apparativ messbar sind (wie z.B. „Fahrer hat Konflikt gelöst“), andererseits kann das Beobachterurteil durch die objektiven Daten validiert werden (siehe Abbildung 4). Das Ziel ist eine möglichst vielseitige bzw. ganzheitliche Betrachtungsweise des Fahrverhaltens.



**Abbildung 4: Schematische Darstellung des Systems zur Analyse des Fahrverhaltens.**

Das System wurde so konzipiert, dass es leicht in verschiedenen Fahrzeugtypen zu installieren ist - Kameras und Sensoren werden beispielsweise durch Saugnäpfe angebracht, die Messanlage ist in einem kompakten Koffer untergebracht. Das System ist grundsätzlich für Erweiterungen im Sinn der Erfassung zusätzlicher Messgrößen offen.

Gegenwärtig werden folgende Daten gesammelt:

- Messdaten zur Geschwindigkeit, und über den Unfalldatenschreiber (z.B. Statussignale wie Bremsen, Blinken, Fernlicht, Abblendlicht) werden mit 200 Messpunkten pro Sekunde gewonnen.
- Daten zur Längs- und Querschleunigung werden von einem eigenen Sensor gemessen und abgeleitet.
- Tastatureingaben durch einen Beobachter werden synchron mit den übrigen Messdaten registriert, die Tastenbelegung ist frei wählbar. Diese Tastatureingaben geben dem mitfahrenden Beobachter die Möglichkeit, Bewertungen abzugeben oder komplexe Situationen zu markieren, die nicht durch die Messanlage aufgenommen werden können. Im Gegensatz zur herkömmlichen Fahrverhaltensbeobachtung mit Fehlerzählung (z.B. „Wiener Fahrprobe“) wird der Beobachter jedoch durch die apparativen Aufzeichnungen deutlich entlastet. Wichtige Variablen wie die Geschwindigkeit oder die Bremsbereitschaft können auch im nachhinein durch eine Video- bzw. Datenanalyse (siehe Abbildung 5) erhoben werden.
- Zusätzlich zu den gesammelten Daten erfolgt eine synchrone Videoaufzeichnung. Vier Kameras können je nach Fragestellung variabel im Fahrzeug mittels Saugnäpfen oder anderer Verschlüsse justiert werden. Über den Videosplitter werden die Videodaten auf dem Videoband mit 4 Teilansichten (siehe Abbildung 6) gespeichert.

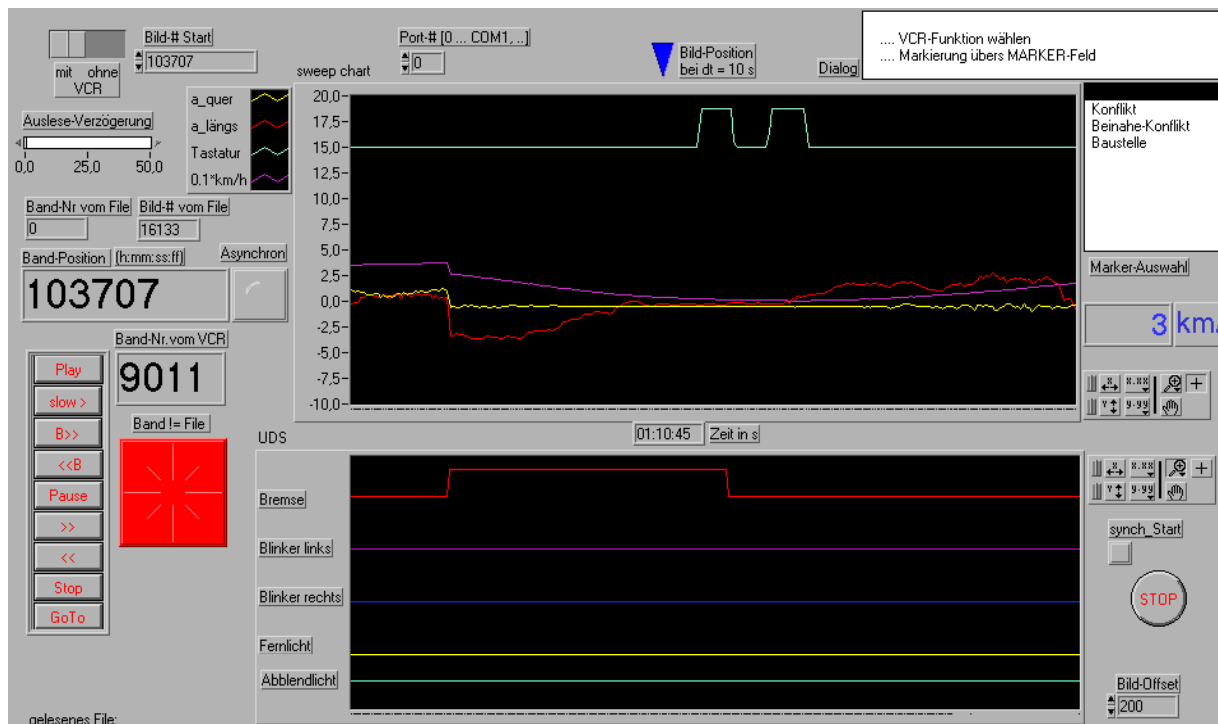


Abbildung 5: Ausgabefenster am Laptop mit den protokollierten Daten und Elementen zum Ansteuern bestimmter Datenfenster und Videopositionen



Abbildung 6: Videobild mit vier Kamerapositionen – synchronisierte Darstellung zum Datenfenster am Computer



### 2.2.1.1 Datenaufbereitung und Auswertungsschritte

Für die Datenauswertung wurden folgende Möglichkeiten von SAF genutzt:

Die Daten wurden mit klassischen statistischen Methoden wie Berechnung von Mittelwerten, Standardabweichungen und Häufigkeiten verdichtet. Dabei wurden die Daten über frei definierbare Zeit- und Wegabschnitte oder als ausgewählte Ereignissequenzen zusammengefasst. Als ein standardisiertes Vergleichsmaß wurden für viele Zwecke Fehlerraten pro 10 Sekunden Fahrzeit herangezogen. Diese Zusammenfassungen wurden großteils mit statistischen Tests auf signifikante Unterschiede geprüft.

### 2.2.1.2 Fahrverhaltensvariablen

#### 2.2.1.2.1 Fehlerzählung durch den mitfahrenden Beobachter

Der mitfahrende Beobachter hatte auf einer Eingabesteuerung (Abbildung 7) 14 Tasten zur Verfügung, mit denen besondere Verhaltensauffälligkeiten oder Ortspunkte im Datenfile markiert werden konnten. Gemäß den Überlegungen der Wiener Fahrprobe wurden 13 dieser Tasten ausschließlich für die Protokollierung von Fahrfehlern – im Sinne einer Abweichung von einer Idealnorm – verwendet. Eine Taste wurde dazu verwendet, Tunnelein- und ausfahrten zu markieren.



Abbildung 7: Tastatur für den Beobachter

Folgende Fahrfehler konnten vom Beobachter protokolliert werden:

#### Ampelfehler

Ampelfehler beschreibt das Fehlverhalten bei ampelgeregelten Streckenabschnitten. Darunter versteht man das Ignorieren, Überfahren, nicht befolgen von Rot-Gelblichtsignalisierungen bzw. das Stehen bleiben bei Grünblinken.

#### Weiterfahrt

Darunter fällt die Variable „*stures Hinterherfahren*“. Sie wird dann registriert, wenn der Fahrer den Manövern (z.B. Verlangsamung) des vorausfahrenden Fahrzeugs folgt, obwohl

andere Fahrspuren frei sind und im Sinne einer antizipatorischen Fahrweise kein Grund vorhanden ist, dem vorderen Fahrzeug zu folgen.

## Licht

Licht wird dann registriert, wenn der Fahrer erst nach der Tunneleinfahrt das Licht aufdreht oder während der gesamten Tunnelstrecke ohne Licht fährt.

## Spurhaltung

„Spurgenauigkeit“ beschreibt das Spurverhalten des Fahrers im Hinblick auf ungenaues Einhalten der Fahrspur.

Registriert werden auch die Beobachtungen des Kurvenschneidens und des Ausschereins bei Kurven und Abbiegemanövern. Dies beinhaltet die Beobachtung, ob der Fahrer in dem für seine Fahrtrichtung vorgeschriebenen Fahrbahnbereich während des Kurvenfahrens bzw. Abbiegens verbleibt. Die beiden Kodiermöglichkeiten ergeben sich somit aus der Überlegung, dass der Fahrer in Kurven bzw. Abbiegebereichen die Begrenzung der Spur, die ihm zur Verfügung steht, nicht überfahren bzw. überragen darf.

## Seitenabstand

Der Seitenabstand bezeichnet den Sicherheitsabstand zu anderen Fahrzeugen (z.B. beim Überholen), Hindernissen, Gegenständen, die sich auf der eigenen Richtungsfahrbahn oder auf der Gegenfahrbahn befinden. Der Seitenabstand ist dann zu gering, wenn eine Gefährdung der Sicherheit nicht eindeutig vermieden werden kann (Konflikte wurden gesondert erhoben, siehe unten). Hierbei spielt auch die Wahl einer der Situation adäquaten Geschwindigkeit eine Rolle.

Als Faustregel gilt:

stehende Fahrzeuge/Objekte:	$0,5\text{m plus } 1\text{cm pro km/h} = 1\text{m bei } 50\text{ km/h};$
sich bewegende Fahrzeuge:	$1\text{m plus } 1\text{cm pro km/h} = 1,5\text{ m bei } 50\text{ km/h}$

## Blinken

Blinken wird dann registriert, wenn nicht geblinkt wird oder der Zeitraum zwischen Richtungsanzeige und Richtungswechsel so kurz ist, dass andere Verkehrsteilnehmer nicht mehr ausreichend Zeit hätten, ihr Verhalten darauf abzustimmen. Ist dieser Zeitraum hingegen zu lang und könnte das Blinken für mehrere Abbiegepunkte gelten, zählt dies auch als Fehler. Dies gilt z.B. auch für den Fall, dass nach Blinkerbetätigung zu lange gezögert wird.

## Spurwechsel

„Spurwechselfehler“ sind an allen Streckenabschnitten mit mehr als einer Fahrspur in der jeweiligen Fahrtrichtung sowie bei Überholvorgängen zu beobachten. Die Fehlerkodierung bezieht sich jeweils auf die Ausführung von Spurwechseln.

Beurteilt wird die Entschlossenheit mit der der Fahrer das Manöver ausführt. Unvorsichtiges, zögerliches, uneindeutiges Verhalten wird als Fehler gewertet. Auch ein Verkehrsteilnehmer, der trotz deutlicher Aufforderung bevorrangter Verkehrsteilnehmer einen Spurwechsel nicht vornimmt, fällt in diese Kategorie; ebenso das Nichtdurchführen eines angezeigten Spurwechsels.

Spurwechselfehler sind bei Kreuzungsannäherung, bei allen Abbiege- und Verzweigungspunkten mit mehr als einer Fahrspur auf der Fahrstrecke, zu beobachten und zu kodieren. Eine Kodierung erfolgt auch bei der Beobachtung *Einordnung zu spät*, wenn der Fahrer das Einordnen nicht rechtzeitig und situationsangepasst durchführt, also nicht zum bestmöglichen Zeitpunkt die Spur wechselt.

## Emotion

Unter Emotion fallen alle Formen von negativer Kommunikation, mit denen sich der Klient durch Gestik, Mimik, Gespräch, Hupen, Lichtzeichen mit anderen Verkehrsteilnehmern verständigt.

*(Inhalte wurden stichwortartig vom Beobachter notiert!)*

## Konflikt

Ein Konflikt liegt dann vor, wenn nachfolgende, parallel fahrende bzw. entgegenkommende *Fahrzeuge* (z.B. bei Spurwechsel, Überholvorgang - Ausscheren, Wiedereinscheren) *abbremsen* bzw. *ausweichen* müssen. Auch Warnzeichen (Hupe, Lichthupe) sind dabei als Kriterien anzusehen (z.B. als Reaktion des entgegenkommenden Fahrers, wenn nicht zügig oder bei zu kurzem Überholweg überholt wird).

## Abruptes Bremsen

Abruptes Abbremsen ist zu kodieren. Ein Kriterium für die Rechtzeitigkeit des Abbremsens ist der nachkommende Verkehr: es ist darauf zu achten, ob nachfolgende Fahrzeuge rasch bremsen oder ausweichen müssen. Auch das subjektive Empfinden der Heftigkeit des Bremsvorganges seitens des Beobachters ist eine relevante Entscheidungshilfe.

## Abstand

Der Abstand zum vorderen Fahrzeug ist zu gering, wenn er für ein sicheres Anhalten des Fahrzeuges bei der jeweiligen Geschwindigkeit nicht ausreichend ist. Der Beobachter hält sich bei der Abschätzung des Abstandes an die 1-Sekunden-Regel im Stadtgebiet bzw. an die 2-Sekunden-Regel auf (Stadt)-Autobahnen und Überlandstraßen. Dabei sind auch Witterung und Straßenzustand etc. in Betracht zu ziehen.

## Geschwindigkeit unangepasst schnell

Diese Variable beinhaltet vor allem die fehlende Anpassung an situative Gegebenheiten wie Witterungsverhältnisse, Straßenbelag, sonstiger Verkehrsfluss etc.

Unter die Kodierung fällt auch die Situation, in der zu spät verlangsamt wird oder wenn beim Überholt werden beschleunigt wird.

## Geschwindigkeit unangepasst langsam

Diese Variable besagt, dass der Verkehrsteilnehmer zu langsam fährt, d.h. 20 km/h unter der erlaubten Höchstgeschwindigkeit ohne ersichtlichen Grund (schlechte Straßenverhältnisse, dichter Verkehr, schlechte Sicht oder Wetter etc.) und auf diese Weise den Verkehrsfluss beeinträchtigt.

## Tunnelein-/ausfahrt

Zur leichteren Bearbeitung und Berechnung der SAF-Daten wurde jede Tunnelein- und ausfahrt markiert - Einfahrt: 1x drücken, Ausfahrt: 2x drücken

### 2.2.1.2.2 Variablen auf Basis instrumentierter Datenerhebung

Von den Daten aus der instrumentierten Erfassung sind für vorliegende Studie Daten zur Geschwindigkeitswahl von Interesse.

Geschwindigkeitsdaten wurden in verschiedenen Aufbereitungen verrechnet:

- Anzahl von Geschwindigkeitsüberschreitungen (10% über gültigem Limit) in definierten Abschnitten
- Geschwindigkeitsschwankungen um markante Punkte (Zeitfenster +/- 5 Sekunden)
- Geschwindigkeitsverläufe über definierte Abschnitte

### **2.2.1.3 Inhalte der Befragung der Versuchspersonen**

Der Fragebogen (siehe Anhang A), der im Anschluss an die Versuchsfahrt vorgegeben wurde, umfasst einen allgemeinen Teil, der einführende Fragen über das Empfinden der Versuchsfahrt erfasst, und einen speziellen Teil, der sich in folgende spezifische Themenblöcke gliedert:

- Verkehrszeichen
- Tunneleinfahrten
- Beleuchtung
- Tunnelwände
- Bodenmarkierungen
- Sicherheitseinrichtungen
- Übergangsbereiche

Alle Befragungen wurden von einem Psychologen unmittelbar im Anschluss an die Versuchsfahrten vorgenommen und protokolliert.

## 2.2.2 Physiologische Messungen

### 2.2.2.1 Zusammenhang zwischen Aktivierung und Leistung

Der Zusammenhang zwischen physiologischer Aktivierung und Leistungsfähigkeit lässt sich durch das Yerkes-Dodson-Gesetz (Yerkes & Dodson, 1908) folgendermaßen beschreiben: „... jede Leistung ist abhängig vom aktuellen Aktivierungsniveau. Zuviel Aktivierung ist ebenso leistungsbremsend wie zu wenig.“ (Guttman 1990, zitiert nach Kaba & Klemenjak, 1993).

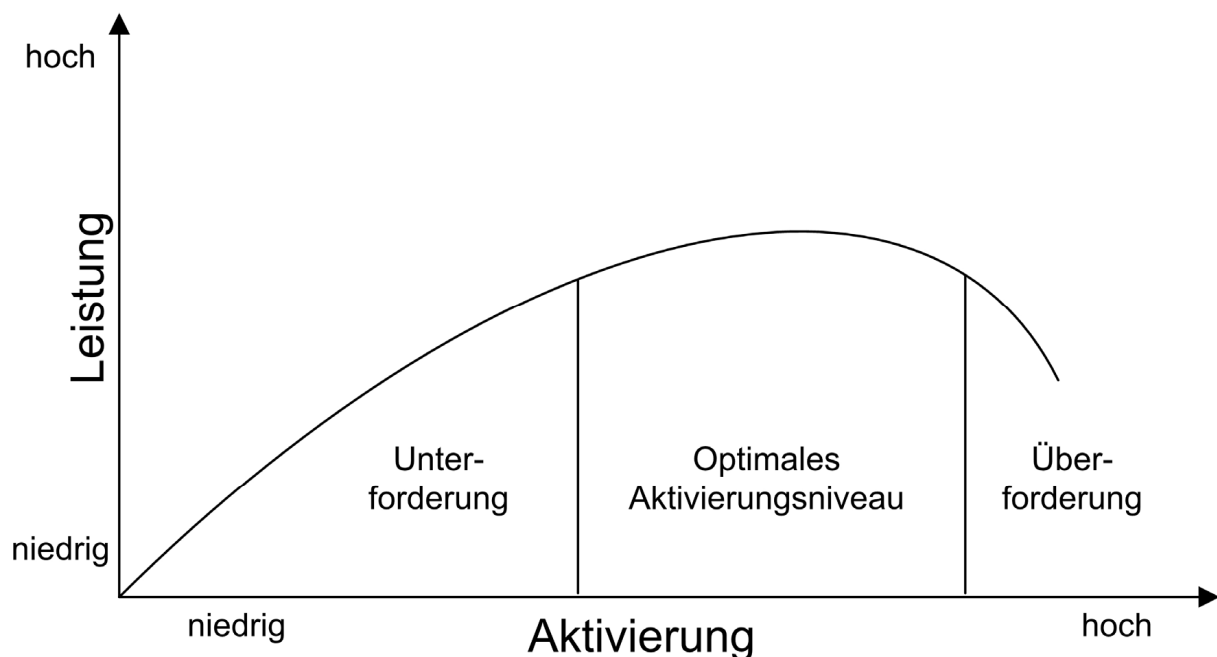


Abbildung 8: Zusammenhang Aktivierung & Leistung nach Yerkes & Dodson, 1908.

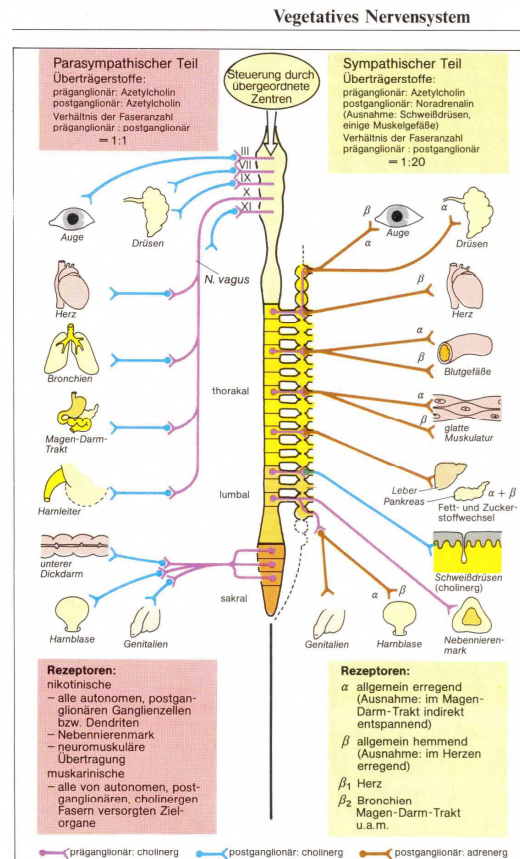
Das individuelle Leistungshoch wird also im mittleren Aktivierungsbereich erreicht. Bei steigender Aktivierung (Überforderung) kommt es zusehends zu einer Leistungssenkung, gleichermaßen führt eine vom mittleren Aktivierungsniveau nach unten hin abweichende Aktivierung (Unterforderung) eine Leistungssenkung mit sich. Deshalb kann bei *mittlerer Aktivierung* vom *optimalen Aktivierungsniveau* gesprochen werden. Dies gilt auch im Sinne der Verkehrssicherheit, da ein Zusammenhang zwischen Unter- bzw. Überforderung und vermehrten Fahrfehlern angenommen wird.

### 2.2.2.2 Exkurs: Grundlagen physiologischer Messung

In jüngster Zeit wurden Messmethoden verfügbar, die es erlauben, nichtinvasive Messungen am autonomen Nervensystem vorzunehmen. Dieses funktionelle System unseres Organismus koordiniert, synchronisiert und lenkt zahlreiche Körperfunktionen.

Das autonome Nervensystem, auch vegetatives Nervensystem (siehe Abbildung 9) genannt, wird in der Peripherie in zwei Subsysteme unterteilt, das sympathische und das parasympathische Nervensystem. Das autonome Nervensystem reguliert jene

Funktionen, auf die wir willentlich nur sehr bedingt Einfluss nehmen können. Es stimmt die Systeme der Versorgung und der Entsorgung aufeinander ab und sorgt für ein geordnetes Zusammenwirken. Dadurch werden die verschiedenen Funktionskreise koordiniert und zu einer leistungsfähigen Ganzheit zusammengefasst.



**Abbildung 9: Schematische Übersicht des Autonomen (vegetativen) Nervensystems (aus Silbernagl & Desopoulos, 1991, S. 51)**

Das Vegetativum reguliert unter anderem:

- Herztätigkeit, Blutdruck, Verteilung der Blutströme
- Atemtiefe und Atemfrequenz
- Thermoregulation
- Drüsensekretion (z.B. Speichel und Verdauungssäfte)
- Magen- und Darmmotorik, Blasenentleerung
- Sexualfunktionen

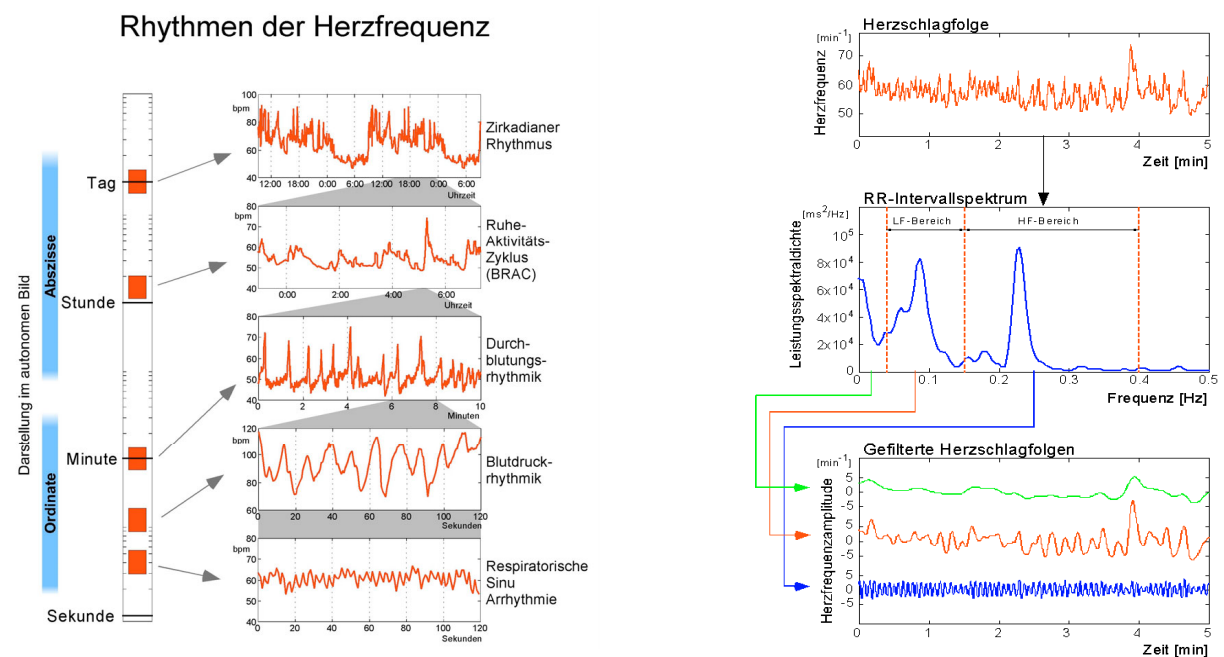
Es steht über den Hypothalamus als übergeordnete Steuerungsebene in enger Verbindung mit dem limbischen System, das Emotionen und Gefühle vermittelt, sowie mit dem endokrinen System.

Sympathikus und Parasympathikus haben großteils antagonistische Wirkungen auf die einzelnen Organe: Bei sympathischer Dominanz sind die Pupillen geweitet, Atem- und Herzfrequenz gesteigert, Luftröhre und Bronchien geweitet und der Großteil des Blutes strömt in die Muskulatur, ins Gehirn und in die Lunge. Man spricht von einer ergotropen ( $\epsilon\rho\gamma\omicron\nu$  = Tat, Arbeit;  $\tau\rho\omicron\pi\omicron\sigma$  = Richtung) Reaktion, d.h. der Organismus

ist auf wache Leistungsbereitschaft ausgerichtet. Wenn die parasympathischen Einflüsse vorherrschen, sind Atem- und Herzfrequenz ruhig, die Muskeln sind entspannt, die Blutströme werden in den Magen-Darm-Trakt geleitet. Es ist dies die trophotrope Reaktion ( $\tau\rho\rho\phi\sigma\sigma$  = Ernährung). Viele Organe werden sowohl von sympathischen wie auch von parasympathischen Nerven innerviert.

Für die Messung der vegetativen Einstellung wurde in den letzten Jahrzehnten eine Methode entwickelt, welche die nichtinvasive Untersuchung des autonomen Nervensystems ermöglicht - die Analyse der Herzfrequenzvariabilität (HRV).

Die Herzfrequenz ist der wichtigste Kennwert eines komplexen Regelnetzwerkes, an dem Herz, Kreislauf, Atmung, Temperatur, Stoffwechsel und psychomentale Einflüsse beteiligt sind. Dies verleiht der Herzfrequenz ihre typische zeitliche Struktur, die als Herzfrequenzvariabilität (HRV) messbar wird.



**Abbildung 10: Schematische Übersicht-Rhythmen der Herzfrequenz bzw. Beispiel für eine Spektralanalyse der HRV.**

Der prominenteste Anteil der HRV ist die respiratorische Sinusarrhythmie (RSA), die hochfrequente Variabilität der Herzfrequenz, welche die Modulation des Herzrhythmus durch die Atmung widerspiegelt. Sie ist gleichzeitig ein Maß für die Aktivität (den Tonus) des Vagus im Frequenzbereich von 0,15 bis 0,40 Hz. Die niederfrequenten Komponenten der Herzfrequenzvariabilität korrespondieren mit der Blutdruckrhythmik bei einer Frequenz von ca. 0,10 Hz. Sie werden vorwiegend sympathisch, aber auch parasympathisch moduliert.

Um den Tonus der einzelnen Äste des autonomen Nervensystems zu beschreiben, kann man eine Spektralanalyse durchführen (siehe Abbildung 10, rechts). Die Messdaten werden beispielsweise mit Hilfe der Fouriertransformation vom Zeitbereich in den Frequenzbereich übertragen und als Leistungsspektrum dargestellt.

### Der HeartMan - ein mobiles Messgerät des vegetativen Tonus



Abbildung 11: HeartMan - Einkanaliger, hochauflösender EKG-Rekorder.

Mit dem in dieser Untersuchung verwendeten Messgerät, dem HeartMan (siehe Abbildung 11), kann die Herzfrequenz gemessen werden. Der HeartMan ist spezialisiert auf die hochgenaue Aufzeichnung von Herzschlagintervallen (R-R Intervallen). Aus den Herzschlagintervallen werden verschiedene Parameter der Herzfrequenzvariabilität errechnet. Mit Hilfe von evaluierten Algorithmen kann der kontinuierlichen Verlauf von insgesamt 20 physiologischen Parametern während der Arbeit und in Ruhe ermittelt werden. Diese Messmethode ist geeignet zur mobilen Überwachung der funktionellen, autonomen Regulation des Kreislaufs und ermöglicht auch eine 24-Stunden-Kontrolle des Herzrhythmus (Holter Monitoring).

#### 2.2.2.2.1 Kennwerte des ANS

Folgende Kennwerte werden berechnet bzw. quantifiziert:

TOT (total frequency): Die Leistung im gesamten Frequenzbereich von 0.0033 – 0.50 Hertz (Hz).

HF (high frequency): Der HF-Bereich umfasst Schwankungen mit Periodendauern von 2.5 Sekunden bis 7 Sekunden (0.15 - 0.40 Hz). Die Leistung im HF-Band entspricht der Aktivität des Parasympathikus und spiegelt hauptsächlich Herzfrequenzvariationen wieder, die auf Modulation über die Atmung zurückzuführen sind.

LF (low frequency): Das LF-Band umfasst den Frequenzbereich von 7 - 25 Sekunden (0.04 – 0.15 Hz). Die Leistung in diesem Band wird vorwiegend vom Sympathikus als auch in geringerem Maß vom Parasympathikus beeinflusst. Diese Region wurde früher auch Barorezeptorbereich genannt, da die Aktivität dieses Rezeptors hier sehr gut wiedergespiegelt wird. Die niederfrequenten Komponenten der Herzfrequenzvariabilität korrespondieren mit der Blutdruckrhythmik mit einer Frequenz von ca. 0,10 Hz.

LF/HF (vegetativer Quotient, VQ): Der Quotient aus den beiden vorangehenden Parametern spiegelt das momentane vegetative Aktivierungsniveau des Organismus wieder und ist das derzeit beste verfügbare Maß der „autonomen Balance“. Höhere Werte zeigen eine aktive, leistungsorientierte Einstellung des Körpers, tiefe Werte eine auf Erholung ausgerichtete.

SDNN (standard deviation of normal-to-normal intervals): Die Standardabweichung über je 5 Minuten artefaktbereinigte RR-Intervall-Serien ist ein Maß für die Gesamtvariabilität über alle Frequenzbereiche. Langzeitstudien haben gezeigt, dass



die Gesamtvariabilität ein Maß für die Vitalität ist: Menschen mit geringerer SDNN leben kürzer.

logRSA: Der Median der absoluten Differenzen aufeinanderfolgender Herzfrequenzwerte misst, ähnlich der HF, vorrangig die raschen, atmungsinduzierten Änderungen, ohne jedoch eine strikte Grenze bei einer bestimmten Frequenz zu ziehen. Die respiratorische Sinusarrhythmie (RSA) ist somit die hochfrequente Variabilität der Herzfrequenz, welche die Stärke der Modulation des Herzrhythmus durch die Atmung widerspiegelt. Sie ist gleichzeitig ein Maß für den Tonus der Vagusaktivität.

QPA: Der Puls-Atem-Quotient gibt an, wie oft das Herz während eines Atemzuges schlägt (Verhältnis der Herzschläge zu einem Atmungszyklus). Während der Nacht und in Ruhe konnte beobachtet werden, dass es bei Gesunden zu einer Einstellung des Quotienten auf ein Verhältnis von etwa 4:1 kommt, unabhängig vom Quotienten unter ergotropen Bedingungen am Tag, der zwischen 2:1 und 22:1 liegen kann.

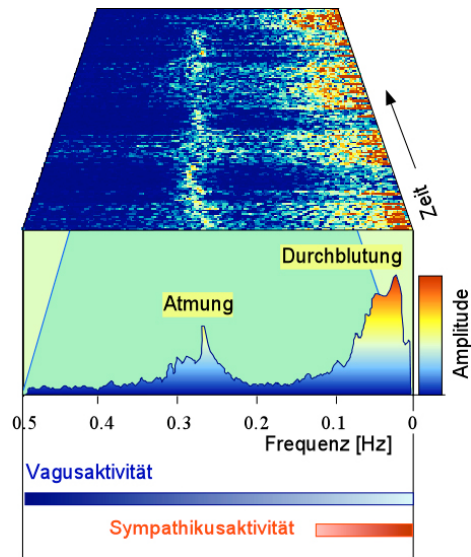
In Tabelle 1 findet sich eine Zusammenfassung der wichtigsten und aussagekräftigsten psychophysiologischen Indikatoren und die möglichen Interpretationen derselben (nach Schandry, 98 und [www.fs-psychologie.uni-bonn.de/download/dipl/neurophy.doc](http://www.fs-psychologie.uni-bonn.de/download/dipl/neurophy.doc), Stand: 11.2.2004)

**Tabelle 1: Übersicht über die psychophysiologischen Indikatoren**

Physiologischer Messwert	Parameter-Bezeichnung	Interpretation	
		hoch	niedrig
Herzrate	<i>HR</i>	Angst Schmerz Reizabblocken (Hitze) (Sauerstoffmangel)	Entspannung Orientierung Aufmerksamkeit Reizaufnahme
Respiratorische Sinus Arrhythmie	<i>logRSA</i>	hoher parasympathischer Anteil tiefes Atmen Entspannung	hoher sympathischer Anteil mentale Belastung
Herzratenvariabilität	<i>lnTOT (HRV)</i>	geringe psychische oder physische Belastung/Beanspruchung	hohe psychische oder physische Belastung/Beanspruchung aufmerksamkeitsfordernde Aktivierungsbedingungen

#### 2.2.2.2.2 Das AutoChrono Bild

Das AutoChrono Bild (Abbildung 12) ist eine übersichtliche Darstellung der komplexen Rhythmusinformationen, die in der Herzfrequenz bzw. Herzfrequenzvariabilität enthalten sind. Es ist ein Bild der menschlichen Eigenzeit ("autos" = selbst, eigen; "chronos" = zeit). Dabei wird die Information in drei Dimensionen (Abszisse = Zeit, Ordinate = Frequenz, Farbe = Amplitude) dargestellt.



**Abbildung 12: Das AutoChrono Bild.**

Jede Zeile ist das Ergebnis der Frequenzanalyse eines kurzen Abschnitts einer Zeitreihe, z.B. einer Herzschlagfolge. Die Amplitude der jeweiligen Rhythmen wird dabei farbig codiert. Eine geringe Amplitude ergibt blau, eine höhere weiß, eine sehr hohe rot. Das Bild wird Zeile für Zeile zusammengesetzt – man erhält eine zeitabhängige Darstellung der in der Herzschlagfolge enthaltenen Rhythmen, z.B. über 24 Stunden. Diese kurz vorgestellten Methoden der Herzfrequenzvariabilitätsanalyse erlauben detaillierte Einblicke in die autonomen Fähigkeiten der Belastungs- und Erholungsregulation.

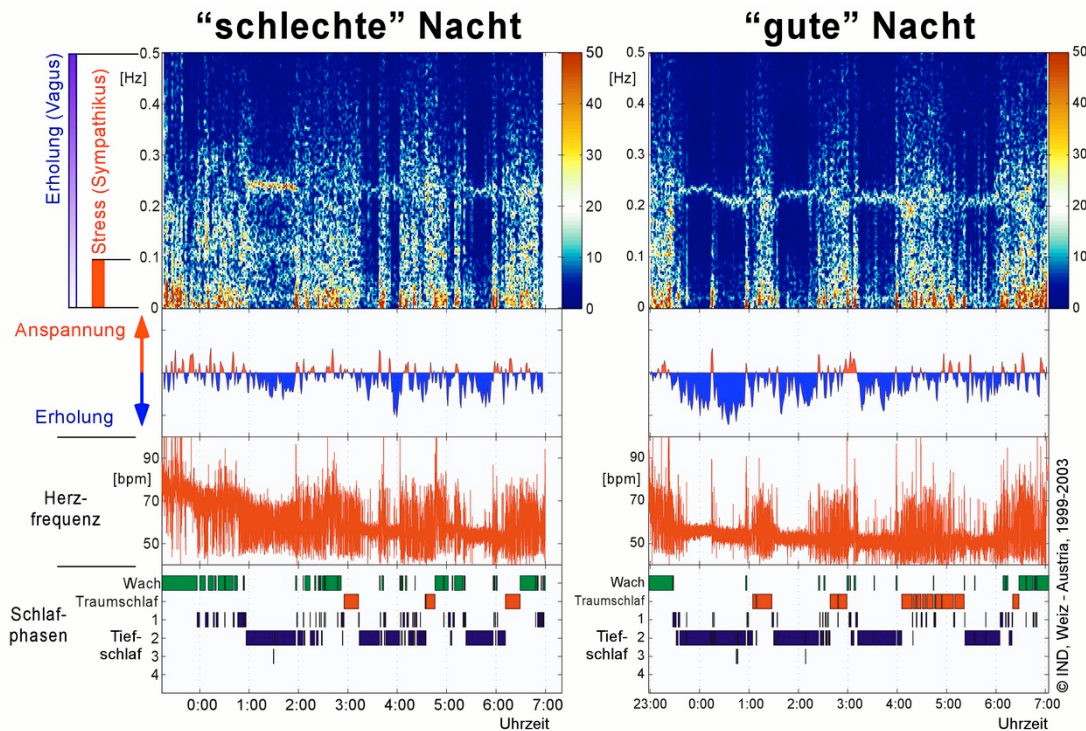


Abbildung 13: Daten aus einem Schlaflabor

AutoChrone Bilder ein- und desselben Versuchsteilnehmers, wenn er schlecht schläft (links) bzw. gut schläft (rechts). Der Unterschied zeigt sich insbesondere in der Schlafarchitektur. Der gute Schlaf verläuft zyklisch (rechts), wobei sich die Ruhigschlafphasen deutlich vom REM-Schlaf (Traumschlaf) unterscheiden. Der schlechte Schlaf ist fragmentiert und vegetativ unruhig. Die vegetative Balance (Anspannung-Erholung) beim guten Schlaf ist vagotoner (rechtes Bild) als beim schlechten Schlaf (linkes Bild). Zum Vergleich ist auch die Standard-Schlafphasenklassifikation nach Rechtschaffen und Kales dargestellt, die anhand von EEG-, EOG- und EMG-Aufzeichnungen vorgenommen wird (jeweils unterstes Diagramm).

Während des Schlafes (Abbildung 13) stellt sich eine trophotrope Reaktionslage ein. Der Vagustonus überwiegt, während die Sympathikusaktivität abnimmt. Durch diese vegetative Umstellung kommt es zu einem Blutdruckabfall bzw. zu einer Senkung der Herz-, Atemfrequenz und Schweißsekretion, wobei in REM-Phasen, bei spontanen Erwachen (Arousals) oder bei Weckreizen sich sofort wieder ein sympathischer Tonus bemerkbar macht. In der nächtlichen Ruhephase nehmen auch Phasen- und Frequenzkoordination der Atem- und Herzrhythmen zu, was auf Ökonomie und Restitution des vegetativen Systems schließen lässt.

### 2.2.2.3 Methode der Erfassung physiologischer Kennwerte

Mit den am IND entwickelten Methoden wurde bei allen 69 Versuchspersonen die Messung von Herzfrequenz, Herzfrequenzvariabilität (HRV) und weiterer vegetativer Parameter, vorgenommen.

- **Messgrößen – Analysebereiche (Abhängige Variablen)**
  - kontinuierliche Verläufe für physiologische Variable
  - Orientierungs-/ Defensivreaktion HR
  - Bereichsmittelwerte (HR, HRV) - Streckenabschnitte
  - Ruhephase vorher/nachher (HR, HRV, Befinden)

#### 2.2.2.3.1 Durchführung und Ablauf

Die HeartMan-Messung dauerte in der Regel 110 Minuten (Range: 97 – 143 Minuten). Der HeartMan wurde immer zu unterschiedlichen Tageszeiten [(9 Uhr bis 21:45 Uhr); Hauptzeiten: 9-12; 14-15:30 und 17:45-22 Uhr] für die Gesamtdauer der Versuchsdurchführung angelegt. Gekoppelt an die Messungen waren ein Versuchsleiterprotokoll (siehe Anhang B) und psychologische Fragebögen (werden im nachfolgenden Kapitel 2.2.3 beschrieben) auszufüllen. Das Versuchsleiterprotokoll spiegelt auch gut den Versuchsablauf wieder.

#### 2.2.2.3.2 Herzfrequenzvariabilitäts (HRV) - Analyse

Die statistische und grafische Aufbereitung der erhaltenen Datensätze erfolgte mit institutseigenen Auswerteroutinen in MatLab® bzw. im Statistikprogramm SPSS®. Als ein Ergebnis der EKG-Messung erhält man eine Vielzahl von physiologischen Kennwerten auf dessen Entstehung und Informationsgehalt noch einmal kurz eingegangen werden soll.

Die Berechnung der einzelnen Parameter erfolgt anhand von Zeitindizes der detektierten R-R-Intervalle. Daraus wird die Herzfrequenz ermittelt. Die detektierten R-R-Intervalle sowie die Herzfrequenz dienen als Basis für weiterführende Berechnungen der Herzfrequenzvariabilität (HRV).

Für die Berechnung einer Frequenzanalyse wird die Herzschlagfolge in äquidistante Abschnitte unterteilt und durch eine Fouriertransformation vom Zeitbereich in den Frequenzbereich gebracht. Diese Transformation zerlegt das Gesamtsignal in einzelne Sinusschwingungen und gibt die Größenordnung der einzelnen Frequenzanteile wieder. Der Frequenzbereich von 0-0,5 Hz wird entsprechend der Größenordnung der Frequenzanteile für spezifische Zeitbereiche berechnet (siehe Tabelle 2)

**Tabelle 2: Der Frequenzbereich wird in die folgenden Bänder unterteilt:**

0.04 Hz	bis	0.15 Hz ...	Low Frequency (LF) [Entsprechung: Vagus- und Sympathikusaktivität]
0.15 Hz	bis	0.40 Hz ..	High Frequency (HF) [Entsprechung: Vagusaktivität]
0	bis	0.50 Hz ..	Total (TOT)

Anschließend wird die Leistung innerhalb der entsprechenden Bänder ermittelt und unter Verwendung des natürlichen Logarithmus umgerechnet.

Der Parameter VQ (vegetativer Quotient) stellt das Verhältnis der errechneten Leistungen der Bänder je Zeitabschnitt dar und gibt somit das Verhältnis von Sympathikusaktivität zu Vagusaktivität wieder.

Unter der respiratorische Sinusarrhythmie (RSA) versteht man die atmungsbedingte Änderung der Herzrate. Die RSA errechnet sich zu  $RSA = \text{Median}(|HR_i - HR_{i-1}|)$  wobei der Median den Zentralwert der sortierten Zahlenfolge innerhalb eines Zeitabschnittes darstellt. Die RSA wird mittels dekadischem Logarithmus zur logRSA umgerechnet.

Der Parameter SDNNindex stellt den Mittelwert der Standardabweichungen (Standard Deviation) der RR-Intervalle innerhalb eines fünf minütigen Zeitabschnittes dar. Die Standardabweichung errechnet sich allgemein:

$$SD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N [x(n) - \bar{x}]^2}$$

Die Berechnung der Herzrate erfolgt, wie eingangs erwähnt, aus den detektierten R-R-Intervallen.

Der Puls-Atem-Quotient (QPA) stellt das Verhältnis von Herzfrequenz zu Atemfrequenz dar. Ein ganzzahliges Verhältnis von 4:1 (Herzfrequenz: Atemfrequenz) kann hierbei als optimaler Zustand angesehen werden.

#### *2.2.2.3.3 Auswertungssoftware*

Mit Hilfe von erprobten, wissenschaftlich evaluierten HRV-Auswerteroutinen mittels des Programmpaketes MATLAB 6.1 ist eine exakte Berechnung, Analyse und grafischen Datenaufbereitung der psychophysiologischen Parameter möglich, wobei die statistische Weiterverarbeitung in der Regel mit dem Statistikprogrammpaket SPSS 12.0 erfolgte.

Die Berechnung der HRV-Kennwerte erfolgte in der Regel in fünf Minuten-Abschnitten, wobei die Übergänge zwischen einzelnen Versuchphasen (Streckenabschnitten) normalerweise nicht mit in die Berechnungen gingen.

Artefaktbehaftete Bereiche (weniger als 95% gültige Messwerte für den beobachteten Abschnitt) gingen in die entsprechenden Analysen nicht mit ein.

## 2.2.3 Psychologische Fragebögen

### 2.2.3.1 Basler Befindlichkeits-Skala

Die Basler Befindlichkeits-Skala stellt eine Self-Rating Methode zur Verlaufsmessung der Befindlichkeit dar. Bei diesem Test werden bipolare Items verwendet. Das Messziel kann als Versuch interpretiert werden, die lineare Dimension von einem hohen Aktivierungsniveau der Stimmung bzw. des Antriebsgefühls von einem tiefen Aktivierungsniveau der Stimmung bzw. des Antriebsgefühls zu differenzieren (siehe Abbildung 14). Mit den 16 bipolaren Items kann ein Summen-Score („Gesamtbefindlichkeit“) erstellt werden, es besteht ferner die Möglichkeit, auf der Basis von je 4 Items Skalenwerte zu bestimmen. Die vier Subdimensionen erfassen: Vitalität (gestärkt-geschwächt), Intrapyschischer Gleichgewichtszustand (sicher - unsicher), soziale Extravertiertheit (gesellig - zurückgezogen) und Vigilität (zielstrebig - ablenkbar), mit je 4 Items

Ort Tag/Monat/Jahr Diagnose Alter Test Verlauf Prb.-Nr. frei

54 - 56 57 - 64 65 - 68 69 70 71 72 73 74 75 - 79 80

Ich fühle mich jetzt

Abloch Code

1. Vitalität
2. Intrapyschischer Gleichgewichtszustand
3. Soziale Extravertiertheit
4. Vigilität

Abbildung 14: Basler Befindlichkeitsfragebogen und Dimensionen (farbige Darstellung - Zuordnung zu einzelnen Dimensionen).

Dieser Test wurde deshalb für diese Studie ausgewählt, da er in Bezug auf die sprachliche Verständlichkeit als äußerst leicht und schnell begreiflich angesehen werden kann und eine rasche Durchführung ermöglicht.

### 2.2.3.2 NEO-Fünf-Faktoren-Inventar (NEO-FFI)

Der NEO-FFI stellt ein standardisiertes multidimensionales Persönlichkeitsinventar dar, welches die fünf großen Persönlichkeitsdimensionen („Big Five“) erfasst. Durch umfangreiche empirische Analysen wurde gezeigt, dass der Einschätzung von

Personen in Fragebögen fünf robuste Dimensionen zugrunde liegen. Dieser Fragebogen besteht aus insgesamt 60 Items, wobei jeweils 12 sich auf genau definierte Merkmalsbereiche beziehen. Im Weiteren sollen die einzelnen Faktoren kurz beschrieben werden.

1. **Neurotizismus:** Diese Persönlichkeitsdimension erfasst die emotionale Stabilität und die emotionale Labilität (=Neurotizismus). Der Kern der Dimension liegt in der Art und Weise, wie Emotionen, vor allem negative Emotionen, erlebt werden. Personen mit einer hohen Ausprägung in Neurotizismus geben häufiger an, sie seien leicht aus dem seelischen Gleichgewicht zu bringen. Im Vergleich zu emotional stabilen Menschen berichten sie häufiger negative Gefühlszustände zu erleben, berichten über viele Sorgen und geben häufig an unsicher, verlegen, nervös, betroffen und traurig zu reagieren. Emotional stabile Menschen (=mit geringer Ausprägung in Neurotizismus) beschreiben sich selbst als ruhig, ausgeglichen, sorgenfrei, und geraten in Stresssituationen nicht so schnell aus der Fassung.
2. **Extraversion:** Personen mit hohen Werten in Extraversion beschreiben sich als gesellig, aktiv, gesprächig, herzlich, optimistisch und heiter. Sie fühlen sich in Gruppen und auf gesellschaftlichen Versammlungen wohl und mögen Aufregungen. Personen mit niedrigen Werten werden als introvertiert beschrieben, sie sind eher zurückhaltend, unabhängig und eher ausgeglichen. Das Hauptcharakteristik ist der Wunsch allein zu sein.
3. **Offenheit für Erfahrung:** Es wird das Interesse an, und das Ausmaß der Beschäftigung mit neuen Erfahrungen, Erlebnissen und Eindrücken erfasst. Personen mit hohen Werten zeichnen sich durch eine hohe Wertschätzung für neue Erfahrungen aus, bevorzugen Abwechslung, sind wissbegierig, kreativ, phantasievoll und unabhängig in ihrem Urteil. Sie haben vielfältige kulturelle Interessen und interessieren sich für öffentliche Ereignisse. Personen mit niedrigen Werten neigen zu konventionellem Verhalten und ziehen Bekanntes und Bewährtes dem Neuen vor.
4. **Verträglichkeit:** Das zentrale Merkmal von Personen mit hohen Werten ist ihre Rücksichtnahme auf andere. Sie sind mitfühlend, verständnisvoll und wohlwollend. Sie neigen zu zwischenmenschlichem Vertrauen, zur Kooperativität und haben ein starkes Harmoniebedürfnis. Personen mit niedrigen Werten beschreiben sich als eher egozentrisch und misstrauisch. Sie verhalten sich eher kompetitiv, d.h. sie agieren eher gegeneinander als kooperativ.
5. **Gewissenhaftigkeit:** Personen mit hohen Werten auf dieser Skala beschreiben sich als zielstrebig, ehrgeizig, fleißig, ausdauernd, systematisch, willensstark, diszipliniert, zuverlässig, pünktlich, ordentlich, genau und penibel. Personen mit niedrigen Punktwerten beschreiben sich eher als nachlässig, gleichgültig und unbeständig, sie verfolgen ihre Ziele also mit geringerem Engagement.

### **2.2.3.3 State-Trait Angstinventar**

Mit Hilfe dieses Fragebogens werden Angst und Ängstlichkeit einer Person erhoben. Unter Zustandsangst (=Angst, state) versteht man einen emotionalen Zustand, der gekennzeichnet ist von Anspannung, Besorgtheit, Nervosität, innerer Unruhe und Furcht vor zukünftigen Ereignissen sowie durch eine erhöhte Aktivität des autonomen Nervensystems. Diese Angst kann als vorübergehender Zustand angesehen werden, der in der Intensität über Zeit und Situationen variiert.

Angst als Eigenschaft (=Ängstlichkeit; trait) bezeichnet einen relativ stabilen Zustand, in denen sich Personen unterscheiden, es ist eine Neigung Situationen als bedrohlich zu bewerten. Hochängstliche tendieren dazu, mehr Situationen als bedrohlich einzustufen und mit höherem Anstieg der Zustandsangst zu reagieren im Vergleich zu Niederängstlichen.

In dieser Studie wurde Angst als Eigenschaft mit der entsprechenden Skala erhoben. Die Teilnehmer müssen 20 Feststellungen anhand einer vierstufigen Ratingskala im Hinblick darauf beurteilen, wie diese Feststellungen im Allgemeinen auf sie zutreffen. In Rahmen dieser Studie wurde nur die Ängstlichkeit erhoben.

### **2.3 Überblick: Verwendete Messgrößen, statistische Kennwerte, Operationalisierung**

Ein Überblick ist in Tabelle auf der folgenden Seite dargestellt.

Bei der Auswahl der Streckenabschnitte wurden mit SAF Fehler sowohl für Hin- und Rückfahrt getrennt als auch summiert ausgewertet. Bei der Interpretation muss allerdings bedacht werden, dass in den ersten Minuten der Fahrt (Reker, Buss & Zwieli, 1993) auf Grund der Beobachterwirkung nicht vom „normalen“ Fahren der Versuchsperson ausgegangen werden kann. Daher sind die Daten der Rückfahrt in den meisten Fällen aussagekräftiger.

In den HeartMan Daten wurde ausschließlich die Rückfahrt betrachtet. Diese Überlegung wird auch durch die physiologischen Beobachtungen in dieser Studie (z.B. häufige signifikante statistische Wechselwirkungen mit dem zweistufigen Faktor Hin- vs. Rückfahrt; höhere Herzraten bei der Ruhephase 1 bzw. Hinfahrt, etc.) bzw. auf Grund von Erfahrungen vergleichbarer Studien des Kuratoriums für Verkehrssicherheit unterstützt. Mit diesem Vorgehen wird vor allem eine größere externe Validität der Studienergebnisse angestrebt.



**Tabelle 3** Verwendete Messgrößen, statistische Kennwerte, Operationalisierung

	<i>Befragung</i>	<i>Psychologische Fragebögen</i>	<i>Beobachtung (Fahrfehler)</i>	<i>Beobachtung (Geschwindigkeit)</i>	<i>Belastungsmessung (HeartMan)</i>
<i>Inhalt</i>	<p>Erhoben wurden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• persönliche Eindrücke,</li> <li>• Beurteilung von Gestaltungsmerkmalen (Beleuchtung, Bodenmarkierungen, Tunneleinfahrten, Tunnelwände)</li> <li>• Beurteilungen von sicherheitsrelevanten Einrichtungen</li> <li>• Verbesserungsvorschläge</li> </ul>	<p>Gemessenen wurden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• psychologische Dimensionen z.B. Ängstlichkeit, emotionale Stabilität, Befindlichkeit, etc.</li> </ul>	<p>Gezählt wurden folgende Fehlertypen<sup>3</sup>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Spurhaltung</li> <li>• Blinken</li> <li>• Abstand</li> <li>• Geschwindigkeit unangepasst schnell</li> <li>• Geschwindigkeit unangepasst langsam</li> </ul>	<p>Instrumentiert erfasst und dargestellt werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geschwindigkeitsüberschreitungen über dem gesetzlichen Limit</li> <li>• Geschwindigkeitsüberschreitungen um mehr als 10% über dem gesetzlichen Limit</li> </ul>	<p>Als Zielgrößen - abhängige Variablen (AV) - gingen physiologische und psychologische Werte in die Auswertung mit ein.</p>
<i>Darstellung/ Analyse</i>	<p>Die Befragungsergebnisse werden üblicherweise in Form von Prozentanteilen dargestellt, auffällige Einzelnennungen werden fallweise zitiert.</p>	<p>Dargestellt werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• signifikante Veränderungen vor und nach der Tunnelfahrt</li> <li>• Die Daten wurden ebenfalls zur Differenzierung von mehr oder weniger ängstlichen Personen ausgewertet.</li> </ul>	<p>Wenn nicht anders angegeben wurde für die Auswertung der Fehler der Wilcoxon-Test (parameterfreier Test, der überprüft ob zwei abhängige Variablen die gleiche Verteilung haben) durchgeführt.</p> <p>Interpretation der p-Werte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>p &lt; 0,1 \geq 0,05</math> Trend</li> <li>• <math>p &lt; 0,05 \geq 0,01</math> signifikanter Unterschied (in den Tabellen gekennzeichnet durch*)</li> <li>• <math>p &lt; 0,01</math> hoch signifikanter Unterschied (gekennzeichnet durch**)</li> </ul>	<p>Für die statistische Überprüfung der erhaltenen Ergebnisse kamen in der Regel parametrische, inferenzstatistische Verfahren zum Einsatz (ohne Alpha-Adjustierung). Auf Grund des explorativen Charakters wurde zweiseitig getestet. Die exakten p-Werte sind in den Abbildungen ersichtlich.</p> <p>statistisch signifikant bei <math>p &lt; 0,05</math></p>	
<i>Referenzkapitel</i>	Abschnitt 2.2.1	Abschnitt 2.2.3	Abschnitt 2.2.1.2.1	<p>Abschnitt 2.2.1.2.2</p> <p>Geschwindigkeitsverläufe bei Portalen und definierten Streckenabschnitten finden sich in Anhang H</p>	<p>Abschnitt 2.2.2</p> <p>Weiterführende Ergebnisse, welche die Gesamtstrecke (Hin- und Rückfahrt) betreffen, finden sich in Anhang J.</p>

<sup>3</sup> Bestimmte Fehlertypen (Ampelfehler, Weiterfahrt, Licht, Seitenabstand, Spurwechsel, Emotion, Konflikt, Abruptes Bremsen) traten sehr selten auf, so dass ihre Analyse nicht sinnvoll erschien

## **3 Ergebnisse**

In diesem Kapitel werden, jeweils bezogen auf bestimmte Fragestellungen, soweit verfügbar bzw. sinnvoll, die Messdaten aus Beobachtung (SAF), physiologischer Messung (HeartMan) und Befragung gleichermaßen dargestellt.

### **3.1 *Befindlichkeit der Versuchspersonen bei den Fahrten***

#### **3.1.1 Befragungsergebnisse**

Aus der Befragung der Versuchspersonen im Anschluss an die Fahrt lassen sich wichtige Aspekte der Fahrt beschreiben.

Über 80% der Versuchspersonen beurteilten die Versuchsfahrt als angenehm bzw. eher angenehm. Lediglich ca. 7% erlebten die Fahrt unangenehm oder eher unangenehm. Diese Einschätzung ist größtenteils auf negative Witterungsbedingungen (Nebel, schlechte Sicht) zurückzuführen.

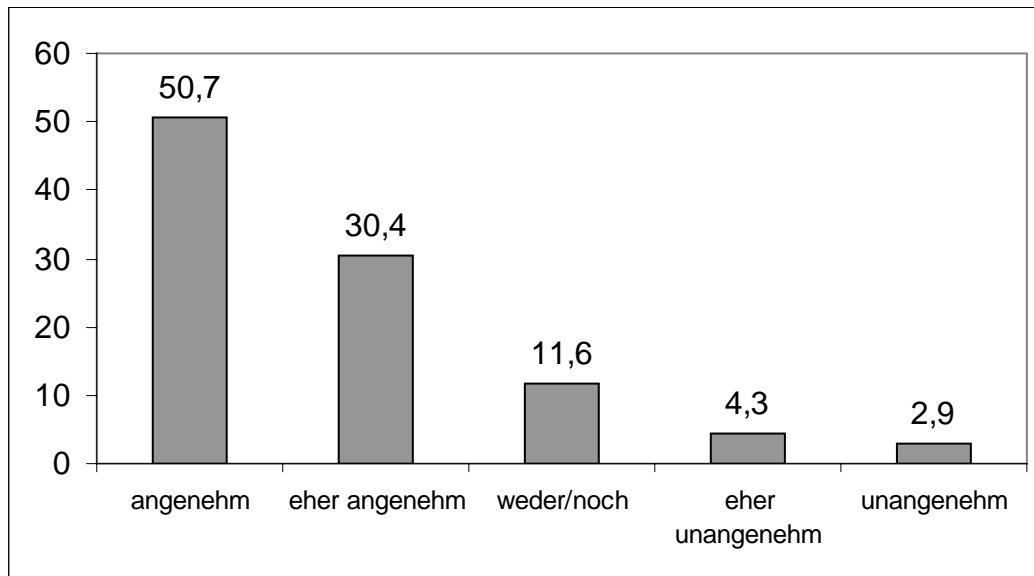


Abbildung 15: Die Versuchsfahrt aus Sicht der Versuchspersonen

Etwa ein Viertel aller Vpn erlebten eine Situation während der Versuchsfahrt als gefährlich. Sie wurden gebeten, den Vorfall näher zu beschreiben:

- Das Autobahnende bzw. die Autobahnauffahrt bei der Ortschaft Schön wurde als unübersichtlich und infolgedessen irritierend erlebt.
- Mehrere Fahrer fühlten sich im Tunnel durch dicht auffahrende LKW bedrängt.
- Einige Male kam es kurz vor Geschwindigkeitsbegrenzungen oder Spurverengungen zu riskanten Überholmanövern durch andere PKW.

### 3.1.2 Psychologische Fragebogenergebnisse

Bei den in diesem Abschnitt vorgestellten Ergebnissen sei vorangestellt, daß bei diesem Vorher-Nachher Design keine direkten Rückschlüsse auf die Wirkung einzelner Tunnel und ihrer Gestaltungsmerkmale möglich sind, weil weitere Störeffekte (z.B.: Wissen der Teilnehmer um das Beobachtetwerden, Fähigkeit der Teilnehmer sich an das Versuchsfahrzeug anzupassen, etc.) nicht ausgeschlossen werden können.

#### 3.1.2.1 Ängstlichkeit

Bei Personen die aufgrund der STAI-Fragebogenergebnisse als hochängstlich eingestuft wurden, verringert sich die Vitalität nach der Tunnelfahrt stärker als bei jenen Personen, die sich als weniger ängstlich beschrieben haben (siehe Abbildung 16). Dieser Unterschied ist jedoch nicht signifikant.

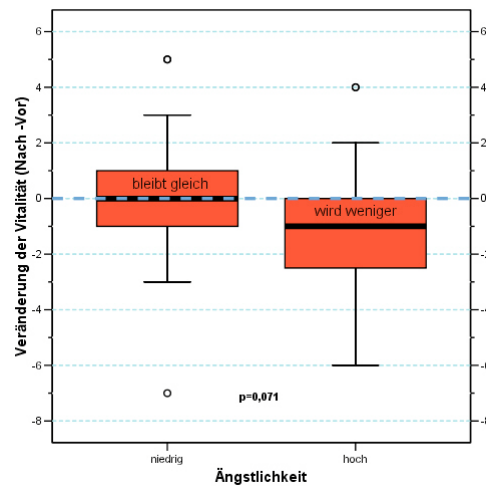


Abbildung 16: Veränderung der Vitalität (BBS) in Abhängigkeit von der Variable Ängstlichkeit (STAI).

### 3.1.2.2 Neurotizismus

Bei Personen mit einer hohen Ausprägung in der Variable Neurotizismus, nimmt die Vitalität nach der Tunnelfahrt im Vergleich zur Vitalität vor der Tunnelfahrt ab, während die Vitalität bei den übrigen Personen unverändert bleibt (Abbildung 17).

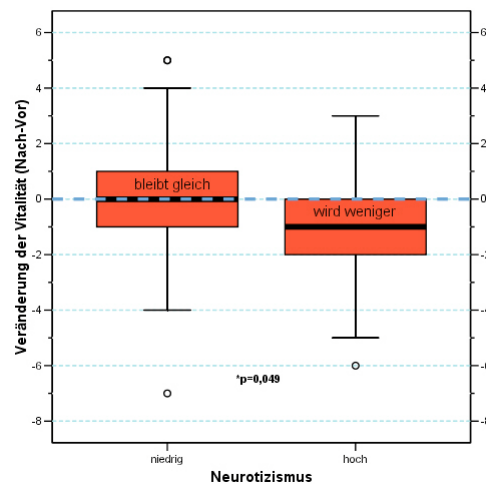


Abbildung 17: Veränderung der Vitalität (BBS) in Abhängigkeit der Variable Neurotizismus (NEO-FFI).

### 3.1.2.3 Offenheit für Erfahrungen

Bei Teilnehmern die wenig offen für Erfahrungen sind hat die Tunnelfahrt einen Einfluß auf ihr intrapsychisches Gleichgewicht. Vor der Tunnelfahrt beschreiben sich die Teilnehmer ausgeglichener, weniger nervös, sicherer als nach der Tunnelfahrt (Abbildung 18).

Ebenfalls wird in Abhängigkeit der Persönlichkeitseigenschaft Offenheit für Erfahrungen das Ausmaß der sozialen Extravertiertheit beeinflusst. Bei Personen die wenig offen für neue Erfahrungen sind nimmt das Ausmaß an der sozialen Extravertiertheit nach der Tunnelfahrt leicht zu während bei jenen Personen die sehr aufgeschlossen gegenüber neuen Erfahrungen sind die soziale Extravertiertheit abnimmt (Abbildung 19).

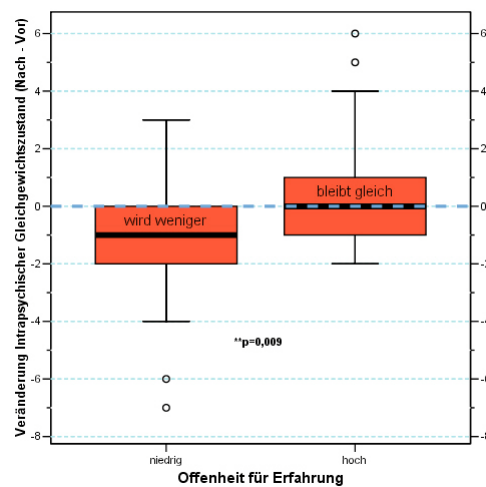


Abbildung 18: Veränderung intrapsychischer Gleichgewichtszustand (BBS) und Offenheit für Erfahrungen (NEO-FFI).

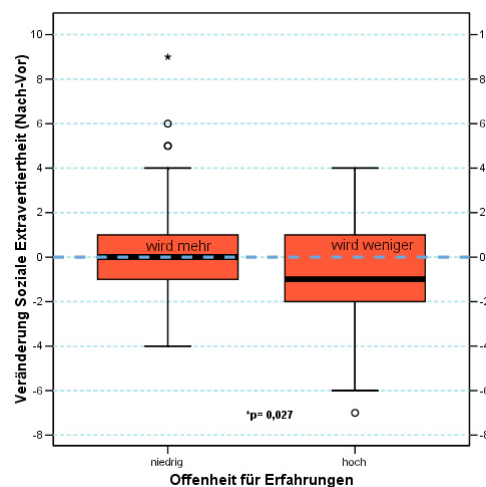


Abbildung 19: Veränderung der Sozialen Extravertiertheit (BBS) in Abhängigkeit von d. Offenheit für Erfahrungen (NEO-FFI).

#### **3.1.2.4 Verträglichkeit**

Bei Teilnehmer mit einer niedrigen Ausprägung in der Persönlichkeitseigenschaft Verträglichkeit nimmt die Vitalität nach der Tunnelfahrt ab, während bei den anderen Teilnehmern die Vitalität unverändert bleibt (Abbildung 20).

Das gleiche Bild ergibt sich auch für das Befindlichkeitsmaß der Vigilanz: Bei Personen mit einem niedrigen Ausmaß an Verträglichkeit nimmt die Vigilanz nach der Tunnelfahrt ab, bei den übrigen Personen hingegen verändert die Tunnelfahrt nicht die Vigilanz (Abbildung 21). Ebenfalls scheint das Gesamtbefinden in Abhängigkeit der Verträglichkeit durch die Tunnelfahrt beeinflusst zu werden. Bei allen Personen nimmt das Gesamtbefinden nach der Tunnelfahrt ab, jedoch bei jenen Personen die ein niedriges Maß an Verträglichkeit aufweisen nimmt das Gesamtbefinden stärker ab (Abbildung 22).

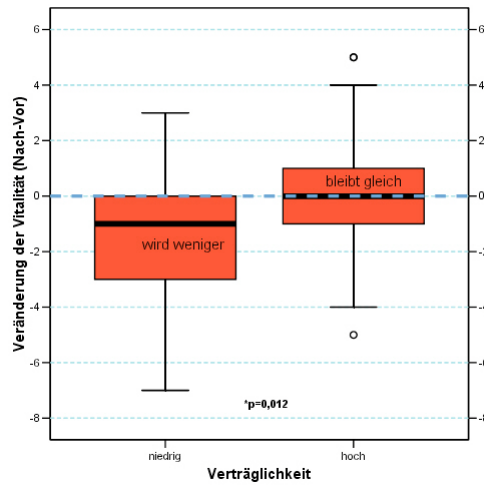


Abbildung 20: Veränderung der Vitalität (BBS) in Abhängigkeit der Variable Verträglichkeit (NEO-FFI).

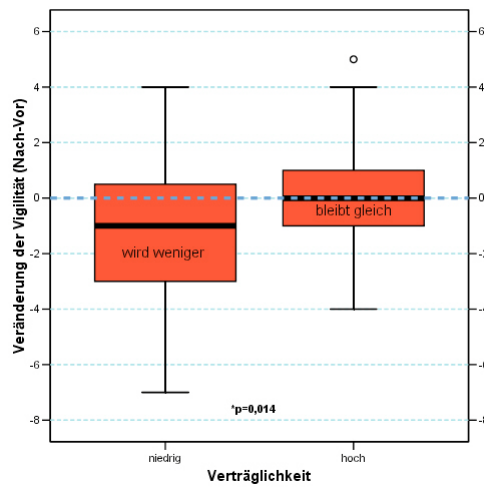


Abbildung 21: Veränderung der Vigilanz (BBS) in Abhängigkeit der Variable Verträglichkeit (NEO-FFI).

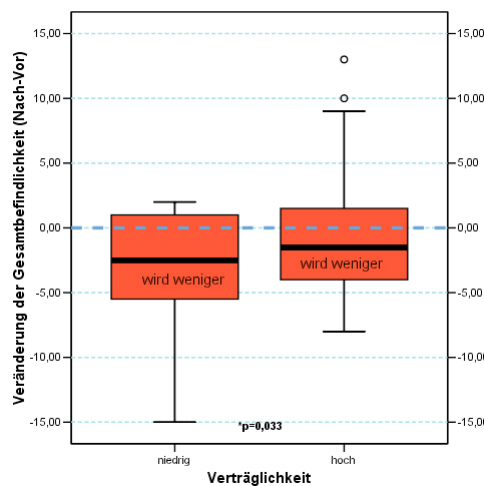


Abbildung 22: Veränderung der Gesamtbefindlichkeit (BBS) in Abhängigkeit der Variable Verträglichkeit (NEO-FFI).

### 3.1.2.5 Gewissenhaftigkeit

Bei jenen Teilnehmern mit einem niedrigen Maß an Gewissenhaftigkeit verändert die Tunnelfahrt ihren intrapsychischen Gleichgewichtszustand, bei den übrigen Personen verändert die Tunnelfahrt nicht den intrapsychischen Gleichgewichtszustand (Abbildung 23).

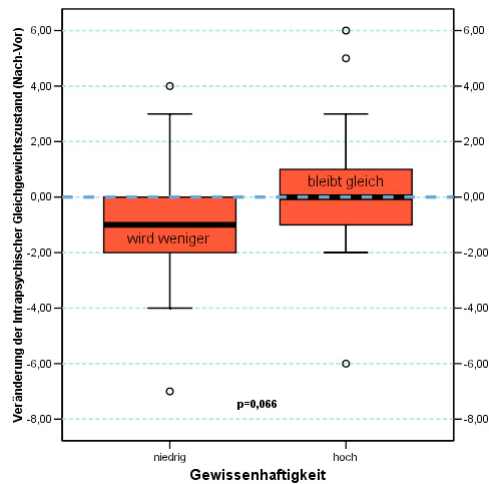
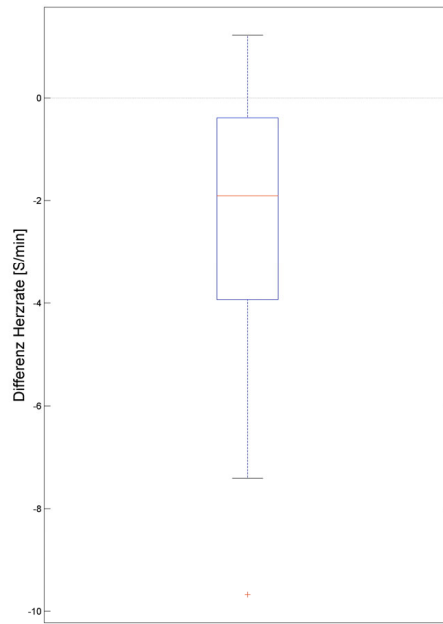


Abbildung 23: Veränderung des Intrapsychischen Gleichgewichtszustandes (BBS) und Gewissenhaftigkeit (NEO-FFI).

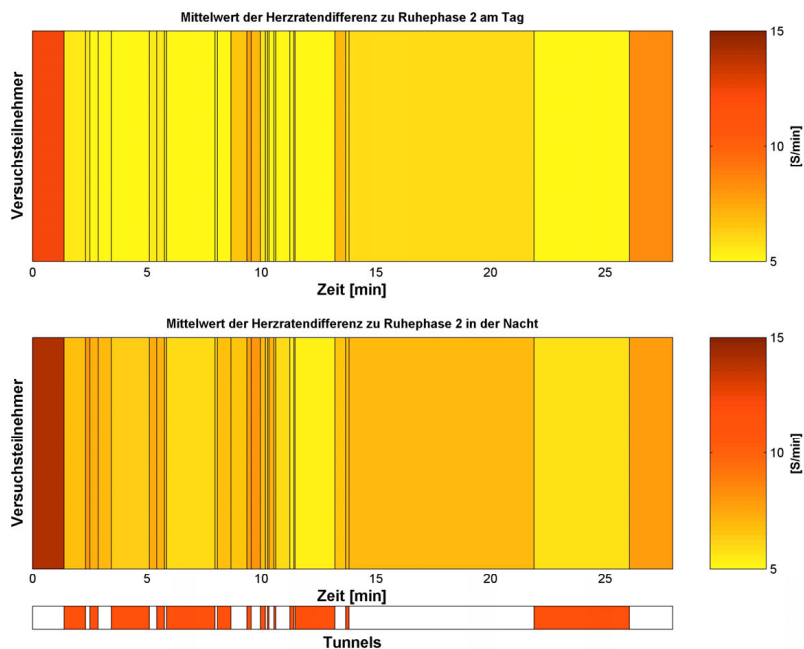
### 3.1.3 Überblick der Belastung der VPN - Gesamtstrecke

Es zeigt sich bei nahezu allen Teilnehmern eine reduzierte mittlere Herzrate bei der Rückfahrt (Abbildung 24).





**Abbildung 24: Differenz Herzrate (Rückfahrt minus Hinfahrt).**

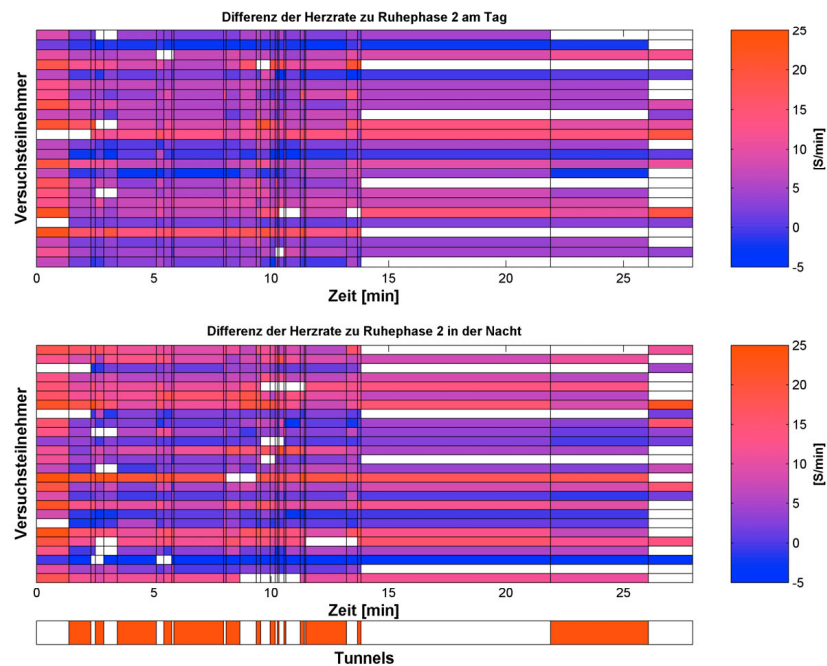


**Abbildung 25: Farblich codierter Herzratenverlauf – gesamte Stichprobe (nur Rückfahrt).**

Bei einem Vergleich zwischen Tag- und Nachtfahrten zeigt sich ein nahezu identischer Herzratenverlauf, der in typischer Weise (hohe Reliabilität) die Streckenbedingungen bzw. deren Auswirkungen auf den Autolenker aufzeigt. Das ist insofern bemerkenswert, weil man erwarten könnte, daß zwischen Tag- und

Nachtfahrt ein Wahrnehmungsunterschied aufgrund unterschiedlicher Sichtverhältnisse besteht.

Erkennbar ist eine etwas höhere Anspannung (Herzrattendifferenz zu abschließender Ruhephase im entspannten Sitzen mit geschlossenen Augen) während der Nachtfahrt. Wie man bereits in Abbildung 25 erkennen kann, ist die mittlere Herzrattendifferenz auf Freistrecken meistens höher als in Tunnelabschnitten – das deutet auf eine generell stärkere Tendenz zu Entspannung, Orientierung bzw. Aufmerksamkeit in der Tunnelstrecke hin.



**Abbildung 26: Farblich codierter Herzratenverlauf – Einzelverläufe.**

In Abbildung 26 ist jede Versuchsperson durch eine Zeile repräsentiert. Als farblich codierte Messgröße ist wiederum die Differenz der Herzrate während der Autofahrt (entsprechenden Streckenabschnitt) zu der abschließenden Ruhephase.

### 3.1.4 Zusammenfassung

Obwohl die überwiegende Mehrheit der Autofahrer die Tunnelfahrt als eher angenehm beschreibt, zeigen sich doch einige negative Auswirkungen auf die Befindlichkeit mancher Fahrer: So sinkt bei ängstlichen (bzw. neurotischen) Autofahrern, sowie bei Fahrern mit geringer Verträglichkeit, die Vitalität (bei letzteren auch die Gesamtbefindlichkeit) im Vergleich vor und nach der Tunnelfahrt. Bei Versuchspersonen mit geringer Offenheit für Erfahrung und geringer Gewissenhaftigkeit zeigt sich eine Senkung des intrapsychischen Gleichgewichtes. Die Tunnelfahrt scheint tatsächlich eine psychische Belastung zu sein, aber vorwiegend bei einer bestimmten Personengruppe. Erwähnt werden muss, dass bei Personen mit niedriger Verträglichkeit auch die Vigilanz im Laufe der Versuchsfahrt abnimmt, es ist allerdings möglich, dass diese Einwirkungen auf die Befindlichkeit bei diesen Fahrern durch das Setting des Experiments (Versuchsleiter ist anwesend, Kameras nehmen die Fahrt auf, EKG wird gemessen, etc.) beeinflusst werden. Dass

Personen mit hoher bzw. niedriger Offenheit für neue Erfahrungen nach der Fahrt einen geringeren bzw. höheren Wert in Extraversion aufweisen, könnte auf die unterschiedliche Verarbeitungsweise des Experiments Tunnelfahrt zurückzuführen sein.

Insgesamt zeigen sich keine besonders starken Beeinträchtigungen der Befindlichkeit, die eindeutig auf tunnelspezifische Phänomene zurückgeführt werden können. Die Auswirkungen auf die subjektive Befindlichkeit sind daher als eher gering zu erachten.

Wenn man die Daten der EKG-Messung hinsichtlich Tag- und Nachtfahrten vergleicht, zeigt sich ein nahezu identischer Herzratenverlauf, aber es besteht ein Unterschied beim mittleren Anspannungsniveau dahingehend, dass bei Nachtfahrten eine höhere Anspannung zu beobachten ist. Generell ist eine stärkere Tendenz zu Entspannung, Orientierung bzw. Aufmerksamkeit in der Tunnelstrecke im Vergleich zur freien Strecke feststellbar. In Tunnels ist eine Senkung der Herzrate um bis zu 5 Schläge gegenüber der Ruhephase erkennbar. Diese Aktivierungsreduktion ist allerdings zu gering, um daraus eine Leistungsbeeinträchtigung (im Sinne des Yerkes-Dodson-Gesetzes) ableiten zu können. Folglich lassen sich keine Monotonieeffekte feststellen.

## **3.2 Alte vs. neue Tunnel, Tunnelwände**

Auf der Versuchsstrecke existieren Tunnel alter und neuer Bauweise. Allerdings gilt es hier einen Vergleich herzustellen, der möglichst alle anderen Merkmale konstant hält und sich nur im Hinblick auf die Konstruktionsmerkmale älterer und neuerer Bauart unterscheidet (Tunnelwände, Tunnelausstattung und Beleuchtung).

Als Vergleichspaar bei der Auswertung der SAF und HeartMan-Daten dienten schließlich der Klausertunnel (neue Bauweise) und Lainbergtunnel (alte Bauweise), da diese im Hinblick auf Röhrigkeit, Länge, Tempolimit etc. sehr ähnlich sind.

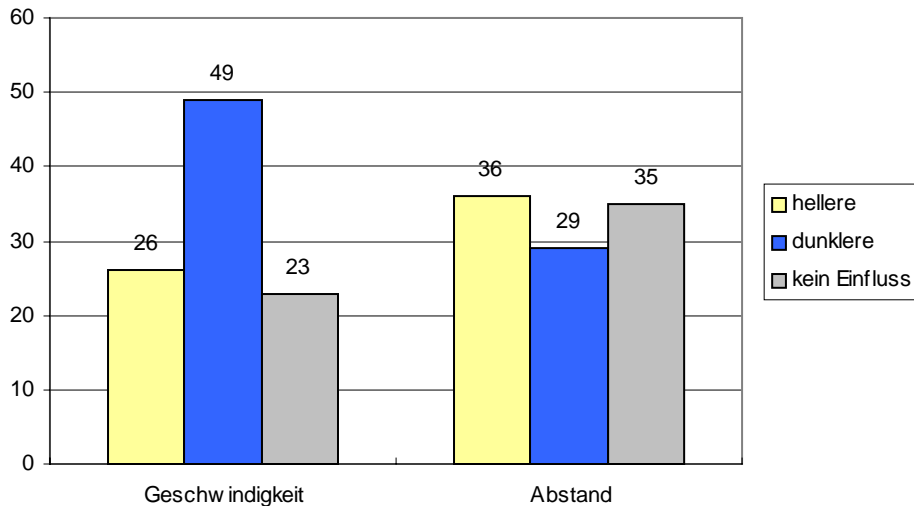
### **3.2.1 Befragungsergebnisse - Tunnelwände und Tunnelausstattung**

Als ein wesentliches Merkmal der Unterscheidung zwischen Tunneln werden von den Versuchspersonen vor allem die Tunnelwände wahrgenommen.

Etwa  $\frac{3}{4}$  der Befragten (73%) haben bei der Betrachtung der Tunnelwände Unterschiede zwischen den einzelnen Tunnels wahrgenommen. Folgende Unterschiede wurden festgestellt:

49% der Versuchspersonen beschrieben die Wände der neuen Tunnels als heller und freundlicher im Vergleich zu den alten. Sie wirkten dadurch weiter und somit weniger beengend. Auch die Nischen wirkten größer. Bei den Kurztunnels fiel auf, dass sie generell dunkler erschienen.

Auf die Frage, ob eine hellere oder dunklere Tunnelwand eine bessere Einhaltung der Geschwindigkeit gewährleiste, waren 49% der Ansicht, dass eine dunklere Wand die Einhaltung einer angemessenen Geschwindigkeit begünstige. Rund  $\frac{1}{4}$  der Befragten meinte, dass die Helligkeit der Wände keinen Einfluss auf die Geschwindigkeit habe. Hinsichtlich des Abstandes zum Vorausfahrenden wurde hingegen von 36% eher eine helle Wandgestaltung als günstig angesehen. Für fast ebenso viele Personen (35%) spielte die Wandfarbe bei der Abstandswahl keine bedeutende Rolle (siehe Abbildung 27).



**Abbildung 27: Positive Einflüsse auf Geschwindigkeitseinhaltung und Abstandhaltung in Abhängigkeit von der Tunnelwand in Prozent**

Die Versuchspersonen wurden auch gefragt, wie man ihrer Meinung nach die Tunnelwandgestaltung optimieren könnte. Dabei erwies sich, dass ca.  $\frac{3}{4}$  der Befragten mit der aktuellen Wandgestaltung zufrieden waren, sofern die Wände so hell wie möglich gehalten werden, d. h. öfter gereinigt werden. Weitere Einzelmeinungen waren: Die Decken sollten bemalt werden, zusätzlich sollten auch mit Katzenaugen versehene Leitplanken durchgehend an den Wänden montiert sein.

Gewünscht wurde auch eine weniger monotone Farbgestaltung, z. B. Farbwechsel pro Kilometer, so dass durch die Farbe auch eine Orientierung möglich sei. Dem Bedürfnis nach besserer Orientierung im Tunnel kam auch der Wunsch nach häufigeren Entfernungsangaben zur Ausfahrt nach.

### 3.2.2 Verhaltensdaten (SAF)

#### 3.2.2.1 Fahrfehlerzählung

Fahrfehler wurden in den beiden ausgewählten Tunnel relativ selten protokolliert. Auf der Ebene einzelner Fehlertypen ergeben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen alter und neuer Tunnelbauweise:

**Tabelle 4: Fehler bei alten und neuen Tunnels**

Fehler	Tunnel alt	Tunnel neu	p
Spurhaltung	14	13	,796
Abstand	17	17	,334
Geschwindigkeit Zu hoch	10*	5*	,222

Geschwindigkeit Zu niedrig	7	4	,405
Blinken	2	0	,157

Lediglich bei einer Zusammenfassung aller Fehler über alle Bedingungen (Tag und Nacht, Hin- und Rückfahrt summiert) ergibt sich eine Tendenz in die Richtung, dass im Tunnel neuer Bauweise weniger Fehler protokolliert wurden (alt: 50 Fehler, neu: 39 Fehler,  $p=0,065$ ).

### 3.2.2.2 Geschwindigkeitsüberschreitungen

Im Hinblick auf Geschwindigkeitsüberschreitungen zeigen sich im Vergleich der beiden Tunnel signifikante Ergebnisse, wobei diese nicht im Zusammenhang mit dem Alter der Tunnel stehen, sondern eher mit Besonderheiten des neuen Tunnels zu tun haben dürften. Während sich im Lainbergtunnel (alte Bauweise) der Anteil der Geschwindigkeitsüberschreitungen unter allen Bedingungen in einer Größenordnung von 38 Prozent bewegt, zeigen sich für den Klausertunnel (neue Bauweise) unterschiedliche Anteile an Überschreitungen je nach Hin- und Rückfahrt. Diese Unterschiede sind wohl am ehesten mit dem Gefälle zu erklären, das dieser Tunnel hat. Bei der Hinfahrt nach Norden fällt die Strecke ab, was den Anteil der Überschreiter auf bis zu 48 Prozent anhebt. Bei der Rückfahrt sinkt dieser Anteil deutlich unter 30 Prozent (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Hohe Geschwindigkeitsüberschreitungen bei Hin- und Rückfahrt in Prozent

Prozent Überschreitungen	Tunnel neu	Tunnel alt	p
Tag & Nacht: Hinfahrt +10%	<b>46</b>	38	0,040*
Tag & Nacht: Rückfahrt +10%	29	<b>38</b>	0,013*
nur Nacht Hinfahrt +10%	<b>48</b>	36	0,024*
nur Nacht Rückfahrt +10%	23	<b>40</b>	0,001**

### 3.2.3 Belastungsmaße HeartMan (Rückfahrt)

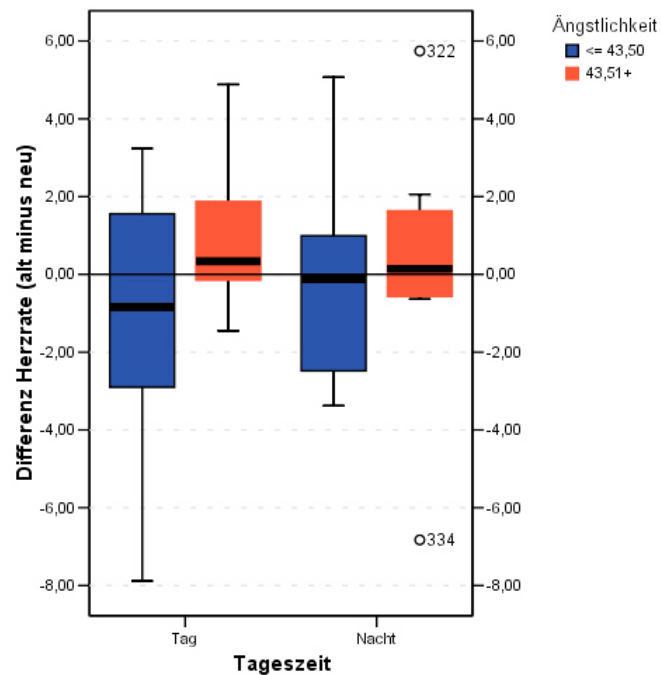
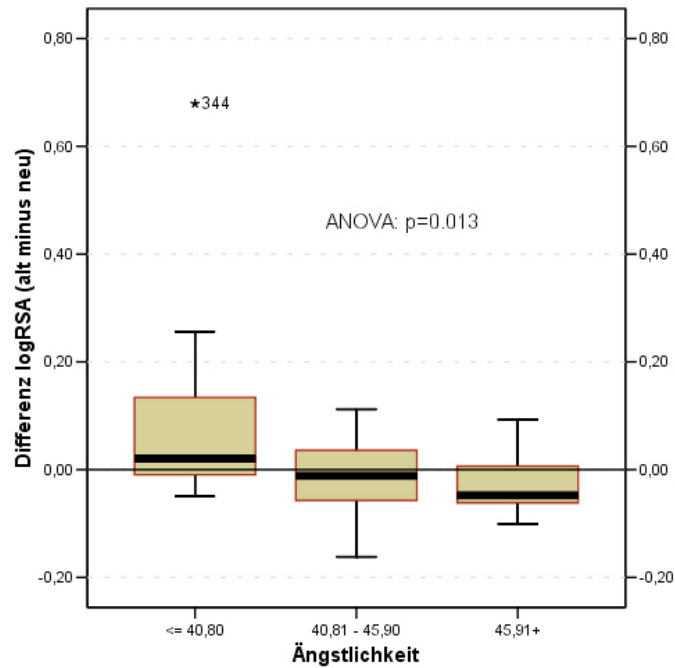


Abbildung 28: Alt vs. Neu - Herzrattendifferenz.

In der Herzrate zeigt sich kein signifikanter Unterschied in der mittleren Herzrattendifferenz (80 Sekunden-Abschnitt). Deskriptiv scheinen die höher Ängstlichen eher von einem neuen Tunnel zu profitieren, da ihre Herzrate im Durchschnitt im neuen Tunnel eine Spur niedriger ist. Bezüglich der Helligkeitsverhältnisse (Tag vs. Nacht) zeigt sich bei den niedrig Ängstlichen eine geringfügig höhere Herzrate bei dem analysierten neuen Klausertunnel (siehe Abbildung 28).



**Abbildung 29: Alt vs. Neu – logRSA-Differenz.**

Die logRSA ist ein Maß für die Entspannung. Es zeigt sich ein signifikanter Einfluß der Ängstlichkeit unter der Bedingung alte vs. neue Tunnel hinsichtlich der Entspannung (siehe Abbildung 29). Niedrig Ängstliche entspannen sich in alten Tunnels mehr. Höher Ängstliche weisen im Gegensatz bei dem neuen Tunnel eine stärkere psychovegetative Entspannung auf. Auch die Tageszeit bzw. das Alter scheinen einen moderierenden Effekt auf die wahrgenommene Tunnelqualität zu spielen (siehe Abbildung 30).

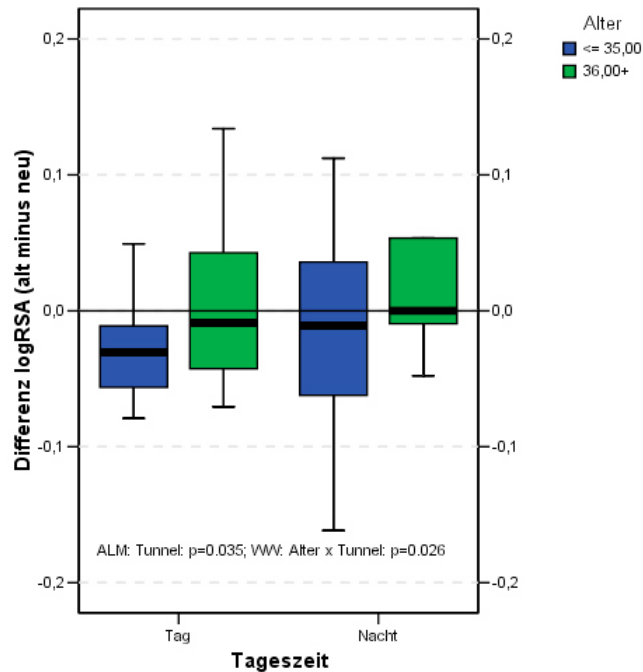


Abbildung 30: Alt vs. Neu und moderierende Einflussgrößen – logRSA-Differenz.

Es zeigt sich, dass in dem neuen Tunnel allgemein ein signifikant höheres Spannungsniveau vorherrscht, wobei jüngere Lenker von diesem Effekt am Tag am stärksten betroffen sind. Es konnten auch höhere Werte in der Gesamtvariabilität (lnTOT) im neuen Tunnel festgestellt werden (Wechselwirkung = WW: Alter x Tunnel  $p=0.044$ ; nicht dargestellt).

### 3.2.4 Zusammenfassende Bewertung

Der hier vorgenommene Vergleich zwischen alter und neuer Tunnelbauweise setzt auf einer Ebene an, wo Gestaltungsunterschiede schon weitgehend angeglichen wurden. Der Lainbergtunnel, der hier als Beispiel für alte Bauweise dient, wurde erst kürzlich renoviert und soweit wie möglich auf neue Standards angehoben.

Zur Ausgestaltung der Tunnel ergibt sich nun auch ein hoher Zufriedenheitsgrad, ca.  $\frac{3}{4}$  aller Befragten geben explizit an, dass sie mit der nun helleren Gestaltung der Tunnel zufrieden sind. Die Unterschiede zwischen alter und neuer Bauweise werden dennoch wahrgenommen, vor allem werden auch die Abstellnischen in neuen Tunnels positiv als weiter und heller bewertet. Die Vorschläge, die zur Verbesserung gemacht werden beziehen sich in erster Linie auf eine Abwechslung in der Farbgestaltung. Von den Befragten wurden einige Mutmaßungen bezüglich Vor- und Nachteilen hellerer Tunnel angestellt, diese finden aber in den empirischen Vergleichen der beiden Tunnel keine stringente Entsprechung.

Fahrfehler traten in beiden Tunnel nur selten auf, für Aussagen zu einzelnen Fehlertypen ist die Anzahl zu gering. Bei einer Zusammenfassung aller Fehler zeigt sich eine Tendenz zu geringerer Fehlerzahl bei Tunnel neuer Bauweise.

Die Vergleiche der gefahrenen Geschwindigkeiten erbringen im Durchschnitt ähnliche Anteile an Geschwindigkeitsüberschreitungen, so dass man keine ernsthaften Vor- oder Nachteile der einen oder anderen Bauweise ableiten kann. Viel stärker als die Merkmale älterer und neuerer Bauweise scheinen hier die Gradienten



zum Tragen zu kommen – Steigungen reduzieren die Geschwindigkeit (erklärbar durch das eher leistungsschwache Versuchsfahrzeug), bei Gefälle steigt die Anzahl der Überschreitungen.

In der Analyse der Herzraten zeigen sich kaum nennenswerte Unterschiede zwischen den Tunneln alter und neuer Bauweise. Beim Entspannungsmaß (Log RSA) zeigen sich doch Auswirkungen der neueren Tunnelbauweise. Die höhere Entspannung ängstlicherer Personen ist als positiv hervorzuheben – dieser Effekt ist als sicherheitsfördernd zu bewerten, die potenzielle Gefahr zu hoher Entspannung scheint gerade bei diesen Personen nicht gegeben. Die höhere Entspannung bei Tagfahrten könnte als Ergebnis optimierter Eingangsbeleuchtungen bei neuen Tunnels aufgefasst werden.

### **3.3 Ein- vs. zweiröhrige Tunnel, lange vs. kurze Tunnel**

In der befahrenen Strecke werden einröhrige und zweiröhrige Tunnels durchquert (siehe Anhang C), wodurch häufige Wechsel zwischen Strecken mit und Strecken ohne Gegenverkehr entstehen. In einröhrigen Tunnels (mit Gegenverkehr) herrscht generell ein Geschwindigkeitslimit von 80 km/h, während in zweiröhrigen Tunnels (ohne Gegenverkehr) das Tempolimit 100 km/h beträgt.

Ferner werden lange Tunnels (meist mehr als 2 km, Bosrucktunnel 5,5 km), aber auch Kurztunnels (meist 100 m bis 500 m) befahren.

Beide Tunnelcharakteristika sind für die Verkehrssicherheit interessant, allerdings lassen sie sich in dieser Tunnelstudie nur schwer unabhängig von einander analysieren, da in der befahrenen Strecke fast alle einröhrigen Tunnels lang und alle zweiröhrigen Tunnels eher kurz sind.

#### **3.3.1 Befragungsergebnisse – Gegenverkehr und Röhrigkeit**

Der Wechsel von Abschnitten mit und ohne Gegenverkehr wurde von 26% als unproblematisch erlebt. 16% der Befragten fanden die Wechsel gut beschildert, während 14,5% die Gestaltung als verwirrend empfanden. 13% gaben an, dass dadurch eine höhere Konzentration bedingt sei und weitere 12% erlebten die Tempolimits als den Fahrhythmus störend. Störend wurde auch empfunden, dass andere oft zu schnell führen und LED- und blinkende Verkehrszeichen bei Dunkelheit blendeten.

Um Lösungen gebeten, machten 50% der Befragten Vorschläge. Davon waren 38% der Meinung, die Strecke sollte durchgehend zweiröhrig ausgebaut werden. 29% regten an, Gegenverkehrsabschnitte früher anzukündigen. Gewünscht wurden auch Maßnahmen, um den Gegenverkehr nicht zu blenden und eine verbesserte bauliche Trennung (je 6%). Um die Störung des Fahrhythmus zu minimieren, sollte eine einheitliche Geschwindigkeit gefahren werden können.

#### **3.3.2 Verhaltensdaten (SAF)**

Es muss vorangestellt werden, dass die befahrenen Tunnel keine eindeutige Informationen für die Beurteilung der Eigenschaften ein- oder zweiröhrig bzw. lang oder kurz liefern können. Der Grund dafür ist, dass die kürzeren, in Betracht kommenden Tunnel generell zweiröhrig und die längeren Tunnel Halbausbauten sind, also einröhrig. Nur neue Tunnel wurden ausgewählt, um einen Effekt auf Grund des Alters des Tunnels zu vermeiden.

### 3.3.2.1 Fahrfehlerzählung ein vs. zweiröhrig

Einröhriger Tunnel: Klausen (nur Rückfahrt)

Zweiröhriger Tunnel: Kienberg (nur Rückfahrt, da Baustelle mit 80 km/h Beschränkung bei Hinfahrt)

Hinsichtlich des Vergleichs zwischen ein und zweiröhriger Tunnelbauweise läßt sich feststellen, daß im zweiröhrigen Kienbergtunnel signifikant mehr Geschwindigkeitsfehler registriert wurden. Bei allen anderen Fehlerarten konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

**Tabelle 6: Fehler ein- vs. zweiröhrigen Tunnels (nur Rückfahrt)**

<b>Fehler</b>	Tunnel einröhrig (Klausen)	Tunnel zweiröhrig (Kienberg)	p
Spurhaltung	10	11	0,660
Abstand	5	3	0,317
Geschwindigkeit Zu hoch	1	11	0,040*
Geschwindigkeit Zu niedrig	3	2	0,655
Blinken	0	0	1,000

#### 3.3.2.1.1 Exkurs: Hungerbichl

An sich war geplant, den Hungerbichtunnel (Versuchsbedingung zweiröhrig) in die Auswertung mit einzubeziehen, es zeigt sich allerdings, dass der Hungerbichtunnel in zweierlei Hinsicht eine Sonderstellung einnimmt: Einerseits wurden bei der Hinfahrt signifikant mehr Blinkfehler begangen, andererseits wurden bei der Rückfahrt signifikant mehr Geschwindigkeitsfehler registriert als im verglichenen einröhrigen Klausertunnel.

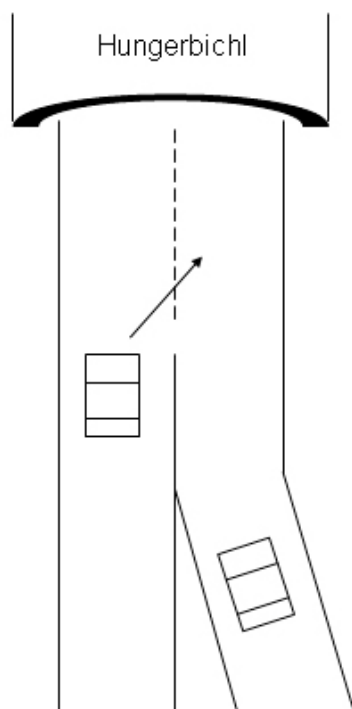
**Tabelle 7: Blinkfehler- vor Hungerbichtunnel**

<b>Blinken</b>	Tunnel einröhrig (Klauser)	Tunnel zweiröhrig (Hungerbicht)	p
Hinfahrt	0	12	0,003**

**Tabelle 8: Geschwindigkeitsfehler im Hungerbicht**

<b>Geschwindigkeitwahl (zu hoch)</b>	Tunnel einröhrig (Klauser)	Tunnel zweiröhrig (Kienberg und Hungerbicht)	p
Rückfahrt	1	19	0,002**

Bei genauerer Analyse wird ersichtlich, dass die beobachteten Fehler nicht auf die Gestaltungsmerkmale des Tunnels zurückzuführen sind: im Falle der Blinkfehler bei der Hinfahrt erscheint der Spurenverlauf (Abbildung 31) vor dem Hungerbicht als fehlerevozierende Situation, bei der der Rückfahrt erscheint die Reduktion der erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h auf 80 km/h im Tunnel als plausible Ursache für die vermehrt registrierten Geschwindigkeitsfehler.



Der Bereich unmittelbar vor dem Portal des Hungerbicht-Tunnel in nördlicher Richtung wurde als Fehlerhäufungspunkt identifiziert. Einige Versuchspersonen wechselten knapp aufgrund der erst kurz vor dem Portal vorhandenen Leitlinie – vorher Sperrlinie vor der Tunneleinfahrt wegen der Rechtsfahrordnung auf die rechte Spur, zeigten dies aber nicht an (registriert als Blinkfehler), was gerade für den nachfolgenden Verkehr, der von der Autobahnauffahrt kommt, problematisch sein könnte. Dieser Fehler sollte unabhängig von den Tunneleigenschaften interpretiert werden.

**Abbildung 31: Spurenverlauf vor dem Hungerbichtunnel**

### 3.3.3 Auswirkungen des Tunnelalters, der Tunnellänge und der Röhrenanzahl auf die Gesamtfehleranzahl

Um die Effekte des Tunnelalters (alte vs. neue Tunnel) und der Röhrenanzahl statistisch abzusichern, wurden hierarchische loglineare Analysen (ohne Hungerbichtunnel) berechnet. Das saturierte Ausgangsmodell mit den Interaktionen *Gesamtfehleranzahl*<sup>4</sup> \* *alt/neu* \* *Tag/Nacht* \* *Röhrenanzahl* (gewichtet mit der Tunnellänge) konnte nur um den Faktor *Tag/Nacht* reduziert werden, d.h. die Interaktionen aller anderen Faktoren sind notwendig, um die Häufigkeit der Gesamtfehler mit einer ausreichenden Anpassung an die Daten zu schätzen (endgültiges Modell: *Gesamtfehleranzahl* \* *alt/neu* \* *Röhrenanzahl*; LH- $\chi^2 = 7,08$ ; df = 8 p = 0,528). Das heißt, daß sowohl das Tunnelalter als auch die Röhrenanzahl nicht nur hinreichend, sondern auch notwendig sind, um die Fahrfehler zu erklären.

In Tabelle 11 sind die Fehlerhäufigkeiten und ihre relativen Verteilungen in Prozent getrennt nach Tunnellänge, Tunnelalter und Röhrenanzahl dargestellt:

Tabelle 11: Gesamtfehlerhäufigkeiten und Prozent (0 ... kein Fehler, mind. 1 ... ein oder mehr Fehler) getrennt nach Tunnellänge, Tunnelalter bzw. Röhrenanzahl. Signifikanzprüfungen wurden mit  $\chi^2$  Tests durchgeführt.

		Fehler / Prozent				
		keine	%	mind. 1	%	p
Tunnel < 1km	einröhrig	247	93,6	17	6,4	0,001
	zweiröhrig	224	84,8	40	15,2	
	Gesamt	471	89,2	57	10,8	
Tunnel > 1km	einröhrig	438	83,0	90	17,0	0,020
	zweiröhrig	47	71,2	19	28,8	
	Gesamt	485	81,6	109	18,4	
Tunnel < 1km	alt	109	82,6	23	17,4	0,005
	neu	362	91,4	34	8,6	
	Gesamt	471	89,2	57	10,8	
Tunnel > 1km	alt	198	75,0	66	25,0	0,000
	neu	287	87,0	43	13,0	
	Gesamt	485	81,6	109	18,4	

		Fehler / Prozent				
		keine	%	mind. 1	%	p
alt	<1km	109	82,6	23	17,4	0,089
	>1km	198	75,0	66	25,0	
	Gesamt	307	77,5	89	22,5	
neu	<1km	362	91,4	34	8,6	0,053
	>1km	287	87,0	43	13,0	
	Gesamt	649	89,4	77	10,6	
einröhrig	<1km	247	93,6	17	6,4	0,000
	>1km	438	83,0	90	17,0	
	Gesamt	685	86,5	107	13,5	
zweiröhrig	<1km	224	84,8	40	15,2	0,010
	>1km	47	71,2	19	28,8	
	Gesamt	271	82,1	59	17,9	

<sup>4</sup> In dieser Auswertung wurden alle Fehler aus der Verhaltensbeobachtung für Hin- und Rückfahrt zusammengezählt (inklusive Geschwindigkeitsfehler).

Aus den Vergleichen der Verteilungen zeigt sich, daß in einröhrigen Tunnels und auch in neuen Tunnels signifikant weniger Fehler beobachtet wurden. Das gilt sowohl für lange als auch für kurze Tunnels, vergleicht man aber Gruppen von verschieden langen Tunnels miteinander, zeigt sich, daß in Tunnels über ein Kilometer Länge generell mehr Fehler beobachtet wurden. Bei der Interpretation der Ergebnisse sollte allerdings berücksichtigt werden, daß bei diesem statistischen Verfahren Verteilungen verglichen werden – der Vergleich von absoluten Fehlerhäufigkeiten<sup>5</sup> allein ist daher nicht sinnvoll.

### 3.3.3.1 Geschwindigkeitsüberschreitungen

Äquivalent zur Fahrfehlerzählung müssen die Besonderheiten des Hungerbichl – besonders der Wechsel der Geschwindigkeitsbegrenzung auf der Rückfahrt – in Betracht gezogen werden, deswegen bleibt in der folgenden Auswertung der Hungerbicheltunnel unberücksichtigt.

#### 3.3.3.1.1 Ein- vs. zweiröhrige Tunnel

Verglichen mit dem Kienbergtunnel (zweiröhrig) zeigt sich ebenso eine signifikant häufigere Geschwindigkeitsüberschreitung im Klausertunnel, aber nur auf der Rückfahrt. (Tabelle 13).

**Tabelle 13: Geschwindigkeitsüberschreitungen in Prozent: Klausertunnel und Kienberg (ein- vs. zweiröhrig)**

<b>Prozent Überschreitungen</b>	<b>Tunnel einröhrig (Klausertunnel)</b>	<b>Tunnel zweiröhrig (Kienberg)</b>	<b>p</b>
Rückfahrt	<b>87</b>	56	0,000**
Rückfahrt +10%	<b>29</b>	7	0,000**

Wie bereits in der Tunnelstudie von 2001 festgestellt wurde, sind auch hier die Geschwindigkeitsüberschreitungen im einröhrigen Tunnel signifikant häufiger zu beobachten.

#### 3.3.3.1.2 Lange vs. kurze Tunnel

Überschreitungen der Geschwindigkeitsbegrenzung sind in den untersuchten Langtunnels signifikant häufiger (Tabelle 14).

<sup>5</sup> Es ist anzumerken, daß die hier verwendeten Fehlerhäufigkeiten nicht auf die Tunnellänge normiert wurden.

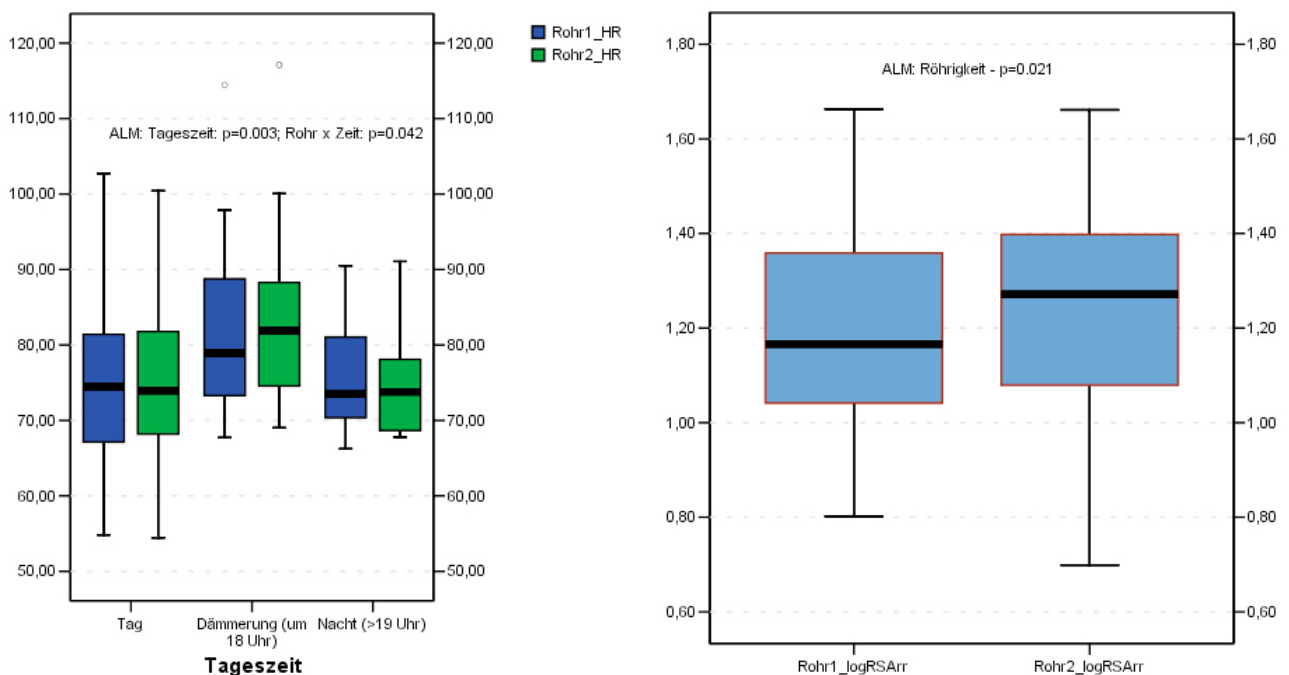
**Tabelle 14: Geschwindigkeitsüberschreitungen: Lange vs. kurze Tunnel in Prozent**

Prozent Überschreitungen	Tunnel kurz (Krenngraben, Gschwendnerberg und St. Pankraz)	Tunnel lang (Spering)	p
Hinfahrt +10%	21	<b>41</b>	0,000**
Rückfahrt	80	<b>95</b>	0,001**
Rückfahrt +10%	26	<b>46</b>	0,000**
Tag Hinfahrt +10%	25	<b>42</b>	0,007**
Tag Rückfahrt +10%	29	<b>54</b>	0,003**
Nacht Hinfahrt	89	<b>94</b>	0,091
Nacht Hinfahrt +10%	17	<b>40</b>	0,000**
Nacht Rückfahrt	73	<b>96</b>	0,001**
Nacht Rückfahrt +10%	22	<b>38</b>	0,038*

### 3.3.4 Röhrigkeit HeartMan-Daten

Anmerkung zu Berechnungszeiträumen:

30s Abschnitt (zentral) von Klauser (ca. 95-100s lange Fahrt; einröhrig) gegen 30s Abschnitt (zentral) von Kienberg (ca. 50 - 55s; zweiröhrig)



**Abbildung 32: Herzrate (HR) und logRSA bei Tunnel mit einer unterschiedlichen Anzahl von Röhren.**

Es zeigt sich, dass die Tageszeit einen signifikanten Einfluß auf die Herzrate ausübt, wobei die logRSA (Entspannung – Indikator Vagustonus) bei einem Tunnel mit zwei Röhren (Kienberg) signifikant größer ist (Abbildung 32).

### 3.3.5 Exkurs: Typischer Herzratenverlauf in einem langen Tunnel

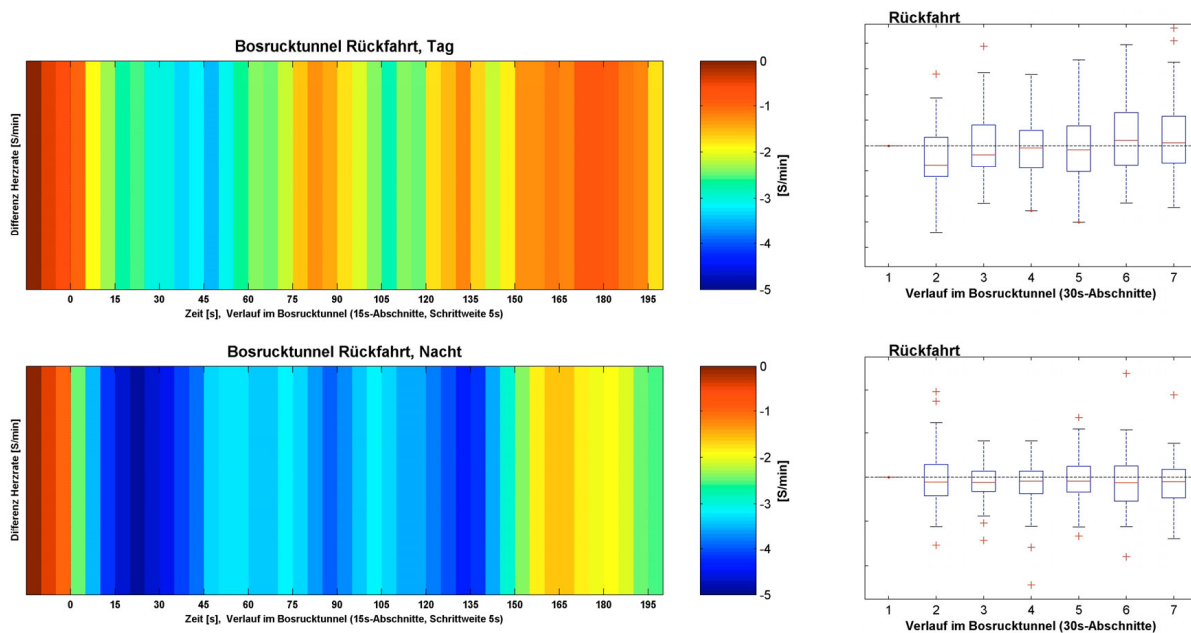


Abbildung 33: Herzraten- und logRSA-Verlauf in einem langen Tunnel (Bosruck).

Bei einem Vergleich zwischen Tag- und Nachtfahrten zeigt sich ein ähnlich gestalteter Herzratenverlauf, der in typischer Weise das psychophysiologische Verhalten im Tunnelverlauf wiedergibt. Unmittelbar bei der Einfahrt sinkt die Herzrate bzw. bleibt ungefähr bis Tunnelmitte auf einem geringeren Niveau, welches anschließend gegen Tunnelende wieder langsam kontinuierlich ansteigt. Erkennbar ist eine höhere Anspannung (Herzrate) im letzten Drittel des Tunnelabschnittes bzw. 15 Sekunden vor Einfahrt in das Tunnelportal (kommend von einer freien Strecke = Referenz für HR-Differenzen [linke Grafik, Abbildung 33] bzw. bei Boxplots ist die Referenz der erste Tunnelabschnitt [rechte Grafik, Abbildung 33]).

### 3.3.6 Zusammenfassende Bewertung

Es zeigt sich, dass in Tunnels, die einröhrig und lang sind, mehr Geschwindigkeitsüberschreitungen gemessen werden konnten, diese können allerdings nicht auf nur eine Eigenschaft zurückgeführt werden. Für die Erklärung der Fahrfehler sind sowohl das Tunnelalter als auch die Röhrenanzahl unbedingt zu berücksichtigen.

Aus den Vergleichen der Verteilungen der Gesamtfehler zeigt sich, daß in einröhrigen Tunnels und auch in neuen Tunnels signifikant weniger Fehler beobachtet wurden.

Wie bereits in der Tunnelstudie 2001 festgestellt werden konnte, zeigt sich bei Geschwindigkeitsüberschreitungen folgender Zusammenhang: je niedriger ein Tempolimit angesetzt ist, desto höher wird die Wahrscheinlichkeit, dieses auch zu überschreiten. Dadurch lassen sich die häufigeren Überschreitungen der Geschwindigkeitslimits in einröhrigen Tunnels erklären, denen durch Überwachungsmaßnahmen entgegengewirkt werden könnte.



Es lassen sich Unterschiede zwischen kurzen und langen Tunnels in der Häufigkeit von Geschwindigkeitsüberschreitungen feststellen - mit dem Effekt, daß die Geschwindigkeitslimits in kurzen Tunnels seltener überschritten werden.

Allerdings könnte die höhere physiologische Entspannung bei dem zweiröhrigen Tunnel darauf zurückgeführt werden, dass es in einröhrigen Tunnels zu höherer psychophysiologischer Belastung durch den Gegenverkehr, den Rhythmuswechsel aufgrund wechselnder Geschwindigkeiten und die mangelnde Bereitschaft das niedrigere Tempolimit von 80 Km/h einzuhalten (s.o.), kommt.

Der Herzratenverlauf in einem langen Tunnel, hier prototypisch für den Bosrucktunnel ausgewertet, demonstriert ein geringes Niveau der Herzrate mitten im Tunnel, aber einen Anstieg kurz vor und während der Ausfahrt. Es kann daher von einer psychophysiologischen Auswirkung der Tunnellänge ausgegangen werden.

Es ist anzumerken, daß in der vorliegenden Untersuchung deutlich weniger Fehler registriert wurden als in der Vorgängerstudie, daher wurde die Gesamtfehleranzahl berechnet. Außerdem wurden nur neue beziehungsweise sanierte Tunnel untersucht. Daher sind die Ergebnisse mit denen der Tunnelstudie 2001 nicht direkt vergleichbar.

## **3.4 Streckenmerkmale**

### **3.4.1 Beurteilung der Übergangsbereiche**

Der bei dieser Studie befahrene Abschnitt der Pyhrnautobahn umfasst zahlreiche Übergangsbereiche zwischen Tunnel- und Freilandabschnitten. Die Testpersonen wurden befragt, inwieweit sie diese Wechsel als störend empfanden.

Der Wechsel zwischen Tunnel und Freiland wurde von der Hälfte der Befragten nicht als störend erlebt. Rund ein Viertel sah jedoch bei heller Sonne eine Blendgefahr bei der Tunnelausfahrt, während 10% die Freilandabschnitte eher bei Schlechtwetter oder Dunkelheit als unangenehm empfand. 13% meinten, die Freilandabschnitte wären teilweise zu kurz für die Hell-Dunkel-Adaptation. Nach jeder Tunnelausfahrt sei eine Neuorientierung erforderlich.

Nach Verbesserungsvorschlägen befragt, hat jedoch nur ein Drittel der Personen Möglichkeiten genannt. Davon schlugen 24% vor, kurze Freilandabschnitte zu überdachen oder die Tunnel durch Galerien zu verbinden. Weiters wurde angeregt, den Portalbereich heller zu gestalten bzw. die Beleuchtung der Ein- und Ausfahrten den Lichtverhältnissen draußen anzupassen (31%). Auch die Beleuchtung der Freilandabschnitte wurde als Lösungsmöglichkeit von 10% angegeben.

### **3.4.2 Verhaltensdaten (SAF)**

Auf Grund der unterschiedlichen Streckenlänge wurden die Fehlertypen gewichtet. Es können daher keine gut vergleichbaren Angaben über die absolute Anzahl der Fehler gemacht werden. Statt dessen werden die *mittleren Ränge* angeführt (Friedman-Test).

Die Geschwindigkeitsverläufe sind im Anhang dargestellt.

### 3.4.2.1 Fahrfehlerzählung

Langer Tunnel: Bosruck

Freie Strecke: Bosruck Ausfahrt bis Portal Rossleithen bzw. Ausfahrt Rossleithen bis Portal Bosruck

Wechselabschnitt: St. Pankraz - Gschwendnerberg - Krenngraben

Es zeigen sich signifikant mehr Fahrfehler in der Bedingung „freie Strecke“ als in den anderen (Tabelle 15). Auf Grund der generell sehr geringen Fehleranzahl konnten allerdings nur Fehler bezüglich der Spurhaltung, des Blinkens und der Geschwindigkeitswahl ausgewertet werden.

**Tabelle 15: Langer Tunnel vs. freie Strecke vs. Wechsel)**

<b>Spurhaltung</b>	Lang Mittlerer Rang	Frei Mittlerer Rang	Wechsel Mittlerer Rang	Asympt. Signifikanz
Hinfahrt	1,874	<b>2,212</b>	1,894	0,000**
Rückfahrt	1,894	<b>2,189</b>	1,917	0,000**
Hin- und Rückfahrt	1,841	<b>2,295</b>	1,864	0,000**

<b>Blinken</b>	Lang Mittlerer Rang	Frei Mittlerer Rang	Wechsel Mittlerer Rang	Asympt. Signifikanz
Hinfahrt	1,902	<b>2,167</b>	1,932	0,000**
Rückfahrt	1,826	<b>2,258</b>	1,917	0,000**
Hin- und Rückfahrt	1,795	<b>2,288</b>	1,917	0,000**

<b>Geschwindigkeit zu hoch</b>	Lang Mittlerer Rang	Frei Mittlerer Rang	Wechsel Mittlerer Rang	Asympt. Signifikanz
Hinfahrt	<b>2,008</b>	<b>2,083</b>	1,909	0,020*
Rückfahrt	1,955	<b>2,182</b>	1,864	0,000**
Hin- und Rückfahrt	1,985	<b>2,220</b>	1,795	0,000**

### 3.4.3 Streckenmerkmale HeartMan-Daten

Anmerkung zu Berechnungszeiträumen:

Langer Tunnel: [Ende Bosruck - 200s] bis [Ende Bosruck - 20s] (liegt damit zentral, da etwa 220s bis 240s)

Freistrecke: [Anfang Bosruck - 200s] bis [Anfang Bosruck -20s] (kommt von Seite Rosleithen)

Wechsel: [Anfang Lainberg -180s] bis [Anfang Lainberg]

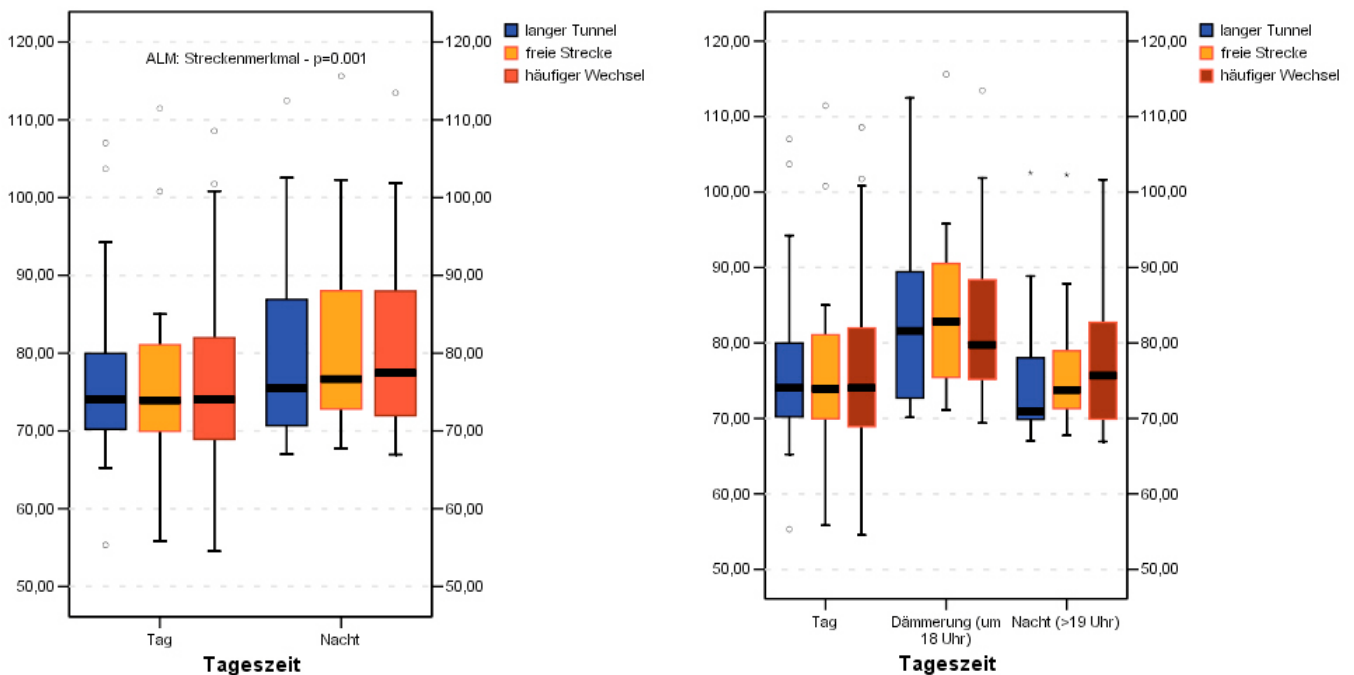
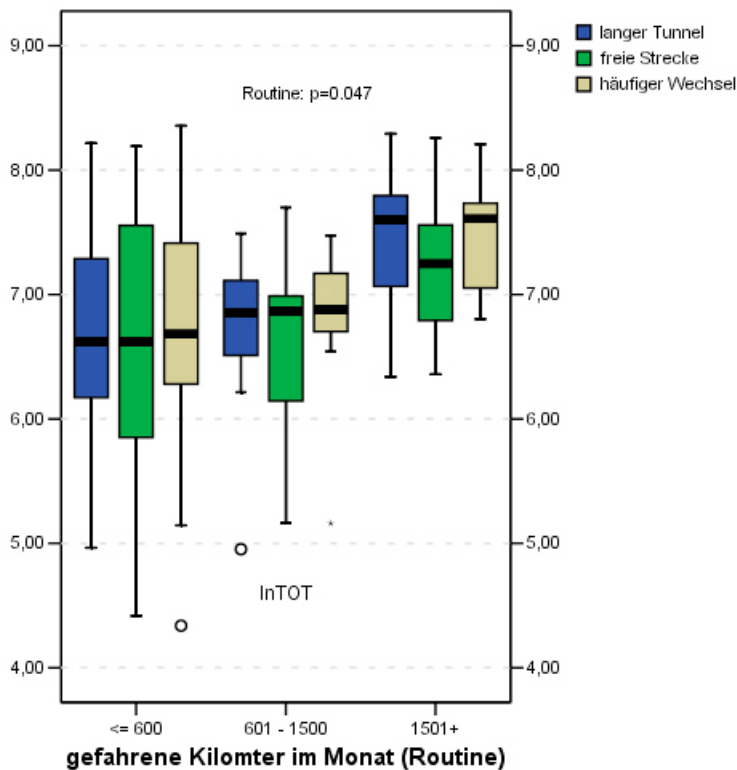


Abbildung 34: Herzrate (HR) bei unterschiedlichen Streckenabschnitten.

Es zeigt sich, dass die HR bei den betrachteten Abschnitten signifikant unterschiedlich ist. Die größte HR ist generell bei Dunkelheit (Nachtfahrten) vor allem aber in der Nacht bei häufigen Wechsel der Streckenmerkmale zu beobachten. Die niedrigste Aktivierung (HR) zeigt sich bis auf die Fahrten bei Dämmerung im langen Tunnel (Bosrucktunnel).

Die InHF-Komponente (Indikator Entspannung) ist bei der freien Strecke am niedrigsten ausgeprägt ( $p=0.049$ ), wobei Alter und Ängstlichkeit mögliche moderierende Faktoren sein könnten. Die Rolle der Fahrrouine ist in Abbildung 34 ersichtlich.



**Abbildung 35: Gesamtvariabilität (InTOT) und Fahrroutine. Niedrige Werte weisen auf Anspannung/Beanspruchung hin.**

Wie bereits im vorherigen Abschnitt erwähnt zeigt sich, dass Reaktionen auf entsprechende Tunnelqualitäten (alt vs. neu, Röhrigkeit) nicht bedeutend durch die Fahroutine beeinflusst werden (es konnten keine signifikanten Unterschiede aufgefunden werden). Anderes gilt jedoch für die möglichen Auswirkungen von Streckenmerkmalen. Hier zeigt sich, dass Autolenker mit umfangreicher Fahroutine auch das größte Ausmaß an HRV (InTOT) aufweisen. Dies deutet darauf hin, dass Lenker mit mehr als 1500 gefahrenen km im Monat am geringsten durch die Autofahrt beansprucht werden. Auf Autobahnabschnitten auf freier Strecke (ohne Tunnel) zeigt sich allgemein das geringste Ausmaß an HRV.

Bei Fahrern mit geringer monatlicher Kilometerleistung konnte bei allen drei Streckentypen eine hohe Beanspruchung gemessen werden, es konnten keine deutlichen Unterschiede zwischen den drei verschiedenen Streckentypen festgestellt werden.

Bei Fahrern mit durchschnittlicher monatlicher Kilometerleistung zeigen sich ebenfalls nur geringe Mittelwertsunterschiede zwischen den Streckentypen, aber diese Fahrer sind generell weniger beansprucht als weniger routinierte Fahrer.

Bei Vielfahrern zeigt sich ein Effekt dahingehend, dass sie bei allen Streckentypen am wenigsten beansprucht sind, die Beanspruchung auf der freien Strecke ist aber deutlich höher als bei der Tunneldurchfahrung bzw. auf dem Wechselabschnitt. Die höhere Beanspruchung auf der freien Strecke kann durch aufmerksamkeitsfordernde Aktivierungsbedingungen (Schwierigkeit der Fahraufgabe) auf diesem Streckenabschnitt erklärt werden: Auf- und Abfahrten, kein Überholverbot, höhere

Tempolimits sind für diesen Streckentyp charakteristisch. In den Ergebnissen spiegeln sich die Anforderungen in der hohen Varianz wider.

Auf physiologischer Ebene konnten keine Monotonieeffekte in langen Tunnels nachgewiesen werden, da die Beanspruchung in Tunnels ähnlich hoch ist wie bei dem Wechselabschnitt mit mehreren Kurztunnels.

#### **3.4.4 Zusammenfassende Bewertung**

Einige Versuchspersonen weisen in der Befragung darauf hin, dass der ständige Wechsel zwischen Tunnel und freier Strecke problematisch sein könnte. Blendungsgefahr und ständig notwendige Neuorientierung auf Grund von zu kurzen Freilandstrecken wären die Folgen. Dennoch erscheint in den SAF- und HeartMan-Auswertungen nur die freie Strecke auffällig: Auf der freien Strecke werden signifikant mehr Fahrfehler gemacht und die physiologisch gemessene Entspannung ist am niedrigsten ausgeprägt. In Bezug auf die Verkehrssicherheit schneiden die untersuchten Tunnelabschnitte daher im Allgemeinen besser ab als die freie Strecke.

### **3.5 Portale und Ausfahrten**

#### **3.5.1 Beurteilung von Tunneleinfahrten- Befragungsergebnisse**

Für die Beurteilung von Tunneleinfahrten wurden den Versuchspersonen simultan Bilder (siehe Anhang F) von unterschiedlichen Tunneleinfahrten der gefahrenen Versuchsstrecke vorgelegt

- A - Bosrucktunnel
- B - Klausertunnel
- C - Lainbergtunnel

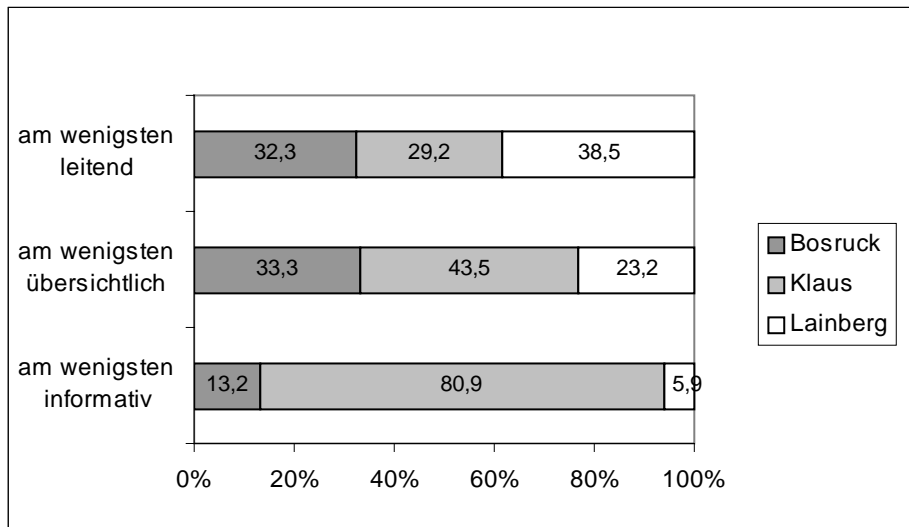
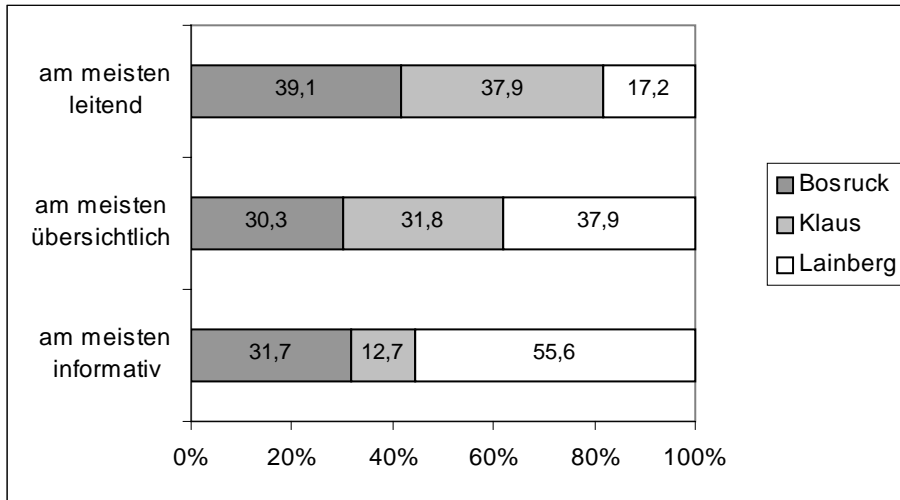
Sie wurden gebeten, die Ausfahrten zu vergleichen und nach den Eigenschaften

- informativ
- übersichtlich
- leitend
- bremsend
- beengend und
- gefährlich

zu beurteilen.

Die Personen hatten die Aufgabe, jeweils ein Bild pro Eigenschaft zuzuordnen. Dabei sollten sie beurteilen, welche Tunnelausfahrt für sie am meisten bzw. am wenigsten zur genannten Eigenschaft passt.

In den folgenden Abbildungen sind die Tunnel anhand der Eigenschaften informativ, übersichtlich und leitend einander gegenüber gestellt.



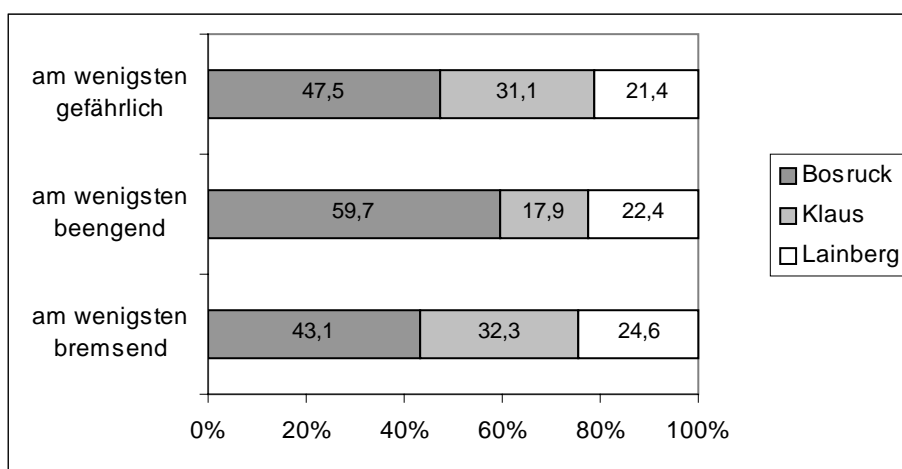
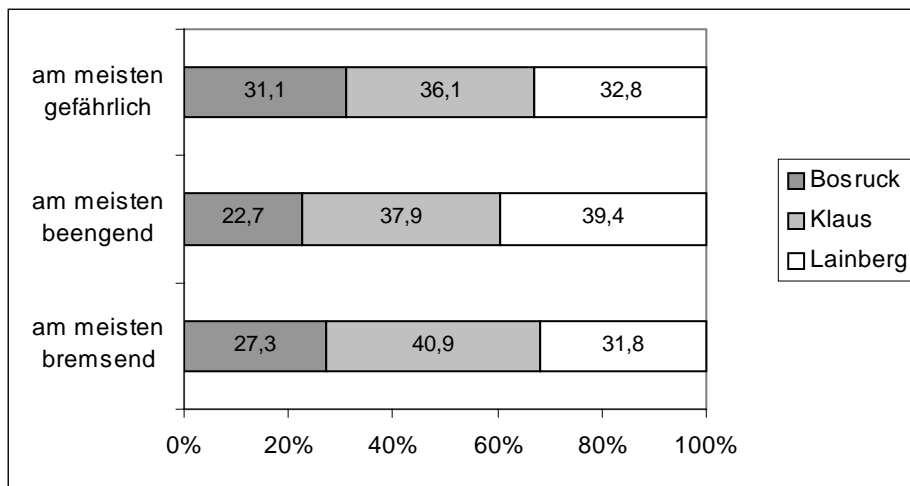
**Abbildung 36: Beurteilung der Tunneleinfahrten durch die Versuchspersonen nach den Eigenschaften: leitend/übersichtlich/informativ.**

Das Portal des Bosrucktunnels (Bild A) wurde von 39% als am meisten leitend empfunden.

In der Beurteilung hinsichtlich der meisten Information und der besten Übersichtlichkeit entschied sich die Mehrheit der Probanden für die Einfahrt des Lainbergtunnels (Bild C).

Mit Abstand am wenigsten informativ wurde das Portal des Klauser Tunnels (Bild B) beurteilt (81%). Auch hinsichtlich der Übersichtlichkeit schnitt der Klauser Tunnel am schlechtesten ab (43,5%).

Die folgenden Abbildungen zeigen die Beurteilungen der Tunneleinfahrten nach den Eigenschaften bremsend, beengend und gefährlich.



**Abbildung 37: Beurteilung der Tunnelleinfahrten durch die Versuchspersonen nach den Eigenschaften: bremsend, beengend, gefährlich.**

Die Tunnelleinfahrt des Klausertunnels auf Bild B wurde von 41% als am meisten bremsend und von 36% als am gefährlichsten beurteilt.

Der Bosrucktunnel (A) wird mehrheitlich als am wenigsten bremsend (43%), am wenigsten beengend (60%) und am wenigsten gefährlich (47,5%) eingestuft.

Am meisten beengend wurde von 39,4% der Lainbergtunnel (C) empfunden.

Diese Einschätzungen der Tunnelportale sind jedoch mit Vorsicht zu betrachten: beurteilt scheinen weniger die Portale als vielmehr die unterschiedlichen Aufnahmen worden zu sein, wenn man die Kommentare einiger Probanden berücksichtigt.

Die Personen wurden befragt, ob sie noch Vorschläge zur Verbesserung von Tunnelleinfahrten hätten. Bei den daraufhin genannten Vorschlägen der Testpersonen handelt es sich größtenteils um Einzelmeinungen, die die Interpretation zulassen, dass die derzeitige Portalgestaltung als weitgehend optimal empfunden wird.

Nach wie vor besteht allerdings bei 15% der Wunsch nach dem Bau von Galerien, die einen trichterförmigen Übergang in die Röhre darstellen und einen Übergang von Hell zu Dunkel besser gewährleisten. Auch eine helle Gestaltung der Portale wird als



wünschenswert empfunden. Leitplanken sollen einen weichen Übergang begleiten, die Fahrbahn jedoch nicht einengen. Angeregt wurde auch, Ampeln und Verkehrszeichen über Kopf anzubringen, damit sie nicht von vorausfahrenden LKW verdeckt würden.

### 3.5.2 Fahrverhaltensdaten (SAF)

Für die SAF Auswertungen wurden die Tunnelportale in 4 Kategorien eingeteilt (Fotos siehe Anhang F):

Galerie: Bosruck

Classic („bergmännisch“): Lainberg

Modern 1: Spring

Modern 2: Klausertunnel

Die Tunnel sind hinsichtlich ihrer Länge und Röhrigkeit vergleichbar, das Zeitintervall zur Fehlerzählung betrug +/- 10 Sekunden um das Portal.

#### 3.5.2.1 Fahrfehlerzählung

Bezüglich der Fehleranzahl zeigt sich nur ein signifikantes Ergebnis: Während im Bosrucktunnel (Galerie) sowie im Lainbergtunnel (Classic) keine Abstandsfehler gezählt wurden, waren es in den Tunnels mit modernem Design 5 ( $p=0,018^*$ ). Davon wurden bei der Hinfahrt ein Fehler im Springtunnel und zwei Fehler im Klausertunnel gezählt, und bei der Rückfahrt ein Fehler im Springtunnel und ein Fehler im Klausertunnel. Grundsätzlich ist die Fehleranzahl allerdings gering, es lassen sich keine deutlichen Hinweise auf Fehlerhäufungsstellen finden.

#### 3.5.2.2 Geschwindigkeitsüberschreitungen

Während auf der Hinfahrt beim Portal des Klausertunnel (Modern 2) signifikant häufiger die Geschwindigkeitsbegrenzung überschritten wird – ein bekanntes Ergebnis aus den anderen Versuchsbedingungen – wird auf der Rückfahrt verstärkt bei den Portalen des Lainberg- und Springtunnels (Classic bzw. Modern 1) zu schnell gefahren. In den Daten zeigt sich ferner, dass bezüglich der Geschwindigkeitsüberschreitungen vor allem der Bosrucktunnel (Galerie) signifikant besser abschneidet als die anderen Tunnel (Tabelle 16).

**Tabelle 16: Geschwindigkeitsüberschreitungen bei verschiedenen Portaldesigns in Prozent**

<b>Prozent Überschreitungen</b>	Galerie	Classic	Modern 1	Modern 2	p
Hinfahrt	83	87	89	<b>99</b>	0,001**
Hinfahrt +10%	25	28	33	<b>63</b>	0,000**
Rückfahrt	65	<b>89</b>	<b>89</b>	82	0,000**
Rückfahrt +10%	21	<b>39</b>	33	26	0,007**
Hin- und Rückfahrt	74	<b>88</b>	<b>89</b>	<b>91</b>	0,000**
Hin- und Rückfahrt +10%	23	33	33	<b>44</b>	0,000**

### 3.5.3 Exkurs: Orientierungs- Defensivreaktion bei Tunnelleinfahrten und Ausfahrten (Alt vs. neu, HeartMan-Daten)

Vereinfacht gesagt zeigt sich eine Orientierungsreaktion (OR) durch eine Senkung der Herzrate, wobei die Auswirkung bzw. die Reaktion auf einen neuen oder aversiven Reiz bis zu 15 Herzschläge nach dem Ereignis andauern kann (siehe Abbildung 38). Bei Defensivreaktionen (DR) zeigt sich hingegen eine phasische Erhöhung der Herzrate (ca. 2 bis 10 Schläge), welche in Abhängigkeit von der Reizstärke variiert.

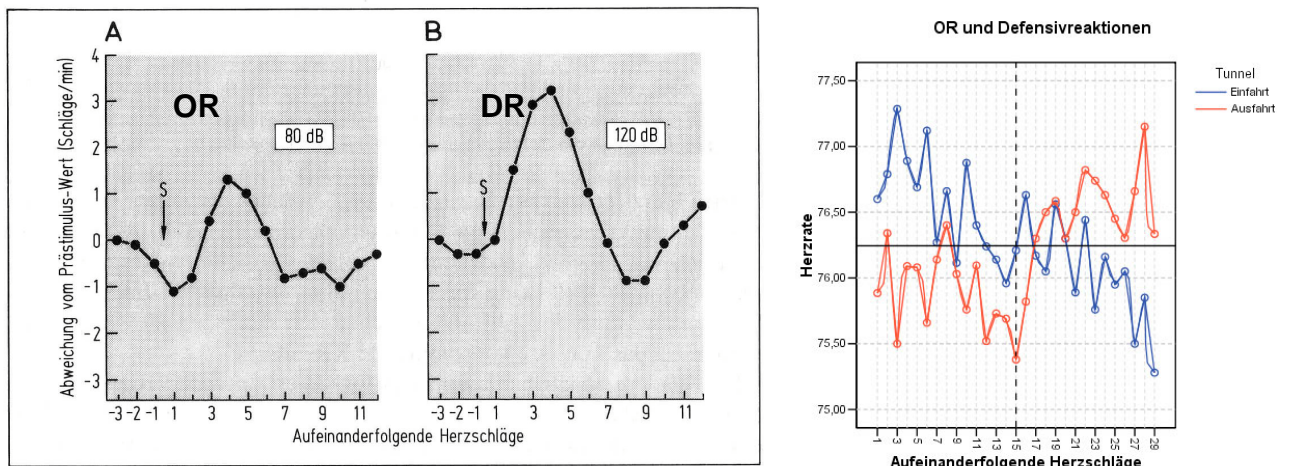
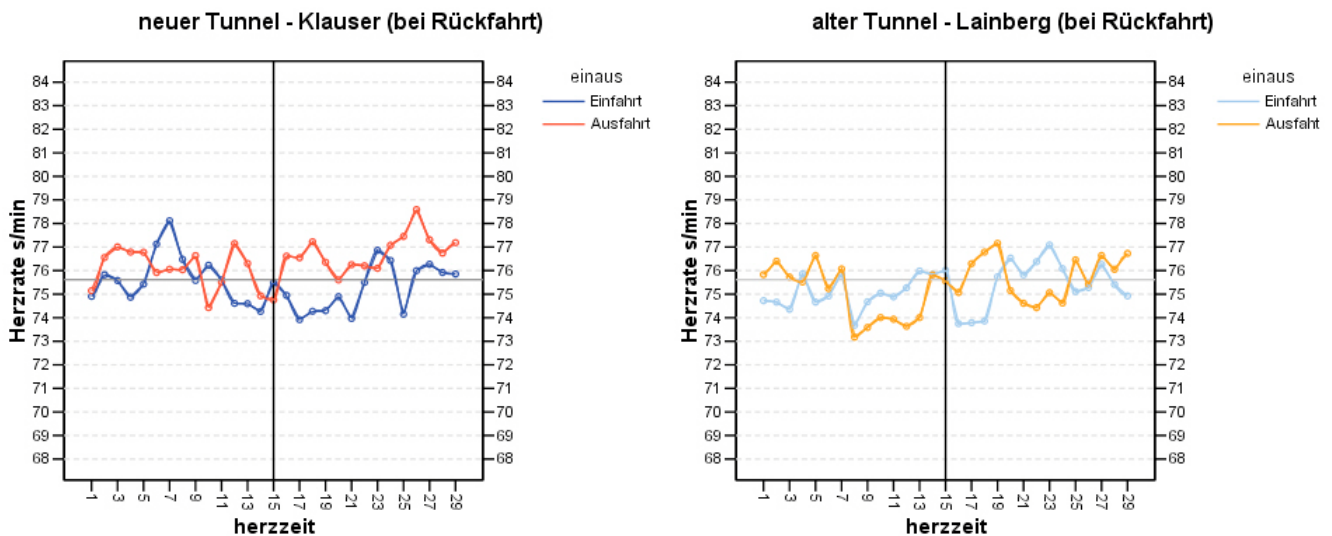


Abbildung 38: Links: OR und DR (Labordaten aus Schandry, S. 146). Rechts: Gesamte Versuchsstrecke - Tunnelleinfahrten (OR) vs. Tunnelausfahrten (DR)



**Abbildung 39: Orientierungs- und Defensivreaktion bei neuen und alten Tunneln. Die Bezugslinie gibt den Gesamtmittelwert der Stichprobe zwischen 75 und 76 Herzschlägen wieder bzw. auf der x-Achse ist der Reizpunkt (Ein- bzw. Ausfahrt) um den 15 Herzschlag angegeben. Dabei handelt es sich um gemittelte Gruppenverläufe. Bei der Ansicht von individuellen Einzelverläufen zeigen sich unterschiedlichste Reaktionen, die auf Grund von biopsychosozialen Persönlichkeitsunterschieden zu Stande kommen.**

Generell zeigt sich bei der Einfahrt eine leichte Absenkung der Herzrate, welche in Richtung einer OR interpretiert werden könnte. Bei der Ausfahrt zeigt sich jedoch allgemein eine leichte Erhöhung der Herzrate – welche als eine Defensivreaktion interpretiert werden könnte (Abbildung 39). Bei der Betrachtung des Lainbergtunnels ist einschränkend anzumerken, dass sich unmittelbar vor der Einfahrt ein Kurztunnel befindet. Bei dem neueren Tunnel sind tendenziell stärkere Veränderungen bei der Ausfahrt im Herzrattenniveau erkennbar als im alten Tunnel. Der Einfluß der Tageszeit bei Tunnelein- und -ausfahrten ist im Anhang dargestellt.

Bei detaillierterer Analyse der Tunnelein- und ausfahrten konnten allerdings keine eindeutigen Verläufe die auf eine OR oder DR hinweisen, gefunden werden. Aufgrund der teilweise zeitlich knappen Abfolge von Tunneln sind charakteristische Muster nicht eindeutig identifizierbar, das Ausmaß der phasischen Herzratenveränderung ist im Vergleich zu den Laborergebnissen von Schandry gering und daher schwierig interpretierbar. Weiters werden die Ergebnisse nicht durch statistische Signifikanzprüfungen abgesichert.

Es läßt sich daher aus den Ergebnissen ableiten, dass sich zwar marginale Anzeichen für OR bzw. DR beim Tunnelein- und ausfahren finden, diese Muster aber hinsichtlich ihrer Reizintensität (z.B. Lichtwechsel im Tunnel vs. Tondarbietung an der Schmerzgrenze mit 120 dB bei DR) mit den im Labor hergestellten Reizen nicht vergleichbar sind.

### **3.5.4 Zusammenfassende Bewertung**

Die Versuchspersonen schätzen einen Tunnel mit modernem Portal (hier der Klausertunnel) als weniger übersichtlich, weniger informativ, eher bremsend und gefährlich ein. Diese Ergebnisse werden zwar durch häufigere Abstandsfehler und Geschwindigkeitsüberschreitungen (besonders auf der Hinfahrt) aus der Fahrverhaltensbeobachtung gestützt, auch im zweiten untersuchten Tunnel mit modernem Portal (Springtunnel) konnten Abstandsfehler und Geschwindigkeitsüberschreitungen festgestellt werden. Insgesamt betrachtet ist die Fehleranzahl jedoch so gering, dass sich die subjektiven Beurteilungen der Versuchspersonen hinsichtlich moderner Portalgestaltung nur eingeschränkt wiederfinden.

Den Tunnel mit klassischem Portal schätzen die Versuchspersonen als wenig leitend, aber eher übersichtlich und sehr informativ ein. Es konnten keine Fahrfehler festgestellt werden, die gemessenen Geschwindigkeitsüberschreitungen in diesem Tunnel unterscheiden sich nicht wesentlich von den Tunneln mit modernem Portal.

Deshalb ist der Bosrucktunnel positiv hervorzuheben: Die Versuchspersonen schätzen dessen als Galerie gestalteten Ein- und Ausfahrtsbereich als am wenigsten beengend, am wenigsten bremsend und am wenigsten gefährlich ein. Es wurden keine Fahrfehler festgestellt und die Geschwindigkeitsüberschreitungen sind signifikant seltener als in den anderen Tunnel. Der Wunsch nach einer derartigen Portalgestaltung (Galerien) von 15% der Versuchspersonen erscheint daher sinnvoll.

Bezüglich der Heartman-Daten zeigt sich, daß Tunnelportale im Allgemeinen keine aversiven, unangenehmen Reize im Sinne einer Defensivreaktion für die Versuchspersonen darstellen. Hinsichtlich der Verkehrssicherheit ist dieses Ergebnis positiv zu bewerten.

### 3.6 Weitere Sicherheits- und Gestaltungsaspekte

#### 3.6.1 Beurteilung von Verkehrszeichen - Befragungsergebnisse

Die Versuchspersonen wurden gebeten, aktiv (also nicht durch Wiedererkennen vorgegebener Antwortmöglichkeiten) Verkehrszeichen, Hinweistafeln, Zusatzschilder, Lichtsignalanlagen etc. aufzuzählen, die ihrer Meinung nach im Tunnelbereich, also vor, im und nach dem Tunnel, besonders wichtig sind.

Von den im Vorfeld vorgefundenen und als relevant erachteten 24 Verkehrs- und Hinweiszeichen wurden bei spontaner Nennung folgende von mindestens 10 % der Befragten als besonders wichtig erachtet:

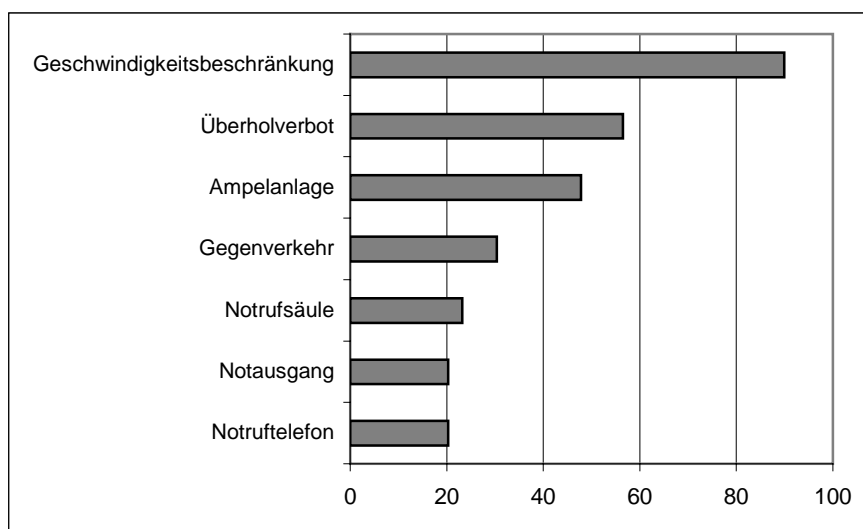
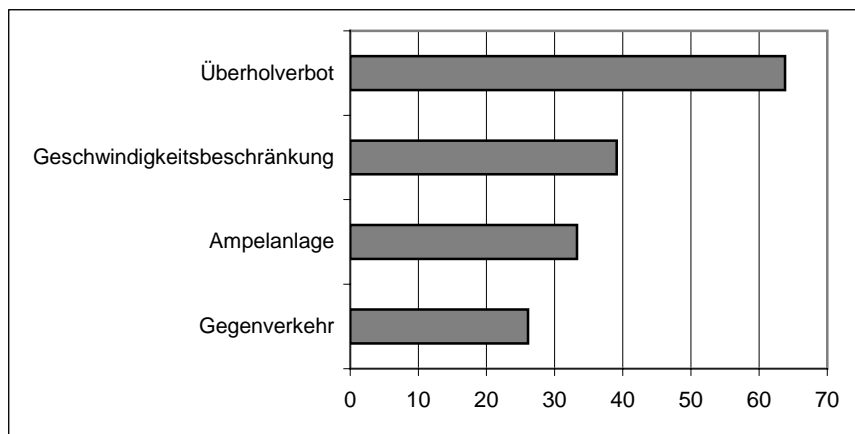


Abbildung 40: Wichtige Verkehrs- und Hinweiszeichen im Tunnelbereich - Spontannennungen der Vpn

Am wichtigsten fanden die befragten Teilnehmer die Geschwindigkeitsbeschränkung (90%), das Überholverbot (56,5%) und die Ampelanlage (48%). 30% erachteten auch Gegenverkehrszeichen als besonders wichtig. Die restlichen in der Abbildung angeführten Verkehrszeichen wurden von etwa einem Viertel der Personen als wichtig bewertet. Alle anderen Zeichen, die ebenfalls auf der Fahrtstrecke vorkamen, wurden entweder gar nicht oder von weniger als 10% der Befragten genannt. Dies entspricht in etwa den Ergebnissen der ersten Tunnelstudie.

Die Vpn wurden auch gefragt, bei welchen Verkehrszeichen es besonders gefährlich wäre, wenn diese missachtet oder übersehen werden (Abbildung 60).



**Abbildung 41: Gefahr bei Missachtung oder Übersehen von folgenden Verkehrszeichen, Spontannennungen der Vpn.**

Am gefährlichsten fanden die befragten Personen, wenn das Überholverbot (64%) missachtet oder übersehen würde. Die Missachtung der Geschwindigkeitsbeschränkung erachteten nur 39% als gefährlich – im Vergleich zur vorhergehenden Tunnelstudie wurde die Missachtung der Geschwindigkeitsbegrenzung noch von über 70% als gefährlich eingeschätzt. Über 30% der Vpn sahen die Missachtung oder das Übersehen der Ampelanlage als gefährlich an, in der Tunnelstudie 2001 waren es nur 16%. Die Missachtung oder das Übersehen des Gegenverkehr-Verkehrszeichens fanden 26% gefährlich. Alle anderen Verkehrszeichen, die ebenfalls auf der Fahrtstrecke vorkamen, wurden entweder gar nicht oder von weniger als 10% der Befragten genannt.

Es wurde auch erhoben, ob den Personen Verkehrszeichen aufgefallen sind, die sie nicht sofort verstanden haben, bzw. ob mehr Zusatzinformationen nötig gewesen wären. Es kamen keine Verkehrszeichen auf der Versuchsstrecke vor, die von mehr als 10% der Befragten als unverständlich genannt worden wären.

Ein Verkehrszeichen zur Ampelankündigung ca. 2 km vor dem Rossleithentunnel mit gelbem Blinklicht und der Zusatztafel „bei rot anhalten“ (nur Hinfahrt) wurde bei der Befragung von keinem Probanden erwähnt, obwohl es während der vorangegangenen Versuchsfahrt häufig Reaktionen auslöste (Geschwindigkeitsverminderung, siehe Anhang H-24 und H-25: Freistrecke).

### 3.6.2 Beleuchtung

84% der Befragten konnten Unterschiede in der Beleuchtungsart zwischen den einzelnen Tunnels feststellen: Die neuen Tunnels erschienen 58% heller im Vergleich zu den alten, die als düsterer beschrieben wurden. Weiters wurde von 12% der Befragten wahrgenommen, dass die Kurztunnels teilweise unbeleuchtet sind.

Die Frage, ob die Tunnelbeleuchtung einen Einfluss auf ihr Fahrverhalten habe, wurde von 55% der Personen verneint. Die zweite Hälfte der Vpn, die diese Frage bejahte, gab an, in den neuen Tunnels entspannter und damit sicherer zu fahren und umgekehrt habe Dunkelheit im Tunnel eine Temporeduzierung bei ihnen zur Folge.

Störende Lichtreflexe wurden nur von 10% wahrgenommen.

Die Befragten wurden auch um Vorschläge zur Optimierung der Tunnelbeleuchtung gebeten. Dabei wünschten sich 36% eine optimale Anpassung der Ein- und Ausfahrtsbeleuchtung an die jeweiligen Lichtverhältnisse im Freiland. 19% schien es wichtig, die Tunnelbeleuchtung so hell wie möglich zu gestalten. Ein Viertel der Befragten hatte keine Verbesserungsvorschläge, die aktuelle Tunnelbeleuchtung sei sehr gut. Hinsichtlich der Leuchtkörper wurden Lichtbänder statt Einzellampen vorgeschlagen. Statt eines mittigen Leuchtbandes wurden zwei Leuchtbänder am Rand gewünscht, da die zentrale Beleuchtung eine Lenktendenz zur Mitte bewirke.

### **3.6.3 Wahrnehmung von Bodenmarkierungen und Reflektoren**

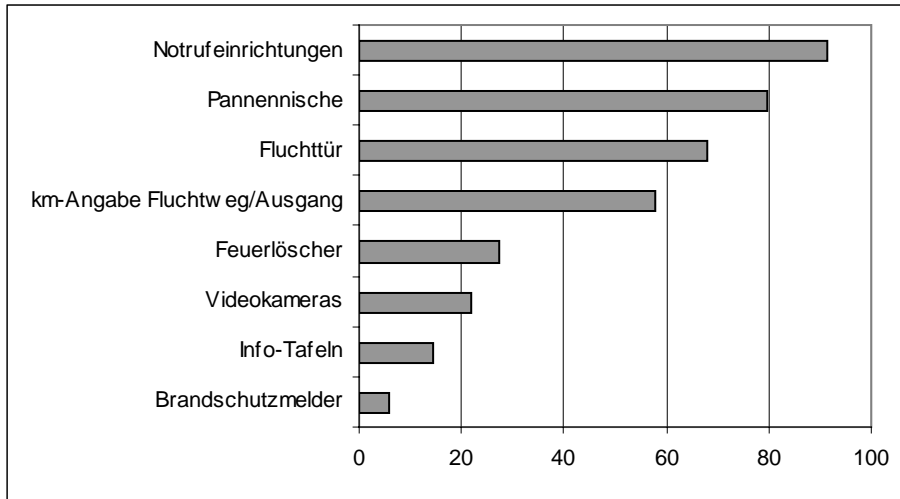
54% der Befragten stellten Unterschiede in der Bodenmarkierung zwischen den einzelnen Tunnelanlagen fest. Ein Drittel bezog sich dabei auf unterschiedliche Markierungen in Richtungs- und Gegenverkehrstunnels. 13% waren der Meinung, die Linien seien unterschiedlich stark, was auf Abnützungerscheinungen im Farbauftrag zurückzuführen sein dürfte. Zwei Testpersonen gaben an, weiße und gelbe Bodenmarkierungen bemerkt zu haben.

Fast alle Testpersonen (96%) registrierten die selbstleuchtenden Katzenaugen im Mittelstreifen und am Fahrbahnrand im Tunnelbereich. Diese wurden mit überwiegender Mehrheit als leitend, aber nicht ablenkend oder störend empfunden. Bezüglich der „Rumpelstreifen“ zeigt sich ein ähnliches Ergebnis: 93% nahmen diesen wahr, empfanden den Streifen als leitend und nicht ablenkend oder störend.

Weiters sollten die Personen beurteilen, ob sie die Bodenmarkierungen im Tunnelbereich als ausreichend bewerteten und falls nicht, was man verbessern könnte. 87% empfanden die Bodenmarkierungen als ausreichend. Verbesserungsvorschläge bezogen sich auf noch bessere Sichtbarmachung durch weiße Linien auf Gehsteigkanten. Spurhinweise sollten ausschließlich auf die Fahrbahn gemalt werden und nicht noch zusätzlich durch Verkehrsschilder angezeigt werden.

### **3.6.4 Beurteilung von Sicherheitseinrichtungen**

Die Personen wurden befragt, an welche Sicherheitseinrichtungen für den Notfall im Tunnelbereich sie sich erinnern konnten. Dabei wurden ihnen keine Antwortmöglichkeiten vorgegeben, sondern sie mussten aktiv aufzählen, welche Sicherheitseinrichtungen ihnen spontan einfallen.



**Abbildung 42: Erinnerung an Sicherheitseinrichtungen für den Notfall im Tunnelbereich, Spontannennungen der Versuchspersonen**

Am deutlichsten konnten sich die Personen an Notruffeinrichtungen erinnern (91%). 80% gaben an, Pannennischen gesehen zu haben. 68% konnten sich an Fluchttüren erinnern. 58% erwähnten die km-Angaben zum nächsten Ausgang, wobei diese Einrichtung im Vergleich zur Vorstudie fast viermal so oft genannt wurde (in der Tunnelstudie 2001: 15%). Gut ein Viertel nahmen Feuerlöscher wahr. Bei der Tunnelstudie 2001 waren es 10%. 22% gaben an, Videoüberwachungskameras im Tunnelbereich gesehen zu haben. 14,5% nahmen die Infotafeln als Sicherheitseinrichtung wahr. Nur 6% bemerkten Brandschutzmelder.

Zusätzlich gaben 22% der Befragten spontan die Dunstabsaugung in den Tunnels als besonders wichtig an.

Weiters wurden die Teilnehmer befragt, wie sie sich im Notfall entscheiden würden, in welche Richtung sie den Tunnel verlassen würden, wenn sie zu Fuß flüchten müssten.

96% antworteten, dass sie in die entgegengesetzte Richtung des Unfallortes laufen und sich dabei an der km-Angabe zur nächsten Fluchttür bzw. zum Ausgang orientieren würden. In der vorherigen Tunnelstudie trafen diese Wahl nur 18%. Für 12% war auch relevant, den Rauch zu beachten und, wenn möglich, bergab zu flüchten um dem Kamineffekt zu entgehen. Als eine wahrscheinliche Erklärung kann die intensive mediale Berichterstattung und die daraus resultierende Sensibilisierung des Themas Tunnelsicherheit beim Prozess zur Tunnelkatastrophe am Kitzsteinhorn 2000 herangezogen werden.

87% empfanden die Sicherheitseinrichtungen im Tunnelbereich für ihre persönliche Sicherheit als ausreichend. Dieser Wert stellt eine entscheidende Verbesserung hinsichtlich des persönlichen Sicherheitsgefühls in Strassentunnels gegenüber der Studie aus dem Jahr 2001 (57%) dar. Testpersonen, die sich nicht ausreichend sicher fühlten, wurden nach Optimierungsvorschlägen befragt. Dabei wünschten sich 10% mehr Pannennischen und 7% mehr Notausgänge. Angeregt wurde die Durchführung von Schulungen mit Tunnelbesuchen und regelmäßige Medienaufklärung zu Tunnelsicherheitseinrichtungen.

### 3.6.5 Zusammenfassung

Bezüglich der erinnerten Verkehrszeichen findet sich eine enorme Streuung hinsichtlich derer, die im Anschluss an die Fahrt erinnert wurden. Diese unterschiedliche Erinnerung spiegelt wohl in erster Linie die Wichtigkeit wider, die bestimmten Regelungen beigemessen wird. Interessanterweise wird das Tempolimit wie in der Tunnelstudie 2001 als noch wichtiger als das Überholverbot eingeschätzt – dies wohl, da diese Regel häufiger übertreten wird (lt. Salvisberg et al., 2004: dritthäufigste Unfallursache in Tunnels). Bemerkenswert ist, dass auch 2003 die vielfältigen Sicherheitshinweise wenig im Bewusstsein der Tunnelbenutzer vorhanden sind.

84% der Versuchspersonen geben an, Beleuchtungsunterschieden zwischen den Tunneln zu bemerken. Dabei wird vor allem auf die bessere Beleuchtung der neueren Tunneln hingewiesen, die alten werden eher als düster beschrieben. 45% der Fahrer meinen, dass die Beleuchtung einen Einfluss auf ihre Fahrweise hätte: Hellere Tunneln wären beruhigend und bewirkten einen sichereren Fahrstil, dunkle Tunneln bewirkten hingegen eine langsamere Fahrweise. Diese Ergebnisse entsprechen den Ergebnissen aus der Tunnelstudie 2001.

Von mehr als 1/3 der Fahrer wird eine bessere Anpassung der Beleuchtung der Ein- und Ausfahrten an die Lichtverhältnisse außerhalb des Tunneln gewünscht. Auch werden Lichtbänder statt Einzellichter zur Vermeidung der Blendung, sowie zwei Lichtbänder am Rand statt eines mittigen Lichtbandes zur Vermeidung der Lenktendenz in die Mitte vorgeschlagen.

Die Versuchspersonen stellen den Bodenmarkierungen, selbstleuchtende Katzenaugen und Rumpelstreifen durchgängig ein gutes Zeugnis aus, diese Gestaltungselemente werden nicht als ablenkend, störend sondern als leitend empfunden. Daher kann festgehalten werden, daß die Umsetzungen der Empfehlungen aus der Tunnelstudie 2001 bei der Sanierung und Neugestaltung von Tunneln von den Versuchspersonen durchwegs positiv bewertet wurden.

Die drei am häufigsten genannten Sicherheitseinrichtungen Notrufeinrichtungen (91%), Pannennischen (80%) und Fluchttüren (68%) wurden diesmal etwas besser als in der vorangegangenen Tunnelstudie erinnert. Bemerkenswert ist, daß im Vergleich zur Vorstudie die Kilometerangaben zum nächsten Ausgang fast vier mal so oft genannt wurden (58%). Dieses Ergebnis kann dahingehend interpretiert werden, daß einerseits durch die helle Ausleuchtung in den Tunneln dazu führt, daß die Wahrnehmbarkeit dieser Sicherheitseinrichtung wesentlich verbessert wurde, andererseits durch das oftmalige Durchfahren die Erinnerungsleistung naturgemäß ebenfalls verbessert wird. Rund ein Viertel nahmen Feuerlöscher wahr. Bei der Tunnelstudie 2001 waren es 10%.

87% empfanden die Sicherheitseinrichtungen im Tunnelbereich für ihre persönliche Sicherheit als ausreichend, bei der Studie 2001 waren es mit 57% deutlich weniger - eine entscheidende Verbesserung hinsichtlich des subjektiven Sicherheitsgefühls.



## 4 Gesamtzusammenfassung und Bilanz

Im Auftrag der ÖSAG führte das Kuratorium für Verkehrssicherheit gemeinsam mit dem Institut für Nichtinvasive Diagnostik (Joanneum, Weiz) im November 2003 eine verkehrspsychologische Untersuchung der neu errichteten Tunnelkette Klaus auf der Phyrnautobahn durch. Das Ziel dieser Feldstudie war die Analyse von Tunnelgestaltungselementen hinsichtlich ihrer Wirkung auf das Fahrverhalten im Realverkehr. Aufbauend auf den Ergebnissen der Tunnelstudie 2001 wurde die Umsetzung der damals vorgeschlagenen Empfehlungen evaluiert.

Die empirischen Daten von 69 Versuchspersonen stammen aus psychologischen Fragebögen (vor und nach der Fahrt), einem halbstandardisierten Interview nach der Fahrt, EKG-Messungen und aus der apparativ unterstützten Fahrverhaltensbeobachtung. Das Untersuchungsdesign aus der Vorgängerstudie (Christ et al., 2001) wurde um psychophysiologische Indikatoren ergänzt – dadurch wird die Belastung bzw. Befindlichkeit von Versuchspersonen beim Durchfahren eines Tunnels objektiv messbar.

Das Befahren von Tunnels beschreibt die überwiegende Mehrheit der Versuchspersonen als angenehm, eine geringe Anzahl von Probanden wird durch Tunnelfahrten belastet. Die Belastungsmessung zeigt, dass es kaum Personen gab, bei denen extreme Reaktionen – weder im Bereich des Tunnelportals, noch im Tunnel selbst, unabhängig von allen Eigenschaften – auftraten. Dieses Ergebnis weist zumindest auf keine physiologisch messbare Extremreaktion hin, wie es z.B. bei Personen mit einer ausgeprägten „Tunnelphobie“ zu erwarten wäre. Um das Thema „Tunnelangst“ eingehender zu untersuchen, müsste man ein Experiment mit speziell selektierten Probanden („Tunnelphobiker“) durchführen.

Der hier vorgenommene Vergleich zwischen alter und neuer Tunnelbauweise setzt auf einer Ebene an, wo Gestaltungsunterschiede schon weitgehend angeglichen wurden. Etwa  $\frac{3}{4}$  aller Befragten gaben an, dass sie mit der nun helleren Gestaltung der Tunnel zufrieden sind. Fahrfehler traten unter beiden Bedingungen im Vergleich zur Tunnelstudie 2001 selten auf, was für die erfolgreiche Umsetzung der Empfehlungen spricht. Bei der Geschwindigkeitswahl konnten keine deutlichen Unterschiede, die auf den Einfluß von neuer oder alter Bauweise direkt zurückzuführen sind, beobachtet werden. In den physiologischen Meßdaten konnten keine nennenswerten Unterschiede in den Herzraten zwischen den Tunnels alter und neuer Bauweise festgestellt werden. Allerdings zeigen sich beim Durchfahren von neuen Tunnels die ängstlich klassifizierten Lenker entspannter, was als Ergebnis optimierter Beleuchtung interpretiert werden kann.

Eine Einschränkung bei dieser Studie ist die Abhängigkeit von Tunnellänge und Röhrenanzahl: Da sich die Strecke hauptsächlich aus kurzen zweiröhriigen oder langen einröhriigen Tunnels zusammensetzt, läßt sich der Effekt Tunnellänge / Röhrenanzahl nicht direkt herausrechnen.

Die Tunnellänge, Röhrenanzahl und das Tunnelalter wirken sich auf das Fahrverhalten in einer komplexen Wechselwirkung deutlich aus. Es konnten zwar häufiger Fahrfehler (Gesamtfehleranzahl) in zweiröhriigen Tunnels und Geschwindigkeitsübertretungen häufiger in einröhriigen langen Tunnels beobachtet werden, diese Fehler lassen sich aber nicht eindeutig der Wirkung der Röhrenanzahl aufgrund der oben erwähnten Wechselwirkungen zuschreiben.

Es ließ sich weiters feststellen, daß es zu einer erhöhten psychophysiologischen Belastung in einröhrigen Tunnels kommt, was einerseits am Gegenverkehr, Rhythmuswechsel vor Tunnels oder an der mangelnden Anpassung an das generell niedrigere Tempolimit in einröhrigen Tunnels (80 km/h) liegen könnte. Der Herzratenverlauf in einem langen Tunnel ist charakterisiert durch ein geringes Niveau der Herzrate mitten im Tunnel, aber einen Anstieg kurz vor und während der Ausfahrt. Es kann daher von einer psychophysiologischen Auswirkung der Tunnellänge ausgegangen werden.

Die Tageszeit spielt bei Fahrverhaltensfehlern keine bedeutende Rolle, aus den physiologischen Daten geht aber hervor, daß das Herzrateniveau beim Durchfahren von Tunnels in der Nacht höher ist.

Für die von einigen Versuchspersonen geäußerten Bedenken, daß der ständige Wechsel zwischen Tunnel und freier Strecke problematisch sein könnte finden sich in den empirischen Daten keine Hinweise - in den SAF- und HeartMan-Auswertungen ist nur die freie Strecke auffällig: Auf der freien Strecke werden signifikant mehr Fahrfehler gemacht und die physiologisch gemessene Entspannung ist am niedrigsten ausgeprägt. In Bezug auf die Verkehrssicherheit schneiden die untersuchten Tunnelabschnitte daher im Allgemeinen besser ab als die freie Strecke.

Tunnel mit modernem Portal werden subjektiv als weniger übersichtlich, weniger informativ, eher bremsend und gefährlich eingeschätzt. Diese Bewertungen werden durch die Beobachtungsdaten aus der Fahrfehlerzählung zwar gestützt, die Gesamtfehleranzahl ist jedoch so gering, daß keine eindeutigen Schlüsse hinsichtlich der Auswirkung moderner Portalgestaltung auf das Fahrverhalten plausibel sind. Klassische Portale schätzen die Versuchspersonen als nur wenig leitend, aber eher übersichtlich und sehr informativ ein. Es konnten aber keine Fahrfehler festgestellt werden, aber ähnlich viele Geschwindigkeitsüberschreitungen wie bei Tunnels mit modernem Portal. Die Galerie des Bosrucktunnels wird als am wenigsten beengend, am wenigsten bremsend und am wenigsten gefährlich bewertet. Es wurden keine Fahrfehler festgestellt und die Geschwindigkeitsüberschreitungen sind signifikant seltener als in den anderen Tunnel.

Die Häufigkeiten der erinnerten Verkehrszeichen spiegelt wohl in erster Linie die Wichtigkeit wider, die bestimmten Regelungen beigemessen wird: das Tempolimit wurde als noch wichtiger als das Überholverbot eingeschätzt – dies wohl, da diese Regel häufiger übertreten wird. Bemerkenswert ist, daß die vielfältigen Sicherheitshinweise 2003 etwas besser erinnert wurden als in der Tunnelstudie 2001.

Von den Befragten wurden einige Mutmaßungen bezüglich Vor- und Nachteilen hellerer Tunnel angestellt, diese finden aber in den empirischen Vergleichen der beiden Tunnel keine stringente Entsprechung. Den Bodenmarkierungen, selbstleuchtende Katzenaugen und Rumpelstreifen wurde durchgängig ein gutes Zeugnis ausgestellt, diese Gestaltungselemente wurden nicht als ablenkend, störend sondern als leitend empfunden. Die helle Ausleuchtung in den Tunnels führt dazu, daß die Wahrnehmbarkeit von Sicherheitseinrichtungen verbessert wurde.



Tabelle 17: Ergebnisübersicht (Fahrfehler, Geschwindigkeits- & HeartMan-Daten sind instrumentierte, objektivierte Messungen)

<b>Bedingung</b>	<b>Befragung</b>	<b>Psychologische Fragebögen</b>	<b>Beobachtung (Fahrfehler)</b>	<b>Beobachtung (Geschwindigkeit)</b>	<b>Belastungsmessung (HeartMan)</b>
<b>Befindlichkeit</b>	80% erlebten die Fahrt als angenehm; Angabe von gefährliche Situationen: Autobahnende bei Schön unübersichtlich, dicht auffahrende LKW, bei Spurverengungen/Tempolimits riskante Überholmanöver durch andere PKW	Für Ängstliche wirkt die Tunnelfahrt eher belastend	—	—	Entspannung in Tunnels höher als auf der Freistrecke
<b>Alte vs. Neue Tunnel, Tunnelwände</b>	Große Zufriedenheit mit der neuen Tunnelgestaltung (Heller, freundlicher und wenig beengend); Wunsch: weniger monotone Farbgestaltung	Höher Ängstliche profitieren von der neuen Tunnelbauweise	Trend: Weniger Fehler in den neuen Tunnels	Signifikante Unterschiede bei Hin und Rückfahrt im neuen Tunnel, plausibelste Ursache: Steigung/Gefälle, eher nicht Tunnelalter	Niedrig Ängstliche entspannen sich mehr im alten Tunnel, höher Ängstliche mehr im neuen Tunnel
<b>Ein vs. Zweiröhrig, Kurz vs. Lang</b>	LED-Anzeigen blenden bei Dunkelheit, Wunsch: Gegenverkehrsbereiche früher ankündigen, bessere bauliche Trennung von Gegenverkehrsbereichen, zweiröhriger Ausbau wird bevorzugt	Ängstlichkeit & Lebensalter sind Einflussfaktoren auf die Entspannung	In einröhrigen Tunnels weniger Fahrfehler (auch vom Tunnelalter abhängig)	Überschreitungen in einröhrigen bzw. langen Tunnels signifikant häufiger	Entspannung in zweiröhrigen Tunnels höher, auch höhere Belastung in einröhrigen Tunnels
<b>Streckenmerkmale</b>	Wechselabschnitt zwischen Tunnel und Freiland für ein Viertel der Vpn störend durch Sonnenblendung, Wunsch: kurze Freilandabschnitte überdachen oder Verbindung durch Galerien	—	Mehr Fahrfehler auf der freien Strecke als im Tunnel / Wechselabschnitt (Spurhaltung, Blinken, Geschwindigkeit zu hoch)	<sup>6</sup> —	Geringe Anspannung im langen Tunnel, aber kein Monotonieeffekt, höhere Anspannung auf der freien Strecke
<b>Portale</b>	Modernes Portal wird eher negativ eingeschätzt (unübersichtlich, wenig informativ), Klassisches Portal wird sehr informativ und eher leitend eingestuft, das Bosruckportal (Galerie) wird am besten beurteilt	—	Abstandsfehler beim modernen Portal signifikant häufiger	Geringe Geschwindigkeitsüberschreitungen bei Galeriegestaltung, häufige Überschreitungen bei modernen Portalen, teilweise auch bei klassischer Gestaltung	Portalbereiche stellen keine hohe psychophysiologische Belastung dar

<sup>6</sup> aufgrund stark unterschiedlicher Tempolimits Vergleichbarkeit nicht gewährleistet

Zieht man Bilanz, kann festgehalten werden, daß die Umsetzungen der Empfehlungen aus der Tunnelstudie 2001 bei der Sanierung und Neugestaltung von Tunnels von den Versuchspersonen durchwegs positiv bewertet wurden, vor allem hinsichtlich des subjektiven Sicherheitsgefühls. Diese Einschätzung der Versuchspersonen wird auch durch die geringe Anzahl der im Tunnel beobachteten Fahrfehler (objektives Risiko) und durch die unauffälligen Ergebnisse der Belastungsmessung gestützt.

Das aktuell hohe Niveau der Tunnelgestaltung zeigt sich damit auf allen untersuchten Ebenen. Eines der grundlegenden Prinzipien für die erfolgreiche Verbesserung von Tunnels liegt in einem sauberen Erscheinungsbild und einer den Wahrnehmungserfordernissen gerechten Lichtgestaltung.

Verbesserungspotentiale liegen nun vor allem nicht mehr im Tunnel selbst, sondern in der Tunnelvorplatzgestaltung, auf die Verkehrssicherheit hin optimierten Trassenverläufen und die Platzierung etwaiger Anschlußstellen.

## 5 Literatur

- Brandstätter, Ch. (1989). *Die Wiener Fahrprobe. Anwendungsmöglichkeiten multiplikativer Poissonmodelle in der Verhaltensbeobachtung*. Unveröffentlichte Dissertation. Universität Wien.
- Christ, R., Smuc, M, Gatscha, M & Milanovic, M. (2002). *Analyse von Tunnelgestaltungselementen*. Kuratorium für Verkehrssicherheit, Institut für Verkehrspsychologie, Wien.
- Kaba, A., Klemejak, W. (1993). *Informationsaufnahme und Informationssysteme*. Kleine Fachbuchreihe des KfV, Bd. 29. Wien.
- Reker, K., Buss, E. & Zwieliich, F. (1993). *Fahrverhaltensbeobachtung im Raum Berlin. Anpassungsprobleme im Rahmen der Deutschen Einheit*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Mensch und Sicherheit Heft 21, Bergisch Gladbach, 1993, 203 S.
- Risser, R., Brandstätter, Ch. (1985). *Die Wiener Fahrprobe. Freie Beobachtung*. Kleine Fachbuchreihe des Kuratoriums für Verkehrssicherheit, 21. Wien: Literas.
- Salvisberg, U. (2003). *Verkehrssicherheit in Autobahn- und Autostraßentunneln*. In: Zeitschrift für Verkehrssicherheit 49.Jg., Heft 4/4. Quartal 2003, S. 198.
- Schandry, R. (1998). *Lehrbuch der Psychophysiologie*. Studienausgabe. Beltz, Psychologie Verlags Union, Weinheim.
- Silbernagl, S., Despopoulos, A. (1991). *Taschenatlas der Physiologie*. 4., überarb. Aufl. Stuttgart ; Dt. Taschenbuch-Verlag.: New York
- Smuc, M., Christ, R. (2001): *System zur Analyse des Fahrverhaltens (SAF)*. Kuratorium für Verkehrssicherheit.
- Wassermann, J. (1999). *Measurement System for Mobile Observation of Vehicle manoeuvre (MOVE), Driving Research In Instrumented Vehicles (DriiVE), Workshop at VTT, Finland, July 21-23, 1999, in Espoo, Finland*.