

Vor-Sicht im Straßenverkehr

–

**Experimentelle Untersuchung der
somatischen Antizipation von Risiko**

Zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften

der Fakultät für Maschinenbau

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

genehmigte

Dissertation

von

Dipl.-Psych. Tobias Heine

Tag der mündlichen Prüfung: 09.10.2017

Hauptreferentin: Prof. Dr.-Ing. Barbara Deml

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Matthias Rötting

Kurzfassung

Eine wichtige Fähigkeit eines Autofahrers besteht darin, die weitere Entwicklung einer Verkehrssituation vorhersehen zu können und darauf aufbauend Entscheidungen zu treffen. Diese Fähigkeit wird auch als *Antizipation* bezeichnet und ermöglicht dem Fahrer, sich anbahnende Gefahren durch entsprechende Handlungen frühzeitig abzuwenden. Aufbauend auf der Theorie der somatischen Marker (Damasio, 1994) wird in der vorliegenden Arbeit versucht, die Antizipation von riskanten Verkehrssituationen auf physiologischer Ebene anhand der Hautleitfähigkeit zu messen. Das vorrangige Ziel besteht darin, zu prüfen, inwiefern dadurch die Antizipationsfähigkeit des Menschen im Rahmen von Mensch-Maschine-Schnittstellen nutzbar gemacht werden kann. In Experiment I wird untersucht, welche Rolle somatische Marker bei der Antizipation von generischen Objektkollisionen spielen. Experiment II widmet sich der Untersuchung somatischer Marker bei der Antizipation von videobasierten Entscheidungen im Straßenverkehr. Experiment III überprüft die somatische Antizipation von Entscheidungen beim Selbstfahren in einem Simulator. Die Ergebnisse legen nahe, dass die Höhe der antizipatorischen Hautleitfähigkeitsaktivität systematisch von der Art des Szenarios (Straßentyp und durchzuführendes Manöver), der Geschwindigkeit eines beteiligten Fahrzeugs und dem Zeitpunkt der Einleitung des Manövers beeinflusst wird. Um die gefundenen Zusammenhänge zwischen Fahrerfahrung und somatischer Aktivierung theoretisch erklären zu können, wird das Modell der erfahrungsabhängigen somatischen Aktivierung vorgeschlagen. Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung somatischer Antizipation im Rahmen von Mensch-Maschine-Schnittstellen werden ausführlich diskutiert.

Abstract

To foresee the future development of a traffic situation and make decisions based on these predictions is an important ability of a driver. This ability is also referred to as *anticipation* and enables the driver to avert upcoming hazards by applying compensating actions. Based on the Somatic Marker Hypothesis (Damasio, 1994), the present dissertation attempts to measure the anticipation of risky traffic situations on a physiological level by means of the electrodermal activity. The primary objective is to examine to what extent humans' ability to anticipate can be used as part of human-machine-interfaces. In Experiment I, the role of somatic markers in the anticipation of generic object collisions is investigated. Experiment II addresses somatic markers in the anticipation of video-based decisions in road traffic. Experiment III examines the somatic anticipation of decisions when driving in a simulator. The results indicate that the strength of the anticipatory electrodermal activity is systematically related to the traffic scenario (road type and maneuver to be performed), the speed of a participating vehicle, and the time of initiation of the maneuver. In order to be able to explain theoretically the found relationship between driver's experience and somatic activation, the model of experience-dependent somatic activation is proposed. Opportunities and limitations of the use of somatic anticipation for human-machine interfaces are extensively discussed.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei denjenigen Menschen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein herzlicher Dank gilt Frau Prof. Dr.-Ing. Barbara Deml. Sowohl ihre fachliche Expertise als auch ihre motivationale Unterstützung waren von unschätzbarem Wert für diese Arbeit. Besonders bedanken möchte ich mich für das entgegengebrachte Vertrauen und die damit verbundenen Freiheiten bei der Konzeption und Durchführung des Forschungsvorhabens.

Ein großer Dank gebührt Herrn Prof. Dr.-Ing. Matthias Rötting für die Übernahme des Zweitgutachtens sowie für wertvolle inhaltliche Impulse.

Sehr bedanken möchte ich mich bei allen meinen Kolleginnen und Kollegen am ifab für den hochwertigen fachlichen Austausch und die großartige Arbeitsatmosphäre. Besonders bedanken möchte ich mich bei Gloria Pöhler, die durch viele konstruktive Anmerkungen und kritisches Korrekturlesen wesentlich diese Arbeit beeinflusst hat. Sabrina Bringeland danke ich für viele wertvolle Anregungen und Diskussionen, insbesondere zur Signalverarbeitung.

Mein persönlicher Dank geht an meine Familie, die an mich geglaubt und mich unterstützt hat.

Zuletzt gilt mein Dank dem wichtigsten Menschen in meinem Leben, ohne den diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Danke Philipp. Für alles.

Karlsruhe, im Oktober 2017

Tobias Heine

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Theoretischer Hintergrund: Antizipation	5
2.1	Allgemeine Definition	6
2.2	Konzeptionen von Antizipation	7
2.2.1	Antizipation in Fahrerverhaltensmodellen	7
2.2.2	Antizipation im Modell des Situationsbewusstseins	17
2.2.3	Kritik der bisherigen Konzeptionen von Antizipation	19
2.3	Antizipation von Mensch und Fahrzeug	24
2.3.1	Informationsverarbeitung des Fahrzeugs	25
2.3.2	Konzeption einer Schnittstelle zur Anreicherung des Situationsmodells des Fahrzeugs	26
2.4	Die Theorie der somatischen Marker	28
2.4.1	Ursprung der Theorie	29
2.4.2	Die Rolle somatischer Marker im Entscheidungsprozess	36
2.4.3	Somatischer Marker: Eine Alarmglocke des Körpers	37
2.4.4	Wichtige Begriffe und Konzepte	39
2.4.5	Weitere Befunde	42
2.4.6	Kritik	44
2.5	Die Theorie der somatischen Marker im Kontext Fahrer-Fahrzeug	47
2.5.1	Empirische Verankerung	47

2.5.2	Theoretische Verankerung	53
2.6	Arbeitsdefinition Antizipation	58
2.7	Zusammenfassung	59
3	Theoretischer Hintergrund: Hautleitfähigkeit	61
3.1	Physiologische Grundlagen	61
3.2	Messung der Hautleitfähigkeit	61
3.3	Signaleigenschaften	64
3.3.1	Latenzzeiten	64
3.3.2	Interindividuelle Varianz	65
3.4	Auswertung	65
3.4.1	Klassische Auswertung	65
3.4.2	Kontinuierliche Dekompositionsanalyse	66
3.5	Operationalisierung somatischer Marker	69
4	Übersicht Forschungsprogramm	71
5	Experiment I: Antizipation von generischen Objektkollisionen	73
5.1	Fragestellungen	73
5.2	Methoden	74
5.2.1	Materialien	75
5.2.2	Messapparatur	79
5.2.3	Versuchsablauf	79
5.2.4	Datenauswertung	80
5.2.5	Stichprobe	82
5.2.6	Temperaturkontrolle	82
5.3	Ergebnisse	82
5.3.1	Fragestellung 1	82
5.3.2	Fragestellung 2	84
5.3.3	Fragestellung 3	84
5.3.4	Fragestellung 4	84

5.3.5 Fragestellung 5	86
5.4 Diskussion	86
5.4.1 Unbekannter Entscheidungszeitpunkt	87
5.4.2 Emotionale Bedeutsamkeit	88
5.5 Zusammenfassung	89
6 Experiment II: Antizipation von videobasierten Entscheidungen im Straßenverkehr	91
6.1 Fragestellungen	91
6.2 Methoden	92
6.2.1 Materialien	92
6.2.2 Messapparatur	95
6.2.3 Versuchsablauf	95
6.2.4 Datenauswertung	96
6.2.5 Stichprobe	96
6.2.6 Atemartefaktkontrolle	97
6.2.7 Temperaturkontrolle	99
6.3 Ergebnisse	99
6.3.1 Fragestellung 1	99
6.3.2 Fragestellung 2	103
6.3.3 Fragestellung 3	104
6.3.4 Weiterführende Analysen zum Haupteffekt Video	105
6.4 Diskussion	110
6.5 Zusammenfassung	113
7 Experiment III: Antizipation von simulatorbasierten Entscheidungen im Straßenverkehr	115
7.1 Fragestellungen	115
7.2 Methoden	116
7.2.1 Verkehrssituationen	116
7.2.2 Fahrsimulator	123
7.2.3 Messapparatur	124

7.2.4	Versuchsablauf	125
7.2.5	Datenauswertung	127
7.2.6	Stichprobe	130
7.2.7	Atemartefaktkontrolle	130
7.2.8	Temperaturkontrolle	131
7.3	Ergebnisse	131
7.3.1	Fragestellung 1	131
7.3.2	Fragestellung 2	139
7.3.3	Fragestellung 3	140
7.4	Diskussion	143
7.4.1	Situative Einflüsse auf somatische Marker	143
7.4.2	Somatische Marker und Fahrerfahrung	144
7.4.3	Somatische Marker und subjektives Risiko	145
7.4.4	Bewegungsartefakte	145
7.4.5	Latenz des Hautleitfähigkeitssignals	147
7.4.6	Darbietung der Verkehrssituationen	148
7.4.7	Stichprobe	150
7.5	Zusammenfassung	150
8	Das Modell der erfahrungsabhängigen somatischen	
	Aktivierung	151
8.1	Empirische Befunde	151
8.2	Modellbeschreibung	151
8.3	Validierung	155
8.4	Zusammenfassung	156
9	Implikationen	157
9.1	Implikationen für Mensch-Maschine-Schnittstellen	157
9.1.1	Grenzen für die Verwendung von SCR-Daten in Mensch-Maschine-Schnittstellen	157
9.1.2	Klassifikation der Automationsstufen	158
9.1.3	Anwendungsmöglichkeiten	159

9.2 Implikationen für Fahrerverhaltensmodelle	169
9.3 Implikationen für die Theorie der somatischen Marker	170
10 Zusammenfassung und Ausblick	173
10.1 Zusammenfassung	173
10.2 Ausblick	174
10.3 Fazit	175
11 Literaturverzeichnis	177
Anhang	191
A Anhang Experiment I	193
B Anhang Experiment II	201
C Anhang Experiment III	207

Abbildungsverzeichnis

1.1	Schematischer Aufbau der Arbeit	2
2.1	Abstandssensor bei Kurvenfahrt.	5
2.2	Feld des sicheren Fahrens und Mindestbremsweg.	8
2.3	Sicheres Feld und zukünftige Position des Fußgängers.	9
2.4	Aufgabenanalyse des Fahrerverhaltens.	10
2.5	Theorie der Risikohomöostase.	12
2.6	Null-Risiko-Theorie.	13
2.7	Theorie der Aufgabenschwierigkeitsallostase.	15
2.8	„SAFE-Modell“.	16
2.9	Modell des Situationsbewusstseins.	18
2.10	Rückgekoppeltes Modell des Situationsbewusstseins.	21
2.11	Konzeption einer komplementären Schnittstelle.	27
2.12	Phineas Gage.	30
2.13	Rekonstruktion der Hirnschädigung von Phineas Gage.	31
2.14	Regionen des Frontallappens im menschlichen Gehirn.	31
2.15	Struktur der Iowa Gambling Task.	34
2.16	Somatische Marker im Entscheidungsprozess.	36
2.17	Unterschied zwischen Emotion und Gefühl.	41
2.18	Körperschleife und Pseudokörperschleife.	42
2.19	Schema zur Einteilung von Hautleitfähigkeitsreaktionen.	50
2.20	Theorie der Risikogefühlshomöostase.	54
2.21	Risikomonitor-Modell.	56
3.1	Ausgangspunkte von Hautleitfähigkeitsreaktionen im ZNS.	62
3.2	Mögliche Ableitungen an der Hand.	63
3.3	Idealtypische phasische Hautleitfähigkeitsreaktion (SCR).	64
3.4	Überlagerte phasische Hautleitfähigkeitsreaktionen.	66

3.5	Kontinuierliche Dekompositionsanalyse.	68
4.1	Übersicht des Forschungsprogramms.	71
5.1	Collision Detection Task.	77
5.2	Ablaufdiagramm der Collision Detection Task.	78
5.3	Versuchsaufbau Collision Detection Task.	80
5.4	Antizipatorische Hautleitfähigkeitswerte für Kollisionsclips und Nicht-Kollisionsclips.	83
5.5	Antizipatorische Hautleitfähigkeitswerte für alle Clips.	85
6.1	Screenshot WRBTV.	93
6.2	Ablaufdiagramm des WRBTV.	94
6.3	Antizipatorische Hautleitfähigkeitswerte für den Zwischensubjekteffekt Gruppe	100
6.4	Antizipatorische Hautleitfähigkeitswerte für alle Videos des WRBTV	102
7.1	Szenario Autobahn.	118
7.2	Szenario Kreuzung.	120
7.3	Szenario Landstraße.	122
7.4	Kollisionssituation basierend auf Autobahnszenario.	123
7.5	Innen- und Außenansicht Fahrsimulator.	124
7.6	Ablaufdiagramm Experiment III.	127
7.7	Antizipatorische Hautleitfähigkeitswerte für den Haupteffekt Szenario.	133
7.8	Antizipatorische Hautleitfähigkeitswerte für den Haupteffekt Geschwindigkeit.	134
7.9	Antizipatorische Hautleitfähigkeitswerte für den Haupteffekt Risiko.	134
7.10	Antizipatorische Hautleitfähigkeitswerte für den Interaktionseffekt Szenario x Risiko.	136

7.11	Antizipatorische Hautleitfähigkeitswerte für den Interaktionseffekt Szenario x Geschwindigkeit x Risiko.	136
7.12	Antizipatorische Hautleitfähigkeitswerte für die Situationen AS160L und AS160C (Kollisionssituation).	139
7.13	Vergleich der Hautleitfähigkeitswerte mit und ohne Latenz.	149
8.1	Modell der erfahrungsabhängigen somatischen Aktivierung.	153
9.1	Rückschluss auf reduzierte Fahrerfahrung.	166
A.1	Collision Detection Task Teil 1.	193
A.2	Collision Detection Task Teil 2.	194
A.3	Collision Detection Task Teil 3.	195
A.4	Collision Detection Task Teil 4.	196
A.5	Collision Detection Task Teil 5.	197
A.6	Collision Detection Task Teil 6.	198
A.7	Fragebogen Experiment I.	199
B.1	Wiener Risikobereitschaftstest Verkehr Teil 1.	202
B.2	Wiener Risikobereitschaftstest Verkehr Teil 2.	203
B.3	Wiener Risikobereitschaftstest Verkehr Teil 3.	204
B.4	Wiener Risikobereitschaftstest Verkehr Teil 4.	205
B.5	Fragebogen Experiment II und III.	206
C.1	Schematische Skizze Szenario Autobahn.	207
C.2	Schematische Skizze Szenario Kreuzung.	208
C.3	Schematische Skizze Szenario Landstraße.	208

Tabellenverzeichnis

2.1	Eigenschaften von System 1 und System 2.	20
6.1	ANOVA mit Messwiederholung für die Faktoren Video und Gruppe.	100
6.2	Korrelationen zwischen mittlerer antizipatorischer Hautleitfähigkeit, Fahrhäufigkeit und Fahrintensität.	103
6.3	Korrelationen zwischen dem TAS-Gesamtwert und der mittleren Reaktionszeit.	104
6.4	Mittelwerte und Standardabweichung der antizipatorischen Hautleitfähigkeitswerte für alle Videos.	109
7.1	Übersicht aller 21 Verkehrssituationen.	117
7.2	Definition der Entscheidungszeitpunkte.	129
7.3	ANOVA mit Messwiederholung für die Faktoren Szenario, Geschwindigkeit und Risiko.	132
7.4	Post-Hoc Vergleiche für den Haupteffekt Szenario.	133
7.5	Post-Hoc Vergleiche für den Interaktionseffekt Szenario x Risiko.	135
7.6	Post-Hoc Vergleiche für den Interaktionseffekt Szenario x Geschwindigkeit x Risiko.	137
7.7	ANOVA mit Messwiederholung für den Haupteffekt Fahrzeug sowie die Interaktionseffekte mit Fahrzeug.	138
7.8	Korrelationen zwischen mittlerer antizipatorischer Hautleitfähigkeit, Fahrhäufigkeit und Fahrintensität.	140
7.9	Korrelationen für messwiederholte Daten zwischen der SCR-Aktivität und der subjektiven Risikobewertung	142
9.1	Stufen der Fahrzeugautomatisierung nach SAE.	160

9.2 Bezug der Anwendungen zu den unterschiedlichen Stufen der Fahrzeugautomatisierung.	161
B.1 Vergleich der Daten mit und ohne Atemartefakte in Experiment II	201
C.1 Vergleich der Daten mit und ohne Atemartefakte in Experiment III.	209

Abkürzungsverzeichnis

ACC	Adaptive Cruise Control, Abstandsregeltempomat
ANOVA	Analysis of Variance, Varianzanalyse
CDT	Collision Detection Task
EDA	Elektrodermale Aktivität
FAS	Fahrerassistenzsystem
Hz	Hertz, Einheit der Frequenz
ifab	Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation
IGT	Iowa Gambling Task
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
M	Mittelwert
MMS	Mensch-Maschine-Schnittstelle
N	Stichprobengröße
r	Korrelationskoeffizient
r_{Eff}	Effektstärke
SCL	Skin Conductance Level, Hautleitfähigkeitsniveau
SCR	Skin Conductance Response, Hautleitfähigkeitsreaktion
SD	Standard Deviation, Standardabweichung
TAS-20	Toronto-Alexithymie-Skala
μS	Mikrosiemens, Maßeinheit des elektrischen Leitwertes
V	Volt
WRBTV	Wiener Risikobereitschaftstest Verkehr

Anmerkungen

Die Arbeit orientiert sich bei der Schreibweise von Zahlen an den Richtlinien der Deutschen Gesellschaft für Psychologie (Deutsche Gesellschaft für Psychologie, 2007). Dezimalzahlen werden entsprechend mit einem Punkt geschrieben (z. B. 1.9). Als Tausendertrennzeichen wird ein schmales Leerzeichen verwendet (z. B. 500 000).

Aus Gründen der Lesbarkeit wird an Stellen, an denen eine geschlechtsneutrale Formulierung aus grammatikalischer oder stilistischer Sicht unpassend erschien, auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichwohl für beiderlei Geschlecht.

1 Einleitung

Der erste Satz der Straßenverkehrsordnung lautet: „Die Teilnahme am Straßenverkehr erfordert ständige Vorsicht und Rücksichtnahme“ (STVO.2013, 2013). Er stellt damit eine übergeordnete Handlungsmaxime für Autofahrer dar. Vorsicht kann definiert werden als „aufmerksames, besorgtes Verhalten in Bezug auf die Verhütung eines möglichen Schadens“ (Dudenredaktion, 2015, S. 1961).

Das primäre Motiv eines Autofahrers besteht darin, das Fahrziel unbeschadet zu erreichen. Dafür ist es erforderlich, mögliche Gefahren frühzeitig zu erkennen, um diese durch entsprechende Handlungsänderungen abwenden zu können. Die Fähigkeit, nicht nur auf unmittelbare Gegebenheiten zu reagieren, sondern auf Grundlage möglicher zukünftiger Zustände das aktuelle Verhalten anzupassen, wird auch als *Antizipation* bezeichnet. Ein vorsichtiger Fahrer ist in der Lage, über den aktuellen Ereignishorizont hinauszublicken und zukünftige Entwicklungen vorherzusehen, er fährt gewissermaßen mit „Vor-Sicht“. Dabei sind die erwarteten zukünftigen Zustände und die daraus abzuleitenden Entscheidungen und Handlungen wesentlich von bereits gemachten Vorerfahrungen abhängig.

Die vorliegende Arbeit untersucht die Antizipation von Autofahrern in potentiell riskanten Verkehrssituationen. Im Fokus stehen dabei körperlich-emotionale Hautleitfähigkeitssignale – sogenannte *somatische Marker* – die als aktivierte emotionale Vorerfahrung den Entscheidungsprozess maßgeblich beeinflussen. Die Arbeit will damit einen Beitrag zu einem besseren Verständnis des Fahrerverhaltens leisten. Den Schwerpunkt bildet jedoch die Frage, inwiefern sich aus antizipatorischen Hautleitfähigkeitsdaten relevante Informationen gewinnen lassen, die im Rahmen von Mensch-Maschine-Schnittstellen Verwendung finden können.

Die Arbeit gliedert sich in folgende Kapitel (einen schematischen Aufbau der Inhalte zeigt Abbildung 1.1).

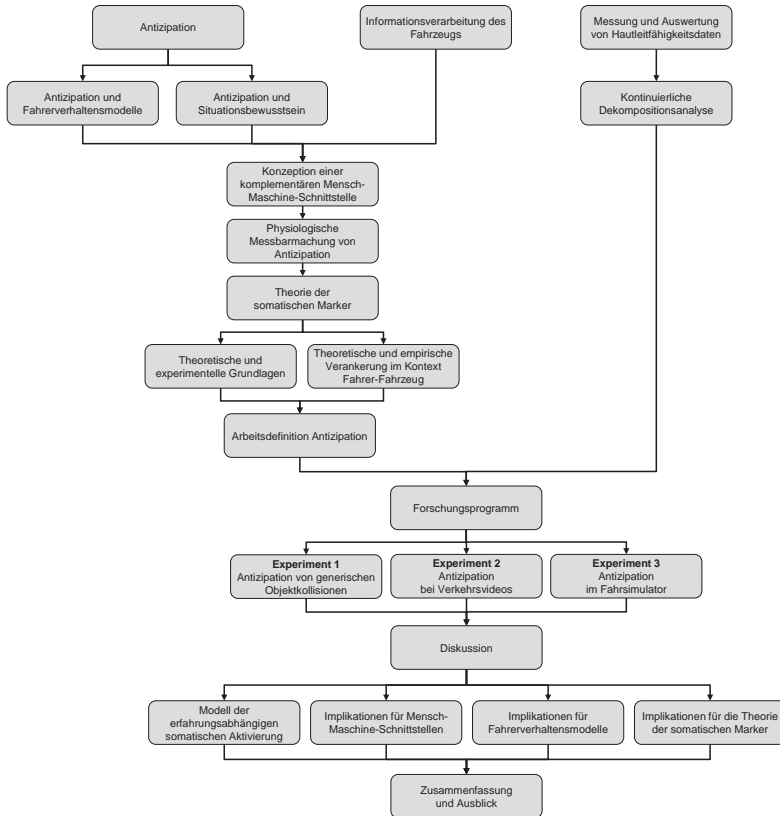


Abb. 1.1: Schematischer Aufbau der Arbeit.

In Kapitel 2 wird zunächst der theoretische Hintergrund des Konstrukts Antizipation beleuchtet. Ausgehend von einer allgemeinen Definition wird erläutert, auf welche Art und Weise die Fähigkeit zur Antizipation in bisherigen Fahrerverhaltensmodellen sowie im Modell des Situationsbewusstseins angelegt ist. Anschließend wird ein Konzept einer komplementären Schnittstelle zwischen Fahrer und Fahrzeug theoretisch hergeleitet. Mit dieser Mensch-Maschine-Schnittstelle soll das Fahrzeug in die Lage versetzt werden, Situationen mithilfe der Antizipationsfähigkeit des Menschen besser zu

verstehen. Die neurowissenschaftliche Basis zur Messung von Antizipation stellt die Theorie der somatischen Marker (Damasio, 1994) dar. Diese wird ausführlich vorgestellt und kritisch diskutiert. Im Anschluss wird aufgezeigt, in welcher Form die Theorie der somatischen Marker bislang theoretisch und empirisch im Kontext Fahrer-Fahrzeug verankert ist.

In Kapitel 3 wird die Hautleitfähigkeit als Messmethode der Antizipation vorgestellt. Im Anschluss an einen kurzen Einblick in die physiologischen Grundlagen der Hautleitfähigkeit wird auf Messmethoden und besondere Eigenschaften des Signals eingegangen. Einen Schwerpunkt bildet die Auswertung der Daten, wobei ein besonderes Augenmerk auf die in dieser Arbeit verwendete kontinuierliche Dekompositionsanalyse gelegt wird.

Die folgenden Kapitel 5, 6, und 7 sind der detaillierten Beschreibung der Experimente gewidmet. In Experiment I wird untersucht, welche Rolle somatische Marker bei der Antizipation von generischen Objektkollisionen spielen. Daran anschließend erfolgt in Experiment II eine Untersuchung somatischer Marker bei der Antizipation von videobasierten Entscheidungen im Straßenverkehr. Experiment III überprüft die somatische Antizipation von Entscheidungen beim Selbstfahren in einem Simulator.

In Kapitel 8 wird ein Modell abgeleitet, das in der Lage ist, die gefundenen empirischen Zusammenhänge zwischen Fahrerfahrung und somatischer Aktivierung theoretisch zu erklären. Im Anschluss wird in Kapitel 9 ausführlich diskutiert, welche Implikationen sich aus der Arbeit für die Verwendung somatischer Marker in Mensch-Maschine-Schnittstellen ergeben. Daneben werden auch wichtige Folgerungen für Fahrerverhaltensmodelle und für die Theorie der somatischen Marker erörtert.

In Kapitel 10 erfolgt eine abschließende Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse sowie ein Ausblick auf zukünftige Forschungs- und Anwendungsmöglichkeiten.

2 Theoretischer Hintergrund: Antizipation

Trotz aller technischer Fortschritte in Bezug auf die Erfassung der Verkehrsumwelt ist eine Problematik bislang nur unzureichend gelöst: „Heutige Sensoren erfassen zwar die Fahrzeugumgebung bis zur Rundumsicht, von einem Situationsverstehen ist die Entwicklung jedoch noch weit entfernt“ (Winner, 2015, S. 1183). Für einen Abstandssensor macht es keinen Unterschied, ob die Distanz zum Vorderfahrzeug dadurch größer wird, dass das Vorderfahrzeug schneller fährt, die Spur wechselt, oder sich in einer Kurve befindet und deshalb aus der Sichtweite des Sensors gerät (siehe Abbildung 2.1). In allen drei Fällen würde er eine freie Strecke detektieren und bei aktiviertem Abstandsregeltempomat (Adaptive Cruise Control, ACC) die Geschwindigkeit erhöhen (vgl. Piccinini, Rodrigues, Leitao & Simoes, 2015; Beggiano & Krems, 2013). Der Mensch hingegen würde nur in den ersten beiden Fällen die Geschwindigkeit erhöhen.

Woran liegt es, dass der Fahrer vor der Kurve – trotz vermeintlich freier Strecke – nicht beschleunigt? Der Grund dafür ist, dass ein Mensch in der Lage ist, den weiteren Verlauf einer Situation „vorherzusehen“ und auf Basis dieser Vorhersage das aktuelle Verhalten anzupassen. Der Fahrer „weiß“,

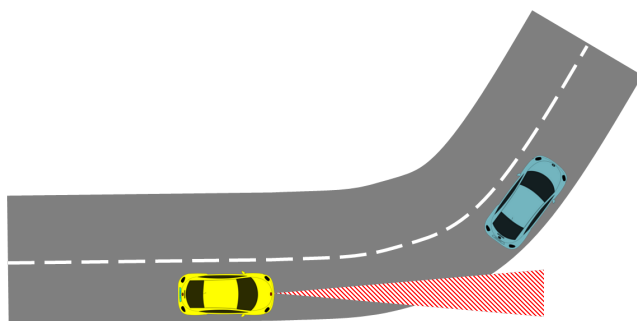


Abb. 2.1: Erfasst der Abstandssensor das Vorderfahrzeug aufgrund einer Kurve nicht mehr, geht das Fahrzeug von einer freien Strecke aus und beschleunigt.

dass das vor ihm fahrende Auto hinter der Kurve wieder auftauchen wird und verzichtet deshalb auf eine Beschleunigung. Die Fähigkeit, den weiteren Verlauf der Situation vorherzusehen, wird auch als *Antizipation* bezeichnet.

2.1 Allgemeine Definition

Robert Rosen hat in seinem erstmalig im Jahr 1985 erschienenen und 2012 neu aufgelegten Buch *Anticipatory Systems. Philosophical, Mathematical, and Methodological Foundations* ausführlich herausgearbeitet, dass Menschen (aber auch viele weitere Organismen) nicht primär reagieren, sondern antizipieren: „Present behavior is not simply *reactive*, but rather is *anticipatory*“ [Hervorhebung im Original] (Rosen, 2012, S. 7). Wichtig dabei ist, dass Antizipation keinen Ausnahme-, sondern vielmehr den Regelfall darstellt (Rosen, 2012, S. 9). Ein Mensch reagiert nicht auf seine unmittelbare Umwelt, sondern nimmt die jeweils aktuellen Gegebenheiten zum Anlass, Vorhersagen über zukünftige Zustände zu treffen. Das aktuelle Verhalten wird derart gewählt, dass es die Wahrscheinlichkeit eines erwünschten zukünftigen Zustands maximiert. Rosen definiert einen zu Antizipation fähigen Organismus folglich als „system containing a predictive model of itself and/or of its environment, which allows it to change state at an instant in accord with the model’s predictions pertaining to a later instant“ (Rosen, 2012, S. 313). Im Lexikon der Psychologie wird Antizipation (von lat. *anticipere*: vorwegnehmen) definiert als Vorziehen bzw. gedankliche Vorwegnahme (Wirtz, 2014). Eine daraus abgeleitete und auf den Straßenverkehr angepasste Definition beschreibt Antizipation als „Kompetenz [...], auf der Grundlage von Wissen und aktueller Wahrnehmung zukünftige Verkehrssituationen (und damit auch das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer) richtig einschätzen zu können“ (Sommer, 2013, S. 26).

Es wird deutlich, dass die Fähigkeit zur Antizipation ein zentrales Element menschlicher Informationsverarbeitung darstellt. Damit sollte es sich auch in Theorien wiederfinden, deren Ziel es ist, menschliches Verhalten zu erklären.

2.2 Konzeptionen von Antizipation

Nachfolgend wird zunächst erläutert, wie Antizipation in verschiedenen Fahrerverhaltensmodellen konzipiert ist. Im Anschluss wird dargestellt, welche Rolle Antizipation im Modell des Situationsbewusstseins spielt.

2.2.1 Antizipation in Fahrerverhaltensmodellen

Theorien des Fahrerverhaltens bzw. Fahrerverhaltensmodelle¹ versuchen, die dem beobachtbaren Fahrerverhalten zugrundeliegenden Mechanismen zu beschreiben. Es existiert heute eine Vielzahl von Modellen, entsprechend vielfältig sind die darin auftauchenden Konzeptionen von Antizipation. Im Folgenden werden fünf Fahrerverhaltensmodelle und deren Konzeptionen von Antizipation vorgestellt:

- Theoretische Feldanalyse
- Theorie der Risikohomöostase
- Null-Risiko Theorie
- Theorie der Aufgabenschwierigkeitsallostase
- SAFE-Modell

2.2.1.1 Theoretische Feldanalyse

Die Arbeit, die allgemein als das erste Fahrerverhaltensmodell beschrieben wird (Vaa, 2001), stammt aus dem Jahr 1938 und nennt sich *Theoretische Feldanalyse* (Theoretical Field Analysis, Gibson & Crooks, 1938). Die Grundlage der Überlegungen bildet die Feldtheorie von Kurt Lewin (vgl. Lewin, 1936). Es wird angenommen, dass der Fahrer bestrebt ist, sich stets

¹Die beiden Begriffe *Theorie* (des Fahrerverhaltens) und (Fahrerverhaltens-) *Modell* werden in der vorliegenden Arbeit synonym verwendet. Ein Modell ist eine Formalisierung bzw. grafische Darstellung der Wirkzusammenhänge einer Theorie (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 363)

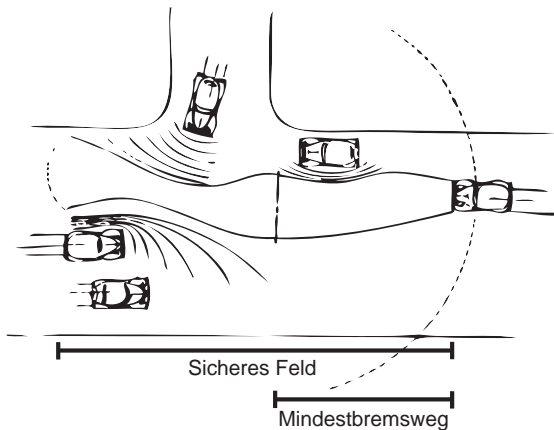


Abb. 2.2: Feld des sicheren Fahrens und Mindestbremsweg (modifiziert nach Gibson & Crooks, 1938, S. 455).

im sogenannten *sicheren Feld* (field of safe travel) aufzuhalten. Das sichere Feld kennzeichnet den Bereich, in dem sich der Fahrer mit seinem Auto kollisionsfrei bewegen kann. Andere Verkehrsteilnehmer und Objekte aus der Umwelt begrenzen das sichere Feld (siehe Abbildung 2.2). Daneben gibt es noch einen zweiten relevanten Bereich, den sogenannten *Mindestbremsweg* (minimal stopping zone). Dieser zeigt an, bis zu welchem Punkt ein Auto in Abhängigkeit der aktuell gefahrenen Geschwindigkeit zum Halten gebracht werden könnte. Der Fahrer ist motiviert, den Mindestbremsweg innerhalb des sicheren Feldes zu halten. Übersteigt der Mindestbremsweg das sichere Feld, erlebt der Fahrer ein Gefühl der Angst und reduziert die Geschwindigkeit solange, bis sich der Mindestbremsweg wieder innerhalb des sicheren Feldes befindet.

Welche Rolle spielt nun Antizipation bei diesen Überlegungen? Die Größe des sicheren Feldes wird nicht nur durch die aktuellen Gegebenheiten einer Situation bestimmt, sondern wesentlich durch zukünftige Zustände beeinflusst. Sieht ein Fahrer z. B. einen Fußgänger am Fahrbahnrand, der im

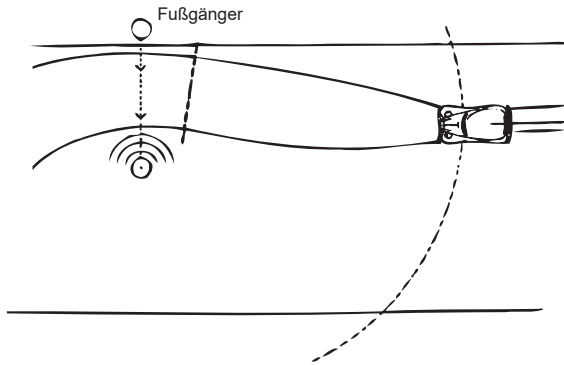


Abb. 2.3: Das sichere Feld wird von der zukünftigen Position des Fußgängers bestimmt (modifiziert nach Gibson & Crooks, 1938, S. 462).

Begriff ist, die Straße zu überqueren, dann ist für das sichere Feld nicht die aktuelle Position des Fußgängers maßgeblich, sondern die Position, die der Fußgänger einnehmen wird, wenn das Auto ihm am nächsten kommt (siehe Abbildung 2.3).

Antizipation ist in diesem Modell also eine Voraussetzung, das sichere Feld korrekt einschätzen zu können. Die Größe des sicheren Felds wiederum beeinflusst unmittelbar das Fahrerverhalten.

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass bereits die Autoren des ersten Fahrerverhaltensmodell die Bedeutung von Antizipation für den Straßenverkehr erkannt haben. Jedoch machen Gibson und Crooks (1938) keine genaueren Aussagen darüber, wie dieses Konstrukt im Informationsverarbeitungsprozess eingebunden ist. Hierfür müssen andere Modelle konsultiert werden.

2.2.1.2 Theorie der Risikohomöostase

Die Theorie der Risikohomöostase ist das vielleicht berühmteste Fahrerverhaltensmodell (Carsten, 2007). Dem Modell der Risikohomöostase vorge-schaltet ist eine weniger bekannte Analyse der Aufgaben, die ein Fahrer

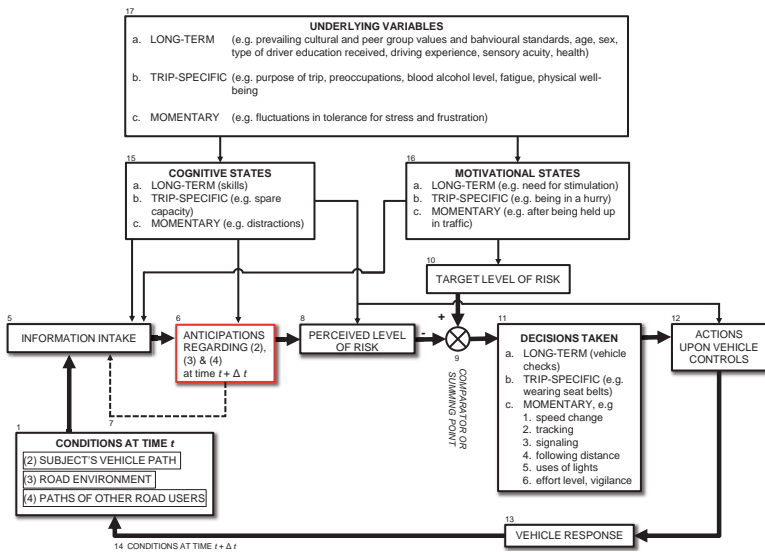


Abb. 2.4: Aufgabenanalyse des Fahrerverhaltens (modifiziert nach Wilde, 1982, S. 211).

zu einem bestimmten Zeitpunkt auszuführen hat. Die Aufgaben und ihre Beziehungen untereinander sind in Abbildung 2.4 dargestellt. Antizipation bezieht sich hier ähnlich wie bei Gibson und Crooks (1938) auf den eigenen Fahrweg (2), die Verkehrsumgebung (3) und den Fahrweg der anderen Verkehrsteilnehmer (4). Das Ergebnis dieser Antizipation führt jedoch nicht zu einer speziellen Form und Ausdehnung eines sicheren Felds, sondern zu einem wahrgenommenen Risiko (8). Dieser Risikoschätzer wird mit einem Risikozielwert (10) verglichen. Abweichungen zwischen (8) und (10) veranlassen den Fahrer, Entscheidungen zu treffen (11) und Handlungen zu initiieren (12).

Antizipation steht in dieser Konzeption also zwischen der Informationsaufnahme und dem wahrgenommenen Risiko und wird zudem von lang- und kurzfristigen kognitiven Zuständen (15) (z. B. Müdigkeit, Ablenkung) moderiert.

Ausgehend von dieser Aufgabenanalyse entwickelte Wilde seine weitaus bekanntere Theorie der Risikohomöostase (siehe Abbildung 2.5). Die Darstellung ist eine modifizierte und vereinfachte Variante der zuvor erwähnten Aufgabenanalyse (Abbildung 2.4). Allerdings will das Modell nicht mehr das Verhalten eines Fahrers zu einem bestimmten Zeitpunkt erklären, sondern Aussagen über das Verhalten mehrerer Fahrer über einen längeren Zeitraum treffen. Ausgangspunkt der Betrachtung ist somit auch nicht mehr eine bestimmte Verkehrssituation, auf die ein Fahrer reagiert. Antizipation als Einflussvariable im individuellen Entscheidungsprozess findet in diesem Modell folglich keine Berücksichtigung. Für die vorliegende Arbeit lassen sich hinsichtlich der Konzeption von Antizipation somit keine Erkenntnisse ableiten. Nichtsdestotrotz soll die Grundidee der Theorie kurz vorgestellt werden, da andere Modelle häufig auf Wilde referenzieren und Teile davon übernehmen oder sich in Abgrenzung dazu weiterentwickelt haben.

In Analogie zur Regelungstätigkeit eines Heizungsthermostats sind Fahrer ständig bemüht, Diskrepanzen zwischen einem Risiko-Istniveau und einem Risiko-Zielniveau auszugleichen. Dem vorab eingestellten Temperaturwert der Heizung entspricht ein vergleichbar starres Risiko-Zielniveau. Betrachtet man nun einen speziellen Streckenabschnitt über einen längeren Zeitraum so ergibt sich für diesen eine Unfallrate (e). Über eine verzögerte Rückkopplungsschleife (f) (z. B. Medienberichte) dient die Unfallrate als Grundlage für das wahrgenommene Risiko-Istniveau.

Folgt man dieser Theorie, so ergibt sich ein ernüchterndes Bild für Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit durch z. B. die Einführung von Fahrerassistenzsystemen. Jede Erhöhung der Sicherheit und eine damit einhergehende Reduktion der Unfallrate wird nämlich letztlich durch die Wiederherstellung des ursprünglich angestrebten Risiko-Zielniveaus zunichte gemacht. Konkret bedeutet das, dass ein Fahrer eine sicherheits-erhöhende Technik durch ein riskanteres Fahrverhalten kompensiert, um dadurch das Gleichgewicht (Homöostase) zwischen Risiko-Istniveau und Risiko-Zielniveau wiederherzustellen. Vor allem wegen dieser Aussage wur-

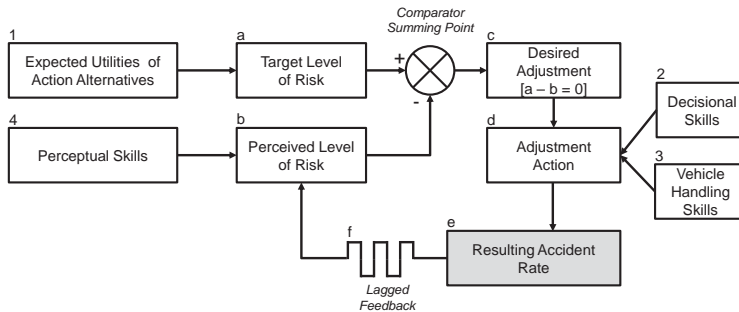


Abb. 2.5: Theorie der Risikohomöostase (Wilde, 1982, S. 212).

de die Theorie häufig und heftig kritisiert. Besonders deutliche Kritik an der Theorie formulieren O'Neill und Williams (1998): „Only abstract theoreticians could believe people actually behave this way, and one wonders whether some advocates of risk homeostasis have even thought about their own behavior when they get a new 'safer' car.“ (O'Neill & Williams, 1998, S. 92).

2.2.1.3 Null-Risiko-Theorie

Im Unterschied zur Theorie der Risikohomöostase besagt die Null-Risiko-Theorie² (Zero Risk Theory, Näätänen & Summala, 1974; Summala, 1988), dass Fahrer im Normalfall überhaupt kein Risiko wahrnehmen. Ausgangspunkt für diese These ist die Beobachtung, dass Autofahrer häufig objektive Risiken eingehen, die durch minimale Verhaltensänderungen reduziert werden könnten, z. B. Nichtanschnallen oder zu geringer Abstand zum Vorderfahrzeug. Diese Verhaltensweisen sind den Autoren zufolge unvereinbar mit der Wahrnehmung eines subjektiven Risikos: „In all these cases the existence of even slight degrees of subjective risk seem improbable as it could have been eliminated or reduced with little extra effort such as by

²Im deutschsprachigen Raum wird die Theorie auch als Risikoschwellenkonzept bezeichnet, z. B. Gestalter, 1988, S. 824.

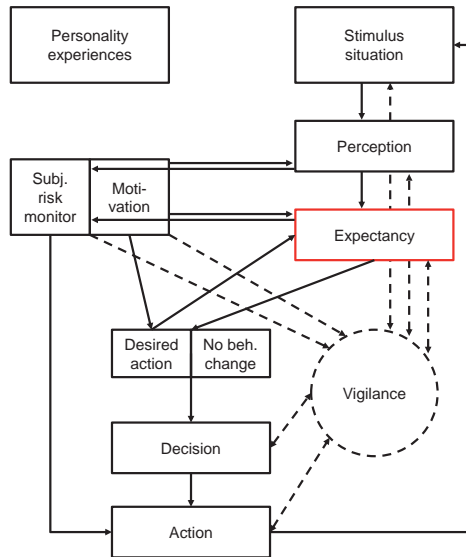


Abb. 2.6: Null-Risiko-Theorie (modifiziert nach Näätänen & Summala, 1974, S. 246).

fastening the seat belts or by increasing cautiousness“ (Näätänen & Summala, 1974, S. 253). Solange ein bestimmter Schwellenwert an Risiko nicht überschritten wird, sind Autofahrer ohne ein Risikogefühl unterwegs. Bei Überschreiten des Schwellenwerts wird der subjektive Risikomonitor aktiv (siehe Abbildung 2.6) und generiert die Wahrnehmung von subjektivem Risiko.

Ziel des Fahrers ist es, das subjektive Risiko wieder unter null zu senken. Daher nimmt ein aktivierter Risikomonitor unmittelbaren Einfluss auf aktuelle Handlungsentscheidungen. Bremst z. B. ein Vorderfahrzeug plötzlich stark ab und verringert sich dadurch der Abstand zum Vorderfahrzeug unter einen kritischen Wert, beeinflusst der dadurch aktivierte Risikomonitor die Handlungsentscheidung und führt dazu, dass der Fahrer eine sofortige und starke Bremsung durchführt. Der Risikomonitor kann also sowohl im übertragenen wie auch im konkreten Sinne als eine Art „Notbremse“ verstanden

werden, die nur in Ausnahmefällen aktiviert wird und dann eine unmittelbare Handlung zur Reduktion des subjektiven Risikos nach sich zieht.

Antizipation ist in diesem Modell angelegt als Erwartung (expectancy). Ein Fahrer nimmt eine Situation wahr und formt zusätzlich Erwartungen über deren weiteren Verlauf. Sowohl die Wahrnehmung der aktuellen Situation als auch die Erwartungen des weiteren Verlaufs sind in der Lage, den subjektiven Risikomonitor zu aktivieren und damit Handlungen zu initiieren. Dabei sprechen die Autoren den Erwartungen sogar eine größere Rolle im Entscheidungsprozess zu: „Decision-making should be seen as basing on expectancy rather than on perception as both perception and decision-making are future-oriented processes“ (Näätänen & Summala, 1974, S. 254).

Interessant ist, dass die Autoren auch einen motivationalen Einfluss auf die Antizipation vorsehen (siehe die Verbindung zwischen Motivation und Expectancy). Abhängig von der aktuellen Motivation verändert sich die Wahrnehmung und die Erwartung, bzw. Antizipation: „a driver in a hurry might perceive the present traffic situation and estimate the changes soon occurring in it as offering more safety for overtaking a lorry than he would if he were in no hurry“ (Näätänen & Summala, 1974, S. 248).

2.2.1.4 Theorie der Aufgabenschwierigkeitsallostase

Die Theorie der Aufgabenschwierigkeitsallostase (Fuller, 2011) setzt sich aus zwei vormalig getrennten Modellen zusammen: dem *Schnittstellenmodell von Anforderungen und Fähigkeiten* und der *Theorie der Aufgabenschwierigkeitshomöostase* (Fuller, 2005) und ist zugleich als deren Weiterentwicklung zu sehen³.

³Fuller nimmt dabei bewusst einen begrifflichen Wechsel von Homöostase zu Allostase vor. Unter Allostase versteht man „die Aufrechterhaltung der Stabilität durch Veränderung des Sollwerts. Dieser wird also nicht konstant gehalten, wie in homöostatischen Systemen [...], sondern adaptiv verändert“ (Schulz, 2008, S. 94). Damit soll zum Ausdruck gebracht werden, dass Fahrer nicht in jeder Situation bestrebt sind, einen festen Wert einzuhalten, sondern den Wert in Abhängigkeit der aktuellen und antizipierten Anforderungen dynamisch anpassen. Fuller erläutert dies am Beispiel von Einsatzfahrzeugen (Feuerwehr und Notarzt), die beim

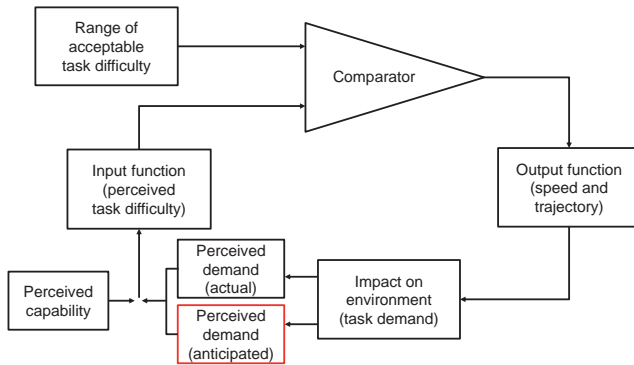


Abb. 2.7: Theorie der Aufgabenschwierigkeitsallostase (modifiziert nach Fuller, 2011, S. 18).

Das Modell geht davon aus, dass das Fahrerverhalten wesentlich davon motiviert ist, das Aufgabenschwierigkeitsniveau in einem vom Fahrer akzeptierten Rahmen zu halten (siehe Abbildung 2.7). Die Schwierigkeit einer Aufgabe ergibt sich aus dem Wechselspiel von wahrgenommenen Anforderungen einer Fahrsituation (perceived demand) und den dafür zur Verfügung stehenden wahrgenommenen Fähigkeiten des Fahrers (perceived capability). Die Anforderungen setzen sich einerseits aus Umweltfaktoren wie z. B. Straßenverhältnisse oder andere Verkehrsteilnehmer zusammen, andererseits aber auch durch vom Fahrer beeinflussbare Faktoren wie z. B. die gefahrene Geschwindigkeit. Während Antizipation in der Vorläufertheorie (Aufgabenschwierigkeitshomöostase) noch keine explizite Berücksichtigung fand, wird deren Wichtigkeit nun betont: „a key component of driver capability is a valid mental representation of what may happen next“ (Fuller, 2011, S. 17). Der Fahrer vergleicht seine Fähigkeiten folglich nicht nur mit den

Fahren mit Blaulicht dreimal häufiger in Unfälle verwickelt sind als beim Fahren ohne Blaulicht (Fuller, 2011, S. 20).

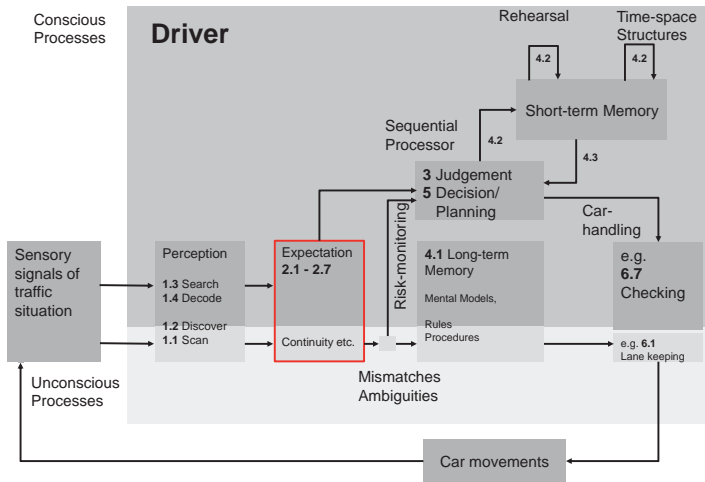


Abb. 2.8: „SAFE-Modell“ (modifiziert nach Fastenmeier & Gstalter, 2007, S. 969).

aktuell wahrnehmbaren, sondern auch mit den zukünftigen, antizipierten Anforderungen. Damit ist Antizipation ein maßgeblicher Einflussfaktor der wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit.

2.2.1.5 SAFE-Modell

Im Rahmen ihrer situativen Anforderungsanalyse von Fahraufgaben (kurz: SAFE) haben Fastenmeier und Gstalter (2007) ein Fahrerverhaltensmodell eingeführt, das nachfolgend vorgestellt werden soll. Da das Modell bislang keinen eigenen Namen besitzt, wird es im Folgenden als SAFE-Modell bezeichnet (siehe Abbildung 2.8).

Das SAFE-Modell ist eine modifizierte und auf den Straßenverkehr angepasste Version von Rasmussens Modell der menschlichen Informationsverarbeitung⁴ (vgl. Rasmussen, 1986, S. 76). Der bedeutendste Unterschied zu

⁴Das hier verwendete Modell sollte nicht verwechselt werden mit dem ebenfalls von Rasmussen stammenden bekannteren 3-Ebenen Modell (vgl. Rasmussen, 1983).

den bislang vorgestellten Theorien besteht darin, dass hier zwischen einer bewussten und einer unbewussten Form der Informationsverarbeitung differenziert wird. In der Abbildung sind die unbewussten Prozesse dunkelgrau und die bewussten Prozess hellgrau hinterlegt.

Antizipation ist in diesem Modell wieder als Erwartung (Expectation) konzipiert. Darunter fallen Erwartungen bezüglich des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer, aber auch Erwartungen bezüglich der Veränderungen von Infrastrukturelementen (z. B. eine umschaltende Ampel). Die Zweiteilung der Informationsverarbeitung wird konsequenterweise auch bei der Antizipation unterstellt. Das bedeutet, dass die Erwartungen nicht in jedem Fall bewusst verarbeitet werden, teilweise können diese auch unbewusst und automatisch ablaufen. Leider geht das Modell nicht genauer darauf ein, wie sich bewusste und unbewusste Erwartungen voneinander unterscheiden.

Neben Modellen, die von Anfang an im und für den Kontext Fahrer-Fahrzeug entwickelt wurden, spielt Antizipation auch in anderen arbeitswissenschaftlichen Modellen eine wichtige Rolle. Von besonderer Bedeutung ist hierbei das Modell des Situationsbewusstseins von Mica R. Endsley. Die Theorie wurde ursprünglich im Kontext der Luftfahrt entwickelt, findet heute allerdings in einer Vielzahl von Domänen (u. a. auch in der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion) Verwendung.

2.2.2 Antizipation im Modell des Situationsbewusstseins

Eine kompakte Definition von Situationsbewusstsein lautet: „SA [situation awareness, Anm. des Verfassers] is knowing what is going on around you“ (Endsley, 2000, S. 5). Eine ausführlichere Definition beschreibt Situationsbewusstsein als „perception of the elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning, and the projection of their status in the near future“ (Endsley, 1988, S. 97).

Situationsbewusstsein setzt sich aus drei aufeinander aufbauenden Stufen zusammen (vgl. Abb 2.9):

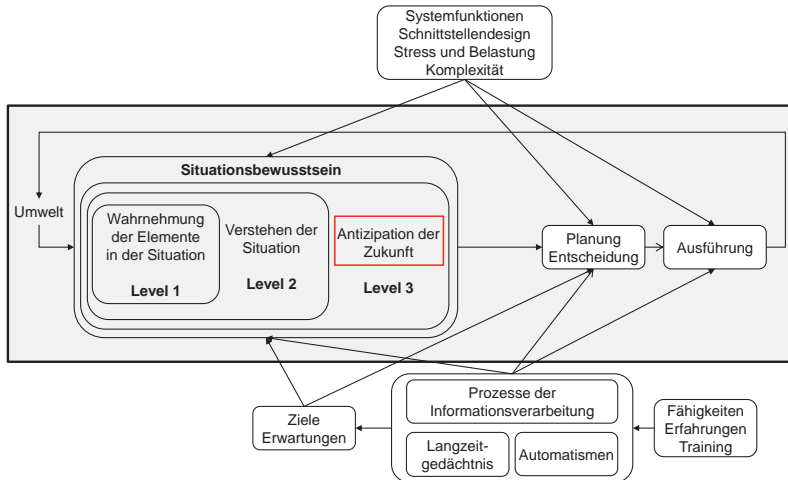


Abb. 2.9: Modell des Situationsbewusstseins (modifiziert nach Endsley, 2013, S. 97; die deutsche Übersetzung der Begriffe folgt Vollrath und Krems (2011, S. 36)).

1. Level 1: Wahrnehmung (Perception)
2. Level 2: Verstehen (Comprehension)
3. Level 3: Projektion/Antizipation (Projection)

Strater et al. (2004) charakterisieren die Stufen des Situationsbewusstseins anhand von drei kurzen Fragen: „What? So what? Now what?“. Auf der ersten Stufe geht es darum, alle relevanten Informationen aus der Umwelt wahrzunehmen. Diese unverbundenen Fakten müssen auf Stufe 2 zu einem kohärenten Bild zusammengefügt werden. Ausgehend von diesem Situationsverständnis können auf Stufe 3 dann Aussagen über den zukünftigen Zustand bzw. den weiteren Verlauf der Situation getroffen werden. Endsley verwendet für die Stufe 3 meist den Begriff Projektion (projection), andere Autoren bezeichnen diesen Prozess als Antizipation, z. B. Wickens, Hollands, Banbury und Parasuraman (2013, S. 217).

2.2.3 Kritik der bisherigen Konzeptionen von Antizipation

Ausgehend von einer allgemeinen Definition von Antizipation wurden in den vorangehenden Abschnitten zunächst verschiedene Fahrerverhaltensmodelle sowie deren Konzeptionen von Antizipation vorgestellt. Im Anschluss wurde aufgezeigt, wie Antizipation im Modell des Situationsbewusstseins angelegt ist. Bei aller theoretischen und begrifflichen Vielfalt lassen sich doch einige Gemeinsamkeiten erkennen. Alle vorgestellten Modelle sehen Antizipation als eine wichtige Funktion im Informationsverarbeitungsprozess. Aufbauend auf Informationen aus der Umwelt nimmt Antizipation direkt oder indirekt (z. B. vermittelt durch Aufgabenschwierigkeit oder wahrgenommenes Risiko) Einfluss auf Entscheidungen und Handlungen des Fahrers.

Allerdings bleibt festzuhalten, dass die Konzeptionen von Antizipation an vielen Punkten noch unklar bzw. ergänzungsbedürftig sind. Dabei stehen zwei Hauptkritikpunkte im Mittelpunkt:

- Konzeptionen von Antizipation berücksichtigen bislang nur unzureichend Zwei-Prozess-Theorien der Informationsverarbeitung
- Konzeptionen von Antizipation weisen eine ungenügende neurobiologische Fundierung auf. Ohne ein entsprechendes Theoriegerüst kann Antizipation nicht auf körperlicher Ebene gemessen werden.

Auf beide Kritikpunkte soll nachfolgend genauer eingegangen werden.

2.2.3.1 Zwei-Prozess Theorien der Informationsverarbeitung

Die vorgestellten Modelle bleiben weitgehend unklar hinsichtlich der Frage, inwieweit Antizipation bewusst oder unbewusst verarbeitet wird. Das SAFE-Modell schlägt zwar pauschal zwei Wege der Informationsverarbeitung vor und sieht diese konsequenterweise auch für die Antizipation vor. Allerdings trifft das Modell keine weiteren Aussagen darüber, wann bewusst oder unbewusst verarbeitet wird und wie sich beide Formen der Antizipation voneinander unterscheiden, bzw. wie sie miteinander in Beziehung stehen.

Tab. 2.1: Eigenschaften von System 1 und System 2 nach Stanovich und West (2000).

System 1	System 2
Assoziativ	Regelbasiert
Holistisch	Analytisch
Automatisch	Kontrolliert
Beansprucht relativ wenig kognitive Kapazität	Beansprucht kognitive Kapazität
Relativ schnell	Relativ langsam
Erworben durch Biologie, Ausgesetztsein und persönliche Erfahrung	Erworben durch kulturelle und formale Unterrichtung

Es existiert heute eine Vielzahl von Befunden, die nahelegen, dass Informationsverarbeitung nicht nur auf eine Art erfolgt: „There is no dearth of evidence in everyday life that people apprehend reality in two fundamentally different ways“ (Epstein, 1994, S. 710). Schon der Psychologe William James postulierte zwei Wege der Informationsverarbeitung und nannte diese „associative thinking“ und „reasoning“ (James, 1915, S. 353). Von verschiedenen Autoren wurden unterschiedliche Bezeichnungen für die beiden Verarbeitungswege vorgeschlagen. Stanovich und West (2000) versuchten, die Gemeinsamkeiten der verschiedenen Ansätze zu bündeln und etablierten für die beiden Verarbeitungswege die neutralen Begriffe *System 1* und *System 2*.

Aus evolutionärer Sicht ist das System 1 eine alte Art der Informationsverarbeitung, die auch bei verschiedenen Tieren gefunden werden kann, wohingegen System 2 eine evolutionär junge Art der Informationsverarbeitung darstellt und wohl nur beim Menschen anzutreffen ist (Evans, 2003, S. 454). Die generelle Zweiteilung wird mitunter auch als „presence of two minds in one brain“ (Evans, 2003, S. 458) bezeichnet. In verkürzter Form werden System 1 und System 2 auch als „schnelles“ und „langames Denken“ charakterisiert (Kahneman, 2012).

Wie wirken diese beiden Systeme zusammen? Es wird angenommen, dass System 1 die standardmäßige Form der Informationsverarbeitung darstellt. Solange System 2 nicht bewusst interveniert, stellt System 1 die Grundlage

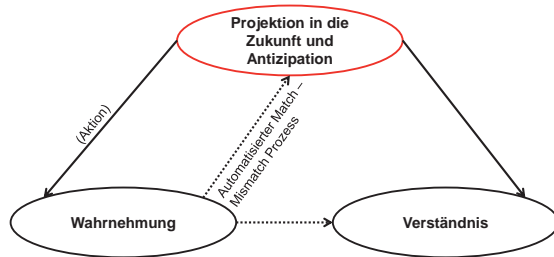


Abb. 2.10: Rückgekoppeltes Modell des Situationsbewusstseins (modifiziert nach Kallus, 2009).

von Entscheidungen und Handlungen dar (Evans & Stanovich, 2013, S. 237). System 1 liefert schnelle und unbewusste Antworten, die aber von System 2 unterbrochen bzw. überschrieben werden können (Evans & Stanovich, 2013, S. 237).

Auch das Modell von Endsley sieht ursprünglich nur eine Form des Situationsbewusstseins und damit eine Form der Antizipation vor. Antizipation stellt die höchste Stufe des Situationsbewusstseins dar und erfordert somit ein bewusstes Verständnis der Situation (Stufe 2). Ausgehend von der Beobachtung, dass Piloten, die bei einem Landeanflug im Simulator einen Crash verursachen, bereits 10 Meilen vor der Landebahn eine signifikant höhere Herzrate aufweisen als Piloten, denen eine sichere Landung gelang, entwickelte Kallus (2009) das Modell des *rückgekoppelten Situationsbewusstseins* (siehe Abbildung 2.10).

Das Modell erweitert Endsleys Theorie und räumt die Möglichkeit ein, direkt nach der Wahrnehmung einer Situation automatische und unbewusste Antizipationen auszubilden, die dann auch Handlungen nach sich ziehen können. „Es wird vorgeschlagen, die oft linear dargestellte Konzeption von Situation Awareness eher als rückgekoppelten Prozess darzustellen und die Stufe des 'Verstehens' der Situation als nicht obligatorisch zu betrachten (z. B. bei hochautomatisierten Aktionen)“ (Kallus, 2009, S. 19).

2.2.3.2 Neurobiologische Fundierung

Keines der vorgestellten Modelle weist eine neurobiologische Fundierung hinsichtlich der Antizipation auf. Solange nur prinzipielle Wirkzusammenhänge des Fahrerverhaltens aufgezeigt werden sollen, stellt dies kein Problem dar. Ohne Rückbezug zur Neurobiologie fehlen jedoch Aussagen über körperliche Korrelate der Antizipation. Dies hat unmittelbare Folgen für die Messbarkeit von Antizipation. Ohne eine Kenntnis der neurobiologischen Grundlagen ist eine Messung von Antizipation auf einer körperlichen Ebene nicht sinnvoll möglich.

Entsprechend der Klassifikation der Messverfahren von mentaler Beanspruchung, bzw. Workload (vgl. O'Donnell & Eggemeier, 1986) können bei der Messung von Antizipation ebenfalls drei grundsätzliche Verfahren unterschieden werden: (1) subjektive Maße, (2) Performanzmaße und (3) physiologische Maße. Bei subjektiven Maßen wird mithilfe eines Fragebogens oder eines Interviews das subjektive Erleben eines Probanden erfasst. Derartige Verfahren können nicht parallel zu einer Hauptaufgabe eingesetzt werden. Stattdessen muss der Proband seine Haupttätigkeit (z. B. Autofahren) unterbrechen, um seinen erlebten Zustand zu verbalisieren. Da die inneren Zustände bereits vor der Darbietung des Fragebogens oder der Interviewfrage bestehen müssen, ist ein derartiger Ansatz notwendigerweise immer retrospektiv. Eine kontinuierliche, nonreaktive Messung von Antizipation ist mit subjektiven Verfahren nicht möglich.

Performanzmaße versuchen, durch Veränderungen des beobachtbaren Verhaltens Rückschlüsse auf das innere Erleben zu ziehen. Dabei besteht das Problem, dass eine veränderte Leistung in einer Aufgabe manchmal nur schwer einer definierten Ursache zuzuordnen ist. Ob z. B. ein verzögertes Bremsen hinter einem langsam fahrenden Vorderfahrzeug aus einer mangelnden Antizipation des Fahrers resultiert oder alternativ aus Nicht-Aufmerksamkeit, lässt sich nur sehr schwer beantworten. Zudem ergibt sich das Problem, dass Antizipation nicht immer mit beobachtbaren Ver-

haltensänderungen einhergehen muss. Der Fahrer hat möglicherweise das Verhalten des Vorderfahrzeugs antizipiert, allerdings entspricht das gezeigte Verhalten nicht den bislang gemachten Erfahrungen in vergleichbaren Situationen. Das verspätete Bremsen wäre demnach nicht Ausdruck eines Nicht-Antizipierens, sondern einer nicht adäquaten Antizipation basierend auf nicht adäquater Vorerfahrung. Ein weiteres Problem entspricht der schon oben genannten Kritik an subjektiven Maßen: Performanzmaße sind ebenfalls nur retrospektiv zum eigentlich interessierenden Prozess der Antizipation erfassbar. Zwischen dem Zeitpunkt der Antizipation des Bremsverhaltens des Vorderfahrzeugs und der Einleitung der eigenen Bremsung liegt ein (unbekanntes) Zeitintervall. Ausgehend vom beobachtbaren Bremsvorgang kann nur im Nachhinein versucht werden, diesen mit einer vorausgehenden (ggf. nicht adäquaten) Antizipation zu erklären.

Physiologische Maße ermöglichen eine kontinuierliche und nonreaktive Messung. Dafür ist allerdings zwingend ein Verständnis für die der Antizipation zugrunde liegenden neurobiologischen Prozesse erforderlich. Ohne diese Kenntnisse ist die Auswertung und Interpretation physiologischer Signale nicht zielführend.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Zwei-Prozess-Theorien der Informationsverarbeitung in bisherigen Fahrerverhaltensmodellen sowie im Modell des Situationsbewusstseins ungenügend berücksichtigt wurden. Zudem mangelt es den bisherigen Theorien an einer neurobiologischen Fundierung. Diese ist jedoch für die in dieser Arbeit angestrebte physiologische Messung von Antizipation unerlässlich.

Bislang wurde nur der Mensch und dessen Fähigkeit zur Antizipation betrachtet. Autofahren ist allerdings eine Tätigkeit, die immer mit einem technischen System – dem Fahrzeug – einhergeht. Im folgenden Abschnitt soll daher das Gesamtsystem Fahrer-Fahrzeug und dessen Fähigkeiten zur Antizipation betrachtet werden.

2.3 Antizipation von Mensch und Fahrzeug

Aus arbeitswissenschaftlicher Sicht bilden Fahrer und Fahrzeug ein Mensch-Maschine-System. Charakteristisch für ein Mensch-Maschine-System ist, dass „der Mensch [...] zielgerichtet mit der Maschine zusammenwirken [soll], damit bestimmte Arbeitsergebnisse von dem Gesamtsystem Mensch-Maschine bestmöglich erreicht werden“ (Johannsen, 1993). Das übergeordnete Ziel des Autofahrens ist es, das jeweilige Fahrziel sicher und unbeschadet zu erreichen. Das Gesamtsystem Fahrer-Fahrzeug kann nur dann hinsichtlich der Erreichung dieses Ziels verbessert werden, wenn beide Teilbereiche sowie deren Wechselwirkungen untereinander verstanden und berücksichtigt werden.

Die Grundfrage bei Mensch-Maschine-Systemen ist die Funktionsteilung zwischen beiden Elementen. Die Frage, wie die Zuständigkeiten zwischen Mensch und Maschine organisiert werden sollen, beschäftigt die Arbeitswissenschaft schon seit vielen Jahrzehnten. Adäquate Antworten zu finden wird bisweilen als eine der wichtigsten Aufgaben der einschlägigen Forschung gesehen (Winter & Hancock, 2015, S. 5334). Eine erste prominente Annäherung erfolgte durch Fitts (1951) in Form der sogenannten MABA-MABA-Listen („Men Are Better At – Machines Are Better At“). Die Listen stellen stichpunktartig dar, in welchen Bereichen Menschen technischen Systemen überlegen sind (z. B. Fähigkeit zu flexiblem Handeln und zum induktiven Schließen) und in welchen Bereichen im Gegenzug Maschinen Menschen überlegen sind (z. B. schnelle Reaktion auf ein vorab definiertes Signal).

Eine derartige Betrachtung in Form von Stärken-Schwächen-Listen impliziert zwei sich konkurrierend gegenüberstehende Subsysteme. Die Erledigung einer Aufgabe wird dabei dem Subsystem zugeordnet, das dem anderen im relativen Leistungsvergleich überlegen ist. Die dadurch künstlich geschaffene Konkurrenz verstellt den Blick auf Leistungspotentiale, die erst durch das Zusammenwirken beider Komponenten freigesetzt werden. Diese

Synergieeffekte zu entdecken und zu nutzen ist der Ansatz der sogenannten *komplementären Systemgestaltung* (Grote et al., 1999).

2.3.1 Informationsverarbeitung des Fahrzeugs

Ein modernes Auto hält heute eine Vielzahl an Sensoren zur Umfelderkennung bereit (z. B. Radar, Laser, Infrarot, Optische Kamerasysteme). Aus den einfließenden Daten wird versucht, mit Hilfe von Algorithmen ein Modell der aktuellen Fahrsituation zu erzeugen, auf dessen Basis Entscheidungen getroffen und Handlungen initiiert werden. Trotzdem bleibt das bereits eingangs zitierte Problem: „Heutige Sensoren erfassen zwar die Fahrzeugumgebung bis zur Rundumsicht, von einem Situationsverstehen ist die Entwicklung jedoch noch weit entfernt“ (Winner, 2015, S. 1183).

Die Sensoren eines Fahrzeugs operieren nach dem Modell des Situationsbewusstseins von Endsley (vgl. Abschnitt 2.2.2) auf der Stufe 1. Sie sind zwar in der Lage, sehr genau zu erfassen, welche Dinge aktuell um sie herum geschehen, allerdings stehen diese Informationen als mehr oder weniger unverbundene Fakten nebeneinander und können nur begrenzt zu einem kohärenten Verständnis des Situationsgeschehens zusammengefasst werden. Für das den Fahrzeugentscheidungen zugrunde liegende Abbild der Verkehrsumgebung wird im folgenden der Begriff *Situationsmodell* verwendet. Das Situationsmodell ist im Unterschied zum Begriff des Situationsbewusstseins nicht theoretisch verankert. Es bezeichnet lediglich den Informationsstand, auf dessen Grundlage Fahrerassistenzsysteme tätig werden. Dies soll am Beispiel eines Notbremsassistenten verdeutlicht werden. Dessen Situationsmodell speist sich aus den kontinuierlich eintreffenden Daten über den Abstand und die Annäherungsgeschwindigkeit zu verschiedenen Objekten in der Verkehrsumwelt. Unter bestimmten vorab programmierten Bedingungen interpretiert der Notbremsassistent die Daten als potentiell bedrohliches Hindernis auf der Fahrspur. Bei Unter- oder Überschreiten von definierten Grenzwerten bereitet sich das System auf eine

drohende Notbremsung vor (Vorbefüllung des Bremssystems, Anlegen der Bremsscheiben). Zusätzlich kann eine Warnung an den Fahrer ausgegeben werden (vgl. Bubb & Bengler, 2015).

Das Situationsmodell des Fahrzeugs ist also immer nur so gut, wie die eintreffenden Sensordaten und die vorab programmierten Algorithmen. Nach wie vor gibt es eine Vielzahl von Situationen, in denen das Situationsmodell des Fahrzeugs und damit die Entscheidungsfähigkeit des Fahrzeugs massiv herabgesetzt ist. Bei der Verwendung von Stereokameras muss z. B. mit folgenden Einschränkungen gerechnet werden: „In Straßenszenen kommt es aufgrund von Beleuchtungs- und Witterungseinflüssen zu vielfältigen Störungen der Bilder, die von den meisten in der Literatur beschriebenen Ansätzen nicht behandelt werden. Hierzu zählen u. a. Blendungen und Reflektionen, Unschärfe durch Wasser auf der Scheibe oder Gischt, die teilweise Abdeckung durch Scheibenwischer, Schnee, Dunkelheit usw. [...]“ (Franke & Gehrig, 2015, S. 396).

Im Gegensatz zu Maschinen fällt es Menschen leicht, Situationen – auch unter widrigen Bedingungen – ganzheitlich zu erfassen und den weiteren Verlauf zu antizipieren. Die Idee liegt nahe, die Fähigkeiten von Mensch und Maschine zusammenzubringen und damit das Situationsmodell des Fahrzeugs anzureichern.

2.3.2 Konzeption einer Schnittstelle zur Anreicherung des Situationsmodells des Fahrzeugs

Betrachtet man Fahrer und Fahrzeug aus systemischer Sicht, so wird deutlich, dass die Fähigkeit zur Antizipation im Gesamtsystem vorhanden ist. Im Sinne einer komplementären Systemgestaltung wäre es wünschenswert, dass das Fahrzeug vor allem in unklaren oder potentiell riskanten Situationen Informationen über das Situationsbewusstsein des Fahrers besitzen würde, um damit das eigene Situationsmodell anreichern oder ergänzen zu

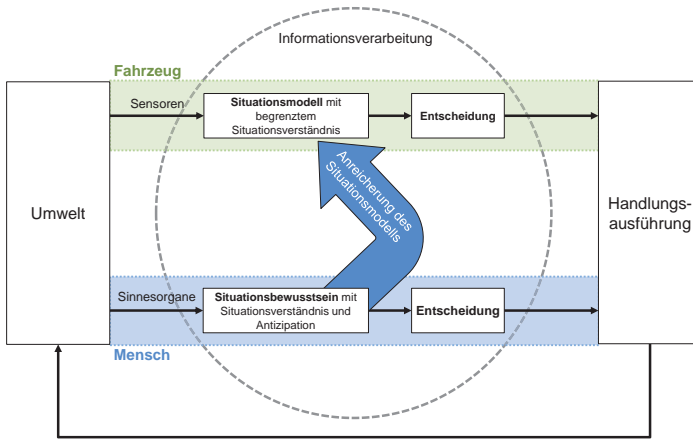


Abb. 2.11: Konzeption einer Schnittstelle zur Anreicherung des Situationsmodells des Fahrzeugs.

können. Die Grundidee für eine derartige Schnittstelle ist in Abbildung 2.11 dargestellt.

Der skizzierte Prozess startet sowohl beim Fahrzeug als auch beim Fahrer mit der Aufnahme von Reizen aus der Umwelt. Während dies beim Fahrzeug mithilfe von Sensoren geschieht, verwendet der Mensch dafür seine Sinnesorgane. Das Fahrzeug erstellt auf Basis der eintreffenden Reize und der vorab definierten Algorithmen ein Modell der Umwelt, das sogenannte Situationsmodell (siehe vorigen Abschnitt). Aufbauend auf dem Situationsmodell trifft das Fahrerassistenzsystem Entscheidungen und führt entsprechende Handlungen aus. Die dadurch veränderten Zustände in der Verkehrsumwelt schließen den Regelkreis.

Auch der Fahrer verwendet die Reize, um mithilfe seines Vorwissens eine Repräsentation der Umgebung zu erstellen. In Anlehnung an Endsley wird hierfür der Begriff Situationsbewusstsein verwendet. Das Situationsbewusstsein des Fahrers ist in der Regel wesentlich umfassender als das Situationsmodell des Fahrzeugs. Es beinhaltet sowohl ein Verständnis der Situation als auch die Fähigkeit, den weiteren Verlauf vorherzusehen, d. h.

zu antizipieren. Die Idee besteht nun darin, dieses umfassendere Wissen dem Fahrzeug zur Verfügung zu stellen, um damit das Situationsmodell anzureichern bzw. zu präzisieren (siehe blauer Pfeil). Dadurch soll letztlich die Entscheidungsqualität von Fahrerassistenzsystemen verbessert werden.

Damit die Antizipationsfähigkeit des Fahrers vom Fahrzeug genutzt werden kann, muss diese zunächst „messbar“ gemacht werden. Ein möglicher Ansatz hierfür stellt die aus den Neurowissenschaften stammende *Theorie der somatischen Marker* dar. Da diese das wesentliche theoretische Fundament für die vorliegende Arbeit darstellt, soll sie im Folgenden ausführlich vorgestellt werden.

2.4 Die Theorie der somatischen Marker

Die Theorie der somatischen Marker ⁵ zog erstmals im Jahr 1994 eine breite Aufmerksamkeit auf sich, als Antonio Damasio das Buch *Descartes' Error* veröffentlichte (Damasio, 1994). Ein entscheidender Schritt zum Verständnis dieser Theorie besteht offensichtlich darin, zu verstehen, welcher Irrtum gemeint ist. Damasio stört sich an einer Trennung, die der Philosoph René Descartes vor ungefähr 400 Jahren vorgenommen hat: die Trennung von Körper und Geist. Für Descartes war es offensichtlich, dass in der Welt zwei unterschiedliche Substanzen existieren. Diese nannte er *res extensa* und *res cogitans*. *Res extensa* bezeichnet die materielle Substanz, die sich dadurch auszeichnet, dass sie ausgedehnt ist und einen bestimmten Ort besitzt. *Res cogitans* hingegen ist unausgedehnt und verfügt über keinen fassbaren Ort, sondern nur über einen zeitlichen Verlauf (Walach, 2009). Damasio stellt diese Aufteilung in Frage und plädiert für eine Überwindung der Trennung von Körper und Geist. Für ihn gehören der denkende Geist und der aus-

⁵Anmerkung zur Begriffsverwendung: In der vorliegenden Arbeit wird durchgängig von der *Theorie* der somatischen Marker gesprochen. Damasio selbst verwendet meist den Begriff *Hypothese* (Somatic Marker Hypothesis). Andere Autoren nutzen die Begriffe synonym oder sprechen ebenfalls von einer Theorie (z. B. Müsseler & Rieger, 2017). In neueren Publikationen nutzt Damasio teilweise auch den Begriff *Theorie* (z. B. Bechara & Damasio, 2010).

gedehnte Körper untrennbar zusammen. Es gibt keinen denkenden Geist und einen nicht-denkenden Körper. Beide sind wechselseitig miteinander verbunden, der Körper hat eine entscheidende Rolle bei Prozessen, die wir normalerweise exklusiv dem denkenden Geist zuschreiben. Wie Damasio zu dieser Schlussfolgerung gelangte, soll nachfolgend skizziert werden.

2.4.1 Ursprung der Theorie

Die Theorie der somatischen Marker basierte zunächst auf der intensiven Beschäftigung mit Menschen, die Hirnschädigungen im sogenannten präfrontalen Kortex aufwiesen. Um deren Einschränkungen besser zu verstehen, wurden diese später experimentell mit der sogenannten *Iowa-Gambling-Task* untersucht. Es sollen zunächst die wesentlichen Erkenntnisse der Einzelfallstudien dargestellt werden, bevor im Anschluss auf das Paradigma und die Ergebnisse der Iowa-Gambling Task eingegangen wird.

2.4.1.1 Einzelfallstudien neurologischer Patienten

Anhand von Literaturrecherchen und mit Hilfe von Computersimulationen gelang es Damasio, das mehr als einhundert Jahre zurückliegende Schicksal von Phineas P. Gage (1823-1860) zu rekonstruieren (siehe Abbildung 2.12).

Im Rahmen seiner Tätigkeit als Mitarbeiter einer amerikanischen Eisenbahngesellschaft führte Gage am 13. September 1848 eine Sprengung durch. Aufgrund einer Unaufmerksamkeit kam es zu einer vorzeitigen Explosion, in deren Folge eine massive Eisenstange durch den Kopf von Phineas Gage getrieben wurde. Trotz der Schwere des Unfalls erholte er sich körperlich relativ schnell, die ärztliche Behandlung wurde in weniger als zwei Monaten abgeschlossen. Doch zogen die neurologischen Verletzungen eine dauerhafte Veränderung von Gages Persönlichkeit nach sich: „Gage was no longer Gage“ (Damasio, 1994, S. 8). Er wirkte „enthemmt“, soziale Normen und Werte schienen keine Bedeutung mehr für ihn zu haben, was sich unter anderem in einem ausgiebigen Gebrauch von überaus vulgären

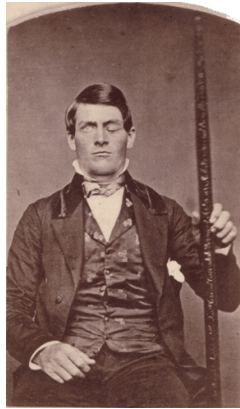


Abb. 2.12: Phineas Gage (1823 – 1860) mit Eisenstange.

Schimpfwörtern zeigte. Die folgenschwerste Veränderung betraf allerdings sein Entscheidungsverhalten. Laut Damasio war Gage nicht mehr in der Lage, Entscheidungen zu treffen, die seiner eigenen Person nützlich oder zuträglich waren. „He could not make good choices, and the choices he made were not simply neutral. They were not the reserved or slight decisions of someone whose mind is diminished and who is afraid to act, but were instead actively disadvantageous“ (Damasio, 1994, S. 11). Er schien zudem die Fähigkeit verloren zu haben, zukünftige Ereignisse zu antizipieren: „There was no evidence of concern about his future, no sign of forethought“ (Damasio, 1994, S. 11).

Um zu verstehen, welche Hirnregion durch die Eisenstange in Mitleidenschaft gezogen worden war und damit als ursächlich für die Veränderungen von Gages Entscheidungsverhalten gelten kann, wurden von Hanna Damasio Computersimulationen durchgeführt (siehe Abbildung 2.13). Anhand dieser Simulationen schloss sie, dass die Verletzungen von Gage im so genannten *präfrontalen Kortex* stattgefunden hatten (siehe Abbildung 2.14).⁶

⁶Unter dem Titel „A Thoroughly Modern Gage“ beschreiben Dimitrov, Phipps, Zahn und Grafman (1999) das Schicksal eines aus ihrer Sicht vergleichbaren Falls. Im Unterschied zu Gage erlitt der Patient mit dem Kürzel MGS seine Hirnschädigungen durch Schuss-

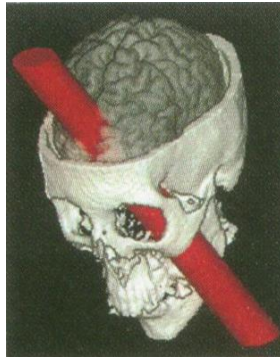


Abb. 2.13: Rekonstruktion der Hirnschädigung von Phineas Gage durch die Eisenstange (Damasio et al., 1994, S. 1104).

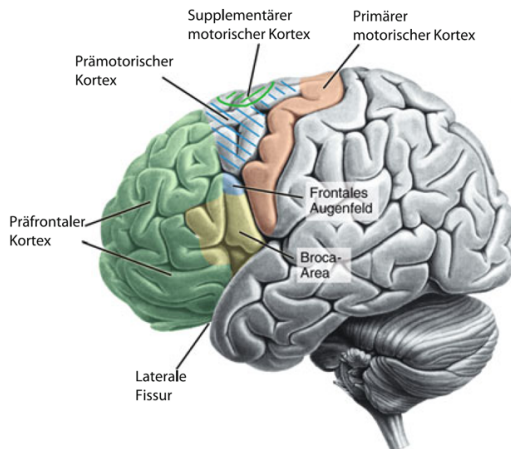


Abb. 2.14: Gliederung der verschiedenen Regionen des Frontallappens im menschlichen Gehirn (Thier, 2012, S. 576).

Ein zweiter von Damasio ausführlich beschriebener Fall mit Schädigungen im präfrontalen Kortex ist der Patient „Elliot“, der mitunter auch E.V.R. genannt wird. Im Unterschied zu Phineas Gage, bei dem Damasio auf historische Unterlagen angewiesen war, konnte er sich bei Elliot selbst ein Bild von dem Patienten und dessen Persönlichkeit machen. Die Ursache für Elliots Hirnschädigung war kein Unfall, sondern ein rasch wachsender Tumor, der durch einen chirurgischen Eingriff entfernt werden musste. Da der Tumor bereits Teile des präfrontalen Kortex in Mitleidenschaft gezogen hatte, wurden diese bei der Operation mitentfernt. Auch bei Elliot zeigten sich nach der Operation dramatische Veränderungen der Persönlichkeit. Mit einem Mal war es ihm nicht mehr möglich, Ziele zu verfolgen und damit wichtige Dinge von unwichtigen Dingen zu unterscheiden. Sollte er z. B. einen Stapel Dokumente sortieren, so konnte es passieren, dass er plötzlich mit der ursprünglichen Sortieraufgabe aufhörte und sich stattdessen intensiv mit dem Inhalt eines der Dokumente beschäftigte. Wichtig ist anzumerken, dass Elliots intellektuelle Fähigkeiten nicht grundsätzlich eingeschränkt waren: „The tragedy of this otherwise healthy and intelligent man was that he was neither stupid nor ignorant, and yet he acted often as if he were“ (Damasio, 1994, S. 38). Damasio sieht deutliche Parallelen zwischen den Fällen von Elliot und Phineas Gage, die er auf ähnliche Schädigungen des präfrontalen Kortex zurückführt. Diese Schädigungen führten bei beiden Männern zu dramatischen Veränderungen der bis dahin normalen und geordneten Lebensumstände. Den Hauptgrund für diese Entwicklung sieht Damasio in der Tatsache, dass beide Männer nicht mehr in der Lage waren, vorteilhafte Entscheidungen zu treffen. „In some respects Elliot was a new Phineas Gage, fallen from social grace, unable to reason and decide in ways conducive to the maintenance and betterment of himself and his family, no

verletzungen im Vietnamkrieg. MGS zeigte keine generellen kognitiven Einschränkungen, sein übriges Verhalten wird als vergleichbar mit den historischen Darstellungen von Gage beschrieben (Dimitrov et al., 1999).

longer capable of succeeding as an independent human being“ (Damasio, 1994, S. 38).

Die genaue Beobachtung der Veränderungen im Entscheidungsverhalten von hirngeschädigten Menschen stellt nur eine Quelle der Theorie der somatischen Marker dar. Damasio wollte die Veränderungen nicht nur beschreiben, sondern auch experimentell untersuchen. Hierfür entwickelte er gemeinsam mit Kollegen die sogenannte Iowa-Gambling Task (Bechara, Damasio, Damasio & Anderson, 1994).

2.4.1.2 Die Iowa Gambling Task

Die Iowa Gambling Task (IGT) besteht aus vier Kartenstapeln (anfangs handelte es sich um reale Karten, später wurde der Test als Computerversion realisiert). Diese liegen verdeckt vor der Versuchsperson. Auf jeder Karte ist ein Geldbetrag aufgedruckt, dieser kann entweder positiv sein (Gewinn) oder negativ (Verlust). Aufgabe der Versuchsperson ist es, so viel Geld wie möglich zu gewinnen, d. h. möglichst viele positive Karten aufzudecken und wenig Verlust zu machen. Die Karten der IGT sind dabei nicht zufällig verteilt, sondern es gibt zwei so genannte *günstige* und zwei *ungünstige* Stapel. Bei den günstigen Stapeln beträgt der Gewinn pro Karte 50 \$. Dieser Betrag ist wesentlich geringer als bei den ungünstigen Stapeln, wo die Probanden 100 \$ verdienen. Entscheidend ist der Verlust, der den Probanden droht: durchschnittlich alle zehn Karten beträgt dieser bei den günstigen Karten 250 \$, bei den ungünstigen Stapeln allerdings 1250 \$. Netto macht der Spieler also bei den günstigen Stapeln einen Gewinn von 250 \$, bei den ungünstigen Stapeln allerdings einen Verlust von 250 \$ (siehe Abbildung 2.15).

Der Anspruch der IGT besteht darin, einen möglichst realitätsnahen Entscheidungsprozess abzubilden. Die Autoren charakterisieren die IGT entsprechend als „a novel task which simulates real-life decision-making in the

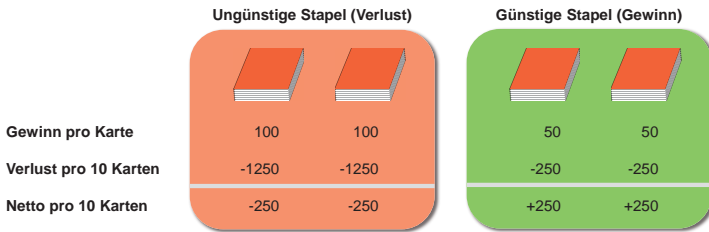


Abb. 2.15: Struktur der Iowa Gambling Task.

way it factors uncertainty of premises and outcomes, as well as reward and punishment“ (Bechara et al., 1994, S. 7).

Im Jahr 1997 wird erstmal eine Studie veröffentlicht, in der parallel zur IGT die Hautleitfähigkeit der Probanden gemessen wurde (Bechara, Damasio, Tranel & Damasio, 1997). Verglichen wurden Patienten mit einer Schädigung des ventromedialen⁷ präfrontalen Kortex ($n = 6$) mit gesunden Vergleichsprobanden ($n = 10$). Erfasst wurden die folgenden drei Variablen: (1) Die Anzahl der gewählten Karten von den günstigen oder ungünstigen Stapeln, (2) das Auftreten antizipatorischer Hautleitfähigkeitsreaktionen vor der Aufnahme einer Karte (anticipatory skin conductance response, SCR) und (3) die Einsicht der Probanden in die Mechanismen des Spiels, bzw. das bewusste Verständnis für die eigene Kartenwahlstrategie. Es werden vier Phasen unterschieden, die von den Probanden im Laufe des Versuchs durchlaufen werden: Vor-Bestrafungsphase (pre-punishment), Vor-Ahnungsphase (pre-hunch), Ahnungsphase (hunch) und Konzeptphase (conceptual).

Die *Vor-Bestrafungsphase* kennzeichnet die ersten Kartenwahlen im Experiment, solange die Probanden noch keinen Verlust erleiden (ca. die ersten 10 Karten). Das Erleben des ersten Verlustes stellt den Beginn der *Vor-Ahnungsphase* dar. In dieser Phase wählen die Probanden von den verschiedenen Stapeln, ohne eine Einsicht in die zugrundeliegende Logik zu erlangen

⁷Es werden die üblichen anatomischen Lage- und Richtungsbezeichnungen für das Gehirn verwendet (vgl. Birbaumer & Schmidt, 2010, S. 72): anterior (nach vorne, zum Kopf), posterior (nach hinten), kaudal (zum Schwanz), rostral (zum Schnabel, zur Nase), dorsal (zum Rücken) und ventral (zum Bauch).

(Dauer durchschnittlich 10.-50. Karte bei der Kontrollgruppe; 9.-80. Karte bei der Patientengruppe). Die folgende *Ahnungsphase* zeichnet sich dadurch aus, dass die Probanden eine erste Vermutung zur Natur der Stapel äußern (günstig bzw. ungünstig). Diese Vermutung ist noch recht vage und kann nicht rational begründet werden. Die Ahnungsphase wurde nur von der gesunden Kontrollgruppe erreicht (50.-80. Karte).

Die letzte Phase ist die *Konzeptphase*. Zu diesem Zeitpunkt haben die Probanden eine bewusste Einsicht in die Logik der vier Kartenstapel gewonnen. Diese Einsicht können sie auch klar artikulieren (ca. ab der 80. Karte in der Kontroll- und der Patientengruppe). Nicht alle Probanden erreichten diese letzte Phase. In der Kontrollgruppe durchschauten sieben von zehn Probanden das Spiel, in der Patientengruppe waren es drei von sechs.

Interessant ist der Blick auf die SCR-Messungen. In der ersten Phase (Vor-Bestrafung) unterscheiden sich die SCRs zwischen den beiden Gruppen nicht signifikant. Darüber hinaus gibt es auch keine SCR-Unterschiede zwischen den günstigen und ungünstigen Stapeln. In der Vor-Ahnungsphase entwickeln die gesunden Probanden signifikant höhere SCRs als in der Vor-Bestrafungsphase und zwar sowohl für günstige wie für ungünstige Stapel. Auch in den folgenden beiden Phasen liegen die SCR-Werte der Kontrollgruppe über den Werten der Vor-Bestrafungsphase. Während allerdings die SCR-Werte für die ungünstigen Stapel über alle Phasen hinweg konstant bleiben, bilden sich die SCR-Werte der günstigen Stapel langsam zurück. Damit kristallisiert sich bei den gesunden Probanden über den Versuch hinweg eine immer deutlichere Differenzierung der SCR-Werte für günstige und ungünstige Stapel heraus. Parallel dazu erfolgt eine Änderung des Kartenwahlverhaltens hin zu den günstigen Stapeln. Bei der Patientengruppe zeigte sich über das gesamte Experiment hinweg keine Veränderung der SCR-Aktivität. Sie behielten allerdings auch bis zuletzt eine dysfunktionale Kartenwahlstrategie bei.

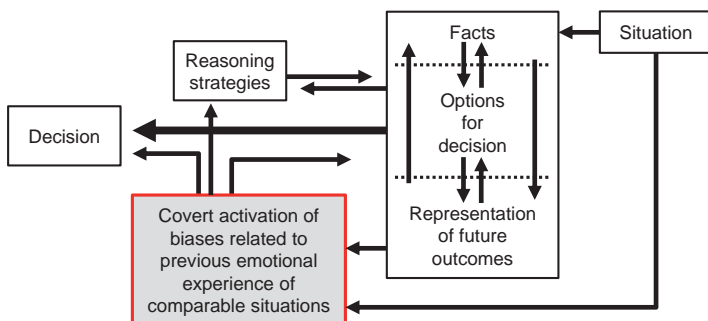


Abb. 2.16: Somatische Marker im Entscheidungsprozess (modifiziert nach Bechara et al., 1997, S. 1294).

2.4.2 Die Rolle somatischer Marker im Entscheidungsprozess

Wie lassen sich diese Befunde erklären und integrieren? Bechara et al. (1997) schlagen vor, dass eine Situation, die eine Entscheidung verlangt, auf zwei parallelen Pfaden verarbeitet wird (siehe Abbildung 2.16). Die beiden Pfade werden von den Autoren als *offen* (overt) und *verdeckt* (covert) bezeichnet.⁸

Auf dem *offenen Pfad* werden die Informationen aus der Situation bewusst verarbeitet. Hierfür werden mögliche Entscheidungsoptionen sowie die erwarteten Folgen gegeneinander abgewogen. Das Ergebnis dieses Abwägungsprozesses ist eine bewusste Entscheidung für eine der Optionen.

Auf dem parallel verlaufenden *verdeckten Pfad* löst eine erlebte Situation direkt (d. h. ohne bewusste Informationsverarbeitung) eine emotionale Reaktion aus. Diese basiert auf der gesamten emotionalen Vorerfahrung des Organismus mit vergleichbaren Situationen. Die aktivierten Vorerfahrungen nehmen Einfluss auf die gewählten Denkstrategien, den bewussten Abwägungsprozess und die letztlich getroffene Entscheidung. Diese Art der verdeckten emotionalen Aktivierung von Vorerfahrung wird auch *somatischer Marker* genannt.

⁸Bei dem Modell handelt sich somit ebenfalls um eine Zwei-Prozess-Theorie, vgl. Abschnitt 2.2.3.1

Im IGT-Experiment bilden gesunde Probanden ab der Vor-Ahnungsphase signifikante antizipatorische somatische Marker. Das bedeutet, dass die somatischen Marker der bewussten Einsicht in die Mechanismen des Spiels *vorausgehen* (vgl. verdeckter Pfad). Die Konfrontation mit den vier Stapeln der IGT aktiviert bei den Probanden emotionale Vorerfahrungen mit ähnlichen Wahlsituationen, die sich als SCRs messen lassen. Somatische Marker lenken bzw. bereiten dadurch bewusste Entscheidungen vor. Dass somatische Marker nicht nur ein Epiphänomen der Entscheidungsfindung darstellen, zeigt der Vergleich mit der Patientengruppe. Die Probanden mit Hirnschädigungen entwickelten keine somatischen Marker. Entsprechend wurde keine Vorerfahrung aktiviert, die den Entscheidungsprozess beeinflussen konnte. Dies wird als ursächlich für das schlechte Entscheidungsverhalten der Patientengruppe angesehen.

Wichtig ist darauf hinzuweisen, dass somatische Marker keine eigene, dem bewussten Geist möglicherweise zuwiderlaufende Dynamik aufweisen: „Somatic markers do not deliberate for us. They assist the deliberation by highlighting some options (either dangerous or favorable), and eliminating them rapidly from subsequent consideration“ (Damasio, 1994, S. 174).

2.4.3 Somatischer Marker: Eine Alarmglocke des Körpers

Bei einem somatischen Marker handelt es sich um ein körperliches Signal (soma [griech]: Körper), das eine Entscheidung vorbereitet, bzw. bestimmte zur Verfügung stehende Handlungsoptionen „markiert“. Im Fokus stehen dabei diejenigen Optionen, die für den Organismus mit einem Risiko einhergehen. „[A somatic marker] [...] forces attention on the negative outcome to which a given action may lead, and functions as an automated alarm signal which says: Beware of danger ahead if you choose the option which leads to this outcome“ (Damasio, 1994, S. 173). Ein somatischer Marker ist also eine Alarmglocke des Körpers, die anschlägt, wenn Gefahr droht und damit versucht, die Handlungen in Richtung sicherer Alternativen zu

lenken. Ausgelöst wird der Alarm durch emotionale Vorerfahrungen mit vergleichbaren Entscheidungssituationen.

Damit ist die Qualität der Entscheidung direkt gekoppelt an die Art und Qualität der bisher gemachten Vorerfahrungen. Sind diese nicht adäquat für die aktuelle Situation, kann die Aktivierung eines somatischen Markers in bestimmten Fällen auch negative Folgen nach sich ziehen. Damasio beschreibt hierzu eine Situation, die interessanterweise im Kontext Fahrer-Fahrzeug angesiedelt ist. Einer seiner Patienten mit Schädigungen im ventromedialen präfrontalen Kortex war mit seinem Auto in das Labor von Damasio gefahren. Es war ein kalter Wintertag und auf der Straße hatte sich eine Eisfläche gebildet. Nichtsdestotrotz schien der Patient keine Probleme mit der Situation gehabt zu haben. Nach kurzem Überlegen war ihm klar, welche Handlungsweisen bei glatter Fahrbahn angebracht waren und welche es zu vermeiden galt. Andere Verkehrsteilnehmer, die nicht entsprechend rational handelten, hatten Schwierigkeiten im Umgang mit der Situation. Damasio erzählt von einer Frau, die vor seinem Patienten fuhr und auf der Eisfläche ins Rutschen geriet. Anstatt ruhig zu bleiben und mit minimalen Lenkbewegungen die Kontrolle über das Fahrzeug zurückzuerlangen, trat sie panisch auf die Bremse. Damit verschärfte sie den Kontrollverlust und fuhr letztlich in den Straßengraben. Die aktivierte Vorerfahrung der Fahrerin war in diesem Fall laut Damasio nicht adäquat. Der erlebte Kontrollverlust aktivierte ähnliche bereits durchlebte Situationen, allerdings unterschieden sich diese in einem wesentlichen Punkt: Der Kontrollverlust trat bei nicht-glatten Straßen auf, in denen sich das Bremsen als hilfreich erwiesen hatte. In der Situation mit Eis auf der Straße hatte die unmittelbar aktivierte Vorerfahrung dagegen ein negatives Ergebnis zur Folge. „This exemplifies how automated somatic-marker mechanisms can be pernicious to our behavior, and how, under some circumstances, their absence can be an advantage“ (Damasio, 1994, S. 192–193).

2.4.4 Wichtige Begriffe und Konzepte

Im Folgenden sollen wichtige Begriffe und Konzepte erläutert werden, die im Zusammenhang mit der Theorie der somatischen Marker Verwendung finden.

2.4.4.1 Emotion und Gefühl

Obwohl umgangssprachlich die Begriffe Gefühl und Emotion häufig synonym verwendet werden, ist für das Verständnis der Theorie der somatischen Marker eine genaue Differenzierung unerlässlich (vgl. Damasio & Carvalho, 2013). Laut Damasio ist der Organismus (genauer: das zentrale Nervensystem) beständig damit beschäftigt, Änderungen der inneren Bedingungen (z. B. erhöhte Atemfrequenz, veränderter Blutdruck) und äußeren Bedingungen (z. B. ein unangenehmer Geruch, ein lautes Geräusch) zu erkennen. Die Wahrnehmung der Veränderungen im eigenen Körper wird Interozeption genannt, während das Erkennen von Veränderungen in der Umwelt als Exterozeption bezeichnet wird (siehe Abbildung 2.17).

Auf wahrgenommene Veränderungen reagiert das zentrale Nervensystem mit der Aktivierung eines sogenannten *Aktionsprogramms*, dessen Ziel darin besteht, den Zustand vor der Veränderung wiederherzustellen. Das Aktionsprogramm ist in der Lage, verschiedene physiologische Veränderungen im Körper zu initiieren, z. B. Erhöhung der Atemfrequenz oder Verminderung der Schweißsekretion. Wenn ein Aktionsprogramm dazu dient, ein Grundbedürfnis zu befriedigen (z. B. Nahrungsaufnahme), spricht Damasio von einem *Trieb* (drive), ansonsten von einer *Emotion*. Ausgelöst werden können Emotionen von tatsächlich existierenden Stimuli in der Umwelt oder über Vorstellungen und Erinnerungen (vgl. Abschnitt 2.4.4.2). Interessant ist die Tatsache, dass die durch Aktionsprogramme (Trieb oder Emotion) ausgelösten Veränderungen nicht notwendigerweise mit einer bewussten Wahrnehmung einhergehen müssen. Nimmt der Körper die Veränderungen bewusst wahr, spricht Damasio von einem Gefühl (feeling). Ein Beispiel

soll helfen, die Unterschiede der Begriffe zu verdeutlichen: Nimmt ein Organismus via Exterozeption eine Schlange wahr, so führt das zur Aktivierung eines Aktionsprogramms (Emotion), das u. a. die Herz- und Atemfrequenz erhöht und zu unwillkürlichen Veränderungen der Gesichtsmuskulatur führt. Werden diese Veränderungen bewusst wahrgenommen, spricht man von einem Gefühl, in diesem Fall von Furcht.

Damasio unterscheidet also strikt zwischen körperlichen Veränderungen und bewusstem Erleben: „Note that an action programme and the respective feeling are often referred to by the same name, although they are distinct phenomena. Thus ‘fear’ can refer to either an emotion (the set of programmed physiological actions triggered by a fear-inducing stimulus) or a feeling (the conscious experience of fear)“ (Damasio & Carvalho, 2013, S. 144)⁹.

2.4.4.2 Primäre und sekundäre Auslöser

Somatische Reaktionen können von zwei verschiedenen Typen von Stimuli induziert werden: *primäre* und *sekundäre* Auslöser (primary and secondary inducers, Bechara & Damasio, 2010, S. 340). Primäre Auslöser sind Stimuli, die beim Organismus entweder aufgrund angeborener Verknüpfungen oder aufgrund seiner Lerngeschichte positive oder negative Zustände hervorrufen. Findet eine Konfrontation mit einem primären Auslöser statt, führt das zu einer unmittelbaren somatischen Reaktion. Ein typisches Beispiel für einen primären Auslöser ist die unvorbereitete Begegnung mit einer Schlange. Sekundäre Auslöser zeichnen sich dadurch aus, dass sie über Erinnerungen und Vorstellungen aktiv werden. Bei primären Auslösern findet ein direkter (physischer) Kontakt zwischen Organismus und Stimulus statt. Bei sekundären Auslösern arbeitet der Organismus mit Erinnerungen und Vorstellungen. So kann z. B. die bloße Erinnerung an das Zusammentreffen mit der Schlange

⁹Die Konzeption von Damasio und Carvalho (2013) zeigt unverkennbare Parallelen zur James-Lange Theorie der Emotionsentstehung (vgl. James, 1884), weshalb die Theorie der somatischen Marker mitunter auch als deren „eingeschränkte Neuauflage“ bezeichnet wird (Rothermund & Eder, 2011, S. 185).

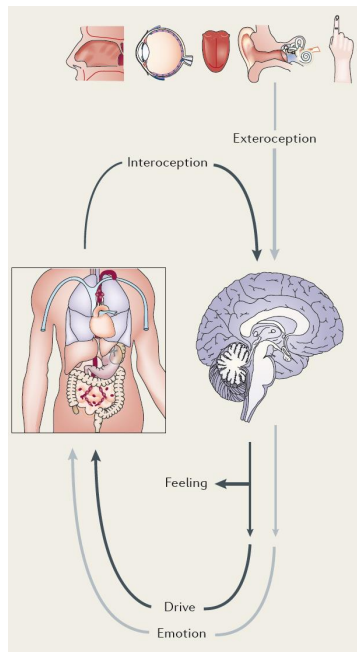


Abb. 2.17: Unterschied zwischen Emotion und Gefühl (Damasio & Carvalho, 2013, S. 144).

ebenfalls einen somatischen Zustand hervorrufen. Auch ein hypothetisches Zusammentreffen mit einer Schlange, das zuvor noch gar nicht stattgefunden haben muss, kann eine somatische Reaktion auslösen (Bechara & Damasio, 2010, S. 340).

2.4.4.3 Körperschleife

Nicht immer muss der gesamte Körper aktiviert werden, um Einfluss auf die Entscheidungsfindung zu nehmen. Nach Bechara (2004) existieren zwei Entscheidungspfade: die Körperschleife (body-loop) und die Pseudo-Körperschleife („as if“-loop): „In the body loop mechanism, an appropriate emotional (somatic) state is actually re-enacted, and signals from its activation are then relayed back to subcortical and cortical somatosensory

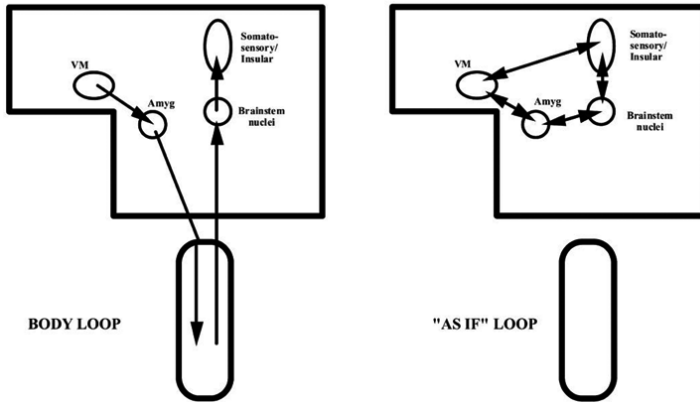


Abb. 2.18: Körperschleife und Pseudo-Körperschleife (Bechara, 2004, S. 38).

processing structures, especially in the somatosensory (SI and SII) and insular cortices“ (Bechara, 2004, S. 37–38). Eine schnellere Reaktionskette bildet die Pseudo-Körperschleife: „after emotions are learnt, one possible chain of physiologic events is to by-pass the body altogether, activate the insular/somatosensory cortices directly, and create a fainter image of an emotional body state than if the emotion were actually expressed in the body. This anatomical system is described as the “as if body loop” (Bechara, 2004, S. 38). Beide Verarbeitungspfade sind in Abbildung 2.18 veranschaulicht.

Unter welchen Bedingungen wird nun der eine oder der andere Pfad beschritten? Nach Bechara (2004) ist dafür die Art der Entscheidung ausschlaggebend: je unsicherer das Ergebnis einer Entscheidung, desto wahrscheinlicher wird die Körperschleife beschritten (Bechara, 2004, S. 38).

2.4.5 Weitere Befunde

In weiteren Experimenten wurde versucht, die neuronalen Grundlagen sowie die Einbettung somatischer Marker in den Informationsverarbeitungsprozess besser zu verstehen.

2.4.5.1 Rolle der Amygdala

Bechara, Damasio, Damasio und Lee (1999) verglichen Patienten mit Schädigungen der Amygdala mit Patienten, die Schädigungen im ventromedialen präfrontalen Kortex aufwiesen. Beide Patientengruppen waren beim Spielen der IGT nicht in der Lage, antizipatorische SCRs auszubilden und eine gewinnbringende Kartenwahlstrategie anzuwenden. Im Unterschied zu den Amygdala-Patienten waren die Patienten mit Schädigungen des präfrontalen Kortex allerdings in der Lage, SCRs als Reaktion auf Belohnung oder Strafe zu entwickeln.

In der gesunden Vergleichsgruppe gab es zudem drei Probanden, die ebenfalls eine schlechte Kartenwahlstrategie beibehielten. Diese zeigten allerdings auch interessanterweise eine geringere antizipatorische Reaktion vor der Wahl eines ungünstigen Stapels als vor der Wahl eines günstigen Stapels. Bei den anderen gesunden Probanden war dieser Effekt genau entgegengesetzt, eine Karte vom ungünstigen Stapel ging mit einer höheren antizipatorischen Reaktion einher (Bechara et al., 1999).

2.4.5.2 Rolle des Arbeitsgedächtnisses

In einem weiteren Experiment untersuchten Bechara, Damasio, Tranel und Anderson (1998) die Rolle des Arbeitsgedächtnisses im Entscheidungsprozess. Dafür wurden Probanden mit unterschiedlichen Schädigungen im präfrontalen Kortex mit gesunden Probanden verglichen. Alle Probanden mussten sowohl eine Entscheidungsaufgabe (IGT) als auch zwei Arbeitsgedächtnisaufgaben (sog. Verzögerungsaufgaben, „delay tasks“) absolvieren. Die Ergebnisse legen nahe, dass zwischen dem Arbeitsgedächtnis und dem Entscheidungsverhalten eine „asymetrische Abhängigkeit“ besteht. Diese äußert sich zum einen darin, dass ein intaktes Arbeitsgedächtnis eine notwendige Bedingung für ein funktionales Entscheidungsverhalten darzustellen scheint. Ein intaktes Arbeitsgedächtnis wiederum scheint keine notwendige Voraussetzung für ein funktionales Entscheidungsverhalten zu sein: Pro-

banden, die dysfunktionale Entscheidungen trafen, konnten trotzdem gute Leistungen in den Arbeitsgedächtnisaufgaben zeigen (Bechara et al., 1998).

2.4.5.3 Rolle der Hirnschädigung

Ouerchefani, Ouerchefani, Allain, Ben Rejeb und Le Gall (2017) wollten untersuchen, ob unterschiedliche Schädigungen im präfrontalen Kortex zu unterschiedlichen Leistungen in der IGT führen. Insgesamt 27 Probanden mit Schädigungen des präfrontalen Kortex nahmen an der Studie teil. Jede Schädigung wurde genau spezifiziert hinsichtlich Ort und Größe. Im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe zeigten alle Patienten eine deutlich herabgesetzte Leistung in der IGT. Keine Unterschiede ergaben sich zwischen Patienten mit unterschiedlichen Schädigungen. Die Autoren schließen daraus, dass nicht eine bestimmte Hirnregion für das Entscheidungsverhalten zuständig ist, sondern ein komplexes Netzwerk verschiedener Regionen im präfrontalen Kortex (Ouerchefani et al., 2017, S. 83).

2.4.6 Kritik

Seit ihrer Veröffentlichung hat die Theorie der somatischen Marker von vielen Seiten Unterstützung, aber auch Kritik erfahren. Nachfolgend werden wichtige Studien und daraus abgeleitete Erkenntnisse vorgestellt.

Maia und McClelland (2004) ließen Probanden die IGT spielen und überprüften regelmäßig mit Hilfe eines Fragebogens, wie ausgeprägt die bewusste Einsicht der Probanden in die Regeln des Spiels war. Die Ergebnisse zeigten, dass eine Änderung des Wahlverhaltens mit einer bewussten Einsicht einherging. Die Autoren sehen damit die Theorie der somatischen Marker wesentlich in Frage gestellt.

Bechara, Damasio, Tranel und Damasio (2005) beschreiben in einer Replik die Ergebnisse von Maia und McClelland (2004) als durchaus vereinbar mit der Theorie der somatischen Marker. Somatische Marker müssen nicht notwendigerweise unbewusst wirken, sie unterstützen vielmehr selbst bei

bewusster Einsicht den Entscheidungsprozess, denn: „pure cognitive processes unassisted by emotional signals do not guarantee normal behavior in the face of adequate knowledge“ (Bechara et al., 2005, S. 160).

Persaud, McLeod und Cowey (2007) führten ebenfalls ein Experiment mit der IGT durch. Bevor die gewählten Karten jedoch umgedreht wurden, sollten die Probanden einen Betrag auf ihren Erfolg wetten. Es zeigte sich, dass die Probanden zuerst anfangen, ihre Kartenwahlstrategie hin zu den günstigen Stapeln zu ändern, und erst zu einem späteren Zeitpunkt ihr Wettverhalten anpassen. Die Autoren sehen daher im Wettverhalten ein objektives Maß für die bewusste Einsicht der Probanden in die Regeln des Spiels. Einer zweiten Gruppe wurden zusätzlich die geschlossenen Fragen zur Einsicht in das Spiel von Maia und McClelland (2004) gestellt. Hier entwickelte sich das positive Wettverhalten parallel zur berichteten Einsicht. In einer dritten Gruppe wurden die offenen Fragen von Bechara et al. (1997) gestellt. Diese beeinflussten das positive Wettverhalten nicht. Die von Maia und McClelland (2004) berichteten Ergebnisse lassen sich also auf die verwendete Messmethode zurückführen, die die eigentlich zu messende Einsicht selbst beeinflusst.

Crone, Somsen, van Beek und van der Molen (2004) führten eine modifizierte Version der IGT durch. Anstatt Geld zu verdienen, sollten die Probanden einen hungrigen Esel füttern. Die Höhe der zu gewinnenden bzw. verlierenden Äpfel waren dabei im Vergleich zur originalen IGT um den Faktor 25 geringer. Neben der Hautleitfähigkeit wurde auch die Herzrate der Probanden gemessen. Auf Grundlage der Anzahl an vorteilhaften Entscheidungen in der IGT wurden die Probanden nach dem Experiment in drei Gruppen eingeteilt (gut, mittelmäßig, schlecht). Die Probanden der guten Gruppe zeigten vor der Wahl eines ungünstigen Stapels signifikant höhere antizipatorische Hautleitfähigkeitsreaktionen und eine signifikant geringere Herzrate als bei der Wahl eines günstigen Stapels. Bei den anderen beiden Gruppen konnten keine derartigen antizipatorischen Veränderungen gemessen werden.

Jenkinson, Baker, Edelstyn und Ellis (2008) führten die IGT mit 41 gesunden Probanden durch, die im Anschluss aufgrund ihrer gezeigten Leistung im Spiel als gute oder schlechte Spieler klassifiziert wurden. Hinsichtlich der Hautleitfähigkeit konnten keine globalen Unterschiede zwischen den beiden Gruppen gefunden werden. Allerdings zeigte sich über beide Gruppen hinweg, dass die antizipatorischen Hautleitfähigkeitsveränderungen vor ungünstigen Stapeln höher lag (knapp nicht signifikant) als bei günstigen Stapeln. Die Autoren folgern daraus: „[. . .] the present study provides evidence to suggest that autonomic activity might discriminate between good and bad decision-making (i.e., immediate choice of good or bad deck), but not good and bad decision-makers (i.e., overall performance as normal or impaired)“ (Jenkinson et al., 2008, S. 148).

In einem umfassenden Review ziehen Dunn, Dalgeish und Lawrence (2006) folgendes Fazit zum Stand der Theorie der somatischen Marker: „Until a broader range of empirical approaches are used to test the SMH, the current status of the framework would appear to be that it is an intriguing idea in need of some clearer specification and some more supporting evidence“ (Dunn et al., 2006, S. 266).

Zu wenig Aufmerksamkeit wurde bislang der Tatsache gewidmet, dass verschiedene Studien sich teilweise massiv in der Art und Weise unterscheiden, wie die Hautleitfähigkeitsdaten ausgewertet werden. Manche Studien treffen gar keine oder nur unvollständige Aussagen über die verwendeten Methoden und Auswerteschritte. Unterschiedliche Methoden der Datenauswertung verringern notwendigerweise die Vergleichbarkeit der verschiedenen Studien, da jeder Autor das Konstrukt somatischer Marker auf eine andere Art und Weise operationalisiert (siehe auch Abschnitt 3.5). Zum Teil mag man dieses Problem auch den Forschern um Damasio zum Vorwurf machen, da diese nie eine „Standardmethode“ vorgegeben haben und den Leser selbst teilweise im Unklaren lassen über die genaue Art der Auswertung. Nichtsdestotrotz bleibt festzuhalten, dass die Originalstudien stets mit der phasischen Aktivität des Signals arbeiten (mehr zur Hautleitfähigkeit siehe Kapitel 3),

während z. B. die Studien von Crone et al. (2004) und Jenkinson et al. (2008) die tonische Aktivität auswerten. Besonders problematisch dabei ist, dass dieser Unterschied in den Studien selbst nicht deutlich thematisiert oder diskutiert wird.

2.5 Die Theorie der somatischen Marker im Kontext Fahrer-Fahrzeug

In diesem Abschnitt wird erläutert, in welcher Form die Theorie der somatischen Marker bislang theoretisch und empirisch im Kontext Fahrer-Fahrzeug verankert ist.

2.5.1 Empirische Verankerung

Zunächst wird auf ältere Experimente eingegangen, die zu ihrem Entstehungszeitpunkt zwar nicht für die Untersuchung somatischer Marker konzeptioniert waren, deren Ergebnisse allerdings möglicherweise im Licht der Theorie der somatischen Marker neu interpretiert werden können. Daran anschließend werden Experimente vorgestellt, die explizit auf der Grundlage der Theorie der somatischen Marker durchgeführt und ausgewertet wurden.

2.5.1.1 Untersuchungen ohne direkten Bezug zur Theorie der somatischen Marker

Es existieren im Bereich der Verkehrspsychologie einige Studien, in denen die Hautleitfähigkeit von Probanden in bestimmten Verkehrssituationen gemessen wurde. Auch wenn diese Studien ursprünglich in einem anderen theoretischen Kontext entwickelt und durchgeführt wurden, können manche der Ergebnisse möglicherweise heute im Licht der Theorie der somatischen Marker neu interpretiert werden.

Hulbert (1957) konnte in einer Realfahrtstudie zeigen, dass die Ausbildung einer Hautleitfähigkeitsreaktion in der Mehrzahl der Fälle damit einher-

ging, dass Probanden ihren sogenannten „idealisierten Fahrweg“ verlassen mussten (Hulbert, 1957, S. 306).

Die Ergebnisse von zwei Realfahrtuntersuchungen von Taylor (1964) ergaben, dass die Hautleitfähigkeitsaktivität innerhalb eines bestimmten Streckenabschnitts vergleichbar war mit der Verteilung der Unfallrate in dem betreffenden Bereich. Demgegenüber war die Hautleitfähigkeitsaktivität *pro Zeiteinheit* nahezu konstant. Ein Autofahrer versucht also, über die gesamte Fahrt hinweg den gleichen Grad an emotionaler Aktivierung beizubehalten. Dies wird dadurch erreicht, dass in potentiell gefährlichen (d.h. unfallträchtigen) Abschnitten die Geschwindigkeit und damit das Risiko reduziert wird. Taylor leitete daraus ab, dass es sich beim Autofahren um eine selbst gesteuerte Aufgabe handelt, die maßgeblich von emotionalen Prozessen beeinflusst wird: „driving is a self-paced task governed by the level of emotional tension or anxiety which the driver wishes to tolerate. (Taylor, 1964, S. 439).

Helander (1978) führte ebenfalls eine Studie im realen Verkehr durch. Die Ergebnisse zeigten, dass muskuläre Aktivität wenig bis gar keinen Einfluss auf Hautleitfähigkeitsreaktionen besitzt. Vielmehr scheint die Hautleitfähigkeit vom wahrgenommenen Schwierigkeitsgrad der aktuellen Situation abzuhängen. Aus Sicht der Theorie der somatischen Marker ist besonders interessant, dass Helander in der Hautleitfähigkeitsänderung auch einen den beobachtbaren Handlungen vorgelagerten Prozess sieht: „Taking the EDR [Electrodermal Response, Anm. des Verfassers] time delay into account, it is obvious that the mental activity that gives rise to EDR precedes muscle tension and brake application“ (Helander, 1978, S. 486).

2.5.1.2 Untersuchungen mit direktem Bezug zur Theorie der somatischen Marker

Die bislang einzigen Experimente, die bewusst die Rolle somatischer Marker im Fahrerverhalten überprüften, stammen von Neale Kinnear (Kinnear, 2009;

Kinncar, Kelly, Stradling & Thomson, 2013). Da sie damit eine wesentliche Vorarbeit für die vorliegende Dissertation darstellen, werden sie im Folgenden ausführlich dargestellt. In Experiment 1 sahen die Versuchspersonen (21 Fahranfänger, 18 erfahrene Autofahrer) 15 Standbilder verschiedener Verkehrssituationen (Kinncar, 2009). Je 5 Bilder zeigten eine sichere, eine potentiell gefährliche oder eine gefährliche Situation. Jedes Bild wurde für 5 Sekunden auf dem Monitor präsentiert. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, die Gefährlichkeit der Situationen zu bewerten. Parallel wurden die Atmung und die Hautleitfähigkeit gemessen. Als Kriterium für eine somatische Reaktion wurde ein Anstieg der Hautleitfähigkeit um $0.05 \mu\text{S}$ herangezogen. Für die Vergleichbarkeit von Fahranfängern und erfahrenen Autofahrern wurde die Anzahl der somatischen Reaktionen durch die jeweilige Gruppengröße geteilt.

Ein Blick auf die subjektiven Beurteilungen zeigte, dass die Werte zwischen allen drei Bedingungen signifikant anstiegen. Zudem schätzten Fahranfänger sichere Situationen signifikant weniger gefährlich ein als erfahrene Autofahrer. Kein Unterschied zwischen beiden Gruppen ergab sich bei den potentiell gefährlichen und den gefährlichen Situationen. Hinsichtlich der Hautleitfähigkeitswerte zeigte sich, dass erfahrene Fahrer tendenziell mehr SCRs entwickelten als Fahranfänger. Dieser Unterschied wurde allerdings nur für die potentiell gefährlichen Situationen signifikant (Kinncar, 2009). Laut der Theorie der somatischen Marker beruhen somatische Marker auf Vorerfahrungen und lenken den nachfolgenden Entscheidungsprozess. Dieser Effekt wäre besonders bei Situationen hilfreich, die noch keine klare Gefahr erkennen lassen, jedoch ein potentielles Risiko in sich bergen. Den Daten nach wird bei Fahranfängern mit entsprechend geringerer Vorerfahrung in derartigen Situationen signifikant weniger oft ein somatischer Marker gemessen.

In einem zweiten Experiment betrachteten die Versuchspersonen (Fahrschüler, Fahranfänger, erfahrene Fahrer) Videos mit riskanten Verkehrssituationen. Mithilfe eines Schiebereglers sollten die Probanden kontinuierlich

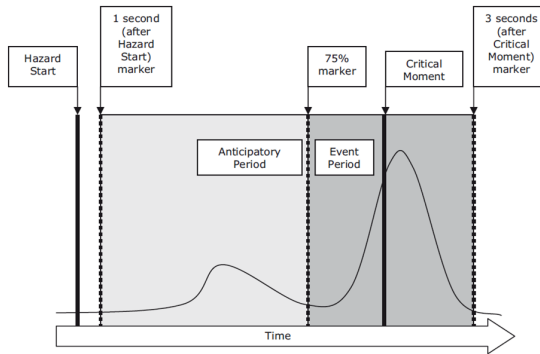


Abb. 2.19: Schema zur Einteilung von Hautleitfähigkeitsreaktionen als antizipatorisch oder ereignisbezogen (Kinnear et al., 2013, S. 1029).

bewerten, wie gefährlich sie die aktuelle Situation empfanden. Parallel wurde auch hier die Hautleitfähigkeit gemessen. Bei der Auswertung wurde eine Unterscheidung in antizipatorische und ereignisbezogene SCRs vorgenommen. Dafür wurde für jedes Video der Zeitpunkt festgelegt, ab dem die sich anbahnende Gefahr zum ersten Mal sichtbar wurde (Gefahrenstart). Zudem wurde definiert, ab welchem Zeitpunkt der Fahrer im Video Manöver einleitet, die der Abwendung der drohenden Gefahr dienen (sog. kritischer Moment). Um antizipatorische von ereignisbezogenen SCRs zu unterscheiden, wurde der 75 %-Marker eingeführt. Dieser definiert den Zeitpunkt, an dem 75 % der Zeit zwischen Gefahrenstart und kritischem Moment vorüber ist. Als antizipatorische SCRs wurden all diejenigen Reaktionen gewertet, die im Zeitfenster Videobeginn + 1 Sekunde bis zum 75 %-Marker lagen. Demgegenüber wurde ein SCR als ereignisbezogen gewertet, wenn er im Zeitfenster vom 75 %-Marker bis zum kritischen Moment + 3 Sekunden lag (siehe Abbildung 2.19). Als Kriterium für eine somatische Reaktion wurde wiederum ein Anstieg der Hautleitfähigkeit um $0.05 \mu\text{S}$ gewählt.

Die Ergebnisse zeigten, dass erfahrene Autofahrer signifikant höhere antizipatorische und ereignisbezogene SCRs produzierten als Fahrschüler und Fahranfänger. In einer anschließenden Analyse wurde die Gruppe der

Fahrer noch einmal aufgeteilt in diejenigen, die weniger und denjenigen, die mehr als 1000 Meilen in den letzten zwölf Monaten gefahren sind. Die Ergebnisse dieses Vergleichs zeigten, dass sich die antizipatorischen SCRs von Fahrern mit weniger als 1000 gefahrenen Meilen nicht signifikant von den SCRs der Fahrschüler unterschieden. Im Gegenzug unterschieden sich die SCRs von Fahrern mit mehr als 1000 gefahrenen Meilen nicht signifikant von denen der erfahrenen Autofahrer. Anders ausgedrückt scheint die Wahrscheinlichkeit, einen antizipatorischen SCR zu entwickeln von der zurückgelegten Strecke, d. h. der Erfahrung der Probanden abzuhängen. Je mehr Erfahrung eine Person besitzt, desto wahrscheinlicher ist es, dass neue Situationen an bereits erlebte Situationen andocken, d. h. somatische Marker hervorrufen. Auch dieser Befund lässt sich gut mit der Theorie der somatischen Marker vereinbaren.

Kritik an den Experimenten von Kinnear Kinnear hat die bislang einzigen Experimente durchgeführt, die das Fahrerverhalten mit einem direkten Bezug zur Theorie der somatischen Marker untersucht haben. Die zentrale Aussage der Theorie der somatischen Marker besteht darin, dass Entscheidungen durch somatische Marker vorbereitet werden. Das bedeutet, dass man für die Untersuchung somatischer Marker Entscheidungssituationen nachstellen muss (vgl. Iowa Gambling Task). Inwiefern Kinnear in seinen Experimenten tatsächlich Entscheidungsverhalten untersuchte, erscheint strittig. In beiden Experimenten wurden die Probanden zwar gebeten, sich in die gezeigte Situation hineinzusetzen, einen Einfluss auf das Gesehene konnten sie jedoch nicht nehmen. Die Aufgabe in Experiment 1 bestand darin, statische Bilder zu betrachten und die Gefährlichkeit der gezeigten Situation zu bewerten. Eine Entscheidung hinsichtlich eines situationsverändernden Eingriffs galt es nicht zu treffen. Das Nicht-Vorhandensein einer Entscheidung und damit eines definierten Entscheidungszeitpunktes macht eine Interpretation der Hautleitfähigkeitsreaktionen als somatische Marker schwierig.

Auch bei Experiment 2 ist fraglich, inwiefern hier Entscheidungsverhalten im Straßenverkehr untersucht wurde. Im Gegensatz zu Experiment 1 sahen die Versuchspersonen dynamische Verkehrssituationen in Form von Videos. Die Probanden wurden gebeten, während der Betrachtung der Videos kontinuierlich die Gefährlichkeit der Situation zu bewerten. Allerdings war auch hier keine Entscheidung bzw. ein Handeln oder Eingriff der Probanden vorgesehen, jedes Video wurde bis zum Ende dargeboten. Die nachträgliche Einteilung in antizipatorische und ereignisbezogene SCRs orientiert sich nicht an tatsächlich getroffenen Entscheidungen, sondern an a priori festgelegten Zeitpunkten. Ob diese Zeitpunkte in einem Zusammenhang mit tatsächlichen Entscheidungsprozessen stehen oder ob die Untersuchungsmethode überhaupt Entscheidungsprozesse hervorruft, bleibt unklar.

Hinzu kommt, dass die Videos in Experiment 2 mitunter mehrere potentiell kritische Ereignisse aufwiesen. So fährt der Proband in einem Video z. B. auf einer Innerortsstraße als plötzlich auf dem Gehweg eine Person erkennbar wird. Die Person rennt winkend in Richtung eines Busses und kreuzt unvermittelt und ohne sich umzuschauen die Fahrspur des Probanden. Dieser Zeitpunkt ist von Kinnear als der kritische Moment deklariert, der für seine Einteilung in antizipatorische und ereignisbezogene somatische Reaktionen entscheidend ist (siehe Abbildung 2.19). Das Problem dabei ist, dass, bevor die rennende Person sichtbar wird, der Proband an einer Kreuzung vorbeifährt, an die ein nicht vorfahrtberechtigtes Auto relativ schnell heranfährt und erst recht spät bremst. Würde das zweite Auto nicht bremsen, hätte das eine Kollision mit dem Wagen des Probanden zur Folge. Diese Situation birgt also ebenfalls ein nicht unerhebliches Gefahrenpotenzial. In Bezug auf Kinnears Experiment ergibt sich nun das Problem, dass die somatischen Reaktionen, die als antizipatorisch für die auf die Fahrbahn rennende Person interpretiert werden, nicht von möglicherweise ereignisbezogenen Reaktionen auf das erst recht spät bremsende Auto unterschieden werden können.

Ein weiterer Kritikpunkt betrifft die Art der Datenauswertung. Hier wurde in beiden Experimenten ausschließlich mit Hilfe eines vorab festgesetzten Grenzwertes von $0.05 \mu\text{S}$ gearbeitet. Das Ergebnis ist eine binäre 0/1 Auswertung (0 = Marker nicht vorhanden; 1 = Marker vorhanden). Diese Art der Datenauswertung geht im Vergleich zu einer kontinuierlichen Variablen mit einem deutlichen Verlust an Information einher. Zudem erlaubt sie keine tiefergehenden Analysen, v. a. hinsichtlich der Stärke der somatischen Reaktion (mehr zur Auswertung von Hautleitfähigkeitsdaten siehe 3.4).

Zuletzt sei noch erwähnt, dass die Experimente kein richtiges Fahrverhalten untersuchten. In beiden Experimenten hatten die Probanden nicht die Möglichkeit selbst zu fahren, sondern waren auf das Betrachten von Bildern oder Videos beschränkt. Eine Übertragbarkeit auf Personen, die tatsächlich selbst fahren, ist somit nicht sichergestellt.

2.5.2 Theoretische Verankerung

Zwei Fahrerhaltensmodelle wurden bislang veröffentlicht, die die Idee somatischer Marker aufgegriffen und integriert haben. Beide sollen nachfolgend vorgestellt werden.

2.5.2.1 Theorie der Risikogefühlshomöostase

Die Erkenntnisse aus seinen Experimenten hat Kinnear (2009) in einem theoretischen Rahmen zusammengeführt, den er als *Theorie der Risikogefühlshomöostase* bezeichnet (siehe Abbildung 2.20). Der grundsätzliche Aufbau ähnelt der Theorie der Aufgabenschwierigkeitshomöostase (die Vorgängertheorie der Aufgabenschwierigkeitsallostase, siehe Abschnitt 2.2.1.4) und wird auch als deren Erweiterung beschrieben (Kinnear, 2009, S. 204).

Die Vergleichseinheit der Aufgabenschwierigkeitsallostase weicht einem Risikoverarbeitungsbereich (risk processing area). Dort wird Risiko auf zwei Wegen verarbeitet: entweder als bewusste Risikoanalyse (perceived analysis of risk) oder als wahrgenommenes Risikogefühl (perceived feeling of risk).

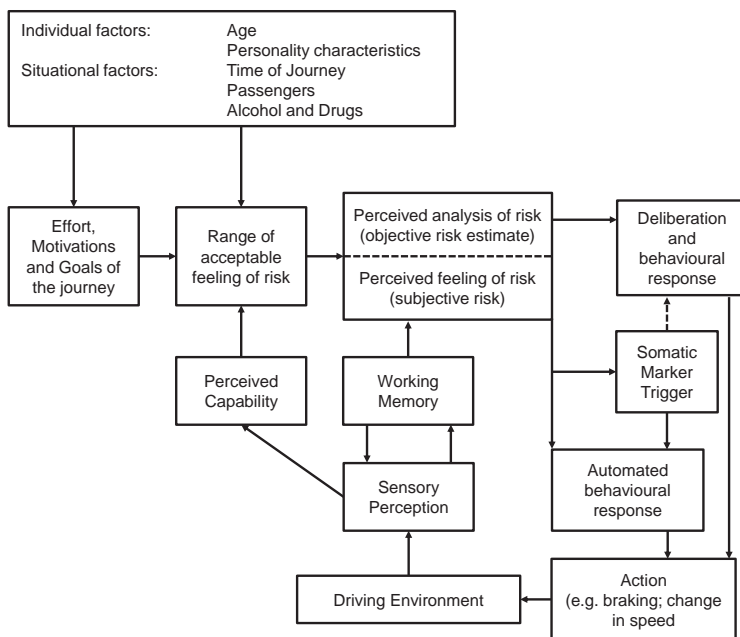


Abb. 2.20: Theorie der Risikogefühlshomöostase (Kinneer, 2009, S. 204).

Die Risikoanalyse wird auch als objektive Risikoschätzung (objective risk estimate) bezeichnet, während das Risikogefühl mit dem subjektiven Risiko (subjective risk) gleichgesetzt wird. Diese beiden Wege zeigen, dass die Theorie versucht, sich an Zwei-Prozess-Theorien der Informationsverarbeitung zu orientieren (vgl. Slovic, Finucane, Peters & MacGregor, 2002, 2004; Slovic & Peters, 2006). Das Modell konzipiert die beiden Prozesse nicht als komplett unabhängig voneinander, sondern sieht vor, dass sie miteinander wechselwirken können (symbolisiert durch die gestrichelte Linie zwischen beiden Prozessen).

Besitzt ein Fahrer bereits genügend Vorerfahrung mit ähnlichen Situationen, wird der Pfad des Risikogefühls beschritten, der eine automatisierte Verhaltensreaktion zur Folge hat. Im Falle einer drohenden Gefahr wird ein somatischer Marker aktiviert. Dieser beeinflusst die nachfolgende Verhal-

tensreaktion und kann dazu führen, dass der Fahrer die Situation nicht mehr auf der automatischen, sondern auf der bewussten Ebene verarbeitet.

Einige Punkte sind an diesem Modell kritisch zu sehen, wobei sich die Kritik auf Fragen der adäquaten Adaption der Theorie der somatischen Marker beschränkt. Eine wichtige Unterscheidung in der Theorie der somatischen Marker betrifft die Begriffe Gefühl und Emotion (vgl. Abschnitt 2.4.4.1). In Kinnears Modell wird diese Trennung nicht aufgegriffen, stattdessen wird durchgängig von Gefühlen gesprochen (eine Einschränkung, die er selbst als Verbesserungspotential identifiziert, siehe Kinnear, 2009, S. 206). Nach Damasio und Carvalho (2013) stellen Gefühle das bewusste Erleben körperlicher Veränderungen dar. Die Verwendung des Begriffs Gefühl für die unbewusste Verarbeitung von Risiko erscheint vor diesem Hintergrund unpassend.

Besonders kritisch wird die Konzeption des somatischen Markers im Informationsverarbeitungsprozess gesehen. Laut Kinnear wird ein somatischer Marker ausschließlich *nach* der Risikowahrnehmung aktiv. Damit wird das Modell von Bechara et al. (1997) und dessen Konzeption eines somatischen Markers nur unzureichend aufgegriffen (vgl. Abbildung 2.16). Bechara et al. (1997) sehen zwei Wege der Informationsverarbeitung vor. Der im Kontext der Theorie der somatischen Marker weitaus wichtigere Pfad ist derjenige, bei dem ein somatischer Marker unmittelbar von einer Situation ausgelöst wird und damit am Beginn des Informationsverarbeitungsprozesses steht. Eine derartige Aktivierung des somatischen Markers ist bei Kinnear nicht vorgesehen. Während in der Ursprungstheorie ein somatischer Marker eine zentrale Stellung im Entscheidungsprozess einnimmt, ist er im Modell der Risikogefühlshomöostase als eine Moderator- bzw. Mediatorvariable des Risikogefühls angelegt.

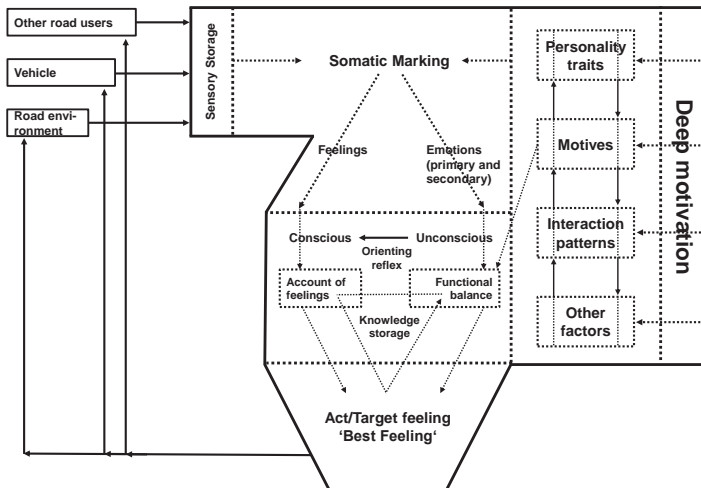


Abb. 2.21: Risikomonitor-Modell (Vaa, 2013, S. 107).

2.5.2.2 Risikomonitor-Modell

Das Risikomonitor-Modell (Risk Monitor Model) stellt eine weitere Theorie dar, in der somatische Marker als Einflussgrößen auf Fahrerverhalten explizit berücksichtigt werden. Das Modell wurde im Rahmen eines Forschungsprogramms (Strategic Institute Program, SIP) in den Jahren 1998–2003 am Institute of Transport Economics (TOI) in Oslo entwickelt. Bis auf eine englische Zusammenfassung wurde das Modell zunächst nur in norwegischer Sprache veröffentlicht (Vaa, 2004). Erst in den letzten Jahren ist die Theorie auch in ausführlicherer Form in englischer Sprache verfügbar (Vaa, 2007, 2013).

Die Grundlage der Theorie bilden drei Aussagen, die sich aus der Arbeit von Damasio ableiten (übersetzt von Vaa, 2013, S. 105):

1. Axiom: Das tiefste und fundamentalste Motiv der Menschen ist das Überleben.

2. Ableitung: Menschen müssen über eine spezielle Fähigkeit verfügen, um lebensbedrohliche Gefahren erkennen und vermeiden zu können. Menschen müssen ein Organ besitzen, das kontinuierlich auf mögliche Gefahren achtet („monitoring“).
3. Behauptung: Dieses Organ ist der gesamte Körper.

Das Hauptmotiv eines Menschen besteht also darin, sein Überleben zu sichern. Folglich werden das frühzeitige Erkennen von Gefahr und damit die Vermeidung von Risiken für Leib und Leben zur zentralsten Aufgabe. Für diese Aufgabe wurde kein eigenes, spezialisiertes Organ ausgebildet, vielmehr übernimmt der gesamte Körper die Funktion eines Risikodetektors.

Wie werden nun Informationen entsprechend des Risikomonitor-Modells verarbeitet? Zunächst treffen alle Reize aus der Umwelt (andere Verkehrsteilnehmer, das eigene Auto, die Straßenumgebung) im sensorischen Speicher ein (siehe Abbildung 2.21). Die Informationen des sensorischen Speichers lösen daraufhin unterschiedliche somatische Marker aus. Die resultierenden Reaktionsmuster des Körpers werden in Anlehnung an Damasio als Emotionen definiert (primäre und sekundäre), die zunächst nicht bewusst erlebt werden. Kommt es zu einem bewussten Erleben der Körperreaktionen, spricht man von einem Gefühl (feeling).

Entscheidend für den Körper ist die Beibehaltung eines sogenannten *Zielgefühls* (target feeling, auch functional balance genannt): „The drive to achieve a functional balance is regarded as a central, predominantly unconscious, knowledge, which the organism possesses about itself, and which the organism is actively seeking to maintain or to restore” (Vaa, 2013, S. 105).

Vaa (2013) liefert keine experimentellen Belege für seine Theorie. Stattdessen diskutiert er zwei Unfallszenarien, die seiner Meinung nach mit bisherigen Modellen nicht vereinbar sind, im Kontext des Risikomonitor-Modells allerdings erklärt werden können (Vaa, 2013). Konkret befasst er sich mit den Fragen, warum es an erhöhten Fußgängerüberwegen zu (tenden-

ziell) weniger Unfällen kommt als an niveaugleichen Fußgängerüberwegen und warum entgegenkommende Motorradfahrer übermäßig oft in Unfälle verwickelt sind, wenn Autos an Kreuzungen links abbiegen. Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass die Argumentationsketten, die Vaa aufstellt, zwar plausibel klingen, die Datenbasis, auf die er sich bezieht, allerdings recht klein ist. Teilweise stützt er seine Überlegungen auch nur auf eigene, unsystematische Beobachtungen und keine offiziellen Statistiken.

Insgesamt wird das Risikomonitor-Modell als adäquatere Adaption der Theorie der somatischen Marker auf den Kontext Fahrer-Fahrzeug gesehen als die Theorie der Risikogefühlshomöostase. Ein entscheidender Schwachpunkt des Modells besteht jedoch darin, dass es bislang noch keine empirische Überprüfung der postulierten Wirkmechanismen erfahren hat.

2.6 Arbeitsdefinition Antizipation

Zu Beginn dieses Kapitels wurden verschiedene Definitionen von Antizipation vorgestellt (vgl. Abschnitt 2.1). Aufbauend auf den in diesem Kapitel vorgestellten Modellen, Theorien und Erkenntnissen wird für die vorliegende Arbeit eine modifizierte Definition von Antizipation vorgeschlagen:

Antizipation bezeichnet die Fähigkeit, ausgehend von einem aktuellen Zustand zukünftige Zustände bewusst oder unbewusst vorwegzunehmen und dadurch das aktuelle Verhalten zu beeinflussen. Die dabei aktivierte emotionale Vorerfahrung mit ähnlichen Situationen lässt sich in Form von somatischen Markern messen.

Die vorgeschlagene Definition erweitert bisherige Definitionen in zwei wichtigen Punkten. Zum einen finden Zwei-Prozess-Theorien der Informationsverarbeitung Berücksichtigung, indem die explizite Möglichkeit von Antizipation als bewusstem und/oder unbewusstem Prozess eingeräumt wird. Zudem wird über die Theorie der somatischen Marker eine Brücke zu neu-

robiologischen Grundlagen geschaffen. Damit einher geht eine Messbarkeit von Antizipation auf physiologischer Ebene.

2.7 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden die theoretischen Grundlagen des Konstrukts Antizipation erläutert. Ausgehend von allgemeinen Definitionen wurde dargestellt, in welcher Form Antizipation Eingang gefunden hat in verschiedene Fahrerverhaltensmodelle sowie in das Modell des Situationsbewusstseins. Im Anschluss an die kritische Würdigung der Modelle wurde ein Konzept für eine Mensch-Maschine-Schnittstelle entwickelt, mit deren Hilfe das Situationsmodell des Fahrzeugs mit der Fähigkeit des Fahrers zum Situationsverstehen und zur Antizipation angereichert werden kann. Die Theorie der somatischen Marker wurde als mögliche neurobiologische Grundlage zur Messung von Antizipation auf physiologischer Ebene ausführlich vorgestellt und kritisch diskutiert. Daran anschließend wurde beleuchtet, in welcher Form die Theorie der somatischen Marker bislang theoretisch und empirisch im Kontext Fahrer-Fahrzeug aufgenommen wurde. Besonders kritisch wurden die Experimente von Kinnear beleuchtet, die eine wesentliche Grundlage sowie Anknüpfungspunkt für die vorliegende Arbeit darstellen. Um Antizipation physiologisch zu messen, wird in der vorliegenden Arbeit die Methode der Hautleitfähigkeit genutzt. Im folgenden Kapitel werden Grundlagen zu deren Messung und Auswertung vorgestellt.

3 Theoretischer Hintergrund: Hautleitfähigkeit

In der vorliegenden Arbeit soll versucht werden, Antizipation von riskanten Verkehrssituationen auf körperlicher Ebene zu messen. Aufbauend auf der Theorie der somatischen Marker wird als Messmethode die Hautleitfähigkeit gewählt. In diesem Kapitel werden die zugehörigen physiologischen und methodischen Grundlagen erläutert.

3.1 Physiologische Grundlagen

Die Haut ist durchzogen von Schweißdrüsen, die vom sympathischen Nervensystem gesteuert werden. Damit ist die Hautleitfähigkeit ein Maß für die Aktivität des Sympathikus (Bach, 2014; Benedek & Kaernbach, 2010a). Eine Schweißdrüse ist über sympathische Ganglien und postganglionäre C-Fasern mit dem Rückenmark verbunden (Sato, Kang & Sato, 1989, S. 534)

Ausgelöst werden kann eine Hautleitfähigkeitsreaktion auf drei unterschiedliche Wege. So kann sie ihren Ursprung entweder im limbischen System, dem prämotorischen Kortex oder in der Formatio Reticularis haben (siehe Abbildung 3.1). Nicht das tatsächliche Schwitzen auf der Hautoberfläche, sondern vielmehr die aktuelle Füllung der Schweißdrüsen ist für die Veränderung der Hautleitfähigkeit verantwortlich (Birbaumer & Schmidt, 2010, S. 224).

3.2 Messung der Hautleitfähigkeit

Die Messung der Hautleitfähigkeit (auch Elektrodermale Aktivität, EDA) erfolgt heute meist mit Hilfe der exosomatischen Methode. Hierbei werden zwei Elektroden aus Silber oder Silberchlorid auf der Haut platziert, zwischen denen eine geringe Spannung angelegt wird. Zur Verbesserung

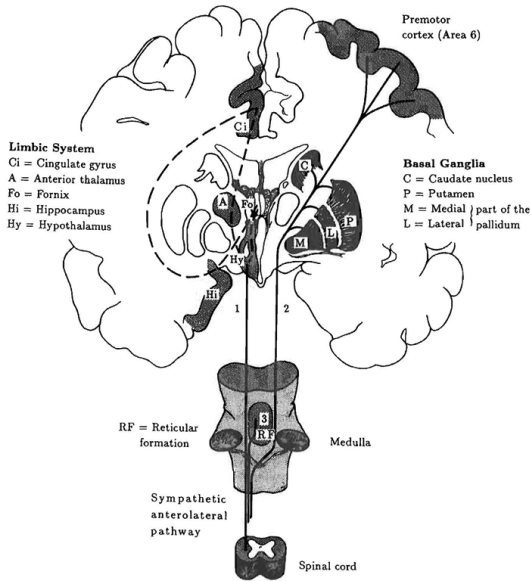


Abb. 3.1: Ausgangspunkte von Hautleitfähigkeitsreaktionen im zentralen Nervensystem. (1) Limbisches System, (2) Prämotorischer Kortex, (3) Formatio Reticularis (Boucsein, 2012, S. 40).

des Kontakts zwischen Elektroden und Hautoberfläche wird zusätzlich eine spezielle isotonische Paste verwendet. Bei erhöhter Aktivität der Schweißdrüsen verändert sich die Leitfähigkeit zwischen den beiden Elektroden. Diese Veränderungen werden vom Messgerät detektiert und aufgezeichnet.

Die Hautleitfähigkeit wird in Mikrosiemens (μS) gemessen. Siemens ist im internationalen Einheitensystem (SI) definiert als Kehrwert des elektrischen Widerstands: $S = \frac{1}{\Omega}$. Um den verhältnismäßig kleinen Messbereich sinnvoll abzubilden, wird die Hautleitfähigkeit in Mikrosiemens angegeben ($1\mu\text{S} = 10^{-6}\text{S}$).

Für die Anbringung der Elektroden am Körper gibt es verschiedene Möglichkeiten, am geeignetsten sind die Ableitungen am Fuß oder der Hand. Die Hand bietet drei mögliche Positionen zur Messung der Hautleitfähig-

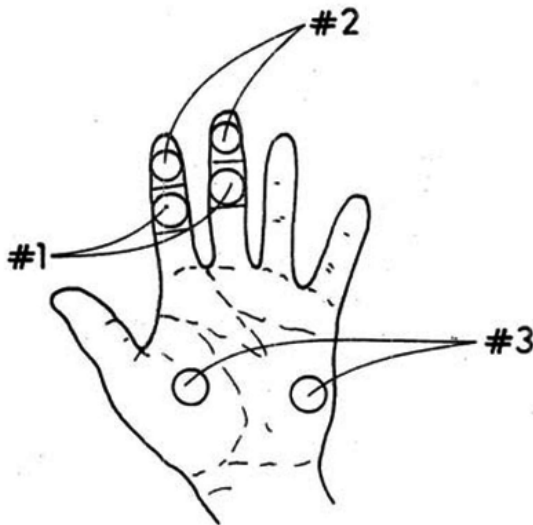


Abb. 3.2: Mögliche Ableitungen an der Hand. (1) Mittlere Glieder von Zeige- und Mittelfinger (mediale Phalangen). (2) Endglieder von Zeige- und Mittelfinger (distale Phalange), (3) Daumen- und Kleinfingerballen (Thenar und Hypothenar) (Dawson et al., 2007, S. 163).

keit (siehe Abbildung 3.2). Das Signal an Thenar und Hypothenar ist im Vergleich zu den Fingergliedern etwas stärker (Edelberg, 1967 zitiert nach Boucsein, 2012, S. 106).

Eine Reihe von Störeinflüssen kann das Hautleitfähigkeitssignal beeinträchtigen. Hierunter fallen schlecht sitzende Elektroden oder Druck, der während der Messung auf die Elektroden ausgeübt wird. Zu empfehlen ist eine Aufzeichnung der Atemaktivität, da die Hautleitfähigkeit auch durch starkes Einatmen oder Husten beeinflusst werden kann. Auch die Raumtemperatur kann das Signal beeinflussen und sollte daher ebenfalls erfasst werden. Zudem ist eine Umgebung anzustreben, in der keine unerwarteten und/oder lauten Geräusche auftreten, da diese ebenfalls in der Lage sind, Hautleitfähigkeitsreaktionen zu provozieren.

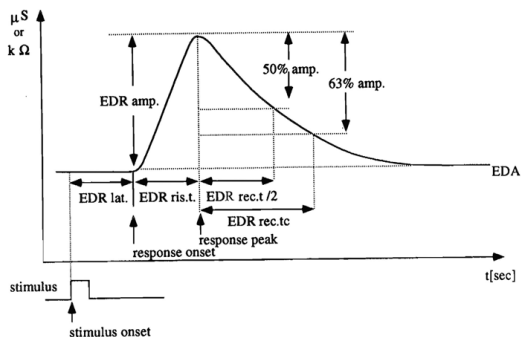


Abb. 3.3: Idealtypische phasische Hautleitfähigkeitsreaktion (SCR) und mögliche Parameter (Boucsein, 2012, S. 154).

3.3 Signaleigenschaften

Ein typisches Hautleitfähigkeitssignal setzt sich aus zwei Komponenten zusammen: einer langsamen (tonischen) und einer schnellen (phasischen) Komponente. Die tonische Komponente (Skin Conductance Level, SCL) ist der längerfristige Trend des Signals. Häufig zeigt sich bei Messungen, dass die tonische Komponente langsam ansteigt. Die phasische Aktivität besteht aus kurzen Ausschlägen des Signals, die auf der tonischen Komponente aufsetzen. Ein einzelner Ausschlag wird auch SCR (skin conductance response) genannt und besitzt eine charakteristische Form. Diese stellt sich als schneller Anstieg mit anschließendem langsamerem Abklingen dar (siehe Abbildung 3.3)

Hautleitfähigkeitsdaten weisen einige Besonderheiten auf, die bei der Auswertung berücksichtigt werden müssen.

3.3.1 Latenzzeiten

Die Hautleitfähigkeit ist im Vergleich zu anderen Signalen (z.B. EEG) relativ langsam. Dieses Problem wird unter dem Begriff der Latenz des

Signals behandelt. Typische Latenzzeiten liegen zwischen 1–3 s oder 1–4 s nach der Präsentation eines Stimulus (Dawson et al., 2007, S. 164).

3.3.2 Interindividuelle Varianz

Hautleitfähigkeitswerte weisen eine große interindividuelle Varianz auf. Sowohl das tonische Ausgangsniveau als auch die durchschnittliche phasische Amplitudenhöhe unterscheidet sich mitunter sehr stark zwischen Probanden. Eine wichtige Ursache hierfür ist die unterschiedliche Beschaffenheit der Haut der Probanden. Damit Ergebnisse nicht falsch interpretiert werden, ist es wichtig, Maßnahmen zur Berücksichtigung der interindividuellen Varianz zu ergreifen. Ben-Shakhar (1985) empfiehlt hierfür eine probandenspezifische Standardisierung der Werte. Für jeden Probanden wird aus seinen Rohdaten der Mittelwert und die Standardabweichung berechnet. Anschließend erfolgt die Umrechnung in Standardwerte (*z*-Werte), indem von jedem Rohwert der Mittelwert abgezogen wird und diese Differenz durch die Standardabweichung geteilt wird. Die resultierenden *z*-Werte besitzen einen Mittelwert von 0 und eine Standardabweichung von 1. Zur Vermeidung von negativen Werten empfiehlt Boucsein (2012, S. 183) die Umrechnung der *z*-Werte in *T*-Werte. Diese besitzen einen Mittelwert von 50 und eine Standardabweichung von 10.

3.4 Auswertung

Es existieren verschiedene Möglichkeiten zur Auswertung von Hautleitfähigkeitsdaten. Von besonderem Interesse ist hierbei die phasische Komponente, weshalb nachfolgend auch nur darauf eingegangen wird.

3.4.1 Klassische Auswertung

Bei der klassischen Auswertung von Hautleitfähigkeitsdaten wird analysiert, ob nach der Darbietung eines Stimulus ein SCR ausgelöst wurde. Unter

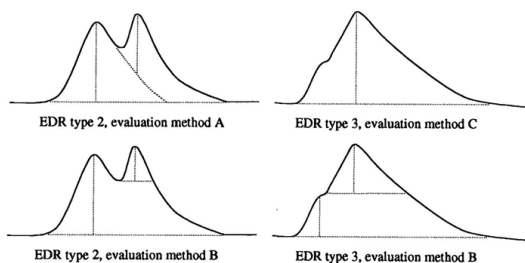


Abb. 3.4: Beispiele für überlagerte phasische Hautleitfähigkeitsreaktionen und mögliche Auswertungsmethoden (Boucsein, 2012, S. 170).

der Berücksichtigung der Latenzzeit wird geprüft, ob das Signal die Form eines SCR aufweist (siehe oben). Normalerweise wird gefordert, dass die Amplitude des SCR einen Mindestausschlag erreichen muss, um als relevant angesehen zu werden, z. B. $0.05 \mu\text{S}$. Die einfachste Form der Auswertung besteht darin, die Anzahl signifikanter SCRs zu zählen. Darüber hinaus lassen sich auch weitere Parameter berechnen, z. B. Amplitudenhöhe, Anstiegszeit (vgl. Dawson et al., 2007, S. 165).

Eine Herausforderung stellt der Umgang mit überlagerten SCRs dar. Wie bereits erwähnt, besteht ein SCR aus einem schnellen Anstieg und einem verhältnismäßig langsamen Abklingen. Dabei kann es passieren, dass ein weiterer SCR bereits ausgelöst wird, bevor der vorige zum Ausgangsniveau zurückgekehrt ist. Die Folge ist eine Überlagerung der beiden SCRs (siehe Abbildung 3.4). Je nach Auswertemethode kann es zu deutlichen Unterschätzungen der phasischen Aktivität kommen.

3.4.2 Kontinuierliche Dekompositionsanalyse

Benedek und Kaernbach haben unter dem Namen *Kontinuierliche Dekompositionsanalyse* (continuous decomposition analysis) ein Verfahren entwickelt, das sich sowohl des Problems der tonischen Wanderung des Signals über die Zeit angenommen hat, als auch Lösungen für überlagerte SCRs anbietet

(Benedek & Kaernbach, 2010a, 2010b). Die Grundidee des Verfahrens soll nachfolgend vorgestellt werden.¹⁰

Es wird zunächst davon ausgegangen, dass das Hautleitfähigkeitssignal der langsamere Ausdruck eines eigentlich schnelleren sympathischen Prozesses ist: „SC [skin conductance, Hautleitfähigkeit, Anm. des Verfassers] is thought to basically reflect SMNA [sudomotor nerve activity, sudomotorische Nervenaktivität, Anm. des Verfassers] to some extent, but the original signal properties of SMNA are blurred, presumably amongst other things by the influence of slow sweat diffusion processes“ (Benedek & Kaernbach, 2010a, S. 81). Die wesentlich höhere Aktivität der sudomotorischen Nerven ist also im messbaren Hautleitfähigkeitssignal nur noch eingeschränkt vorhanden (u. a. aufgrund der begrenzten Reaktionsfähigkeit der Schweißdrüsen). Das Ziel besteht nun darin, die sudomotorische Nervenaktivität (d. h. die sympathische Aktivität) zu rekonstruieren. Hierfür wird mit der so genannten Dekonvolution gearbeitet. Dabei handelt es sich um die Umkehrung einer Faltung (auch Konvolution genannt).

Folgende Funktionen werden angenommen:

1. Funktion der ursprünglichen Hautleitfähigkeitsdaten (SC)
2. Funktion des typischen SCRs (sog. Item-Response-Funktion, IRF)
3. Funktion der zugrundeliegenden sudomotorischen (sympathischen) Aktivität (Phasische Treiberfunktion, Driver)

Die erste Funktion beschreibt das gemessene Hautleitfähigkeitssignal. Die zweite Funktion stellt die Form des typischen SCRs dar (siehe oben). Sie kann ebenfalls vorab als mathematische Funktion festgelegt werden. Benedek und Kaernbach wählen aufbauend auf Vorarbeiten von Alexander et al. (2005) als IRF eine biexponentielle Bateman-Funktion. Unbekannt ist also nur die Treiberfunktion.

¹⁰Von Benedek und Kaernbach wurde unter dem Namen *Ledalab* auch ein Programm zur Analyse von Hautleitfähigkeitsdaten entwickelt. Das Matlab basierte Tool beinhaltet u. a. auch die kontinuierliche Dekompositionsanalyse (<http://www.ledalab.de/>)

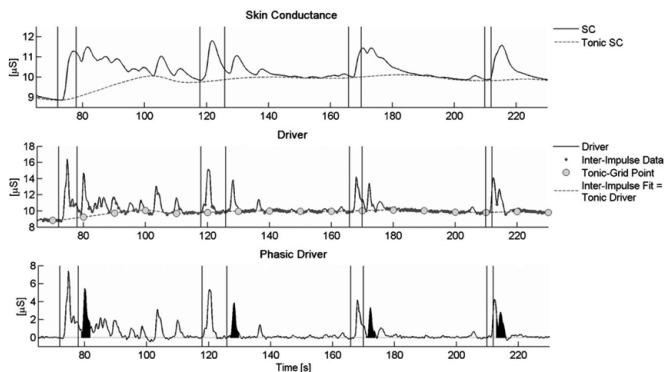


Abb. 3.5: Auswertungsschritte bei der kontinuierlichen Dekompositionsanalyse. Oben: Originale Hautleitfähigkeitssignal. Mitte: Aus dem Hautleitfähigkeitssignal wird mittels Dekonvolution die Treiberfunktion berechnet. Bereiche, die keine phasischen Impulse aufweisen, werden zur Ermittlung der tonischen Aktivität genutzt. Unten: Von der Treiberfunktion wird die tonische Komponente subtrahiert, es ergibt sich die phasische Treiberfunktion, die zur Berechnung von Kennwerten genutzt wird (Benedek & Kaernbach, 2010a, S. 82).

Der Zusammenhang zwischen den Funktionen kann folgendermaßen beschrieben werden: $Driver * IRF = SC$.

Ausgehend vom sudomotorischen Treiber ergibt sich gefaltet mit der IRF das gemessene Hautleitfähigkeitssignal. Da allerdings nicht die Hautleitfähigkeit, sondern die Treiberfunktion von Interesse ist, muss der Prozess umgedreht werden. Mittels Dekonvolution (bzw. Entfaltung) kann dann von der Hautleitfähigkeit und der IRF die zugrundeliegende sudomotorische Aktivität errechnet werden.

Das komplette Vorgehen ist in Abbildung 3.5 zu sehen. Im ersten Schritt wird aus dem Rohsignal mit Hilfe der Dekonvolution die Treiberfunktion ermittelt (Mitte). Aus der Treiberfunktion wird dann die tonische Komponente extrahiert. Dafür werden die Bereiche des Signals, die keine phasischen Impulse aufweisen, identifiziert (Inter-Impulse Data) und anschließend mithilfe einer kubischen Spline-Passung zu einer kontinuierlichen Funktion der tonischen Komponente verbunden. Im nächsten Schritt wird die tonische

Komponente von der Treiberfunktion abgezogen, das Ergebnis ist eine nicht wandernde Funktion der sympathischen Aktivität (Phasic Driver, siehe Bild unten).

Grundsätzlich können viele verschiedene Kennwerte aus der phasischen Treiberfunktion berechnet werden. Benedek und Kaernbach (2010a, S. 84) empfehlen als kumuliertes Maß der sympathischen Aktivität die Berechnung eines Zeitintegrals. Dieser Kennwert wird ISCR (integrated skin conductance response) genannt und wird als robust gegenüber verschiedenen Artefakten beschrieben (Benedek & Kaernbach, 2011, S. 322).

3.5 Operationalisierung somatischer Marker

Eine entscheidende Frage für die vorliegende Arbeit ist die Operationalisierung des somatischen Markers (vgl. auch Abschnitt 2.4.6). Die Experimente, die von den Forschergruppen um Damasio und Bechara ausgeführt wurden, liefern mitunter keine oder unvollständige Angaben darüber, auf welche Art und Weise ein somatischer Marker operationalisiert wurde. In Bechara et al. (1997) wird dafür als Maß die *mean magnitude* (mittlere Magnitude) genutzt. Auch wenn manche Autoren einen Unterschied zwischen mittlerer Magnitude und mittlerer Amplitude treffen (vgl. Boucsein, 2012, S. 152), ist davon auszugehen, dass die Autoren darunter die mittlere Amplitudenhöhe verstehen. Unklar bleibt, ob mit einem Mindestkriterium für die Amplitudenhöhe gearbeitet wurde und welcher Wert hier ggf. zum Einsatz kam. Des Weiteren wird keine Aussage getroffen, wie überlagerte SCRs analysiert wurden und ob eine Berücksichtigung der tonischen Komponente stattgefunden hat.

Bechara et al. (1999) verwenden zur Berechnung der somatischen Marker ein Zeitintegral, dessen Ende durch das Umdrehen einer Karte in der Iowa Gambling Task festgelegt ist. Die Größe des Intervalls ist variabel und startet 5 Sekunden nach dem Umdrehen der vorigen Karte (im Schnitt ist das antizipative Zeitfenster ebenfalls 5 Sekunden lang Bechara et al., 1999, S. 5475). Im Unterschied zur normalen Integralrechnung wird die Fläche

unter der Kurve nicht bis zur X-Achse (Null) berechnet, sondern bis zu einer Geraden, die zwischen Start- und Endpunkt des jeweiligen Zeitfensters gezogen wird. Auch die tonische Wanderung des Signals wird mit einer speziellen Differenzberechnung berücksichtigt.

Wie bereits in Abschnitt 2.5.1.2 erwähnt, wurden somatische Marker in den Studien von Kinnear (2009), Kinnear et al. (2013) mit einem festen Amplitudenkriterium von $0.05 \mu\text{S}$ extrahiert. Anstelle einer mittleren Amplitudenhöhe wurde nur mit einer binären Auswertung (0 = Marker nicht vorhanden; 1 = Marker vorhanden) gearbeitet. Auch hier fehlen Angaben zum Umgang mit überlagerten SCRs sowie zur Berücksichtigung der tonischen Komponente.

In der vorliegenden Arbeit sollen die Hautleitfähigkeitsdaten auf Basis der Kontinuierlichen Dekompositionsanalyse (vgl. Abschnitt 3.4.2) ausgewertet werden. Der ISCR als Integral ist auf die Angabe eines Zeitfensters angewiesen. Entsprechend muss entschieden werden, welches Zeitfenster zur Analyse der somatischen Aktivität herangezogen werden soll. Da hierzu noch keine Referenzwerte vorliegen, muss das Zeitfenster auf Grundlage anderer Überlegungen festgelegt werden. Mit Hilfe der somatischen Marker sollen antizipative Prozesse hinsichtlich einer zu treffenden Entscheidung untersucht werden. Das Ende der antizipativen Prozesse wird durch das Treffen einer Entscheidung bzw. Initiieren einer Handlung definiert. Dieser Zeitpunkt stellt zugleich das Ende des Zeitfensters für die Berechnung des ISCR dar. Dieses Vorgehen steht in Einklang mit u. a. Bechara et al. (1997) und (Bechara et al., 1999), wo der Endpunkt der antizipativen Phase durch das Umdrehen bzw. Anklicken einer Spielkarte festgelegt ist. Der Startpunkt des Zeitfensters kann nicht aus logischen Überlegungen abgeleitet werden. In Ermangelung von Erfahrungs- bzw. Referenzwerten wird in der vorliegenden Arbeit die Größe des Zeitfensters auf drei Sekunden festgelegt.

In diesem Kapitel wurden die physiologischen und methodischen Grundlagen der Hautleitfähigkeit erläutert. Das folgende Kapitel liefert eine Übersicht der im Rahmen der Dissertation durchgeführten Experimente.

4 Übersicht Forschungsprogramm

Das Forschungsprogramm der Dissertation gliedert sich in drei Experimente. Diese bauen aufeinander auf und lassen sich anhand eines Kontinuums ausgehend von grundlagen- hin zu anwendungsorientierter Forschung anordnen (siehe Abbildung 4.1). Nachfolgend werden die Experimente überblicksartig beschrieben.

Experiment I untersucht die Antizipation von generischen Objektkollisionen. Es handelt sich um ein Computerexperiment, das keinen unmittelbaren Bezug zum Straßenverkehr aufweist. Das Ziel besteht darin, zu prüfen, inwiefern somatische Marker eine grundsätzliche und kontextunabhängige Funktion bei der Antizipation von Objektkollisionen einnehmen.

Experiment II besitzt die größte Anschlussfähigkeit an die Arbeit von Kinnear et al. (2013) und untersucht die Antizipation von videobasierten Entscheidungen. Vorrangig soll geprüft werden, welche Zusammenhänge

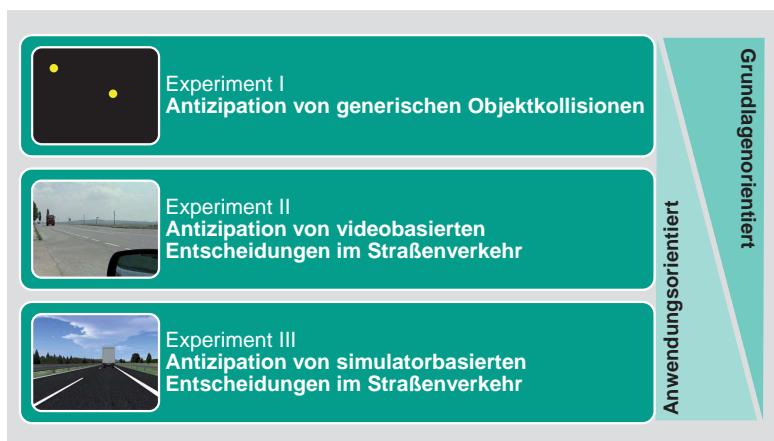


Abb. 4.1: Übersicht des Forschungsprogramms.

zwischen der Fahrerfahrung und der Stärke eines somatischen Markers bestehen.

Experiment III geht einen Schritt weiter in Richtung Anwendung und untersucht die Rolle somatischer Marker bei der Antizipation von simulatorbasierten Entscheidungen im Straßenverkehr. Im Fokus steht hierbei die Identifikation von Faktoren einer Verkehrssituation, die die Stärke eines somatischen Markers beeinflussen.

5 Experiment I: Antizipation von generischen Objektkollisionen

In diesem Kapitel wird ein computergestütztes Grundlagenexperiment beschrieben, das untersuchen möchte, welche Rolle somatische Marker bei der Antizipation von generischen Objektkollisionen spielen.

5.1 Fragestellungen

Folgende Fragen sollen im Rahmen des Experiments adressiert werden:

1. Unterscheiden sich somatische Marker vor Kollisionssituationen von somatischen Markern vor Nicht-Kollisionssituationen?

Da die Aufgabe des somatischen Markers darin besteht, den Körper auf sich anbahnende Gefahren hinzuweisen, wird vermutet, dass es vor drohender Objektkollision zu signifikant stärkeren somatischen Reaktionen kommt als bei Nicht-Kollisionssituationen.

2. Steht die Stärke eines somatischen Markers in Beziehung zur Korrektheit einer Entscheidung?

Entsprechend der Theorie stellen somatische Marker aktivierte Vorerfahrung dar. Dreht man diese Überlegung um, so bedeutet das, dass eine Nicht-Aktivierung vorliegt, wenn keine ausreichende Vorerfahrung vorhanden ist. Es erscheint gerechtfertigt, davon auszugehen, dass ohne derartige Erfahrungen Entscheidungen weniger korrekt getroffen werden. Damit wird erwartet, dass stärkere somatische Marker mit einer höheren Korrektheit der daran anschließenden Entscheidung einhergehen.

3. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Stärke eines somatischen Markers und der subjektiven Entscheidungssicherheit?

Obwohl es sich hierbei um eine explorativ angelegte Fragestellung handelt, wird vermutet, dass ein schwächer ausgeprägter somatischer Marker vom Organismus als weniger eindeutig wahrgenommen werden könnte und daher mit einer geringeren subjektiven Sicherheit einhergeht als ein stärkerer somatischer Marker.

4. **Hat die Fähigkeit zur Wahrnehmung eigener körperlicher Veränderungen einen Einfluss auf die *Korrektheit* einer getroffenen Entscheidung?**

Auch diese Fragestellung ist explorativ angelegt. Es wird vermutet, dass Menschen mit einer stärker ausgeprägten Fähigkeit zur Wahrnehmung körperlicher Veränderungen auch sensibler auf somatische Marker reagieren. Vor allen Dingen bei weniger eindeutigen Situationen sollten die damit einhergehenden schwächeren somatischen Reaktionen von Menschen mit höher ausgeprägten Fähigkeiten zur Wahrnehmung körperlicher Veränderungen korrektere Entscheidungen treffen.

5. **Hat die Fähigkeit zur Wahrnehmung eigener körperlicher Veränderungen einen Einfluss auf die *subjektiv empfundene Sicherheit* mit einer getroffenen Entscheidung?**

Diese Fragestellung schließt an die vorige an und erweitert diese um den Aspekt der subjektiv erlebten Sicherheit mit einer getroffenen Entscheidung. Somatische Marker werden von Personen mit höher ausgeprägten Fähigkeiten zur Wahrnehmung körperlicher Veränderungen intensiver und damit möglicherweise eindeutiger wahrgenommen. Das geht einher mit einer höher erlebten subjektiven Sicherheit.

5.2 Methoden

Nachfolgend werden die verwendeten Materialien sowie die Messapparatur beschrieben. Im Anschluss wird der genaue Versuchsablauf erläutert. Dar-

auf aufbauend erfolgt eine ausführliche Darstellung der Datenauswertung. Zuletzt wird die Zusammensetzung der Stichprobe beschrieben.

5.2.1 Materialien

In diesem Abschnitt werden die Experimentalaufgabe sowie die verwendeten Fragebögen dargestellt.

5.2.1.1 Collision Detection Task (CDT)

Für die Wahrnehmung potentieller Kollisionen wurde ein computerbasierter Test entwickelt, der nachfolgend Collision Detection Task (CDT) genannt wird. Die Aufgabe der Probanden besteht darin, zu entscheiden, ob sich zwei Objekte auf Kollisionskurs befinden, oder nicht. Als Objekte wurden zwei gelbe Kreise gewählt, die sich mit konstanter Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit in einem ansonsten schwarzen Raum bewegen. Nach der Präsentation eines weißen Fixationskreuzes im Zentrum des Bildschirms (2 Sekunden) werden die beiden Kreise für 2 Sekunden an ihren Startpositionen eingeblendet und beginnen dann, sich zu bewegen (siehe Abbildung 5.1). Nach 13 Sekunden Bewegung werden die beiden Objekte ausgeblendet. Der Proband soll ausgehend von den zuvor gezeigten Richtungen und Geschwindigkeiten der beiden Objekte entscheiden, ob sich diese auf Kollisionskurs befinden, oder nicht. Da nicht das Erkennen sondern die *Antizipation* einer Kollision untersucht werden soll, werden dem Probanden nie kollidierende Kreise gezeigt. Wenn sich die Objekte auf Kollisionskurs befinden, werden sie stets zu einem Zeitpunkt ausgeblendet, an dem die Kollision noch nicht stattgefunden hat.

Am unteren Bildschirmrand ist zu Beginn jedes Clips eine weiße Linie eingeblendet. Mit Start der Bewegung der beiden Kreise schrumpft die Linie linear in Richtung der linken Bildschirmecke, wo sie exakt mit Ausblendung der beiden Kreise verschwindet. Sie dient damit den Probanden als visuelle

Rückmeldung der noch zur Verfügung stehenden Zeit bis zur Ausblendung der Kreise.

Insgesamt wurden 24 Clips erstellt, in 12 der Clips befinden sich die beiden gelben Kreise auf Kollisionskurs. Alle Clips weisen unterschiedliche Startpositionen sowie Bewegungsrichtungen und Geschwindigkeiten der gelben Kreise auf. Eine Übersicht der Start- und Endpositionen ist in Anhang Abbildung A.1 – A.6 dargestellt. Für die Erstellung der Clips wurde die Software Adobe® After Effects® 7.0 verwendet.

Als Umgebung für die Darbietung der Clips und die Aufzeichnung der Probandenantworten wurde die Experimentalsoftware OpenSesame (Mathôt, Schreij & Theeuwes, 2012) gewählt. Nach jedem Clip hat der Proband ein festes Zeitfenster von 3 Sekunden, in dem er entscheiden kann, ob sich die zuvor gesehenen Objekte auf Kollisionskurs befinden, oder nicht. Hierfür stehen dem Probanden die beiden Pfeiltasten *Links* und *Rechts* auf der Computertastatur zur Verfügung. Der Pfeil nach links steht für *keine Kollision*, der Pfeil nach rechts steht für *Kollision*. Zur besseren visuellen Erkennung waren die Tasten farblich hervorgehoben. Zusätzlich war die Tastenbedeutung für den Probanden permanent sichtbar direkt unterhalb des Bildschirms angebracht.

Nachdem der Proband seine Entscheidung getroffen hat, wird er gebeten, seine subjektive Sicherheit mit der soeben getroffenen Entscheidung anzugeben. Hierfür nutzt er eine visuelle Analogskala mit den Endpunkten *sehr unsicher* und *sehr sicher*. Die Füllung der Analogskala und damit die Höhe der subjektiv empfundenen Sicherheit steuert der Proband mit Hilfe des Verschiebens der Computermaus nach links oder rechts. Sobald er sich für einen Wert entschieden hat, bestätigt er mit einem Druck auf die linke Maustaste. Es folgt eine Pause von 15 Sekunden. Der Proband sieht in dieser Zeit eine digitale Uhr, die von 15 auf 0 herunterzählt. Im Anschluss startet der nächste Durchlauf. Zur Vermeidung von Reihenfolgeeffekten wurden die Clips randomisiert dargeboten. Der gesamte Ablauf der CDT wird in Abbildung 5.2 verdeutlicht.

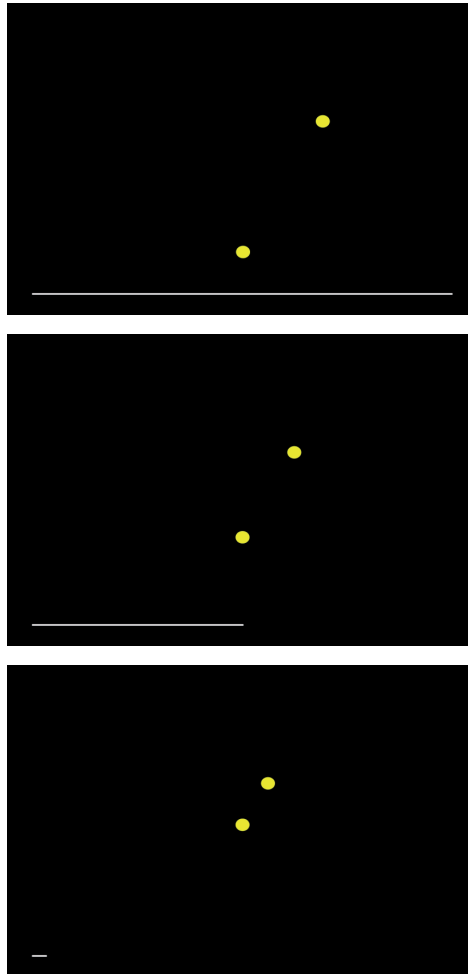


Abb. 5.1: Collision Detection Task. Dargestellt sind drei Phasen eines Clips. Oben: Die gelben Kreise werden zunächst für 2 Sekunden eingeblendet, bevor sie beginnen, sich mit konstanter Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit zu bewegen. Mitte: Zustand der beiden Kreise nach der Hälfte der Zeit (der weiße Balken am unteren Bildschirmrand verdeutlicht die Restlaufzeit des aktuellen Clips). Unten: Zustand der beiden Kreise kurz vor dem Ausblenden.

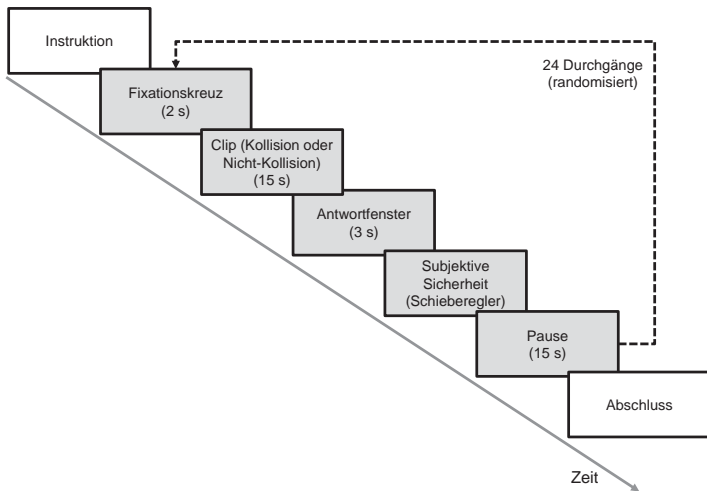


Abb. 5.2: Schematische Darstellung des Ablaufs der Collision Detection Task.

5.2.1.2 TAS-20

Die Toronto-Alexithymie-Skala (TAS-20) dient zur Erfassung der Fähigkeit zur Wahrnehmung eigener körperlicher Veränderungen und Affekte. Der Fragebogen besteht aus 20 Items, die auf einer 5-stufigen Ratingskala beantwortet werden (Bagby, Parker & Taylor, 1994; Popp et al., 2008). Ein höherer Wert geht mit einer eingeschränkten Affektwahrnehmung einher. Es existieren verschiedene Faktorstrukturen für den TAS-20, Popp et al. (2008) empfehlen die Verwendung eines Gesamtsummenwerts. Bei der Interpretation der Werte gilt es zu beachten, dass ein höherer Wert für eine höhere Alexithymie steht, d. h. eine eingeschränktere Fähigkeit zur Wahrnehmung eigener körperlicher Veränderungen bedeutet.

5.2.1.3 Abschlussfragebogen

Zur Erfassung wichtiger soziodemographischer Daten (u. a. Alter, Geschlecht) sowie mobilitätsbezogener Variablen (z. B. durchschnittliche An-

zahl gefahrener Kilometer im Auto pro Woche) kam ein selbst erstellter Fragebogen zum Einsatz (siehe Anhang A.7).

5.2.2 Messapparatur

Für die Messung der Hautleitfähigkeit wurde ein varioport-B Biosignal Rekorder (Becker Meditec) verwendet. Dieses verfügt über zwei Dauerelektroden (Gesamtdurchmesser = 13 mm, Durchmesser der Messfläche = 5 mm), über die eine minimale Spannung von 0.5 V am Körper angelegt wird. Das Gerät erfasst die Änderungen der Leitfähigkeit in einem Messbereich von 0 bis 50 μS mit einer Auflösung von 0.002 μS (Becker Meditec, 10.12.2014). Die Aufzeichnungsrate betrug 64 Hz.

5.2.3 Versuchsablauf

Allen Probanden wurde zunächst eine schriftliche Einverständniserklärung vorgelegt, die über Inhalt und Zweck des Experiments informierte. Die Anbringung der EDA-Klebeelektroden erfolgte an Thenar (Daumenballen) und Hypothenar (Kleinfingerballen) der nicht-dominanten Hand. Die Kontaktflächen auf der Haut wurden hierfür zunächst mit einer alkoholhaltigen Desinfektionslösung gereinigt. Um eine optimale Verbindung zwischen Haut und Elektroden zu gewährleisten, wurde eine Leitpaste mit 0.5 % NaCl verwendet. Zur Vermeidung von Bewegungsartefakten wurde der Proband gebeten, die Hand mit den Elektroden in eine angenehme Lage zu versetzen und während des Versuchs nicht unnötig zu bewegen. Die Bedienung des Computerexperiments erfolgte ausschließlich mit der dominanten Hand. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 5.3 dargestellt.

Während der Durchführung der CDT war der Proband alleine im Raum, der Versuchsleiter befand sich in dieser Zeit in einem Nebenraum und kontrollierte von dort die Messapparatur auf korrekte Funktion. Nach Beendigung der CDT wurden zunächst die Elektroden entfernt und der Proband anschließend gebeten, den TAS-20 Fragebogen sowie den Abschlussfrage-



Abb. 5.3: Versuchsaufbau Collision Detection Task.

bogen auszufüllen. Für die Teilnahme erhielten die Versuchspersonen eine pauschale Vergütung in Höhe von 3.50 EUR.

5.2.4 Datenauswertung

Nachfolgend werden die Schritte der Datenauswertung beschrieben.

5.2.4.1 Aufbereitung der EDA-Daten

Zur Berücksichtigung der interindividuellen Varianz der Messwerte wurden diese zunächst standardisiert (Ben-Shakhar, 1985), zur Vermeidung negativer Werte wurden hierfür T-Werte gewählt (Boucsein, 2012, S. 183). Diese besitzen einen Mittelwert von 50 und eine Standardabweichung von 10. Die Aufbereitung der EDA-Daten erfolgte mit Matlab[®] R2015b.

5.2.4.2 Kontinuierliche Dekompositionsanalyse

Um kleinere Störfrequenzen aus dem Signal zu entfernen, wurde das Rohsignal zunächst einem Downsampling unterzogen (Faktor 4).¹¹ Anschlie-

¹¹Dieses Vorgehen wird auch von den Autoren von Ledalab empfohlen, z. B. hier: <https://sourceforge.net/p/ledalab/discussion/1791802/thread/771c846c/?limit=25#5bd1>

End wurde für jeden Probanden die kontinuierliche Dekompositionsanalyse durchgeführt mit Hilfe des Matlab basierten Tools Ledalab Version 3.4.8 (Benedek & Kaernbach, 2010a, 2010b). Für die Berechnung des ISCR wurde ein Zeitfenster von 3 Sekunden vor dem Entscheidungspunkt (Tastendruck) gewählt. Die ISCR-Werte wurden anschließend durch die Länge des Zeitfensters geteilt, die resultierende Variable wird SCR genannt. Da derartige Daten eine rechtsschiefe Verteilung aufweisen, wurde folgende logarithmische Korrektur vorgenommen: $y = \log(1+x)$ (Venables & Christie, 1980 zitiert nach Benedek & Kaernbach, 2010a). Alle nachfolgenden Ergebnisse der Hautleitfähigkeit werden somit in Form T-standardisierter, logarithmierter Mikrosiemens angegeben, kurz $T \log \mu S$.

5.2.4.3 Verzögerte Antworten

Für die Entscheidung, ob eine Kollision vorlag, oder nicht, stand den Probanden ein Zeitfenster von 3 Sekunden nach der Präsentation des Clips zur Verfügung (vgl. Abschnitt 5.2.1.1). Es kam vor, dass Probanden nicht innerhalb des Zeitfensters antworteten, sondern erst danach. Über alle Probanden und Clips hinweg geschah das insgesamt 16 Mal, d. h. in 2.3 % der Fälle (29 Probanden x 24 Clips = 696 mögliche Fälle). Aufgrund der geringen Anzahl der Vorkommnisse wurden die verzögerten Antworten dennoch in die normale Auswertung miteinbezogen.

5.2.4.4 Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung wurde IBM® SPSS® Statistics 23 verwendet. Ein Ergebnis wird als signifikant bezeichnet, wenn der zugehörige Test einen p -Wert $< .05$ aufweist. Fehlerbalken in Diagrammen bezeichnen stets das 95 %-Konfidenzintervalle des Mittelwerts. Sofern es sich dabei um Konfidenzintervalle für abhängige Stichproben handelt, erfolgte deren Berechnung nach Cosineau (2005).

5.2.5 Stichprobe

Insgesamt nahmen $N = 30$ Probanden an der Untersuchung teil. Bei einer Person lag ein Fehler bei der Aufzeichnung der Hautleitfähigkeitsdaten vor. Die finale Stichprobe besteht somit aus $N = 29$ Personen, davon sind $N = 10$ weiblich und $N = 19$ männlich. Das mittlere Alter der Probanden liegt bei 23.7 Jahren ($SD = 3.5$). Da sich die Stichprobe aus dem universitären Umfeld rekrutierte, gab die Mehrzahl der Teilnehmer an, Student bzw. Studentin zu sein ($N = 25$), $N = 4$ waren berufstätig.

5.2.6 Temperaturkontrolle

Die Raumtemperatur wurde als Kontrollvariable zu Beginn jedes Versuchs gemessen. Zum Einsatz kam hierfür das System BAPPU classic (ELK GmbH). Die Temperatur betrug im Mittel 21.3°C ($SD = 2.1$).

5.3 Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt getrennt für jede Fragestellung.

5.3.1 Fragestellung 1: Unterscheiden sich somatische Marker vor Kollisionssituationen von somatischen Markern vor Nicht-Kollisionssituationen?

In einem ersten Schritt wurde geprüft, ob sich die SCR-Werte von Kollisions- und Nicht-Kollisionsclips grundsätzlich unterscheiden. Hierfür wurden die antizipatorischen Hautleitfähigkeitswerte für die Kollisionsclips (1–12) und die Nicht-Kollisionsclips (13–24) gemittelt ($M_{\text{Kollision}} = 0.857$, $M_{\text{Nicht-Kollision}} = 0.855$). Anschließend wurde ein t -Test für abhängige Stichproben berechnet. Der Test ergab, dass sich Kollisionsclips nicht signifikant von Nicht-Kollisionsclips hinsichtlich der Höhe der Hautleitfähigkeit unterscheiden ($t[28] = 0.05$, $p = .96$, siehe Abbildung 5.4).

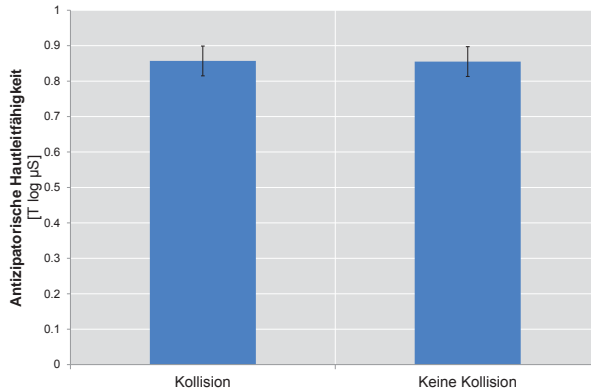


Abb. 5.4: Ergebnisse der antizipatorischen Hautleitfähigkeitswerte im Zeitfenster von drei Sekunden bis zum Entscheidungspunkt für Kollisionsclips und Nicht-Kollisionsclips ($N = 29$). Die Fehlerbalken bezeichnen 95 %-Konfidenzintervalle des Mittelwerts für abhängige Stichproben.

Nicht alle Entscheidungen der Probanden waren korrekt. In manchen Fällen wurden Kollisionen fälschlicherweise als Nicht-Kollisionen erkannt, dasselbe geschah auch für Nicht-Kollisionen, die irrtümlich als Kollisionen erkannt wurden. Um dieser Tatsache Rechnung zu tragen, wurde ein zweiter t -Test gerechnet, bei dem die Mittelwerte für Kollision und Nicht-Kollision nicht anhand der a priori festgelegten Einteilung der Clips gebildet wurden, sondern anhand der subjektiven Antworten der Probanden. Die Mittelwerte der SCR-Werte zeigen kaum Veränderungen ($M_{\text{Kollision subjektiv}} = 0.885$, $M_{\text{Nicht-Kollision subjektiv}} = 0.834$), entsprechend wird der t -Test auch hier nicht signifikant ($t[28] = 1.15$, $p = .26$).

In einem weiteren Schritt wurde analysiert, ob sich Unterschiede auf Ebene einzelner Clips finden lassen. Hierzu wurde eine Varianzanalyse mit Messwiederholung mit dem messwiederholten Faktor Clip (24 Stufen) gerechnet. Die Hautleitfähigkeitsreaktionen im Zeitfenster von 3 Sekunden vor der Entscheidung bildeten die abhängige Variable. Der Mauchly-Test ergab, dass die Sphärizitätsannahme verworfen werden musste ($\chi^2[275] = 373.47$, $p < .001$). Entsprechend wurden die weiteren Ergebnisse nach

Greenhouse-Geisser ($\epsilon = 0.47$) korrigiert (Field, 2009, S. 461). Die Varianzanalyse zeigte keinen signifikanten Effekt für den Messwiederholungsfaktor ($F[10.81, 302.57] = 1.60, p = .10$). Es besteht somit auch kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Clips (siehe Abbildung 5.5).

5.3.2 Fragestellung 2: Steht die Stärke eines somatischen Markers in Beziehung zur Korrektheit einer Entscheidung?

Zur Beantwortung dieser Frage wurde zunächst für jeden Probanden die Anzahl korrekter Antworten aufsummiert. Des Weiteren wurden für jeden Probanden alle antizipatorischen Hautleitfähigkeitsreaktionen in den 24 Clips gemittelt. Anschließend wurden beide Variablen korreliert (Produkt-Moment-Korrelation). Das Ergebnis brachte eine Korrelation von $r = -.14, p = .46$. Somit besteht kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Stärke eines somatischen Markers und der Korrektheit der Entscheidung.

5.3.3 Fragestellung 3: Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Stärke eines somatischen Markers und der subjektiven Entscheidungssicherheit?

Hierfür wurde zunächst für jeden Probanden die mittlere Entscheidungssicherheit über alle Clips berechnet. Diese wurde mit der gemittelten antizipatorischen somatischen Reaktion je Proband korreliert (vgl. Fragestellung 2). Die Produkt-Moment-Korrelation ergab einen Wert von $r = -.23, p = .22$. Es besteht somit kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Stärke eines somatischen Markers und der subjektiven Entscheidungssicherheit.

5.3.4 Fragestellung 4: Hat die Fähigkeit zur Wahrnehmung eigener körperlicher Veränderungen einen Einfluss auf die Korrektheit einer getroffenen Entscheidung?

Für diese Frage wurde eine Produkt-Moment-Korrelation zwischen dem TAS-Gesamtwert (vgl. Abschnitt 5.2.1.2) und der Summe korrekter Antworten

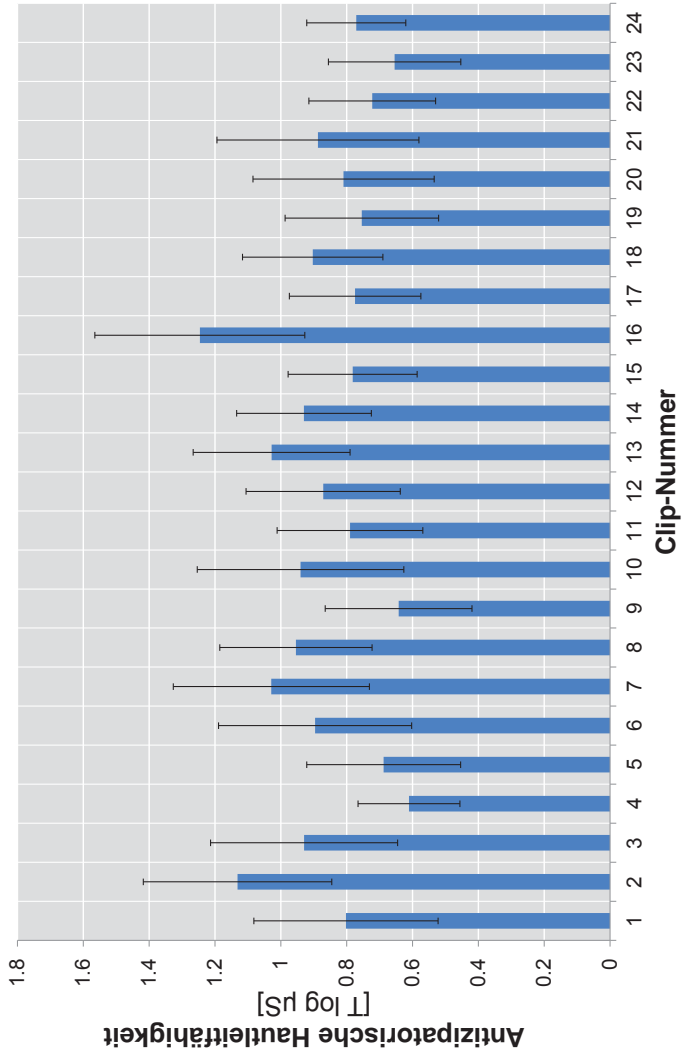


Abb. 5.5: Ergebnisse der antizipatorischen Hautleitfähigkeitswerte für die 24 Clips der Collision Detection Task ($N = 29$). Die Clips 1–12 sind Kollisionsclips, die Clips 13–24 sind Nicht-Kollisionsclips. Die Fehlerbalken bezeichnen 95 %-Konfidenzintervalle des Mittelwerts für abhängige Stichproben.

ten je Proband berechnet. Das Ergebnis erbrachte ebenfalls keinen signifikanten Zusammenhang zwischen diesen beiden Variablen ($r = -.25, p = .20$).

5.3.5 Fragestellung 5: Hat die Fähigkeit zur Wahrnehmung eigener körperlicher Veränderungen einen Einfluss auf die subjektiv empfundene Sicherheit mit einer getroffenen Entscheidung?

Zur Beantwortung dieser Frage wurde eine Produkt-Moment-Korrelation zwischen dem TAS-Gesamtwert und der mittleren Sicherheit über alle Clips je Proband berechnet (vgl. Fragestellung 3). Es ergab sich eine signifikante Korrelation von $r = -.39, p = .04$. Ein geringerer Wert für die Alexithymie (d. h. die Unfähigkeit zur Wahrnehmung körperlicher Veränderungen) geht somit mit einer höheren Sicherheit mit einer getroffenen Entscheidung einher. Nach Cohen (1992) handelt es sich dabei um eine mittlere Effektgröße.

5.4 Diskussion

In diesem Experiment wurde untersucht, ob somatische Marker grundsätzlich bei der Antizipation von Objektkollisionen eine Rolle spielen. Die Ergebnisse zeigen, dass sich Kollisionsclips und Nicht-Kollisionsclips nicht signifikant hinsichtlich der antizipatorischen somatischen Aktivierung unterscheiden. Dies gilt unabhängig davon, ob die Klassifikation der Kollisions- und Nicht-Kollisionsclips auf Basis der vorab festgelegten Einteilung, oder anhand der Antworten der Probanden erfolgte. In letzterem Fall war der Unterschied zwischen beiden Mittelwerten zwar etwas größer und ging auch tendenziell in die erwartete Richtung, allerdings war dieser zu klein, um statistisch abgesichert werden zu können. Damit muss Hypothese 1, die davon ausging, dass somatische Marker stärker vor Kollisionssituationen aktiv werden, verworfen werden.

Es konnte keine Korrelation zwischen der Stärke eines somatischen Markers und der Korrektheit einer Entscheidung gefunden werden. Da-

mit muss auch Hypothese 2, die hierfür einen positiven Zusammenhang erwartet hat, verworfen werden.

Auch zu der subjektiven Entscheidungssicherheit zeigten die antizipatorischen SCR-Werte keinen Zusammenhang. Die entsprechende Korrelation wurde nicht signifikant, somit muss auch Hypothese 3 verworfen werden.

Die Forschungshypothesen 4 und 5 adressierten Zusammenhänge zum Konstrukt Alexithymie. Mit Hilfe des TAS-20 wurde untersucht, ob die Fähigkeit zur Wahrnehmung eigener körperlicher Veränderungen einen Einfluss auf die Korrektheit und/oder die subjektiv empfundene Sicherheit mit einer getroffenen Entscheidung besitzt. Kein Zusammenhang ergab sich zur Korrektheit einer Entscheidung. Damit muss Hypothese 4 ebenfalls verworfen werden. Demgegenüber zeigte sich ein signifikant negativer Zusammenhang zwischen dem TAS-Gesamtwert und der mittleren subjektiven Sicherheit von $r = -.39, p = .04$. Probanden mit einem höheren TAS-Gesamtwert zeigen tendenziell geringere Sicherheiten mit der getroffenen Entscheidung. Dies bedeutet, dass Menschen mit einer höheren Unfähigkeit zur Wahrnehmung eigener körperlicher Veränderungen eine geringere Sicherheit mit ihren getroffenen Entscheidungen angaben. Dieses Ergebnis entspricht der Erwartung von Hypothese 5.

5.4.1 Unbekannter Entscheidungszeitpunkt

Ein wesentliches Problem der vorliegenden Untersuchung wird in der Tatsache gesehen, dass der genaue Entscheidungszeitpunkt der Probanden unbekannt ist. Das Experiment war so angelegt, dass jeder Clip von Anfang bis Ende angesehen werden musste, eine Möglichkeit zur Entscheidung wurde erst im anschließenden Antwortzeitfenster gegeben (vgl. Abbildung 5.2). Damit ist der Zeitpunkt des aufgenommenen Tastendrucks, der zugleich Ausgangspunkt für das Zeitfenster zur Berechnung des antizipatorischen SCR-Werts darstellt, nicht notwendigerweise identisch mit dem tatsächlichen Entscheidungszeitpunkt. Es ist denkbar, dass Probanden schon zu

einem früheren Zeitpunkt während der Betrachtung des Clips entschieden haben, ob eine Kollision oder eine Nicht-Kollision vorliegt. Entsprechend wären im Antwortfenster die antizipativen somatischen Prozesse auch bereits abgeschlossen.

Die feste Zeitvorgabe für den Betrachtungs- und Entscheidungszeitraum wurde ursprünglich gewählt, um sicherzustellen, dass alle Probanden auf Grundlage derselben gesehener Informationen Entscheidungen treffen. Zudem sollte vermieden werden, dass Probanden vor allen Dingen bei den recht eindeutigen Situationen so schnell antworten, dass am Ende kein ausreichend großes Zeitfenster zur Auswertung der antizipatorischen SCR-Aktivität mehr zur Verfügung steht.

5.4.2 Emotionale Bedeutsamkeit

Ein weiterer Grund für eine ausgebliebene Differenzierung der SCR-Aktivität von Kollisions- und Nicht-Kollisionsclips könnte eine zu geringe oder fehlende emotionale Bedeutsamkeit der Aufgabe sein. Das Experiment wollte ohne inhaltlichen Bezug zu einem Anwendungskontext untersuchen, ob somatische Marker grundsätzlich bei der Antizipation von Objektkollisionen wirksam werden. Daher wurden die beiden gelben Kreise weder inhaltlich noch emotional mit zusätzlicher Bedeutung aufgeladen (dies wäre z. B. der Fall gewesen, wenn man die Probanden gebeten hätte, sich vorzustellen, dass es sich bei den gelben Kreisen um Autos handelt, bei denen eine Kollision vermieden werden sollte). Der Proband hatte also keine Veranlassung, einen oder beide Kreise als zu schützende Objekte anzusehen. Ein weiterer wichtiger Aspekt stellt die Tatsache dar, dass es für den Probanden keinen Unterschied machte, ob sich zwei Objekte auf Kollisionskurs befanden, oder nicht. Weder waren potentielle Schäden für die Objekte zu erwarten, noch bekam der Proband eine Rückmeldung zur Korrektheit seiner Entscheidungen und wurde ggf. monetär zu korrekten Entscheidungen motiviert.

Der Verzicht auf Rückmeldung und monetäre Belohnung wurde ursprünglich bewusst getroffen um zu verhindern, dass das Experiment hierdurch einen zu starken Spielcharakter erhält, der die eigentlich interessierende Fragestellung nach der Antizipation von Objektkollisionen überlagert. Allerdings bleibt festzuhalten, dass der komplette Verzicht auf inhaltlichen Bezug, Feedback und monetäre Belohnung womöglich zu einer (zu) geringen emotionalen Bedeutsamkeit der Aufgabe für den Probanden geführt hat. Die Tatsache, dass somatische Marker ein Ausdruck der *emotionalen* Vorerfahrung mit ähnlichen Situationen darstellen, lässt erwarten, dass eine zu geringe emotionale Bedeutsamkeit auch keine emotionale Erfahrung nach sich zieht. Damit wäre auch eine Re-Aktivierung dieser Erfahrung und deren physiologische Messbarkeit in Form von unterschiedlichen antizipatorischen SCR-Werten nicht gegeben. In der Folge käme es zu den beobachteten nicht vorhandenen SCR-Unterschieden zwischen Kollisions- und Nicht-Kollisionsclips.

5.5 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Experiment I keine Hinweise für die Wirkung somatischer Marker bei der Antizipation von Objektkollisionen erbracht hat. Darauf zu schließen, dass somatische Marker generell keinen Einfluss auf die Antizipation von Objektkollisionen besitzen, ist aufgrund der diskutierten methodischen Probleme jedoch verfrüht. In nachfolgenden Experimenten sollte sowohl das Problem des unbekanntenen Entscheidungszeitpunkts als auch die zu geringe emotionale Bedeutsamkeit der Aufgabe adressiert werden. Denkbar wäre die Verwendung von 3D-Elementen, die sich im Raum aufeinander zubewegen. Zusätzlich könnte auch die Veränderung der Perspektive von einer Vogel- hin zu einer Ego-Perspektive dazu führen, eine höhere persönliche Bedeutsamkeit herzustellen.¹² Denkbar wäre

¹²Hinweise, dass sich dadurch tatsächlich Unterschiede zwischen Kollisions- und Nicht-Kollisionssituationen finden lassen, wurden im Rahmen einer vom Autor dieser Arbeit betreuten Abschlussarbeit gefunden, vgl. Tu, 2016.

zudem, mit Hilfe geeigneter Instruktionen die emotionale Bedeutsamkeit zu erhöhen. Die Verwendung von inhaltlichem und/oder monetärem Feedback ist ebenfalls zu erwägen, allerdings muss hierbei darauf geachtet werden, dem Experiment keinen zu starken Spielcharakter zu verleihen.

Der gefundene Zusammenhang zwischen dem TAS-20 und der subjektiven Sicherheit geht in die theoretisch erwartete Richtung und bietet Anlass, diesen Zusammenhang in Folgeuntersuchungen weiter zu analysieren.

6 Experiment II: Antizipation von videobasierten Entscheidungen im Straßenverkehr

In diesem Kapitel wird ein computergestütztes Experiment beschrieben, das untersuchen möchte, welche Rolle somatische Marker bei der Antizipation von videobasierten Entscheidungen im Straßenverkehr spielen. Die grundsätzlichen Methoden zur Messung und Auswertung somatischer Marker aus Experiment I werden dabei beibehalten. Von allen drei Experimenten dieser Dissertation weist dieses die größte Anschlussfähigkeit an die Arbeit von Kinnear et al. (2013) auf (siehe Abschnitt 2.5.1.2 und 2.5.1.2). Ein wesentlicher Unterschied besteht jedoch darin, dass die Probanden im vorliegenden Experiment die Videos nicht nur betrachten, sondern tatsächliche Entscheidungen treffen sollen. Zudem weisen die einzelnen Videos keine multiplen potentiell kritischen Ereignisse auf, sondern jeweils nur eines, auf das sich auch das Entscheidungsverhalten bezieht.

6.1 Fragestellungen

Folgende Fragen sollen adressiert werden:

1. Hängt die Stärke eines somatischen Markers von der Fahrerfahrung ab?

Laut der Theorie der somatischen Marker stellen somatische Marker aktivierte emotionale Vorerfahrung dar. Sowohl auf theoretischer Grundlage sowie auf Grundlage der Ergebnisse von Kinnear et al. (2013) wird daher vermutet, dass Fahranfänger geringere antizipatorische Hautleitfähigkeitswerte zeigen als erfahrenere Autofahrer. Entsprechend wird auch erwartet, dass die Stärke eines somatischen Markers von der Fahrhäufigkeit bzw. Fahrintensität abhängt.

2. Steht die Stärke eines somatischen Markers in Beziehung zum akzeptierten Risiko bei einer Entscheidung?

Da die Aufgabe des somatischen Markers darin besteht, den Körper auf sich anbahnende Gefahren hinzuweisen, wird vermutet, dass stärkere Reaktionen mit einem geringeren akzeptierten Risiko einhergehen.

3. Hat die Fähigkeit zur Wahrnehmung eigener körperlicher Veränderungen einen Einfluss auf das akzeptierte Risiko bei einer Entscheidung?

Obwohl es sich hierbei um eine explorative Fragestellung handelt, wird vermutet, dass Menschen mit einer stärker ausgeprägten Fähigkeit zur Wahrnehmung eigener körperlicher Veränderungen auch sensibler auf somatische Marker reagieren. Damit einher geht ein geringeres Niveau des akzeptierten Risikos.

6.2 Methoden

Nachfolgend werden die verwendeten Materialien sowie die Messapparatur beschrieben. Im Anschluss wird der genaue Versuchsablauf erläutert. Darauf aufbauend erfolgt eine ausführliche Darstellung der Datenauswertung. Neben der Beschreibung der Stichprobe wird zuletzt noch erläutert, wie der Einfluss potentieller Atemartefakte kontrolliert wurde.

6.2.1 Materialien

In diesem Abschnitt werden der Wiener Risikobereitschaftstest Verkehr sowie die verwendeten Fragebögen dargestellt.

6.2.1.1 Wiener Risikobereitschaftstest Verkehr

Für die Darbietung entscheidungsrelevanter Verkehrssituationen wurde der Wiener Risikobereitschaftstest Verkehr (WRBTV) gewählt. Der WRBTV



Abb. 6.1: Screenshot eines Videos aus dem Wiener Risikobereitschaftstest Verkehr
©Schuhfried GmbH.

dient zur Erfassung des subjektiv akzeptierten Risikoniveaus im Straßenverkehr (Hergovich, Bogнар, Arendasy & Sommer, 2005; Hergovich, Arendasy, Sommer & Bogнар, 2007). Der Test besteht aus der Präsentation von 24 potentiell gefährlichen Verkehrssituationen. Jede Situation wird zuerst verbal beschrieben. Anschließend sehen die Probanden zweimal einen Videoclip mit der zuvor beschriebenen Situation. Während der ersten Darbietung des Videos sind die Probanden aufgefordert, die Situation nur zu betrachten. In der direkt anschließenden zweiten Darbietung sollen die Probanden mittels Tastendruck entscheiden, ab welchem Zeitpunkt sie eine Situation abbrechen oder nicht mehr einleiten würden (z.B. ein Überholmanöver, siehe Abbildung 6.1). Eine Übersicht aller 24 Verkehrssituationen ist in Anhang B.1–B.4 dargestellt.

Als Experimentalumgebung für die Darbietung der Videoclips und die Aufzeichnung der Probandenantworten wurde die Software OpenSesame (Mathôt et al., 2012) genutzt. Zur Vermeidung von Reihenfolgeeffekten wurden die Videos randomisiert dargeboten. Die Bedienung des WRBTV erfolgte mit der nicht-dominanten Hand. Die einzige Taste, die der Proband zur Steuerung des Versuchs benötigte, war die Leertaste. Diese war zur

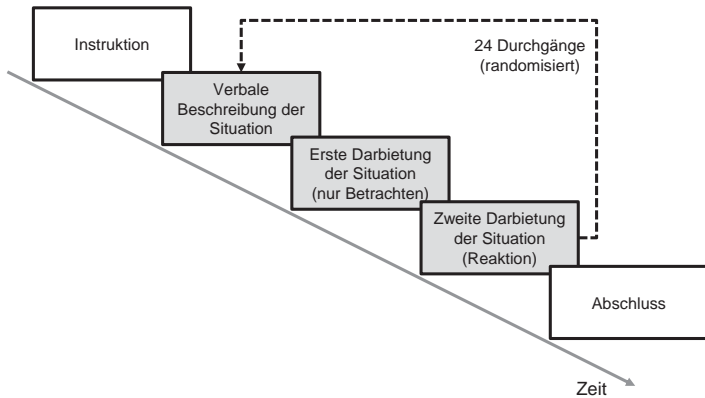


Abb. 6.2: Schematische Darstellung des Ablaufs des Wiener Risikobereitschaftstests Verkehr.

besseren visuellen Erkennung farblich markiert. Der gesamte Ablauf des WRBTV ist in Abbildung 6.2 verdeutlicht.

6.2.1.2 TAS-20

Es wurde wie in Experiment I die Toronto-Alexithymie-Skala zur Wahrnehmung eigener körperlicher Veränderungen und Affekte verwendet (vgl. Abschnitt 5.2.1.2).

6.2.1.3 Abschlussfragebogen

Zur Erfassung wichtiger soziodemographischer Daten (u. a. Alter, Geschlecht) sowie mobilitätsbezogener Variablen (z. B. durchschnittliche Anzahl gefahrener Kilometer im Auto pro Woche) kam ein selbst erstellter Fragebogen zum Einsatz. Dieser ähnelte dem Fragebogen aus Experiment I (siehe Anhang B.5).

6.2.2 Messapparatur

Für die Messung der Hautleitfähigkeit und der Atemaktivität wurde ein varioport-B Biosignal Rekorder (Becker Meditec) verwendet, vgl. Abschnitt 5.2.2. Die Aufzeichnungsrate betrug in diesem Experiment 128 Hz.

6.2.3 Versuchsablauf

Allen Probanden wurde zunächst eine schriftliche Einverständniserklärung vorgelegt, die über Inhalt und Zweck des Experiments informierte. Minderjährigen Probanden wurde vorab eine angepasste Version der Einverständniserklärung zugeschickt, die für eine Teilnahme am Experiment von einem Erziehungsberechtigten unterschrieben werden musste. Im Anschluss wurden die EDA-Elektroden angebracht (entsprechend dem Vorgehen in Experiment I, vgl. Abschnitt 5.2.3). Zur Vermeidung von Bewegungsartefakten wurde der Proband gebeten, die Hand mit den Elektroden in eine angenehme Lage zu versetzen und während des Versuchs nicht unnötig zu bewegen. Die Bedienung des Computerexperiments erfolgte ausschließlich mit der dominanten Hand. Neben der Hautleitfähigkeit wurde auch die Atemaktivität als Kontrollvariable erhoben. Hierfür wurde dem Probanden ein elastischer Atemgurt über der Brust angelegt. Die Länge des Gurts wurde dem Körperbau des Probanden angepasst und auf korrekte Funktion geprüft.

Während der Durchführung des WRBTV war der Proband alleine im Raum, der Versuchsleiter befand sich in dieser Zeit in einem Nebenraum und kontrollierte von dort die Messapparatur. Nach Beendigung des WRBTV wurden zunächst die Elektroden sowie der Atemgurt entfernt und der Proband anschließend gebeten, den TAS-20 Fragebogen sowie den Abschlussfragebogen auszufüllen. Für die Teilnahme erhielten die Versuchspersonen eine pauschale Vergütung in Höhe von 10,- EUR.¹³

¹³Die Vergütung fiel im Vergleich zu Experiment I höher aus, da die Probanden nicht nur aus dem universitären Umfeld rekrutiert wurden und damit der zusätzliche Aufwand für An- und Abreise honoriert werden sollte.

6.2.4 Datenauswertung

Nachfolgend werden die Schritte der Datenauswertung beschrieben.

6.2.4.1 Aufbereitung der EDA-Daten

Die Aufbereitung und Auswertung der EDA-Daten folgt der Vorgehensweise von Experiment I (siehe Abschnitt 5.2.4.1).

6.2.4.2 Kontinuierliche Dekompositionsanalyse

Die Kontinuierliche Dekompositionsanalyse wurde analog zu Experiment I durchgeführt (siehe Abschnitt 5.2.4.2). Für die Berechnung des ISCR wurde wiederum ein Zeitfenster von 3 Sekunden vor dem Entscheidungspunkt (Tastendruck) gewählt. Die ISCR-Werte wurden anschließend durch die Länge des Zeitfensters geteilt, die resultierende Variable wird SCR genannt. Alle nachfolgenden Ergebnisse der Hautleitfähigkeit werden in Form T-standardisierter, logarithmierter Mikrosiemens angegeben, kurz: T log μS .

6.2.4.3 Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung wurde IBM[®] SPSS[®] Statistics 23 verwendet. Ein Ergebnis wird als signifikant bezeichnet, wenn der zugehörige Test einen p -Wert $< .05$ aufweist. Fehlerbalken in Diagrammen bezeichnen stets das 95 %-Konfidenzintervall des Mittelwerts. Sofern es sich dabei um Konfidenzintervalle für abhängige Stichproben handelt, erfolgte deren Berechnung nach Cosineau (2005).

6.2.5 Stichprobe

Für das Experiment wurden sowohl Fahranfänger als auch erfahrene Fahrer (Experten) rekrutiert. Als Fahranfänger galt, wer sich zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung in der Fahrausbildung befand oder diese vor maximal drei Monaten abgeschlossen hatte. Als Kriterium für erfahrene Fahrer

wurde eine Fahrleistung von mindestens 20000 km/Jahr veranschlagt. Die erfahrenen Fahrer wurden vorwiegend aus dem universitären Umfeld des KIT rekrutiert. Für die Fahranfänger wurden zusätzlich Fahrschulen im Stadtgebiet Karlsruhe kontaktiert. Dort wurde mit Hilfe von Flyern und persönlicher Vorsprache um Probanden geworben.

Insgesamt wurden $N = 32$ Personen untersucht. Zwei Probanden mussten nachträglich aus der Stichprobe entfernt werden, da sie nicht eindeutig als Anfänger oder Experten klassifiziert werden konnten. Die finale Stichprobe bestand somit aus $N = 30$ Personen, davon waren $N = 14$ der Gruppe der Fahranfänger zuzuordnen. Die Gruppe der Fahranfänger war im Mittel 20.2 Jahre alt ($SD = 4.1$), das Alter der erfahrenen Fahrer betrug im Mittel 27.4 Jahre ($SD = 7.1$). Von der Gruppe der Fahranfänger waren $N = 5$ Personen weiblich, bei den Experten $N = 1$.

Die Fahranfänger gaben an, im Mittel 32.8 Kilometer pro Woche Auto zu fahren ($SD = 27.0$). Für die Fahrhäufigkeit ergab sich ein Mittelwert von 5.4 ($SD = 1.6$). Damit fahren Fahranfänger im Mittel alle 1–2 Wochen selbst Auto. Erfahrene Fahrer gaben an, im Mittel 544.4 Kilometer pro Woche im eigenen Auto zurückzulegen ($SD = 451.8$). Für die Fahrhäufigkeit ergab sich ein Mittelwert von 7.7 ($SD = 0.5$). Damit fahren erfahrene Fahrer im Mittel fast täglich selbst.

6.2.6 Atemartefaktkontrolle

Starkes Einatmen kann zu einem sprunghaften Anstieg des Hautleitfähigkeitssignals führen (vgl. Boucsein, 2012, S. 183ff.). Um zu überprüfen, ob die Daten in diesem Experiment durch systematische Atemartefakte verzerrt sind, wurde ein Matlab basiertes Verfahren entwickelt. Zunächst wurde das gesamte Atemsignal eines Probanden geplottet. Mit Hilfe der Funktion *peakdet*¹⁴ wurden dann die Hoch- und Tiefpunkte des Signals extrahiert. Dafür benötigt die Funktion *peakdet* einen Grenzwert, der mindestens zwischen

¹⁴Entwickelt von Eli Billauer,
<http://www.billauer.co.il/peakdet.html>.

zwei Punkten liegen muss, um diese als Hoch- bzw. Tiefpunkt zu erkennen. Da manche Probanden allgemein flacher oder tiefer einatmen, muss der Grenzwert probandenspezifisch angepasst werden. Für jeden Probanden wurde daher grafisch geprüft, ob die Hoch- und Tiefpunkte zuverlässig extrahiert werden, ggf. wurde der Grenzwert angepasst. Im Anschluss wurde die Tiefe jedes Atemzugs berechnet, indem von jedem Hochpunkt der vorausgehende Tiefpunkt abgezogen wurde. Basierend auf einer unterstellten Normalverteilung der Atemtiefen wurde ein 95 %-Konfidenzintervall um die mittlere Atemtiefe eines Probanden gelegt. Werte jenseits des Konfidenzintervalls wurden als übermäßiges Einatmen und damit für die Hautleitfähigkeit als potentiell artefaktverursachend klassifiziert. Es wurde daher geprüft, ob derartig tiefe Atemvorgänge vor einem Entscheidungspunkt vorkamen. Um potentiellen Latenzen Rechnung zu tragen, wurde hierfür ein 5-Sekunden Zeitfenster vor dem Entscheidungspunkt gewählt. Für jeden Probanden wurde für alle Videos geprüft, ob ein übermäßiges Einatmen vor dem Entscheidungspunkt vorlag. Über alle Probanden hinweg wurde insgesamt 19 Mal ein übermäßig starkes Einatmen klassifiziert, d. h. in 2.6 % der Fälle (30 Probanden x 24 Videos = 720 mögliche Fälle). Betroffen hiervon waren $N = 15$ Probanden.

Es wurde geprüft, ob die starken Atemvorgänge die Ergebnisse und Aussagen der Hautleitfähigkeitsdaten beeinflussen. Hierfür wurden alle Fälle mit übermäßig starkem Einatmen aus den Hautleitfähigkeitsdaten entfernt. Die resultierenden Mittelwerte und Standardabweichungen wurden den Mittelwerten und Standardabweichungen der vollständigen Daten gegenübergestellt (siehe Anhang Tabelle B.1). Der Vergleich zeigt, dass die Ergebnisse sehr stabil bleiben. Die größte Differenz zwischen den Mittelwerten mit und ohne Artefakt beträgt -0.07 (bei Video 5). Insgesamt verändern sich die Mittelwerte und Standardabweichungen somit kaum. Es wird daher davon ausgegangen, dass Atemartefakte keine systematische Verzerrung auf die Ergebnisse ausüben und auf ein Löschen der entsprechenden Fälle aus der finalen Auswertung verzichtet.

6.2.7 Temperaturkontrolle

Die Raumtemperatur wurde als Kontrollvariable zu Beginn jedes Versuchs gemessen. Zum Einsatz kam hierfür das System BAPPU classic (ELK GmbH). Die Temperatur betrug im Mittel 25.9 °C ($SD = 0.98$).

6.3 Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt getrennt für jede Fragestellung.

6.3.1 Fragestellung 1: Hängt die Stärke eines somatischen Markers von der Fahrerfahrung ab?

Für die Beantwortung dieser Frage wurden zwei Operationalisierungen von Fahrerfahrung vorgenommen. In einem ersten Schritt wird hierfür nur die Gruppenzugehörigkeit herangezogen (Fahranfänger versus erfahrene Fahrer, siehe Abschnitt 6.3.1.1). In einem zweiten Schritt wird die Fahrerfahrung anhand der Angaben im Abschlussfragebogen operationalisiert (siehe Abschnitt 6.3.1.2).

6.3.1.1 Unterschiede zwischen Fahranfängern und erfahrenen Fahrern hinsichtlich der Stärke eines somatischen Markers

Zur Beantwortung dieser Frage wird zunächst eine Varianzanalyse mit Messwiederholung mit dem messwiederholten Faktor Video (24 Stufen) und dem Zwischensubjektfaktor Gruppe (2 Stufen) gerechnet. Die Hautleitfähigkeitswerte im Zeitfenster von 3 Sekunden vor der Entscheidung bilden die abhängige Variable. Die Ergebnisse der ANOVA können Tabelle 6.1 entnommen werden. Nachfolgend wird auf die einzelnen Effekte detaillierter eingegangen.

Tab. 6.1: Varianzanalyse mit Messwiederholung für die antizipatorischen Hautleitfähigkeitswerte und die Faktoren Video und Gruppe. Es werden für jeden Faktor die Freiheitsgrade, der F -Wert sowie die zugehörige Wahrscheinlichkeit (p -Wert) angegeben.

Effekt	$df_{\text{Zähler}}$	df_{Nenner}	F	p
Video	23	644	2.02	< .01**
Gruppe	1	28	0.03	.86
Video x Gruppe	23	644	1.20	.24

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

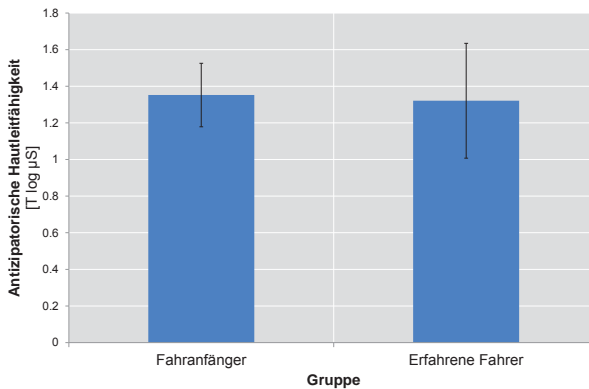


Abb. 6.3: Antizipatorische Hautleitfähigkeitswerte für den Zwischensubjekteffekt Gruppe (Fahranfänger $N = 14$, Erfahrene Fahrer $N = 16$). Die Fehlerbalken bezeichnen 95 %-Konfidenzintervalle des Mittelwerts für unabhängige Stichproben.

Haupteffekt Gruppe Bereits bei der Betrachtung der Gruppenmittelwerte wird deutlich, dass Fahranfänger und erfahrene Fahrer beinahe identische SCR-Werte aufweisen ($M_{\text{Fahranfänger}} = 1.35$, $M_{\text{Erfahrene Fahrer}} = 1.32$). Der Zwischensubjektfaktor Gruppe wird folglich auch nicht signifikant ($F[1, 28] = 0.03$, $p = .86$). Fahranfänger und erfahrene Fahrer unterscheiden sich somit nicht in der Höhe der antizipatorischen Hautleitfähigkeit.

Haupteffekt Video Der Mauchly-Test ergab, dass die Sphärizitätsannahme nicht verletzt ist ($\chi^2(275) = 301.48$, $p = .331$). Der Haupteffekt Video

wird signifikant ($F[23, 644] = 2.02, p < .001$). Das bedeutet, dass zwischen einzelnen Videos signifikante Unterschiede hinsichtlich der antizipatorischen Hautleitfähigkeit bestehen. Eine post-hoc Analyse der Unterschiede zwischen den einzelnen Videos findet in Abschnitt 6.3.4 statt.

Interaktionseffekt Video x Gruppe Der Interaktionseffekt Video x Gruppe wird nicht signifikant ($F[23, 644] = 1.20, p = .24$). Antizipatorische Hautleitfähigkeitswerte in den einzelnen Videos werden also nicht von der Gruppenzugehörigkeit moderiert.

6.3.1.2 Zusammenhang zur Fahrerfahrung

Der Abschlussfragebogen beinhaltete zwei Fragen zur Fahrerfahrung der Probanden. Frage 7 adressiert die *Fahrhäufigkeit* („Wie oft fahren Sie durchschnittlich selbst Auto?“), Frage 8 bezieht sich auf die *Fahrintensität* („Wie viele Kilometer fahren Sie durchschnittlich pro Woche Auto?“, siehe Anhang B.5). Die Beantwortung von Frage 7 erfolgte anhand einer 8-stufigen Ratingskala mit den Endpunkten *nie* und *täglich*. Bei Frage 8 gaben die Probanden eine geschätzte Kilometeranzahl in einem Freitextfeld an.

Es wurden Produkt-Moment-Korrelationen berechnet zwischen der gemittelten antizipatorischen Hautleitfähigkeit je Proband sowie der Fahrhäufigkeit (Frage 7) und der Fahrintensität (Frage 8). Die Ergebnisse sind in Tabelle 6.2 dargestellt.

Auf Ebene der Gesamtstichprobe wird keine der beiden Korrelationen signifikant. Bei getrennter Berechnung für die beiden Subgruppen der Fahranfänger und der erfahrenen Fahrer hingegen kann für die Fahranfänger eine signifikante Korrelation zur Fahrhäufigkeit gefunden werden ($r = .56, p = .04$). Je häufiger Fahranfänger ein Auto nutzen, desto intensiver fällt die antizipatorische Hautleitfähigkeit aus. Bei den erfahrenen Fahrern ergibt sich ein signifikanter Zusammenhang zur Fahrintensität. Je mehr Kilometer erfahrene Fahrer pro Woche im eigenen Auto unterwegs sind, desto geringer fällt ihre mittlere antizipatorische Hautleitfähigkeit aus.

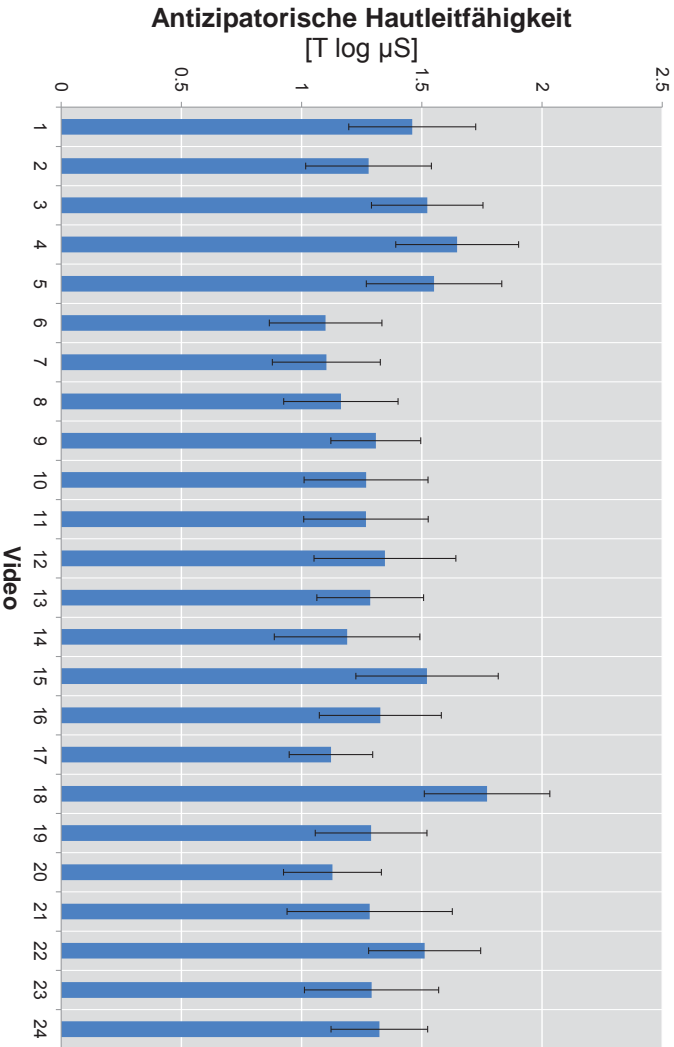


Abb. 6.4: Antizipatorische Hautleitfähigkeitswerte für alle 24 Videos des Wiener Risikobereitschaftstests Verkehr (N = 30). Die Fehlerbalken bezeichnen 95%-Konfidenzintervalle des Mittelwerts für abhängige Stichproben.

Tab. 6.2: Produkt-Moment-Korrelationen zwischen mittlerer antizipatorischer Hautleitfähigkeit, Fahrhäufigkeit und Fahrtintensität, sowohl für die Gesamtstichprobe (oben), als auch getrennt für Fahranfänger und erfahrene Fahrer (unten).

			Fahr- häufigkeit	Fahr- intensität
Gesamt	Mittlere SCR-Aktivierung	<i>r</i>	.10	-.36
		<i>p</i>	.60	.05
		<i>N</i>	30	29
Fahranfänger	Mittlere SCR-Aktivierung	<i>r</i>	.56*	.02
		<i>p</i>	.04	.95
		<i>N</i>	14	13
Erfahrene Fahrer	Mittlere SCR-Aktivierung	<i>r</i>	-.17	-.50*
		<i>p</i>	.52	.05
		<i>N</i>	16	16

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ (2-seitig)

Anmerkung: Die Korrelation zwischen der mittleren SCR-Aktivierung und der Fahrtintensität wird bei der Gesamtstichprobe knapp nicht signifikant, bei den erfahrenen Fahrern wird sie knapp signifikant. In beiden Fällen ergibt sich ein gerundeter p -Wert von .05.

6.3.2 Fragestellung 2: Steht die Stärke eines somatischen Markers in Beziehung zum akzeptierten Risiko bei einer Entscheidung?

Insgesamt gibt es 720 Datenpaare einer Reaktionszeit und einer zugehörigen antizipatorischen Hautleitfähigkeit (24 Clips x 30 Probanden). Die Stärke des Zusammenhangs wird mit Hilfe einer Korrelation für messwiederholte Daten berechnet (Bland & Altman, 1995). Es ergibt sich eine Korrelation von $r = -.03$, $p = .40$. Somit besteht kein Zusammenhang zwischen der antizipatorischen Hautleitfähigkeit und der Reaktionszeit.¹⁵

¹⁵Eine Analyse der Risikowahrnehmung von Fahranfängern und erfahrenen Fahrern findet sich bei Heine, Walther und Deml (2016).

6.3.3 Fragestellung 3: Hat die Fähigkeit zur Wahrnehmung eigener körperlicher Veränderungen einen Einfluss auf das akzeptierte Risiko bei einer Entscheidung?

Es wurden Produkt-Moment-Korrelationen berechnet zwischen dem TAS-Gesamtwert und der mittleren Reaktionszeit je Proband (siehe Tabelle 6.3). Auf Ebene der Gesamtstichprobe besteht kein Zusammenhang zwischen den beiden Variablen ($r = .24, p = .21$). Betrachtet man die Korrelationen allerdings auf der Gruppenebene, so fällt auf, dass die erfahrenen Fahrer eine signifikante Korrelation von $r = .53, p = .04$ aufweisen. Erfahrene Fahrer mit einer höheren Alexithymie zeigen somit tendenziell höhere Reaktionszeiten.

Tab. 6.3: Produkt-Moment-Korrelationen zwischen dem TAS-Gesamtwert und der mittleren Reaktionszeit, sowohl für die Gesamtstichprobe (oben), als auch getrennt für Fahranfänger und erfahrene Fahrer (unten).

		Mittlere Reaktionszeit	
Gesamt	TAS-Gesamtwert	r	.24
		p	.21
		N	30
Fahranfänger	TAS-Gesamtwert	r	-.23
		p	.44
		N	14
Erfahrene Fahrer	TAS-Gesamtwert	r	.53*
		p	.04
		N	16

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ (2-seitig)

Da in der Gruppe der erfahrenen Fahrer nur eine weibliche Person war, lag die Vermutung nahe, dass es sich bei dem gefundenen Zusammenhang um einen Geschlechtereffekt handeln könnte. Um das zu untersuchen wurde eine Korrelation zwischen dem TAS-Gesamtwert und der mittleren Reaktionszeit

für Männer und Frauen getrennt berechnet. Männer zeigen hierbei keine signifikante Korrelation zwischen den beiden Variablen ($r = .22, p = .29$). Es kann also davon ausgegangen werden, dass die oben gefundene Korrelation nicht aufgrund eines Geschlechtereffekts zustande gekommen ist. Zudem fällt auf, dass sich bei den Frauen eine besonders große Korrelation zeigt ($r = .87, p = .02$). Allerdings gilt es zu berücksichtigen, dass es sich hierbei um nur 6 Personen handelt, die Korrelation ist entsprechend vorsichtig zu interpretieren. Allerdings bietet sie Anlass zu weiteren Überlegungen hinsichtlich einer möglichen, das Fahrverhalten beeinflussenden Personenvariablen.

6.3.4 Weiterführende Analysen zum Haupteffekt Video

In diesem Abschnitt soll der signifikante Haupteffekt Video (siehe 6.3.1.1) genauer untersucht werden. Der Haupteffekt besagt, dass zwischen einzelnen Videos signifikante Unterschiede bestehen. Dies deutet darauf hin, dass die antizipatorische Hautleitfähigkeit von *situativen* Variablen abhängt. Um herauszufinden, welche situativen Einflüsse hierfür verantwortlich sein könnten, wurde eine vergleichende Analyse der Videoinhalte angestellt.

Von den Autoren des WRBTV liegt nur eine sehr grobe Klassifikation der Situationen vor. Sie unterscheiden drei Kategorien von Videos: (1) Überholsituationen bzw. Situationen, die eine Entscheidung bezüglich der Geschwindigkeit erfordern (2) Entscheidungssituationen an Kreuzungen sowie (3) Situationen mit schlechten Sicht- und/oder Wetterbedingungen (Hergovich et al., 2007). Diese Kategorisierung ist für die Erklärung der SCR-Unterschiede in der vorliegenden Arbeit zu grob und unspezifisch.

Folglich wurde versucht, relevante Merkmale der Situationen zu extrahieren, die als ursächlich für die gefundenen SCR-Unterschiede angesehen werden könnten. Die Analyse ergab, dass sich jedes Video anhand von fünf Merkmalen charakterisieren lässt:

1. Manöver

2. Straßentyp
3. Beteiligte(s) Fahrzeug(e)
4. Gefahrene Geschwindigkeit des eigenen und/oder der/des anderen Verkehrsteilnehmer(s)
5. Weitere Besonderheiten.

Anhand von Video 2 sollen die Merkmale exemplarisch erläutert werden. Es handelt sich um ein Überholmanöver (1) auf der Landstraße (2). Das eigene Auto hat 50 PS und 900 kg Gesamtgewicht (3), das vorausfahrende Auto (4) fährt mit einer Geschwindigkeit von 40 km/h. Als Besonderheit (5) macht die Straße eine langgezogene Rechtskurve, sodass der weitere Straßenverlauf nicht einsehbar ist.

Das Problem besteht nun darin, dass diese einzelnen Merkmale nicht systematisch zwischen den Videos variiert wurden. So gibt es neben Video 2 noch drei weitere Videos, die ein Überholmanöver auf der Landstraße darstellen (Videos 6, 11 und 17). Bei Video 6 fährt das vorausfahrende Fahrzeug allerdings 50 km/h und dem Probanden kommen zwei weitere Pkws entgegen. Zudem ist die Fahrbahn mit Schnee bedeckt. Bei Video 11 fährt das vorausfahrende Fahrzeug 80 km/h und dem Probanden kommt ein LKW entgegen. Bei Video 17 hingegen hat das vorausfahrende Fahrzeug eine Geschwindigkeit von 55 km/h und es kommt ein Kleinwagen entgegen. Die Sicht ist zudem durch starken Regen eingeschränkt

Auch bei den Autobahnsituationen (Videos 4 und 12) ist nur eine oberflächliche Vergleichbarkeit gegeben. Beide Situationen adressieren Überholmanöver auf einer vierspurigen Autobahn. Bei Video 4 fährt das Auto des Probanden mit einer Geschwindigkeit von 110 km/h hinter einem PKW. Von hinten nähern sich zwei weitere Autos auf der linken Spur, sodass der Proband das Überholmanöver noch nicht einleiten kann und daher den Abstand zum langsamer fahrenden Vorderfahrzeug kontinuierlich verringert. Die Sicht ist zu Beginn des Videos auf den linken Außenspiegel mit den

sich nähernden Fahrzeugen auf der Überholspur gerichtet, wechselt dann aber auf die Frontsicht und das vorausfahrende Fahrzeug (der Außenspiegel ist nicht mehr sichtbar). Der Proband soll entscheiden, wie weit er an das vor sich fahrende Fahrzeug heranfahren würde. Bei Video 12 beträgt die Geschwindigkeit des Probanden 120 km/h, vor ihm fährt ein LKW. Von hinten nähert sich auf der linken Spur ein weiteres Auto mit höherer Geschwindigkeit. Der Proband soll entscheiden, wann er die Spur nicht mehr wechseln würde. Die Sicht ist zu Beginn des Videos nach vorn auf den LKW gerichtet, wechselt dann aber auf den linken Außenspiegel mit dem sich nähernden Fahrzeug (der LKW ist nicht mehr sichtbar).

Diese Beispiele machen deutlich, dass auf den ersten Blick ähnliche Situationen im WRBTV bei einer genaueren Analyse bedeutsame Unterschiede aufweisen, die einen eindeutigen Rückschluss auf zugrundeliegende Ursachen für höhere oder niedrigere antizipatorische Hautleitfähigkeitswerte erschweren bzw. unmöglich machen. Daher sollen die Ergebnisse im Sinne eines hypothesengenerierenden Vorgehens dazu genutzt werden, potentielle Anhaltspunkte für situative Einflussfaktoren zu identifizieren. Diese können in einem nachfolgenden, kontrollierten Experiment systematisch variiert und überprüft werden.

Explorative Analyse Nachfolgend sollen Auffälligkeiten in den Daten protokolliert und damit potentielle Einflussfaktoren abgeleitet werden. Von einem paarweisen Vergleich aller Videos untereinander wurde Abstand genommen. Dies geschah zum einen aus statistischen Gründen, da bei 24 Videos insgesamt 276 paarweise Tests zu rechnen wären. Zur Vermeidung einer damit einhergehenden Alphafehlerkumulierung müssten Maßnahmen ergriffen werden. Bei Anwendung der Bonferroni-Korrektur, bei der das angestrebte Signifikanzniveau durch die Anzahl der Tests geteilt wird (vgl. Bühner & Ziegler, 2009), hätte dies ein adjustiertes Signifikanzniveau von $p = .00018 (.05 : 276)$ zur Folge. Damit wären bestehende Unterschiede nur

noch sehr schwer statistisch nachzuweisen. Zudem steigt die Gefahr, einen Fehler zweiter Art zu begehen.

Ein weiterer Grund, nicht alle Videos einem paarweisen Vergleich zu unterziehen, liegt in der bereits erläuterten Tatsache begründet, dass sich zwei Videos jeweils in mehr als einem Merkmal unterscheiden. Folglich wären einfache Rückschlüsse auf zugrundeliegende Ursachen selbst bei einem signifikanten Paarvergleich nur schwer zu ziehen.

Daher wurde beschlossen, die Ergebnisse in einem gemischten quantitativ-qualitativen Ansatz zu analysieren. Zunächst wurden alle Videos anhand der Höhe der SCR-Werte sortiert und in vier Quartile eingeteilt (je 25 % der Gesamtvideoanzahl, entspricht 6 Videos je Quartil). Um die wichtigen Einflussfaktoren zu identifizieren, wurde ein qualitativer Vergleich angestellt zwischen den sechs Videos mit den niedrigsten Werten (unteres Quartil) und den sechs Werten mit den höchsten Werten (oberes Quartil). Die beiden Quartile werden in der Tabelle durch horizontale Linien von den übrigen Videos abgegrenzt (siehe Tabelle 6.4).

Die höchste antizipatorische Hautleitfähigkeit trat bei Situation 18 auf. Es handelt sich um eine Kreuzungssituation, bei der sich von links ein LKW mit recht hoher Geschwindigkeit nähert. Als mögliche Einflussfaktoren für die erhöhte SCR-Aktivität kommen die Kreuzungssituation, der LKW, die Geschwindigkeit oder eine Kombination bzw. Wechselwirkung dieser Merkmale in Betracht. Eine zweite Situation (Nr. 5) ist ähnlich zu Video 18. Auch hier handelt es sich um eine Kreuzungssituation, allerdings nähert sich ein PKW, der zudem langsamer fährt als in Video 18. Dennoch gehört auch Video 5 zu den sechs Videos mit den höchsten antizipatorischen Hautleitfähigkeitswerten. Vergleicht man diese mit den Kreuzungssituationen des unteren Quartils, so fällt auf, dass bei allen diesen Kreuzungssituationen erschwerende Witterungsverhältnisse hinzukommen. Bei Video 14 herrscht Dämmerung, bei Video 20 liegt Schnee und bei Video 17 regnet es. An dieser Stelle muss leider offen bleiben, ob die Witterungsverhältnisse unmittelbar die SCR-Aktivität beeinflussen oder ob die Witterungsverhältnisse

Tab. 6.4: Mittelwerte und Standardabweichung der antizipatorischen Hautleitfähigkeitswerte für die 24 Videos des WRBTV. Die Tabelle ist absteigend nach der Höhe der antizipatorischen Hautleitfähigkeitswerte sortiert. Die horizontalen Striche markieren das obere und das untere Quartil.

Video	Beschreibung	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
18	Über Kreuzung fahren (von links ein LKW)	30	1.77	0.84
4	Überholen auf Autobahn (Blick nach vorn)	30	1.65	0.86
5	Rechts abbiegen innerorts	30	1.55	0.89
3	Links abbiegen innerorts	30	1.52	0.75
15	Einfahren in Kreisverkehr	30	1.52	0.88
22	Überholen auf Feldweg (Kuppe)	30	1.51	0.88
1	Losfahren am Zebrastreifen, bevor sich ein zweiter Fußgänger nähert	30	1.46	0.75
12	Spurwechseln auf der Autobahn (Rückspiegel)	30	1.35	0.87
16	Rausfahren aus Parklücke	30	1.33	0.89
24	Einfahren in Fahrbahnenge im Wohngebiet	30	1.32	0.77
9	Rechts abbiegen innerorts (mit Verkehrs-spiegel)	30	1.31	0.77
23	Rausfahren aus Parklücke (Traktor von hinten)	30	1.29	0.95
19	Bremsen hinter stehendem PKW	30	1.29	0.85
13	Bahnübergang überqueren (Lokomotive von links)	30	1.29	0.80
21	Links abbiegen(Rettungswagen)	30	1.28	0.91
2	Überholen auf Landstraße	30	1.28	0.83
10	Links abbiegen außerorts (Nacht)	30	1.27	0.85
11	Überholen auf Landstraße	30	1.27	0.76
14	Rechts abbiegen außerorts	30	1.19	0.95
8	Vorbeifahren am geparkten Auto im Wohngebiet	30	1.16	0.72
20	Rechts abbiegen innerorts (Schnee)	30	1.13	0.69
17	Überholen auf Landstraße (Regen)	30	1.12	0.65
7	Links abbiegen innerorts (Straßenbahn quert)	30	1.10	0.74
6	Überholen auf Landstraße (Schnee)	30	1.10	0.81

zu geringeren Geschwindigkeiten führen und somit nur indirekt auf die SCR-Aktivität wirken. Dazu kommen die bereits erwähnten vielfältigen zusätzlichen Unterschiede, so wird z. B. bei Video 20 die Abbiegesituation nicht aus der Fahrerperspektive, sondern aus einer Außenperspektive gezeigt.

Auffällig ist weiterhin, dass Überholmanöver auf Landstraßen mit sehr geringen SCR-Aktivitäten einhergingen. Video 6 und Video 17 sind beide im unteren Quartil zu finden. Das dritte Überholmanöver auf der Landstraße des WRBTV (Video 11) zeigt ebenfalls nur recht geringe antizipatorische Aktivitäten und landet damit auf dem Platz unmittelbar vor dem unteren Quartil. Während bei den Videos 17 und 6 wieder schlechte Witterungsverhältnisse herrschen, sind in Video 11 keine derartigen Einschränkungen vorhanden. Dies könnte ein Hinweis auf die bereits erwähnten möglichen Wechselwirkungen zwischen dem Fahrmanöver und den Witterungsverhältnissen sein. Auch hier sei noch einmal vermerkt, dass unklar bleibt, ob das Wetter oder eine damit verbundene geringere Geschwindigkeit als ursächlich zu betrachten sind.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich aus den Daten Hinweise auf situative Merkmale ergeben, die die SCR-Aktivität beeinflussen. Nach der Analyse der Videos weisen Landstraßenszenarien geringere SCR-Werte auf als Kreuzungs- oder Autobahnsituationen. Als weitere Einflussfaktoren kommen die beteiligten Fahrzeuge, die gefahrenen Geschwindigkeiten sowie die Witterungsverhältnisse in Betracht. Da dieses Experiment nicht zur Untersuchung derartiger situativer Einflussfaktoren gedacht war, dürfen diese Ergebnisse zu diesem Zeitpunkt nur als Hypothesen bzw. Ansatzpunkte für Folgeexperimente angesehen werden.

6.4 Diskussion

Das vorrangige Ziel der Untersuchung bestand darin, herauszufinden, ob die Stärke eines somatischen Markers von der Fahrerfahrung abhängt. Der

einfache Vergleich von Fahranfängern und erfahrenen Fahrern zeigte keinen Unterschied hinsichtlich der antizipatorischen SCR-Aktivität. Auch konnte auf Ebene der Gesamtstichprobe kein Zusammenhang zwischen der mittleren SCR-Aktivität und zwei Items der Fahrerfahrung (Fahrintensität und Fahrhäufigkeit) gefunden werden. Betrachtet man die beiden Subgruppen jedoch getrennt, so zeigt sich für die Fahranfänger eine positive Korrelation zwischen der mittleren SCR-Aktivität und der *Fahrhäufigkeit* ($r = .56, p = .04$). Je häufiger Fahranfänger ihr Auto nutzen, desto stärker fällt die SCR-Aktivität aus. Dies deckt sich mit den Erwartungen der Hypothese 1 und steht zunächst auch in Einklang mit den Befunden von Kinnear et al. (2013). Bei den erfahrenen Fahrern ergibt sich jedoch eine signifikant negative Korrelation zur *Fahrintensität* ($r = -.50, p = .05$). Je mehr Kilometer die erfahrenen Fahrer im Schnitt pro Woche Auto fahren, desto geringer fällt die mittlere SCR-Aktivität aus. Beide Korrelationen lassen sich nach Cohen (1992) als mittlere Effekte klassifizieren. Keine Zusammenhänge zeigten sich bei den Fahranfängern zur Fahrintensität und bei den erfahrenen Fahrern zur Fahrhäufigkeit. Zwei Fragen ergeben sich hieraus: (1) warum korreliert jeweils nur eines der beiden Items der Fahrerfahrung in den Subgruppen mit der mittleren SCR-Aktivität und (2) weshalb dreht sich bei den erfahrenen Fahrern der Zusammenhang um? Zur Frage (1) kann zunächst festgehalten werden, dass Fahranfänger möglicherweise Probleme haben, die durchschnittliche Anzahl gefahrener Kilometer pro Woche korrekt zu schätzen. Eine Angabe der Häufigkeit ist unter Umständen leichter und damit korrekter möglich. Erfahrene Fahrer hingegen fahren fast alle täglich, sodass die Frage nach der Häufigkeit hier keine Unterscheidung liefert: Von 8 möglichen Antwortkategorien werden von erfahrenen Fahrern nur die ersten beiden genutzt. Damit geht eine deutliche Einschränkung der Varianz einher, die eine Korrelationsberechnung entsprechend beeinträchtigt. Um auch die erfahrenen Fahrer anhand ihrer Fahrerfahrung unterscheiden zu können, bietet sich somit nur die Frage nach der durchschnittlichen Anzahl gefahrener Kilometer pro Woche (Fahrintensität) an.

Während Kinnear et al. (2013) einen positiven linearen Zusammenhang zwischen der Fahrerfahrung und der Häufigkeit eines somatischen Markers postuliert, ergibt sich in der vorliegenden Studie nur für Fahranfänger ein positiver Zusammenhang zwischen der Fahrerfahrung und der mittleren Stärke eines somatischen Markers.¹⁶ Bei erfahrenen Fahrern hingegen zeigte sich ein negativer Zusammenhang. Allerdings gilt es zu berücksichtigen, dass die erfahrenen Fahrer bei Kinnear et al. (2013) im Gegensatz zur vorliegenden Studie nicht anhand der gefahrenen Kilometer klassifiziert wurden, sondern anhand der *Führerscheinhaltedauer*. Als erfahrener Fahrer bei Kinnear et al. (2013) galt, wer seit mehr als drei Jahren einen Führerschein besaß. Eine Information darüber, ob bzw. wie viel die Probanden tatsächlich fuhren, fehlte allerdings. Es ist durchaus vorstellbar, dass die erfahrenen Fahrer der Studie von Kinnear et al. (2013) nicht die Kriterien für erfahrene Fahrer der vorliegenden Studie erfüllt hätten. Somit kann keine Aussage darüber getroffen werden, ob der gefundene negative Zusammenhang zwischen Fahrerfahrung und mittlerer somatischer Aktivierung einen Widerspruch zu den Ergebnissen von Kinnear et al. (2013) darstellt.

In Kapitel 8 wird ein Modell vorgestellt, das in der Lage ist, die gefundenen Zusammenhänge zwischen Fahrerfahrung und mittlerer somatischer Aktivierung theoretisch zu erklären.

Hinsichtlich der Hypothese 2 bleibt festzuhalten, dass keine Korrelation zwischen der Stärke eines somatischen Markers und dem subjektiv akzeptierten Risiko im WRBTV gefunden werden konnte. Damit lässt sich aus der Stärke eines somatischen Markers nicht ableiten, ob ein Fahrer tendenziell

¹⁶Es sei an dieser Stelle noch einmal auf die unterschiedlichen Operationalisierungen der somatischen Marker hingewiesen (vgl. Abschnitt 3.5). Während Kinnear et al. (2013) mit einem festen Amplitudenkriterium arbeiten und auf eine ausschließlich binäre Auswertung setzen (0 = Marker nicht vorhanden; 1 = Marker vorhanden), wurde in der vorliegenden Arbeit für die Messung eines somatischen Markers ein kontinuierliches Maß der sympathischen Aktivität extrahiert. Kinnear et al. (2013) können für die Korrelationsberechnung mit der Fahrerfahrung folglich auch nur mit Häufigkeiten arbeiten, während in der vorliegenden Arbeit die mittlere somatische Aktivierung genutzt wurde.

risikofreudiger oder risikoaversiver ist. Die Hypothese 2 muss entsprechend verworfen werden.

Hinsichtlich der Hypothese 3, die untersuchen wollte, ob die Fähigkeit zur Wahrnehmung eigener körperlicher Veränderungen einen Zusammenhang zum akzeptierten Risiko bei einer Entscheidung aufweist, ergab sich auf der Ebene der Gesamtstichprobe keine signifikante Korrelation. Auf Gruppenebene zeigte sich hingegen für die erfahrenen Fahrer eine positive Korrelation. Je weniger erfahrene Fahrer in der Lage sind, eigene körperliche Veränderungen wahrzunehmen, desto länger sind deren Reaktionszeiten im WRBTV und desto höher ist damit deren subjektiv akzeptiertes Risiko. Bei den Fahranfängern zeigte sich kein derartiger Zusammenhang.

Weiterführende Analysen führten zu der Annahme, dass bestimmte Merkmale einer Verkehrssituation die Stärke antizipatorischer SCR-Aktivitäten beeinflussen. Als potentielle Faktoren wurden das Fahrmanöver, der Straßentyp, die beteiligten Fahrzeuge, die gefahrenen Geschwindigkeiten sowie die Witterungsverhältnisse identifiziert. In Folgeuntersuchungen muss der Einfluss dieser Merkmale systematisch geprüft werden. Dabei sollte zudem versucht werden, größere Stichprobenumfänge anzustreben, damit die statistischen Effekte weiter abgesichert werden können.

6.5 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich in Experiment II ein komplexer Zusammenhang zwischen Fahrerfahrung und mittlerer somatischer Aktivität zeigte. Zudem ergaben sich Hinweise auf situative Einflüsse auf somatische Marker. Diese müssen in weitergehenden Experimenten systematisch untersucht werden.

7 Experiment III: Antizipation von simulatorbasierten Entscheidungen im Straßenverkehr

In diesem Kapitel wird ein Experiment beschrieben, das untersuchen möchte, welche Rolle somatische Marker bei der Antizipation von simulatorbasierten Entscheidungen im Straßenverkehr spielen. Im Zentrum steht dabei die in Experiment II aufgeworfene Frage nach situativen Einflüssen auf somatische Marker. Durch systematische Variation verschiedener Merkmale von Verkehrssituationen soll deren Einfluss auf die Stärke der antizipatorischen Hautleitfähigkeit untersucht werden.

7.1 Fragestellungen

Folgende Fragen sollen adressiert werden:

1. Gibt es einen systematischen Einfluss von Merkmalen einer Verkehrssituation auf die Stärke eines somatischen Markers?

Aufbauend auf den Erkenntnissen aus Experiment II werden folgende Merkmale als potentielle Einflussfaktoren untersucht:¹⁷

- a) Szenario (Straßentyp und zu fahrendes Manöver, z. B. Überholen auf der Autobahn)
- b) Beteiligte Fahrzeuge
- c) Geschwindigkeit der beteiligten Fahrzeuge

Um zudem die Abhängigkeit des somatischen Markers vom Grad des wahrgenommenen Risikos zu prüfen, wurde das Risiko der durchfahrenen Verkehrssituationen systematisch variiert.

¹⁷Obwohl Witterungsbedingungen in Experiment II ebenfalls als potentielle Einflussfaktoren identifiziert wurden, finden sie in diesem Experiment keine Berücksichtigung.

2. Hängt die Stärke eines somatischen Markers von der Fahrerfahrung ab?

Diese Frage schließt ebenfalls an das Ergebnis von Experiment II an. Es soll versucht werden, die dort gefundenen Zusammenhänge zu Fahrhäufigkeit und Fahrintensität zu replizieren.

3. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Stärke eines somatischen Markers und der subjektiven Risikoeinschätzung?

In Experiment II konnte hierfür kein Zusammenhang festgestellt werden. In diesem Experiment soll diese Frage erneut untersucht werden, um zu prüfen, ob ein anwendungsnäherer Kontext hierfür andere Ergebnisse liefert.

7.2 Methoden

Zunächst werden die Verkehrssituationen und deren Umsetzung im Fahrsimulator beschrieben. Im Anschluss wird die Messapparatur und der genaue Versuchsablauf erläutert. Darauf aufbauend erfolgt eine ausführliche Darstellung der Datenauswertung. Neben der Beschreibung der Stichprobe wird zuletzt noch erläutert, wie der Einfluss potentieller Atemartefakte kontrolliert wurde.

7.2.1 Verkehrssituationen

Insgesamt wurden 21 Verkehrssituationen durchfahren. Jede Situation ist durch eine spezifische Kombination der folgenden vier Merkmale gekennzeichnet (eine Übersicht aller 21 Situationen zeigt Tabelle 7.1):

- Szenario (Straßentyp und zu fahrendes Manöver)
- Fahrzeugtyp der beteiligten Fahrzeuge
- Geschwindigkeit der beteiligten Fahrzeuge

- Risikobedingung

Tab. 7.1: Übersicht aller 21 Verkehrssituationen. Jede Situation ist durch eine spezifische Kombination von Szenario, Fahrzeugtyp des beteiligten Fahrzeugs, Geschwindigkeit des beteiligten Fahrzeugs in km/h sowie dem Risikolevel gekennzeichnet. Die ersten beiden Buchstaben des Situationskürzels beziehen sich auf das Szenario und den Fahrzeugtyp. Dann folgt die gefahrene Geschwindigkeit des beteiligten Fahrzeugs als Ziffer. Der letzte Buchstabe charakterisiert die Risikobedingung.

Szenario	Fahrzeugtyp	Geschwindigkeit (km/h)	Risikobedingung	Kürzel
Autobahn	Sportwagen	Schnell (160)	Normal	AS160N
			Letzte sichere Möglichkeit	AS160L
	Kastenwagen	Schnell (160)	Normal	AK160N
			Letzte sichere Möglichkeit	AK160L
		Langsam (120)	Normal	AK120N
			Letzte sichere Möglichkeit	AK120L
Kreuzung	Sportwagen	Schnell (80)	Normal	KS80N
			Letzte sichere Möglichkeit	KS80L
	LKW	Schnell (80)	Normal	KL80N
			Letzte sichere Möglichkeit	KL80L
		Langsam (50)	Normal	KL50N
			Letzte sichere Möglichkeit	KL50L
Landstraße	PKW	Schnell (70)	Normal	LP70N
			Letzte sichere Möglichkeit	LP70L
		Langsam (50)	Normal	LP50N
			Letzte sichere Möglichkeit	LP50L
Kollisionssituation (Autobahn)	Sportwagen	Schnell (160)	Letzte sichere Möglichkeit	AS160C

7.2.1.1 Szenario Autobahn

Im Szenario Autobahn startet der Proband auf einem Rastplatz. Er wird gebeten, auf eine 4-spurige Autobahn aufzufahren und dort auf der rechten Fahrspur zu bleiben, bis er einen weißen LKW vor sich entdeckt (siehe Abbildung 7.1). Der Proband soll sich zunächst hinter dem LKW (Geschwindigkeit 85 km/h) einordnen und parallel den linken Außenspiegel



Abb. 7.1: Szenario Autobahn. Oben: LKW, der überholt werden soll. Unten: Beteiligte Fahrzeuge, die sich auf der Überholspur von hinten nähern.

beobachten, bis dort ein zweites Fahrzeug auf der Überholspur auftaucht. Die Aufgabe des Probanden besteht darin, vor dem sich nähernden zweiten Fahrzeug auf die linke Spur zu wechseln und den LKW zu überholen.

Fahrzeugtyp und Geschwindigkeit des beteiligten Fahrzeugs Das beteiligte Fahrzeug im Rückspiegel ist entweder ein weißer Sportwagen (Cabrio) oder ein weißer Kastenwagen (siehe Abbildung 7.1). Die Fahrzeuge nähern sich entweder mit einer Geschwindigkeit von 160 oder 120 km/h.

Risikobedingung Das Überholmanöver soll entweder *normal*, oder zum *letzten möglichen sicheren Zeitpunkt* ausgeführt werden. Bei der Bedingung *normal* wird der Proband gebeten, das Manöver so auszuführen, wie er es im normalen Verkehr auch machen würde. Er entscheidet also allein über den

Zeitpunkt der Durchführung. Als frühestmöglicher Zeitpunkt zur Einleitung des Manövers wird das Erkennen des Fahrzeugs im Rückspiegel festgelegt. Bei der Bedingung *letzte sichere Möglichkeit* soll der Proband das Auto auf der linken Spur bis zu dem Punkt herankommen lassen, an dem er im realen Verkehr gerade noch ausscheren würde und dann das Manöver ausführen. Der Proband wird darauf hingewiesen, dass es sich um den letzten *sicheren* Zeitpunkt handeln soll.

Insgesamt ergeben sich somit für das Szenario Autobahn 8 Verkehrssituationen (2 Fahrzeuge x 2 Geschwindigkeiten x 2 Risikobedingungen). Jede Situation endete, wenn der Proband an einer roten Ampel zum Stehen kam.

7.2.1.2 Szenario: Kreuzung

Im Szenario Kreuzung startet der Proband auf einer zweispurigen Landstraße, die auf eine 90 Grad querende zweispurige Landstraße zuläuft. Die Kreuzung ist in Form einer T-Kreuzung ausgestaltet, die Straße des Probanden endet an einer Stoppstelle. Die Aufgabe des Probanden besteht darin, an die Stoppstelle heranzufahren und an der Kreuzung nach links abzubiegen. Auf der querenden Straße nähert sich von links ein Fahrzeug.

Fahrzeugtyp und Geschwindigkeit des beteiligten Fahrzeugs Das beteiligte Fahrzeug ist entweder ein roter Sportwagen (Cabrio) oder ein orangefarbener LKW (siehe Abbildung 7.2). Die Fahrzeuge nähern sich entweder mit einer Geschwindigkeit von 80 oder 50 km/h.

Risikobedingung Das Abbiegemanöver soll entweder *normal* oder zum *letzten möglichen sicheren Zeitpunkt* ausgeführt werden. Bei der Bedingung *normal* wird der Proband gebeten, das Manöver so auszuführen, wie er es im normalen Verkehr auch machen würde. Er entscheidet also allein über den Zeitpunkt der Durchführung. Als frühestmöglicher Zeitpunkt zur Einleitung des Manövers wird das Erkennen des querenden Fahrzeugs festgelegt. Bei der Bedingung *letzte sichere Möglichkeit* soll der Proband das querende



Abb. 7.2: Szenario Kreuzung. Oben: Kreuzung mit Stoppstelle, an der links abgebogen werden soll. Unten: Beteiligte Fahrzeuge, die sich von links nähern.

Auto bis zu dem Punkt herankommen lassen, an dem er im realen Verkehr gerade noch abbiegen würde und dann das Manöver ausführen. Der Proband wird darauf hingewiesen, dass es sich um den letzten *sicheren* Zeitpunkt handeln soll.

Insgesamt ergeben sich somit für das Szenario Kreuzung 8 Verkehrssituationen (2 Fahrzeuge x 2 Geschwindigkeiten x 2 Risikobedingungen). Jede Situation endete, wenn der Proband an einer roten Ampel zum Stehen kam.

7.2.1.3 Szenario: Landstraße

Im Szenario Landstraße startet der Proband auf einer zweispurigen Landstraße. Der Proband wird gebeten, loszufahren und dem Straßenverlauf zu folgen. An einer Kreuzung schert ein Fahrzeug ein, dem der Proband folgen soll. Zunächst führt die Straße in ein Tal. Von der Talsohle aus steigt sie

wieder langsam an und vollführt eine langgezogene Linkskurve. Der weitere Verlauf der Strecke hinter der Kurve ist aufgrund eines Waldes nicht einsehbar. Die Aufgabe des Probanden besteht darin, das Vorderfahrzeug vor dem Wald zu überholen.

Fahrzeugtyp und Geschwindigkeit des beteiligten Fahrzeugs Eine Variation des zu überholenden Autos wurde nicht vorgenommen. Im Gegensatz zu den anderen beiden Szenarien, bei denen sich die beteiligten Autos auf einem potentiellen Kollisionskurs mit dem Egofahrzeug befinden, wird beim Szenario Landstraße über die gefahrene Geschwindigkeit hinaus keine zusätzliche Veränderung des wahrgenommenen Risikos aufgrund des Fahrzeugtyps erwartet. Es gibt somit für das Landstraßenszenario nur ein Auto, es handelt sich dabei um einen weißen PKW (siehe Abbildung 7.3). Das Fahrzeug fährt entweder mit einer Geschwindigkeit von 70 oder 50 km/h.

Risikobedingung Das Überholmanöver soll entweder *normal*, oder zum *letzten möglichen sicheren Zeitpunkt* ausgeführt werden. Bei der Bedingung *normal* wird der Proband gebeten, das Manöver so auszuführen, wie er es im normalen Verkehr auch machen würde. Er entscheidet also allein über den Zeitpunkt der Durchführung. Als frühestmöglicher Zeitpunkt zur Einleitung des Manövers wird das Aufheben des Überholverbots festgelegt (auf der Strecke herrscht bis kurz nach der Talsohle Überholverbot). Bei der Bedingung *letzte sichere Möglichkeit* soll der Proband bis zu dem Punkt hinter dem Auto bleiben, an dem er im realen Verkehr gerade noch ausscheren würde, um das Manöver vor dem Wald auszuführen. Der Proband wird darauf hingewiesen, dass es sich um den letzten *sicheren* Zeitpunkt handeln soll.

Insgesamt ergeben sich somit für das Szenario Landstraße 4 Verkehrssituationen (1 Fahrzeug x 2 Geschwindigkeiten x 2 Risikobedingungen). Jede Situation endete, wenn der Proband an einer roten Ampel zum Stehen kam.



Abb. 7.3: Szenario Landstraße. Oben: PKW, der überholt werden soll. Zu sehen ist das Ende des Überholverbots sowie die langegezogene Linkskurve mit Wald. Unten: Dieselbe Situation zu einem späteren Zeitpunkt bei Annäherung an die Linkskurve.

7.2.1.4 Sonderfall: Kollisionssituation

Als letzte Situation wurde eine potentielle Kollisionssituation dargeboten. Diese baute auf der Situation AS160L auf, also dem Autobahnszenario, bei dem sich ein Sportwagen mit 160 km/h von hinten nähert und der Proband aufgefordert ist, den LKW zum letzten möglichen sicheren Zeitpunkt zu überholen. Der Unterschied zu AS160L bestand darin, dass sich auf der Autobahn ein Stau gebildet hat. Diesen erkennt der Proband allerdings erst, wenn er das Überholmanöver einleitet (siehe Abbildung 7.4). Eine Kollision ist nur durch ein schnelles und starkes Bremsen abzuwenden. Der Proband

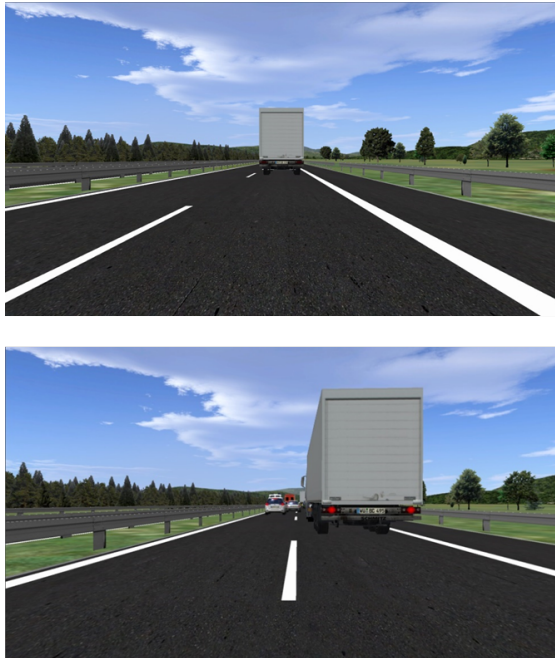


Abb. 7.4: Kollisionssituation basierend auf Autobahnszenario. Oben: LKW, der überholt werden soll. Unten: Beim Überholen stellt der Proband fest, dass sich vor ihm ein Stau gebildet hat.

weiß zu Beginn der Situation nichts von der bevorstehenden Kollisionsgefahr, er wird instruiert wie für die Situation AS160L.

7.2.2 Fahr Simulator

Das Experiment fand im institutseigenen Fahr Simulator statt. Dieser besteht aus einer Golf-6 Fahrerkabine, die mit Displays für Innenspiegel und linkem Außenspiegel ausgestattet ist. Die Projektion nach vorn findet auf einer speziellen konkav gebogenen Panoramaleinwand statt (siehe Abbildung 7.5). Als Simulationssoftware kam SILAB in der Version 5 zum Einsatz (WIVW GmbH).



Abb. 7.5: Außenansicht (oben) und Innenansicht (unten) des Fahrstudios.

7.2.3 Messapparatur

Für die Messung der Hautleitfähigkeit und der Atemaktivität wurde ein varioport-B Biosignal Rekorder (Becker Meditec) verwendet, vgl. Abschnitt 5.2.2. Um die synchrone Aufzeichnung von Fahrparametern und Physiodaten sicherzustellen, wurden alle Daten über eine spezielle SILAB-Schnittstelle auf dem Simulationsrechner zusammengeführt und gespeichert. Die Aufzeichnungsrate für den Datensatz betrug 100 Hz.

7.2.3.1 Abschlussfragebogen

Zur Erfassung wichtiger soziodemographischer Daten (u. a. Alter, Geschlecht) sowie mobilitätsbezogener Variablen (z. B. durchschnittliche Anzahl gefahrener Kilometer im Auto pro Woche) kam ein selbst erstellter Fragebogen zum Einsatz. Es handelt sich um dasselbe Instrument wie in Experiment II (siehe Anhang B.5).

7.2.4 Versuchsablauf

Allen Probanden wurde zunächst eine schriftliche Einverständniserklärung vorgelegt, die über Inhalt und Zweck des Experiments informierte. Im Anschluss wurden die EDA-Elektroden angebracht (entsprechend dem Vorgehen in Experiment I und II, vgl. Abschnitt 5.2.3). Zur Vermeidung von Artefakten wurde der Proband gebeten, mit der linken Hand das Lenkrad nur locker zu umfassen und keinen Druck auf die Elektroden auszuüben. Zudem sollten sie keine ruckartigen Bewegungen mit der linken Hand durchführen. Neben der Hautleitfähigkeit wurde auch die Atemaktivität als Kontrollvariable erhoben. Hierfür wurde dem Probanden ein elastischer Atemgurt über der Brust angelegt. Die Länge des Gurts wurde dem Körperbau des Probanden angepasst und auf korrekte Funktion geprüft.

Es folgte eine Einführung in die Bedienung des Simulators durch den Versuchsleiter. Im Anschluss hatte der Proband die Möglichkeit, sich mit dem Simulator im Rahmen einer Gewöhnungsfahrt vertraut zu machen. Diese Fahrt dauerte ca. 10 Minuten und beinhaltete sowohl Landstraßen als auch Autobahnabschnitte. Die Streckenelemente der späteren Szenarien waren dabei in die Gewöhnungsfahrt eingebaut, damit sich der Proband mit dem Verhalten des Autos in derartigen Situationen vertraut machen konnte (z. B. Lenken und Anfahren an der T-Kreuzung).

Nach Beendigung der Gewöhnungsfahrt wurden eventuelle Übelkeitssymptome des Probanden abgefragt. Sofern keine derartigen Symptome auftraten, wurde mit der Durchführung der einzelnen Verkehrssituationen begonnen. Die Verkehrssituationen wurden dabei in teil-randomisierter Reihenfolge dargeboten. Folgende Einschränkungen wurden bei der Randomisierung vorgenommen: (1) Damit sich die Verkehrsszenarien nicht zu häufig änderten, wurden die beiden Risikobedingungen einer Situation immer hintereinander gefahren (z. B. AS160N und AS160L). Die Reihenfolge der Risikobedingungen (N und L) wurde jedoch zufällig gewählt. (2) Es wurde darauf geachtet, dass nach zwei Situationen eines Szenarios ein Sze-

nariowechsel erfolgte (z. B. nach zwei Autobahnsituationen nicht nochmals Autobahn, sondern Kreuzung oder Landstraße). Dadurch sollte verhindert werden, dass ein Proband im schlimmsten Fall acht mal dasselbe Szenario durchfährt und dadurch eine gewisse Ermüdung oder Reaktanz entwickelt. (3) Die potentielle Kollisionssituation (AS160C) wurde immer als letzte Situation dargeboten. Wäre diese Situation bei manchen Probanden zu einem früheren Zeitpunkt im Experiment durchgeführt worden, wäre das Verhalten in den folgenden Situationen geprägt durch übertriebene Vorsicht und/oder Misstrauen in das weitere Verkehrsgeschehen und nicht mehr vergleichbar mit dem Verhalten vor der Kollisionssituation.

Wurde ein Szenario (Autobahn, Kreuzung, Landstraße) von einem Probanden zum ersten Mal durchfahren, wurde ihm seine Fahraufgabe verbal und mit Hilfe einer schematischen Skizze erläutert (siehe Anhang C.1, C.2 und C.3). Vor jedem Start einer Situation wurde dem Probanden mitgeteilt, worin seine Fahraufgabe besteht (z. B. „Sie fahren auf der Autobahn. Von hinten nähert sich ein Sportwagen mit 160 km/h. Bitte überholen Sie den LKW zum letztmöglichen sicheren Zeitpunkt.“). Nach jedem Durchfahren einer Situation wurde der Proband um eine subjektive Risikobewertung gebeten. Er sollte mündlich auf einer Skala von 1–10 angeben, wie kritisch er die soeben gefahrene Situation bewertet (1 = überhaupt nicht kritisch, 10 = extrem kritisch). Als zusätzliche visuelle Stütze war eine 10–stufige Ratingskala mit den beiden Endpunkten an der Mittelkonsole im Simulator angebracht.

Nach dem Durchfahren der letzten Situation (AS160C), bei der manche Probanden das Fahrzeug nicht vor dem Stauende bremsen konnten und damit eine (virtuelle) Kollision erlebten, erfolgte unmittelbar eine Aufklärung der Probanden. Dabei wurden sie darauf hingewiesen, dass die Situation so programmiert wurde, dass ein Vermeiden einer Kollision kaum möglich wäre. Sie sollten daher daraus keine Rückschlüsse auf ihr tatsächliches Fahrverhalten ziehen.

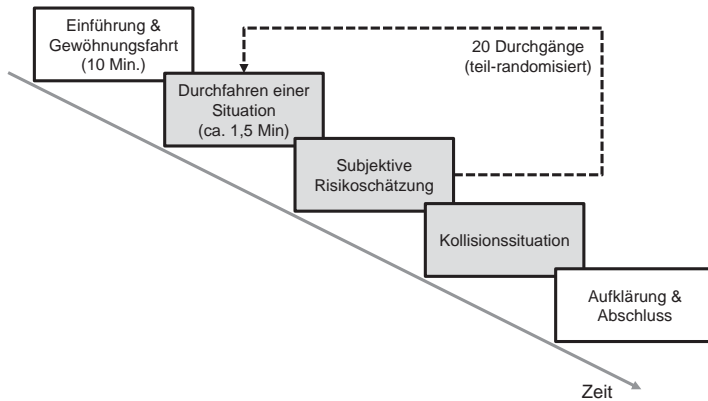


Abb. 7.6: Schematische Darstellung des Ablaufs von Experiment III.

Dann wurden die Elektroden sowie der Atemgurt entfernt und die Probanden anschließend gebeten, den Abschlussfragebogen auszufüllen. Für die Teilnahme erhielten die Versuchspersonen eine pauschale Vergütung in Höhe von 7,- EUR.¹⁸ Der schematische Ablauf des Versuchs ist in Abbildung 7.6 dargestellt.

7.2.5 Datenauswertung

Nachfolgend wird die Aufbereitung und Auswertung der Messdaten erläutert.

7.2.5.1 Aufbereitung der EDA-Daten

Im Unterschied zu den Experimenten I und II lagen hier für jeden Probanden nicht eine, sondern insgesamt 21 Dateien vor. Ursächlich dafür ist, dass jede Verkehrssituation in SILAB neu gestartet werden musste. Aufgrund der synchronen Aufzeichnung von Fahr- und Physiodaten, lag somit auch das EDA-Signal in 21 Einzeldateien vor.

¹⁸Bei der Vergütung wurde der Stundensatz von Experiment I zugrunde gelegt, der höhere Auszahlungsbetrag ergibt sich aus der längeren Dauer von Experiment III.

Die Länge einer EDA-Datei hat Auswirkungen auf die Genauigkeit der Schätzung der tonischen Komponente. Die Einzeldateien haben eine Länge von ca. 1–1.5 Minuten, entsprechend eingeschränkt wäre die Genauigkeit der Schätzung der tonischen Komponente. Daher wurde entschieden, die 21 Einzeldateien zu einer Gesamtdatei zusammenzusetzen und die kontinuierliche Dekompositionsanalyse anhand dieser Datei durchzuführen.

Zwischen den Einzeldateien eines Probanden liegen variable und unbekannte Zeitfenster. Würde man die Dateien einfach direkt hintereinander setzen, gäbe es entsprechende Sprünge in den Daten. Daher wurde entschieden, ein fiktives Zeitfenster von 1.5 Sekunden zwischen dem Ende einer Situation und dem Beginn einer neuen Situation einzufügen. Die Verbindung zwischen dem Endpunkt der alten und dem Startpunkt der neuen Situation wurde mit Hilfe eines kubisch hermiteschen Splines interpoliert (vgl. Fritsch & Carlson, 1980). Im Vergleich zu anderen Interpolationsverfahren schien diese Methode die Form eines realen EDA-Signals am besten fortzuschreiben und mit der folgenden Situation zu verbinden.

Die weitere Aufbereitung und Auswertung der EDA-Daten folgt der Vorgehensweise von Experiment I und II (siehe Abschnitt 5.2.4.1).

7.2.5.2 Entscheidungszeitpunkte

Im Unterschied zu den beiden vorangegangenen Experimenten, bei denen der Entscheidungszeitpunkt durch einen Tastendruck der Probanden definiert war, muss im vorliegenden Experiment der Zeitpunkt der Entscheidung aus den Fahrparametern rekonstruiert werden. In Tabelle 7.2 sind die Definitionen der Entscheidungszeitpunkte für die einzelnen Szenarien aufgelistet.

7.2.5.3 Kontinuierliche Dekompositionsanalyse

Die kontinuierliche Dekompositionsanalyse wurde analog zu Experiment I und II durchgeführt (siehe Abschnitt 5.2.4.2). Für die Berechnung des IS-CR wurde wiederum ein Zeitfenster von 3 Sekunden vor dem Entschei-

Tab. 7.2: Definition der Entscheidungszeitpunkte in den einzelnen Szenarien.

Szenario	Definition Entscheidungszeitpunkt
Autobahn	Letzte Lenkbewegung, die den Spurwechsel einleitet
Kreuzung	Betätigen des Gaspedals beim Wiederanfahren nach der Stoppstelle
Landstraße	Letzte Lenkbewegung, die den Spurwechsel einleitet
Kollisionssituation	Beginn der Bremsung zur Kollisionsvermeidung

dungspunkt gewählt. Die ISCR-Werte wurden anschließend durch die Länge des Zeitfensters geteilt, die resultierende Variable wird SCR genannt. Alle nachfolgenden Ergebnisse der Hautleitfähigkeit werden in Form T-standardisierter, logarithmierter Mikrosiemens angegeben, kurz: $T \log \mu S$ dargestellt.

7.2.5.4 Ersetzung fehlender Werte

Bei zwei Situationsdarbietungen (verteilt auf zwei Probanden, d. h. je eine Situation pro betroffener Proband) gab es ein Problem mit der Datenaufzeichnung. Bei einer Varianzanalyse mit Messwiederholung über alle Situationen hinweg würde ein fehlender Wert in einer der Situationen dazu führen, dass die beiden Personen komplett aus der Analyse entfernt würden (sog. listenweiser Fallausschluss). Daher wurde beschlossen, die fehlenden Werte mit einem Imputationsverfahren zu ersetzen. Die Ersetzung erfolgte mit Hilfe des *Expectation-Maximation-Algorithmus* (EM-Algorithmus). „Der EM-Algorithmus ist ein Schätzalgorithmus, der die fehlenden Daten so ersetzt, dass die gesamte Information im Datensatz in sich widerspruchsfrei und maximal plausibel ist“ (Wirtz, 2004, S. 113f). Die Ersetzung wurde mit IBM® SPSS® Statistics 23 durchgeführt.

7.2.5 Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung wurde IBM® SPSS® Statistics 23 verwendet. Ein Ergebnis wird als signifikant bezeichnet, wenn der zugehörige Test einen p -Wert $< .05$ aufweist. Fehlerbalken in Diagrammen bezeichnen stets das 95 %-Konfidenzintervalle des Mittelwerts. Sofern es sich dabei um Konfidenzintervalle für abhängige Stichproben handelt, erfolgte deren Berechnung nach Cosineau (2005). Effektstärken werden entsprechend der Empfehlung von Field (2009) in Form von r -Werten angegeben und sind zusätzlich mit einem Index gekennzeichnet (r_{Eff}).

7.2.6 Stichprobe

Insgesamt nahmen $N = 34$ an der Untersuchung teil. Zwei Personen entwickelten Symptome von Übelkeit während der Untersuchung, wollten das Experiment jedoch nicht abbrechen. Zusätzlich zeigten sie teilweise Schwierigkeiten im Umgang mit dem Simulator. Da unklar ist, wie stark die Übelkeitssymptome das Fahrverhalten und damit auch die somatischen Reaktionen beeinflusst haben, wurden beide von der Auswertung ausgenommen. Die finale Stichprobe besteht somit aus $N = 32$ Personen, davon sind $N = 7$ weiblich und $N = 25$ männlich. Das mittlere Alter der Probanden liegt bei 25.8 Jahren ($SD = 6.4$). Da sich die Stichprobe aus dem universitären Umfeld rekrutierte, gab die Mehrzahl der Teilnehmer an, Student bzw. Studentin zu sein ($N = 25$), $N = 7$ waren berufstätig.

Die Probanden fahren im Mittel 94.7 Kilometer pro Woche im eigenen Auto ($SD = 108.7$). Für die Fahrhäufigkeit ergab sich ein Mittelwert von 5.5 ($SD = 1.7$). Damit fahren die Teilnehmer im Schnitt alle 1–2 Wochen selbst Auto.

7.2.7 Atemartefaktkontrolle

Das Vorgehen bei der Prüfung auf mögliche systematische Atemartefakte erfolgte analog zu Experiment II (vgl. Abschnitt 6.2.6). Über alle Probanden

hinweg wurde insgesamt 65 Mal ein übermäßig starkes Einatmen klassifiziert, d. h. in 9.7% der Fälle (32 Probanden \times 21 Situationen = 672 mögliche Fälle). Betroffen hiervon waren $N = 25$ Probanden. Die höhere prozentuale Anzahl an starken Atemaktivitäten im Vergleich zu Experiment II wird darauf zurückgeführt, dass im vorliegenden Experiment wesentlich höhere körperliche Aktivitäten vonseiten der Probanden gefordert waren.

Ein Vergleich der SCR-Mittelwerte für die einzelnen Situationen mit und ohne Atemartefakte zeigt, dass die Ergebnisse auch in diesem Fall sehr stabil bleiben. Die größte Differenz zwischen zwei Mittelwerten beträgt -0.09 . Dies entspricht einer mittleren relativen Abweichung von -0.91% . Daher wurde entschieden, die Daten komplett auszuwerten. Ein Vergleich der Daten mit und ohne Atemartefakte ist im Anhang in Tabelle C.1 dargestellt.

7.2.8 Temperaturkontrolle

Die Raumtemperatur wurde als Kontrollvariable zu Beginn jedes Versuchs gemessen. Zum Einsatz kam hierfür das System BAPPU classic (ELK GmbH). Die Temperatur betrug im Mittel $21.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($SD = 0.8$).

7.3 Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt getrennt für jede Fragestellung.

7.3.1 Fragestellung 1: Gibt es einen systematischen Einfluss von Merkmalen einer Verkehrssituation auf die Stärke eines somatischen Markers?

Zunächst werden nur die Faktoren berücksichtigt, die in allen Situationen variiert wurden (d. h. Szenario, Geschwindigkeit und Risikobedingung, vgl. Tabelle 7.1). Der Faktor Fahrzeugtyp, der nur in den Situationen der Szenarien Autobahn und Kreuzung variiert wurde, findet in einer anschließenden Analyse Berücksichtigung (siehe Abschnitt 7.3.1.2).

7.3.1.1 Einfluss von Szenario, Geschwindigkeit und Risikobedingung

Es wurde eine ANOVA mit Messwiederholung berechnet mit den messwiederholten Faktoren Szenario (Autobahn, Kreuzung, Landstraße), Geschwindigkeit (schnell, langsam) und Risikobedingung (normal, letzte sichere Möglichkeit). Die Hautleitfähigkeitswerte im Zeitfenster von 3 Sekunden vor der Entscheidung bilden die abhängige Variable. Die Ergebnisse für die Haupt- und Interaktionseffekte können Tabelle 7.3 entnommen werden. Nachfolgend werden die Ergebnisse detailliert erläutert.

Tab. 7.3: Varianzanalyse mit Messwiederholung für die antizipatorischen Hautleitfähigkeitswerte und die Faktoren Szenario, Geschwindigkeit und Risiko. Es werden für jeden Faktor die Freiheitsgrade, der F -Wert sowie die zugehörige Wahrscheinlichkeit (p -Wert) angegeben. Ungerade Freiheitsgrade sind Greenhouse-Geisser korrigiert.

Effekt	$df_{\text{Zähler}}$	df_{Nenner}	F	p
Szenario	1.52	47.21	26.12	<.001***
Geschwindigkeit	1	31	10.44	<.01 **
Risiko	1	31	28.46	<.001***
Szenario x Geschwindigkeit	1.61	49.94	1.71	.19
Szenario x Risiko	2	62	4.70	<.05 *
Geschwindigkeit x Risiko	1	31	2.02	.17
Szenario x Geschw. x Risiko	2	62	6.26	<.01 **

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Haupteffekt Szenario Da der Mauchly-Test für den Haupteffekt Szenario signifikant ist ($\chi^2[2] = 11.27, p < .01$), werden die Freiheitsgrade entsprechend nach Greenhouse-Geisser korrigiert ($\epsilon = 0.76$). Der Haupteffekt Szenario wird signifikant ($F[1.52, 47.21] = 26.12, p < .001$). Bonferroni korrigierte Post-Hoc Tests zeigen, dass sich alle drei Szenarien signifikant unterscheiden (siehe Tabelle 7.4 und Abbildung 7.7). Die Effektgrößen sind nach Cohen (1992) als groß zu bewerten.

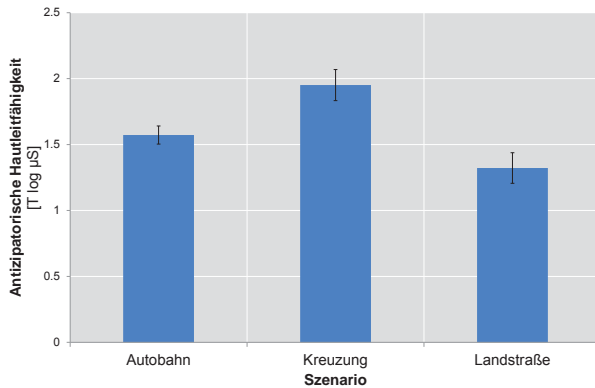


Abb. 7.7: Antizipatorische Hautleitfähigkeitswerte für den Haupteffekt Szenario ($N = 32$). Die Fehlerbalken bezeichnen 95 %-Konfidenzintervalle des Mittelwerts für abhängige Stichproben.

Tab. 7.4: Post-Hoc Vergleiche für den Haupteffekt Szenario. Die p -Werte sind nach Bonferroni korrigiert.

Szenario 1	Szenario 2	M_1	M_2	df	t	p	r_{Eff}
Autobahn	Kreuzung	1.57	1.95	31	-5.03	<.001***	.66
Autobahn	Landstraße	1.57	1.32	31	3.41	<.01 **	.52
Kreuzung	Landstraße	1.95	1.32	31	5.75	<.001***	.71

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ (2-seitig)

Haupteffekt Geschwindigkeit Der Haupteffekt Geschwindigkeit wird signifikant ($F[1,31] = 10.44, p < .01$). Eine höhere Geschwindigkeit geht mit einer signifikant höheren antizipatorischen Hautleitfähigkeit einher. Es handelt sich nach Cohen (1992) ebenfalls um einen (knapp) großen Effekt ($r_{\text{Eff}} = .50$).

Haupteffekt Risiko Der Haupteffekt Risiko wird ebenfalls signifikant ($F[1,31] = 28.46, p < .001$). Die Bedingung *Letzte sichere Möglichkeit* führt zu signifikant höheren antizipatorischen Hautleitfähigkeitswerten als

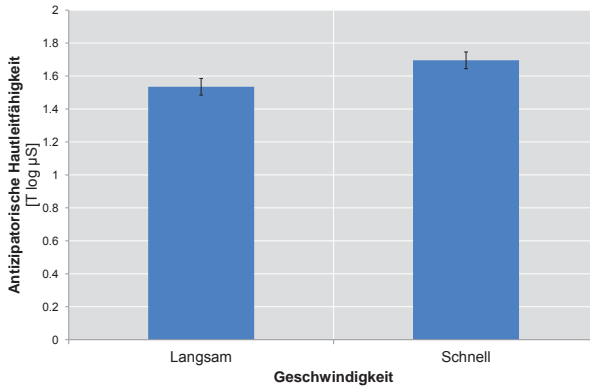


Abb. 7.8: Antizipatorische Hautleitfähigkeitswerte für den Haupteffekt Geschwindigkeit ($N = 32$). Die Fehlerbalken bezeichnen 95 %-Konfidenzintervalle des Mittelwerts für abhängige Stichproben.

die Bedingung *Normal*. Der Effekt ist wiederum als groß zu bezeichnen ($r_{\text{Eff}} = .69$).

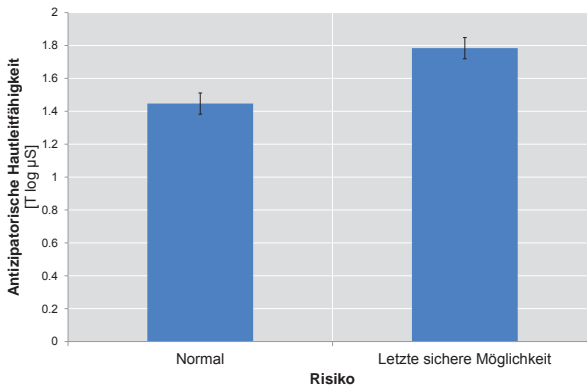


Abb. 7.9: Antizipatorische Hautleitfähigkeitswerte für den Haupteffekt Risiko ($N = 32$). Die Fehlerbalken bezeichnen 95 %-Konfidenzintervalle des Mittelwerts für abhängige Stichproben.

Interaktionseffekt Szenario x Risiko Der Mauchly-Test zeigt an, dass die Sphärizitätsannahme nicht verworfen werden muss ($\chi^2[2] = 1.66, p = .44$). Der Interaktionseffekt Szenario x Risiko wird signifikant ($F[2, 62] = 4.70, p = .01$). Post-Hoc Vergleiche zeigen, dass die Bedingung *Letzte sichere Möglichkeit* im Vergleich zur Bedingung *Normal* sowohl im Szenario Autobahn als auch im Szenario Kreuzung mit signifikant höheren antizipatorischen SCR-Werten einhergeht (siehe Abbildung 7.10 und Tabelle 7.5). Im Unterschied dazu gibt es beim Szenario Landstraße keinen signifikanten Anstieg zwischen beiden Risikobedingungen.

Tab. 7.5: Post-Hoc Vergleiche für den Interaktionseffekt Szenario x Risiko. Die Mittelwerte beziehen sich auf die Risikobedingung *Normal* (M_{Normal}) und *Letzte sichere Möglichkeit* (M_{LSM}). Die p -Werte sind nach Bonferroni korrigiert.

Szenario	M_{Normal}	M_{LSM}	df	t	p	r_{Eff}
Autobahn	1.30	1.85	31	-6.30	<.001***	.75
Kreuzung	1.82	2.08	31	-2.94	<.05 *	.47
Landstraße	1.22	1.43	31	-1.96	.18	.33

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ (2-seitig)

Interaktionseffekt Szenario x Geschwindigkeit x Risiko Der Mauchly-Test zeigt an, dass die Sphärizitätsannahme nicht verworfen werden muss ($\chi^2[2] = 4.38, p = .11$). Der Interaktionseffekt Szenario x Geschwindigkeit x Risiko wird signifikant ($F[2, 62] = 6.26, p < .01$).

Eine Dreifach-Interaktion bedeutet, dass eine Interaktion zwischen zwei Faktoren von den Stufen eines dritten Faktors beeinflusst ist. Dies wird deutlich in Abbildung 7.11. Für die Szenarien Autobahn und Kreuzung liegt eine Interaktion zwischen der Geschwindigkeit und der Risikobedingung vor. Der Anstieg der SCR-Werte zwischen den Bedingungen *Normal* und *Letzte sichere Möglichkeit* fällt höher aus, wenn die beteiligten Fahrzeuge schneller fahren. Diese Wechselwirkung kann beim Szenario Landstraße

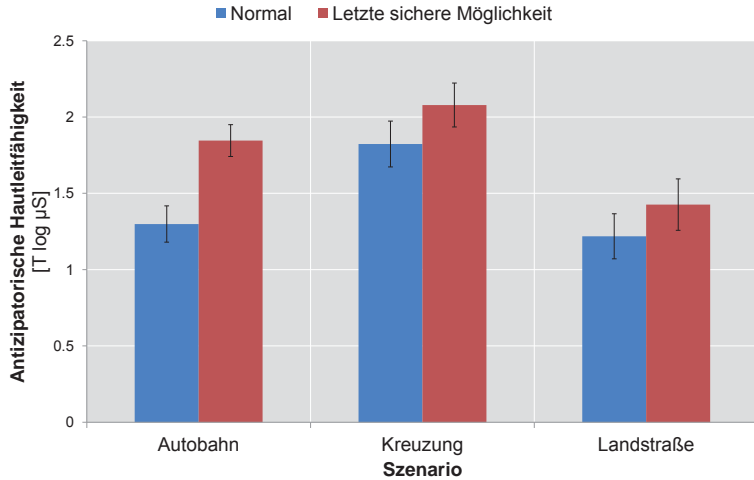


Abb. 7.10: Antizipatorische Hautleitfähigkeitswerte für den Interaktionseffekt Szenario x Risiko ($N = 32$). Die Fehlerbalken bezeichnen 95 %-Konfidenzintervalle des Mittelwerts für abhängige Stichproben.

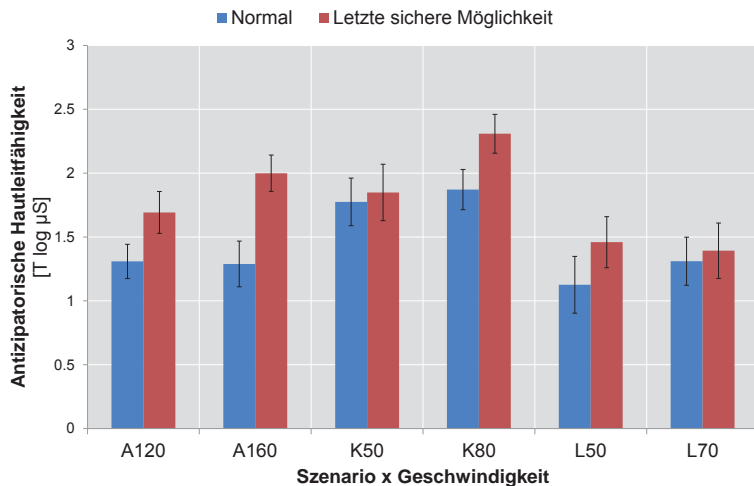


Abb. 7.11: Antizipatorische Hautleitfähigkeitswerte für den Interaktionseffekt Szenario x Geschwindigkeit x Risiko ($N = 32$). Die Fehlerbalken bezeichnen 95 %-Konfidenzintervalle des Mittelwerts für abhängige Stichproben.

nicht gefunden werden, hier zeigt sich vielmehr gar kein Anstieg zwischen den Bedingungen *Normal* und *Letzte sichere Möglichkeit* (siehe Tabelle 7.6).

Tab. 7.6: Post-Hoc Vergleiche für den Interaktionseffekt Szenario x Geschwindigkeit x Risiko. Die Mittelwerte beziehen sich auf die Risikobedingung *Normal* (M_{Normal}) und *Letzte sichere Möglichkeit* (M_{LSM}). Die p -Werte sind nach Bonferroni korrigiert.

Szenario	Geschwindigkeit	M_{Normal}	M_{LSM}	df	t	p	r_{Eff}
Autobahn	Langsam (120)	1.31	1.69	31	-3.54	<.01 **	.54
	Schnell (160)	1.29	2.00	31	-6.10	<.001***	.74
Kreuzung	Langsam (50)	1.77	1.85	31	-0.54	1.00	.10
	Schnell (80)	1.87	2.31	31	-5.17	<.001***	.68
Landstraße	Langsam (50)	1.13	1.46	31	-2.29	.17	.38
	Schnell (70)	1.31	1.39	31	-0.67	1.00	.12

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ (2-seitig)

Interaktionseffekte Szenario x Geschwindigkeit und Geschwindigkeit x Risiko Die Interaktionseffekte Szenario x Geschwindigkeit und Geschwindigkeit x Risiko werden beide nicht signifikant.

7.3.1.2 Einfluss des Fahrzeugtyps

Ob der Fahrzeugtyp bei den Szenarien Autobahn und Kreuzung (beim Szenario Landstraße wurde wie bereits erwähnt nur ein Fahrzeug verwendet) ebenfalls einen Einfluss auf die antizipatorischen SCR-Werte besitzt, wurde mit Hilfe einer zweiten ANOVA überprüft. Die Variablen Szenario (Autobahn, Kreuzung), Fahrzeug (Sportwagen, LKW/Kastenwagen), Geschwindigkeit (langsam, schnell) und die Risikobedingung (normal, letzte sichere Möglichkeit) bildeten die messwiederholten Faktoren. Die abhängige Variable blieb unverändert die Hautleitfähigkeitsaktivität im Zeitfenster von 3 Sekunden vor der Entscheidung. Die Ergebnisse der ANOVA sind in Tabelle 7.7 zu finden.

Haupteffekt Fahrzeugtyp Der Haupteffekt Fahrzeugtyp wird nicht signifikant ($F[1, 31] = 0.11, p = .58$). Damit hat die Art des Fahrzeugs, das sich den Probanden in den beiden Szenarien Autobahn und Kreuzung nähert, keinen zusätzlichen Einfluss auf die Höhe der antizipatorischen Hautleitfähigkeitsaktivität.

Interaktionseffekte mit Fahrzeugtyp Alle Interaktionseffekte mit Fahrzeugtyp werden ebenfalls nicht signifikant. Es liegt somit auch keine Wechselwirkung des Fahrzeugtyps mit einem der anderen Einflussfaktoren vor.

Tab. 7.7: Varianzanalyse mit Messwiederholung für die antizipatorischen Hautleitfähigkeitswerte und die Faktoren Fahrzeug sowie die Interaktionseffekte mit Fahrzeug. Es werden für jeden Faktor die Freiheitsgrade, der F -Wert sowie die zugehörige Wahrscheinlichkeit (p -Wert) angegeben.

Effekt	$df_{\text{Zähler}}$	df_{Nenner}	F	p
Fahrzeug	1	31	0.32	.58
Szenario x Fahrzeug	1	31	1.27	.27
Fahrzeug x Geschwindigkeit	1	31	0.001	.98
Szenario x Fahrzeug x Geschw.	1	31	0.71	.41
Fahrzeug x Risiko	1	31	0.02	.89
Szenario x Fahrzeug x Risiko	1	31	0.57	.46
Fahrzeug x Geschw. x Risiko	1	31	1.11	.30
Szenario x Fhzg. x Geschw. x Risiko	1	31	0.07	.79

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

7.3.1.3 Sonderfall Kollisionssituation

Die Kollisionssituation bietet die Möglichkeit zu überprüfen, wie sich somatische Marker bei dem Auftauchen einer plötzlichen und überraschenden Gefahr verhalten. Hierfür wurde ein Vergleich mit der Situation AS160L vorgenommen, die bis auf das Stauende identisch war. Ein Vergleich dieser beiden Situationen zeigt also, ob das plötzlich auftretende Risiko einen zusätzlichen Einfluss auf das Hautleitfähigkeitssignal besitzt.

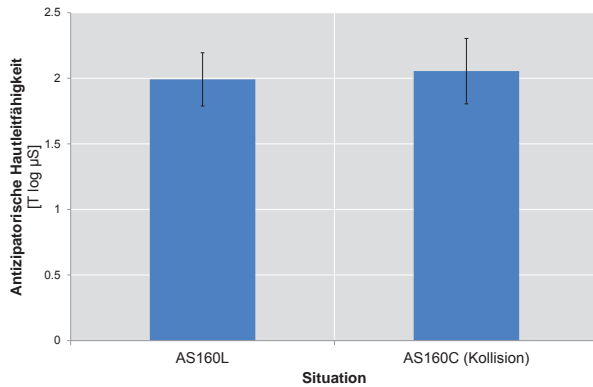


Abb. 7.12: Antizipatorische Hautleitfähigkeitswerte für die Situationen AS160L und AS160C ($N = 32$). Die Fehlerbalken bezeichnen 95 %-Konfidenzintervalle des Mittelwerts für abhängige Stichproben.

Die beiden Situationen wurden mithilfe eines t -Test für abhängige Stichproben miteinander verglichen. Danach unterscheiden sich die antizipatorischen Hautleitfähigkeitswerte in den beiden Situationen nicht signifikant voneinander ($t[31] = -0.39, p = .70$).

7.3.2 Fragestellung 2: Hängt die Stärke eines somatischen Markers von der Fahrerfahrung ab?

Zur Beantwortung dieser Frage wurden Produkt-Moment-Korrelationen berechnet zwischen der mittleren antizipatorischen Hautleitfähigkeit eines Probanden und der Fahrhäufigkeit und der Fahrintensität (Fragen 7 und 8 des Abschlussfragebogens, vgl. Abschnitt 6.3.1.2). Die Ergebnisse sind in Tabelle 7.8 dargestellt. Beide Korrelationen werden signifikant, wobei die Korrelation mit der Fahrintensität etwas größer ausfällt ($r = -.50, p < .01$) als mit der Fahrhäufigkeit ($r = -.40, p < .05$). Nach Cohen (1992) handelt es sich bei der Korrelation mit der Fahrhäufigkeit um einen mittleren Effekt, die Korrelation mit der Fahrintensität kann als (knapp) großer Effekt bezeichnet werden.

Tab. 7.8: Produkt-Moment-Korrelationen zwischen mittlerer antizipatorischer Hautleitfähigkeit, Fahrhäufigkeit und Fahrintensität.

		Fahr- häufigkeit	Fahr- intensität
Mittlere SCR-Aktivierung	<i>r</i>	-.40 *	-.50 **
	<i>p</i>	.03	<.01
	<i>N</i>	31	29

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ (2-seitig)

7.3.3 Fragestellung 3: Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Stärke eines somatischen Markers und der subjektiven Risikoeinschätzung?

Insgesamt gibt es 640 Datenpaare einer subjektiven Risikobewertung und einer zugehörigen antizipatorischen Hautleitfähigkeit (20 Situationen¹⁹ x 32 Probanden). Die Stärke des Zusammenhangs wird mit Hilfe einer Korrelation für messwiederholte Daten berechnet (Bland & Altman, 1995). Es ergibt sich eine Korrelation von $r = .18$, $p < .001$. Somit besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen den beiden Variablen. Der Effekt ist nach Cohen (1992) als klein zu bezeichnen.

Bei der Fragestellung 2 wurde gezeigt, dass ein negativer Zusammenhang zwischen der Fahrerfahrung und der antizipatorischen Hautleitfähigkeit existiert: je mehr Fahrerfahrung eine Person hat, desto geringer fällt die antizipatorische Hautleitfähigkeit aus. Es scheint daher plausibel, die Fahrerfahrung auch als potentielle Moderatorvariable auf den Zusammenhang von somatischer Aktivität und subjektiver Risikoeinschätzung in Betracht zu ziehen.

Einfluss der Fahrerfahrung auf den Zusammenhang zwischen der Stärke eines somatischen Markers und der subjektiven Risikoein-

¹⁹Es handelt sich nur um 20 Situationen, da für die letzte Situation (AS160C, Kollisionssituation) keine subjektiven Risikowerte erfasst wurden.

schätzung Die Fahrerfahrung wurde im vorliegenden Experiment mit zwei Items erfasst: Fahrhäufigkeit und Fahrintensität (vgl. 7.3.2). Anhand dieser beiden Items wurde die Stichprobe mithilfe der Median-Split Methode in zwei Subgruppen mit viel bzw. wenig Erfahrung aufgeteilt. Probanden, die geringere Werte als den Median bei der Fahrhäufigkeit angegeben haben, werden *Seltenfahrer* genannt, Probanden mit Werten über dem Median *Häufigfahrer*. Beim Item Fahrintensität werden Probanden mit Werten unter dem Median als *Wenigfahrer* bezeichnet, Probanden mit Werten über dem Median dagegen als *Vielfahrer*.

Für jede Subgruppe werden erneut die Korrelationen für messwiederholte Daten zwischen der antizipatorischen SCR-Aktivität und der subjektiven Risikobewertung berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7.9 dargestellt.

Für die Häufigfahrer zeigt sich kein Zusammenhang zur subjektiven Risikobewertung ($r = .05, p = .39$). Für die Seltenfahrer ergibt sich hingegen eine signifikante Korrelation von $r = .29, p < .001$. Die Korrelation fällt damit wesentlich höher aus als in der Gesamtstichprobe.

Ein leicht abgeschwächtes Bild zeigt sich bei der Fahrintensität. Die Korrelation der Vielfahrer wird zwar signifikant ($r = .13, p < .05$), allerdings fällt sie ebenfalls geringer aus als für die Wenigfahrer, bei denen die Korrelation bei $r = .23, p < .001$ liegt.

Insgesamt lässt sich also sagen, dass die Fahrerfahrung den Zusammenhang zwischen antizipatorischer SCR-Aktivität und subjektiver Risikobewertung zu moderieren scheint: Während Probanden mit wenig Fahrerfahrung einen kleinen bis knapp mittleren Zusammenhang zwischen antizipatorischer SCR-Aktivität und subjektiver Risikobewertung aufweisen, ist der Zusammenhang bei Probanden mit mehr Fahrerfahrung wesentlich kleiner oder gar nicht vorhanden.

Tab. 7.9: Korrelationen für messwiederholte Daten zwischen der SCR-Aktivität und der zugehörigen subjektiven Risikobewertung. Die Korrelationen wurden sowohl für die Gesamtstichprobe (oben) als auch getrennt nach Häufig- und Seltenfahrer (mitte) sowie Viel- und Wenigfahrer (unten) berechnet.

Gruppe		Subjektive Risikobewertung	
Gesamt	SCR-Aktivierung	<i>r</i>	.18 ***
		<i>p</i>	<.001
		<i>N</i>	32
Häufigfahrer	SCR-Aktivierung	<i>r</i>	.05
		<i>p</i>	.39
		<i>N</i>	15
Seltenfahrer	SCR-Aktivierung	<i>r</i>	.29 ***
		<i>p</i>	<.001
		<i>N</i>	16
Vielfahrer	SCR-Aktivierung	<i>r</i>	.13 *
		<i>p</i>	<.05
		<i>N</i>	16
Wenigfahrer	SCR-Aktivierung	<i>r</i>	.23 ***
		<i>p</i>	<.001
		<i>N</i>	14

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ (2-seitig)

Anmerkung: Die Anzahl der Probanden für Häufigfahrer und Seltenfahrer bzw. Vielfahrer und Wenigfahrer addieren sich nicht zur Gesamtstichprobengröße von $N = 32$ aufgrund von fehlenden Angaben der Probanden (bei Fahrhäufigkeit ein fehlender Wert, bei Fahrintensität zwei fehlende Werte).

7.4 Diskussion

Nachfolgend werden die Ergebnisse in Bezug auf die eingangs gestellten Fragestellungen diskutiert. Zusätzlich werden mögliche Störeinflüsse thematisiert.

7.4.1 Situative Einflüsse auf somatische Marker

Es konnten verschiedene situative Merkmale identifiziert werden, die einen Einfluss auf die Stärke einer antizipatorischen Hautleitfähigkeitsreaktion besitzen. Ein wichtiger Faktor stellt die Art des durchfahrenen Szenarios dar. Die höchsten Werte ergaben sich für das Kreuzungsszenario, gefolgt von der Autobahn und der Landstraße. Daneben übt auch die gefahrene Geschwindigkeit eines beteiligten Fahrzeugs einen signifikanten Einfluss auf die antizipatorischen SCR-Werte aus. Höhere Geschwindigkeiten gehen demnach mit einem höheren SCR-Niveau einher. Auch die Risikobedingung besitzt einen signifikanten Einfluss auf die antizipatorischen SCR-Werte. Wenn Probanden ein Manöver zum letzten sicheren Zeitpunkt einleiten, zeigen sie signifikant höhere Werte, als wenn sie das Manöver zu einem selbst gewählten früheren Zeitpunkt durchführen. Dies gilt allerdings nur für die Szenarien Kreuzung und Autobahn, beim Szenario Landstraße konnte kein entsprechender Unterschied zwischen den Bedingungen gefunden werden. Der Anstieg zwischen der Bedingung *Normal* und der Bedingung *Letzte sichere Möglichkeit* fällt höher aus, wenn die beteiligten Autos schneller fahren. Dies gilt allerdings ebenfalls nur für die Szenarien Autobahn und Kreuzung. Beim Szenario Landstraße liegt auch hier keine entsprechende Wechselwirkung vor. Keinen signifikanten Einfluss zeigte die Art des beteiligten Autos. Für die Höhe der antizipatorischen SCR-Werte scheint es somit unerheblich zu sein, ob sich ein großes Fahrzeug (LKW bzw. Kastenwagen) oder ein Sportwagen nähert.

Szenario Landstraße Es fällt auf, dass sich die Ergebnisse des Szenarios Landstraße von den Ergebnissen der beiden anderen Szenarien unterscheiden. So ist zum einen das Ausgangsniveau der SCR-Werte in der Bedingung *Normal* geringer als in den Szenarien Autobahn und Kreuzung. Zum anderen scheint keine Differenzierung zwischen den Risikobedingungen vorzuliegen. Führt ein Proband ein Manöver auf der Landstraße zum letzten sicheren Zeitpunkt durch, geht das im Gegensatz zu den anderen Szenarien nicht mit einer erhöhten antizipatorischen Hautleitfähigkeit einher.

Auch in Experiment II waren Manöver auf der Landstraße mit besonders niedrigen SCR-Werten verbunden. Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass sich Autofahrer insgesamt auf Landstraßen (im Vergleich zu Autobahn und Stadtverkehr) am sichersten fühlen (AXA Konzern AG, 2015, S. 11). Das subjektive Sicherheitsempfinden steht dabei in einem deutlichen Widerspruch zu offiziellen Unfallzahlen. Diese besagen, dass die meisten tödlichen Unfälle auf Landstraßen stattfinden (knapp 60%, Statistisches Bundesamt, 2016). Trotz des objektiv hohen Unfallrisikos auf Landstraßen, erleben Autofahrer diese als besonders sicher. Die gefundenen geringen antizipatorischen SCR-Werte sind möglicherweise ein Ausdruck dieser Risikounterschätzung auf Landstraßen.

7.4.2 Somatische Marker und Fahrerfahrung

Sowohl die Fahrhäufigkeit als auch die Fahrintensität korrelierten negativ mit der mittleren antizipatorischen Hautleitfähigkeit. Je mehr Fahrerfahrung ein Proband besitzt, desto geringer fällt seine antizipatorische SCR-Aktivität aus. Dies entspricht dem Ergebnis der erfahrenen Fahrer in Experiment II. In Kapitel 8 wird ein Modell vorgestellt, das in der Lage ist, die gefundenen Zusammenhänge zwischen Fahrerfahrung und Stärke der somatischen Reaktion theoretisch zu erklären.

7.4.3 Somatische Marker und subjektives Risiko

Auf Ebene der Gesamtstichprobe zeigte sich ein kleiner positiver Zusammenhang zwischen der Stärke einer antizipatorischen Hautleitfähigkeitsreaktion und der subjektiven Risikobewertung. Weiterführende Analysen ergaben Hinweise darauf, dass dieser Zusammenhang von der Fahrerfahrung moderiert wird. Probanden mit mehr Fahrerfahrung zeigten im Vergleich zu Probanden mit weniger Fahrerfahrung einen geringeren Zusammenhang dieser beiden Variablen. Anders ausgedrückt bedeutet das, je mehr Fahrerfahrung eine Person hat, desto geringer wird der Zusammenhang zwischen der Stärke eines somatischen Markers und der subjektiven Risikobewertung. Offenbar spielen die somatischen Marker mit steigender Fahrerfahrung eine geringere Rolle für die Bewertung des subjektiven Risikos. Auch dieser Befund wird in Kapitel 8 nochmals aufgegriffen und in das vorgeschlagene Modell integriert.

7.4.4 Bewegungsartefakte

Grundsätzlich ist das Hautleitfähigkeitssignal anfällig für verschiedene Störeinflüsse. Neben der Atmung (siehe Abschnitt 7.2.7) stellen Bewegungsartefakte eine wichtige Störvariable dar (Boucsein, 2012, siehe auch Abschnitt 3.2). Daher ist es wichtig zu diskutieren, inwieweit die Ergebnisse der vorliegenden Studie möglicherweise durch derartige Artefakte beeinflusst wurden. Der beste Umgang mit einer Störvariablen besteht darin, diese auszuschalten. Alternativ sollte versucht werden, die Störvariable konstant zu halten, damit alle Versuchsbedingungen gleichermaßen beeinflusst werden (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 528). Im vorliegenden Experiment war es nicht möglich, Bewegungen gänzlich zu vermeiden. Fraglich ist also, ob die Ergebnisse durch Bewegungsartefakte verzerrt wurden. Zunächst bleibt festzuhalten, dass alle Probanden zu Beginn des Experiments instruiert wurden, die Hand mit den Elektroden nicht ruckartig zu bewegen und keinen Druck auf sie aus-

zuüben. Damit sollten zumindest besonders starke Bewegungen weitgehend reduziert worden sein.

Ein Blick auf die Ergebnisse zeigt, dass die höchsten SCR-Werte beim Szenario Kreuzung zu finden waren. Der Entscheidungszeitpunkt (und damit der Endpunkt des antizipatorischen Zeitfensters) in diesen Situationen war definiert als der Zeitpunkt des Wiederanfahrens nach der Stoppstelle. Bei der Bedingung *Normal* konnten die Fahrer den Zeitpunkt des Wiederanfahrens selbst wählen, die einzige Einschränkung bestand darin, keinen Rollstopp zu machen, sondern das Auto zumindest für einen Moment zum kompletten Stillstand zu bringen. Die meisten Probanden führten das Manöver bereits nach einem recht kurzen Moment des Stillstands aus. Bei der Bedingung *Letzte sichere Möglichkeit* sollten die Probanden so lange an der Stoppstelle stehen bleiben, bis sie das Manöver gerade noch sicher durchführen konnten. Der Zeitraum des Stehenbleibens erstreckte sich in der Regel über mindestens drei Sekunden und war damit wesentlich länger als in der Bedingung *Normal*. Das Risiko potentieller Bewegungsartefakte bei der Berechnung der antizipatorischen SCR-Werte ist also in der Bedingung *Normal* als wesentlich höher zu bewerten, da im relevanten drei Sekunden Zeitfenster noch die Lenkbewegungen des Anfahrens an die Stoppstelle und der damit verbundene Bremsvorgang enthalten war. Somit bleibt festzuhalten, dass ein eventuelles Vorhandensein von Bewegungsartefakten keine Alternativklärung für die gefundenen Ergebnisse darstellen würde. Vielmehr ist davon auszugehen, dass Bewegungsartefakte die Unterschiede zwischen den Bedingungen *Normal* und *Letzte sichere Möglichkeit* nicht verstärkt, sondern abgeschwächt hätten und die reale Effektgröße damit unterschätzt worden wäre.

Bei den Situationen der Szenarien Autobahn und Landstraße folgten die Probanden zunächst einem anderen Auto, bevor sie mit dem Überholmanöver begannen. Während der Folgefahrt waren die Bewegungsanforderungen auf ein Minimum reduziert. Dies lag zum einen daran, dass die Strecke vor der Überholung in beiden Szenarien gerade verlief. Zudem fuhren die

Vorderfahrzeuge stets mit einer konstanten Geschwindigkeit. Größere Bewegungen für die Anpassung der Längs- oder Querverführung waren somit nicht erforderlich.

Es bleibt festzuhalten, dass der Einfluss von Bewegungsartefakten zwar nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann, jedoch scheint ihr Einfluss aufgrund der Instruktionen und der Gestaltung der Situationen eher als gering zu bewerten. Die Analyse der Kreuzungssituationen zeigte zudem, dass Bewegungsartefakte die gefundenen Effekte möglicherweise eher verringert als verstärkt hätten.

7.4.5 Latenz des Hautleitfähigkeitssignals

Für die kontinuierliche Dekompositionsanalyse ist die Angabe eines Zeitfensters zur Berechnung der SCR-Werte unerlässlich. Aufgrund von fehlenden Referenzwerten wurde in diesem Experiment (wie auch in den anderen beiden Experimente) ein Zeitfenster von drei Sekunden gewählt. Der Endpunkt der antizipatorischen SCR-Aktivität wurde in allen Experimenten mit dem Entscheidungszeitpunkt gleichgesetzt. Dieses Vorgehen steht in Einklang mit u. a. Bechara et al. (1997) und Bechara et al. (1999), wo der Endpunkt der antizipativen Phase durch das Umdrehen bzw. Anklicken einer Spielkarte festgelegt ist. Allerdings berücksichtigt dieses Vorgehen nicht, dass Hautleitfähigkeitssignale eine Latenz von ca. 1–3 Sekunden aufweisen können (Dawson, Schell & Courtney, 2011; Levinson & Edelberg, 1985). Um zu prüfen, ob sich die Ergebnisse bei Berücksichtigung potentieller Latenzen ändern, wurde eine weitere Analyse mit einem Zeitfenster von drei Sekunden vor dem Entscheidungszeitpunkt bis drei Sekunden nach dem Entscheidungszeitpunkt durchgeführt (d. h. eine Gesamtdauer von 6 Sekunden). Die Vergleichbarkeit der unterschiedlich großen Zeitfenster wird dadurch gegeben, dass die Integrale für die Berechnung der SCR-Werte an der Größe des Zeitfensters relativiert werden (vgl. Abschnitt 5.2.4.2). Die Ergebnisse zeigen, dass die SCR-Werte mit Latenz insgesamt höher liegen,

als die Werte ohne Latenz (siehe Abbildung 7.13). Allerdings wird auch deutlich, dass sich die *relativen* Unterschiede zwischen den einzelnen Situationen nicht verändern. Somit scheint mit der Berücksichtigung potentieller Latenzen des Signals kein Gewinn an Informationen einherzugehen.

Eine Ausnahme stellt die Situation AS160C (Kollisionssituation) dar. Während sich bei der Betrachtung der Werte ohne Latenz kein Unterschied zur Vergleichssituation AS160L zeigte, ergibt sich bei den Werten mit Latenz für die Situation AS160C eine deutlich höhere somatische Aktivität. Einerseits könnte dies auf eine tatsächliche, verzögerte somatische Aktivierung hindeuten. Problematisch dabei ist allerdings, dass der Entscheidungszeitpunkt bei AS160C mit dem Einleiten des Bremsmanövers gleichgesetzt wurde. Damit bleibt unklar, inwiefern die erhöhte Aktivität auf Artefakte durch die plötzliche und starke Reaktion auf die potentielle Gefahr zurückzuführen ist (Umklammern des Lenkrads, tiefes Einatmen, ruckartiges und starkes Bremsen). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die relativen Unterschiede zwischen den Situationen durch die Verlängerung des Zeitfensters um einen Latenzzeitraum von drei Sekunden nicht veränderten. Eine Ausdehnung des Signals über den Entscheidungszeitpunkt hinweg scheint keinen zusätzlichen Informationsgewinn darzustellen. Inwiefern das auch auf plötzlich auftretende Gefahrensituationen zutrifft, muss in zukünftigen Untersuchungen weiter beleuchtet werden.

7.4.6 Darbietung der Verkehrssituationen

Im vorliegenden Experiment waren die Probanden mit insgesamt 21 Verkehrssituationen konfrontiert, die jeweils separat gestartet und beendet wurden. Vor dem Durchfahren jeder Situation wurde den Probanden mitgeteilt, welches Szenario (Kreuzung, Autobahn oder Landstraße) sie erwarten würde. Außerdem war die Art und Anzahl der Verkehrsteilnehmer sowie deren gefahrene Geschwindigkeit bekannt. Damit besaßen die Probanden Vorwissen über die anstehende Situation, was in realen Verkehrsgeschehen nicht

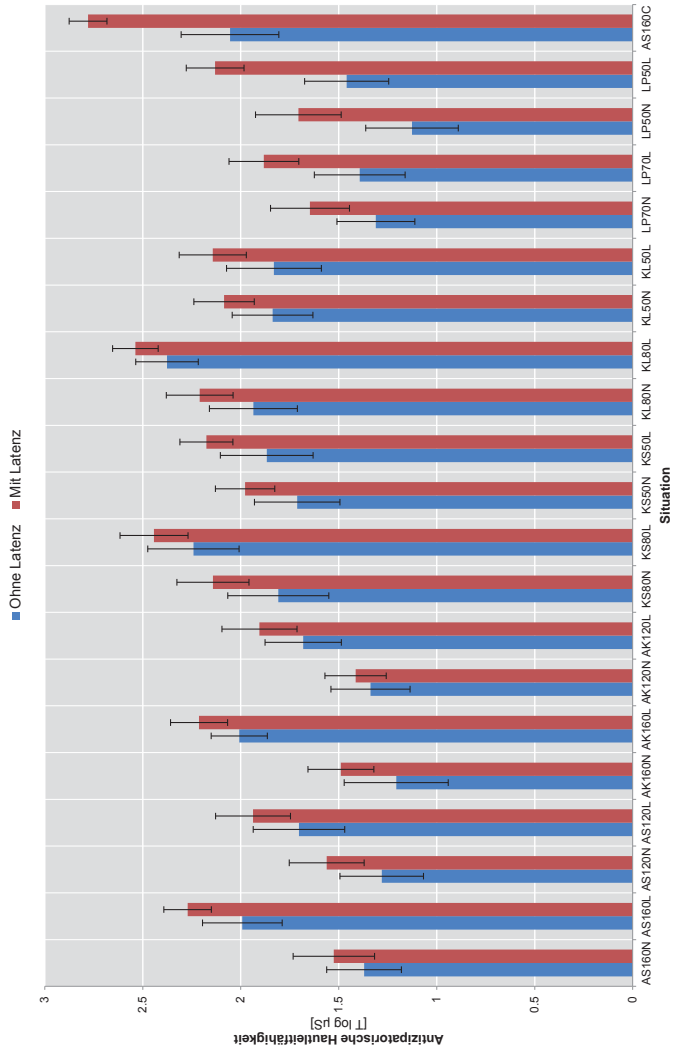


Abb. 7.13: Vergleich der Hautleitfähigkeitswerte im Zeitfenster von drei Sekunden vor dem Entscheidungszeitpunkt (ohne Latenz) und im Zeitfenster von drei Sekunden vor dem Entscheidungszeitpunkt bis drei Sekunden nach dem Entscheidungszeitpunkt (mit Latenz). Die Fehlerbalken bezeichnen 95 %-Konfidenzintervalle des Mittelwerts für abhängige Stichproben.

gegeben ist. In künftigen Experimenten könnte versucht werden, das Verkehrsgeschehen realitätsnäher abzubilden, indem nicht einzelne Situationen, sondern eine Abfolge an Situationen in einer einzigen, natürlich anmutenden Fahrstrecke dargeboten werden. Zudem wäre zu überlegen, die Probanden nicht vorab über die anstehenden Situationen zu informieren.

7.4.7 Stichprobe

Die Zusammensetzung der Stichprobe war mehrheitlich studentisch geprägt. Im Sinne der Generalisierbarkeit der Ergebnisse auf die Gesamtbevölkerung sollte in nachfolgenden Studien versucht werden, eine größere Repräsentativität der Stichprobe anzustreben.

7.5 Zusammenfassung

Anhand eines Experiments im Fahrsimulator konnte gezeigt werden, dass bestimmte Faktoren einer Verkehrssituation die Höhe der antizipatorischen Hautleitfähigkeit beeinflussen. Zudem ergab sich eine negative Korrelation zwischen der Fahrerfahrung und der mittleren Stärke einer antizipatorischen Hautleitfähigkeitsreaktion. Als weiteres Ergebnis zeigte sich ein positiver Zusammenhang zwischen der Stärke einer antizipatorischen Hautleitfähigkeitsreaktion und der subjektiven Risikobewertung, der zusätzlich von der Fahrerfahrung moderiert wird.

8 Das Modell der erfahrungsabhängigen somatischen Aktivierung

Das Ziel dieses Kapitels besteht darin, ein Modell abzuleiten, das in der Lage ist, die gefundenen Zusammenhänge zwischen somatischer Aktivierung und Fahrerfahrung theoretisch zu erklären.

8.1 Empirische Befunde

In Experiment II wurde ein positiver Zusammenhang zwischen der Fahrerfahrung und der Stärke eines somatischen Markers für Fahranfänger gefunden. Demgegenüber korrelierte bei erfahrenen Fahrern die Stärke eines somatischen Markers negativ mit der Fahrerfahrung. Auch in Experiment III korrelierten diese beiden Variablen negativ miteinander. Der postulierte lineare Zusammenhang von Kinnear et al. (2013) konnte somit nicht bestätigt werden, stattdessen scheint eine komplexere Beziehung zwischen den beiden Variablen vorzuliegen. Nachfolgend wird argumentiert, warum ein einfacher linearer Zusammenhang auch aus Sicht der Theorie der somatischen Marker wenig plausibel erscheint und stattdessen ein alternatives Modell vorgeschlagen.

8.2 Modellbeschreibung

In bisherigen Studien, die sich mit der Untersuchung somatischer Marker beschäftigen, wird kaum berücksichtigt, dass somatische Marker auf *zwei* Wegen die Entscheidungsfindung beeinflussen können (vgl. Abschnitt [2.4.4.3](#)). Während beim Beschreiten der Körperschleife eine tatsächliche peripher-physiologische Aktivierung erfolgt, wird diese beim Beschreiten der Pseudo-Körperschleife umgangen und durch eine direkte Wirkungskette im Gehirn ersetzt (Bechara, 2004).

Damit sind unmittelbare Konsequenzen für die Messbarkeit somatischer Marker verbunden. Nur bei der Aktivierung der Körperschleife lassen sich somatische Marker in Form von Veränderungen der Hautleitfähigkeit erfassen. Beim Beschreiten der Pseudo-Körperschleife bleiben diese hingegen aus. Nachfolgend soll eine Unterscheidung getroffen werden in somatische Marker, die mit peripher-physiologischen Veränderungen einhergehen (Typ I) und somatischen Markern ohne derartige Veränderungen (Typ II). Es ist wichtig, sich bewusst zu machen, dass die Methode der Hautleitfähigkeit notwendigerweise auf die Erfassung somatischer Marker vom Typ I beschränkt ist.

Das Beschreiten der Pseudo-Körperschleife erfordert eine mindestens einmalige emotional-körperliche Aktivierung. Dieses emotionale Erlebnis kann daraufhin kortikal gespeichert werden. Bei erneuter Konfrontation mit einem ähnlichen Ereignis kann dann auf die gespeicherten Inhalte zurückgegriffen und diese anstelle des gesamten Körpers aktiviert werden (Bechara, 2004). Neben der Vorerfahrung beeinflusst auch die Art der anstehenden Entscheidung, ob die Körper- oder die Pseudo-Körperschleife beschritten wird. Je unsicherer das Ergebnis einer Entscheidung ist, desto wahrscheinlicher wird der gesamte Körper aktiviert (Bechara, 2004, S. 38).

Es wird ein Modell vorgeschlagen, das eine erfahrungsabhängige Aktivierung somatischer Marker vom Typ I oder Typ II postuliert und dabei in der Lage ist, die empirischen Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zu erklären (siehe Abbildung 8.1). Auf der X-Achse ist die Fahrerfahrung abgetragen, die Y-Achse steht für die Stärke eines somatischen Markers (sowohl Typ I als auch Typ II). Die Fahrerfahrung ist zudem in vier Stadien unterteilt, wobei die Stadien 1 und 2 die Gruppe der Fahranfänger beschreiben, die Stadien 3 und 4 hingegen die Gruppe der erfahrenen Fahrer.

Das erste Stadium kennzeichnet Fahranfänger am Beginn ihrer Ausbildung. Sie können bei der Bewältigung von (riskanten) Verkehrssituationen noch nicht auf ausreichende Vorerfahrungen zurückgreifen, entsprechend sind sowohl somatische Marker vom Typ I (durchgezogene Linie) als auch

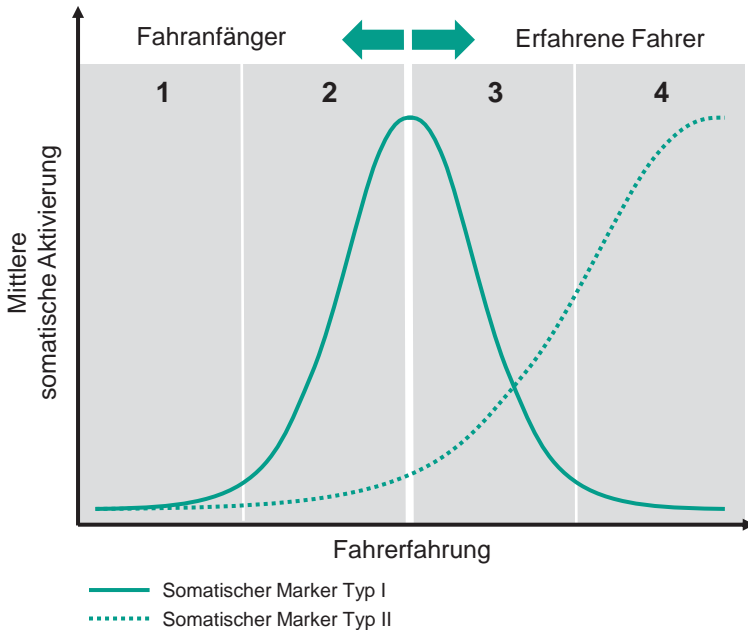


Abb. 8.1: Das Modell der erfahrungsabhängigen somatischen Aktivierung.

vom Typ II (gestrichelte Linie) kaum ausgeprägt. Im zweiten Stadium baut der Fahranfänger seine Erfahrung kontinuierlich aus. Damit kann diese zunehmend in ähnlichen Situationen in Form von somatischen Markern vom Typ I aktiviert werden. Allerdings fehlt dem Fahranfänger in diesem Stadium noch eine gewisse Routine, sodass Entscheidungen nach wie vor mit einem substantziellen Grad an Unsicherheit verbunden sind. Dies führt dazu, dass vorrangig somatische Marker vom Typ I und kaum somatische Marker vom Typ II aktiviert werden.

Ab dem dritten Stadium wird der Fahrer als *erfahren* bezeichnet. Er verfügt nun nicht nur über eine große Menge an Fahrerfahrung, sondern ist zudem in der Lage, diese Erfahrung routiniert und sicher anzuwenden. Dies führt dazu, dass der Anteil an somatischen Markern vom Typ I zurückgeht und gleichzeitig der Anteil somatischer Marker vom Typ II ansteigt.

Im vierten Stadium hat der Fahrer die höchste Kompetenzstufe erreicht. Er verfügt nun über eine sehr große Menge an Fahrerfahrung und ist zudem befähigt, diese in den meisten Situationen sicher anzuwenden. Entsprechend werden fast nur noch somatische Marker vom Typ II aktiviert.

Das Modell postuliert also für somatische Marker vom Typ I einen umgekehrt U-förmigen Zusammenhang zwischen der Fahrerfahrung und der Stärke eines somatischen Markers. Dies steht im Einklang mit den Befunden dieser Dissertation. Die Fahranfänger aus Experiment II sind dem linken Bereich der Abbildung zuzuordnen. Sie zeigten einen positiven Zusammenhang zwischen Fahrerfahrung und der Stärke eines somatischen Markers. Bei den erfahrenen Fahrern aus Experiment II ergab sich jedoch eine negative Korrelation. Sie finden sich entsprechend im rechten Bereich der Grafik wieder. Auch in Experiment III ergab sich eine negative Korrelation zwischen der Fahrerfahrung und der Stärke eines somatischen Markers. In Experiment III wurde zwar vorab keine Unterscheidung in Fahranfänger und erfahrene Fahrer vorgenommen, allerdings liegt eine wesentlich höhere Fahrerfahrung und Führerscheinhaltedauer vor als bei den Fahranfängern aus Experiment II. Insgesamt wird eine größere Ähnlichkeit mit den erfahrenen Fahrern aus Experiment II gesehen, entsprechend wird die negative Korrelation zwischen Fahrerfahrung und Stärke eines somatischen Markers in Experiment III als weitere Unterstützung für das vorgeschlagene Modell erachtet.

Während das Modell also unterschiedlich geartete Zusammenhänge zwischen der Fahrerfahrung und der Stärke eines somatischen Markers für Fahranfänger und erfahrene Fahrer postuliert, sagt es gleichzeitig aus, dass die beiden Gruppen sich auf Ebene des Mittelwerts nicht unterscheiden. Würde man sowohl für Fahranfänger als auch erfahrene Fahrer die mittlere somatische Aktivierung berechnen, so wären diese Mittelwerte im vorgeschlagenen Modell identisch. Dies deckt sich ebenfalls mit dem empirischen Befund aus Experiment II, wo sich Fahranfänger und erfahrene Fahrer im Mittel nicht in der somatischen Aktivierung unterschieden.

Auch das in Experiment III gefundene Ergebnis, dass der Zusammenhang zwischen der subjektiven Risikoschätzung und der SCR-Aktivität von der Fahrerfahrung moderiert wird, lässt sich mit dem vorgeschlagenen Modell in Einklang bringen. Da bei erfahrenen Fahrern mit steigender Fahrerfahrung die Bedeutung von somatischen Markern vom Typ I abnimmt, verlieren diese folglich auch ihre Bedeutung im Informationsverarbeitungsprozess und können somit auch nicht auf die Einschätzung des subjektiven Risikos einwirken. Im Umkehrschluss bilden erfahrene Fahrer mit vergleichsweise weniger Fahrerfahrung deutlich stärkere somatische Marker vom Typ I aus. Entsprechend können diese Signale auch einen Einfluss auf die Einschätzung des subjektiven Risikos nehmen.

8.3 Validierung

Das vorgeschlagene Modell der erfahrungsabhängigen somatischen Aktivierung erweitert die bisherige Sicht auf antizipatorische Hautleitfähigkeitsreaktionen, indem es einen umgekehrt U-förmigen Zusammenhang zwischen der Erfahrung und der Stärke eines somatischen Markers (Typ I) postuliert. Weitere Forschung ist nötig, um die interne und externe Validität des Modells abzusichern.

Die Experimente der vorliegenden Arbeit wurden als Querschnittstudien durchgeführt. Unterschiede im Grad der Erfahrung waren somit bereits a priori gegeben. Um das Modell weiter abzusichern, würden sich Längsschnittstudien anbieten, bei denen Probanden Erfahrung über einen längeren Zeitraum auf- und ggf. wieder abbauen können. Anbieten würden sich hierfür Probleme, bei denen mit hoher Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden kann, dass die Probanden über keine relevante Vorerfahrung verfügen. Denkbar wäre z. B. der Einsatz so genannter Mikrowelten (vgl. Brehmer & Dörner, 1993). Nach den Erkenntnissen aus Experiment I ist bei der Wahl der Aufgabe darauf zu achten, dass damit eine substantielle emotionale Bedeutsamkeit für den Probanden verbunden ist. Zeigt sich bei paralleler

Messung der Hautleitfähigkeit über einen längeren Zeitraum der erwartete U-förmige Zusammenhang, ließe sich damit die Gültigkeit des vorgeschlagenen Modells entscheidend absichern. Bei einem derartigen Vorgehen wäre es außerdem möglich, den Übergang vom Anfänger- zum Expertenstadium genauer einzugrenzen. Im Modell ist dieser Übergang der Scheitelpunkt der Kurve. Da sich der Zusammenhang zwischen Fahrerfahrung und Stärke eines somatischen Markers genau an diesem Punkt umdreht, wäre es wichtig, diesen präziser zu definieren. Mit einer Längsschnittstudie wäre es möglich, herauszufinden, ab welchem Level an Expertise sich der Zusammenhang zwischen Fahrerfahrung und Stärke der SCR-Aktivität umkehrt.

8.4 Zusammenfassung

Das vorgeschlagene Modell der erfahrungsabhängigen somatischen Aktivierung steht sowohl im Einklang mit den empirischen Befunden der vorliegenden Arbeit, als auch mit der theoretischen Konzeption somatischer Marker. Zum aktuellen Zeitpunkt ist das Modell als Arbeitshypothese anzusehen, zu deren Absicherung weitere empirische Untersuchungen erforderlich sind.

9 Implikationen

Nachfolgend soll auf die wichtigsten Implikationen für Mensch-Maschine-Schnittstellen, Fahrerhaltensmodelle und die Theorie der somatischen Marker eingegangen werden.

9.1 Implikationen für Mensch-Maschine-Schnittstellen

Die empirischen Befunde zeigen neben Chancen auch wichtige Grenzen für die Verwendung von antizipatorischen SCR-Daten in Mensch-Maschine-Schnittstellen auf. Für eine sinnvolle Ableitung von Verwendungsmöglichkeiten ist eine Kenntnis und Berücksichtigung dieser Grenzen unerlässlich. Daher werden diese zunächst erläutert, bevor darauf aufbauend konkrete Ansätze für Mensch-Maschine-Schnittstellen diskutiert werden.

9.1.1 Grenzen für die Verwendung von SCR-Daten in Mensch-Maschine-Schnittstellen

Eine wichtige Grenze betrifft die Detektion plötzlich auftauchender Gefahren. Die antizipatorischen SCR-Werte für die Kollisionssituation in Experiment III zeigten keine Unterschiede zu einer identischen Situation ohne Kollision. Dieser Befund legt nahe, dass antizipatorische Hautleitfähigkeitsdaten für Anwendungen zur plötzlichen Gefahrenerkennung nicht geeignet sind. Dies gilt zumindest für SCR-Daten, die im Zeitfenster von drei Sekunden vor dem Entscheidungszeitpunkt erhoben wurden. Bei Einbeziehung von Latenzzeiten zeigt sich möglicherweise ein anderes Bild (vgl. Abschnitt 7.4.5). Dies könnte darauf hindeuten, dass der Entscheidungsprozess auf physiologischer Ebene bei plötzlichen Gefahrensituationen anders (d. h. zeitlich verzögert) abläuft als bei Entscheidungen, die sich langsamer anbahnen und daher mit einem gewissen zeitlichen Vorlauf vorbereitet werden können. Auf Grundlage der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit können hierzu keine

genaueren Aussagen getroffen werden. In jedem Fall muss in diesem Zusammenhang auch noch genauer geprüft werden, welchen Einfluss Artefakte auf derartige Situationen ausüben.

Eine weitere Einschränkung betrifft die Tatsache, dass die antizipatorischen SCR-Werte auf einer absoluten Skala keine diagnostische Qualität aufweisen. So kann z. B. ein und derselbe SCR-Wert durch unterschiedliche Merkmalskombinationen zustande kommen (Kreuzung und langsames Auto vs. Autobahn und schnelles Auto). Informationen lassen sich somit nur aus *relativen* Vergleichen von SCR-Werten über die Zeit generieren. Die nachfolgend diskutierten Verwendungsmöglichkeiten folgen entsprechend alle diesem Ansatz des relativen Vergleichs.

Zuletzt sei auch nochmals darauf hingewiesen, dass Hautleitfähigkeitsdaten anfällig sind für verschiedene Artefakte (vgl. Abschnitt 3.2). In den durchgeführten Experimenten wurde versucht, die Störeinflüsse weitgehend zu minimieren oder konstant zu halten. Eine Anwendung im realen Verkehr wird hingegen notwendigerweise mit einer Vielzahl von Störeinflüssen konfrontiert (z. B. Bewegungsartefakte). Es muss geprüft werden, inwieweit dadurch die Aussagekraft der SCR-Daten eingeschränkt wird.

Unter Berücksichtigung der genannten Grenzen sollen nachfolgend potentielle Verwendungen für antizipatorische SCR-Daten skizziert werden.

9.1.2 Klassifikation der Automationsstufen

Die Anwendungsmöglichkeiten beziehen sich auf unterschiedliche Stufen der Automatisierung im Fahrzeug. Die vorliegende Arbeit stützt sich auf das Klassifikationsschema der SAE (SAE International, 2014, siehe Tabelle 9.1). Hierbei werden 6 Stufen (Stufe 0 bis Stufe 5) unterschieden. Stufe 0 steht für das manuelle Fahren, alle Fahraufgaben müssen hier zu jeder Zeit vom Fahrer ausgeführt werden. In Stufe 1 verfügt das Fahrzeug über Assistenzsysteme, die den Fahrer in bestimmten Situationen bei der Längs- oder Querverführung unterstützen. Da das Fahrzeug nicht in der Lage ist, die

volle Kontrolle zu übernehmen, ist der Fahrer beständig gefordert, die nicht unterstützten Aspekte der Fahraufgabe auszuführen. In Stufe 2 kann das Fahrzeug in bestimmten Situationen die Längs- und Querführung ausüben, der Fahrer ist jedoch permanent gefordert, das Geschehen zu überwachen und ggf. zu übernehmen. In Stufe 3 ist das Fahrzeug befähigt, in bestimmten Situationen alle Fahraufgaben selbst durchzuführen, es wird jedoch erwartet, dass der Fahrer nach Aufforderung die Kontrolle wieder übernimmt. In Stufe 4 beherrscht das Fahrzeug in bestimmten Situationen ebenfalls alle Fahraufgaben, im Unterschied zu Stufe 3 ist es dabei nicht mehr auf den Fahrer als Rückfallebene angewiesen. Das Fahrzeug ist also zu jedem Zeitpunkt in der Lage, selbstständig in einen risikominimalen Zustand zu wechseln. In Stufe 5 ist die Fähigkeit des Systems nicht mehr auf bestimmte Situationen begrenzt. Es kann zu jeder Zeit (mindestens) alle Anforderungen bewältigen, denen auch ein menschlicher Fahrer gewachsen wäre.

9.1.3 Anwendungsmöglichkeiten

Drei Anwendungsmöglichkeiten werden in diesem Abschnitt vorgestellt:

- Anreicherung des Situationsmodells des Fahrzeugs
- Detektion von Kompetenzverlust
- Detektion der Bereitschaft in Übernahmesituationen

Auf welche Stufen der Fahrzeugautomatisierung sich die jeweiligen Anwendungen beziehen, ist in Tabelle [9.2](#) dargestellt.

9.1.3.1 Anreicherung des Situationsmodells des Fahrzeugs

Ein Ziel der Arbeit bestand darin, zu untersuchen, inwiefern das Situationsbewusstsein eines Fahrers mit der darin enthaltenen Fähigkeit zur Antizipation genutzt werden kann, um damit das Situationsmodell eines Fahrzeugs anzureichern. Es konnten Merkmale einer Verkehrssituation identifiziert werden,

Tab. 9.1 : Stufen der Fahrzeugautomatisierung nach SAE (SAE International, 2014).

SAE-Stufe	Name	Beschreibung	Ausführung der Längs- und Querrführung	Überwachung der Verkehrsumwelt	Rückfall-ebene	Systemfähigkeit
Stufe 0	Keine Automatisierung	Fahrer führt in allen Situationen alle Fahraufgaben selbst durch	Fahrer	Fahrer	Fahrer	Keine
Stufe 1	Fahrer-assistenz	Fahrerassistenzsysteme unterstützen in bestimmten Situationen die Längs- oder Querrführung, die übrigen Aspekte der Fahraufgabe werden vom Fahrer durchgeführt.	Fahrer und System	Fahrer	Fahrer	Bestimmte Fahrsituationen
Stufe 2	Teil-automatisierung	Ein oder mehrere Fahrerassistenzsysteme übernehmen in bestimmten Situationen die Längs- und Querrführung. Der Fahrer muss die ganze Zeit überwachen und ggf. übernehmen.	System	Fahrer	Fahrer	Bestimmte Fahrsituationen
Stufe 3	Bedingte Automatisierung	Das Fahrzeug führt in bestimmten Situationen alle Fahraufgaben selbst durch, es wird jedoch erwartet, dass der Fahrer nach Aufforderung die Kontrolle wieder übernimmt.	System	System	Fahrer	Bestimmte Fahrsituationen
Stufe 4	Hoch-automatisierung	Das System führt in bestimmten Situationen alle Fahraufgaben selbst durch und ist nicht auf den Fahrer als Rückfallebene angewiesen.	System	System	System	Bestimmte Fahrsituationen
Stufe 5	Voll-automatisierung	Das System führt in allen Situationen alle Fahraufgaben selbst durch.	System	System	System	Alle Fahrsituationen

Tab. 9.2: Bezug der Anwendungen zu den unterschiedlichen Stufen der Fahrzeugautomatisierung.

SAE-Stufe	Anwendungsmöglichkeiten		
	Anreicherung des Situationsmodells	Detektion von Kompetenzverlust	Detektion der Bereitschaft in Übernahme-situationen
Stufe 0			
Stufe 1	x		
Stufe 2	x	(x)	
Stufe 3		x	x
Stufe 4		(x)	(x)
Stufe 5			

x = Anwendung bezieht sich auf Fahrzeuge der zugeordneten Automationsstufe.

(x) = Anwendung bezieht sich eingeschränkt auf Fahrzeuge der zugeordneten Automationsstufe

die systematisch die Höhe der antizipatorischen Hautleitfähigkeitswerte beeinflussen. Als wichtige Faktoren wurden das Szenario (Straßentyp und gefahrenes Manöver) sowie die Geschwindigkeit eines beteiligten Fahrzeugs identifiziert. Zudem konnte gezeigt werden, dass der Zeitpunkt der Durchführung eines Manövers (normal vs. letzte sichere Möglichkeit) und das damit verbundene Risiko ebenfalls einen Einfluss auf die antizipatorischen SCR-Werte ausüben.

Anders ausgedrückt übermittelt das antizipatorische Hautleitfähigkeitssignal also Informationen über die genannten situativen Einflussfaktoren. Damit wird die theoretische Möglichkeit eröffnet, diese Informationen dem Fahrzeug zur Verfügung zu stellen. Die zentrale Frage dabei lautet, in welchem Zusammenhang diese sinnvoll genutzt werden könnten.

Die angedachte Anwendung bezieht sich auf Systeme, die auf den Automationsstufen 1 oder 2 nach SAE operieren (siehe Tabelle 9.2). In beiden Stufen verfügt das Fahrzeug zwar über Assistenzsysteme, diese erfordern jedoch eine permanente Überwachung vonseiten des Fahrers. Ein Beispiel für ein derartiges Assistenzsystem ist der Abstandsregeltempomat (Adaptive

Cruise Control, ACC), der in bestimmten Situationen die Längsregelung übernimmt, indem er die Geschwindigkeit an ein vorausfahrendes Fahrzeug anpasst. Wie bereits zu Beginn der Arbeit dargestellt, kann es zu einem Problem für den Sensor werden, wenn ein Vorderfahrzeug um eine Kurve fährt und dadurch aus dem Sichtbereich verschwindet. Das ACC detektiert in diesem Moment irrtümlicherweise eine freie Strecke und erhöht die Geschwindigkeit. Geht man davon aus, dass das Vorderfahrzeug nicht beschleunigt sondern mit konstanter Geschwindigkeit weiterfährt, verringert sich durch die Handlung des ACC der Abstand zwischen den beiden Fahrzeugen. Ist das ACC hinter der Kurve wieder in der Lage, das Vorderfahrzeug zu detektieren, muss es durch mehr oder weniger starkes Bremsen den ursprünglichen Abstand wiederherstellen.

Der Fahrer ist gefordert, permanent die Funktionalität des ACC-Systems zu überwachen, um jederzeit in der Lage zu sein, die volle Kontrolle über die Fahraufgabe zu übernehmen. Letztlich ist der Fahrer also fortwährend mit der Frage konfrontiert, wann für ihn das Risiko durch ein nicht adäquates Verhalten des Systems so groß ist, dass er eingreifen muss. Laut der Null-Risiko-Theorie (vgl. Abschnitt 2.2.1.3) sind Fahrer bestrebt, kein durchgängiges Gefühl von Risiko zu erleben. Folglich sollte ein Fahrer ein ACC also spätestens zu dem Zeitpunkt übersteuern oder deaktivieren, den er als die letzte sichere Möglichkeit der Übernahme ansieht.

An dieser Stelle ist ein deutlicher Anknüpfungspunkt zu den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit zu erkennen. Probanden, die ein Manöver zum letzten sicheren Zeitpunkt einleiteten, zeigten im Vergleich zur Durchführung des Manövers zu einem selbstgewählten früheren Zeitpunkt signifikant höhere antizipatorische SCR-Werte. Damit ist zu erwarten, dass ein Fahrer, der wahrnimmt, dass sein ACC den Abstand zum Vorderfahrzeug unverhältnismäßig verringert, ebenfalls erhöhte antizipatorische SCR-Werte entwickelt. Die Idee lautet nun, die somatische Antizipation des Fahrers in den Entscheidungsprozess des Fahrzeugs einfließen zu lassen.

Ein derartiges System müsste so gestaltet sein, dass für bestimmte Situationen personenspezifische Referenzwerte ermittelt werden. Eine solche Situation könnte z. B. der Moment sein, in dem ein Vorderfahrzeug aus der Sensorreichweite verschwindet und das ACC-System anfängt zu beschleunigen. Es werden dabei sowohl Fälle auftreten, bei denen das System die Situation korrekt erkennt und beschleunigt, als auch Situationen mit unangepasstem Beschleunigen, wobei davon ausgegangen wird, dass erstere in der deutlichen Überzahl vorkommen. Nachdem einige derartige Situationen durchfahren wurden, ist das Fahrzeug in der Lage, für den spezifischen Fahrer eine mittlere antizipatorische Hautleitfähigkeit (Referenzwert) zu berechnen. Kommt es in der Folge erneut zu einer solchen Situation und detektiert das Fahrzeug eine im Vergleich zum Referenzwert signifikant erhöhte antizipatorische SCR-Aktivität, so könnte dies als Hinweis für einen zusätzlichen Risikofaktor gewertet werden. In der Konsequenz könnte das Fahrzeug die anstehende Beschleunigung zumindest für einen gewissen Zeitraum aussetzen oder langsamer ausführen.

An dieser Stelle sei nochmal darauf hingewiesen, dass SCR-Daten durch eine Vielzahl von Artefakten beeinflusst werden können. Theoretisch wäre also denkbar, dass ein Fahrer genau in dem Moment, in dem ein Vorderfahrzeug aus dem Sensorbereich entweicht, stark einatmet und deshalb eine starke antizipatorische SCR-Aktivität gemessen wird. Wichtig ist daher, dass die SCR-Daten Entscheidungen des Systems immer nur in eine Richtung, nämlich in die Richtung eines risikominimaleren Zustands, verschieben können. Das bedeutet, dass das ACC-System ohne die Information der antizipatorischen Hautleitfähigkeitsdaten beschleunigt hätte. Mit den SCR-Daten geht es nun davon aus, dass potentiell ein Risikofaktor vorliegt, der im Zweifelsfall rechtfertigt, die Beschleunigung nicht sofort durchzuführen. Sollte dieses SCR-Signal durch ein Artefakt ausgelöst worden sein, besteht die Konsequenz für den Fahrer lediglich darin, dass das Fahrzeug etwas später beschleunigt. Es ist also denk- und erwartbar, dass ein solches System „Fehlalarme“ produziert. Entscheidend ist, dass diese sich

nicht sicherheitskritisch auswirken. In den Fällen, in denen die erhöhte SCR-Aktivität allerdings tatsächlich mit einem erhöhten antizipierten Risiko einhergeht, könnte das System durch Einnehmen bzw. Beibehalten eines risikominimaleren Zustands die Akzeptanz und das Vertrauen des Fahrers in das System deutlich erhöhen.

9.1.3.2 Detektion von Kompetenzverlust

In verschiedenen Visionen und Konzeptstudien werden derzeit vollautomatisierte Fahrzeuge (Stufe 5) präsentiert, die in der Lage sind, alle Aufgaben ohne Zutun eines Menschen zu erledigen (z. B. Mercedes Benz F 015, Daimler AG, 03.02.2016). Schaut man sich Schätzungen zur kommerziellen Markteinführung vollautomatisierter Fahrzeuge an, so steht die Gesellschaft je nach Prognose entweder kurz vor der Einführung oder muss sich noch bis zum Jahr 2030 oder 2040 gedulden (Litman, 2014). Der Weg zum vollautomatisierten Fahren kann auf unterschiedliche Arten und Weisen erfolgen (vgl. Beiker, 2015). Die Automobilindustrie verfolgt derzeit den „evolutionären Ansatz“, bei dem das Ziel des autonomen Fahrzeugs durch Entwicklung und Integration von immer leistungsfähigeren Fahrerassistenzsystemen erreicht werden soll (Beiker, 2015, S. 200).

Betrachtet man die derzeit verfügbaren kommerziellen Systeme, so besteht der nächste evolutionäre Schritt in der Etablierung von Systemen auf Stufe 3 (bedingte Automatisierung). Die nachfolgend vorgestellte Idee bezieht sich vorrangig auf derartige Systeme, eingeschränkt auch auf Systeme der Stufen 2 und 4 (siehe Tabelle 9.2).

Fahrzeuge der Stufe 3 sind in der Lage, in bestimmten Situationen alle Fahraufgaben zu übernehmen, allerdings wird erwartet, dass der Fahrer nach Aufforderung die Kontrolle wieder übernimmt. Ein Problem dabei ist, dass der Fahrer immer dann gefordert sein wird, wenn das technische System an seine Grenzen gerät. Das geschieht in Situationen, die in vielen Fällen auch für den Fahrer eine substanzielle Schwierigkeit aufweisen dürften. Er ist

somit gefordert, sein gesamtes Repertoire an Fahrkompetenz gleichsam auf Knopfdruck abzurufen. Zugespitzt könnte man sagen: Einfache Aufgaben erledigt das System, schwierige Aufgaben überlässt es dem Fahrer. Der Mensch ist zwar von Routineaufgaben entlastet, allerdings zu dem Preis, dass er in der Zeit auch keine Fahrerfahrung aufbauen bzw. aufrechterhalten kann, die er gerade in den ihm verbleibenden kritischen Situationen nötig hätte. Dieses Phänomen ist auch aus anderen Bereichen bekannt als *Ironie der Automation* (Bainbridge, 1983).

Der Kompetenzverlust bzw. die Verhinderung desselben ist somit eines der wichtigsten Problembereiche im Kontext der Automatisierung (Wolf, 2015, S. 107). Ein erster Schritt hierfür ist das Erkennen eines potentiell kritischen Verlusts an Fahrerfahrung. Die theoretische Grundlage für eine derartige Messung liefert das Modell der erfahrungsabhängigen somatischen Aktivierung (siehe Kapitel 8). Es besagt, dass ein umgekehrt U-förmiger Zusammenhang zwischen der Fahrerfahrung und der Stärke eines somatischen Markers vom Typ I besteht. Wenn Menschen im automatischen Modus unterwegs sind, können sie in dieser Zeit keine Fahrpraxis aufbauen. Nachfolgend soll verdeutlicht werden, wie aus der Veränderung der somatischen Aktivierung Rückschlüsse auf möglicherweise kritische Verringerungen der Fahrerfahrung gezogen werden können.

Zunächst ist es erforderlich, dass ein Fahrer im manuellen Modus verschiedene Manöver durchführt und parallel seine antizipatorischen Hautleitfähigkeitswerte erfasst werden. Das System ist dann in der Lage, aus den gemessenen SCR-Daten eine mittlere somatische Aktivierung zu berechnen. Diese sollte nach dem Modell der erfahrungsabhängigen somatischen Aktivierung den aktuellen Grad an Fahrerfahrung widerspiegeln. Da dieser Referenzwert den zeitlichen Ausgangspunkt für nachfolgende Veränderungen darstellt, wird er mit dem Kürzel t_1 gekennzeichnet (siehe Abbildung 9.1).

Übernimmt nun die Technik im automatischen Modus die Kontrolle über das Verkehrsgeschehen, so reduziert sich schrittweise die Fahrerfahrung und

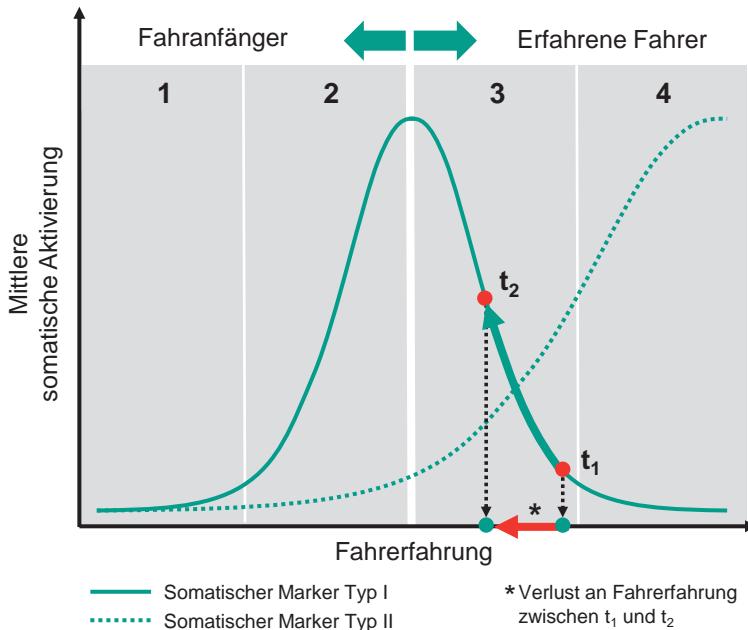


Abb. 9.1: Durch einen Vergleich der mittleren somatischen Aktivierung zwischen dem Referenzzeitpunkt t_1 und dem Zeitpunkt t_2 lassen sich entsprechend dem Modell der erfahrungsabhängigen somatischen Aktivierung Rückschlüsse auf eine reduzierte Fahrerfahrung ziehen.

die Kompetenz des Fahrers. Im Modell der erfahrungsabhängigen somatischen Aktivierung bewegt sich die Person also auf der X-Achse nach links. Damit wird erwartet, dass sich auch die mittlere somatische Aktivierung zu einem fiktiven Zeitpunkt t_2 verändert (siehe Abbildung 9.1).

Ist ein Fahrer wieder im manuellen Modus unterwegs, kann das System die mittlere antizipatorische somatische Aktivierung mit dem Referenzzeitpunkt vergleichen. Hat sich diese signifikant verändert, so kann dies entsprechend dem Modell der erfahrungsabhängigen somatischen Aktivierung ein Hinweis auf eine reduzierte Fahrerfahrung sein. In der Folge könnte das System entscheiden, den Fahrer häufiger auch in den Situationen mit Fahraufgaben zu betrauen, die in der Regel vom System bewältigt werden

können und nicht nur dann, wenn es selbst eine Systemgrenze erreicht. Die häufigere bzw. längere Übergabe an den Fahrer hätte in diesen Fällen nur das Ziel, die Fahrerfahrung und damit die Kompetenz wieder auf den ursprünglichen Zustand zu bringen, um dadurch potentiellen Ironien der Automation vorzubeugen.

An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, dass das Modell der erfahrungsabhängigen somatischen Aktivierung zum aktuellen Zeitpunkt noch als Arbeitshypothese angesehen werden muss und folglich weitere Experimente zu dessen Validierung erforderlich sind (vgl. 8.3).

9.1.3.3 Detektion der Bereitschaft in Übernahmesituationen

Neben einem (längerfristigen) Verlust der Fahrerfahrung lassen sich die Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit möglicherweise auch nutzen, um die Bereitschaft eines Fahrers bei der Übergabe vom automatischen zum manuellen Modus zu detektieren. Derartige Übernahmesituationen haben sich in verschiedenen Studien als kritisch herausgestellt. So kann es zu verlängerten Reaktionszeiten (Damböck, Weissgerber, Kienle & Bengler, 2013) oder gänzlich fehlendem Übernahmeverhalten kommen (de Waard, van der Hulst, Hoedemaker & Brookhuis, 1999).

Der Fokus der angedachten Anwendung liegt auf der Automationsstufe 3, wo das System im Unterschied zur Stufe 2 in der Lage ist, eine geregelte Übergabe an den Fahrer vorzunehmen. Erfolgt eine Übernahmeaufforderung in Stufe 3, muss der Fahrer dieser in jedem Fall nachkommen. Eingeschränkt ist die intendierte Anwendung auch für Systeme der Stufe 4 interessant (siehe Tabelle 9.2). Der wichtige Unterschied zwischen Stufe 3 und Stufe 4 besteht darin, dass sich auf Stufe 4 das Fahrzeug selbstständig in einen risikominimalen Zustand versetzen kann (z. B. Anhalten am Fahrbahnrand). Diese Option ist allerdings nur für die Fälle gedacht, in denen der Fahrer einer Übernahmeaufforderung nicht nachkommt und führt zu einer zumindest teilweisen Unterbrechung der Fahrt. Generell ist das System bestrebt,

die Übergabe an den Fahrer so zu gestalten, dass es zu keiner Fahrtunterbrechung kommt. Eine Kenntnis über die Bereitschaft des Fahrers zur Übernahme wäre also auch in diesen Fällen sinnvoll und nützlich.

Für eine erfolgreiche Übergabe muss sichergestellt werden, dass ein Fahrer ein adäquates Situationsbewusstsein besitzt. In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass die Stärke einer antizipatorischen Hautleitfähigkeitsreaktion von bestimmten Merkmalen einer Situation beeinflusst wird. Werden die Merkmale einer Situation nicht vollständig wahrgenommen, so kann erwartet werden, dass sich auch die resultierende Hautleitfähigkeitsreaktion verändert. Derartige Unterschiede können somit Hinweise auf unzureichendes Situationsbewusstsein und eine daraus folgende verringerte Übernahmbereitschaft eines Fahrers liefern.

Analog zum Vorgehen in Abschnitt 9.1.3.1 ist es dafür zunächst erforderlich, dass personenspezifische Referenzwerte für verschiedene Verkehrssituationen im manuellen Fahrmodus erfasst werden. Ist ein Fahrer danach im automatischen Modus unterwegs, kann ein Fahrzeug beim Durchfahren einer Situation prüfen, ob sich der dabei gemessene SCR-Wert signifikant vom entsprechenden Referenzwert unterscheidet.

Steht in einer bestimmten Fahrsituation eine Übergabe vom automatischen zum manuellen Modus an, so kann das System – sofern für die Übergabe ein ausreichendes Zeitfenster zur Verfügung steht – prüfen, ob sich der dabei gemessene SCR-Wert signifikant vom Referenzwert dieser Situation unterscheidet. Dies könnte ein Hinweis auf eine nicht ausreichende Übernahmbereitschaft des Fahrers sein. Je nach Übernahme-situation und Automationsstufe kann das System dann z. B. mit Hilfe von zusätzlichen Hinweisen (Stufe 3) oder durch eine Verlagerung des Übergabezeitpunkts (Stufe 4) reagieren.

9.2 Implikationen für Fahrerverhaltensmodelle

Auch für das generelle Verständnis des Fahrerverhaltens und die Weiterentwicklung von Fahrerverhaltensmodellen lassen sich Implikationen ableiten. Zunächst ist festzuhalten, dass die Experimente der vorliegenden Arbeit erstmals die Theorie der somatischen Marker anhand von tatsächlichen Entscheidungen im Kontext Fahrer-Fahrzeug untersucht haben. Neben der Prüfung des Entscheidungsverhaltens mit Hilfe von Videos (Experiment II) wurde auch realitätsnahes Fahr- und Entscheidungsverhaltens im Simulator nachgestellt (Experiment III).

Die Ergebnisse zeigen, dass im Vorfeld dieser Entscheidungen peripher-physiologische Hautleitfähigkeitsreaktionen gemessen werden können, die sich im Sinne der Theorie von Damasio als somatische Marker interpretieren lassen. Sie werden somit zu einem vielversprechenden methodischen und theoretischen Ansatzpunkt für nachfolgende Untersuchungen des Fahrerverhaltens. Damit einher geht eine Unterstützung für die weitergehende Integration somatischer Marker im Rahmen von Fahrerverhaltensmodellen. Bislang wurden somatische Marker nur von zwei Modellen aufgegriffen, es handelt sich dabei um die Theorie der Risikogefühlshomöostase (Kinnear, 2009) und das Risikomonitor-Modell (Vaa, 2013). Während sich die Theorie der Risikogefühlshomöostase zumindest teilweise auf empirische Befunde stützen kann, basiert das Risikomonitor-Modell auf rein theoretischen Überlegungen.

In zukünftigen Untersuchungen sollte die Stellung und Bedeutung somatischer Marker im Informationsverarbeitungsprozess des Fahrers genauer untersucht werden. Wichtige Ansatzpunkte hierzu liefert nicht zuletzt das Modell der erfahrungsabhängigen somatischen Aktivierung. Die beiden bisherigen Fahrerverhaltensmodelle konzentrieren sich vor allen Dingen auf den „Output“ somatischer Marker, d. h. auf deren Wirkung im Entscheidungsprozess des Fahrers. Welche Variablen hingegen die Stärke eines somatischen Markers beeinflussen, bleibt bislang vage oder ungenannt. Das

Modell der erfahrungsabhängigen somatischen Aktivierung eröffnet die Möglichkeit, die Fahrerfahrung als wichtigen Einflussfaktor auf somatische Marker zu berücksichtigen. Im Umkehrschluss wird damit auch ein wichtiges theoretisches und methodisches Bindeglied zur verhaltensrelevanten Variable Fahrerfahrung hergestellt.

9.3 Implikationen für die Theorie der somatischen Marker

Bislang erfolgte die empirische Untersuchung der Theorie der somatischen Marker hauptsächlich anhand der Iowa Gambling Task (vgl. Dunn et al., 2006). Mit der vorliegenden Arbeit erhält die Theorie der somatischen Marker empirische Unterstützung aus einem anwendungsorientierten Kontext.

Bei der Untersuchung somatischer Marker muss ein großes Augenmerk auf deren Operationalisierung gelegt werden. In bisherigen Studien findet dieser Aspekt kaum bis gar keine Berücksichtigung. Dies führt dazu, dass Studien miteinander verglichen werden, die sich teilweise massiv in der Art der Operationalisierung unterscheiden (vgl. Abschnitt 2.4.6). Aus methodischer Sicht wäre eine einheitliche Operationalisierung somatischer Marker über verschiedene Studien hinweg wünschenswert. Bislang sind allerdings keine Bestrebungen erkennbar, eine entsprechende Standardmethode zu entwickeln oder zur Diskussion zu stellen. Daher wird dafür plädiert, in zukünftigen Studien auf die Themen Signalverarbeitung und Operationalisierung intensiver einzugehen und die jeweils angewandten Methoden und Auswertungsschritte ausführlich zu dokumentieren. So ist zumindest sichergestellt, dass große Unterschiede in der Operationalisierung besser erkannt und diese als potentielle Einflussfaktoren bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden können.

In der vorliegenden Arbeit kam für die Operationalisierung der somatischen Marker erstmals die kontinuierliche Dekompositionsanalyse zum Einsatz. Diese erlaubt, aus einem Rohsignal die zugrundeliegende sympathische Aktivität zu extrahieren. Für die Dekompositionsanalyse ist die Angabe

eines Zeitfensters zur Berechnung der SCR-Werte unerlässlich. Bislang liegen für die Untersuchung somatischer Marker keine Referenzwerte vor. In den durchgeführten Experimenten wurde das Zeitfenster auf drei Sekunden vor dem Entscheidungszeitpunkt festgelegt. Grundsätzlich sollte in zukünftigen Studien geprüft werden, wie sich die SCR-Werte bei Veränderung der Zeitfenstergröße verhalten. Gerade vor dem Hintergrund einer technischen Verwertbarkeit ist ein möglichst kleines Zeitfenster anzustreben. Eine Aufgabe für zukünftige Forschung wäre somit, die sinnvolle Untergrenze der Zeitfenstergröße zu identifizieren.

Die Messung somatischer Marker erfolgte in dieser Arbeit nur anhand der Hautleitfähigkeit. Für zukünftige Studien wäre zu überlegen, weitere physiologische Parameter zu erheben (z. B. EKG) und zu prüfen, ob derartige Signale ebenfalls systematische Veränderungen im Vorfeld von Entscheidungen aufweisen. Möglicherweise lassen sich durch eine Fusion mehrerer Datenquellen zusätzlich nutzbare Informationen für Mensch-Maschine-Schnittstellen generieren.

10 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Erkenntnisse der Arbeit zusammengefasst sowie Anknüpfungspunkte für zukünftige Forschungsbemühungen aufgezeigt.

10.1 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit untersuchte die Antizipation von riskanten Verkehrssituationen auf physiologischer Ebene mit Hilfe der Hautleitfähigkeit. Die theoretische Grundlage hierfür stellte die Theorie der somatischen Marker dar. Das Ziel bestand darin, zu prüfen, inwiefern dadurch die Antizipationsfähigkeit des Menschen im Rahmen von Mensch-Maschine-Schnittstellen nutzbar gemacht werden kann.

Es konnten situative Faktoren einer Verkehrssituation identifiziert werden, die die Stärke einer antizipatorischen Hautleitfähigkeitsreaktion beeinflussen. Diese umfassen das Szenario (Straßentyp und gefahrenes Manöver), die Geschwindigkeit eines beteiligten Fahrzeugs sowie den Zeitpunkt der Durchführung eines Manövers (normal vs. letzte sichere Möglichkeit).

Für die theoretische Erklärung der empirisch gefundenen Zusammenhänge zwischen Fahrerfahrung und Stärke einer antizipatorischen Hautleitfähigkeitsreaktion wurde das Modell der erfahrungsabhängigen somatischen Aktivierung vorgeschlagen. Das Modell berücksichtigt, dass somatische Marker auf zwei Wegen die Entscheidungsfindung beeinflussen können. Während somatische Marker vom Typ I den gesamten Körper aktivieren, beeinflussen somatische Marker vom Typ II den Entscheidungsprozess ohne Aktivierung des Körpers über eine direkte Wirkungskette im Gehirn. Die Messung somatischer Marker mithilfe der Methode der Hautleitfähigkeit ist somit notwendigerweise auf somatische Marker vom Typ I begrenzt. Dies stellt eine substantielle Weiterentwicklung für das Verständnis und die Inter-

pretation von Hautleitfähigkeitsdaten dar. Die zentrale Aussage des Modells der erfahrungsabhängigen somatischen Aktivierung besagt, dass die mittlere Stärke der somatischen Marker vom Typ I in einem umgekehrt U-förmigen Zusammenhang zur Fahrerfahrung steht.

Auf Grundlage der empirischen Befunde sowie des Modells der erfahrungsabhängigen somatischen Aktivierung wurden drei Anwendungsmöglichkeiten für Mensch-Maschine-Schnittstellen diskutiert. Diese betreffen die Anreicherung des Situationsmodells des Fahrzeugs, die Detektion von Kompetenzverlust sowie die Detektion der Bereitschaft in Übernahmesituationen. Daneben wurden auch Implikationen erörtert, die sich für Fahrerhaltensmodelle sowie für die Theorie der somatischen Marker ableiten lassen. Ein wichtiger methodischer Beitrag, der auch weit über den Kontext Fahrer-Fahrzeug hinaus Verwendung finden könnte, ist die in der vorliegenden Arbeit verwendete Operationalisierung somatischer Marker. Zum Einsatz kam hierfür erstmals die kontinuierliche Dekompositionsanalyse. Grundsätzlich wird dafür plädiert, bei Studien zu somatischen Markern den Themen Signalverarbeitung und Operationalisierung mehr Aufmerksamkeit zu widmen, um eine Vergleichbarkeit der Studien sicherzustellen.

10.2 Ausblick

Die Experimente in der vorliegenden Arbeit fanden am Computer oder im Simulator statt. Um die externe Validität der gefundenen Ergebnisse weiter abzusichern, sollten Untersuchungen im Realverkehr in Erwägung gezogen werden. Eine wichtige Rolle spielt dabei auch die Frage, wie die Hautleitfähigkeit praxistauglich gemessen werden kann. Die vorrangigen Ziele dabei sind, den Fahrer durch die Messung nicht zu stören oder zu beeinträchtigen und ein Signal mit hoher Qualität zu erhalten. Zu prüfen ist, inwiefern sich die Ableitung über das Lenkrad anbietet, erste technische Lösungen hierzu wurden bereits entwickelt (z. B. Hoffmann, Klenk, Luka, Schönherr & Schwarzinger, 2012). Grundsätzlich wäre auch die Messung

mit Hilfe von körpergetragenen Geräten denkbar (z. B. Fitnessarmbänder wie Microsoft Band). Der große Vorteil hierbei besteht darin, dass diese auch in Stufen höherer Automatisierung zum Einsatz kommen könnten, bei denen ein Fahrer die Hände nicht mehr permanent am Lenkrad halten muss. Kritisch zu prüfen ist, inwieweit die von den körpergetragenen Geräten genutzten Ableitungsorte vergleichbare Ergebnisse zu der in dieser Arbeit verwendeten Ableitung an Thenar und Hypothenar produzieren. Zudem muss sichergestellt sein, dass derartige Geräte in der Lage sind, die benötigte Signalqualität zu liefern.

Obwohl das Modell der erfahrungsabhängigen somatischen Aktivierung anhand von Experimenten aus dem Kontext Fahrer-Fahrzeug entwickelt wurde, wird es als ein domänenunspezifisches Reifegradmodell erachtet. Damit ist die grundsätzliche Möglichkeit gegeben, es auf andere Bereiche zu übertragen, bei denen Personen eine erfahrungsabhängige Entwicklung vom Novizen zum Experten durchlaufen. Besonders interessant scheint der Einsatz bei adaptiven Mensch-Maschine-Systemen, wie z. B. in der Mensch-Roboter-Kooperation. Durch die Anwendung des Modells eröffnen sich für den jeweiligen Tätigkeitsbereich neue Möglichkeiten zur Nutzung der Hautleitfähigkeit als Indikator des Erfahrungslevels. Gleichzeitig kann damit die Validität des Modells weiter abgesichert werden.

10.3 Fazit

Die Verwendung antizipatorischer Hautleitfähigkeitsdaten stellt eine vielversprechende Informationsquelle für zukünftige Mensch-Maschine-Schnittstellen dar. Für eine tatsächliche Nutzung im Automobil oder in anderen Mensch-Maschine-Systemen sind weitere Forschungsbemühungen nötig, die diesbezügliche Chancen und Grenzen genauer beleuchten.

11 Literaturverzeichnis

- Alexander, D. M., Trengove, C., Johnston, P., Cooper, T., August, J. P. & Gordon, E. (2005). Separating individual skin conductance responses in a short interstimulus-interval paradigm. *Journal of Neuroscience Methods*, 146(1), 116–123.
- AXA Konzern AG (Hrsg.). (2015). *AXA Verkehrssicherheitsreport 2015* (Tech. Rep.). Köln.
- Bach, D. R. (2014). Sympathetic nerve activity can be estimated from skin conductance responses — A comment on Henderson et al. (2012). *NeuroImage*, 84, 122–123.
- Bagby, R. M., Parker, J. D. A. & Taylor, G. J. (1994). The twenty-item Toronto Alexithymia scale-I. Item selection and cross-validation of the factor structure. *Journal of Psychosomatic Research*, 38(1), 23–32.
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19(6), 775–779.
- Bechara, A. (2004). The role of emotion in decision-making: Evidence from neurological patients with orbitofrontal damage. *Brain and Cognition*, 55(1), 30–40.
- Bechara, A. & Damasio, A. R. (2010). The somatic marker hypothesis: A neural theory of economic decision. *Games and Economic Behavior*, 52(2), 336–372.
- Bechara, A., Damasio, A. R., Damasio, H. & Anderson, S. W. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition*(1-3), 7–15.
- Bechara, A., Damasio, H., Damasio, A. R. & Lee, G. P. (1999). Different Contributions of the Human Amygdala and Ventromedial Prefrontal

- Cortex to Decision-Making. *The Journal of Neuroscience*, 19(13), 5473–5481.
- Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D. & Anderson, S. W. (1998). Dissociation Of Working Memory from Decision Making within the Human Prefrontal Cortex. *The Journal of Neuroscience*, 18(1), 428–437.
- Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D. & Damasio, A. R. (1997). Deciding Advantageously Before Knowing the Advantageous Strategy. *Science*, 275(5304), 1293–1295.
- Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D. & Damasio, A. R. (2005). The Iowa Gambling Task and the somatic marker hypothesis: some questions and answers. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(4), 159–162.
- Becker Meditec. (10.12.2014). *Gebrauchsanweisung varioport* (Tech. Rep.).
- Beggiato, M. & Krems, J. F. (2013). The evolution of mental model, trust and acceptance of adaptive cruise control in relation to initial information. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 18, 47–57.
- Beiker, S. A. (2015). Einführungsszenarien für höhergradig automatisierte Straßenfahrzeuge. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz & H. Winner (Hrsg.), *Autonomes Fahren* (S. 197–217). Berlin: Springer Vieweg.
- Benedek, M. & Kaernbach, C. (2010a). A continuous measure of phasic electrodermal activity. *Journal of Neuroscience Methods*, 190(1), 80–91.
- Benedek, M. & Kaernbach, C. (2010b). Decomposition of skin conductance data by means of nonnegative deconvolution. *Psychophysiology*, 47(4), 647–658.

- Benedek, M. & Kaernbach, C. (2011). Physiological correlates and emotional specificity of human piloerection. *Biological Psychology*, 86(3), 320–329.
- Ben-Shakhar, G. (1985). Standardization Within Individuals: A Simple Method to Neutralize Individual Differences in Skin Conductance. *Psychophysiology*, 22(3), 292–299.
- Birbaumer, N. & Schmidt, R. F. (2010). *Biologische Psychologie* (7 Aufl.). Heidelberg: Springer.
- Bland, J. M. & Altman, D. G. (1995). Calculating correlation coefficients with repeated observations: Part I—correlation within subjects. *British Medical Journal*, 310(6977), 446.
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler* (4 Aufl.). Heidelberg: Springer.
- Boucsein, W. (2012). *Electrodermal Activity* (2 Aufl.). New York and Dordrecht and Heidelberg and London: Springer.
- Brehmer, B. & Dörner, D. (1993). Experiments with computer-simulated microworlds: Escaping both the narrow straits of the laboratory and the deep blue sea of the field study. *Computers in Human Behavior*, 9(2-3), 171–184.
- Bubb, H. & Bengler, K. (2015). Fahrerassistenz. In H. Bubb, K. Bengler, R. E. Grünen & M. Vollrath (Hrsg.), *Automobilergonomie* (S. 525–582). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Bühner, M. & Ziegler, M. (2009). *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. München: Pearson Studium.
- Carsten, O. (2007). From Driver Models to Modelling the Driver: What Do We Really Need to Know About the Driver? In P. C. Cacciabue

- (Hrsg.), *Modelling driver behaviour in automotive environments* (S. 105–120). London: Springer.
- Cohen, J. (1992). A Power Primer. *Psychological Bulletin*, *112*(1), 155–159.
- Cosineau, D. (2005). Confidence intervals in within-subject designs: A simpler solution to Loftus and Masson’s method. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, *1*(1), 42–45.
- Crone, E. A., Somsen, R. J. M., van Beek, B. & van der Molen, M. W. (2004). Heart rate and skin conductance analysis of antecedents and consequences of decision making. *Psychophysiology*, *41*(4), 531–540.
- Daimler AG. (03.02.2016). *Der Mercedes-Benz F 015 Luxury in Motion*.
- Damasio, A. & Carvalho, G. B. (2013). The nature of feelings: evolutionary and neurobiological origins. *Nature Reviews Neuroscience*, *14*, 143–152.
- Damasio, A. R. (1994). *Descartes’ error: Emotion, reason, and the human brain*. New York: Putnam.
- Damasio, H., Grabowski, T., Frank, R., Galaburda, A. M. & Damasio, A. R. (1994). The Return of Phineas Gage: Clues About the Brain from the Skull of a Famous Patient. *Science*, *264*(5162), 1102–1105.
- Damböck, D., Weissgerber, T., Kienle, M. & Bengler, K. (2013). Requirements for cooperative vehicle guidance. *16th International IEEE Conference*, 1656–1661.
- Dawson, M. E., Schell, A. M. & Courtney, C. G. (2011). The Skin Conductance Response, Anticipation, and Decision-Making. *Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics*, *4*(2), 111–116.
- Dawson, M. E., Schell, A. M. & Filion, D. L. (2007). The Electrodermal System. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary & G. G. Berntson (Hrsg.),

- Handbook of Psychophysiology* (S. 159–181). Cambridge: Cambridge University Press.
- de Waard, D., van der Hulst, M., Hoedemaker, M. & Brookhuis, K. A. (1999). Driver Behavior in an Emergency Situation in the Automated Highway System. *Transportation Human Factors*, 1(1), 67–82.
- Deutsche Gesellschaft für Psychologie. (2007). *Richtlinien zur Manuskriptgestaltung* (3 Aufl.). Göttingen: Hogrefe.
- Dimitrov, M., Phipps, M., Zahn, T. P. & Grafman, J. (1999). A thoroughly modern gage. *Neurocase*, 5(4), 345–354.
- Dudenredaktion (Hrsg.). (2015). *Duden: Deutsches Universalwörterbuch* (8 Aufl.). Berlin: Dudenverlag.
- Dunn, B. D., Dalgeish, T. & Lawrence, A. D. (2006). The somatic marker hypothesis: A critical evaluation. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 30(2), 239–271.
- Edelberg, R. (1967). Electrical properties of the skin. In C. C. Brown (Hrsg.), *Methods in psychophysiology* (S. 1–53). Baltimore: Williams & Wilkins.
- Endsley, M. R. (1988). Design and Evaluation for Situation Awareness Enhancement. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 32(2), 97–101.
- Endsley, M. R. (2000). Theoretical Underpinnings of Situation Awareness: A Critical Review. In M. R. Endsley & D. J. Garland (Hrsg.), *Situation Awareness* (S. 5–32). Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Endsley, M. R. (2013). Situation Awareness. In J. D. Lee & A. Kirlik (Hrsg.), *The Oxford Handbook of Cognitive Engineering* (S. 88–108). New York: Oxford University Press.

- Epstein, S. (1994). Integration of the cognitive and the psychodynamic unconscious. *American Psychologist*, 49(8), 709–724.
- Evans, J. S. B. T. (2003). In two minds: dual-process accounts of reasoning. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(10), 454–459.
- Evans, J. S. B. T. & Stanovich, K. E. (2013). Dual-Process Theories of Higher Cognition: Advancing the Debate. *Perspectives on Psychological Science*, 8(3), 223–241.
- Fastenmeier, W. & Gstalter, H. (2007). Driving task analysis as a tool in traffic safety research and practice. *Safety Science*, 45(9), 952–979.
- Field, A. (2009). *Discovering Statistics Using SPSS* (3 Aufl.). London: SAGE Publications.
- Fitts, P. M. (1951). *Human engineering for an effective air navigation and traffic control system* (Tech. Rep.). Washington, D.C.
- Franke, U. & Gehrig, S. (2015). Stereosehen. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (S. 395–420). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Fritsch, F. N. & Carlson, R. E. (1980). Monotone Piecewise Cubic Interpolation. *SIAM Journal on Numerical Analysis*, 17(2), 238–246.
- Fuller, R. (2005). Towards a general theory of driver behaviour. *Accident Analysis & Prevention*, 37(3), 461–472.
- Fuller, R. (2011). Driver Control Theory: From Task Difficulty Homeostasis to Risk Allostasis. In B. E. Porter (Hrsg.), *Handbook of traffic psychology* (S. 13–26). London and Waltham, MA: Academic Press.
- Gibson, J. J. & Crooks, L. E. (1938). A Theoretical Field-Analysis of Automobile-Driving. *The American Journal of Psychology*, 51(3), 453–471.

- Grote, G., Wäfler, T., Ryser, C., Weik, S., Zölch, M. & Windischer, A. (1999). *Wie sich Mensch und Technik sinnvoll ergänzen: Die Analyse automatisierter Produktionssysteme mit KOMPASS* (Bd. 19). Zürich: vdf Hochschulverlag.
- Gstalter, H. (1988). Verkehrspsychologie. In R. Asanger & G. Wenninger (Hrsg.), *Handwörterbuch der Psychologie* (S. 822–828). München: Psychologie Verlags.
- Heine, T., Walther, A. & Deml, B. (2016). Risikowahrnehmung junger Autofahrer in Überholssituationen. In M. Jäger (Hrsg.), *Arbeit in komplexen Systemen –Digital, vernetzt, human?!* Dortmund: GFA Press.
- Helander, M. (1978). Applicability of Drivers' Electrodermal Response to the Design of the Trafik Environment. *Journal of Applied Psychology*, 63(4), 481–488.
- Hergovich, A., Arendasy, M. E., Sommer, M. & Bognar, B. (2007). The Vienna Risk-Taking Test – Traffic: A New Measure of Road Traffic Risk-Taking. *Journal of Individual Differences*, 28(4), 198–204.
- Hergovich, A., Bognar, B., Arendasy, M. E. & Sommer, M. (2005). *WRBTV Wiener Risikobereitschaftstest Verkehr*. Mödling: Schuhfried GmbH.
- Hoffmann, J., Klenk, U., Luka, J., Schönherr, G. & Schwarzinger, M. (2012). *Verfahren und Vorrichtung zur Überwachung eines Fahrzeugführers* (Nr. DE102012003899 A1).
- Hulbert, S. F. (1957). Drivers' GSRS in Traffic. *Perceptual and Motor Skills*, 7(3), 303–315.
- James, W. (1884). What is an emotion? *Mind*, 9(34), 188–205.
- James, W. (1915). *Psychology*. New York: Henry Holt.

- Jenkinson, P. M., Baker, S. R., Edelstyn, N. M. & Ellis, S. J. (2008). Does Autonomic Arousal Distinguish Good and Bad Decisions? Healthy Individuals' Skin Conductance Reactivity During the Iowa Gambling Task. *Journal of Psychophysiology*, 22(3), 141–149.
- Johannsen, G. (1993). *Mensch-Maschine-Systeme*. Berlin and Heidelberg: Springer-Verlag.
- Kahneman, D. (2012). *Thinking, fast and slow*. London: Penguin Books.
- Kallus, W. (2009). Situationsbewusstsein und antizipative Prozesse. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 63(1), 17–22.
- Kinnear, N. (2009). *Driving as you feel: A psychological investigation of the novice driver problem*. Dissertation, Edinburgh Napier University, Edinburgh.
- Kinnear, N., Kelly, S. W., Stradling, S. & Thomson, J. (2013). Understanding how drivers learn to anticipate risk on the road: A laboratory experiment of affective anticipation of road hazards. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 1025–1033.
- Levinson, D. F. & Edelberg, R. (1985). Scoring Criteria for Response Latency and Habituation in Electrodermal Research: A Critique. *Psychophysiology*, 22(4), 417–426.
- Lewin, K. (1936). *Principles of Topological Psychology*. New York: McGraw-Hill.
- Litman, T. (2014). Ready or waiting. *Traffic Technology International*(1), 36–42.
- Maia, T. V. & McClelland, J. L. (2004). A reexamination of the evidence for the somatic marker hypothesis: What participants really know in the Iowa gambling task. *PNAS*, 101(45), 16075–16080.

- Mathôt, S., Schreij, D. & Theeuwes, J. (2012). OpenSesame: an open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior Research Methods*, *44*(2), 314–324.
- Müsseler, J. & Rieger, M. (Hrsg.). (2017). *Allgemeine Psychologie* (3 Aufl.). Berlin: Springer.
- Näätänen, R. & Summala, H. (1974). A model for the role of motivational factors in drivers' decision-making. *Accident Analysis & Prevention*, *6*(3-4), 243–261.
- O'Donnell, C. R. D. & Eggemeier, F. T. (1986). Workload Assessment Methodology. In K. R. Boff, L. Kaufman & J. P. Thomas (Hrsg.), *Handbook of perception and human performance* (S. 42-1 - 42-49). New York: Wiley.
- O'Neill, B. & Williams, A. (1998). Risk homeostasis hypothesis: a rebuttal. *Injury Prevention*, *4*, 92–93.
- Ouerchefani, R., Ouerchefani, N., Allain, P., Ben Rejeb, M. R. & Le Gall, D. (2017). Contribution of different regions of the prefrontal cortex and lesion laterality to deficit of decision-making on the Iowa Gambling Task. *Brain and Cognition*, *111*, 73–85.
- Persaud, N., McLeod, P. & Cowey, A. (2007). Post-decision wagering objectively measures awareness. *Nature Neuroscience*, *10*(2), 257–261.
- Piccinini, G. F. B., Rodrigues, C. M., Leitao, M. & Simoes, A. (2015). Reaction to a critical situation during driving with Adaptive Cruise Control for users and non-users of the system. *Safety Science*, *72*, 116–126.
- Popp, K., Schäfer, R., Schneider, C., Brähler, E., Decker, O., Hardt, J. & Franz, M. (2008). Faktorstruktur und Reliabilität der Toronto-

- Alexithymie-Skala (TAS-20) in der deutschen Bevölkerung. *Psychotherapie Psychosomatik Medizinische Psychologie*, 58(5), 208–214.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs, and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models. *IEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-13(3), 257–266.
- Rasmussen, J. (1986). *Information Processing and Human–Machine Interaction. An Approach to Cognitive Engineering*. New York: Elsevier.
- Rosen, R. (2012). *Anticipatory Systems: Philosophical, Mathematical, and Methodological Foundations* (2 Aufl.). New York: Springer.
- Rothermund, K. & Eder, A. (2011). *Allgemeine Psychologie: Motivation und Emotion*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- SAE International. (2014). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems* (Tech. Rep. Nr. J3016).
- Sato, K., Kang, W. H. & Sato, K. T. (1989). Biology Normal of sweat glands and their disorders. I. sweat gland function. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 20(4), 537–563.
- Schulz, K.-H. (2008). Psychoneuroimmunologie. In A. von Leupoldt & T. Ritz (Hrsg.), *Verhaltensmedizin* (S. 93–111). Stuttgart: Kohlhammer.
- Slovic, P., Finucane, M. L., Peters, E. & MacGregor, D. G. (2002). The affect heuristic. In T. Gilovich, D. Griffin & D. Kahneman (Hrsg.), *Heuristics and Biases* (S. 397–420). New York: Cambridge University Press.

- Slovic, P., Finucane, M. L., Peters, E. & MacGregor, D. G. (2004). Risk as Analysis and Risk as Feelings: Some Thoughts about Affect, Reason, Risk, and Rationality. *Risk Analysis*, 24(2), 311–322.
- Slovic, P. & Peters, E. (2006). Risk Perception and Affect. *Current Directions in Psychological Science*, 15(6), 322–325.
- Sommer, K. C. (2013). *Vorausschauendes Fahren: Erfassung, Beschreibung und Bewertung von Antizipationsleistungen im Straßenverkehr*. Dissertation, Universität Regensburg, Regensburg.
- Stanovich, K. E. & West, R. F. (2000). Individual differences in reasoning: Implications for the rationality debate? *Behavioral and Brain Sciences*, 23(5), 645–726.
- Statistisches Bundesamt. (2016). *Verkehrsunfälle 2015: Zeitreihen* (Tech. Rep.). Wiesbaden.
- Straßenverkehrs-Ordnung vom 6. März 2013 (BGBl. I S. 367), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 17. Juni 2016 (BGBl. I S. 1463) geändert worden ist.* (2013).
- Strater, L. D., Reynolds, J. P., Faulkner, L. A., Birch, D. K., Hyatt, J., Swetnam, S. & Endsley, M. R. (2004). PC-Based Tools to Improve Infantry Situation Awareness. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 48(3), 668–672.
- Summala, H. (1988). Risk control is not risk adjustment: the zero-risk theory of driver behaviour and its implications. *Ergonomics*, 31(4), 491–506.
- Taylor, D. H. (1964). Drivers' galvanic skin response and the risk of accident. *Ergonomics*, 7(4), 439–451.

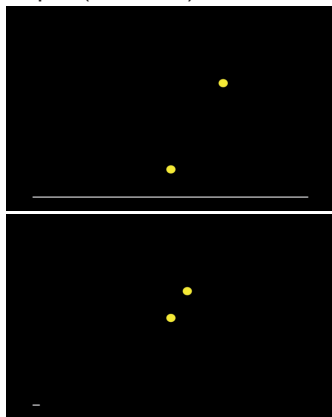
- Thier, P. (2012). Die funktionelle Architektur des präfrontalen Kortex. In H.-O. Karnath & P. Thier (Hrsg.), *Kognitive Neurowissenschaften* (S. 575–583). Berlin: Springer.
- Tu, L. (2016). *Experimentelle Untersuchung der Rolle von emotionalen Prozessen bei der Wahrnehmung von Kollisionssituationen im Kontext der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion*. Unveröffentlichte Bachelorarbeit, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe.
- Vaa, T. (2001). Cognition and emotion in driver behaviour models: Some critical viewpoints. In *Proceedings of the 14th ICTCT workshop*. Caserta.
- Vaa, T. (2004). *Survival or deviance? A model for driver behaviour: (English summary of Norwegian report)* (Tech. Rep. Nr. 666/2003). Oslo.
- Vaa, T. (2007). Modelling Driver Behaviour on Basis of Emotions and Feelings: Intelligent Transport Systems and Behavioural Adaptations. In P. C. Cacciabue (Hrsg.), *Modelling driver behaviour in automotive environments* (S. 208–232). London: Springer.
- Vaa, T. (2013). Proposing a Risk Monitor Model Based on Emotions and Feelings: Exploring the Boundaries of Perception and Learning. In M. A. Regan, J. D. Lee & T. W. Victor (Hrsg.), *Driver distraction and inattention* (S. 103–119). Surrey: Ashgate.
- Venables, P. H. & Christie, M. J. (1980). Electrodermal activity. In I. Martin & P. H. Venables (Hrsg.), *Techniques in psychophysiology* (S. 3–67). New York: Wiley.
- Vollrath, M. & Krems, J. (2011). *Verkehrspsychologie: Ein Lehrbuch für Psychologen, Ingenieure und Informatiker*. Kohlhammer Verlag.
- Walach, H. (2009). *Psychologie - Wissenschaftstheorie, philosophische Grundlagen und Geschichte* (2 Aufl.). Kohlhammer Verlag.

- Wickens, C. D., Hollands, J. G., Banbury, S. & Parasuraman, R. (2013). *Engineering psychology and human performance* (4. Aufl.). Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education.
- Wilde, G. J. S. (1982). The Theory of Risk Homeostasis: Implications for Safety and Health. *Risk Analysis*, 2(4), 209–225.
- Winner, H. (2015). Quo vadis, FAS? In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (S. 1167–1186). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Winter, J. de & Hancock, P. A. (2015). Reflections on the 1951 Fitts List: Do Humans Believe Now that Machines Surpass them? *Procedia Manufacturing*, 3, 5334–5341.
- Wirtz, M. (2004). Über das Problem fehlender Werte: Wie der Einfluss fehlender Informationen auf Analyseergebnisse entdeckt und verringert werden kann. *Rehabilitation*, 43(2), 109–115.
- Wirtz, M. (Hrsg.). (2014). *Dorsch - Lexikon der Psychologie* (17. Aufl.). Bern: Verlag Hans Huber.
- Wolf, I. (2015). Wechselwirkung Mensch und autonomer Agent. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz & H. Winner (Hrsg.), *Autonomes Fahren* (S. 103–125). Berlin: Springer Vieweg.

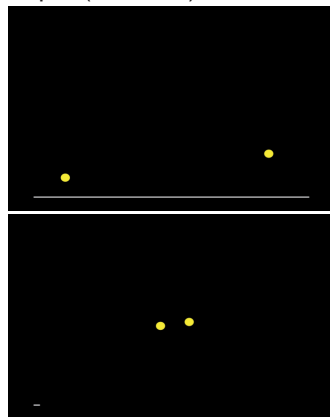
Anhang

A Anhang Experiment I

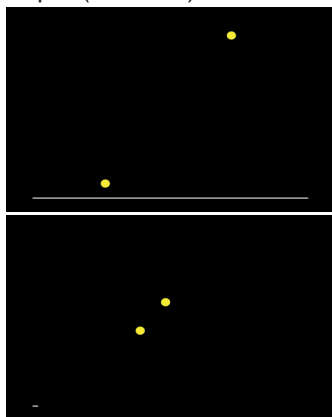
Clip 1 (Kollision)



Clip 2 (Kollision)



Clip 3 (Kollision)



Clip 4 (Kollision)

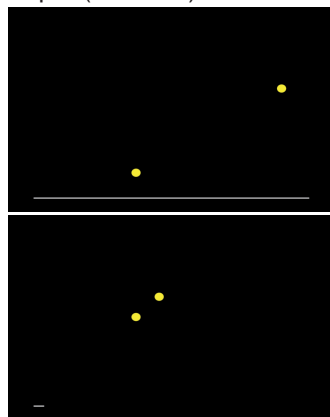
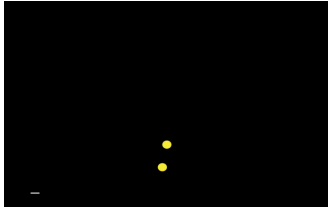
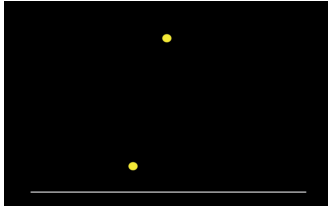
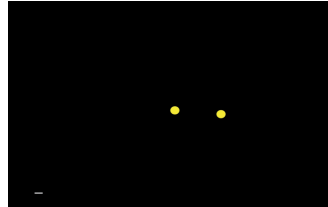
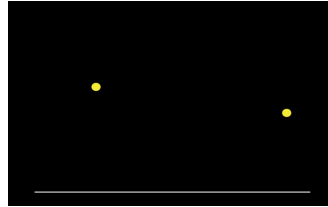


Abb. A.1: Collision Detection Task Teil 1. Das jeweils obere Bild zeigt die Startposition der gelben Kreise, das darunter liegende Bild zeigt die Endposition der beiden Kreise vor dem Ausblenden. In der Klammer wird angegeben, ob es sich um eine Kollisionssituation (Kollision) oder Nicht-Kollisionssituation handelt (keine Kollision).

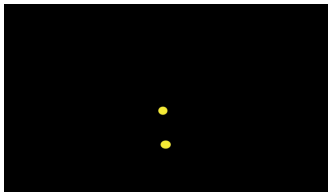
Clip 5 (Kollision)



Clip 6 (Kollision)



Clip 7 (Kollision)



Clip 8 (Kollision)

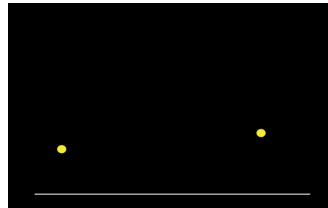


Abb. A.2: Collision Detection Task Teil 2. Das jeweils obere Bild zeigt die Startposition der gelben Kreise, das darunter liegende Bild zeigt die Endposition der beiden Kreise vor dem Ausblenden. In der Klammer wird angegeben, ob es sich um eine Kollisionssituation (Kollision) oder Nicht-Kollisionssituation (keine Kollision).

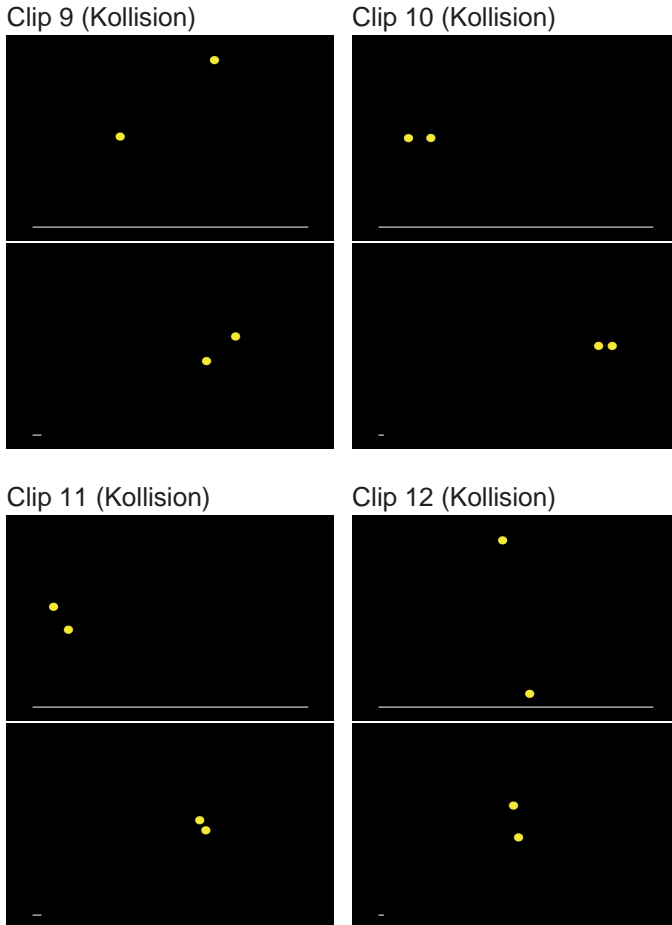


Abb. A.3: Collision Detection Task Teil 3. Das jeweils obere Bild zeigt die Startposition der gelben Kreise, das darunter liegende Bild zeigt die Endposition der beiden Kreise vor dem Ausblenden. In der Klammer wird angegeben, ob es sich um eine Kollisionssituation (Kollision) oder Nicht-Kollisionssituation handelt (keine Kollision).

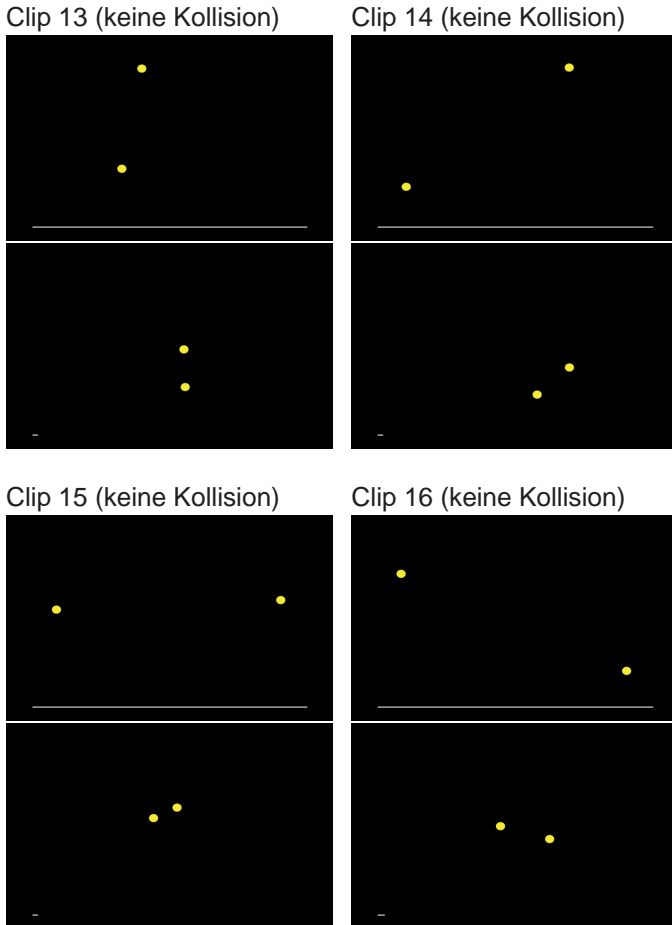


Abb. A.4: Collision Detection Task Teil 4. Das jeweils obere Bild zeigt die Startposition der gelben Kreise, das darunter liegende Bild zeigt die Endposition der beiden Kreise vor dem Ausblenden. In der Klammer wird angegeben, ob es sich um eine Kollisionssituation (Kollision) oder Nicht-Kollisionssituation handelt (keine Kollision).

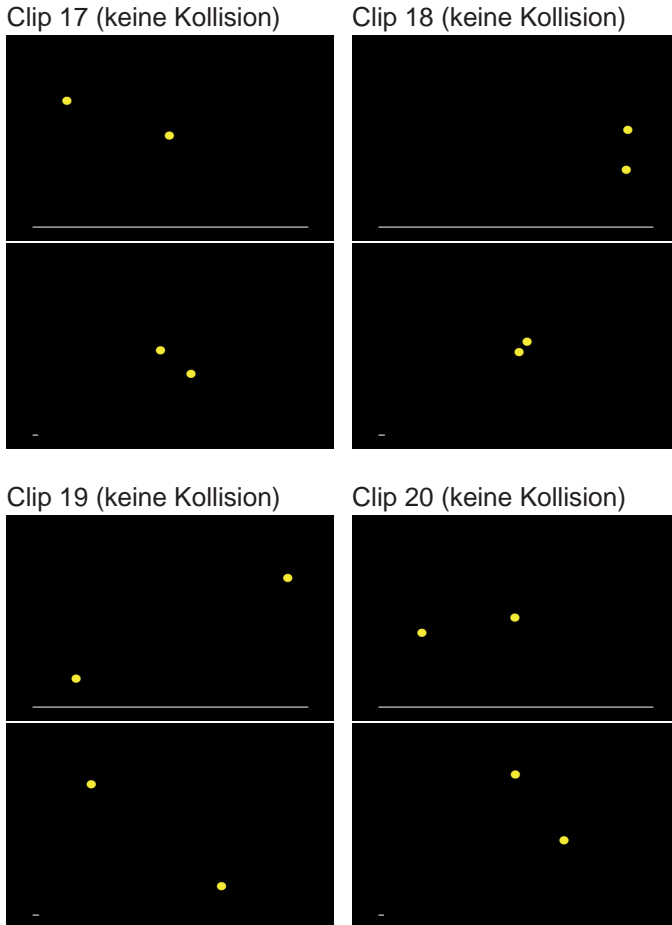


Abb. A.5: Collision Detection Task Teil 5. Das jeweils obere Bild zeigt die Startposition der gelben Kreise, das darunter liegende Bild zeigt die Endposition der beiden Kreise vor dem Ausblenden. In der Klammer wird angegeben, ob es sich um eine Kollisionssituation (Kollision) oder Nicht-Kollisionssituation handelt (keine Kollision).

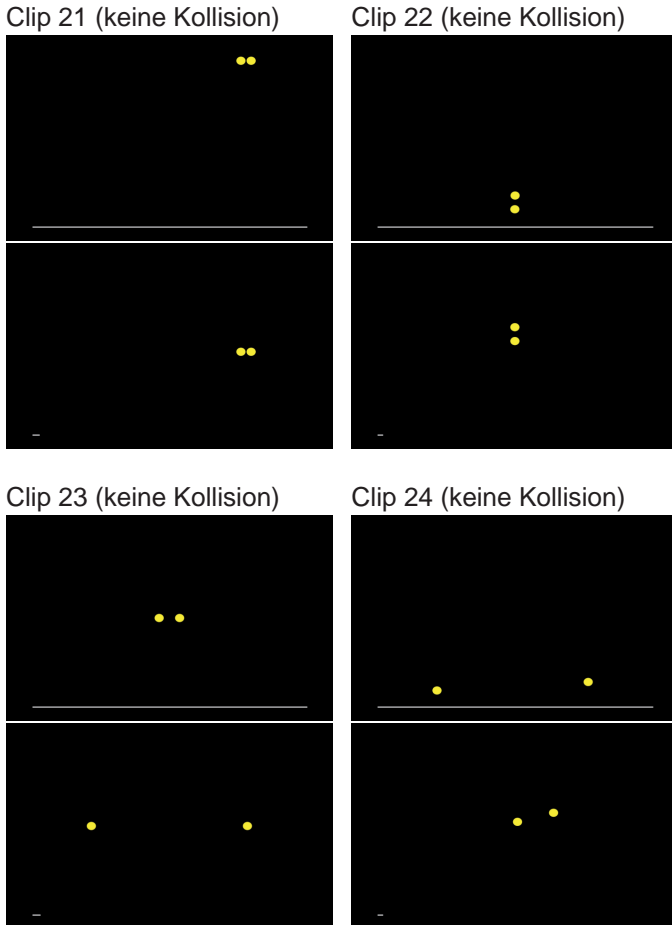


Abb. A.6: Collision Detection Task Teil 6. Das jeweils obere Bild zeigt die Startposition der gelben Kreise, das darunter liegende Bild zeigt die Endposition der beiden Kreise vor dem Ausblenden. In der Klammer wird angegeben, ob es sich um eine Kollisionssituation (Kollision) oder Nicht-Kollisionssituation handelt (keine Kollision).



VP: _____



Karlsruher Institut für Technologie
Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation
 Prof. Dr.-Ing. Barbara Deml

Altes Maschinenbaugebäude
 Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe
 Telefon (0721) 608-44250
 Telefax (0721) 608-47935
 E-Mail info@ifab.kit.edu

Abschlussfragebogen

Sie haben es fast geschafft! Der letzte Fragebogen erfasst noch ein paar statistische Daten zu Ihrer Person. Vielen Dank für Ihre Mithilfe!

<p>1 Geschlecht</p> <p><input type="radio"/> männlich <input type="radio"/> weiblich</p>	<p>2 Händigkeit</p> <p><input type="radio"/> Rechtshänder <input type="radio"/> Linkshänder</p>
<p>3 Alter (Jahre)</p> <p>_____</p>	<p>4 Beruf</p> <p><input type="radio"/> Student/Studentin <input type="radio"/> Berufstätig <input type="radio"/> Sonstiges</p>
<p>5 Ihr höchster Schulabschluss:</p> <p><input type="radio"/> Hauptschule <input type="radio"/> Realschule <input type="radio"/> Fachhochschulreife <input type="radio"/> Gymnasium/Abitur <input type="radio"/> Studium (abgeschlossen, z.B. Bachelor)</p>	<p>6 Seit wann sind Sie im Besitz eines Führerscheins (Jahr)?</p> <p>_____</p>
<p>7 Wie oft fahren Sie durchschnittlich selbst Auto?</p> <p><input type="radio"/> täglich <input type="radio"/> 3-4mal in der Woche <input type="radio"/> einmal in der Woche <input type="radio"/> alle 2 Wochen <input type="radio"/> einmal im Monat <input type="radio"/> einmal im halben Jahr <input type="radio"/> weniger als einmal im halben Jahr <input type="radio"/> nie</p>	<p>8 Wie viele Kilometer fahren Sie durchschnittlich selbst pro Woche Auto (ca.)?</p> <p>_____</p>
<p>9 Wie oft fahren Sie durchschnittlich Fahrrad?</p> <p><input type="radio"/> täglich <input type="radio"/> 3-4mal in der Woche <input type="radio"/> einmal in der Woche <input type="radio"/> alle 2 Wochen <input type="radio"/> einmal im Monat <input type="radio"/> einmal im halben Jahr <input type="radio"/> weniger als einmal im halben Jahr <input type="radio"/> nie</p>	<p>10 Wie viele Kilometer fahren Sie durchschnittlich selbst pro Woche Fahrrad (ca.)?</p> <p>_____</p>

Abb. A.7: Fragebogen zur Erfassung soziodemographischer und mobilitätsbezogener Variablen in Experiment 1.

B Anhang Experiment II

Tab. B.1: Mittelwerte und Standardabweichungen für die kompletten Hautleitfähigkeitsdaten (links) und nach der Entfernung der Situationen, bei denen ein starkes Einatmen erkannt wurde (rechts).

Video	Daten komplett			Ohne Atemartefakte		
	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Video 1	30	1.46	0.75	30	1.46	0.75
Video 2	30	1.28	0.83	30	1.28	0.83
Video 3	30	1.52	0.75	30	1.52	0.75
Video 4	30	1.65	0.86	29	1.61	0.85
Video 5	30	1.55	0.89	28	1.48	0.88
Video 6	30	1.10	0.81	30	1.10	0.81
Video 7	30	1.10	0.74	30	1.10	0.74
Video 8	30	1.16	0.72	28	1.14	0.74
Video 9	30	1.31	0.77	30	1.31	0.77
Video 10	30	1.27	0.85	29	1.22	0.83
Video 11	30	1.27	0.76	29	1.27	0.78
Video 12	30	1.35	0.87	26	1.31	0.86
Video 13	30	1.29	0.80	29	1.27	0.81
Video 14	30	1.19	0.95	30	1.19	0.95
Video 15	30	1.52	0.88	29	1.54	0.89
Video 16	30	1.33	0.89	29	1.31	0.90
Video 17	30	1.12	0.65	30	1.12	0.65
Video 18	30	1.77	0.84	30	1.77	0.84
Video 19	30	1.29	0.85	30	1.29	0.85
Video 20	30	1.13	0.69	29	1.06	0.60
Video 21	30	1.28	0.91	29	1.24	0.90
Video 22	30	1.51	0.88	30	1.51	0.88
Video 23	30	1.29	0.95	27	1.24	0.88
Video 24	30	1.32	0.77	30	1.32	0.77



Abb. B.1: Wiener Risikobereitschaftstest Verkehr Teil 1.

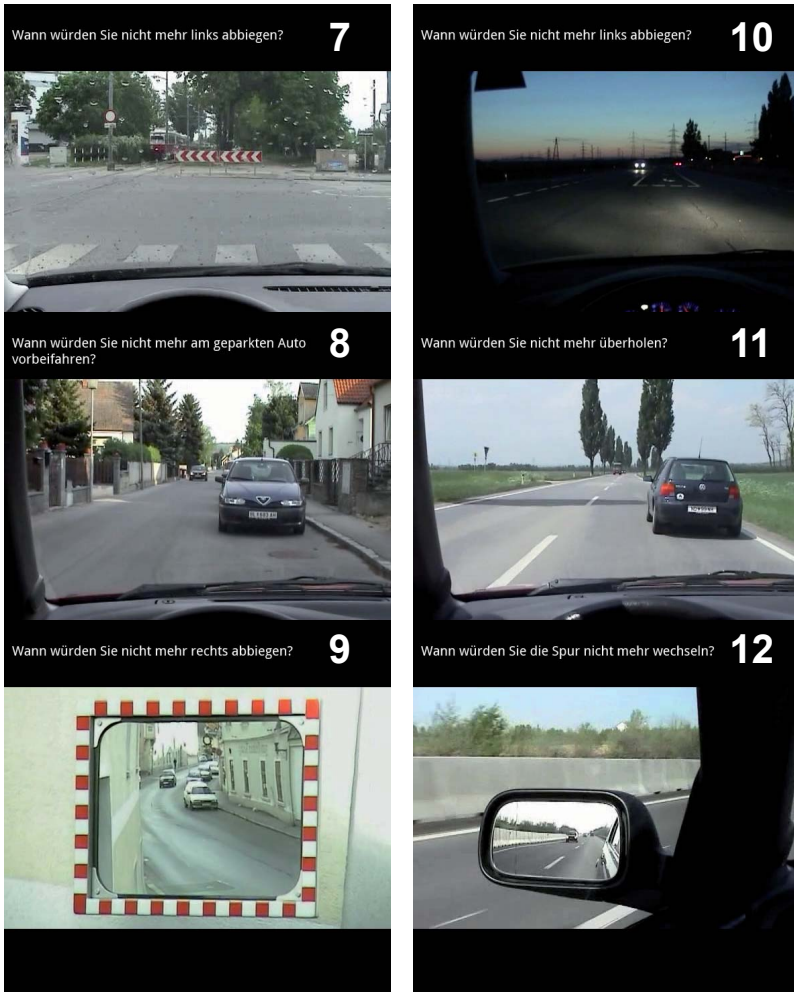


Abb. B.2: Wiener Risikobereitschaftstest Verkehr Teil 2.

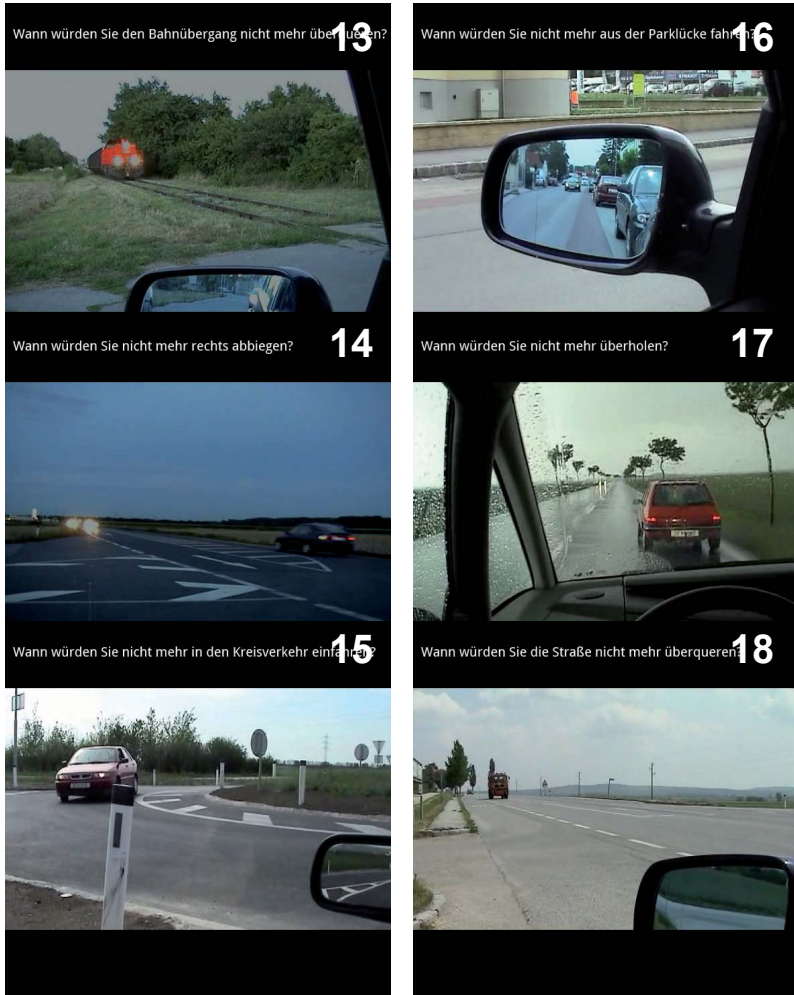


Abb. B.3: Wiener Risikobereitschaftstest Verkehr Teil 3.

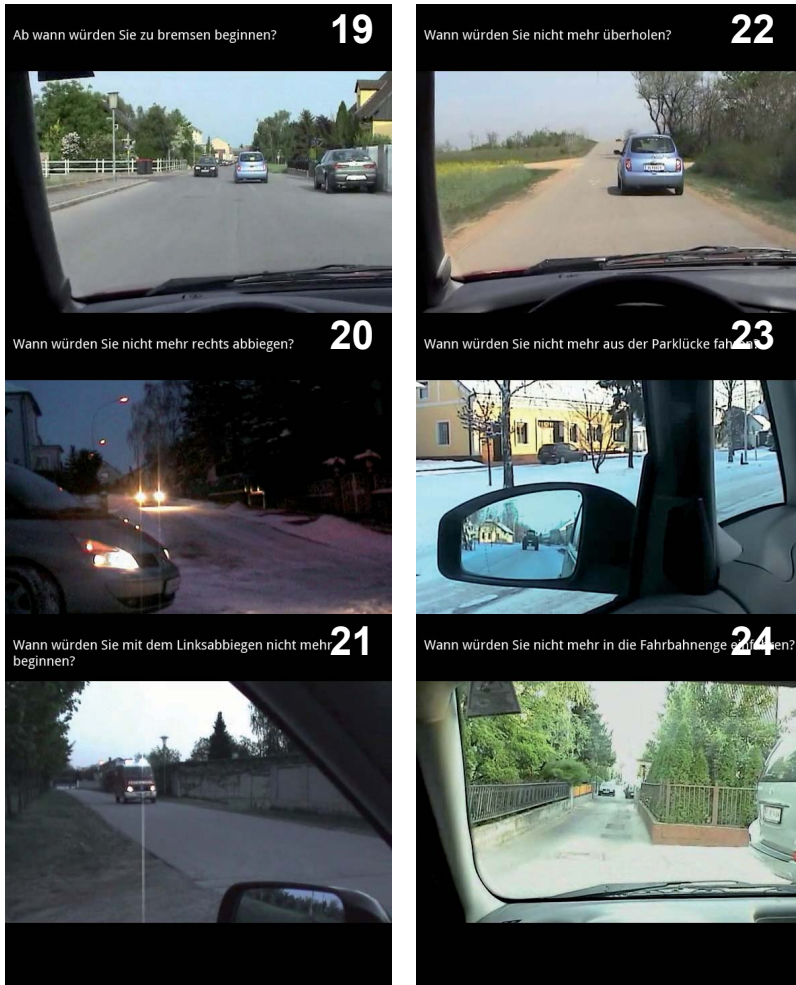


Abb. B.4: Wiener Risikobereitschaftstest Verkehr Teil 4.



VP: _____



Karlsruher Institut für Technologie
Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation
 Prof. Dr.-Ing. Barbara Deml

Altes Maschinenbaugebäude
 Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe
 Telefon (0721) 608-44250
 Telefax (0721) 608-47935
 E-Mail info@ifab.kit.edu

Abschlussfragebogen

Sie haben es fast geschafft! Der letzte Fragebogen erfasst noch ein paar statistische Daten zu Ihrer Person. Vielen Dank für Ihre Mithilfe!

<p>1 Geschlecht <input type="radio"/> männlich <input type="radio"/> weiblich</p>	<p>2 Händigkeit <input type="radio"/> Rechtshänder <input type="radio"/> Linkshänder</p>
<p>3 Alter (Jahre) _____</p>	<p>4 Beruf <input type="radio"/> Student/Studentin <input type="radio"/> Berufstätig <input type="radio"/> Sonstiges</p>
<p>5 Ihr höchster Schulabschluss: <input type="radio"/> Hauptschule <input type="radio"/> Realschule <input type="radio"/> Fachhochschulreife <input type="radio"/> Gymnasium/Abitur <input type="radio"/> Studium (abgeschlossen, z.B. Bachelor)</p>	<p>6 Ihre Fahrausbildung <input type="radio"/> Ich bin aktuell in der Fahrausbildung <input type="radio"/> Ich habe meine Fahrausbildung vor weniger als drei Monaten beendet <input type="radio"/> Ich habe meine Fahrausbildung vor mehr als drei Monaten beendet; bitte geben Sie an, seit wann Sie einen Führerschein besitzen (Jahr): _____</p>
<p>7 Wie oft fahren Sie durchschnittlich selbst Auto? <input type="radio"/> täglich <input type="radio"/> 3-4mal in der Woche <input type="radio"/> einmal in der Woche <input type="radio"/> alle 2 Wochen <input type="radio"/> einmal im Monat <input type="radio"/> einmal im halben Jahr <input type="radio"/> weniger als einmal im halben Jahr <input type="radio"/> nie</p>	<p>8 Wie viele Kilometer fahren Sie durchschnittlich selbst pro Woche Auto (ca.)? _____</p>
<p>9 Wie oft fahren Sie durchschnittlich Fahrrad? <input type="radio"/> täglich <input type="radio"/> 3-4mal in der Woche <input type="radio"/> einmal in der Woche <input type="radio"/> alle 2 Wochen <input type="radio"/> einmal im Monat <input type="radio"/> einmal im halben Jahr <input type="radio"/> weniger als einmal im halben Jahr <input type="radio"/> nie</p>	<p>10 Wie viele Kilometer fahren Sie durchschnittlich selbst pro Woche Fahrrad (ca.)? _____</p>

Abb. B.5: Fragebogen zur Erfassung soziodemographischer und mobilitätsbezogener Variablen in Experiment II und Experiment III.

C Anhang Experiment III

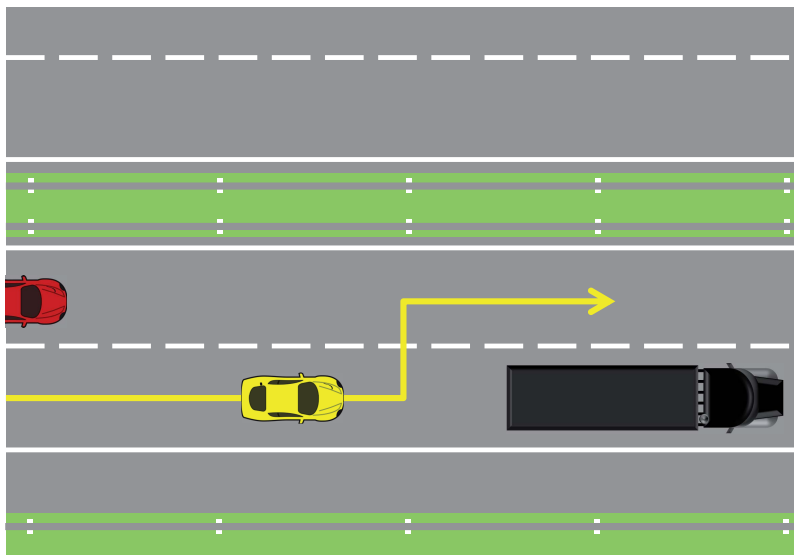


Abb. C.1: Schematische Skizze zur Instruktion der Probanden für das Szenario Autobahn.

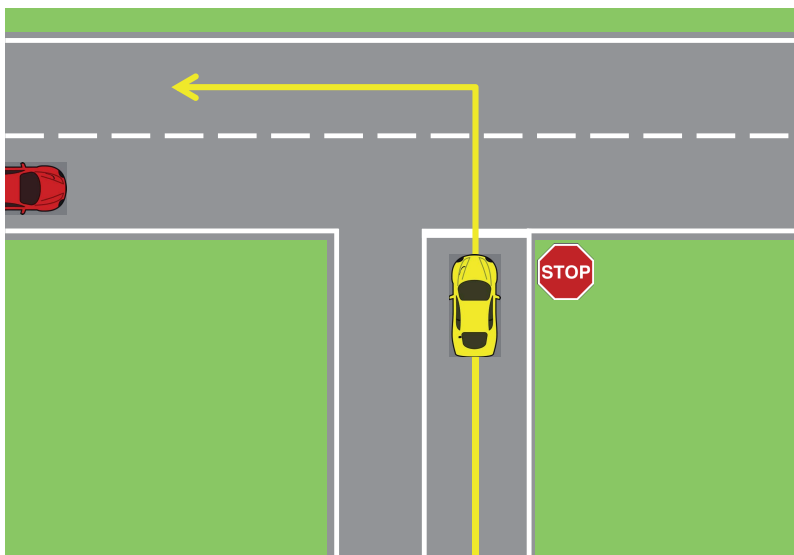


Abb. C.2: Schematische Skizze zur Instruktion der Probanden für das Szenario Kreuzung.

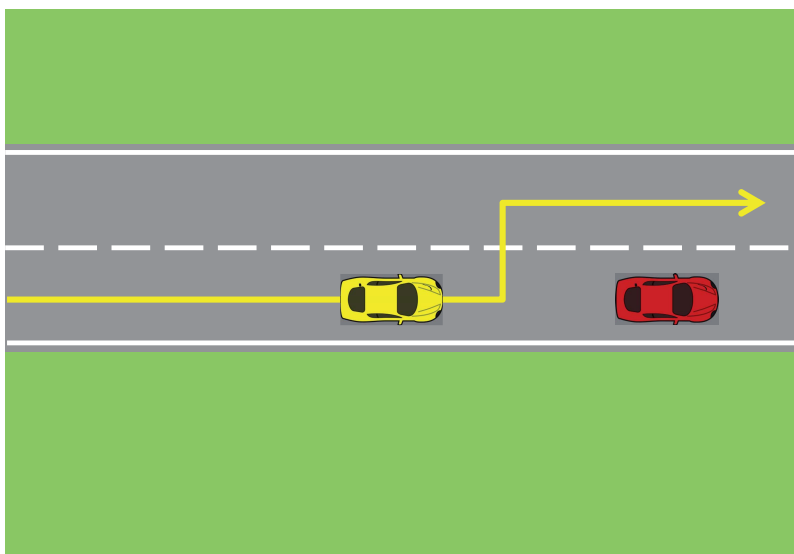


Abb. C.3: Schematische Skizze zur Instruktion der Probanden für das Szenario Landstraße.

Tab. C.1: Mittelwerte und Standardabweichungen für die kompletten Hautleitfähigkeitsdaten (links) und nach der Entfernung der Situationen, bei denen ein starkes Einatmen erkannt wurde (rechts).

Situation	Daten komplett			Ohne Atemartefakte		
	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
AS160N	32	1.37	0.55	32	1.37	0.55
AS160L	32	1.99	0.66	30	1.97	0.66
AS120N	32	1.28	0.65	32	1.28	0.65
AS120L	32	1.70	0.68	30	1.70	0.69
AK160N	32	1.21	0.68	31	1.22	0.69
AK160L	32	2.01	0.48	31	1.98	0.45
AK120N	32	1.34	0.62	31	1.30	0.59
AK120L	32	1.68	0.68	31	1.67	0.69
KS80N	32	1.81	0.70	25	1.72	0.72
KS80L	32	2.24	0.67	24	2.24	0.66
KS50N	32	1.71	0.66	27	1.72	0.66
KS50L	32	1.87	0.78	28	1.83	0.77
KL80N	32	1.94	0.70	25	1.93	0.64
KL80L	32	2.38	0.57	22	2.36	0.60
KL50N	32	1.84	0.64	26	1.76	0.63
KL50L	32	1.83	0.84	29	1.82	0.85
LP70N	32	1.31	0.67	32	1.31	0.67
LP70L	32	1.39	0.74	32	1.39	0.74
LP50N	32	1.13	0.68	31	1.10	0.67
LP50L	32	1.46	0.71	31	1.47	0.72
AS160C	32	2.05	0.83	30	2.03	0.84