

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
Lehrstuhl für Produktentwicklung

Charakterisierung und Gestaltung des Fahr-Erlebens der Längsführung von Elektrofahrzeugen

Thomas X. Eberl

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität
München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Veit St. Senner
Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann
2. Univ.-Prof. Dr. phil. Klaus Bengler

Die Dissertation wurde am 21.02.2013 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen
am 24.01.2014 angenommen.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	1
1.1 Zielsetzung der Arbeit	2
1.2 Inhaltliche Einordnung der Arbeit	2
1.3 Struktur der Arbeit	3
2. Mensch-Maschine-Interaktion der Fahrzeugführung	5
2.1 Merkmale des Fahrers	5
2.1.1 Regelkreis Fahrer-Fahrzeug-Umfeld	5
2.1.2 Wahrnehmung	8
2.1.3 Abgrenzung verarbeitender kognitiver Prozesse	9
2.1.4 Durchführung von Bewegungen mit dem Bewegungsapparat	12
2.2 Merkmale des Fahrzeugs	13
2.2.1 Längsdynamik eines Elektrofahrzeugs	13
2.2.2 Bedienelemente für die Fahrzeuglängsführung	16
2.3 Merkmale des Verkehrsumfelds	20
2.3.1 Charakterisierung des Verkehrsraumes	21
2.4 Methoden zur Evaluierung der Fahrzeuglängsführung	22
2.4.1 Arbeiten mit ingenieurwissenschaftlichem Ansatz	23
2.4.2 Arbeiten mit psychologischem Ansatz	23
2.4.3 Arbeiten mit interdisziplinärem Ansatz	25
2.5 Präzisierung der Problemstellung	28
3. Erleben der Fahrzeuglängsführung	31
3.1 Auswahl relevanter Dimensionen	31
3.1.1 Bekannte Erlebensdimensionen aus der Literatur	31
3.1.2 Konkretisierung der Erlebensdimensionen mit explorativem Vorgehen	33
3.2 Einordnung verschiedener Beschreibungsdimensionen der Fahrzeuglängsführung	35
3.2.1 Sicherheit	37
3.2.2 Energiegefühl	38
3.2.3 Diskomfort	38

3.2.4	Komfort	40
3.2.5	Erfüllung spezifischer psychologischer Bedürfnisse	41
3.2.6	Einwirkende Randbedingungen	42
3.2.7	Wechselwirkungen zwischen den Teilelementen	44
3.2.8	Beschreibung mit Hilfe objektiver Kennwerte	46
3.2.9	Ableitung von Hypothesen zum Erleben der Fahrzeuglängsführung	47
4.	Grundlagen der Versuchsmethodik und Statistik	49
4.1	Versuchsmethodische Grundlagen	49
4.2	Grundlagen statistischer Methoden	50
5.	Charakterisierung möglicher Grundkonzepte	53
5.1	Versuchsmethodik	53
5.1.1	Herleitung möglicher Grundkonzepte	53
5.1.2	Vorstellung des Versuchsdesigns	56
5.1.3	Methodik und Ablauf der Datenerhebung	58
5.2	Ergebnisdarstellung	63
5.2.1	Sicherheit	65
5.2.2	Energiegefühl	69
5.2.3	Diskomfort	71
5.2.4	Komfort	74
5.2.5	Erlebter Produktcharakter und psychologische Bedürfnisse	78
5.2.6	Präferenz in spezifischen Fahrsituationen	81
5.2.7	Ausprägung einwirkender Randbedingungen	82
5.2.8	Charakterisierung an Hand objektiver Kennwerte	83
5.3	Ergebniszusammenfassung und Ableitung möglicher Gestaltungskonzepte	93
6.	Charakterisierung abgeleiteter Gestaltungskonzepte	99
6.1	Versuchsmethodik	99
6.1.1	Vorstellung der Gestaltungskonzepte	99
6.1.2	Vorstellung des Versuchsdesigns	101
6.1.3	Methodik und Ablauf der Datenerhebung	103
6.2	Ergebnisdarstellung	106

6.2.1	Sicherheit	107
6.2.2	Energiegefühl	109
6.2.3	Diskomfort	110
6.2.4	Komfort	112
6.2.5	Erfüllung psychologischer Bedürfnisse	114
6.2.6	Erlebter Produktcharakter	116
6.2.7	Präferenz in spezifischen Fahrsituationen	117
6.2.8	Ausprägung einwirkender Randbedingungen	118
6.2.9	Charakterisierung an Hand objektiver Kennwerte	118
6.3	Ergebniszusammenfassung	123
7.	Diskussion	127
7.1	Einschränkungen	127
7.2	Angewendete Methodik	128
7.2.1	Experimente zur Charakterisierung des Fahr-Erlebens	129
7.2.2	Beschreibungsdimensionen der Fahrzeuglängsführung	134
7.3	Bezug zur Fragestellung	136
7.4	Bezug zum Stand der Forschung	141
7.5	Bezug zur Praxis	144
7.6	Weiterer Forschungsbedarf	147
8.	Zusammenfassung und Ausblick	149
9.	Abkürzungsverzeichnis	151
10.	Literaturverzeichnis	155
11.	Anhang	167
11.1	Versuchsstrecken zur Charakterisierung möglicher Grundkonzepte	167
11.2	Fragebogen zur Charakterisierung möglicher Grundkonzepte	168
11.3	Versuchsstrecke zur Charakterisierung abgeleiteter Gestaltungskonzepte	171
11.4	Fragebogen zur Charakterisierung abgeleiteter Gestaltungskonzepte	172
11.5	Fahrverhalten im Experiment Charakterisierung abgel. Gestaltungskonzepte	179

1. Einleitung

Nach einem Bericht der Vereinten Nationen werden in 2030 mehr als 60 % der Weltbevölkerung in Städten leben (UNITED NATIONS 2008). Bereits aktuell kämpfen die Ballungsräume dieser Welt mit den aus dieser zunehmenden Verstädterung resultierenden Problemen, insbesondere der Luftverschmutzung (OECD 2012). Eine Möglichkeit zur Aufrechterhaltung der individuellen Mobilität unter Einhaltung möglicher Emissionsgrenzen stellen hierbei Elektrofahrzeuge dar.

Aktuell werden bereits von einigen Herstellern Elektrofahrzeuge am Markt angeboten, wobei der Absatz dieser Fahrzeuge hinter den Prognosen zurückbleibt. Gründe für den zurückhaltenden Absatz von Elektrofahrzeugen stellen einerseits der erhöhte Anschaffungspreis verglichen mit konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor dar, andererseits Unsicherheiten der Käufer (CORNET et al. 2012). Um Elektrofahrzeugen trotzdem zum Durchbruch zu verhelfen müssen die systemspezifisch begrenzenden Eigenschaften, wie die Reichweite und die damit verbundenen Mobilitätsmöglichkeiten, technisch optimiert und dem Käufer transparent gemacht werden. Zudem benötigen Elektrofahrzeuge Fahr-Erlebnisse, um für den Kunden attraktiv zu sein (FREIMANN 2012, WIETSCHTEL et al. 2012).

Daher gilt es bei der Entwicklung von Elektrofahrzeugen neben der Optimierung von technischen Merkmalen derartiger Fahrzeuge, auch gezielt das Fahr-Erleben weiter zu entwickeln. TISCHLER & RENNER (2007, S. 105) sehen beispielsweise das Fahr-Erleben als einen „zentralen Faktor für den Erfolg eines Automobils“ an. Das Fahr-Erleben an sich wird maßgeblich durch Eigenschaften geprägt, die in der unmittelbaren Interaktion mit dem Fahrzeug erlebbar sind (JÜRGENSOHN 2001). Im Vergleich zu konventionellen verbrennungsmotorisch angetriebenen Fahrzeugen bietet die Antriebscharakteristik des Elektromotors in Elektrofahrzeugen Potenzial zu einer wahrnehmbaren und erlebbaren Differenzierung. Neben der Fähigkeit des Betriebs in beiden Drehrichtungen aus dem Stillstand und der damit einhergehenden nicht zwingenden Notwendigkeit eines Schaltgetriebes, stellt der Generatorbetrieb eines Elektromotors den weiteren wesentlichen Unterschied im Vergleich zur Antriebscharakteristik eines Verbrennungsmotors dar (MITSCHKE & WALLENTOWITZ 2004).

Der Generatorbetrieb des Elektromotors in einem Elektrofahrzeug wird mit dem Begriff *Rekuperation* bezeichnet. Mit Hilfe der Rekuperation kann somit durch die Generatorwirkung des Elektromotors das Fahrzeug verzögert werden und zusätzlich, abgesehen von Wirkungsgradverlusten, die Differenz der kinetischen Energie in die Batterie eines derartigen Fahrzeugs zurückgespeichert werden. Dieser Vorgang wirkt sich deutlich positiv auf den Wirkungsgrad eines Elektrofahrzeugs aus, was zu einer höheren verfügbaren Reichweite bei entsprechender Nutzung dieser Funktion führt. Verglichen mit einem verbrennungsmotorisch angetriebenen Fahrzeug bietet demnach ein elektromotorischer Antriebsstrang ein höheres Potenzial des Verzögerungsmoments, dessen Beeinflussung durch den Fahrer mit Hilfe der Pedalerie einen Freiheitsgrad im Rahmen der Abstimmung derartiger Fahrzeuge darstellt. Die Prozesse und Tätigkeiten des Fahrers zur Beeinflussung der Längsgeschwindigkeit eines Fahrzeugs werden mit dem Begriff der *Fahrzeuglängsführung* bezeichnet und das am Antriebsstrang anliegende Verzögerungsmoment beim Lösen des Fahrpedals als *Schleppmoment*. Der Freiheitsgrad der Abstimmung des Schleppmoments im Zusammenspiel mit den Bedieneingaben und dem daraus resultierenden Erleben des Fahrers stellt die zentrale Fragestellung der vorliegenden Arbeit dar.

1.1 Zielsetzung der Arbeit

Aktuell am Markt verfügbare Fahrzeuge weisen unterschiedliche Fahrzeugabstimmungen des Schleppmoments auf (SAENGER 2011). Demgegenüber wird in der aktuellen Literatur häufig der Ansatz verfolgt, die Rekuperation mit Hilfe einer Kombination aus Bedienung mit Fahr- und Bremspedal im Fahrzeug umzusetzen (KIRCHNER et al. 2012), um so dem Fahrer ein Fahr-Erleben zu vermitteln, das dem eines verbrennungsmotorisch angetriebenen Fahrzeugs ähnelt. Durch die Ähnlichkeit zum Fahrzeugverhalten eines verbrennungsmotorisch angetriebenen Fahrzeugs können folglich auch etablierte Bewertungsmethoden eingesetzt und damit die Charakteristik der Bedienelemente Fahr- und Bremspedal ähnlich im Fahrzeugentwicklungsprozess abgestimmt werden. Um jedoch eine gegenüber einem verbrennungsmotorisch angetriebenen Fahrzeug geänderte Abstimmung des Schleppmoments zu bewerten, fehlt es in der Literatur sowohl an Bewertungsmethoden als auch an Gestaltungsrichtlinien.

Hierzu beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit folgenden Leitfragen:

- Mit welchen Aspekten kann das Erleben der Fahrzeuglängsführung charakterisiert werden?
- Wie kann die Ausprägung der Aspekte des Erlebens der Fahrzeuglängsführung ermittelt werden?
- Welche Auswirkung weisen verschiedene Abstimmungen des Schleppmoments auf das Erleben des Fahrers auf?
- Kann dem Fahrer durch eine gezielte Abstimmung des Schleppmoments ein positives Erleben der Fahrzeuglängsführung vermittelt werden?

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es demnach, Bewertungsmethoden und Gestaltungsempfehlungen zur Abstimmung des Schleppmoments von Elektrofahrzeugen herauszuarbeiten, die dem Fahrer ein positives Erleben der Fahrzeuglängsführung vermitteln und dadurch den Produktentwicklungsprozess bei der Ausgestaltung einer attraktiven Produkteigenschaft eines Elektrofahrzeugs zu unterstützen.

1.2 Inhaltliche Einordnung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit stellt einen Beitrag zur Charakterisierung und Gestaltung des Fahr-Erlebens am konkreten Beispiel der Rekuperation von Elektrofahrzeugen dar. Hierbei wird jedoch nicht der Anspruch einer umfassenden und abschließenden Bearbeitung der Thematik verfolgt, da dies den Rahmen einer einzelnen wissenschaftlichen Arbeit verlassen würde. Ausgehend von den Ergebnissen der Arbeit soll weit mehr eine gesamthafte Sicht auf das Zusammenspiel von konkreten Fahrzeugabstimmungsparametern mit dem System Fahrer-Fahrzeug-Umfeld aufgezeigt werden, um damit als Basis für weiterführende Forschungsarbeiten zu dienen.

Zur Charakterisierung des Erlebens der Fahrzeuglängsführung dient im Rahmen dieser Arbeit ein Vorgehen, das sich auf durchgeführte Probandenversuche stützt. Diese durchgeführten Probandenversuche stellen eine Kombination aus explorativen Studien und konkreten Experimenten dar. Ausgehend von der Charakterisierung des Erlebens der Fahrzeuglängs-

führung können folgend die Anforderungen und Bedürfnisse der Kunden beschrieben werden, was eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung erfolgreicher Produkte darstellt (PONN & LINDEMANN 2011).

1.3 Struktur der Arbeit

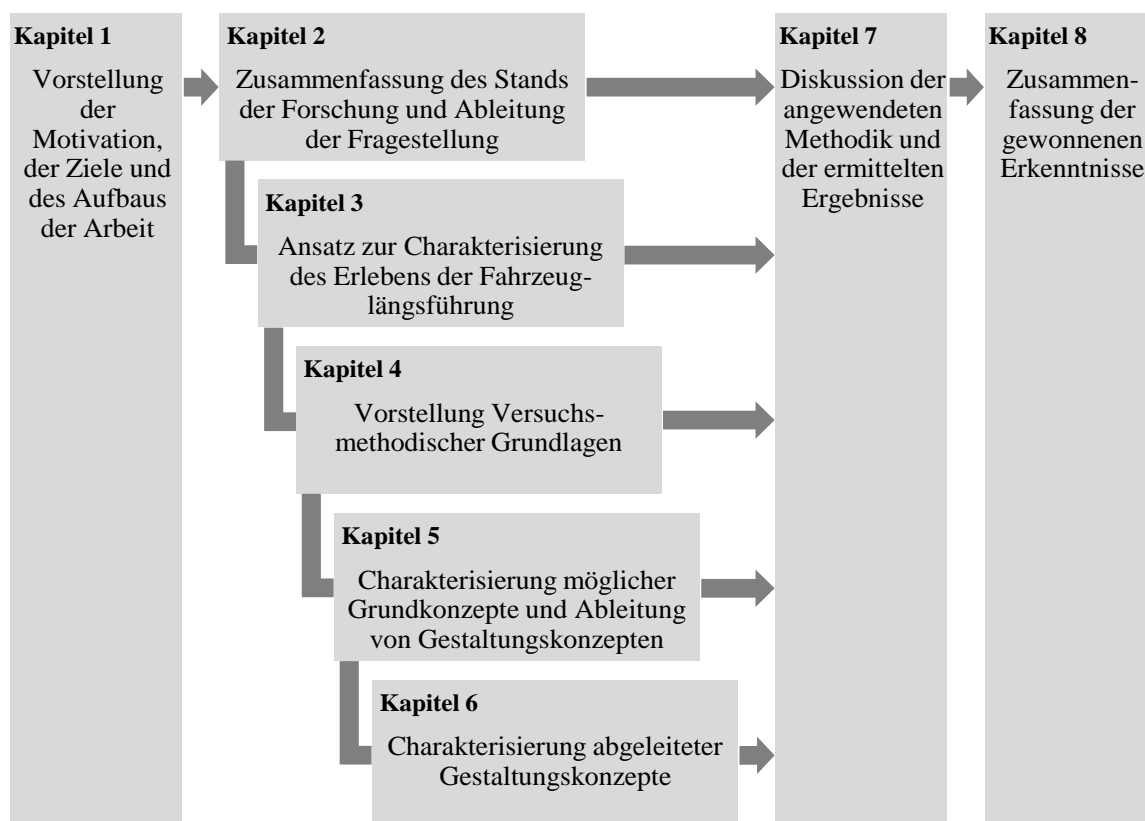


Abbildung 1.1: Überblick des Vorgehens und Zuordnung zu den einzelnen Kapiteln dieser Arbeit

Abbildung 1.1 stellt die Struktur dieser Arbeit mit der Zuordnung zu den einzelnen Kapiteln dar. Folgend an diese Einleitung erfolgt in Kapitel 2 eine Vorstellung des aktuellen Forschungsstands im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion Fahrzeugführung, welcher als Grundlage zur Ableitung der in dieser Arbeit untersuchten Forschungsfrage dient. Zur Charakterisierung des subjektiven Erlebens der Fahrzeuglängsführung erfolgt in Kapitel 3 eine Einordnung verschiedener Beschreibungsdimensionen, die als Ausgangsbasis für Hypothesen zur Bewertung verschiedener Konzepte dienen. Neben Aspekten, die das subjektive Erleben beschreiben, erfolgt eine Vorstellung objektiver Kennwerte mit Hilfe derer das subjektive Fahr-Erleben unterstützend beschrieben werden kann. In Kapitel 4 werden relevante versuchsmethodische Grundlagen vorgestellt. Darauf folgend wird in Kapitel 5 die Charakterisierung möglicher Grundkonzepte der Fahrzeuglängsführung vorgestellt sowie mögliche Gestaltungskonzepte der Fahrzeuglängsführung abgeleitet. In Kapitel 6 werden schließlich zwei ausgewählte Gestaltungskonzepte evaluiert. Die Gesamtdiskussion dieser Arbeit erfolgt in Kapitel 7 mit einem Bezug zur Fragestellung, zum Stand der Forschung, zur Praxis und einer Darstellung des weiteren Forschungsbedarfs. Abschließend erfolgt in Kapitel 8 eine Zusammenfassung der Kerninhalte dieser Arbeit.

2. Mensch-Maschine-Interaktion der Fahrzeugführung

Die Fahrzeugführung zählt zu den am intensivsten untersuchten Teilgebieten der Mensch-Maschine-Interaktion (JÜRGENSOHN 2001, ZOMOTOR 2000). Zur Einordnung der im Rahmen der Einleitung vorgestellten Fragestellung erfolgt zunächst eine Vorstellung des aktuellen Stands der Forschung. Da sich die Fragestellung im Bereich der Fahrzeugführung befindet, wird diese mit einem Überblick über das System Fahrer-Fahrzeug-Umfeld konkretisiert und anschließend werden aktuelle Ansätze zur Evaluation vorgestellt. Abschließend erfolgt in Abschnitt 2.5 eine Vorstellung der aus dem Stand der Forschung abgeleiteten Forschungsfrage. Die einzelnen Abschnitte innerhalb der Beschreibung des Stands der Forschung erheben hierbei nicht den Anspruch einer umfassenden vollständigen Beschreibung der Mensch-Maschine-Interaktion, ferner sollen durch diese dem Leser wichtige Grundlagen vermittelt werden, die dem Verständnis dieser Arbeit dienen.

2.1 Merkmale des Fahrers

Zur Beschreibung des Systems Fahrer-Fahrzeug-Umfeld wird zunächst ein häufig in der Literatur diskutiertes Modell, die *Drei-Ebenen-Hierarchie* der Fahrzeugführung nach DONGES (2012) vorgestellt und anschließend werden die Teilelemente jeweils im Bezug zur Fahrzeuglängsführung detailliert. Zur Beschreibung der Merkmale des Fahrers im Zusammenhang mit der Mensch-Maschine-Interaktion wird darauf folgend ein Überblick über die bei der Fahrzeuglängsführung beteiligten Wahrnehmungsmechanismen aufgeführt sowie verschiedene kognitive Prozesse der Verarbeitung der Informationen zusammengefasst. Abschließend erfolgt eine kurze Darstellung des aktiven und passiven Bewegungsapparats, mit Hilfe dessen der Fahrer die Bedieneingaben einstellt und die Interaktion durchführt.

2.1.1 Regelkreis Fahrer-Fahrzeug-Umfeld

In der Literatur finden sich je nach Intention der Beschreibung des Regelkreises Fahrer-Fahrzeug-Umfeld unterschiedliche Darstellungen. Die Aufgabe des Fahrers kann demgegenüber nach MITSCHKE & WALLENTOWITZ (2004, S. 1-2) wie folgend beschrieben werden:

„Er bestimmt die Geschwindigkeit und die Bewegungsrichtung des Fahrzeuges, er nimmt Korrekturen vor, wenn er durch die unvermeidlichen Störungen von der gewünschten Fahrtrichtung abgedrängt wird. Dabei vergleicht der Fahrer die Bewegung des Fahrzeuges mit dem Bewegungsspielraum, dem ihm die Straße gibt bzw. den ihm andere Verkehrsteilnehmer auf der Fahrbahn noch lassen, und natürlich vergleicht der Fahrer den Ablauf des Verkehrsgeschehens mit seiner eigenen Wunschvorstellung [...]“.

Die Grundintention für die Modellierung des Regelkreises Fahrer-Fahrzeug-Umfeld besteht in dem Wunsch einer Darstellung, welche die einzelnen Systeme verknüpft und das Handeln des Fahrers in Zusammenhang mit dem Fahrzeug und dem Umfeld erläutert (DONGES 2012). Da in dieser Arbeit das Zusammenspiel zwischen Fahrer und Fahrzeug zur Erfüllung der Fahraufgabe und die Teiltätigkeiten sowie Prozesse des Fahrers im Fokus stehen, wird im Folgenden das Fahrermodell nach DONGES (2012) näher vorgestellt.

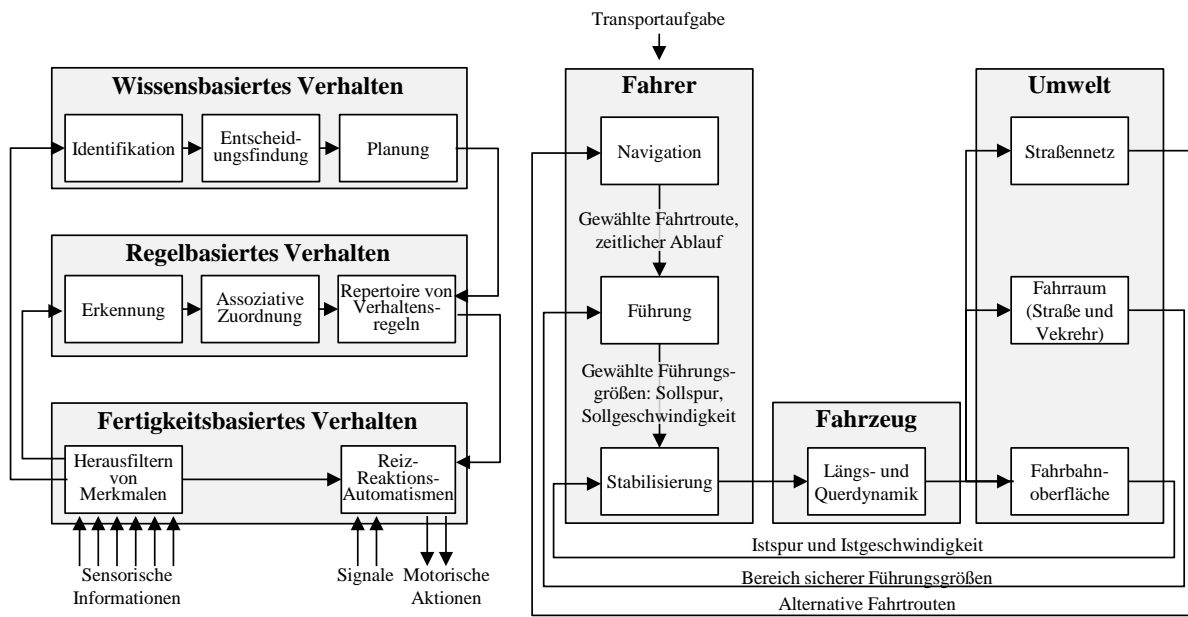


Abbildung 2.1: Drei-Ebenen-Handlungsmodell nach RASMUSSEN (1983) (links) und Drei-Ebenen-Hierarchie der Fahrzeugführung nach DONGES (2012) (rechts)

In Abbildung 2.1 können links die verschiedenen **Ebenen der Aufgabenbewältigung** nach RASMUSSEN (1983) verfolgt werden. Aufgaben werden hierbei nach RASMUSSEN (1983) mit einem wissensbasierten, einem regelbasierten und einem fertigkeitssbasierten Verhalten vom Fahrer bearbeitet. Komplexe Anforderungen, für die noch keine eingeübten Handlungsmuster bestehen, werden auf der wissensbasierten Ebene ausgeführt. Hierbei werden beim Problemlösungsprozess zunächst verschiedene Handlungsalternativen identifiziert und deren Nutzen für das zu erreichende Ziel geprüft. Situationen, die mit einem Verhaltensmuster aus einem bereits bestehenden Erfahrungsschatz abgearbeitet werden können, werden mit einem regelbasierten Verhalten beschrieben. Beim fertigkeitssbasierten Verhalten stehen hingegen bereits routinemäßige Handlungsabläufe bereit, die mit einem Reiz-Reaktions-Mechanismus abgearbeitet werden können, welcher keine bewusste Kontrolle erfordert und Raum für die Abarbeitung einer Nebenaufgabe zulässt (DONGES 2012). Diese Ebenen der Handlungsbewältigung werden in der Literatur oft den Ebenen der primären Fahraufgabe gegenübergestellt und mit beispielhaften Fahrsituationen illustriert (vgl. Tabelle 2.1).

Tabelle 2.1: Kombination aus Ebenen der primären Fahraufgabe und Verhaltensebenen des Fahrzeugführers nach LEWANDOWITZ 2012

	Wissensbasiert	Regelbasiert	Fertigkeitssbasiert
Navigation	Zurechtfinden in einer fremden Stadt	Wahl zwischen vertrauten Wegen	Täglicher Weg zur Arbeit
Führung	Steuern auf schneebedeckter oder vereister Fahrbahn	Überholen anderer Fahrzeuge, Spurwechsel	Abbiegen an einer Kreuzung
Stabilisierung	Fahrschüler in der ersten Fahrstunde	Ein ungewohntes Auto fahren	Kurven fahren, Kuppeln und Schalten

Die primäre **Fahraufgabe** charakterisiert nach BUBB (2003c) eine Tätigkeit, die jede Berührung mit stehenden oder sich bewegenden Objekten im Verkehrsraum vermeidet. Demnach umfasst die primäre Fahraufgabe die eigentliche Fahrzeugführung. Die Fahrzeugführung an sich kann mit Hilfe eines verschachtelten Regelkreises beschrieben werden, der die drei Teilebenen Navigation, Führung und Stabilisierung beinhaltet (DONGES 1982, vgl. Abbildung 2.1). Diese drei Teilebenen müssen jeweils vom Fahrer erfüllt werden, können mitunter aber auch vom Fahrer unbewusst durchgeführt werden (BERNOTAT 1970, GEISER 1990).

Sekundäre Fahraufgaben unterstützen die primäre Fahraufgabe, verändern aber nicht die Fahrzeuglängs- und Querdynamik. Diese können einerseits in reaktiv bedingte Aufgaben unterteilt werden, die aufgrund der Verkehrssituation stattfinden. Hierzu zählt etwa das Einschalten des Scheibenwischers oder das Kuppeln und Schalten. Andererseits werden neben den reaktiv bedingten Aufgaben auf dieser Ebene noch aktive Aufgaben durchgeführt, die die Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern beschreiben (z. B. Betätigung Blinker oder Hupe).

Tertiäre Fahraufgaben dienen hingegen dem Zufriedenstellen von Komfort-, Unterhaltungs-, oder Informationsbedürfnissen. Als Beispiele hierzu können die Interaktion mit Radio, Heizung oder der Klimaanlage aufgeführt werden.

Die **Fahrzeuginnenführung** als Teilelement der Fahrzeugführung beschäftigt sich lediglich mit der Beeinflussung der Geschwindigkeit des Fahrzeugs (JÜRGENSOHN 2001). Je nach Fahrsituation sind demnach folgende Fahrzustände zu unterscheiden (DORRER 2004):

- Beschleunigungsvorgang
- Konstantfahrt
- Verzögerungsvorgang
- Halten im Stillstand

Durch diese Fahrzustände kann eine gewünschte Fahrzeuggeschwindigkeit oder ein gewisser Abstand zu anderen Verkehrsteilnehmern eingestellt werden. Der Fahrer eines konventionellen Fahrzeugs beeinflusst diese Fahrzustände durch Interaktion mit den primären Bedienelementen der Längsdynamik, dem Fahr- und Bremspedal, sowie durch die Bedienelemente Feststellbremse und gegebenenfalls Kupplungspedal und Gangwahlschalter. Die Einflussparameter auf die Einstellung der verschiedenen Fahrzustände können vorrangig durch das Umfeld beschrieben werden und können so auf verschiedenen Ebenen der Fahrzeugführung charakterisiert werden (vgl. Abbildung 2.1). Auf der Ebene Navigation wirken beispielhaft Geschwindigkeitsbeschränkungen verschiedener Straßenarten ein. Ein geänderter Abstand zu anderen Verkehrsteilnehmern wird demgegenüber auf der Ebene der Führung betrachtet. Die Ebene Stabilisierung beschreibt Tätigkeiten des Fahrers, die einen instabilen Fahrzustand abwenden. Hierzu zählt beispielhaft die Reduzierung der Beschleunigung zur Vermeidung von durchdrehenden Rädern. Speziell für Aufgaben auf dieser Ebene der Fahrzeugführung werden seit geraumer Zeit Assistenzsysteme entwickelt, die den Fahrer bei der Längsführung unterstützen (z. B. Antiblockiersystem, Antriebsschlupfregelung, dynamische Stabilitätskontrolle, FIALA 2006).

2.1.2 Wahrnehmung

Die Wahrnehmung bezieht sich nach GERRIG et al. (2008, S. 108) auf den „Prozess, Objekte und Ereignisse in der Umwelt zu begreifen – sie mit den Sinnen zu empfinden, zu verstehen, zu identifizieren und zu klassifizieren sowie sich darauf vorzubereiten, auf sie zu reagieren“ (vgl. Abbildung 2.2).

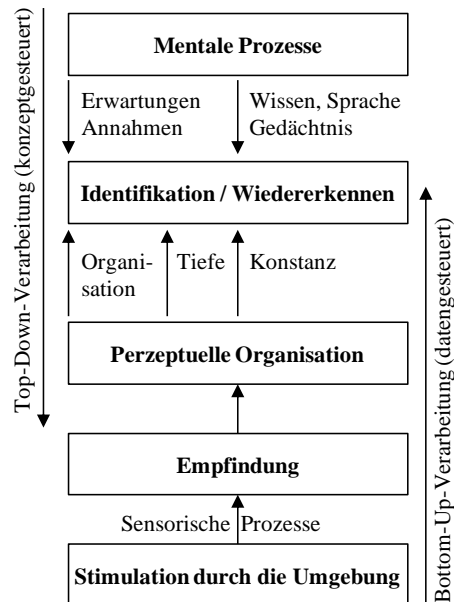


Abbildung 2.2: Prozess der Wahrnehmung in Anlehnung an GERRIG et al. (2008).

Der Prozess der Wahrnehmung kann nach GERRIG et al. (2008) dabei in folgende drei Stufen unterteilt werden:

- **Empfindung**: Anregung der Sinnesrezeptoren, die den äußeren Reiz an die sensorischen Zentren des Gehirns, vornehmlich der Großhirnrinde, weiterleiten, wo sie verarbeitet werden.
- **Perzeptuelle Organisation**: Bildung eines Perzeptes, welches aus der Integration und Kombination der sensorischen Merkmale des wahrgenommenen Reizes beziehungsweise Objektes generiert wird. So wird beispielhaft durch die visuelle Wahrnehmung von Kanten, Linien und Farben das Perzept *rundes Objekt* erstellt.
- **Identifikation und Wiedererkennung**: Dem erstellten Perzept wird eine Bedeutung zugewiesen, beispielhaft *rundes Objekt* entspricht einem *Fußball*. Diese dritte Stufe beinhaltet höhere kognitive Prozesse, die beispielsweise Erfahrungen und Theorien beinhalten.

Über die am Fahrgeschehen beteiligten Sinneskanäle nimmt der Fahrer die Bewegungsdynamik des Fahrzeugs sowie die Lage und Orientierung relativ zur Straße und zu stehenden und bewegten Objekten auf. Eine Zuordnung der Sinneskanäle zu den spezifischen Informationen des Fahrgeschehens kann Tabelle 2.2 entnommen werden.

Tabelle 2.2: Zusammenhang zwischen Sinneskanal und aufgenommener Information zur Erfüllung der Fahraufgabe basierend auf LANGE 2008 und TOMASKE & FORTMÜLLER 2001

Information	Visuell	Vestibulär	Haptisch	Auditiv
Spurabweichung	x			
Abstand zum Umfeld	x			
Quergeschwindigkeit	x			x
Fahrgeschwindigkeit	x			x
Längs- und Querbeschleunigung	x	x	x	x
Winkel Fahrzeuglängsachse – Sollkurs	x	x		
Giergeschwindigkeit	x			
Gierbeschleunigung		x		
Neigungswinkel	x	x		
Lenkwinkel	x		x	
Kräfte in Stellgliedern			x	
Fahrgeräusch				x

2.1.3 Abgrenzung verarbeitender kognitiver Prozesse

Ausgehend von den wahrgenommenen Informationen können die verarbeitenden kognitiven Prozesse unterschieden werden in die Aufmerksamkeit, das Denken, das Gedächtnis und die Sprache (PREIM & DACHSELT 2010). Mit Hilfe dieser einzelnen Prozesse bildet sich der Fahrer ein Urteil über Fahrsituationen und nötige reaktive Tätigkeiten oder aber auch über die erlebte Attraktivität von Produkten, weswegen zum Verständnis der Arbeit und zur Einordnung wichtiger Begriffe eine Zusammenfassung vorgestellt wird.

„**Aufmerksamkeit** ist die Fähigkeit des Menschen, durch mentale Anstrengung sensorische oder motorische Effekte zu beeinflussen und dadurch gezielt die Wahrnehmung von Reizen (Stimuli) zu steuern. Aufmerksamkeit ist eine begrenzte kognitive Ressource, die flexibel eingesetzt werden kann“ (PREIM & DACHSELT 2010 S. 68, SOLSO 2001).

Aufmerksamkeit spielt in der Mensch-Maschine-Interaktion eine wesentliche Rolle. So können beispielhaft Verkehrsunfälle häufig durch Unachtsamkeit erklärt werden, was eine Form der Ablenkung der Aufmerksamkeit von der Fahraufgabe beschreibt (z. B. Unfälle auf Grund von Telefonieren während der Fahrt). Besonders für die Auslegung potentiell sicherheitskritischer Systeme ist es daher besonders wichtig, die Grenzen der menschlichen Aufmerksamkeit zu verstehen (PREIM & DACHSELT 2010).

Die Aufmerksamkeit kann als eine begrenzte kognitive Ressource aufgefasst werden, die flexibel allokiert werden kann und von einem zentralen Prozessor gesteuert wird (KAHNEMAN 1973). Dabei kann die Aufmerksamkeit sowohl fast ausschließlich auf einen Prozess konzentriert sein (selektive Aufmerksamkeit) oder auf mehrere Prozesse verteilt werden, von denen jeder Teilprozess nur einen Teil der Aufmerksamkeit benötigt (geteilte Aufmerksamkeit). Die Flexibilität resultiert aus der Möglichkeit, die Aufmerksamkeit zu

verteilen und die Aufteilung in Bruchteilen einer Sekunde zu verändern (PREIM & DACHSELT 2010).

Das **Denken** an sich kann viele Formen annehmen, so dass eine einheitliche Definition fast unmöglich erscheint (GERSTENMAIER 1995). Nach GUILFORD (1976) kann bezüglich den Denkoperationen zwischen konvergentem und divergentem Denken unterschieden werden. Konvergentes Denken beinhaltet Denkoperationen, bei denen unter Zuhilfenahme von Lösungsheuristiken eine vollständig definierte Lösung erreicht werden kann. Die zur Lösung nötigen Denkprozesse konvergieren sozusagen auf die Lösung zu. Als Gegensatz hierzu kann das divergente Denken aufgefasst werden. Hier muss eine neue, zunächst unbekannte Lösung entwickelt werden. Die nötigen Denkprozesse laufen in verschiedene Richtungen, sie divergieren. Ebenfalls in einem engen Zusammenhang steht auch die Kreativität zu diesen Denkoperationen. Bezogen auf die Fahraufgabe sind ebenfalls beide Denkoperationen möglich. So werden fertigkeitbasierte Tätigkeiten in der Regel mit konvergentem Denken bearbeitet, das heißt, es wird aus einer Anzahl von Lösungsheuristiken ausgewählt. Demgegenüber werden beispielhaft bei einer wissensbasierten Abarbeitung auf der Ebene Navigation mit divergentem Denken verschiedene Lösungsansätze durchgespielt und anschließend nach einer Bewertung eine Lösungsalternative ausgewählt.

Ebenfalls im Rahmen des kognitiven Prozesses Denken wird der in dieser Arbeit zentrale **Begriff Erleben** eingeordnet (engl. ‚experiencing‘). Dieser beinhaltet das Zusammenspiel der physischen, kognitiven und emotionalen Prozesse des Menschen bei einer Tätigkeit. Im Bezug zur Fahraufgabe kann das Erleben mit dem *Fahr-Erleben* näher charakterisiert werden, bei dem speziell in dieser Arbeit die Prozesse des Fahrers näher fokussiert werden und beispielhaft das Erleben von Mitfahren nicht tiefer betrachtet wird.

Durch Erfahrungen und Kenntnisse, die **im Gedächtnis gespeichert** sind, wird die Verarbeitung und Reaktion auf wahrgenommene Reize unterstützt. In vielen Experimenten der kognitiven Psychologie wurde die Struktur des Gedächtnisses sowie Effekte des Behaltens und Vergessens in Abhängigkeit von den Informationen untersucht. In der Literatur wird entsprechend einem weit verbreiteten Modell die menschliche Informationsverarbeitung durch drei Speicher gestützt, dem sensorischem Speicher, dem Arbeitsgedächtnis und dem Langzeitgedächtnis (POLLMANN 2008). Der sensorische Speicher bietet eine Aufnahmemöglichkeit für sensorische Informationen (unverarbeitete physikalische Informationen wie visuelle Reize), besitzt eine hohe Speicherkapazität und bietet nur eine sehr kurze Speicherfähigkeit (visuelle Reize: 0,2 s, auditive Signale: 1,5 s). Informationen aus dem sensorischen Speicher gelangen bei Relevanz nach Weiterverarbeitung in das Arbeitsgedächtnis. Das Arbeitsgedächtnis charakterisiert eine stark begrenzte Kapazität, es werden vor allem symbolische Daten verarbeitet und die Speicherdauer kann mit ca. 15 s angegeben werden. Informationen, die tief verarbeitet werden, werden im Langzeitgedächtnis gespeichert. Diese tiefe Verarbeitung charakterisiert eine semantische Verarbeitung der Informationen. Der Inhalt wird durch eine Reflexion in Relation zu bekannten Informationen gesetzt und damit verarbeitet. Beim späteren Abfragen der verarbeiteten Informationen korreliert das Ausmaß der Hirnaktivität mit der Behaltungsleistung (POLLMANN 2008). Einmal im Langzeitgedächtnis verarbeitete Informationen können nach dieser Vorstellung

nicht mehr gelöscht werden. Der Begriff des *Vergessens* kann demnach als Fehlen von Zugriffsmöglichkeiten verstanden werden.

Gegenüber dem Begriff Erleben im Teilprozess Denken des kognitiven Verarbeitungsprozess kann nun hier der **Begriff Erlebnis** eingeordnet werden (engl. ‚an experience‘). Das Lexikon der Psychologie definiert ein Erlebnis als ein gefühlbetontes und unmittelbares Ergriffenwerden anlässlich eines Ereignisses (LESZCYNYSKI & LORD 1995). Darüber hinaus charakterisiert BRUNNER-SPERDIN (2008) in ihrem Literaturüberblick Erlebnisse wie folgt:

- Erlebnisse haben einen intrinsischen Charakter und umfassen psychische Funktionen und Emotionen
- Erlebnisse sind situations- und subjektspezifisch
- Erlebnisse sind selbstbezügliche „innere“ Ereignisse und nur in der Selbstbeobachtung zugänglich
- Erlebnisse sind unmittelbar und subjektiv bedeutsam
- Erlebnisse sind evident, d.h. sie drängen sich als unzweifelhaft, wahr und richtig auf
- Erlebnisse sind unwillkürlich, sie werden eher erlitten als bewusst hergestellt
- Erlebnisse können positiv und negativ sein
- Erlebnisse haben einen spezifischen Zeitrahmen, das heißt einen Beginn und ein Ende
- Erlebnisse werden als Geschichten im Langzeitgedächtnis behalten, sie können erinnert und erzählt werden

Diese Charakterisierung zeigt die hohe Relevanz der Auseinandersetzung mit der Beschreibung von Erlebnissen, da durch Erlebnisse spezifische Produkteigenschaften beim Menschen bleibend in Erinnerung verankert werden können.

Für alle Prozesse der Speicherung und Verarbeitung von Informationen wird **die Sprache** nach HÖHLE (2010) als eine humanspezifische geistige Fähigkeit angesehen, die einen Teil des gesamten Kognitionssystems darstellt. So nutzt der Mensch die Sprache einerseits als Kommunikationsmittel, andererseits aber auch zur Verarbeitung von Sinneseindrücken (SILBERNAGL & DESPOPOULOS 2007).

Der Prozess zum Ausdruck von Sprache, mit dem der Mensch neben der Möglichkeit der Gestik und Mimik sein Urteil oder Erlebtes beschreibt, kann unterteilt werden in die drei Teilkomponenten Konzeptualisierung, Formulierung und Artikulation (HÖHLE 2010). Während der Konzeptualisierung wird der Inhalt und das kommunikative Ziel einer Äußerung festgelegt und entschieden, in welcher Reihenfolge Informationen ausgedrückt werden. Im Formulierungsprozess werden anschließend aus den Einzelinformationen Phrasen gebildet (engl. ‚message‘), die ebenfalls syntaktische Funktionen wie Subjekt oder Objekt enthalten. Anschließend werden diese Phrasen vom Artikulator in einen phonetischen Plan gewandelt, der die Bewegungen des Artikulationssystems steuert und damit die Informationen sprachlich ausgibt.

Die Sprache ermöglicht auch erst die Beschreibung eines Systems beispielhaft im Rahmen eines Interviews. So nutzt das Gehirn die Sprache, um die wahrgenommenen Reize der verschiedenen Sinneskanäle in Informationen zu wandeln und diese dann folgend verknüpft mit anderen Informationen im Gehirn abzulegen. Der Begriff Erleben kann hier durch einen Erzählstrom beim Ablegen der Informationen eingeordnet werden. Bei der späteren Ausgabe

von Informationen zum Beispiel im Interview muss der Befragte zunächst die nötigen Informationen im Gehirn lokalisieren. Hier wird auch ersichtlich, dass ein Befragter im Rahmen einer Befragung auch nur das wirklich benennen kann, was er während dem Erleben bewusst aufgenommen hat.

2.1.4 Durchführung von Bewegungen mit dem Bewegungsapparat

Der Einfluss des Fahrers auf die Fahrzeuglängsdynamik erfolgt durch Interaktion mit Hilfe der primären Bedienelemente der Fahrzeuglängsführung, vornehmlich der Pedalerie. Ausgehend von der Anatomie des Menschen erfolgt diese Interaktion kinematisch durch die Oberschenkel, den Unterschenkel und den Fuß. Die aufgebrachten Kräfte werden über das Skelett, einer Vielzahl an Knochen, die gelenkig oder fest miteinander verbunden sind, mechanisch abgestützt (passiver Bewegungsapparat). Demgegenüber wird der aktive Bewegungsapparat durch Sehnen und Muskeln gebildet, wobei letztere durch die Kontraktilität eine Zugbewegung aufbringen und damit einerseits einen Zustand halten können (statische Arbeit) oder eine Bewegung durchführen können (dynamische Arbeit) (SILBERNAGL & DESPOPOULOS 2007, TRUTSCHEL 2007).

Bevor jedoch eine Bewegung beginnt, muss zunächst die Bewegungsaufgabe festgelegt und der aktuelle Zustand definiert werden. Diese Aufgabe wird vom Zentralnervensystem durchgeführt und vom sensomotorischen Gedächtnis durch die Kenntnis von vorangegangenen Handlungen unterstützt. Nach der Kenntnis der Ist-Situation erfolgt die Auswahl einer sensomotorischen Strategie, bei der eine dem Ziel und dem sensomotorischen Lernstand entsprechende Bewegungshandlung ausgewählt wird. Das sensomotorische Lernen, welches eine Grundlage für eine präzise Durchführung von Bewegungen darstellt, kann ausschließlich durch häufige zielgerichtete Bewegungsausführungen erfolgen. Während der Bewegung erfolgt durch einen Soll-Ist-Vergleich die analysierende Beobachtung des Bewegungsablaufs, welche ebenfalls Informationen der verschiedenen Sinneskanäle nutzt (HÜTER-BECKER & DÖLKEN 2005).

Der Mensch stellt ein zentrales Glied innerhalb des Zusammenspiels Fahrer-Fahrzeug-Umfeld dar. Zur Charakterisierung dieses Zusammenspiels kann der Regelkreises Fahrer-Fahrzeug-Umfeld nach DONGES (1982) den Informationsverarbeitungsprozessen des Menschen nach RASMUSSEN (1983) gegenübergestellt werden. Zur näheren Beschreibung des Menschen innerhalb dieses Regelkreises können die beiden Teilprozesse der Wahrnehmung und der Weiterverarbeitung der Reize näher detailliert werden. Zentrale Prozesse bei der Weiterverarbeitung von Reizen sind die Aufmerksamkeit, das Denken, das Gedächtnis und die Sprache. Durch die Vorstellung dieser Teilprozesse kann aufgezeigt werden, welche Schritte und Randbedingungen nötig sind, damit der Mensch einerseits von wahrgenommenen und verarbeiteten Reizen berichten kann (Erleben) und andererseits das Erlebte nachträglich reflektiert (Erlebnis). Stellt der Fahrer eines Fahrzeugs eine Tätigkeit zur Beeinflussung der Fahrzeuglängsdynamik ein, laufen ebenfalls einerseits spezifische kognitive Prozesse ab und andererseits ist mit Hilfe des aktiven und passiven Bewegungsapparats die Interaktion auszuführen und die Kräfte abzustützen.

2.2 Merkmale des Fahrzeugs

Wie im vorhergehenden Abschnitt beschrieben, interagiert der Fahrer im Regelkreis Fahrer-Fahrzeug-Umfeld mit dem Fahrzeug. Da sich die vorliegende Arbeit auf die Interaktion des Fahrers mit der Längsdynamik eines Elektrofahrzeugs konzentriert, wird im Folgenden der Fokus auf diese Merkmale gerichtet. Dies beinhaltet eine Beschreibung der Rekuperation, welche den konkreten in der Arbeit diskutierten technischen Abstimmparameter darstellt, als auch der Ausprägung der primären Bedienelemente zur Einflussnahme des Fahrers, das Fahr- und das Bremspedal.

2.2.1 Längsdynamik eines Elektrofahrzeugs

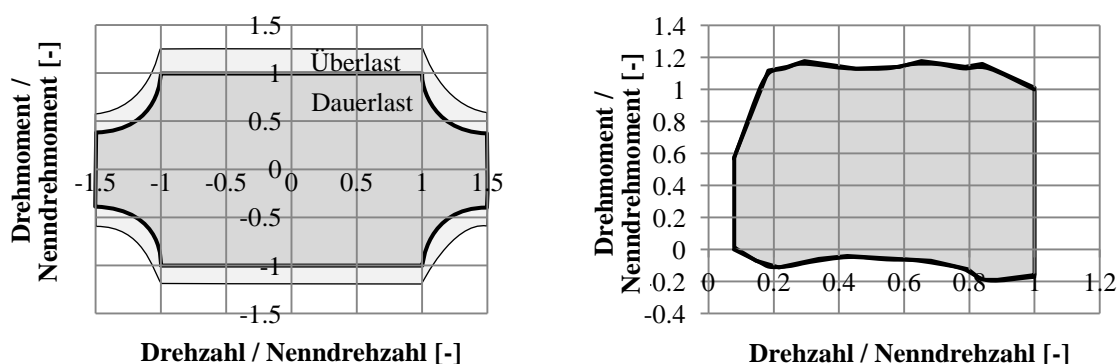


Abbildung 2.3: Gegenüberstellung der Antriebscharakteristik einer elektrischen Maschine (links, WALLENTOWITZ & FREIALDENHOVEN 2011) und eines Verbrennungsmotors (rechts, EBERL et al. 2012a).

Das vom Fahrer beeinflussbare **Potenzial der Längsdynamik eines Fahrzeugs** wird durch die Antriebscharakteristik der Antriebsmaschine bestimmt. Hierzu stellt Abbildung 2.3 eine Gegenüberstellung der Antriebscharakteristik eines Elektromotors mit der eines Verbrennungsmotors dar. In beiden Teilabbildungen der Antriebscharakteristiken erfolgt eine auf den Nennbetriebspunkt, den Betriebspunkt maximaler Leistung, normierte Darstellung.

Der Vier-Quadranten-Betrieb des Elektromotors zusammen mit der Kurzzeit-Überlastfähigkeit dieses Antriebs stellt den wesentlichen Unterschied der Antriebscharakteristik gegenüber einem Verbrennungsmotor dar. Besonders auffällig sind hier im direkten Vergleich die Betriebsfähigkeit in beiden Drehrichtungen bis zum Stillstand mit äquivalentem Antriebspotenzial sowie die generatorische Verzögerungswirkung im negativen Momentenbereich. Ausgehend von einer isolierten Betrachtung der Antriebscharakteristik des Elektromotors bietet sich demnach das gleiche Antriebspotenzial für positives und negatives Drehmoment, wodurch ein hoher Anteil der Verzögerungssituationen theoretisch durch die Antriebsmaschine abdeckbar ist (MITSCHKE & WALLENTOWITZ 2004). Durch den hohen Drehzahlbereich des Elektromotors und die Fähigkeit, aus dem Stillstand Drehmoment aufzubringen, ist es möglich, einen Antriebsstrang eines Fahrzeugs mit Elektromotor ohne Trennkupplung und Schaltelemente auszuführen (STAN 2008).

Das Beschleunigungsmoment der Traktionsmaschine wird in aktuellen Fahrzeugen vorrangig über ein Getriebe und ein Differenzial auf die Antriebswellen und schließlich auf die Räder übertragen. Die Abstützung des Beschleunigungsmoments erfolgt direkt über das Getriebe an der Karosserie, die Beschleunigungskraft in Längsrichtung wird hingegen über das Fahrwerk abgestützt. Unterscheidet sich die Schwerpunkthöhe des Fahrzeugs von der Einleitungshöhe des Längskraftvektors, so erfolgt eine Nickwirkung durch den Antriebsstrang des Fahrzeugs (Anfahrnicken).

Neben der Beschleunigungs- und Verzögerungswirkung des Antriebsstrangs kann bei heutigen Fahrzeugen zusätzlich durch die Bremsanlage ein Verzögerungsmoment an den Rädern des Fahrzeugs aufgeprägt werden. Im Verzögerungsfall kann somit sowohl eine Verzögerung rein an der mit dem Antriebsstrang verbundenen Achse, als auch an beiden Achsen über die Bremsanlage eingestellt werden. Im Hinblick auf die Kräfte am Fahrzeug unterscheidet sich der Verzögerungsfall mit Reibbremsen vom Verzögerungsfall durch den Antriebsstrang bezüglich den durch die Bremsanlage aufgebrachten Kräfte. Diese Kräfte stützen sich anders als die Antriebskräfte der Antriebswellen direkt am Radträger ab, was zu einer zusätzlichen Nickwirkung des Fahrzeugs führen kann (Bremsnicken, HEIBING 2011).

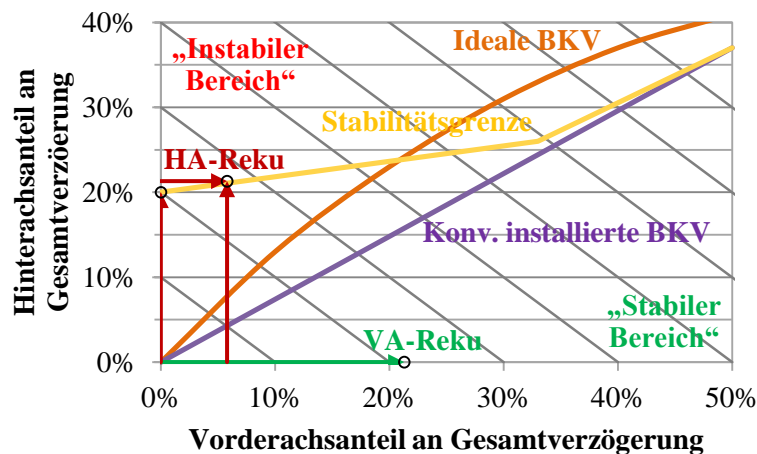


Abbildung 2.4: Bremskraftverteilungsdiagramm zur Verdeutlichung des Einflusses vorderachs- und hinterachslastiger Rekuperation, basierend auf HALDER (2011)

Bei der Einstellung einer Fahrzeugverzögerung stellt das Verhältnis zwischen den auf die Räder der Vorderachse gegenüber den auf die Räder der Hinterachse wirkenden Längskräften ein wichtiges Kriterium für Aussagen bezüglich der Fahrstabilität dar. Abbildung 2.4 zeigt hierzu ein Bremskraftverteilungsdiagramm, das die installierte Verteilung der Verzögerungskräfte auf die beiden Achsen verdeutlicht. Bremskraftverteilungen zwischen Vorder- und Hinterachse unterhalb der Linie der idealen Bremskraftverteilung bewirken ein stabiles Fahrzeugverhalten, Verteilungen darüber ein instabiles Fahrzeugverhalten. Abbildung 2.4 verdeutlicht ebenfalls eine Stabilitätsgrenze, die abhängig von bestimmten Fahrzeugparametern und Umfeldbedingungen ausgeprägt ist (HALDER 2011). Wird ein Fahrzeug explizit mit einem Antrieb, der auf die Hinterachse wirkt, verzögert, so befindet sich dieser Fahrzustand im Bremskraftverteilungsdiagramm immer im instabilen Bereich und es können abhängig vom Kraftschlusspotential instabile Fahrsituationen auftreten. Greift der Antriebsstrang an der Vorderachse oder wird ein Fahrzeug mit Antrieb an beiden Achsen betrachtet, so hat die Rekuperation weniger kritische Auswirkungen auf die Fahrstabilität, weil die Bremskraftverteilung stabiler ausgeprägt ist.

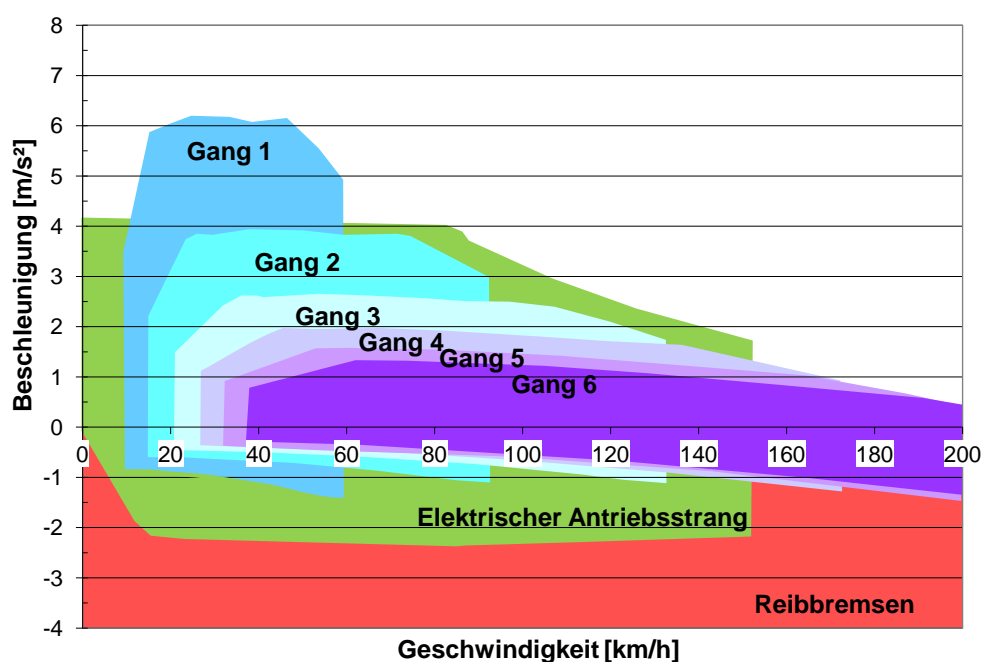


Abbildung 2.5: Gegenüberstellung der Beschleunigungscharakteristik eines verbrennungsmotorisch angetriebenen Fahrzeugs und eines Elektrofahrzeugs (EBERL et al. 2012b)

Die in Abschnitt 2.2.1 vorgestellte Gegenüberstellung der Antriebsmomentencharakteristik des verbrennungsmotorisch angetriebenen Fahrzeugs und des Elektrofahrzeugs kann weiter in eine Darstellung des **Beschleunigungspotenzials** derartiger Fahrzeuge überführt werden (vgl. Abbildung 2.5). In dieser Abbildung ist die mögliche Beschleunigungsfähigkeit durch die Antriebsmaschine und (falls vorhanden) Schaltgetriebe bei verschiedenen Fahrzeuggeschwindigkeiten dargestellt. Zusätzlich besteht in beiden Fahrzeugkonfigurationen die Möglichkeit höhere Verzögerungen durch den Einsatz der Reibbremsen auszulösen. Diese Betrachtung berücksichtigt die auf das Fahrzeug einwirkenden Fahrwiderstände und spiegelt eine Fahrt in der Ebene wider, der Vorgang des Drehmomentaufbaus wird hier explizit ausgeklammert. Ähnlich wie auch aus Abbildung 2.3 wird auch hier das höhere Verzögerungspotenzial eines Elektrofahrzeugs mit Berücksichtigung der Rekuperation deutlich. Das gegenüber dem Schleppmoment eines Verbrennungsmotors erweiterte rekuperative Verzögerungspotenzial stellt einen Freiheitsgrad für die Fahrzeugabstimmung dar. Hierbei charakterisiert dieser Freiheitsgrad die Zuordnung des Verzögerungspotenzials in Bezug zu den Fahrereingaben mit Hilfe der primären Bedienelemente der Fahrzeuglängsführung, dem Fahr- und dem Bremspedal. Um jedoch eine möglichst hohe energetische Effizienz des Fahrzeugs sicherzustellen, ist in allen Betriebszuständen zunächst soweit möglich eine Verzögerung mit Hilfe der Rekuperation einzustellen und erst anschließend das Fahrzeug mit Hilfe der Reibbremsen dissipativ zu verzögern.

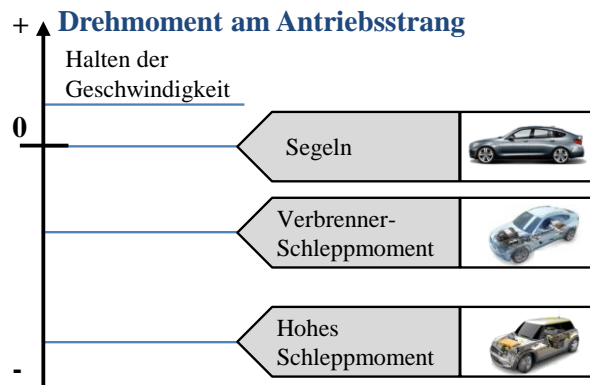


Abbildung 2.6: Mögliche Abstimmungen des Schleppmoments beim vollständigen Lösen des Fahrpedals (EBERL et al. 2011a)

Die möglichen Konzepte der Abstimmung des Verzögerungspotenzials in Bezug zu den Bedieneingaben werden im Folgenden als **Bedienkonzepte der Fahrzeuglängsführung** bezeichnet. Abbildung 2.6 zeigt hierzu eine Einteilung verschiedener Fahrzeugabstimmungen, charakterisiert nach dem Drehmoment am Antriebsstrang beim vollständigen Lösen des Fahrpedals. Hierzu bezeichnet das *Bedienkonzept Segeln* eine Fahrzeugabstimmung, bei der beim vollständigen Lösen des Fahrpedals kein Moment am Antriebsstrang anliegt und das Fahrzeug demnach rein durch die Fahrwiderstände (FWID) verzögert. Das *Bedienkonzept Verbrenner-Schleppmoment* bezeichnet ein Schleppmoment am Antriebsstrang, das ähnlich dem eines Verbrennungsmotors ausgeprägt ist. Hierdurch ergibt sich beim Lösen des Fahrpedals ein ähnliches Fahrzeugverhalten im Vergleich zu einem Fahrzeug mit Verbrennungsmotor. Demgegenüber wird beim Lösen des Fahrpedals im *Bedienkonzept hohes Schleppmoment* ein hohes Schleppmoment am Antriebsstrang aufgeprägt, das zu einer deutlichen Verzögerung des Fahrzeugs führt. Bei einer Ausprägung des Verzögerungspotenzials eines elektrischen Antriebsstrangs wie in Abbildung 2.5 dargestellt als Schleppmoment, führt dies dazu, dass ein hoher Anteil der Verzögerungssituationen rein durch das Lösen des Fahrpedals eingestellt werden kann, lediglich für unvorhergesehene Verzögerungsanforderungen oder zum Halten am Berg ist eine Betätigung des Bremspedals notwendig.

2.2.2 Bedienelemente für die Fahrzeuglängsführung

Wie im vorhergehenden Abschnitt vorgestellt, ist eine Beeinflussung der Rekuperation mit beiden primären Bedienelementen der Fahrzeuglängsführung möglich. Da neben der sich einstellenden Fahrzeugreaktion auch die direkte Bedieninteraktion von Bedeutung ist, wird diese in diesem Abschnitt vorgestellt. Zunächst erfolgt jedoch in Anlehnung an TRUTSCHEL (2007) eine Definition der Terminologie zur Beschreibung der Bedienelemente und der Interaktion mit diesen, da sich diese in der Literatur oftmals uneinheitlich darstellt. Anders als bei TRUTSCHEL (2007) wird die Beschreibung hier jedoch auf die beiden Bedienelemente Fahr- und Bremspedal ausgeweitet.

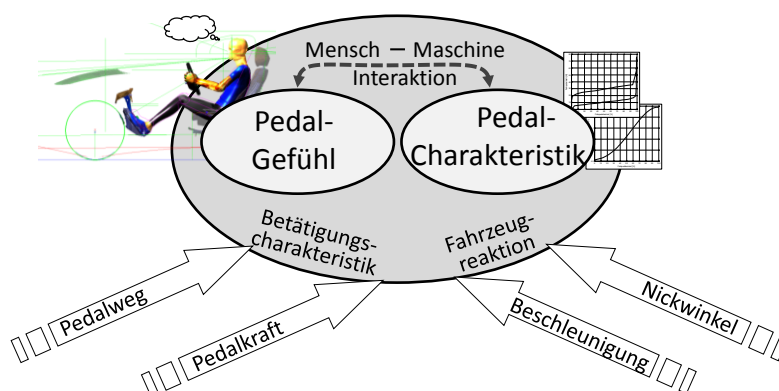


Abbildung 2.7: Terminologie zur Beschreibung der Längsführung

Die technischen Eigenschaften der Schnittstelle zwischen Fahrer und Fahrzeug werden mit dem Begriff der *Pedalcharakteristik* beschrieben und diese können mit Hilfe von Messtechnik objektiv charakterisiert werden. Demgegenüber stellt das *Pedalgefühl* den synonymen Begriff zur Charakterisierung des Erlebens des Fahrers bei der Interaktion mit der Pedalerie dar. Einflussparameter auf die beschreibenden Begriffe sind der sich während der Interaktion einstellende Pedalweg und die Pedalkraft, deren Zusammenhang durch die *Betätigungscharakteristik* definiert ist und die sich einstellende *Fahrzeugreaktion*. Die Fahrzeugreaktion kann untergliedert werden in eine Beschleunigungsreaktion sowie den Nickwinkel des Fahrzeugs. Da der Nickwinkel für das Erleben der Fahrzeuglängsführung eine untergeordnete Rolle einnimmt, wird dieser im Folgenden nicht weiter betrachtet (TRUTSCHEL 2007).

Der Begriff *Betätigung* bezeichnet während der Mensch-Maschine-Interaktion die Pedalbewegung vom Fahrer weg und der Begriff *Lösen*, die Bewegung zum Fahrer hin. Mit dem Begriff des *Antritts* wird die Interaktion mit dem Pedal eingeleitet und diese reicht bis zum *vollständigen Lösen* des Pedals. Der Vorgang der Veränderung der Pedalposition zu einem neuen Wunschzustand wird seitens des Fahrers als *Modulation* beschrieben und die Güte der Beeinflussbarkeit als *Dosierbarkeit* des technischen Systems.

Aktuell wird das **Bedienelement Fahrpedal** nur recht spärlich in der Fachliteratur diskutiert, lediglich spezifische Ausgestaltungen werden im Rahmen von Patenten gesichert, beispielhaft von APEL & DRIFTMEYER (2007). Das Fahrpedal in heutigen modernen Fahrzeugen wird in der Regel als passives by-Wire-Bedienelement ausgeführt, welches je nach Integrationsgrad mit anderen Elementen der Pedalerie zu einer Komponente verbunden ist. Bezüglich der Ausführungsformen können stehende und hängende Ausführungen unterschieden werden (vgl. Abbildung 2.8). Stehende Pedale bieten Vorteile bezüglich der ergonomischen Gestaltung der Pedalbetätigung, hängende Pedale lassen sich demgegenüber einfacher im Fahrzeug integrieren (PICKARD & THEWS 2001).



Abbildung 2.8: Hängendes (links) und stehendes (rechts) Fahrpedal, in der Ausführungsform eines aktiven Fahrpedals (LANGE 2008, ZELL et al. 2010)

Die **Pedalcharakteristik heutiger by-Wire-Fahrpedale** wird durch eine Federcharakteristik dominiert. Durch diese Federcharakteristik wird auch in heutigen Fahrzeugen eine ähnliche Pedalcharakteristik eingestellt, verglichen mit Fahrzeugen mit mechanischer Verbindung zwischen Fahrpedal und Drosselklappe, bei denen diese durch die Drosselklappenbefederung hervorgerufen wurde. Abbildung 2.9 stellt eine typische Pedalcharakteristik eines aktuellen Mittelklassefahrzeugs dar. Die Betätigungskraftcharakteristik in der linken Teilabbildung wird, wie beschrieben, durch eine Federcharakteristik dominiert. Zwischen der Betätigungs- und der Löserichtung herrscht eine Kraft hysterese, die neben dem Kraftniveau einen weiteren Auslegungsparameter darstellt. In der rechten Teilabbildung von Abbildung 2.9 ist für einen Betriebspunkt von 80 km/h die sich einstellende Fahrzeugreaktion dargestellt. Es wird neben der Beschleunigungsfähigkeit des Fahrzeugs ebenfalls die Verzögerung beim Lösen des Fahrpedals deutlich. Diese resultiert aus den auf das Fahrzeug einwirkenden Fahrwiderständen und der Verzögerungswirkung durch den Schlepptrieb des Verbrennungsmotors.

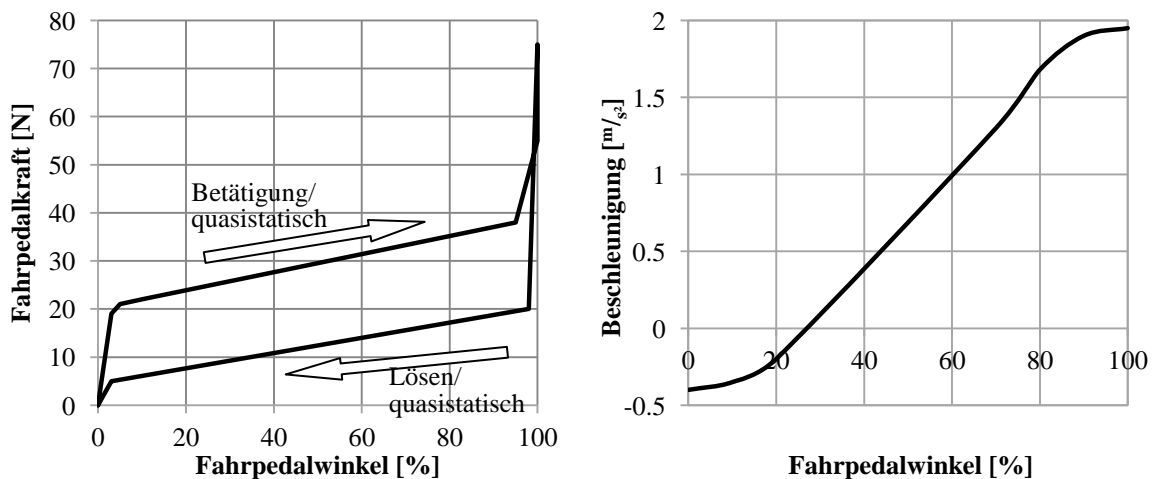


Abbildung 2.9: Vermessene Fahrpedalcharakteristik eines konventionellen verbrennungsmotorisch angetriebenen Mittelklassefahrzeugs im 5. Gang bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h

In der Diskussion aktueller Fahrerassistenzsysteme wird zunehmend ebenfalls die Funktionalität aktiver Fahrpedale diskutiert, die es ermöglicht, dem Fahrer in spezifischen Fahrsituationen durch ein haptisches Feedback Informationen zu übermitteln (LANGE 2008, ZELL et al. 2010, vgl. Abbildung 2.8). Derartige Möglichkeiten werden jedoch im Rahmen dieser Arbeit ausgeklammert und daher auch nicht näher vorgestellt.

Das **Bedienelement Bremspedal** stellt eine Teilkomponente des im Fahrzeug installierten Bremssystems dar, welches in aktuellen Mittelklassefahrzeugen nahezu ausschließlich als vakuumunterstützte hydraulische Hilfskraftbremsanlage ausgebildet ist (TRUTSCHEL 2007, BREUER 2006). Abbildung 2.10 stellt hierzu beispielhaft den Systemaufbau eines derartigen Bremssystems dar.

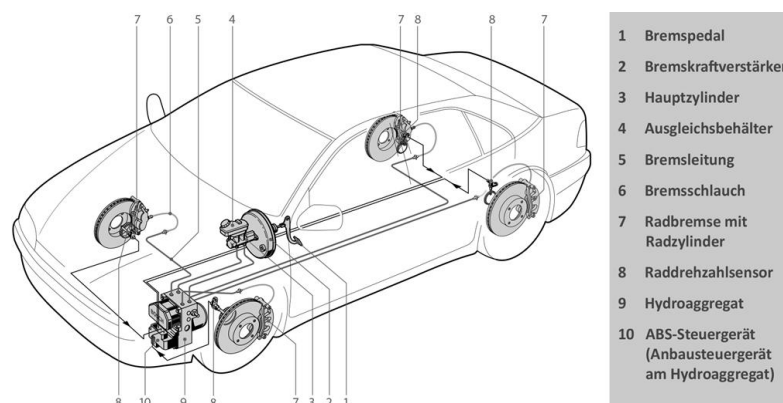


Abbildung 2.10: Systembild einer vakuumunterstützten Pkw-Hilfskraftbremsanlage (REIF 2010)

Der eigentliche Bremsvorgang wird vom Fahrer durch eine Betätigung des Bremspedals eingeleitet. Über das Fußhebelwerk wird die aufgebrachte Bremspedalbewegung, beziehungsweise die aufgebrachte Bremspedalkraft in einen Betätigungsweg des Steuerkolbens des Bremskraftverstärkers umgewandelt. Dieser Vorgang wird durch den Bremskraftverstärker pneumatisch unterstützt. Im Hauptbremszylinder wird diese Kraft in einen hydraulischen Bremsdruck gewandelt und über die Bremsleitungen an die Radbremszylinder übertragen. Die Radbremszylinder erzeugen eine Spannkraft, die über die Reibung zwischen den Bremsbelägen und der Brems Scheibe ein Bremsmoment an den einzelnen Rädern erzeugt (BREUER 2006).

Neben dem vorgestellten vakuumunterstützten hydraulischen Hilfskraftbremssystem stehen bei den Systemlieferanten von Bremsenkomponenten eine Vielzahl verschiedener Bremssysteme in der Entwicklung, die einerseits Vorteile für den Einsatz von Fahrerassistenzsystemen aufweisen, andererseits die Nutzung der Rekuperation in Hybrid- und Elektrofahrzeugen unterstützen. Speziell für die Nutzung der Rekuperation sind der Grad der Pedalentkoppelung und die Bilanzierfähigkeit wichtige Beurteilungsgrößen (DUVAL-DESTIN et al. 2011). Hierbei beschreibt der Grad der Pedalentkoppelung, inwiefern es das Bremssystem des Fahrzeugs ermöglicht, ausgehend von einer Bremspedalbetätigung des Fahrers den Verzögerungswunsch rein rekuperativ durch den Antriebsstrang umzusetzen und erst beim Ausreizen der Rekuperation die Reibbremsen zu aktivieren. Dieser Vorgang kann bei einem niedrigen Grad an Pedalentkoppelung vom Fahrer mit einer sich ändernden Pedalcharakteristik wahrgenommen werden. Die Momentenblendfähigkeit beschreibt demgegenüber die Güte des Aufbaus von Bremsmoment durch das Bremssystem, ohne für den Fahrer wahrnehmbarer Pedalrückwirkung (KIRCHNER et al. 2012).

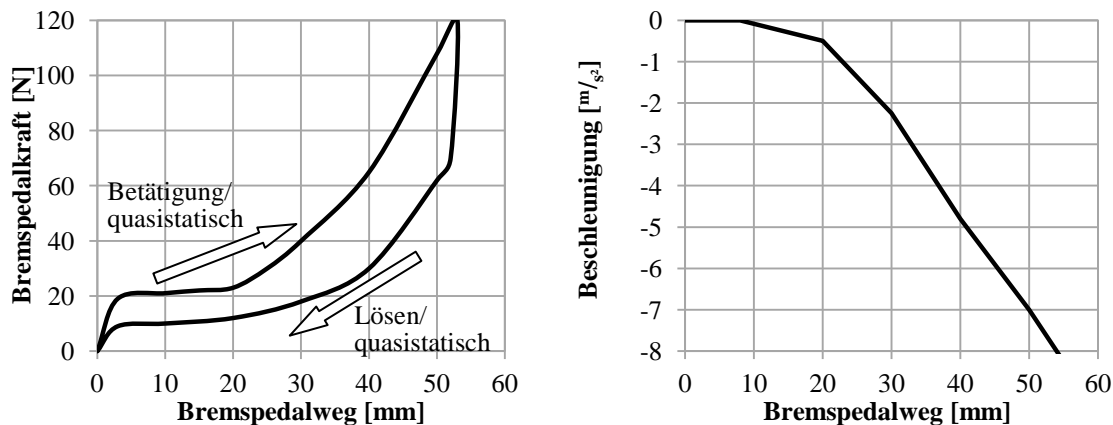


Abbildung 2.11: Bremspedalcharakteristik eines aktuellen Mittelklassefahrzeugs

Die **Pedalcharakteristik aktueller Bremssysteme** von Hybrid- und Elektrofahrzeugen gestaltet sich ähnlich zu der von konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor (HALDER 2011). Abbildung 2.11 zeigt beispielhaft eine Pedalcharakteristik eines aktuellen Mittelklassefahrzeugs. Zur Beschreibung des Verlaufs der Pedalcharakteristik haben sich weitestgehend einheitliche Begrifflichkeiten etabliert. Die Kraft, die nach anfänglicher Betätigung am Bremspedal anliegt, bezeichnet die *Bremspedalansprechkraft*. Der sich anschließende Pedalweg, bei dem noch keine Verzögerung durch die Reibbremsen eingestellt wird, wird als *Totweg* bezeichnet. Nach dem Einsetzen der Reibbremsen steigt der Verlauf zunächst flach, anschließend progressiv-linear an, wobei der Pedalwegabschnitt zwischen der Pedalausgangsstellung und dem Beginn des progressiven Anstiegs als *Leerweg* bezeichnet wird. Die durch die Reibbremsen eingestellte Fahrzeugverzögerung stellt sich in erster Näherung proportional zur Bremspedalkraft dar (BREUER 2006, TRUTSCHEL 2007).

Zusammenfassend lässt sich bezüglich des Teilelements Fahrzeug im Regelkreis Fahrzeuglängsführung feststellen, dass die Rekuperation einen Freiheitsgrad für die Fahrzeugabstimmung bietet. Die verschiedenen Abstimmungen des Freiheitsgrads unterscheiden sich durch die sich einstellende Fahrzeugverzögerung beim Lösen des Fahrpedals. Aktuell in der Literatur vorhandene Gestaltungsempfehlungen für die Bedienelemente Fahr- und Bremspedal berücksichtigen jedoch diesen Freiheitsgrad nicht, so dass diese für Hybrid- und Elektrofahrzeuge eine ähnliche Abstimmung wie die von konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor beschreiben. Diese Abstimmung betrifft sowohl die sich ausgehend von den Bedieneingaben einstellende Fahrzeugreaktion, als auch die Betätigungscharakteristiken der Bedienelemente Fahr- und Bremspedal.

2.3 Merkmale des Verkehrsumfelds

Der alltägliche Straßenverkehr stellt für den Fahrer eine sehr komplexe Aufgabe dar, kann aber im Wesentlichen durch einfache Grundelemente (Fahrsituationen) charakterisiert werden, die durch das Umfeld hervorgerufen werden. Elemente im Umfeld des Fahrers, die eine Reaktion des Fahrers bewirken können, werden im Folgenden analog zu DORRER (2004) als *Objekte* bezeichnet. Derartige Objekte stellen beispielhaft Geschwindigkeitsbegrenzungen, Lichtsignalanlagen oder andere Fahrzeuge dar. Jedes einzelne Objekt kann einheitlich und

neutral durch einen Objektort und eine einzustellende Zielgeschwindigkeit beschrieben werden, die hieraus resultierende Fahrsituation variiert jedoch abhängig vom Fahrzustand des Eigenfahrzeugs (vgl. Abbildung 2.12).

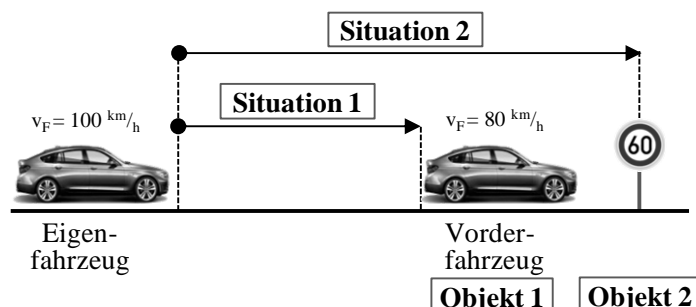


Abbildung 2.12: Darstellung von Fahrsituationen als Zusammenspiel von Eigenfahrzeug und Objekten nach DORRER (2004)

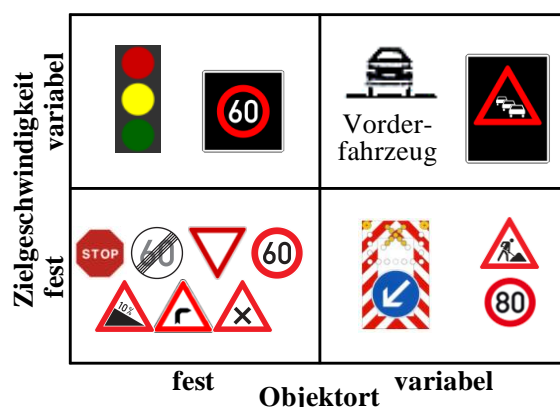


Abbildung 2.13: Klassifikation von Objekten und daraus resultierende Einordnung verschiedener Fahrsituationen nach DORRER (2004)

Die verschiedenen Fahrsituationen lassen sich nach Abbildung 2.13 durch eine Kombination aus Objektort und Zielgeschwindigkeit klassifizieren, wobei beide Dimensionen entweder eine feste oder eine variable Ausprägung aufweisen können. Je nach Verkehrsraum und Verkehrsdichte dominiert dabei der Einfluss verschiedener Objekte. Im ruralen Verkehrsraum werden beispielhaft bei geringer Verkehrsdichte im Wesentlichen Fahrsituationen durch feste Objekte mit einer definierten Zielgeschwindigkeit hervorgerufen, wie beispielsweise Geschwindigkeitsbegrenzungen oder Kurven. Demgegenüber dominieren im urbanen Verkehrsraum mit hoher Verkehrsdichte Fahrsituationen, die durch andere Verkehrsteilnehmer ausgelöst werden, die bezüglich Zielgeschwindigkeit und Objektort als variabel beschrieben werden können.

2.3.1 Charakterisierung des Verkehrsraumes

Das Straßennetz in Deutschland kann aufgeteilt werden in ein überörtliches Straßennetz mit 231.000 km und ein örtliches Straßennetz von 396.000 km (PIETZSCH & WOLF 2005). Die durchschnittliche Jahresfahrleistung liegt nach dem Bericht Mobilität in Deutschland 2008

(INFAS & DLR 2010) bei 14.300 km pro Jahr. In 2008 konnten 18 % der Haushalte ohne Automobil registriert werden, 53 % mit einem Automobil, 24 % mit zwei Automobilen und 5 % mit drei oder mehr Automobilen. Die durchschnittliche tägliche Wegelänge von Personen ab 10 Jahren liegt bei 11,8 km und diese werden zu 43 % im motorisierten Individualverkehr durchgeführt und zu 15 % als Mitfahrer im individualisierten Individualverkehr. Nach einer Untersuchung von CORNET et al. (2012) verbringt ein Mensch durchschnittlich 50 Minuten pro Tag im Auto. Zur Beschreibung des Fahrverhaltens existieren des Weiteren verschiedene Fahrzyklen, die vorrangig für die Bestimmung der Abgasemissionen, des Verbrauchs oder der Reichweite von Fahrzeugen verwendet werden. Gebräuchliche Fahrzyklen in der Entwicklung von Kraftfahrzeugen sind aktuell in Europa der *NEFZ* (Neuer europäischer Fahrzyklus, 91/441/EWG 1991), der *Artemis-Zyklus* (ANDRÉ 2004) und der amerikanische *FTP-Zyklus* (Federal Test procedure Review Project, EPA 420-R-93-007 1993). Diese Fahrzyklen dienen einer Beschreibung des Fahrprofils mit dem Fokus das reale Fahrverhalten nachzubilden.

Das Verkehrsumfeld hat einen wesentlichen Einfluss auf die Fahrer-Fahrzeug-Interaktion. Bezüglich der Fahrzeuglängsführung werden die verschiedenen Fahrsituationen durch Objekte hervorgerufen, welche sich an einem festen oder variablen Ort befinden und durch eine feste oder variable Zielgeschwindigkeit charakterisiert werden können. Ausgehend von aktuellen Studien kann des Weiteren der Verkehrsraum beschrieben werden. Hierbei ist einerseits der Straßenausbau von Interesse, andererseits der Bestand an und die Nutzung der Fahrzeuge, die sich im Umfeld eines Fahrers befinden. Zur Beschreibung des Fahrverhaltens werden in der Literatur verschiedene Fahrzyklen diskutiert, die das Fahrverhalten abhängig der verschiedenen Regionen und spezifischen Voraussetzungen widerspiegeln sollen.

2.4 Methoden zur Evaluierung der Fahrzeuglängsführung

Zur Beschreibung der Fahrzeuglängsführung und der Bewertung unterschiedlicher technischer Konzepte existieren verschiedene Methoden der Evaluierung, die folgend in einem Überblick vorgestellt werden. Neben den reinen Methoden zur Evaluierung werden auch Kernergebnisse der betrachteten Arbeiten dargestellt, die für die in dieser Arbeit diskutierte Fragestellung von Relevanz sind. Die in der Literatur veröffentlichten Arbeiten können verschiedenen Kategorien zugeordnet werden. Dies betrifft einerseits Arbeiten mit ingenieurwissenschaftlichem Ansatz, die sich stark auf konkrete technische Parameter (z. B. Pedalcharakteristik) und das hieraus entstehende Urteil (z. B. Pedalgefühl) fokussieren. Andererseits existieren Arbeiten, die sich differenziert mit dem Erleben des Fahrers und den psychologischen Komponenten auseinandersetzen, aber aufgrund der detaillierten fahrerspezifischen Beschreibung lediglich einen geringen Bezug zu konkreten technischen Parametern aufweisen, welche im Abschnitt *Arbeiten mit psychologischem Ansatz* diskutiert werden. Gegenüber diesen beiden Gruppen nehmen gerade aktuell Arbeiten mit interdisziplinärer Herangehensweise zu. In derartigen Arbeiten wird versucht, das Erleben des Fahrers konkreten technischen Parametern gegenüberzustellen, um damit Gestaltungsempfehlungen für die Abstimmung dieser Parameter abzuleiten.

2.4.1 Arbeiten mit ingenieurwissenschaftlichem Ansatz

Die Methoden mit ingenieurwissenschaftlichem Ansatz im Themenschwerpunkt Fahrzeuglängsführung fokussieren stark auf die Evaluation konkreter technischer Parameter, weswegen die spezifischen Bedienelemente oft isoliert untersucht werden.

Da der Antriebsstrang in heutigen Fahrzeugen häufig ein Kernentwicklungsgebiet des Fahrzeugherstellers darstellt, erfolgt auch die Abstimmung der **Fahrpedalcharakteristik** in der Regel direkt beim Fahrzeughersteller. Hierbei wird häufig ein Fahrpedalmodul, mit einer spezifischen Betätigungscharakteristik, für verschiedene Fahrzeugmodelle verwendet und lediglich die Fahrzeugreaktion beim Betätigen des by-Wire-Pedals in verschiedenen Modellen und für verschiedene Motoren angepasst. Zur Bewertung des Fahrpedalgefühls werden nach iterativer Abstimmung hauptsächlich heuristische Methoden wie Managementfahrten eingesetzt, bei denen das Fahrverhalten des Fahrzeugs subjektiv bewertet wird.

Zur Auslegung der **Bremspedalcharakteristik** werden in der Literatur verschiedene subjektive und objektive Methoden vorgeschlagen. Bei den subjektiven Methoden wird mit Hilfe von stationären Laboreinrichtungen, Fahrsimulatoren, Forschungs-, Prototypen- oder Serienfahrzeugen die Bewertung verschiedener Bremscharakteristiken durch Probanden durchgeführt. Als Beurteilungsgrößen wird oft der Gesamteindruck oder ausgewählte Kriterien wie die Dosierbarkeit, der einzustellende Pedalweg, die einzustellende Pedalkraft oder das Hystereseverhalten bewertet (TRUTSCHEL 2007). Diese Begriffe sind jedoch nicht standardisiert und bieten somit einen erheblichen Interpretationsspielraum seitens der Beurteilenden (SAILER 2002). Ziel der objektiven Methoden ist es, durch eine Objektivierung der Pedalcharakteristik im Auslegungsprozess der Bremssysteme frühzeitig dessen Eigenschaften vorwegzunehmen und somit bei der Auslegung zu unterstützen. Diese objektiven Methoden stützen sich in der Regel auf durchgeführte Probandenversuche, in denen spezifische Parameter der Pedalcharakteristik variiert und deren Einfluss auf die Bewertung des Pedalgefühls untersucht werden. Als beispielhafte Verfahren können hier der *Brake-Feel-Index* nach EBERT & KAATZ (1994) oder das *Dairou-Verfahren* nach DAIROU et al. (2003) genannt werden. Häufig wird in derartigen Untersuchungen ein korrelativer Ansatz verwendet, welchem speziell in aktueller Literatur kritisch begegnet wird (JÜRGENSOHN 2001). Dies betrifft besonders Aussagen basierend auf einem Korrelationsansatz, die in Bereichen abgeleitet werden, die von der dem Korrelationsansatz zu Grunde liegenden Datenbasis nicht abgedeckt wurde. Aktuell werden in der Bremssystementwicklung neben den genannten Methoden vorrangig ebenfalls heuristische Methoden wie Managementfahrten eingesetzt, bei denen das Verhalten des Fahrzeugs subjektiv bewertet und abschließend im Rahmen der Fahrzeugentwicklung freigegeben wird (HEIBING & BRANDL 2002).

2.4.2 Arbeiten mit psychologischem Ansatz

Die Anzahl an Arbeiten, die sich konkret mit dem Erleben des Fahrers und dessen psychologischen Komponenten auseinandersetzen, ist deutlich geringer als die auf technische Parameter konzentrierten Arbeiten. Dennoch werden im Folgenden die Ansätze von zwei Arbeiten näher vorgestellt, um damit eine differenziertere Sicht auf spezifische Teildimensionen des Erlebens des Fahrers darzustellen.

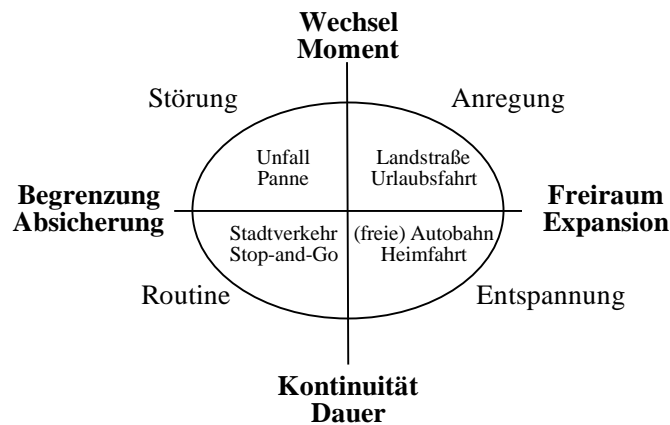


Abbildung 2.14: Psychologisches Modell des Fahr-Erlebens nach DICK (2002)

DICK (2002) untersucht in seiner Arbeit die Tätigkeit des Fahrens in verschiedenen Perspektiven und bildet ein psychologisches Modell des Fahr-Erlebens (vgl. Abbildung 2.14). Basis für dieses Modell stellen 18 narrative Grid-Interviews dar, im Rahmen derer Fahrer über Fahrsituationen, die sie erlebt und für bedeutend erachten, berichten. In diesem psychologischen Modell richtet DICK (2001, 2002) das Erleben, beziehungsweise verschiedene Erlebnisse anhand der Dimensionen Zeit und räumlicher Bezug aus. Die Zeitachse unterteilt das Erleben in momentanes (Wechsel) und in wiederkehrendes Erleben (Kontinuität) sowie in positives Erleben (Expansion) und negatives Erleben (Begrenzung). Dem so aufgespannten Erlebnisraum können nach DICK (2002) konkrete Fahrsituationen zugeordnet werden (z. B. Entspannung auf (freier) Autobahn Heimfahrt). Dabei beschreibt DICK (2001) die Expansion als wichtige Komponente des Fahr-Erlebens und charakterisiert sie durch:

- **Körperliche Expansion:** Die Wahrnehmung des Fahrers erweitert sich ausgehend von seinem Körper auf die Ausmaße des Fahrzeugs. Er setzt die Straßenbreite in Relation zu seinem Fahrzeug und entscheidet damit über die Fortbewegung. Des Weiteren nimmt der Fahrer die Umwelt über die Außenhaut des Fahrzeugs wahr (z. B. glatte Straße). DICK (2001, S. 128) spricht hier auch davon, dass „Fahrzeug und Fahrer verschmelzen“.
- **Räumliche Expansion:** Durch das Fahrzeug ist der Fahrer in der Lage, immer größere Distanzen zu überwinden und damit seinen eigenen Aktionsradius zu erweitern.
- **Fahrerische Expansion:** Das Fahrzeug übt auf den Fahrer einen Ansporn aus, die Nuancen der Fähigkeiten zu verfeinern (DICK 2001).

ENGELBRECHT et al. (2009) entwickeln ein heuristisches Modell („Joy and convenience in activities“), welches das Erleben von Komfort und Fahrspaß aus motivationspsychologischer Perspektive betrachtet (Abbildung 2.15).

Ziel des vorgeschlagenen Modells ist es, verschiedene Fahrhandlungen und Fahrsituationen zu identifizieren. So sollen einerseits nutzergruppenspezifisch fahrspaßfördernde Tätigkeiten charakterisiert und dem Fahrer bereitgestellt werden, andererseits fahrspaßreduzierende Tätigkeiten vermieden werden, um dadurch den Fahrkomfort zu steigern.

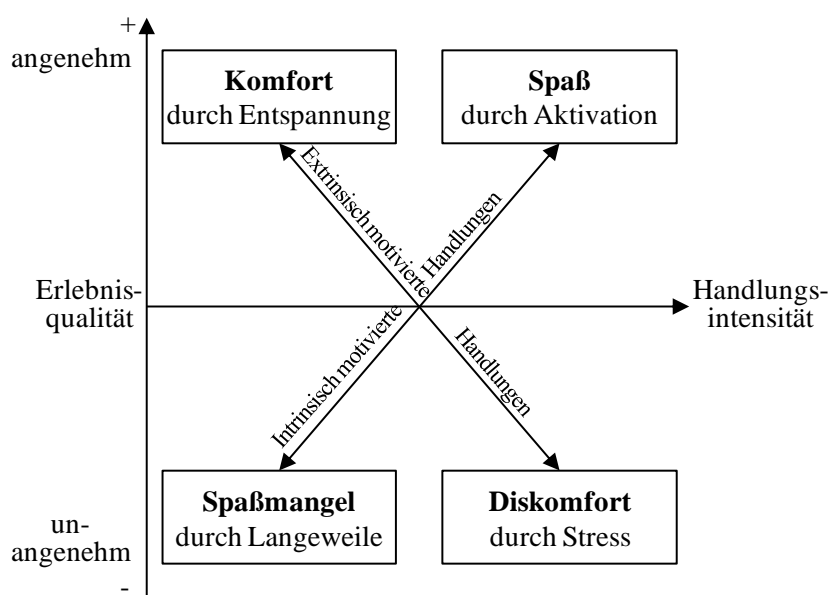


Abbildung 2.15: Joy and Convenience in activities (ENGELBRECHT et al. 2009)

Das Modell besteht aus den Dimensionen Erlebnisqualität (unangenehm / angenehm) und Handlungsintensität (niedrig / hoch) und unterscheidet zwischen extrinsisch und intrinsisch motivierten Handlungen. Extrinsisch motivierte Handlungen sollen nach ENGELBRECHT et al. (2009) durch entsprechende Assistenzsysteme unterstützt und damit der Komfort des Fahrers erhöht werden, intrinsisch motivierte Handlungen sollen dem Fahrer überlassen werden, um diesem den aus der Handlung entstehenden Fahrspaß zu vermitteln. ENGELBRECHT et al. (2009) planen anschließend als erlebensrelevant identifizierte Fahrsituationen in dieses Modell einzuordnen, um damit fahrspaßfördernde Tätigkeiten abzuleiten.

2.4.3 Arbeiten mit interdisziplinärem Ansatz

Die in diesem Abschnitt vorgestellten Arbeiten enthalten einen interdisziplinären Charakter und haben ähnlich wie die vorliegende Arbeit im Fokus, ausgehend vom Erleben des Fahrers konkrete Gestaltungsempfehlungen für technische Systeme abzuleiten. In diesem Kontext erfolgt eine Vorstellung von zwei Ansätzen, einer Untersuchung mit dem konkreten Ziel positives Fahr-Erleben zu generieren sowie einem zweiten Ansatz, der das Vorgehen der aktuell stattfindenden Modellversuchen zur Elektromobilität vorstellt.

TISCHLER & RENNER (2007) verfolgen das Ziel, positives Fahr-Erleben zu charakterisieren und dadurch den Einfluss bestimmter Fahrzeugparameter auf dieses Erleben zu analysieren. Die Begriffe *positives Fahr-Erleben*, *Fahrvergnügen*, *Fahrfreude* und *Fahrspaß* werden als synonym angesehen und positives Fahr-Erleben als „ein durch aktives Handeln bestimmter, positiver emotionaler Zustand einer Person, der durch ein momentanes sinnliches Erleben der Interaktion Mensch-Fahrzeug-Umfeld bestimmt wird“ beschrieben (TISCHLER & RENNER 2007, S. 109). Ein Grundgedanke in dem von TISCHLER & RENNER (2007) vorgeschlagenen Modell ist, dass „der Fahrer ausgehend von seiner (implizit) gewünschten Aktivierung und seinen Fähigkeiten einen Fahrwunsch umsetzen will, der durch die Qualitäten des Fahrzeugs und aktuellen situativen Bedingungen unterstützt oder verhindert werden kann“ (TISCHLER &

RENNER 2007, S. 109). Die Empfehlungen für die Gestaltung von Fahrzeugen leiten TISCHLER & RENNER (2007) auf der Basis von Literaturrecherchen und durchgeführten Probandenversuchen ab. Abbildung 2.16 zeigt eine Zusammenstellung der sieben häufigst genannten fahrspaßfördernden und fahrspaßhemmenden Faktoren, die einerseits auf Fahrzeugparametern, andererseits auf dem Umfeld basieren.

Landstraße: Fahrspaßfördernde Faktoren	Landstraße: Fahrspaßhemmende Faktoren
1. Gute Straßenlage 2. Dynamisch durch die Kurve fahren können 2. Gute Längsdynamik 4. Leistungsreserve 4. Kontrollierbarkeit 4. Schöne Strecke 7. Direkte Ansprache	1. Schlechte Kontrollierbarkeit 2. Viel Verkehr 3. Lenkkorrekturen notwendig 3. Schlechte Straßenlage 3. Zu wenig Rückmeldung 6. Zu laut 6. Schlechtes Wetter
Autobahn: Fahrspaßfördernde Faktoren	Autobahn: Fahrspaßhemmende Faktoren
1. Allgemeines Gefühl der Sicherheit 1. Gute Längsdynamik 3. Gute Straßenlage 3. Möglichkeit hohe Geschwindigkeiten zu Fahren 5. Maximale Handlungsfreiheit 6. Guter Komfort 6. Kontrollierbarkeit	1. Schlechter Komfort allgemein 2. Viel Verkehr 2. Schlechte Kontrollierbarkeit 2. Schlechte Straßenlage 2. Zu harte Federung 6. Viele Lenkkorrekturen 6. Allgemein unsicheres Gefühl

Abbildung 2.16: Fahrspaßfördernde und fahrspaßhemmende Faktoren (TISCHLER & RENNER 2007)

Durch eine Regressionsanalyse wurde hierauf aufbauend die Auswirkung der Faktoren erlebte Sportlichkeit und erlebter Komfort auf den Fahrspaß auf Basis von 51 Probandenfahrten mit 4 unterschiedlichen Serienfahrzeugen abgeschätzt.

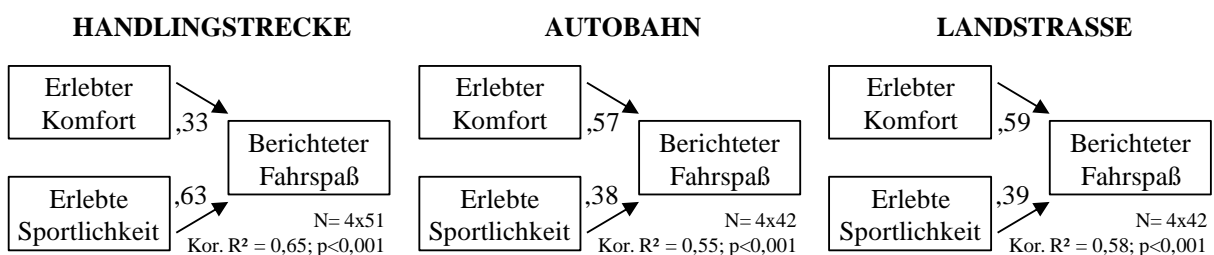


Abbildung 2.17: Ergebnisse einer Regressionsanalyse zur Vorhersage von Fahrspaß für drei unterschiedliche Streckenabschnitte (TISCHLER & RENNER 2007)

Abbildung 2.17 zeigt, dass der durch die angewandte Methodik bezeichnete Fahrspaß abhängig von der Streckenart erlebt wird. Aus dem vermessenen Fahrverhalten der Probanden konnte festgestellt werden, dass der erlebte Fahrspaß für professionelle Fahrer mit steigender Längs- und Querschleunigung und reduziertem mittlerem Lenkwinkelbedarf ansteigt. Aus der untersuchten Gruppe an Normalfahrern konnte aufgrund der Heterogenität der Gruppe keine abgesicherte Beziehung hergestellt werden.

In Feldversuchen zur Elektromobilität wird aktuell von unterschiedlichen Automobilherstellern die Elektromobilität ganzheitlich von interessierten Kundengruppen über das Nutzungsverhalten bis hin zur Vernetzung mit der Infrastruktur betrachtet (VILIMEK et al. 2012, HENNIG 2012). Hierbei wird das Ziel verfolgt, praxisrelevante Erfahrungen bei der Nutzung von Elektrofahrzeugen in unterschiedlichen Ländern und verschiedenen Kundengruppen zu sammeln. Durch das breite Spektrum an abgedeckten Fragestellungen in diesen Versuchen verfolgen diese ebenfalls einen interdisziplinären Ansatz, um auf die verschiedenen Fragestellungen Antworten liefern zu können.

Aufgrund der vielfältig öffentlich zugänglichen Literatur und der Nähe zu der in dieser Arbeit untersuchten Fragestellung wird im Folgenden näher auf den Modellversuch *MINI E* eingegangen, der durch die BMW Group in Zusammenarbeit mit verschiedenen Infrastrukturpartnern, wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen und lokalen Regierungsgruppen durchgeführt wurde. Das Vorgehen und die Datenerhebung wurde innerhalb des Feldversuchs nahezu konstant gehalten, so dass hier im Folgenden Ergebnisse mit dem Fokus der Längsführung basierend auf Daten von etwa 400 privaten Nutzern aus vier Kontinenten mit einer Haltezeit zwischen 6 und 12 Monaten vorgestellt werden können (VILIMEK et al. 2012).

Das Bedienkonzept hohes Schlepptomoment des Fahrzeugs MINI E, mit einer hohen Verzögerung des Fahrzeugs beim Lösen des Fahrpedals (vgl. Abschnitt 2.2.1), wird neben der Akustik als ein zentrales Element beim Erstkontakt mit dem Elektrofahrzeug angesehen (KREMS 2011) und hinsichtlich Akzeptanz und Erleben innerhalb des Feldversuchs untersucht. Ähnlich beschreiben auch VILIMEK et al. (2012) die Rekuperation als ein einzigartiges Feature sowie ein Schlüsselement von Elektrofahrzeugen. TURRENTINE et al. (2011) thematisieren den Anlernprozess und unterteilen diesen in die drei aufeinanderfolgenden Phasen *Discovery*, *Translation* und *Application*. Nach TURRENTINE et al. (2011) lernt der Fahrer so die Rekuperation spielerisch kennen und integriert diese aufgrund der Entspannung und Bestätigung durch das System in sein eigenes Fahrverhalten. Da die notwendigen Fähigkeiten einfach aufzubauen sind, wird der Fahrer schnell in seiner Kompetenz bestätigt, was zu einer hohen Akzeptanz des Systems führt (VILIMEK et al. 2012, TURRENTINE et al. 2011). LABEYE et al. (2011) ordnen die Rekuperation in einem Fahrerverhaltensmodell nach MICHON (1984) ein und beschreiben den Zusammenhang zwischen der Fahrzeugführung auf der operativen Ebene und der Energieeffizienz zur Reichweitenoptimierung auf der strategischen Ebene. Ausgehend von den Ergebnissen des Feldversuchs MINI E berichtet TURRENTINE et al. (2011) von einem Wunsch der Nutzer, die Rekuperationshöhe einzustellen, um damit beispielhaft ein einfacheres Ausrollen des Fahrzeugs (Segeln) zu erreichen.

Aktuelle Forschungsarbeiten verfolgen unterschiedliche Zielsetzungen. Neben ingenieurwissenschaftlich geprägten Arbeiten, bei denen detailliert auf spezifische technische Parameter eingegangen wird und dabei das Urteil des Menschen auf abstraktem Niveau erhoben wird, existieren psychologisch geprägte Arbeiten, die sich explizit mit spezifischen Prozessen des Erlebens des Fahrers auseinandersetzen, aber oft keine Verbindung zu konkreten Auslegungsparametern aufweisen. Demgegenüber existieren Arbeiten mit einem interdisziplinären Forschungsansatz, der einerseits das Erleben des Menschen fokussiert,

andererseits auch die Beziehung zu konkreten technischen Parametern beinhaltet. Ein Beispiel für einen derartigen Ansatz stellen die Feldversuche zur Elektromobilität dar, in denen konkret das Nutzungsverhalten untersucht wird, ausgehend von den Bedarfen und Wünschen der Nutzer, um daraus konkrete technische Anforderungen abzuleiten.

2.5 Präzisierung der Problemstellung

Ähnlich wie die Ansätze mit interdisziplinärer Arbeitsweise wird auch in dieser Arbeit der Ansatz verfolgt, die Auswirkung technischer Parameter auf das Fahr-Erleben in den Mittelpunkt zu stellen (menschzentrierter Forschungsansatz, DIN EN ISO 9241-210 2011), um auf Basis dessen Gestaltungsempfehlungen für die Abstimmung des Schlepptoments von Elektrofahrzeugen abzuleiten, die dem Fahrer ein positives Fahr-Erleben vermitteln.

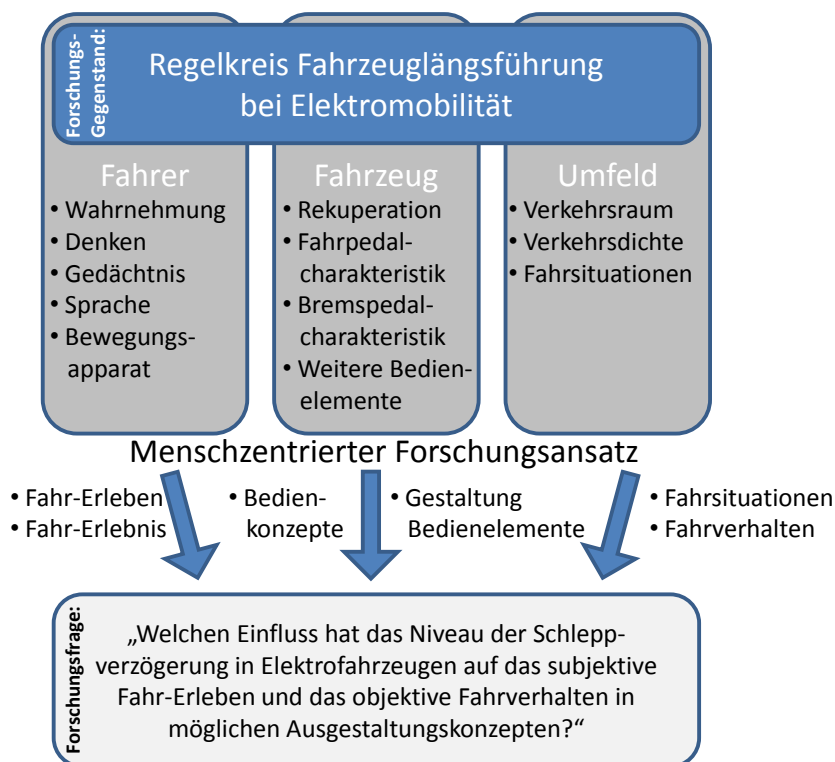


Abbildung 2.18: Präzisierung der Problemstellung ausgehend vom aktuellen Stand der Forschung zum Regelkreis Fahrzeuglängsführung

Basierend auf der Vorstellung des Regelkreises Fahrer-Fahrzeug-Umwelt kann der spezifische Forschungsbedarf für die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Leitfragen konkretisiert und auf die einzelnen Teilelemente des Regelkreises herunter gebrochen werden:

- **Fahrer:** Die in Abschnitt 2.1.3 vorgestellten kognitiven Prozesse werden im Folgenden durch eine Beschreibung des Erlebens während der Fahrt sowie durch auftretende Erlebnisse des Fahrers konkretisiert. Neben der in Abschnitt 2.1.3 vorgestellten Definition eines Erlebnisses wird in dieser Arbeit zusätzlich die Erfüllung spezifischer psychologischer Bedürfnisse als ein unterstützender Bestandteil eines Erlebnisses angesehen (SHELDON 2004, VON SAUCKEN et al. 2011). Durch die

Beschreibung des Erlebens und von Erlebnissen während der Fahrt wird die Sicht des Fahrers auf die technischen Ausprägungen verdeutlicht.

- **Fahrzeug:** Der in Abschnitt 2.2.1 vorgestellte Freiheitsgrad Rekuperation von Elektrofahrzeugen, mit der Möglichkeit der Abstimmung des Schleppmoments, wird in dieser Arbeit fokussiert. Hierbei erfolgt eine Variation der sich einstellenden Fahrzeugreaktion in Bezug zur Bedieneingabe ohne eine Veränderung der Betätigungscharakteristiken der Bedienelemente, um diesen Einfluss isoliert zu betrachten. Auch der Einfluss unterstützender Fahrerassistenzsysteme wird im Rahmen der Arbeit ausgeklammert.
- **Umfeld:** Die Situationen, in denen der Fahrer mit dem Fahrzeug interagiert um eine gewünschte Fahrzeugreaktion einzustellen, werden durch Objekte des Umfeld hervorgerufen und können mit dem Fahrverhalten als charakteristische Größe beschrieben werden. Zur Erhebung des Erlebens in spezifischen Ausprägungskonzepten sind diese von Fahrern in realistischen Fahrsituationen zu nutzen und zu bewerten.

Zusammenfassend lässt sich folglich die im Rahmen dieser Arbeit untersuchte Forschungsfrage beschreiben:

Welchen Einfluss hat das Niveau der Schleppverzögerung in Elektrofahrzeugen auf das subjektive Fahr-Erleben und das objektive Fahrverhalten in möglichen Ausgestaltungskonzepten?

3. Erleben der Fahrzeuglängsführung

In diesem Kapitel wird eine theoretische Modellvorstellung der Einordnung verschiedener Beschreibungsdimensionen der Fahrzeuglängsführung vorgestellt. Diese Vorstellung stützt sich einerseits auf bestehende Ansätze, andererseits auf durchgeführte Workshops und explorative Studien. Zur Verdeutlichung der Herleitung der Modellvorstellung erfolgt zunächst in Abschnitt 3.1 eine Beschreibung des Vorgehens, auf Basis dessen die einzelnen der Modellvorstellung zu Grunde liegenden Teilelemente ermittelt wurden. Die im Rahmen der Modellvorstellung vorgestellten Aspekte und Zusammenhänge dienen als Hypothesen zur Evaluation der verschiedenen technischen Ausprägungen in den Kapiteln 5 und 6 und beschreiben ähnlich einem ingenieurhaften Modell aufgabenspezifisch und zweckorientiert (LINDEMANN 2009) den komplexen Zusammenhang des Fahr-Erlebens der Fahrzeuglängsführung.

3.1 Auswahl relevanter Dimensionen

Die Untersuchungen unter anderem von DICK (2002), ENGELBRECHT et al. (2009) und TISCHLER & RENNER (2007) zeigen, dass aktuell noch keine allgemeingültige Definition oder Modellvorstellung des Fahr-Erlebens existiert und es auch nur bedingt als möglich erscheint, eine generische Definition herzuleiten. Die einzelnen Modelle in den verschiedenen Arbeiten schließen sich gegenseitig nicht aus, verfolgen jedoch unterschiedliche Zielsetzungen und damit Ansätze. Im folgenden Abschnitt wird zunächst ausgehend von einer Literaturanalyse eine Übersicht potentiell relevanter Erlebensdimensionen der Fahrzeuglängsführung aufgezeigt und anschließend ein Vorgehen vorgestellt, mit Hilfe dessen diese Dimensionen konkretisiert und erweitert werden konnten.

3.1.1 Bekannte Erlebensdimensionen aus der Literatur

Da bislang noch keine explizite Untersuchung des Erlebens der Fahrzeuglängsführung bekannt ist, wird im Folgenden eine Auswahl an Arbeiten aufgeführt, die eine gewisse inhaltliche Nähe zur vorliegenden Fragestellung aufweisen. Mit dem Ziel, die für die Fahrzeuglängsführung relevanten Erlebensdimensionen abzuleiten, wurden die in Tabelle 3.1 aufgeführten Forschungsarbeiten analysiert und relevante Erlebensdimensionen extrahiert.

Tabelle 3.1 zeigt, dass die Erlebensdimensionen Sicherheit und Komfort vorrangig bei der Evaluation von Konzepten verwendet werden und oft zusätzlich durch Unter Aspekte wie die Kontrollierbarkeit und die Erwartungskonformität charakterisiert werden. Andererseits zeigen verschiedene Studien, dass die Energieeffizienz in den letzten Jahren stark an Bedeutung hinzugewinnt und häufiger untersucht wird.

Trotz der Häufigkeit der Bewertung des Komforts in verschiedenen Untersuchungen hat sich bislang keine eindeutige Definition des Komfortbegriffs etabliert und es fehlen klare Aussagen bezüglich Faktoren, die den Fahrkomfort beschreiben (ENGELBRECHT et al. 2009). BUBB (2003c) beschreibt den Begriff Komfort sogar als einen *diffusen* Begriff und schreibt ihm Eigenschaften aus dem Sprachgebrauch wie Behaglichkeit, Bequemlichkeit und Zufriedenheit zu, aber auch einer Beurteilung des Luxus einer Ausstattung.

Tabelle 3.1: In aktuellen Forschungsarbeiten des europäischen Raums berücksichtigte Erlebensdimensionen in Bezug zur Fahrzeuglängsführung

Forschungsarbeit	Erlebensdimension
Die Situation des Fahrens – Phänomenologische und ökologische Perspektiven der Psychologie (DICK 2001)	<ul style="list-style-type: none"> - Entspannung - Anregung - Routine - Störung - Expansion - Kontinuität
Unterstützung von Fahrkomfort und Fahrspaß durch Fahrerassistenzsysteme (ENGELBRECHT et al. 2009)	<ul style="list-style-type: none"> - Fahrspaß - Fahrkomfort
Physiologiebasierte Simulation des Bremsverhaltens von Fahrzeugführern (GRESZIK 2009)	<ul style="list-style-type: none"> - Zurechtkommen - Kontrollierbarkeit - Sicherheit - Komfort - Akzeptanz
Enhancement of Driver Anticipation and Its Implications on Efficiency and Safety (POPIV 2012)	<ul style="list-style-type: none"> - Unterstützung - Gefallen - Energieeffizienz - Komfort - Sicherheit - Bevormundung
Ansatz zur Messung von positivem Fahr-Erleben (TISCHLER & RENNER 2007)	<ul style="list-style-type: none"> - Komfort - Rückmeldung - Längsdynamik - Handlungsfreiheit - Kontrolliertheit
Analytische und experimentelle Untersuchung der Mensch-Maschine-Schnittstelle von Pkw-Bremsanlagen (TRUTSCHEL 2007)	<ul style="list-style-type: none"> - Komfort - Sicherheit
The MINI E field study (VILIMEK et al. 2012)	<ul style="list-style-type: none"> - Sicherheit - Reichweite - Energieeffizienz - Gefallen - Stimulation - Kompetenz - Pedalbetätigungsverhalten
Bewertungsverfahren von Fahrerassistenzsystemen (WINNER 2012)	<ul style="list-style-type: none"> - Komfort - Sicherheit - Erwartungskonformität

Zur Beschreibung des Begriffs Komfort wird in der Literatur die umgangssprachlich verwendete Bedeutung oft aufgeteilt in zwei Beschreibungsdimensionen, den Komfort und den Diskomfort. Nach einer Untersuchung von ZHANG et al. (1996) bezeichnen Komfort und Diskomfort jedoch nicht die Extreme ein und desselben Kontinuums, sondern wirken als unterschiedliche Dimensionen. Der Begriff Komfort kann nach ZHANG et al. (1996) mit Aspekten der Ästhetik und des Gefallens verbunden werden, wohingegen Diskomfort als eng verbunden mit physischen und biomechanischen Faktoren angesehen wird.

3.1.2 Konkretisierung der Erlebensdimensionen mit explorativem Vorgehen

Ausgehend von den in der Literatur diskutierten Erlebensdimensionen wurde ein exploratives Vorgehen zur Konkretisierung und Operationalisierung dieser Dimensionen angewendet. Durch dieses Vorgehen werden ausgehend von den einzelnen Erlebensdimensionen diese auf Relevanz überprüft, geeignete Messinstrumente ausgewählt und zusätzlich weitere spezifische Erlebensaspekte der Längsführung ermittelt (vgl. Abbildung 3.1). Einzelne Teilelemente des Vorgehens wurden bereits in den folgenden Veröffentlichungen sowie Abschlussarbeiten beschrieben: EBERL et al. 2011b, EBERL et al. 2012b, JUNG 2011, TERHORST 2012.

Der Begriff *Erlebensaspekt* bezeichnet in der vorliegenden Arbeit konkrete beschreibbare Facetten des Erlebens, welche durch den Begriff *Erlebensdimension* zu einer übergeordneten Einordnung zusammengefasst werden kann. Die Sicherheit stellt beispielhaft eine Erlebensdimension dar und kann weiter untergliedert werden durch den Erlebensaspekt Beeinflussbarkeit, der eine Teilfacette dieser Dimension beschreibt.

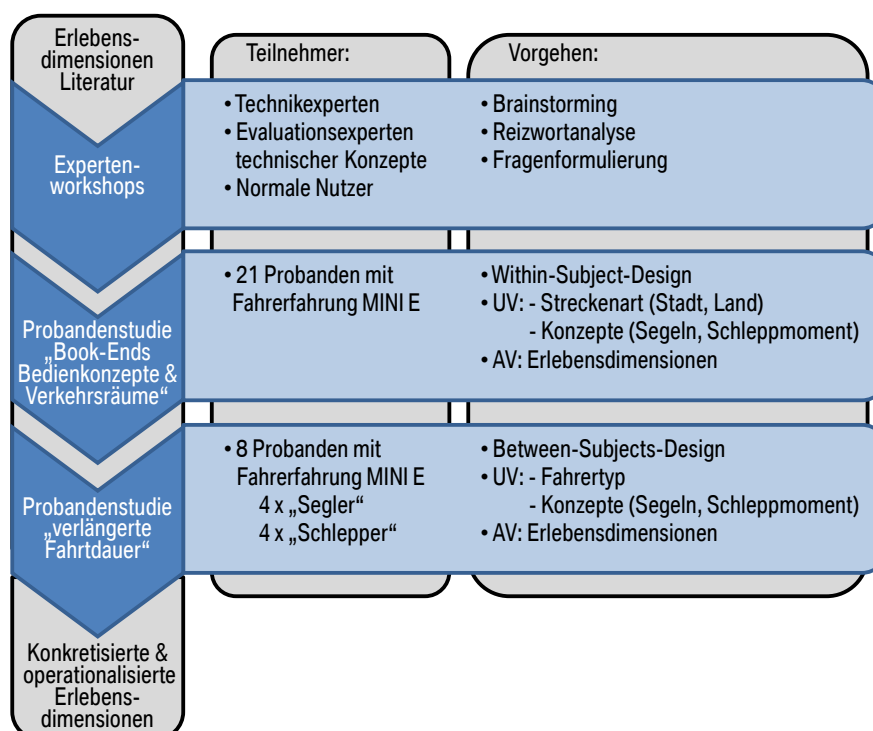


Abbildung 3.1: Exploratives Vorgehen zur Konkretisierung und Operationalisierung der Erlebensdimensionen der Fahrzeuglängsführung

Die aus der Literatur bekannten Erlebensdimensionen (vgl. Abschnitt 3.1.1) wurden im Rahmen von **Experten-Workshops** näher konkretisiert sowie erweitert. Durch die Auswahl von Teilnehmern mit unterschiedlichem Hintergrund konnten zum einen Erfahrungen bei der Durchführung ähnlicher Studien mit eingebracht werden, daneben die Auswirkung konkreter technischer Parameter mit berücksichtigt werden und auch Erfahrungen von unbedarften Nutzern mit eingebracht werden. Ausgehend von den durchgeführten Expertenworkshops wurden die ermittelten Erlebensdimensionen in spezifische Erlebensaspekte herunter gebrochen und spezifisch durch quantitative Fragen verbalisiert und einer Beurteilungsskala gegenübergestellt.

Basierend auf den Ergebnissen der Expertenworkshops wurden Fragebogenentwürfe abgeleitet und eine **Probandenstudie mit explorativem Charakter** durchgeführt. Das Ziel dieser Studie stellt die Überprüfung und Erweiterung der ermittelten Erlebensaspekte sowie der Messinstrumente dar. In diesem Versuch wurden auf Grund des explorativen Charakters die unabhängigen Variablen (UV) Bedienkonzepte der Längsführung Segeln und hohes Schleppmoment sowie die beiden Streckenarten Stadt- und Landstrecke von den Probanden bewertet. Die Gesamtzeit eines Versuchsablaufs kann mit zwei Stunden angegeben werden und untergliedert werden in eine 20 minütige Stadtfahrt (12 km) und eine 25 minütige außerstädtische Fahrt (21 km) je Bedienkonzept sowie die Zeiten für die Befragungen. Um eine differenzierte Sicht auf das stark gegenüber einem verbrennungsmotorisch angetriebenen Fahrzeug geänderte Bedienkonzept hohes Schleppmoment zu erlangen, wurden Probanden ausgewählt, die bereits eine Fahrerfahrung von mehr als 100 km mit einem derartigen Fahrzeug aufweisen konnten und dieses somit gezielt beherrschen. Die Verwendung der Bedienkonzepte Segeln und hohes Schleppmoment ermöglicht die Analyse sich stark differenzierender Bedienkonzepte. Durch die für ein exploratives Vorgehen relativ hohe Anzahl an Probanden (N=21) konnten einerseits die eingesetzten quantitativen Messinstrumente überprüft werden, andererseits konnte eine große Datenbasis zur Erweiterung und Beschreibung der Erlebensdimensionen generiert werden. Als Messinstrumente wurden in diesem Probandenversuch zum einen die Methode *Verbalisierung des Erlebten* angewendet (vgl. Abschnitt 5.1.3), daneben ein Leitfadenterview sowie ein Fragebogen mit konkreten offenen und geschlossenen Fragen.

Die ermittelten Erlebensdimensionen wurden durch einen zusätzlichen Probandenversuch mit explorativem Charakter erweitert. Den Fokus dieses Versuchs stellt die Erweiterung der Erlebensdimensionen um **Erfahrungen aus längerer Fahrdauer** dar. Um die Fahrdauer je Bedienkonzept möglichst auszudehnen, wurde ein Between-Subject-Design für diese Studie gewählt und aufgrund des explorativen Charakters erneut die Bedienkonzepte Segeln und hohes Schleppmoment bewertet. Da die Ergebnisse der vorhergehenden Studie unter anderem eine Präferenz spezifischer Personen für die unterschiedlichen Bedienkonzepte zeigten, wurden in diesem Versuch den Fahrern bewusst spezifische Bedienkonzepte zugeteilt. Um die jeweils spezifischen Vor- und Nachteile der Bedienkonzepte zu eruieren, bewerteten Fahrer einerseits das von ihnen präferierte Bedienkonzept, andererseits andere Fahrer ein von ihnen abgelehntes Bedienkonzept. Somit kann die vorhandene Präferenz der Fahrer als eine weitere bewusst variierte unabhängige Variable in diesem Versuch angenommen werden. Um eine ausreichende Erfahrung der Probanden mit den bewerteten Bedienkonzepten abzusichern wurden nur Probanden ausgewählt, die bereits eine Mindestfahrerfahrung mit diesem

Fahrzeug aufwiesen (MIN 40 km, MW 839 km). Um gezielt auch die Fahrsituationen bei ausgedehnter Fahrdauer zu bewerten, wurde eine Versuchsstrecke mit Land- und Autobahnabschnitten gewählt (46 km, ca. 40 min Fahrdauer). Zur Unterstützung der Probanden bei der Beschreibung der Bedienkonzepte wurden diese angewiesen, die Eindrücke der Eingewöhnungsfahrt zur Versuchsrunde mit Adjektiven aus dem Interaktionsvokabular nach DIEFENBACH et al. (2010) und Adjektiven des AttrakDiff mini nach HASSENZAHL et al. (2003) mit Hilfe eines Fragebogens zu beschreiben. Die gewählte Versuchsstrecke wurde zwei Mal durchfahren, um den Fahrern bei der zweiten Fahrt eine gewisse Kenntnis der Strecke und der auftretenden Fahrsituationen zu vermitteln. Während der einzelnen Versuchsrunden wurde ebenfalls die Methode Verbalisierung des Erlebten, als auch ein Leitfadeninterview sowie eine Befragung mit Hilfe eines Fragebogens durchgeführt, welcher eine Kombination aus offenen und geschlossenen Fragen darstellt. Die Fragen des Leitfadeninterviews wurden auf der ersten Versuchsrunde recht allgemein gehalten, um die Probanden nicht zu beeinflussen oder zu fokussieren, auf der zweiten Versuchsrunde wurden die im Rahmen des Fragebogens nach der ersten Versuchsrunde evaluierten Erlebensaspekte im Rahmen des Leitfadeninterviews weiter detailliert.

Ausgehend von den beiden durchgeführten explorativen Probandenversuchen wurden vielfältige qualitative Daten gesammelt, die aus einer Transkription der Audioaufnahme der Probandenversuche resultieren. Die Transkripte wurden von mehreren Personen unabhängig voneinander ähnlich der qualitativen Inhaltsanalyse nach MAYRING (2010) auf relevante Komponenten des Fahr-Erlebens der Längsführung analysiert und in bestimmte Kategorien geordnet. Ausgehend von den Kategorien konnten die Erlebensdimensionen der Fahrzeuglängsführung erweitert und konkretisiert werden.

Ausgehend von einer Literaturrecherche können verschiedene Erlebensdimensionen der Fahrzeuglängsführung identifiziert werden. Diese Erlebensdimensionen konnten mit Hilfe eines Vorgehens aus Experten-Workshops und zwei explorativen Probandenversuchen erweitert, näher konkretisiert und durch spezifische Messinstrumente operationalisiert werden. Die hierzu durchgeführten Probandenversuche fokussieren einerseits den Einfluss unterschiedlicher Verkehrsräume (urbaner und ruraler Raum) andererseits den Einfluss der Fahrdauer. Als technische Ausgestaltung wurde in diesen Versuchen das Bedienkonzept Segeln sowie das hohe Schleppmoment berücksichtigt, um durch das Abbilden des Bereichs der möglichen Abstimmungen Beschreibungsdimensionen zu entwickeln, die den Lösungsraum abdecken.

3.2 Einordnung verschiedener Beschreibungsdimensionen der Fahrzeuglängsführung

Ausgehend von dem im vorherigen Abschnitt vorgestellten Vorgehen kann eine theoretische Modellvorstellung der Einordnung verschiedener Beschreibungsdimensionen der Fahrzeuglängsführung abgeleitet werden (vgl. Abbildung 3.2), welche das Erleben und Erlebnisse des Fahrers im Hinblick auf die Interaktion zwischen Fahrer, Fahrzeug und Umfeld bezüglich der primären Fahraufgabe fokussiert.

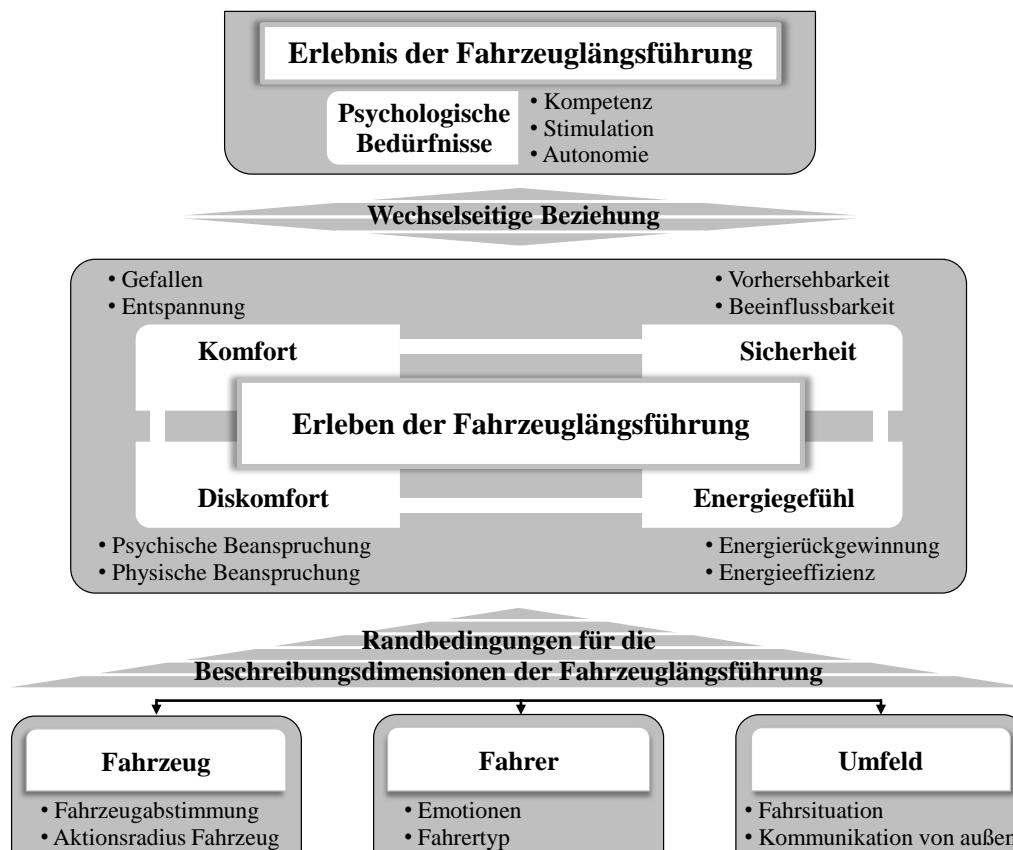


Abbildung 3.2: Einordnung verschiedener Beschreibungsdimensionen der Fahrzeuglängsführung sowie Regelkreis Fahrzeugführung als einwirkende Randbedingung

Das Erleben der Fahrzeuglängsführung kann mit den Erlebensdimensionen Sicherheit, Energiegefühl, Diskomfort und Komfort charakterisiert werden. Das augenblickliche Erleben des Fahrers beeinflussen weiterhin spezifische Randbedingungen. Diese Randbedingungen können durch den Regelkreis Fahrzeuglängsführung charakterisiert werden, welcher die Teilelemente Fahrzeugparameter, fahrerspezifische Aspekte sowie das Verkehrsumfeld enthält. Ausgehend vom aktuellen Erleben des Fahrers kann dieser ebenfalls ein Erlebnis der Fahrzeuglängsführung reflektieren, welches durch den spezifischen Grad der Erfüllung psychologischer Bedürfnisse charakterisiert werden kann. Im folgenden Abschnitt werden die einzelnen Teilelemente dieser Modellvorstellung näher konkretisiert, um damit durch eine theoretische Basis relevanter Aspekte die Bewertung verschiedener Konzepte der Längsführung zu unterstützen. Bei der Beschreibung der verschiedenen Teilelemente werden in jedem einzelnen Abschnitt durch eine tabellarische Zusammenfassung die relevanten Erlebensaspekte vorgestellt sowie nach dem Verständnis der vorliegenden Arbeit charakterisiert (vgl. z. B. Tabelle 3.2). Im darauf folgenden Abschnitt wird auf die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Teilelementen eingegangen. Neben der Konkretisierung der relevanten subjektiven Teilelemente wird in Abschnitt 3.2.8 aufgeführt, mit welchen objektiven Kennwerten der Fahrzeuglängsführung das subjektive Erleben unterstützend beschrieben werden kann. Abschließend erfolgt in diesem Kapitel eine Darstellung des Zusammenwirkens der einzelnen Teildimensionen der Modellvorstellung, auf Basis dieser Hypothesen für die in Kapitel 5 und 6 durchgeführten Experimente abgeleitet werden.

3.2.1 Sicherheit

JÜRGENSOHN (1997) differenziert bezüglich des Sicherheitsbegriffs im Kontext der Fahrzeugführung zwischen einer lokalen und einer globalen Sicherheit. Das Ziel der globalen Sicherheit stellt die Verringerung der Gesamtunfallzahlen dar. Demgegenüber verfolgt die lokale Sicherheit eine bestmögliche Beherrschbarkeit des Fahrzeugs, was ebenfalls zu einer Erhöhung der globalen Sicherheit führen kann. Die lokale Sicherheit kann nach KLEBELSBERG (1977) unterteilt werden in eine subjektive und eine objektive Sicherheit. Dabei beinhaltet die objektive Sicherheit alle äußeren Sicherheitsbedingungen, wie beispielhaft den Straßenbelag und die Witterungsverhältnisse. Demgegenüber beschreibt die subjektive Sicherheit das individuelle Sicherheitsgefühl des Fahrers und wird durch das Gefühl geprägt, eine Situation zu kontrollieren. Da das subjektive Erleben des Fahrers im Fokus dieser Arbeit steht, wird diese Teilfacette des globalen Sicherheitsbegriffs fokussiert.

HAIDER (1977) überträgt das Gefühl eine Situation zu kontrollieren auf die Bediensicherheit, die durch die hierarchisch aufeinander aufbauenden Stufen Durchschaubarkeit, Vorhersehbarkeit und Beeinflussbarkeit beschrieben werden kann (GROTE 1997). Speziell der Aspekt Beeinflussbarkeit, der einen zentralen Aspekt bei der Entwicklung und Evaluation von Konzepten der Längsführung darstellt, wird im Rahmen der Arbeit näher durch zwei Teilaspekte beschrieben, einerseits durch den Aspekt Dosierbarkeit, andererseits durch die Direktheit. Diese Unterteilung in die beiden Teildimensionen stellt das Zusammenspiel zwischen Fahrer und Bediencharakteristik (Dosierbarkeit) sowie die zeitliche Rückmeldung der auf die Bedieneingabe folgenden Fahrzeugreaktion (Direktheit) in den Vordergrund.

Tabelle 3.2: Zusammenstellung der Erlebensaspekte der Dimension Sicherheit und deren Beschreibung

Der Aspekt...	... beschreibt ...
Kontrolle	die Intensität, der im Rahmen der Regeltätigkeit gezielten Überwachung und Beeinflussung der Fahrzeugreaktion.
Durchschaubarkeit	das Ausmaß, der durch den Fahrer erkennbaren Verbindung zwischen den Bedienelementen und deren Auswirkung auf die Fahrzeugreaktion.
Vorhersehbarkeit	die Abschätzung, der sich auf eine Bedieneingabe (durch Fahr- und Bremspedal) einstellenden Fahrzeugreaktion (Beschleunigung und Verzögerung).
Beeinflussbarkeit	die Einstellbarkeit des gewünschten Fahrzustands mit den dem Fahrer zur Verfügung stehenden Mitteln (Interaktion mit Fahr- und Bremspedal).
Dosierbarkeit	den Grad der Beeinflussbarkeit der Bediencharakteristik, mit der eine Veränderung der Fahrzeugreaktion eingestellt werden kann.
Direktheit	den Grad der zeitlichen Beeinflussung, mit der eine Veränderung der Fahrzeuggeschwindigkeit eingestellt werden kann.

3.2.2 Energiegefühl

Die Erlebensdimension Energiegefühl charakterisiert mit Hilfe von zwei Teilaspekten das Erleben des Fahrers bezüglich des durch das Fahrverhalten eingestellten Energieumsatzes. Zur Verringerung des Energieverbrauchs in heutigen Fahrzeugen wird in aktuellen Untersuchungen vermehrt auch das Fahrverhalten analysiert, das oft ein erhebliches Potenzial zur Verringerung des Energieverbrauchs bietet (z. B. RAUBITSCHKE et al. 2011). Um dieses Potenzial zu erschließen wird in aktuellen Ansätzen häufig versucht, dem Fahrer mit Hilfe von Fahrerassistenzsystemen zusätzliche Informationen zu übermitteln, die diesen zu einem effizienten Fahrverhalten motivieren oder bei der Einstellung unterstützen (POPIV 2012). Damit der Fahrer jedoch selbstständig ein energieeffizientes Fahrverhalten einstellt, muss dieser einer Beurteilung fähig sein, welche Auswirkungen ein potientiellies Fahrverhalten auf die Energieeffizienz ausübt. Hierzu wird im Rahmen dieser Arbeit die sich in Folge von Bedieneingaben einstellende Fahrzeugreaktion als eine wesentliche Komponente zur Einschätzung der Energieeffizienz durch den Fahrer betrachtet. Speziell bezüglich der Rekuperation von Elektrofahrzeugen ist hier neben der globalen Effizienz des Fahrverhaltens der Einfluss der Rekuperation auf die Energieeffizienz zu berücksichtigen. Da Fahrer subjektiv den Einfluss der Energierückgewinnung nur bedingt auf die Gesamtfahrzeugeffizienz abschätzen können, sind die beiden Teilaspekte getrennt voneinander zu berücksichtigen.

Tabelle 3.3: Zusammenstellung der Erlebensaspekte der Dimension Energiegefühl und deren Beschreibung

Der Aspekt beschreibt ...
Energierückgewinnung	das erlebte Ausmaß der Energierückgewinnung durch die Rekuperation.
Energieeffizienz	die erlebte Einschätzung des Energieverbrauchs durch die Fahrhandlung.

3.2.3 Diskomfort

KRÜGER et al. (2000) sehen in der Erfassung des Diskomforts einen vielversprechenden Zugang zu den subjektiven Bewertungen von Fahrzeugeigenschaften. Innerhalb von Versuchen konnte nachgewiesen werden, dass die „Beanspruchung eine außerordentlich stabile und sensible Führungsgröße im Fahren darstellt und den Gesamtaufwand beschreibt, den ein Fahrer aufbringen muss, um einen bestimmten fahrdynamischen Zustand herzustellen“ (KRÜGER et al. 2000, S. 14). Bezüglich der Bewertung von Fahrzeugeigenschaften liegt hierbei der große Vorteil, dass der Normalfahrer zwar kein Experte für das Fahrzeug ist, seine eigene Beanspruchung jedoch subjektiv gut einschätzen kann (JUNG 2011).

Nach einer Clusteranalyse von ZHANG et al. (1996) setzt sich der Diskomfort aus den Komponenten Müdigkeit, Ruhelosigkeit, Beanspruchung, Schmerz und Durchblutungsvermögen zusammen. Aufgrund der Relevanz für die Fahrzeuglängsführung

liegt der Schwerpunkt der Bewertung des Diskomforts auf Aspekten der Beanspruchung. Aspekte der Müdigkeit oder Ruhelosigkeit werden als fahrerseitige Einflussfaktoren auf das Erleben angesehen und daher als Randbedingungen des Erlebens der Längsführung verstanden.

Der Aspekt Beanspruchung wird innerhalb dieser Arbeit als individuelle psychophysische Reaktion auf die einwirkende Belastung bei der Längsführung angesehen und kann je nach Bewältigungsmöglichkeit des Fahrers positiv (als höhere Aktivierung) als auch negativ erlebt werden. Die erlebte Beanspruchung der Fahrzeuglängsführung wird im Rahmen dieser Arbeit in eine psychische und eine physische Beanspruchung unterteilt. Der erlebte Diskomfort ist zudem abhängig vom spezifischen Anlern- und Gewöhnungszustand des untersuchten Individuums, weswegen dieser Einfluss als Randbedingung Berücksichtigung findet.

Tabelle 3.4: Zusammenstellung der Erlebensaspekte der Dimension Diskomfort und deren Beschreibung

Der Aspekt beschreibt ...
Physische Beanspruchung	die individuelle Reaktion des Organismus beim Erbringen einer Leistung (z. B. Interaktion mit Pedalerie), erkennbar an der Veränderung verschiedener Kenngrößen (z. B. Herzfrequenz, Atemzeitvolumen) als Zeichen der physiologischen Beanspruchung (SCHMIDT 2010).
Pedalwechsel	die durch die Durchführung von Wechseln zwischen Fahr- und Bremspedal ausgelöste körperliche Beanspruchung.
Fußhaltung	die körperliche Beanspruchung, ausgelöst durch die Einstellung einer Pedalposition oder eines Fahrzeugzustands.
Psychische Beanspruchung	die unmittelbare Auswirkung der kognitiven Belastung im Individuum in Abhängigkeit von den jeweiligen überdauernden und augenblicklichen Voraussetzungen einschließlich der individuellen Bewältigungsstrategien (DIN EN ISO 10075-1 2000).
Aufmerksamkeit	Prozesse, mit denen Informationen, die für aktuelle Handlungen relevant sind, selektiert und ausgehend davon die Handlungsplanung beeinflusst wird (HAGENDORF et al. 2011).
Vorausschau	die kognitive Belastung durch den Vergleich der Interpretation des zukünftigen Verkehrsumfelds mit der zukünftigen Fahrzeugposition.

3.2.4 Komfort

Die Beschreibung des Komforterlebens lehnt sich an eine integrative Definition nach ENGELN & VRATIL (2008) an, welche die Begriffe Komfort und Genuss unter Einbeziehung motivationspsychologischer Überlegungen beschreibt.

Eine Tätigkeit kann nach ENGELN & VRATIL (2008) in **Handlungs- und Nutzungskontexte** untergliedert werden. Bei den Handlungskontexten steht die Aktivität beziehungsweise die Tätigkeit im Vordergrund, wohingegen bei Nutzungskontexten die sensorische Empfindung näher fokussiert wird. Das Pedalgefühl als Beschreibungsform der sensorischen Empfindung der Pedalcharakteristik wird demnach im Rahmen dieser Arbeit als Beschreibung im Nutzungskontext verstanden, wohingegen die Fahrzeuglängsführung eine Beschreibung im Handlungskontext darstellt, da diese die Prozesse der primären Fahraufgabe fokussiert. Ausgehend von dieser Charakterisierung von Tätigkeiten kann die Beschreibung des Komforts ebenfalls aufgeteilt werden in eine Beschreibung des Nutzungs- und des Handlungskomforts.

Nach ENGELN & VRATIL (2008) lassen sich in diversen Untersuchungen physiologisch oder physikalisch eindeutig definierbare Faktoren dem Komfortbegriff zuordnen, trotzdem verbleibt eine hohe Restvarianz, die durch ein unterschiedliches inter- und intraindividuelles Erleben beschrieben werden kann. Die Autoren geben für dieses unterschiedliche Erleben motivationspsychologische Hintergründe an und führen in diesem Bezug zur Erklärung den Genussbegriff ein.

Zur Beschreibung des Genussbegriffes ist zunächst eine nähere Beschreibung der **Motivation einer Tätigkeit** nötig, die sowohl einen intrinsischen als auch einen extrinsischen Ursprung aufweisen kann. Wegen einer uneinheitlichen Verwendung dieser beiden Begriffe in der Literatur lehnt sich diese Beschreibung, wie der Beitrag von ENGELN & VRATIL (2008), an eine Beschreibung von RHEINBERG (2006) an, die Tätigkeiten als extrinsisch motiviert beschreibt, falls deren Ergebnis motiviert (veränderter Zielzustand). Demgegenüber bezeichnet eine intrinsische Motivation, dass die Ausübung der Tätigkeit an sich Freude bereitet. Diese Abgrenzung zwischen diesen beiden Begriffen ist jedoch oft nicht trennscharf, da sich die Motivation für eine Tätigkeit während der Durchführung ändern kann oder mehrere unterschiedliche Motivationen für die Ausführung einer Tätigkeit bestehen können. Intrinsisch motivierte Tätigkeiten werden von ENGELN & VRATIL (2008) mit dem Genussbegriff benannt, wohingegen extrinsisch motivierte Tätigkeiten mit dem Komfortbegriff bezeichnet werden. Tabelle 3.5 stellt die Detaillierung des Komforterlebens nach dem Kontext der Tätigkeit und dem Ursprung des Anreizes dar.

Tabelle 3.5: Detaillierung des Komforterlebens nach ENGELN & VRATIL (2008)

	Sensorische Empfindung im Vordergrund	Tätigkeit im Vordergrund
Tätigkeit mit extrinsischem Anreizwert	Nutzungskomfort	Handlungskomfort
Tätigkeit mit intrinsischem Anreizwert	Nutzungsgenuss	Handlungsgenuss

Erlebensaspekte, die in der Kategorie **Nutzungsgenuss** beschrieben werden, charakterisieren konkrete Perspektiven der Interaktion, weswegen derartige Aspekte bei der Beschreibung der Erlebensdimensionen Sicherheit, Energiegefühl und Diskomfort vorgestellt werden. Durch die Detaillierung des Komforterlebens bezüglich des Kontexts der Tätigkeit und des Ursprungs des Anreizes kann die Beschreibung des Komforterlebens differenziert werden und damit eine validere Beschreibung abgeleitet werden.

Dennoch gestaltet sich nach BUBB (2003a) eine allgemeingültige Bewertung des Komforts schwierig, da neben physikalisch messbaren Größen der Interaktion vornehmlich auch Aspekte der subjektiven Stimmung, Einflüsse der Tagesform und spezifische Vorstellungen und Erwartungen einwirken. Da diese Faktoren Randbedingungen des subjektiven Komforterlebens darstellen, werden diese in Abschnitt 3.2.6 beschrieben.

Tabelle 3.6: Zusammenstellung der Erlebensaspekte der Dimension Komfort und deren Beschreibung

Der Aspekt beschreibt ...
Fahrgefühl Interaktionsmöglichkeit Pedalerie	eine Bewertung des primär durch die Interaktion mit der Pedalerie ausgelösten Erlebens (Nutzungskomfort).
Fahrgefühl	eine gesamthafte Bewertung des durch die Fahrtätigkeit ausgelösten Erlebens (Handlungsgenuss).
Entspannung	einen psychophysischen Zustand, der subjektiv durch das Fehlen von Aufregung, Verspannung, Nervosität bzw. durch das Vorhandensein von Gelöstheit, Gelassenheit und innerer Ruhe gekennzeichnet ist (PETERMANN 2009) (Handlungskomfort).
Gefallen	die affektive (gefühlsbezogene) Bewertung der (Fahr-)Tätigkeit (THYRI 2003).
Besonderheit des Fahrzeugs	den Aspekt, sich durch das Fahrzeug oder das Fahrverhalten von anderen abzugrenzen, beziehungsweise andere zu übertrumpfen (DICK 2002).

3.2.5 Erfüllung spezifischer psychologischer Bedürfnisse

Durch die in den vorherigen Abschnitten beschriebenen Erlebensaspekte kann einerseits die Gebrauchstauglichkeit der Fahrzeuglängsführung charakterisiert werden (Kontext Usability), zum Beispiel durch die Beeinflussbarkeit der Fahrzeugreaktion. Andererseits finden sich bei der Beurteilung des Komforts Aspekte, die zusätzlich individuelle Aspekte des Erlebens der Interaktion in den Vordergrund stellen. Diese Aspekte können mit dem Begriff hedonische Attribute näher beschrieben werden, die das „Anregungspotential eines Produkts und die mit der Nutzung eines Produkts einhergehende Kommunikation an andere“ verdeutlichen (DIEFENBACH & HASSENZAHL 2010, S. 1).

Die **hedonischen Attribute** der Interaktion können nach DIEFENBACH & HASSENZAHL (2010) durch einen spezifischen Grad der Erfüllung psychologischer Bedürfnisse charakterisiert werden. SHELDON et al. (2001) führen in diesem Zusammenhang zehn psychologische Grundbedürfnisse an, von denen die Bedürfnisse nach Kompetenz, Stimulation, Autonomie und Sicherheit bei der Fahrzeuglängsführung eine Rolle spielen. Speziell der Aspekt Kompetenz kann im Rahmen dieser Arbeit in Bezug zur Fahrzeuglängsführung weiter gefasst werden als bei DICK (2001), der ihn im Rahmen der Dimension Expansion einordnet. DICK (2001) beschreibt hierbei die Expansion unter anderem als die Optimierung und Verfeinerung der Nuancen der Fahrzeugführung (vgl. Abschnitt 2.4.2). Zusätzlich zu dieser intrinsischen Beschreibung des Kompetenzerlebens vergleichen Fahrer auch das eingestellte Fahrverhalten mit dem Fahrverhalten des Umfelds, woraus diese auch ein Kompetenzerlebnis ableiten können (z. B. zügiges Beschleunigen nach Ampel). Aspekte der Bedürfnisdimension Sicherheit wurden bereits bei der Beschreibung der Erlebensdimension Sicherheit aufgeführt, da nach der Vorstellung dieser Arbeit die Fahrzeuglängsführung an sich keine Aspekte aufweist, die beispielhaft eine Bedrohung für den Fahrer nach der Beschreibung von SHELDON et al. (2001) darstellen.

Tabelle 3.7: Zusammenstellung der Aspekte der Dimension Fahr-Erlebnis und deren Beschreibung

Der Aspekt beschreibt ...
Kompetenz	den Zustand des Menschen sich zu einer Tätigkeit fähig zu fühlen (HASSENZAHL et al. 2009).
Stimulation	die auf den Fahrer einwirkende Anregungswirkung durch die Merkmale des Fahrzeugs.
Autonomie	das Bedürfnis, Dinge frei und selbstbestimmt entscheiden und ausführen zu können (DIEFENBACH & HASSENZAHL 2010).

3.2.6 Einwirkende Randbedingungen

Auf die Beschreibungsdimensionen der Fahrzeuglängsführung wirken ebenfalls spezifische Randbedingungen ein, die durch fahrzeugspezifische Parameter, durch fahrerindividuelle Aspekte sowie **durch das Verkehrsumfeld**, in diesem der Fahrer die Interaktion erlebt (BECKER 2006, vgl. Abbildung 3.2) beschrieben werden können. Steht beispielhaft während einer Fahrt auf der Landstraße der Fahrkomfort bei sportlichem Fahrverhalten im Vordergrund, werden vornehmlich auf der Autobahn das Sicherheitsgefühl und die Fahrstabilität fokussiert (BREITLING et al. 2011). Des Weiteren analysieren Fahrer das Fahrverhalten anderer Verkehrsteilnehmer, speziell im direkten Verkehrsumfeld (z. B. das dem Fahrer folgende Fahrzeug) und leiten so eine mögliche Kommunikation an sich ab. Hier kann beispielsweise ein Fahrer, der motiviert ist möglichst effizient zu fahren, durch ein während eines Beschleunigungsvorgangs dicht auffahrendes Folgefahrzeug, das eingestellte effiziente Fahrverhalten ablegen und aus Rücksicht stärker beschleunigen.

Tabelle 3.8: Zusammenstellung der Aspekte der einwirkenden Randbedingungen und deren Beschreibung

Der Aspekt beschreibt ...
Fahrzeugparameter	die Wirkung spezifischer Fahrzeugparameter oder -zustände auf das Erleben und das Verhalten des Fahrers.
Fahrzeugabstimmung	die spezifische Ausprägung der Mensch-Maschine-Schnittstelle, mit welcher der Fahrer im Rahmen der Fahrzeuglängsführung interagiert.
Aktionsradius Fahrzeug	die Wirkung der aktuell verfügbaren Reichweite des Fahrzeugs auf das Erleben und das Verhalten des Fahrers.
Fahreinfluss	die inter- und die intraindividuellen Unterschiede im Erleben spezifischer Situationen und Vorgänge.
Fahrertyp	die spezifische Bewertung der Interaktion seitens des Fahrers, abhängig von der Vorerfahrung und genereller Vorlieben des Fahrers.
Emotionen	die von konkreten Ereignissen ausgelösten Auswirkungen auf das Erleben, die durch Veränderungen auf der Gefühls- und Verhaltensebene gekennzeichnet sind (BETSCH et al. 2011).
Verkehrsumfeld	die Wirkung des Umfelds auf den Fahrer.
Fahrsituation	die Wirkung der Streckencharakteristik des Verkehrsumfelds sowie aktuelle Straßen- und Wetterverhältnisse (z. B. rutschige Stadtstrecke) und die Wirkung der Verkehrsdichte.
Kommunikation von außen	die Wirkung des Fahrverhaltens anderer Verkehrsteilnehmer auf den Fahrer (z. B. dichtes Auffahren).

Neben den Einflüssen der Fahrsituationen wirken **fahrerspezifische Einflüsse** auf das Erleben des Fahrers ein. So können verschiedene Fahrer unterschiedlichen Fahrertypen zugeordnet werden, die differente Motivationen aufweisen können. Als Motivationen der Fahrertypen können hier rein an der Mobilität interessierte Fahrer aufgeführt werden, andere die eine ökologische Mobilität fokussieren oder Fahrer, die den Fahrernuss in Form von Fahrspaß und Fahrkomfort anstreben (BECKER 2006). Neben dieser Einordnung besitzen Fahrer spezifische Emotionen. Hier kann beispielhaft angegeben werden, dass ein Fahrer, der sich unter Zeitdruck auf dem Weg zum nächsten Termin Gedanken über eine gescheiterte Vertragsverhandlung macht, ein anderes Erleben aufweisen wird als ein Fahrer, der sich gerade im Urlaub auf einer einsamen Straße durch eine schöne Landschaft fortbewegt.

Zusätzlich wirken **fahrzeugabhängige Parameter** wie die Fahrzeugabstimmung und der Aktionsradius des Fahrzeugs auf das Erleben des Fahrers ein. Speziell den bei limitierter Batteriekapazität von Elektrofahrzeugen begrenzten Aktionsradius planen Fahrer auf der Ebene Navigation der primären Fahraufgabe, dieser kann aber auch einen wesentlichen Einfluss auf das Erleben der Fahrzeuglängsführung ausüben. Beispielsweise kann festgestellt werden, dass bei einer Fahrt mit sehr niedriger Restreichweite Fahrer ein anderes Fahrverhalten einstellen, was zusätzlich in einem unterschiedlichen Erleben der Fahrzeuglängsführung resultieren kann, wie einer stärkeren Fokussierung auf das Energiegefühl.

3.2.7 Wechselwirkungen zwischen den Teilelementen

Die verschiedenen in den vorhergehenden Abschnitten vorgestellten Erlebenaspekte können vorrangig in die beschriebenen Dimensionen eingeordnet werden, haben jedoch auch **Wechselwirkungen auf andere Beschreibungsdimensionen**. Beispielhaft kann für den Erlebenaspekt Direktheit angegeben werden, dass dieser primär der Beschreibungsdimension Sicherheit zugeordnet werden kann, andererseits beeinflusst dieser auch die weiteren Erlebendimensionen. Eine hohe Direktheit kann ebenso einen Einfluss auf das Energiegefühl ausüben, da hierbei durch den Fahrer einerseits der Energieverbrauch, andererseits die Rekuperation präsenter erlebt werden kann. Desweiteren besitzt eine hohe Direktheit Auswirkungen auf den Diskomfort. So bedingt eine hohe Direktheit, dass der Fahrer die Bedieneingaben sehr präzise einstellen muss, was wiederum vom Fahrer als psychische Beanspruchung (durch Vorausschau) oder als physische Beanspruchung (durch präzise Pedalinteraktion) erlebt werden kann. Ebenso besitzt der Aspekt Direktheit auch Auswirkungen auf das Komforterleben, da dieser maßgeblich zu einem Gefallen der Interaktion führen kann oder andererseits eine gewisse Entspannung bei der Fahrzeugführung ermöglichen oder verhindern kann. Demgegenüber kann der Erlebenaspekt Direktheit auch in Bezug mit der Erfüllung spezifischer psychologischer Bedürfnisse gestellt werden. DICK (2001) führt die Verschmelzung mit dem Fahrzeug als eine Form der Expansion an, die zu einer gewissen Stimulation und einem Kompetenzaufbau führt. Auch hier besitzt die Ausprägung des Erlebenaspekts Direktheit Auswirkungen auf diese Verbundenheit zum Fahrzeug. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die verschiedenen Erlebenaspekte vorrangig einzelnen Beschreibungsdimensionen zugeordnet werden können, jedoch auch starke Wechselwirkungen auf andere Erlebendimensionen ausüben können. Dies ist in Abbildung 3.2 schematisch durch die Verbindung zwischen den einzelnen Erlebendimensionen berücksichtigt.

Die Wechselwirkungsrichtung zwischen **dem Erleben der Fahrzeuglängsführung und Erlebnissen der Fahrzeuglängsführung**, welche durch den Grad der Erfüllung spezifischer psychologischer Bedürfnisse charakterisiert werden können, kann als wechselseitig angegeben werden (vgl. Abbildung 3.2). Hierbei können durch das spezifische Erleben der Fahrzeuglängsführung psychologische Bedürfnisse wie die Kompetenz erweitert werden, daneben führt eine Erweiterung der Kompetenz auch oft zu einem geänderten Erleben. Bezogen auf die Fahrzeuglängsführung kann beispielhaft ein hohes Schleppmoment die Einstellung der Fahrzeugbeschleunigung und -verzögerung rein mit dem Fahrpedal

ermöglichen, was zu einer Kompetenzerweiterung führen kann. Ist sich der Fahrer dieser Kompetenz bewusst, kann dies Auswirkungen auf das Erleben aufweisen, da Fahrer nun stärker die Fahrhandlung in diesem Bereich erleben und beurteilen, zu welchem Grad diese ihr vorgegebenes Ziel erreichen.

Die unterschiedlichen **psychologischen Bedürfnisse** stehen in einer wechselseitigen Beziehung zu einander. So kann beispielhaft die eben aufgeführte Möglichkeit viele Fahrsituationen rein mit dem Fahrpedal auszuführen zu einem Kompetenzaufbau führen. Dies kann wiederum in spezifischen Fahrsituationen stimulierend wirken, da Fahrer folgend mit einer bewusst erweiterten Kompetenz spielen und sich selbst als Ziel setzen, die Fahrzeuglängsführung rein durch Interaktion mit dem Fahrpedal zu bewerkstelligen.

Des Weiteren kann die Wechselwirkung zwischen den **Beschreibungsdimensionen und den einwirkenden Randbedingungen** charakterisiert werden. Durch spezifische Fahrzeugparameter wird primär das Erleben beeinflusst, weswegen dies eine einseitige Beeinflussung darstellt. Zwischen den Fahrsituationen und dem Erleben findet ebenso primär eine einseitige Wechselwirkung statt, so dass die spezifischen Fahrsituationen das Erleben des Fahrers beeinflussen. Es kann zwar auch eine wechselseitige Beziehung stattfinden, dies ist jedoch von untergeordneter Rolle. Eine Beschreibung für eine wechselseitige Beziehung könnte eine Situation sein, in der beispielhaft auf einer Strecke ohne Überholmöglichkeit ein dem Fahrer folgendes Fahrzeug dicht auffährt, um den betrachteten Fahrer zu einer höheren Geschwindigkeit zu bewegen. Diese übermittelte Botschaft registriert der betrachtete Fahrer, was für diesen zu einem geänderten Erleben der Fahrzeugführung führt. Um dieser Situation zu begegnen, könnte der Fahrer auf einen anderen Verkehrsraum ausweichen (z. B. auf einen Parkplatz) und damit das andere Fahrzeug passieren lassen und dadurch die Fahrsituation verändern. Dieses Beispiel stellt jedoch eher einen Sonderfall dar, daher kann die vorrangige Wirkung ausgehend von den Fahrsituationen auf das Erleben beschrieben werden. Zwischen den Beschreibungsdimensionen und Fahrereinflussfaktoren besteht eine wechselseitige Beziehung. Hierbei weist ein spezifischer Fahrertyp jeweilige Voraussetzungen und Handlungsmuster auf, die diesem Fahrer ein spezifisches Erleben vermitteln. Jedoch wirkt sich auch das Erleben des Fahrers auf die Emotionen des Fahrers aus. Hier kann ebenfalls erneut das bereits strapazierte Beispiel des dicht auf den betrachteten Fahrer auffahrenden Fahrzeugs verwendet werden. Das Erleben dieser Fahrsituation kann sich in einem negativen Fahrgefühl widerspiegeln, demgegenüber aber auch in einer niedrigen erlebten lokalen Sicherheit. Dieses niedrige Sicherheitsgefühl kann anschließend Emotionen auslösen, wie einen ängstlichen Zustand, der anschließend das Erleben des Fahrers auf diesen Kontext fokussiert, was für den Fahrer zu einem häufigeren bewussten Verfolgen des dicht auffahrenden Fahrzeugs führen kann.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das Erleben der Fahrzeuglängsführung vorrangig in verschiedene Erlebensdimensionen eingeteilt werden kann, jedoch die einzelnen Erlebensaspekte auch in starken Wechselwirkungen mit anderen Erlebensdimensionen stehen. Diese starken Wechselwirkungen werden durch interindividuelle und intraindividuelle spezifische Ausprägungen verschiedener Faktoren wie den Emotionen, den Erwartungen, den Einstellungen und den vorherrschenden Fahrsituationen gebildet (BUBB 2003a).

3.2.8 Beschreibung mit Hilfe objektiver Kennwerte

Das subjektive Erleben der Fahrzeuglängsführung kann zusätzlich mit Hilfe von objektiven Kennwerten beschrieben werden, die die unterschiedlichen Teilaspekte innerhalb der Fahrzeuglängsführung unterstützend beschreiben. Dies betrifft einerseits die konkrete Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug bezüglich der Fahrzeuglängsführung, also die Bedieneingabe über die Pedalerie, die auf den Fahrer durch die Betätigungscharakteristik (Betätigungskraft- und wegverlauf) und die Fahrzeugreaktion (Beschleunigung) rückwirkt. Demgegenüber sind vom Fahrer Fahrzeugreaktionen einzustellen, die das Fahrzeug sicher durch die Fahrzeugumgebung bewegen. Dieses Zusammenspiel kann einerseits durch eine Beschreibung der vorherrschenden Streckencharakteristik beschrieben werden (z. B. Kurven, Kreuzungen) sowie andererseits durch den Abstand zu anderen Verkehrsteilnehmern oder Hindernissen.

Tabelle 3.9: Gegenüberstellung subjektiver Erlebensaspekte und objektiver Kennwerte zur Beschreibung

	Der Erlebensaspekt ...	kann beschrieben werden durch den objektiven Kennwert ...
Sicherheit	Kontrolle	Abstand zum Verkehrsumfeld.
	Dosierbarkeit	Betätigungscharakteristik (Kraft- und Weg-Verlauf) und Fahrzeugcharakteristik (Eingabe-Fahrzeugreaktion-Verlauf).
	Direktheit	zeitliches Verhalten des Aufbaus der Fahrzeugreaktion.
Energiegefühl	Energieeffizienz	spezifischer Energieverbrauch sowie durch das Beschleunigungs- und Verzögerungsverhalten.
	Energierückgewinnung	spezifischer Energieverbrauch und durch das Verzögerungsverhalten.
Diskomfort	Pedalwechsel	Häufigkeit von Pedalwechseln zwischen Fahr- und Bremspedal.
	Fußhaltung	Häufigkeit und Dauer spezifischer Bedieneingaben, durch die Betätigungscharakteristik und durch die Fahrzeugcharakteristik.
Komfort	Fahrzeugreaktion	des Beschleunigungs- und des Verzögerungsverhaltens.
Psy. Bedürfnisse	Kompetenz	der Anpassung des Fahrverhaltens an die Fahrzeugcharakteristik.
	Stimulation	der Veränderung des Fahrverhaltens in Abhängigkeit der Fahrzeugcharakteristik.

Ausgehend von einer objektiven Beschreibung der Interaktion wird in der Literatur häufig versucht, mit Hilfe von Korrelations- und Regressionsanalysen eine direkte Verbindung zwischen objektiven, fahrzeugbezogenen Kennwerten und subjektiven Kriterien herzustellen

(SCHIMMEL 2010). NEUKUM et al. (2001) bewerten jedoch ein derartiges Vorgehen insbesondere im Hinblick auf Untersuchungen mit Normalfahrern als kritisch, da einerseits Messungen der objektiven Kennwerte fahrerabhängig sind und andererseits bezüglich der subjektiven Bewertungen Probleme der Validität und Reproduzierbarkeit auftreten. Die Validität bedeutet hier eine uneinheitliche Beurteilung von Varianten, da die Urteile verschiedener Fahrer nicht übereinstimmen und die Reproduzierbarkeit, dass auch die Urteile eines Fahrers bezüglich eines Systems zu verschiedenen Zeitpunkten unterschiedlich ausfallen können. Durch eine Vermessung und Bewertung mit Hilfe von Fahrexperten können die genannten Schwachstellen zwar teilweise gemildert werden, dennoch bleiben die Schwierigkeiten bestehen. Aufgrund dessen sollen die dargestellten Zusammenhänge zwischen den subjektiven Erlebensaspekten und den objektiven Kennwerten als sich gegenseitig unterstützende Beschreibungsdimensionen verstanden werden und hieraus keine Handlungsempfehlung für eine Korrelationsanalyse abgeleitet werden.

3.2.9 Ableitung von Hypothesen zum Erleben der Fahrzeuglängsführung

Die einzelnen in den vorhergehenden Abschnitten vorgestellten Erlebensaspekte dienen der Beschreibung des Erlebens und Erlebnissen der Fahrzeuglängsführung. Bei der Beschreibung der Wechselwirkungen zwischen den Teilelementen in Abschnitt 3.2.7 wurde bereits dargestellt, wie die verschiedenen Teilelemente der Modellvorstellung des Erlebens der Fahrzeuglängsführung zusammenwirken. Im folgenden Abschnitt werden basierend auf der dargestellten Modellvorstellung Hypothesen für eine Charakterisierung des Erlebens und Erlebnissen der Fahrzeuglängsführung vorgestellt, mit Hilfe diesen in Kapitel 5 und 6 die verschiedenen Konzepte analysiert werden können. Den Ausgangspunkt für die Ableitung der Hypothesen stellen die in Abschnitt 3.2.6 beschriebenen auf das Erleben und Erlebnisse der Fahrzeuglängsführung einwirkenden Randbedingungen dar.

Die erste Hypothese (H1) beschreibt die Auswirkung **spezifischer Fahrzeugparameter** auf das Erleben und Erlebnisse der Fahrzeuglängsführung. Hierbei kann eine jeweilige Fahrzeugabstimmung zu einem spezifischen Erleben und Erlebnissen der Fahrzeuglängsführung führen, was sich auf Erfahrungen des durchgeführten explorativen Vorgehens stützt.

Ausgehend von den Ergebnissen des explorativen Vorgehens kann zudem die zweite Hypothese (H2) abgeleitet werden, welche die Auswirkung **spezifischer Fahrsituationen** auf das Erleben und Erlebnisse der Fahrzeuglängsführung beschreibt. Hierbei charakterisiert vorrangig die auftretende Verkehrsdichte die sich einstellenden Fahrsituationen. In Fahrsituationen mit hoher Verkehrsdichte ist die Fahrtätigkeit des Fahrers stark gegenüber dem Verkehrsumfeld anzupassen, um ohne Kollisionen der Wegstrecke zu begegnen. Demgegenüber existieren auch Fahrsituationen, in denen der Fahrer einen deutlich höheren Freiraum zur Einstellung der Fahrzeuglängsführung besitzt. Diese beiden Szenarios zeigen bereits einen möglichen Einfluss auf das Erleben und Erlebnisse der Fahrzeuglängsführung durch Fahrsituationen.

Neben den genannten Randbedingungen beschreibt der spezifische **Einfluss des Fahrers** auf dessen Erleben und Erlebnisse der Fahrzeuglängsführung die dritte Hypothese (H3). Hierbei besitzen Prägungen und Emotionen des Fahrers maßgeblichen Einfluss auf das aktuelle Erleben, so dass etwa in gestressten Situationen sich Fahrer stärker auf bewährte Handlungsmuster konzentrieren und derart die Fahraufgabe abarbeiten. Demgegenüber können Fahrer in Situationen, in denen diese Emotionen wie Freude oder Interesse verspüren, sich fokussierter mit dem Erleben auseinandersetzen und dieses auch detaillierter beschreiben.

Zusammenfassend können folgende Hypothesen bezüglich dem Erleben und Erlebnissen der Fahrzeuglängsführung abgeleitet werden:

H1:

Verschiedene Konzepte der Fahrzeuglängsführung beeinflussen das Fahr-Erleben sowie Erlebnisse der Fahrzeuglängsführung.

H2:

Verschiedene Fahrsituationen beeinflussen das Fahr-Erleben sowie Erlebnisse der Fahrzeuglängsführung.

H3:

Erfahrungen und Prägungen des Fahrers beeinflussen das Fahr-Erleben sowie Erlebnisse der Fahrzeuglängsführung.

Das Erleben der Fahrzeuglängsführung wird im Rahmen dieser Arbeit mit Hilfe der Erlebensdimensionen Sicherheit, Energiegefühl, Diskomfort und Komfort beschrieben und durch spezifische konkrete Erlebensaspekte charakterisiert. Diese verschiedenen Erlebensaspekte sind jedoch nicht trennscharf und weisen Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Erlebensdimensionen auf. Das Erleben des Fahrers kann außerdem zu einer spezifischen Erfüllung psychologischer Bedürfnisse führen, was die Vermittlung eines Erlebnisses der Fahrzeuglängsführung unterstützt. Hierbei spielen vor allem die psychologischen Bedürfnisse nach Erweiterung der Kompetenz und nach Stimulation eine hervorgehobene Rolle. Des Weiteren wirken auf die Beschreibungsdimensionen der Fahrzeuglängsführung spezifische Randbedingungen ein, die durch spezifische Fahrzeugparameter, das Verkehrsumfeld, in dem die Interaktion vom Fahrer erlebt wird, sowie fahrerspezifischer Einflüsse charakterisiert werden können. Speziell diese fahrerindividuellen Einflüsse führen oft zu streuenden Bewertungen technischer Konzepte zwischen verschiedenen Fahrern, weswegen eine Bewertung möglichst verschiedene Sichtweisen abbilden sollte, um damit diesem Einfluss zu begegnen. Basierend auf diesen auf das Erleben und Erlebnisse der Fahrzeuglängsführung einwirkenden Randbedingungen wurden Hypothesen abgeleitet, die als Grundlage für die in Kapitel 5 und 6 vorgestellten Experimente dienen.

4. Grundlagen der Versuchsmethodik und Statistik

Im Rahmen dieses Kapitels erfolgt ein Überblick wichtiger versuchsmethodischer Grundlagen und statistischer Methoden, welche das Verständnis einzelner Versuchsmethoden und Versuchsergebnisse in den Kapiteln 5 und 6 unterstützen. Der folgende Überblick basiert auf einschlägiger Fachliteratur, wie beispielsweise BORTZ & SCHUSTER (2010), auf die auch für weiterführende Informationen verwiesen wird.

4.1 Versuchsmethodische Grundlagen

TRAXEL (1974) definiert ein **Experiment** als eine „absichtliche, planmäßige Auslösung eines Vorganges zum Zweck der Beobachtung“ (TRAXEL 1974, S. 90). Bezüglich Experimenten kann zwischen Labor- und Felduntersuchungen unterschieden werden, die einen unterschiedlichen Grad an interner und externer Validität aufweisen. Hierbei charakterisiert die externe Validität die Übertragbarkeit der Ergebnisse gegenüber den besonderen Bedingungen der Untersuchungssituation und der untersuchten Personen. Die interne Validität hingegen beschreibt die Abhängigkeit der Schlussfolgerungen von den konkret manipulierten Bedingungen. Laboruntersuchungen (z. B. im Fahrsimulator) weisen eine hohe interne Validität auf (z. B. durch Verkehrsumfeld), können aber mitunter eine niedrige externe Validität aufweisen (z. B. durch Defizite bei der Simulation einer Fahrzeugcharakteristik).

Vor der Durchführung eines Experiments sind **Hypothesen** zu formulieren, die innerhalb eines Experiments untersucht werden sollen. Ausgangspunkt für diese Hypothesen können einerseits bewährte Theorien sein, an die die Forschungsarbeit anknüpft, oder andererseits theoretische Ansätze, die in wissenschaftlichem Neuland beschrieben werden. Sollen im Rahmen des Vorgehens erst anschließend aus den im Rahmen der Untersuchung erhobenen Daten neue Hypothesen abgeleitet werden, bezeichnet dieses Vorgehen ein exploratives Experiment.

In einem Experiment werden gezielt spezifische **Variablen** untersucht. Hierbei ist zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen zu unterscheiden. Die unabhängigen Variablen (UV) werden innerhalb des Versuchs gezielt manipuliert und deren Einfluss auf die abhängigen Variablen (AV) untersucht. In einem Experiment, in dem beispielhaft verschiedene Konzepte der Fahrzeuglängsführung untersucht werden (UV), stellt die Ausprägung des Erlebensaspekts Direktheit eine abhängige Variable (AV) dar.

Die **Stichprobe** stellt die Datenbasis zur Beschreibung der Zusammenhänge zwischen den abhängigen Variablen und unabhängigen Variablen dar und kann als eine Teilmenge der Population verstanden werden. Bei Experimenten kann zwischen abhängigen (verbundenen) und unabhängigen (unverbundenen) Stichproben unterschieden werden. Eine Stichprobe wird als unabhängig beschrieben, falls innerhalb eines Experiments eine Versuchsausprägung nur von einem Teil der Stichprobe erlebt wird und andere Versuchsvarianten von einem anderen Teil. Demgegenüber bezeichnet eine verbundene Stichprobe eine Stichprobe in einem Experiment, in dem jeder Proband innerhalb des Versuchs alle Versuchsausprägungen erlebt. Mit Hilfe verbundener Stichproben können signifikante Veränderungen zwischen bewerteten Varianten leichter nachgewiesen werden, da die Varianzen zwischen den Versuchspersonen

statistisch berechnet werden können. Einen Nachteil bei verbundenen Stichproben stellt der Aufbau von Kenntnissen und Wissen durch die Teilnehmer während des Versuchs dar, da die Teilnehmer diese auf die anderen zu bewertenden Varianten übertragen. Dieser Effekt kann bei einer verbundenen Stichprobe nicht umgangen werden, er kann lediglich durch einen permutierenden Versuchsplan gemindert werden, bei dem die verschiedenen Versuchsvarianten in unterschiedlicher Reihenfolge von den Probanden erlebt werden.

Neben der Art der Stichprobe spielt auch der Umfang der Stichprobe innerhalb eines Experiments eine wichtige Rolle um statistisch abgesicherte Aussagen nachweisen zu können. BUBB (2003b) gibt zur Berechnung der nötigen Zahl an Versuchspersonen den in Formel 4.1 dargestellten Zusammenhang an. Bei einem Experiment mit vier Versuchsvarianten ergibt sich somit eine Mindestanzahl von 24 Probanden.

Formel 4.1: Zusammenhang zur Berechnung des nötigen Stichprobenumfangs N in Abhängigkeit von der Anzahl an Versuchsvarianten k (BUBB 2003b)

$$N=k!$$

Zur **Erhebung von subjektiven Daten** in einem Experiment sind sowohl qualitative als auch quantitative Methoden möglich. Dabei beschreiben qualitative Methoden eine sinnverstehende, interpretative wissenschaftliche Verfahrensweise bei der Erhebung und Aufbereitung von Daten. Quantitative Methoden hingegen dienen der numerischen Darstellung empirischer Sachverhalte (HUSSY et al. 2010). Im Rahmen eines Fragebogens werden vorrangig quantitative Daten erhoben, zusätzlich können aber auch beispielhaft mit Hilfe von offenen Fragen auch qualitative Daten erhoben werden. Häufig verwendete Methoden zur Ermittlung von qualitativen Daten stellen die Methoden Leitfadeninterview und Lautes Denken dar. Beim Leitfadeninterview bildet der verwendete Leitfaden das Gerüst für die Durchführung und die Auswertung der Befragung, so dass die erhobenen Daten miteinander verglichen werden können. Die Methode Lautes Denken hingegen beschreibt die Aufforderung an den Probanden, aktuelle Gedanken und die aktuelle Wahrnehmung ständig zu verbalisieren. Durch diese Methode können speziell auch nicht reflektierte spontane Äußerungen der Probanden erhoben werden, die einen Zugang zu den kognitiven Prozessen des Handelnden verschaffen. Zur Auswertung der erhobenen qualitativen Daten stellt die qualitative Inhaltsanalyse nach MAYRING (2010) eine Auswertungsmethode dar, die ein Ablaufmodell zur Inhaltsanalyse beschreibt. Je nach Intention der Durchführung kann hierbei zwischen einer zusammenfassenden, einer explizierenden und einer strukturierenden Inhaltsanalyse unterschieden werden.

4.2 Grundlagen statistischer Methoden

Die Analyse von quantitativen Daten erfolgt mit Methoden der deskriptiven und der Interferenzstatistik. Dabei dienen die Methoden der deskriptiven Statistik der Beschreibung der vorhandenen Messdaten und die Methoden der Interferenzstatistik dem Ziehen von Schlüssen ausgehend von den erhobenen Daten. Die gültige Verwendung der verschiedenen Methoden sowohl der deskriptiven als auch der Interferenzstatistik ist abhängig von der den Daten zugrunde liegenden Messskala und der Verteilungsform der Daten.

Die verschiedenen möglichen **Messskalen** können in die Nominal-, Ordinal-, Intervall- und Verhältnisskala unterteilt werden, die jeweils eine höhere Ordnung der Beschreibung der Zusammenhänge darstellen. Hierbei bezeichnet die Nominalskala lediglich eine Kategorisierung von Objekten, wie zum Beispiel die Nationalität oder das Geschlecht. Bei Zusammenhängen, die mit einer Ordinalskala beschrieben werden können, kann zusätzlich eine Reihung zwischen spezifischen Zusammenhängen angegeben werden, beispielsweise mit Ausprägungen wie größer, schneller oder attraktiver. Die Abstände zwischen den einzelnen Reihungselementen können jedoch nicht als äquidistant angenommen werden. Können demgegenüber die Abstände zwischen den Beschreibungsdimensionen als konstant angenommen werden, liegt eine Intervallskala zur Messung vor (z. B. Temperatur). Die nächsthöhere Dimension einer Messskala wird als Verhältnisskala bezeichnet, sie besitzt alle Eigenschaften der Intervallskala, zusätzlich jedoch einen definierten absoluten Nullpunkt (z. B. Geschwindigkeit).

Abhängig von der dem Datenmaterial zugrundeliegenden Messskala können unterschiedliche **Methoden der deskriptiven Statistik** angewendet werden. Hierzu zählen Perzentile, der Median (MED), Minimum (MIN) und Maximum (MAX) sowie das arithmetische Mittel (MW) und die Standardabweichung (STD). Perzentile beschreiben die relative Position eines Rohwerts in der Verteilung der Messdaten. Hierbei beschreibt das 25 % Perzentil den Bereich, unterhalb dessen sich 25 % und oberhalb dessen sich 75 % der Messwerte befinden. Der Median bezeichnet den Messwert, unterhalb und oberhalb dessen sich 50 % der Messdaten befinden. Zwischen dem 25 % Perzentil, dem unteren Quartil (U-Quartil), und dem 75 % Perzentil, dem oberen Quartil (O-Quartil) befinden sich demnach 50 % der Messdaten und diese sind um den Median, dem 50 % Perzentil verteilt. Um Messdaten mit Hilfe von Perzentilen und dem Median zu beschreiben, ist mindestens ein Ordinalskalenniveau der Messdaten nötig. Minimum und Maximum beschreiben jeweils die höchsten oder niedrigsten Werte einer Verteilung, beziehungsweise können durch das 0 % und 100 % Perzentil ausgedrückt werden und bedingen ebenfalls Messdaten auf Ordinalskalenniveau. Das arithmetische Mittel (MW) wird durch die Summierung der einzelnen Messwerte erzeugt, dividiert durch die Anzahl aller Werte. Für eine gültige Beschreibung des arithmetischen Mittels müssen Daten auf Intervallskalenniveau vorliegen, die symmetrisch verteilt sind. Die gleichen Voraussetzungen benötigt eine Berechnung der Standardabweichung (STD), welche die Variabilität einer Verteilung beschreibt und aus der Quadratwurzel der Varianz berechnet werden kann. Die Varianz bezeichnet hierbei die Summe der quadrierten Abweichungen aller Messwerte vom arithmetischen Mittel, dividiert durch die Anzahl der Messwerte.

Ausgehend von der Darstellung der Messdaten mit Methoden der deskriptiven Statistik wird mit Methoden der **Interferenzstatistik** beschrieben, ob sich mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitstheorie Stichprobenergebnisse verallgemeinern lassen oder nur zufällig aufgetreten sind. Die gültige Anwendung von Methoden der Interferenzstatistik ist ebenfalls an gewisse Voraussetzungen geknüpft. Entscheidungsparameter für die Auswahl eines gültigen Tests sind die Art der Stichprobe, die Verteilung der Daten sowie die Varianz der Population (vgl. Abbildung 4.1).

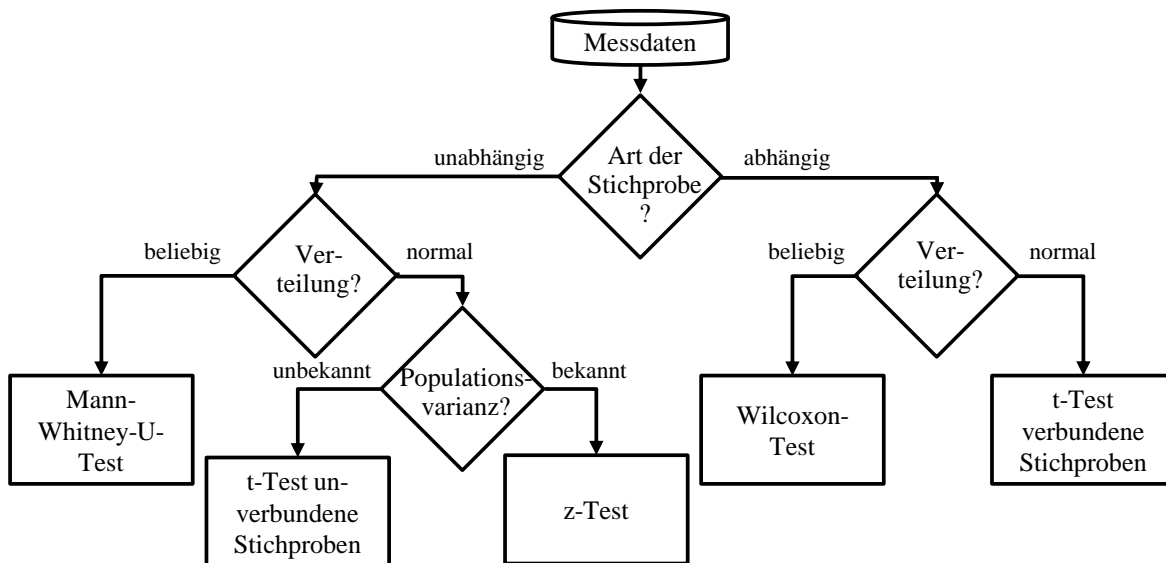


Abbildung 4.1: Entscheidungsbaum für die Auswahl interferenzstatistischer Tests für zwei Bedingungen, basierend auf BORTZ & SCHUSTER (2010)

Das Ergebnis eines interferenzstatistischen Tests beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Fehler erster oder ein Fehler zweiter Art begangen wird. Hierbei bezeichnet ein Fehler erster Art (α -Fehler), dass fälschlicherweise die Nullhypothese verworfen wird und die Alternativhypothese angenommen wird. Die Nullhypothese behauptet an dieser Stelle stets, dass kein Unterschied zwischen den jeweiligen Eigenschaften vorhanden ist, wohingegen die Alternativhypothese den Standpunkt vertritt, dass ein Unterschied zwischen den betrachteten Eigenschaften besteht. Wird die Nullhypothese hingegen beibehalten, obwohl die Alternativhypothese zutreffend wäre, liegt ein Fehler zweiter Art vor (β -Fehler). Abhängig vom Grad des Signifikanzniveaus des α -Fehlers kann der Grad der Unterschiedlichkeit der Eigenschaften mit den in Tabelle 4.1 dargestellten Stufen beschrieben werden. Ebenfalls zur Beschreibung der Unterschiedlichkeit von Eigenschaften dient das Konfidenzintervall. Hierbei bezeichnet beispielhaft das 95 %-Konfidenzintervall einen Bereich, indem sich 95 % der Parameter der Datenbasis befinden.

Tabelle 4.1: Zuordnung der Beschreibung des Grads der Signifikanz zum vorhandenen α -Fehler

Niveau α -Fehler	Grad der Signifikanz	Bezeichnung innerhalb der Arbeit
$\alpha \leq 5 \%$	Signifikant	x
$\alpha \leq 1 \%$	Hoch signifikant	xx
$\alpha \leq 0,1 \%$	Höchst signifikant	xxx

Wichtige versuchsmethodische Größen empirischer Studien stellen die Art der Stichprobe, der Umfang der Stichprobe sowie die im Versuch verwendeten Messmethoden dar. Als Messmethoden zur Erfassung subjektiver Größen stehen qualitative und quantitative Methoden zur Verfügung. Speziell aus den mit Hilfe von quantitativen Methoden erhobenen Daten können abhängig vom zugrunde liegenden Skalenniveau mit Methoden der deskriptiven Statistik die vorhandenen Messdaten beschrieben werden. Um ausgehend vom vorhandenen Datenmaterial Erkenntnisse zu extrapolieren dienen Methoden der Interferenzstatistik, deren Anwendung jedoch ebenfalls an bestimmte Voraussetzungen geknüpft ist.

5. Charakterisierung möglicher Grundkonzepte

Der in Kapitel 2 vorgestellte Freiheitsgrad Schleppmoment bei Elektrofahrzeugen bietet ein Gestaltungsfeld für die Abstimmung der Fahrzeugreaktion im Zusammenspiel mit der Bedieneingabe des Fahrers. In diesem Kapitel wird zunächst eine Versuchsmethodik vorgestellt, mit Hilfe derer sowohl das subjektive Fahr-Erleben, wie auch das objektive Fahrverhalten verschiedener Grundkonzepte der Fahrzeuglängsführung mit Hilfe der in Kapitel 3.2 beschriebenen Aspekte charakterisiert werden kann. Anschließend an die Vorstellung dieser Versuchsmethodik erfolgt die Darstellung der im Rahmen des durchgeführten Experiments gewonnenen Ergebnisse. Ausgehend von diesen Ergebnissen werden abschließend in diesem Kapitel die Kernergebnisse zusammengefasst sowie ausgehend von den Versuchsergebnissen mögliche Gestaltungskonzepte abgeleitet, die dem Fahrer ein positives Fahr-Erleben vermitteln.

Die folgende Beschreibung der Versuchsmethodik und der Versuchsergebnisse basiert zum Teil auf den nicht veröffentlichten Abschlussarbeiten von SHARMA (2012) und TERHORST (2012), im Rahmen derer ebenfalls die einzelnen Telexperimente zur Charakterisierung der Grundkonzepte durchgeführt wurden. Des Weiteren wurde die Versuchsmethodik sowie ausgewählte Ergebnisse der einzelnen Telexperimente bereits in den Veröffentlichungen EBERL et al. (2012a) und EBERL et al. (2012b) vorgestellt.

5.1 Versuchsmethodik

Innerhalb dieses Abschnitts erfolgt zunächst die Herleitung der untersuchten Grundkonzepte mit Hilfe eines explorativen Wahrnehmungsexperiments sowie anschließend die Vorstellung des Versuchsdesigns und der Methodik der Datenerhebung im Experiment Charakterisierung möglicher Grundkonzepte.

5.1.1 Herleitung möglicher Grundkonzepte

Ausgehend von der Beschreibung des Beschleunigungspotenzials eines Elektrofahrzeugs in Abschnitt 2.2.1 konnte ein Gestaltungsfeld an möglichen Bedienkonzepten der Fahrzeuglängsführung aufgezeigt werden, welches in einem unterschiedlichen Fahrzeugverhalten beim Lösen des Fahrpedals resultiert (vgl. Abbildung 2.6). Zur Charakterisierung des Fahr-Erlebens in diesem Gestaltungsfeld an möglichen Bedienkonzepten ist zunächst zu bestimmen, welche Differenz an Verzögerung verschiedene Konzepte aufweisen müssen, um in einem Experiment gezielt vom Fahrer unterschieden werden zu können.

Zur Bestimmung dieser **Wahrnehmungsschwellen** existieren diverse etablierte psychophysikalische Methoden für empirische Aussagen über die Ausprägung dieser Schwelle. Der Übergang vom Nicht-Wahrnehmen zum Wahrnehmen eines Reizes erfolgt basierend auf aktuellen Untersuchungen jedoch nicht graduell und unterliegt zusätzlich ebenfalls stochastischen Wahrscheinlichkeiten. Daher ist die Schwelle als Intensität zu definieren, welche es in 50 % der Fälle erlaubt, einen Reiz wahrzunehmen (GOLDSTEIN 2010). In der hier betrachteten Fragestellung steht die Bestimmung von Unterschiedsschwellen im

Mittelpunkt der Betrachtung, welche die kleinste Differenz in der Ausprägung eines Stimulus beschreiben, der es erlaubt, Reize als voneinander unterschiedlich wahrzunehmen (*just noticeable difference: JND*).

Diese JND wurde mit Hilfe einer adaptiven Methode nach FALMAGNE (1985) untersucht. Im Unterschied zu klassischen Methoden korreliert bei adaptiven Methoden der Verlauf des Experiments maßgeblich mit den Resultaten des Experiments, das heißt, der Reiz an einem bestimmten Punkt im Experiment ist stark abhängig vom Wahrnehmungsvermögen des Probanden im Laufe des Experiments. Das im Wahrnehmungsexperiment verwendete Stufenverfahren kann mit Hilfe von Formel 5.1 beschrieben werden:

Formel 5.1: Reizintensität im Rahmen des Stufenverfahrens nach FALMAGNE (1985)

$$X_{n+1} = X_n + \delta(1 - 2 \cdot Z_n)$$

Ausgehend von dieser Formel wird der neue untersuchte Stimulus X_{n+1} um die konstante Schrittweite δ verringert, falls der aktuelle Reiz X_n erkannt wurde ($Z_n = 1$) oder erhöht, falls der Reiz nicht wahrgenommen wurde ($Z_n = 0$).

Die Untersuchung der JND erfolgte im durchgeführten **Wahrnehmungsexperiment** mit äquidistanten Verzögerungsstufen ($\delta = 0,18 \text{ m/s}^2$) in einem Bereich zwischen dem Segelniveau und einer Verzögerung von $a_x = -2,2 \text{ m/s}^2$. Das explorative Wahrnehmungsexperiment wurde im Realfahrzeug auf einem Testgelände durchgeführt und beinhaltete je zwei Versuchsdurchläufe auf einer autobahnähnlichen Fahrstrecke sowie auf einer landstraßenähnlichen Fahrstrecke. Die Fahraufgabe der Probanden im Rahmen des Experiments bestand darin, Verzögerungen von 80 km/h auf 60 km/h bei vollständig gelöstem Fahrpedal durchzuführen. Beginnend beim spezifischen Startniveau X_0 werden von den Probanden zunächst zur Einprägung dieses Niveaus drei Verzögerungen in diesem Niveau durchgeführt (vgl. Tabelle 5.1). Anschließend wird die Verzögerung nach dem in Formel 5.1 vorgestellten Verfahren variiert, wobei die Probanden aufgefordert waren anzugeben, ob ein Unterschied in der Verzögerung wahrgenommen wurde. In einem vom Probanden als unterschiedlich erkannten Niveau wurden erneut drei Verzögerungen durchgeführt, um sich dieses als neue Referenz einzuprägen. Je Startniveau wurde basierend auf vier als unterschiedlich erkannten Niveaus die mittlere Wahrnehmungsschwelle ausgewertet und diese ausgehend von den beiden durchgeführten Versuchsdurchläufen je Streckencharakteristik gemittelt. Da sich im Laufe des Versuchs ein ähnliches Wahrnehmungsvermögen der Probanden herausstellte, nahmen an diesem explorativen Experiment lediglich acht Probanden teil. Aufgrund Beschränkungen durch die Durchführung auf einem Messgelände eines Automobilherstellers konnten als Probanden lediglich Mitarbeiter dieses Herstellers berücksichtigt werden.

Tabelle 5.1 zeigt die Ergebnisse des Wahrnehmungsexperiments. Die Ergebnisse zeigen, dass zwischen den beiden untersuchten Streckencharakteristiken auf dem Messgelände nur geringe Unterschiede bestehen. Desweiteren kann ausgehend von den Ergebnissen der Schwellenanalyse kein eindeutiger Einfluss des Startniveaus der Schwellenanalyse auf die mittlere Wahrnehmungsschwelle festgestellt werden.

Tabelle 5.1: Ergebnisse der Analyse der Wahrnehmungsschwellen verschiedener Fahrzeugverzögerungen abhängig von der Streckenart und dem Startniveau

	Startniveau [m/s ²]	Mittlere Wahrnehmungsschwelle [m/s ²]
Autobahnähnliche Strecke	0,56	0,27
	1,29	0,25
	1,84	0,28
Landstraßenähnliche Strecke	0,56	0,35
	1,29	0,27
	1,84	0,25

Ausgehend von den Ergebnissen der in Abschnitt 3.1.2 vorgestellten Vorstudien sowie einer Probandenstudie zum Bedienkonzept hohes Schleppmoment im statischen Fahrsimulator (OSTGATHE 2012) stellt sich die Untersuchungsart *Versuch im Realverkehr* als die passende Untersuchungsart für die Charakterisierung möglicher Grundkonzepte dar. Gründe hierfür stellen einerseits das Potenzial einer hohen externen Validität durch die normale Nutzung und die real vorherrschenden Verkehrssituationen dar. Andererseits kann die interne Validität bei einer Untersuchung im Realverkehr durch eine Kontrolle der Versuchsbedingungen, wie der Vorgabe der Fahrstrecke, positiv beeinflusst werden, so dass insgesamt die Vorteile der Untersuchungsart Versuch im Realverkehr die Nachteile überwiegen.

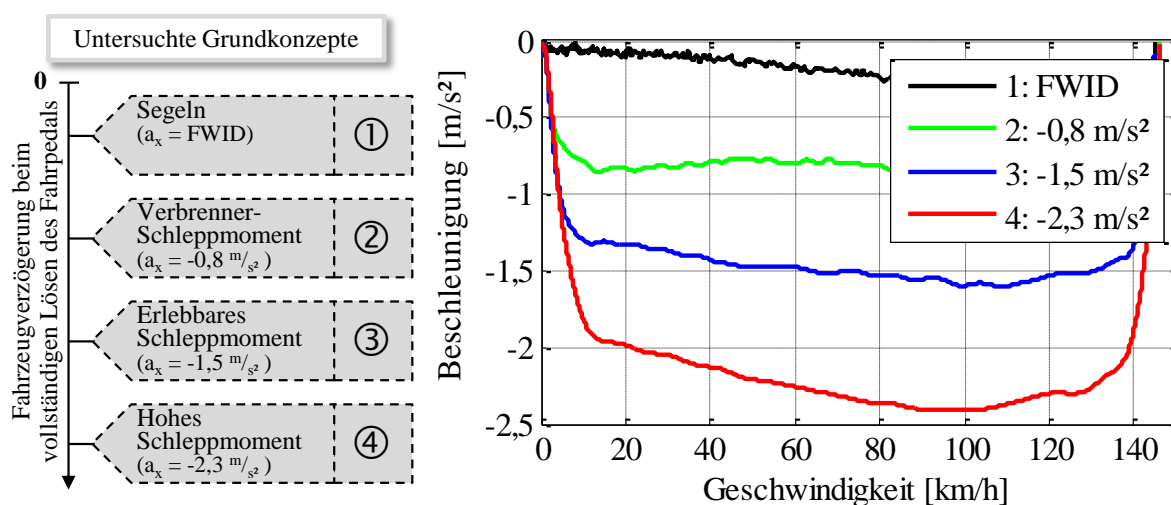


Abbildung 5.1: Im Rahmen des Experiments Charakterisierung möglicher Grundkonzepte untersuchte Bedienkonzepte sowie deren technische Ausgestaltung

Basierend auf den Ergebnissen des Wahrnehmungsexperiments und den Einschränkungen des für die Experimente zur Verfügung stehenden Versuchsfahrzeugs können die in Abbildung 5.1 dargestellten Grundkonzepte abgeleitet werden. Als Versuchsfahrzeug wurde ein MINI E Elektrofahrzeug verwendet (Basis MINI Cooper), welches die Einstellung verschiedener Bedienkonzepte der Fahrzeuglängsführung ermöglicht. Da diese Einstellmöglichkeit verschiedener Bedienkonzepte ohne vollständige Straßenfreigabe erfolgt, ist zum Betrieb dessen eine entsprechende Fahrausbildung nachzuweisen.

Abbildung 5.1 zeigt in der rechten Teilabbildung die sich bei verschiedenen Fahrzeuggeschwindigkeiten einstellende Fahrzeugverzögerung in den ausgewählten Bedienkonzepten der Fahrzeuglängsführung. Der Bereich, der im Rahmen des Experiments Charakterisierung möglicher Grundkonzepte untersuchten Bedienkonzepte reicht von einer Verzögerung rein durch die Fahrwiderstände $a_x = \text{FWID}$ (*Grundkonzept ①: Segeln*), über eine annähernd konstante Verzögerung von $a_x = -0,8 \text{ m/s}^2$ (*Grundkonzept ②: Verbrenner-Schleppmoment*) zu einer Verzögerung von $a_x = -1,5 \text{ m/s}^2$ (*Grundkonzept ③: Erlebbares Schleppmoment*) bis zu einer Verzögerung von $a_x = -2,3 \text{ m/s}^2$ (*Grundkonzept ④: Hohes Schleppmoment*). Die Ausprägung des Übergangs zum Stillstand erfolgt in allen Grundkonzepten äquivalent, so dass bei einer spezifischen Fahrzeuggeschwindigkeit die rekuperative Verzögerung ausgeblendet wird und das Fahrzeug daher frei in den Stillstand ausrollt. Ausgehend von den Ergebnissen des Wahrnehmungsexperiments können die einzelnen ausgewählten Grundkonzepte als für den Fahrer unterscheidbar festgestellt werden.

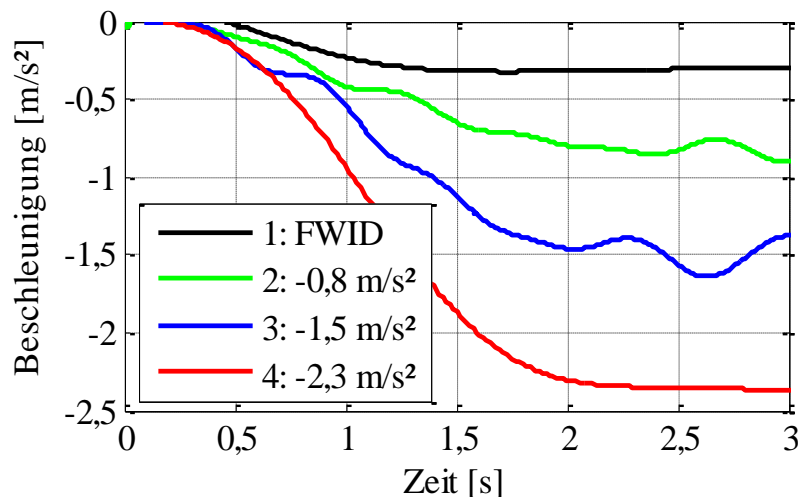


Abbildung 5.2: Zeitverhalten des Aufbaus der Fahrzeugverzögerung bei einer Ausgangsgeschwindigkeit $v_{\text{Fzg}} = 100 \text{ km/h}$ und vollständig gelöstem Fahrpedal

Neben der sich einstellenden Fahrzeugverzögerung stellt das Zeitverhalten der sich aufbauenden Fahrzeugverzögerung einen weiteren Unterschied zwischen den untersuchten Konzepten dar. Abbildung 5.2 zeigt hierzu die sich einstellende Fahrzeugverzögerung beim vollständigen Lösen des Fahrpedals. Nach einem sprunghaften vollständigen Lösen des Fahrpedals ($t = 0 \text{ s}$) tritt eine Totzeit von ca. 0,5 Sekunden auf und daran anschließend erfolgt der vollständige Aufbau der Fahrzeugverzögerung in allen Grundkonzepten in einem Zeitintervall von 1,3 Sekunden.

5.1.2 Vorstellung des Versuchsdesigns

Zur Charakterisierung des Fahr-Erlebens in den ausgewählten Grundkonzepten durch Probanden stellt die Versuchszeit, während derer Probanden ohne Effekte wie zum Beispiel der Ermüdung eine konzentrierte Bewertung vornehmen können, eine wichtige Randbedingung dar. Diese maximale Versuchszeit, die das Erleben der einzelnen Konzepte sowie die Befragungen miteinschließt, kann basierend auf Ergebnissen von Vorversuchen mit

etwa zweieinhalb Stunden angegeben werden. Diese Zeitbeschränkung verdeutlicht zudem die nötige Einschränkung auf eine beschränkte Anzahl an möglichen Grundkonzepten. Die Auswahl von vier Grundkonzepten wirkt zusätzlich dem Effekt der Tendenz zur Mitte entgegen. Als weitere Einflussvariable auf das Erleben der Fahrzeuglängsführung wurden in Abschnitt 3.2 die Fahrsituationen aufgeführt und basierend hierauf in Abschnitt 3.2.9 als Hypothese beschrieben, wie unterschiedliche Fahrsituationen verschiedene Erlebensaspekte stärker in den Vorschein treten lassen. Der Einfluss der Streckenart auf das Fahr-Erleben kann jedoch, ausgehend von den durchgeführten explorativen Vorversuchen, als geringer eingestuft werden als der Einfluss des Bedienkonzepts, weswegen dieser Parameter vorrangig manipuliert wird. Ausgehend von diesen Überlegungen lässt sich das in Abbildung 5.3 dargestellte Versuchsdesign zur Charakterisierung möglicher Grundkonzepte ableiten. Das Versuchsdesign des Experiments gliedert sich demnach in zwei Teilerperimente mit charakteristischen Fahrsituationen im urbanen und im ruralen Verkehrsraum. Da innerhalb dieser zwei Teilerperimente jeweils vier UV manipuliert werden, sind nach Formel 4.1 mindestens 24 Probanden je Experiment für statistisch aussagekräftige Ergebnisse nötig. Durch den nötigen Zeitaufwand für die beiden Teilerperimente können für die einzelnen Teilerperimente nur unterschiedliche Probanden berücksichtigt werden. Es handelt sich somit zwischen den beiden Teilerperimenten um ein Between-Subject-Design, innerhalb eines Teilerperiments jedoch um ein Within-Subject-Design.

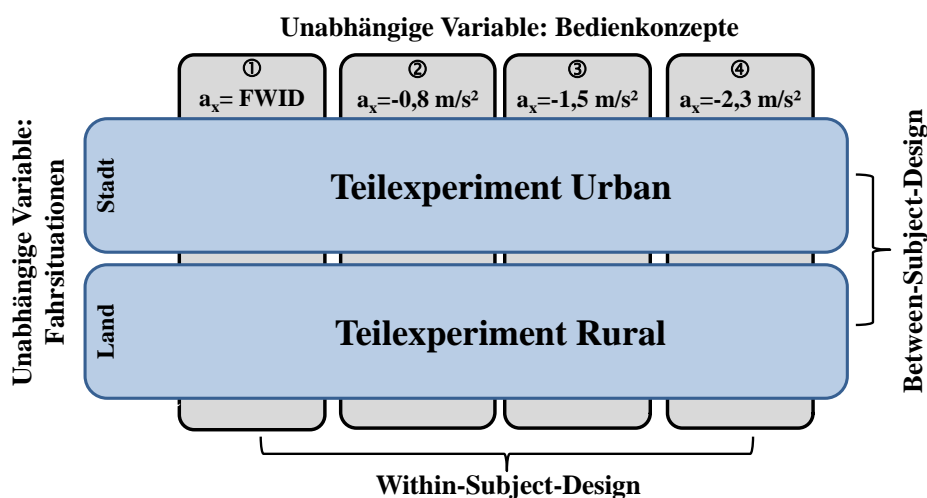


Abbildung 5.3: Versuchsdesign des Experiments Charakterisierung möglicher Grundkonzepte

Die vorherrschenden Fahrsituationen nehmen Einfluss auf das Erleben in den verschiedenen Grundkonzepten. Im Anhang 11.1 sind die ausgewählten Versuchsstrecken der beiden Teilerperimente im urbanen sowie im ruralen Raum dargestellt. Beide Versuchsrunden weisen eine mittlere Fahrtdauer von zirka 20 Minuten auf, bei einer Fahrtstrecke von 5,1 km im urbanen und 17,6 km im ruralen Verkehrsraum.

Tabelle 5.2 und Tabelle 5.3 zeigen eine Beschreibung der auf den beiden Teilstrecken vorherrschenden Fahrsituationen in Anlehnung an DORRER (2004). Um speziell auch die Fahrsituationen, die durch den umgebenden Verkehr dominiert werden, annähernd konstant zu halten, wurden in den Teilerperimenten die Versuche lediglich zu definierten Zeitpunkten durchgeführt. Zur Begegnung während des Versuchs stattfindender Anlernereffekte wird die Fahrtrichtung innerhalb des Experiments zwischen der Bewertung jedes Grundkonzepts

permutiert. Da im Rahmen von Vorversuchen das Erscheinen der Reichweiten-Warnleuchte einen hohen Einfluss auf das eingestellte Fahrverhalten und auch eine subjektive Fokussierung auf die Restreichweite bewirkte, sind die ausgewählten Strecken ausgelegt, ohne ein Aufleuchten der Restreichweiten-Warnleuchte durchfahren werden zu können.

Tabelle 5.2: Beschreibung der Fahrsituationen im Telexperiment urbaner Verkehrsraum

	Objektort fest	Objektort variabel
Zielgeschwindigkeit variabel	<ul style="list-style-type: none"> • 18 Ampelsituationen 	<ul style="list-style-type: none"> • 2,6 km Strecken mit niedrigem Verkehrsaufkommen • 1,5 km Strecken mit mittlerem Verkehrsaufkommen • 1,0 km Strecken mit hohem Verkehrsaufkommen
Zielgeschwindigkeit fest	<ul style="list-style-type: none"> • 2 Vorfahrt Achten Situationen • 1 Zone 30 ^{km/h} Geschwindigkeitsvorgabe • 6 Bremsschwellen innerhalb Zone 30 ^{km/h} 	Keine wandernden Baustellen oder ähnliche Verkehrssituationen vorhanden

Tabelle 5.3: Beschreibung der Fahrsituationen im Telexperiment ruraler Verkehrsraum

	Objektort fest	Objektort variabel
Zielgeschwindigkeit variabel	<ul style="list-style-type: none"> • 2 variable Geschwindigkeitsvorgaben durch Verkehrsleitsystem • 5 Ampelsituationen 	<ul style="list-style-type: none"> • 8,5 km Strecken mit niedrigem Verkehrsaufkommen • 9,1 km Strecken mit mittlerem Verkehrsaufkommen
Zielgeschwindigkeit fest	<ul style="list-style-type: none"> • 15 feste Geschwindigkeitsbegrenzungen • 2 Vorfahrt-Achten Situationen 	Keine wandernden Baustellen oder ähnliche Verkehrssituationen vorhanden

Fahrerspezifische Aspekte nehmen neben den Fahrsituationen zusätzlich Einfluss auf das Erleben des Fahrers. Vor allem der Grad an Erfahrung mit Bedienkonzepten höheren Schlepptoments prägt hierbei das Erleben sowie die spezifische Bewertung verschiedener Grundkonzepte. Um diesen Einfluss zu kontrollieren wurde bereits mit der Versuchseinladung der Grad an Erfahrung mit Elektrofahrzeugen erhoben und mit Hilfe diesem eine Durchmischung zwischen erfahrenen und unerfahrenen Fahrern bewirkt.

5.1.3 Methodik und Ablauf der Datenerhebung

Neben den untersuchten Grundkonzepten in spezifischen Fahrsituationen nimmt die Methodik der Datenerhebung eine zentrale Rolle im Rahmen der Versuchsmethodik ein. Zur Charakterisierung der Grundkonzepte werden die in Abschnitt 3.2 vorgestellten Dimensionen untersucht, die einerseits das subjektive Erleben des Fahrers beschreiben und dieses zusätzlich mit Hilfe von objektiven Kennwerten der Fahrzeugführung darstellen.

Abbildung 5.4 stellt den Versuchsablauf dar und beschreibt, in welcher Reihenfolge die einzelnen Probandengruppen (A und B) die einzelnen Grundkonzepte erleben und mit Hilfe der einzelnen Fragebögen und Interviews bewerten. Der Versuchsablauf gliedert sich in eine Instruktion, eine Eingewöhnungsfahrt in allen Grundkonzepten, die Bewertungsfahrt in den einzelnen Grundkonzepten auf den definierten Strecken (vgl. Tabelle 5.3 beziehungsweise Tabelle 5.2) und die Rückfahrt im Wunschkonzept des Probanden sowie eine Abschlussbewertung. Parallel zum gesamten Experiment werden in den einzelnen Versuchen die Äußerungen des Fahrers mit Hilfe eines Audiogeräts aufgezeichnet sowie mit einem Datenlogger Sensorsignale gespeichert, die das Fahrverhalten beschreiben.

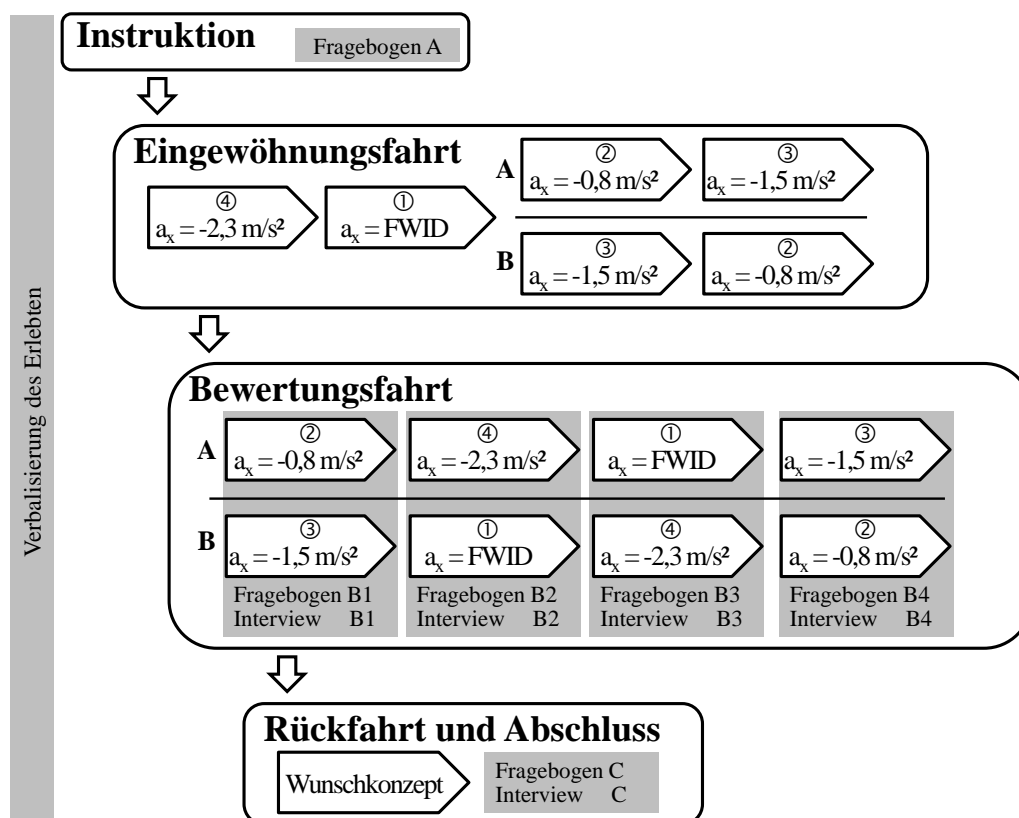


Abbildung 5.4: Überblick über den Versuchsablauf in den beiden Teilerperimenten

Die Erhebung von Daten mit quantitativen Methoden wie einem Fragebogen ermöglicht unter anderem eine höhere Vergleichbarkeit der Daten, da zum Beispiel ein geringerer Einfluss durch den Versuchsleiter auf die erhobenen Daten ausgeübt wird, was Vorteile bezüglich der Auswertbarkeit mit statistischen Methoden aufweist. Eine Zusammenstellung des im Rahmen des Experiments Charakterisierung möglicher Grundkonzepte verwendeten Fragebogens befindet sich in Anhang 11.2. Innerhalb dieses Fragebogens werden ausschließlich Fragen bei vorgegebenen Antwortskalen geschlossen formuliert, da erweiternde beschreibende Aspekte mit Hilfe der verwendeten qualitativen Methoden aufgenommen werden. Der Fragebogen weist zur Erleichterung der Beantwortung eine thematische Sortierung sowie eine Strukturierung verschiedener Antwortskalen auf.

Im Rahmen der quantitativen Befragung beinhaltet der **Fragebogen A** die Erhebung soziodemographischer Daten (Geschlecht, Alter) und Daten zur persönlichen Fahrzeugnutzung (jährliche Fahrleistung, Nutzungshäufigkeit Fahrzeug) sowie Daten zur Fahrerfahrung mit Elektrofahrzeugen (Typ, Erfahrung in km). Speziell diese Fahrerfahrung mit Elektrofahrzeugen stellt eine wichtige Komponente dar, da je nach Erfahrung unter Umständen eine gewisse Erwartungshaltung besteht, die einen Einfluss auf das Fahr-Erleben ausüben kann.

In den einzelnen **Fragebögen B1 bis B4** erfolgt die Charakterisierung der untersuchten Grundkonzepte. Um den Probanden einen einfachen Einstieg in die Bewertung der Grundkonzepte zu ermöglichen, starten die einzelnen Fragebögen B mit einer Bewertung des Gefallens während der Fahrt an Hand der Valenzskala des sprachfreien Beurteilungsinstruments Self-Assessment-Manikin (SAM) von LANG (1980) und der erlebten Kontrolle mit Hilfe der Dominanzskala dieses Beurteilungsinstruments (vgl. Abbildung 5.5). Anschließend erfolgt mit Hilfe der in Abbildung 5.6 dargestellten Ordinalskala die Bewertung der Stärke der Verzögerung beim vollständigen Lösen des Fahrpedals.

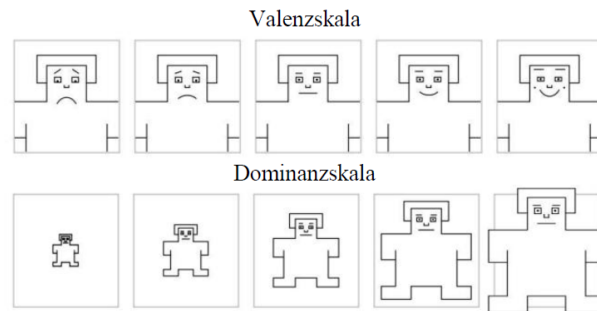


Abbildung 5.5: Teilskalen des Beurteilungsinstruments Self-Assessment-Manikin nach LANG (1980)

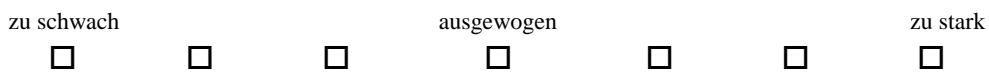


Abbildung 5.6: Ordinalskala zur Bewertung der Stärke der Verzögerung

Im sich anschließenden Bereich des Fragebogens B werden die weiteren in Abschnitt 3.2 vorgestellten Erlebensaspekte der Fahrzeuglängsführung mit Hilfe von geschlossenen Fragestellungen erhoben und mit Hilfe der in Abbildung 5.7 dargestellten Ordinalskalen operationalisiert. Die eingesetzten Intensitäts- und Zustimmungsskalen orientieren sich an den Skalenbezeichnungen von BORTZ & DÖRING (2006), wobei diese als siebenstufige Skalen mit einer reduzierten Bezeichnung der Extrem- und Mittelausprägungen ausgeführt sind. Die Erweiterung auf eine siebenstufige Skala wurde ausgehend von den Ergebnissen der Vorstudie eingeführt und als Extremausprägung der Intensitätsskala wurde „sehr“ gewählt.



Abbildung 5.7 Intensitätsskala (links) und Zustimmungsskala (rechts) als siebenstufige Ordinalskalen

Folgend an die Erhebung der einzelnen Erlebensaspekte der Fahrzeuglängsführung erfolgt abschließend in den einzelnen Fragebögen B die Ermittlung einer globalen Bewertung und einer Erfassung des erlebten Produktcharakters. Hierzu wird der Fragebogen AttrakDiff mini verwendet, der eine Kurzform des von HASSENZAHL et al. (2003) entwickelten Fragebogens AttrakDiff 2 darstellt. Dieser Fragebogen ermittelt eine Bewertung von interaktiven Produkten (globale Attraktivität) und charakterisiert die Wahrnehmung dieser (erlebter Produktcharakter) mit Hilfe von vier Qualitätsdimensionen:

- **Attraktivität (ATT):** Globale Produktbewertung
- **Pragmatische Qualität (PQ):** Gebrauchstauglichkeit (Usability) des Produkts bei der Erreichung des Handlungsziels
- **Hedonische Qualität-Identität (HQ-I):** Kommunikation einer gewünschten Identität
- **Hedonische Qualität-Stimulation (HQ-S):** Befriedigung des Bedürfnisses nach Verbesserung der eigenen Kenntnisse und Fertigkeiten

Die drei zuletzt genannten Qualitätsdimensionen dienen der Erfassung des erlebten Produktcharakters. Die Erhebung der einzelnen Qualitätsdimensionen erfolgt durch zehn gegensätzliche Wortpaare, zwischen denen eine abstufende Bewertung möglich ist (semantisches Differential, vgl. Abbildung 5.8).

	1	2	3	4	5	6	7		
einfach								kompliziert	PQ
hässlich								schön	ATT
praktisch								unpraktisch	PQ
stilvoll								stillos	HQ-I
voraussagbar								unberechenbar	PQ
minderwertig								wertvoll	HQ-I
phantasielos								kreativ	HQ-S
gut								schlecht	ATT
verwirrend								übersichtlich	PQ
lahm								fesselnd	HQ-S

Abbildung 5.8: Semantisches Differenzial AttrakDiff mini nach HASSENZAHL et al. (2003) sowie Zuordnung der Adjektivpaare zu den einzelnen Qualitätsdimensionen

Anschließend an die Beurteilung der einzelnen Konzepte erfolgt im **Fragebogen C** eine abschließende Charakterisierung aller vier Grundkonzepte. Hierbei werden die Probanden aufgefordert, für konkrete Fahrsituationen das präferierte Grundkonzept anzugeben. Hierdurch kann zum einen die abschließende Präferenz der Probanden für spezifische Grundkonzepte erhoben werden und zudem untersucht werden, ob diese Präferenz abhängig von spezifischen Fahrsituationen ausgeprägt ist.

Neben den quantitativ erhobenen Daten wird den Probanden mit **qualitativen Methoden** Raum für eine Bewertung abseits der geschlossenen Fragestellungen gegeben. Hierzu haben die Probanden zum einen die Möglichkeit jederzeit ihr Erleben zu schildern, wozu sie auch in der Instruktion des Versuchs aufgefordert werden. Zum anderen erfolgt anschließend an jede Versuchsrunde und zum Abschluss des Versuchs die Erhebung von qualitativen Daten mit Hilfe eines Leitfadeninterviews.

Durch die Methode **Verbalisierung des Erlebten** werden im Rahmen des Versuchs weitere Aspekte des Erlebens der Fahrzeuglängsführung eruiert. So können die Probanden die Wahrnehmung, das Erleben, die Gefühle oder die Gedanken jederzeit verbalisieren und kommentieren. Diese Methode liefert den Zugang zu den Motivationen der Probanden und liefert Begründungen für die quantitativ erhobenen Bewertungen der Probanden. Die im Rahmen der Studie verwendete Methode Verbalisierung des Erlebten basiert auf der Methode *Lautes Denken* (NIELSEN 1993), wobei von einer ständigen Kommentierung des Erlebten Abstand genommen wird, um durch diese Tätigkeit nicht zu stark zu beanspruchen oder in Richtungen zu fixieren. Während des Versuchs erfolgt eine Steuerung der Häufigkeit der Redebeiträge durch den Versuchsleiter. Hierdurch können sowohl sehr stille oder auch abschweifende Probanden durch sehr offene Fragestellungen während der Fahrt animiert oder gelenkt werden, zum Beispiel mit der Fragestellung: „Was sagen sie zu diesem Grundkonzept?“.

Neben der Möglichkeit der Probanden das Erlebte während der Fahrt zu verbalisieren und der Erhebung der Daten mit Hilfe von Fragebögen werden anschließend an jede Versuchsrunde die einzelnen Grundkonzepte mit Hilfe eines **Leitfadeninterviews** reflektiert. Hierdurch kann die Beschreibung des Erlebens weiter detailliert werden und so den erhobenen quantitativen Daten gegenübergestellt werden. Durch die Befragung in der Form eines Leitfadeninterviews entsteht für die Probanden bei der Beantwortung ein geringerer Aufwand im Vergleich zu offenen Fragen im Fragebogen, was unter Umständen zu umfangreicheren Antworten führt. Im durchgeführten Interview wird innerhalb der ersten Frage die Möglichkeit zur freien Beschreibung gegeben, was auch der Unterstützung des Einstiegs in das Interview dient. Anschließend erfolgt in den weiteren Fragen die Fokussierung auf spezifische Teilkomponenten des Erlebens. Die folgenden Fragen stellen die Leitfragen im Interview dar:

1. Wollen Sie vorher schon etwas los werden?
2. Wie ist Ihr Gefühl für das Fahrzeug?
3. Wurde Ihr persönliches Fahrverhalten beeinflusst?
4. Was haben Sie bei der Fahrt dazugelernt?
5. Was hat Sie bei der Fahrt beansprucht?

Um spezielle Aspekte beschreiben zu können, die unabhängig vom Grundkonzept oder erst nach dem Vergleich der verschiedenen Grundkonzepte aufgeführt werden können, erfolgt im Abschluss des Versuchs ein weiteres Leitfadeninterview. Die Leitfragen dieses Interviews sind:

1. In welchen Situationen können Sie sich eines der erlebten Grundkonzepte gar nicht vorstellen?
2. Wie haben Sie die Umstellungsphase auf die einzelnen Grundkonzepte erlebt?
3. Hat der rückwärtige Verkehr Ihr Fahrverhalten bei den unterschiedlichen Grundkonzepten beeinflusst?
4. Was macht für Sie das Fahrgefühl eines Elektrofahrzeugs aus?

Neben der Erhebung des subjektiven Fahr-Erlebens mit den vorgestellten quantitativen und qualitativen Methoden kann mit Hilfe der **Erfassung von Sensorsignalen** mit einem Datenlogger das Fahrverhalten näher analysiert und dem subjektiven Fahr-Erleben gegenübergestellt werden. Hierbei kann die Fahrzeuglängsführung in drei aufeinander aufbauenden Ebenen mit Hilfe von Sensorsignalen charakterisiert werden:

1. **Charakterisierung der Fahrereingaben:** Die Bediencharakteristiken der Pedalerie sind im Rahmen des Versuchs konstant, so dass es ausreicht, nur eine Komponente der Bediencharakteristik, den Betätigungsweg von Fahr- und Bremspedal aufzunehmen. Um auch den Wechsellvorgang zwischen den Pedalen näher untersuchen zu können, werden oberhalb der Pedalerie verbaute Sensoren verwendet, die die aktuelle Fahrerfußposition registrieren.
2. **Charakterisierung der Fahrzeugreaktion:** Die Bedieneingabe des Fahrers bewirkt eine Reaktion des Fahrzeugs, welche durch die Geschwindigkeit und die Beschleunigung des Fahrzeugs charakterisiert werden kann.
3. **Charakterisierung der Interaktion mit dem Verkehrsumfeld:** Mit Hilfe eines Abstandssensors wird der Frontraum des Fahrzeugs analysiert und damit der Abstand zum Verkehrsumfeld, wie den Vorderfahrzeugen (stehend oder fahrend) ermittelt.

Im Rahmen des Experiments Charakterisierung möglicher Grundkonzepte wird in zwei Teilerperimenten der Einfluss der Fahrsituationen untersucht (urbaner und ruraler Raum) sowie innerhalb der einzelnen Experimente das Fahr-Erleben in vier Grundkonzepten der Fahrzeuglängsführung (Segeln, Verbrenner-Schleppmoment, erlebbares Schleppmoment, hohes Schleppmoment) erhoben. Zur Erfassung des subjektiven Fahr-Erlebens werden sowohl quantitative Methoden (Fragebogen) wie auch qualitative Methoden (Verbalisierung des Erlebten, Leitfadenterview) verwendet. Zusätzlich werden im Rahmen des Experiments verschiedene Sensorsignale, welche die Bedieneingaben, die Fahrzeugreaktion sowie die Interaktion mit dem Verkehrsumfeld charakterisieren, aufgezeichnet.

5.2 Ergebnisdarstellung

Mit Hilfe der im vorherigen Abschnitt vorgestellten Versuchsmethodik wurden die beiden Teilerperimente zur Charakterisierung möglicher Grundkonzepte durchgeführt, deren Ergebnisse folgend vorgestellt werden. Anschließend an die Beschreibung der dem Datenmaterial zu Grunde liegenden Stichprobe erfolgt in den nächsten Abschnitten zunächst eine Beschreibung des Fahr-Erlebens mit Hilfe der in Abschnitt 3.2 vorgestellten Erlebensdimensionen. Darauf folgend wird die globale Bewertung des Produktcharakters, der Grad der Erfüllung spezifischer psychologischer Bedürfnisse und die Präferenz für konkrete Fahrsituationen vorgestellt sowie abschließend objektiven Kennwerten gegenübergestellt.

In den beiden Teilerperimenten konnten aufgrund der in Abschnitt 5.1.1 aufgeführten Einschränkungen lediglich Mitarbeiter eines Automobilherstellers berücksichtigt werden. Hinsichtlich dieser Randbedingung wurden gezielt Probanden ausgewählt, die ein möglichst heterogenes tägliches Arbeitsfeld aufweisen. Insgesamt besteht die Stichprobe im Teilerperiment Urban aus 27 Probanden und im Teilerperiment Rural aus 30 Probanden. Der Anteil an weiblichen Teilnehmern ist in beiden Teilerperimenten unterdurchschnittlich ausgeprägt (7 % Urban, 23 % Rural). Bezüglich der Fahrerfahrung mit Elektrofahrzeugen, welche einen wichtigen Einflussfaktor nach den Ergebnissen der Vorstudien darstellt, konnten sowohl Fahrer ohne Fahrerfahrung (18 % Urban, 37 % Rural), als auch Fahrer mit etwas Fahrerfahrung (56 % Urban, 50 % Rural) sowie Fahrer mit hoher Fahrerfahrung (größer als 500 km, 26 % Urban, 13 % Rural) berücksichtigt werden. Abbildung 5.9 zeigt die Altersverteilung der Probanden, die im Teilerperiment Urban überwiegend homogen ausgeprägt, im Teilerperiment Rural sich eher jünger darstellt, was der von VILIMEK et al. (2012) beschriebenen Zielgruppe der Erstkäufer für Elektrofahrzeuge näher entspricht.

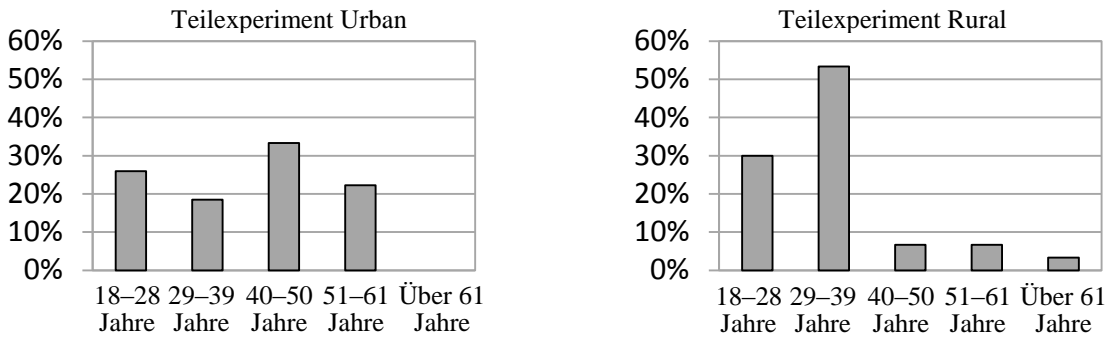


Abbildung 5.9: Altersverteilung der Probanden in den beiden Teilerperimenten

Zur Darstellung der Ergebnisse der Messinstrumente mit Ordinalskalenniveau werden im Folgenden Boxplot-Darstellungen verwendet, die mit Hilfe einer Darstellung der Perzentile die Verteilung der abgegebenen Meinungen repräsentieren (vgl. Abbildung 5.10). Im oberen Teil der Darstellung wird jeweils die konkrete Frage aus dem Fragebogen wiedergegeben sowie mit der zur Beantwortung verwendeten Skala verknüpft. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden lediglich signifikante Unterschiede zwischen benachbarten Grundkonzepten ausgewiesen, wobei der Grad der Signifikanz der dargestellten Tabelle zu entnehmen ist. Die mit Hilfe der qualitativen Methoden erhobenen Ergebnisse werden in den folgenden Abschnitten unterstützend zur Verdeutlichung der Ergebnisse aufgeführt.

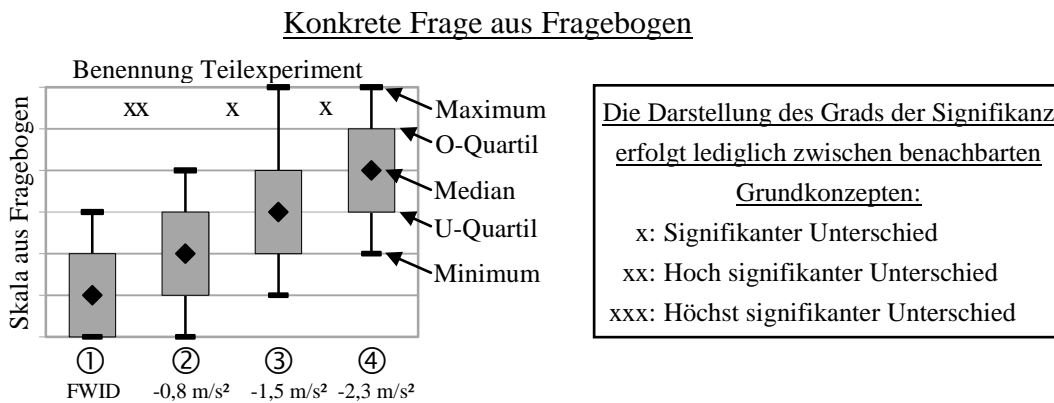


Abbildung 5.10: Legende der Ergebnisdarstellung

5.2.1 Sicherheit

Die erlebte Sicherheit im Umgang mit dem Fahrzeug korreliert in den einzelnen Grundkonzepten mit der erlebten Kontrolle (mittlere Rangkorrelation nach Spearmans Rho von 0,564), weswegen lediglich dieses Teilergebnis in Abbildung 5.11 dargestellt wird.

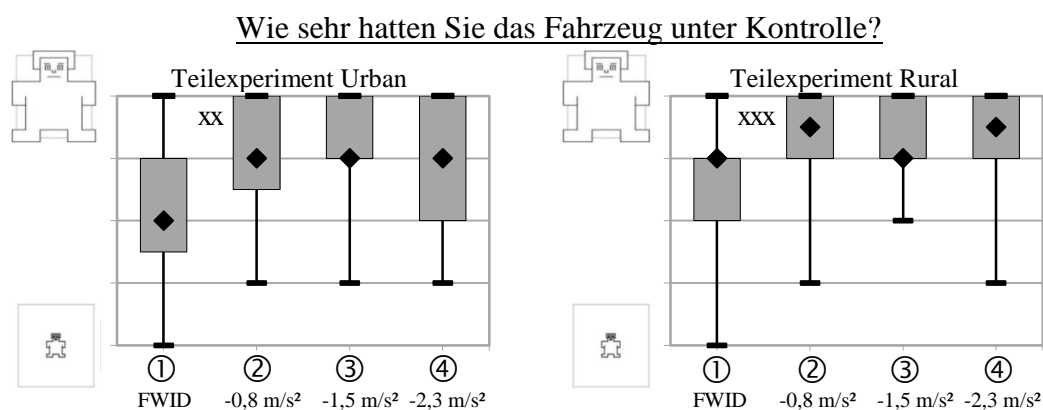


Abbildung 5.11: Ergebnisdarstellung für den Erlebensaspekt Kontrolle

Die **erlebte Kontrolle** der Grundkonzepte mit Schleppmoment ②, ③, ④ wird in beiden Verkehrsräumen signifikant positiver gegenüber der des Grundkonzepts Segeln bewertet. Hierbei besteht im urbanen Raum ein hoch signifikanter Unterschied zwischen ① und ② und im ruralen Raum ein höchst signifikanter Unterschied, ebenfalls zu Gunsten einer höheren Kontrolle im Grundkonzept ②. Im Vergleich der beiden Verkehrsräume besteht lediglich im Grundkonzept ④ ein signifikanter Unterschied mit einer höheren Kontrolle im ruralen Verkehrsraum.

Die Ergebnisse der qualitativen Methoden zeigen, dass im Grundkonzept ① dem Fahrer durch die niedrige Verzögerung beim vollständigen Lösen des Fahrpedals lediglich eine geringe Rückmeldung über den aktuellen Fahrzustand vermittelt wird. Hierzu berichten Probanden von einer niedrigeren Verbindung zum Fahrzeug, welche es erschwert, die Fahrzeugreaktion abzuschätzen, was mit einer verringerten erlebten Kontrolle einhergeht. Zusätzlich werden die häufig nötigen Pedalwechsel als Unsicherheit erlebt. Hier stehen vor allem Folgefahrtsituationen im Vordergrund, in denen Fahrer konventioneller Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor das vorhandene Schleppmoment ausnützen, jedoch von einem Fahrer mit einem Fahrzeug mit Grundkonzept ① hierfür bereits häufig Pedalwechsel auszuführen sind. Weiter bezeichnen Probanden das Grundkonzept ① als asymmetrisch, vor allem in dynamischen Fahrsituationen einer Stadtstrecke. Dieses asymmetrische Fahrzeugverhalten entsteht durch die deutliche Rückmeldung der Beschleunigung beim Betätigen des Fahrpedals und der andererseits sich einstellenden niedrigen Verzögerung beim Lösen des Fahrpedals. Demgegenüber berichten viele Probanden im Grundkonzept Verbrenner-Schleppmoment von einer höheren Kontrolle, da ein ähnliches Fahrzeugverhalten aus konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor bekannt ist. Dies wird von vielen Probanden mit Attributen wie „bekannt“ und „vertraut“ verbalisiert. Mit weiter erhöhtem Schleppmoment im Grundkonzept ③ und ④ sind weniger häufig Pedalwechsel durchzuführen, was als erhöhte Kontrolle erlebt wird. Speziell bei den Grundkonzepten ③ und ④ unterscheidet sich die Bewertung der Fahrer mit Fahrerfahrung mit einem hohen Schleppmoment von denen ohne Fahrerfahrung. Probanden, die bereits ausreichend Fahrerfahrung mit einem gegenüber dem Verbrenner-

Schleppmoment erhöhtem Schleppmoment gesammelt haben, weisen den Grundkonzepten ③ und ④ eine höhere erlebte Kontrolle zu. Eher unerfahrene Fahrer hingegen erleben die starke einsetzende Fahrzeugreaktion beim Lösen des Fahrpedals speziell im Grundkonzept ④ als unkontrolliert.

Die positiv ausgeprägte erlebte Kontrolle in allen Grundkonzepten resultiert zudem aus dem Vorhandensein des Bremspedals, durch welches den Probanden bewusst ist, dass jederzeit auch höhere Verzögerungen abgerufen werden können. Die im Teilerperiment ruraler Verkehrsraum in allen Grundkonzepten erlebte höhere Kontrolle gegenüber der im urbanen Verkehrsraum resultiert aus den auftretenden Fahrsituationen. Der dynamische Verkehr im urbanen Verkehrsraum birgt viele fremdbestimmte, nur kurzfristig vorhersehbare Fahrsituationen, welche in einer niedrigeren erlebten Kontrolle gegenüber Fahrsituationen mit ausgeprägterer Vorausschau im ruralen Verkehrsraum resultieren.

Die **Durchschaubarkeit**, eine Komponente der Kontrolle (vgl. Abschnitt 3.2.1, HAIDER 1977), ist innerhalb des gesamten Experiments gegeben, da die Probanden aus Gründen der Verkehrssicherheit mit der sich einstellenden Fahrzeugreaktion in den verschiedenen Konzepten im Rahmen der Instruktion und der Eingewöhnungsfahrt vertraut gemacht wurden. Der Wechsel zwischen verschiedenen Grundkonzepten während des Versuchs wurde nach Aussagen vieler Probanden bereits nach wenigen Verzögerungsvorgängen adaptiert, so dass auch hier von einer hohen Durchschaubarkeit ausgegangen werden kann. Hierzu ist aber auch anzuführen, dass die Bewertung verschiedener Grundkonzepte im Fokus des durchgeführten Experiments stand, weswegen hierdurch die Aufmerksamkeit der Probanden stark auf diese Ausprägung gelenkt wurde.

Eine weitere Teilkomponente der erlebten Kontrolle stellt die **Vorhersehbarkeit** dar. Eine Auswertung der qualitativen Daten sowie des quantitativen Ergebnisses des ruralen Verkehrsraums zeigt eine höchst ausgeprägte Vorhersehbarkeit für das Grundkonzept ② mit sich anschließend abfallender Vorhersehbarkeit und höherer Streuung in den anderen Grundkonzepten. Dieses Verhalten resultiert aus Anlerneffekten der Probanden an das bekannte Verzögerungsverhalten eines Verbrennungsmotors sowie dem unterschiedlichen Erfahrungsgrad mit den weiteren Grundkonzepten.

Neben der Durchschaubarkeit und der Vorhersehbarkeit stellt die **Beeinflussbarkeit** eine weitere Teilkomponente der erlebten Kontrolle dar. Hierbei kann die Beeinflussbarkeit einerseits durch die Dosierbarkeit, also die Beeinflussung der Bediencharakteristik, als auch die Direktheit, die zeitliche Beeinflussung, charakterisiert werden (vgl. Abschnitt 3.2.1). Bezüglich der verschiedenen Bedienkonzepte der Fahrzeuglängsführung kann zwischen der Dosierbarkeit der Einstellung einer konstanten Geschwindigkeit und der Dosierbarkeit der Verzögerung in spezifischen Fahrsituationen unterschieden werden.

Die **Dosierbarkeit** der Einstellung einer konstanten Geschwindigkeit wird im urbanen Verkehrsraum in allen Grundkonzepten ähnlich erlebt (vgl. Abbildung 5.12). Im Vergleich der beiden Verkehrsräume wird im ruralen Verkehrsraum im Grundkonzept ④ diese Dosierbarkeit als signifikant weniger präzise erlebt. Die Ergebnisse des ruralen Verkehrsraums zeigen zudem eine signifikant und eine hoch signifikant weniger präzisere Dosierbarkeit einer konstanten Geschwindigkeit gegenüber dem Verbrenner-Schleppmoment

beziehungsweise dem Grundkonzept ③ und einem erhöhtem Schleppmoment. Dies resultiert aus dem höheren zu regelnden Verzögerungspotenzial bei gleichbleibendem Fahrpedalbetätigungsweg in den Grundkonzepten ③ und ④. Der Unterschied der Bewertung zwischen den beiden Verkehrsräumen resultiert aus der untergeordneten Rolle der Fahrsituation *Geschwindigkeit halten* im dynamischen urbanen Verkehrsraum. Speziell im ruralen Verkehrsraum bestehen häufiger Fahrsituationen der Konstantfahrt, während derer Fahrer diesen Effekt fokussiert erleben können.

Wie gut war es möglich eine Geschwindigkeit mit einer konstanten Fußstellung zu halten?

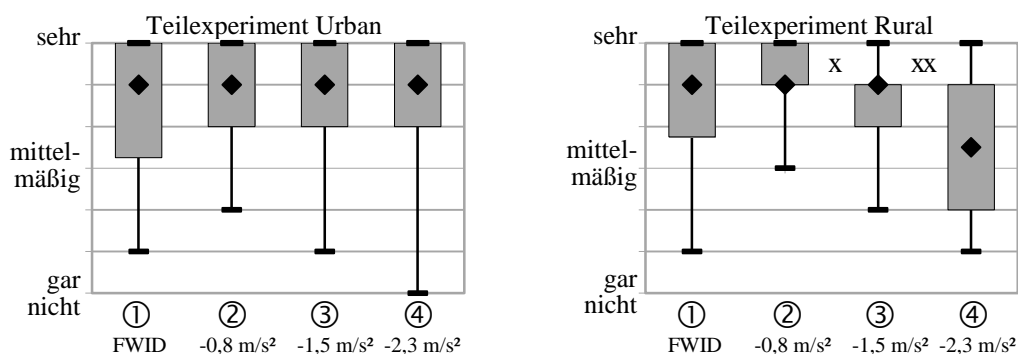


Abbildung 5.12: Ergebnisdarstellung für den Erlebensaspekt Dosierbarkeit einer konstanten Geschwindigkeit

Bezüglich des Erlebensaspekts Dosierbarkeit von Verzögerungsvorgängen kann zwischen Verzögerungsvorgängen bis zum Stillstand an einem festen Objektort (*Zielverzögerung*) und Verzögerungsvorgängen auf eine spezifische Zielgeschwindigkeit (*Anpassungsverzögerung*) unterschieden werden.

Für wie präzise halten Sie die Dosierbarkeit der Geschwindigkeit bei einer Zielverzögerung?

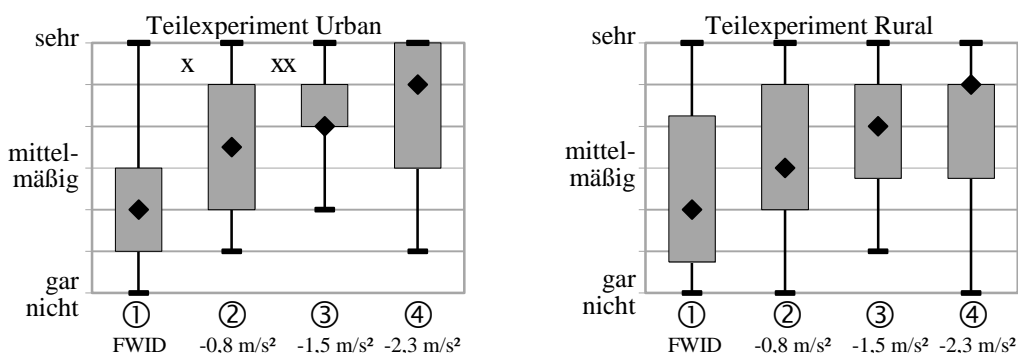


Abbildung 5.13: Ergebnisdarstellung für den Erlebensaspekt Dosierbarkeit einer Zielverzögerung

Abbildung 5.13 zeigt die Bewertung der **Dosierbarkeit einer Zielverzögerung**. In beiden Verkehrsräumen führt ein Anstieg des Schleppmoments zu einer präziseren Dosierbarkeit, mit einem signifikanten Unterschied zwischen dem Grundkonzept ① und ② sowie einem hoch signifikanten Unterschied zwischen ② und ③ im urbanen Verkehrsraum. Hierbei besitzt das Grundkonzept ③, vor allem im urbanen Verkehrsraum, die geringste Streuung der abgegebenen Bewertungen.

Die niedrige, schwer wahrnehmbare, Verzögerung beim Lösen des Fahrpedals im Grundkonzept ① führt dazu, dass die Verzögerung insgesamt als unpräziser zu dosieren erlebt wird. Zwar kann in allen Grundkonzepten durch eine Betätigung des Bremspedals die Verzögerung äquivalent beeinflusst werden, bewirkt die unterschiedliche Verzögerung der Grundkonzepte beim Lösen des Fahrpedals diese spezifische Bewertung. Dies äußert sich auch in den Aussagen vieler Probanden, die beschreiben, dass im Grundkonzept ① mit dem Fahrpedal lediglich eine Beeinflussung der positiven Beschleunigung ermöglicht wird, ansonsten ein häufiges Wechseln zwischen Fahr- und Bremspedal als notwendig erscheint. Die geringe Streuung im Grundkonzept ③ resultiert nach Aussagen der Probanden aus einer intuitiven Beeinflussbarkeit der Verzögerung mit dem Fahrpedal, welche auch von Fahrern mit geringer Fahrerfahrung mit hohem Schleppmoment noch intuitiv eingestellt werden kann.

Eine ähnliche Tendenz stellt sich auch für die **Dosierbarkeit einer Anpassungsverzögerung** dar, weswegen diese nicht explizit aufgeführt wird. Im Unterschied zur Zielverzögerung besteht hier jedoch eine geringere Streuung in den einzelnen Konzepten sowie neben einem höchst signifikanten Unterschied zwischen den Grundkonzepten ① und ② im urbanen Verkehrsraum zusätzlich ein signifikanter Unterschied zwischen diesen Grundkonzepten im ruralen Verkehrsraum.

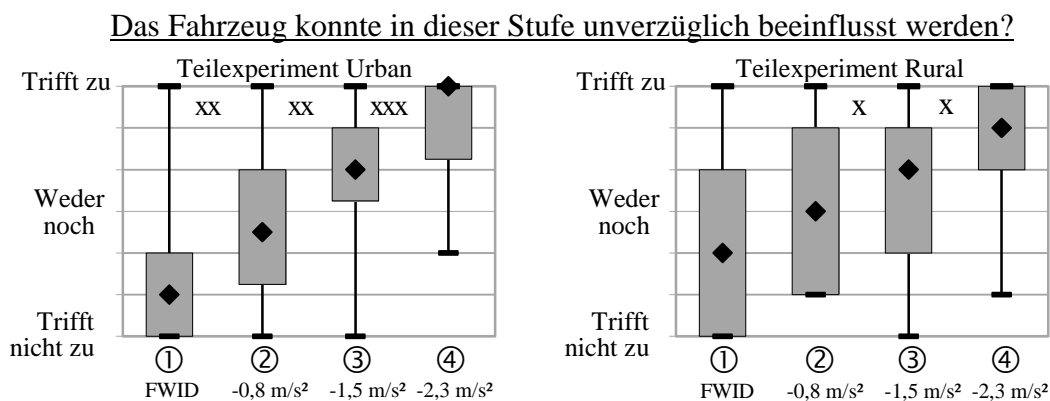


Abbildung 5.14: Ergebnisdarstellung für den Erlebensaspekt Direktheit

Die Beeinflussbarkeit der Fahrzeugreaktion kann neben der Dosierbarkeit auch durch die zeitliche Reaktion, die **Direktheit**, beschrieben werden (vgl. Abbildung 5.14). Hier bewirkt ein Anstieg des Schleppmoments eine höhere erlebte Direktheit der Beeinflussung, mit hoch und höchst signifikanten Unterschieden zwischen allen Grundkonzepten im urbanen Verkehrsraum und signifikanten Unterschieden zwischen den Grundkonzepten ②, ③ und ④ im ruralen Verkehrsraum.

Ähnlich wie bei der Dosierbarkeit wirkt sich auch hier der Vorgang des Pedalwechsels deutlich auf die erlebte Direktheit der Fahrzeuglängsführung aus. Hierzu beschreiben Probanden die Beeinflussbarkeit in einem Grundkonzept mit erhöhtem Schleppmoment als positiver, da Probanden in einem derartigen Bedienkonzept ein höheres Bewusstsein über die aktuelle Fahrpedalstellung verfügen und somit präzise durch Betätigen oder Lösen eine Anpassung der Fahrzeugreaktion bewirken können. Des Weiteren wird auch das Zeitverhalten des Verzögerungsaufbaus, welches in Abschnitt 5.1.1 vorgestellt wurde, je nach Höhe des Schleppmoments unterschiedlich von den Probanden erlebt. Die niedrige Verzögerung im Grundkonzept ① führt zu einer wenig präzisen Wahrnehmung des Fahrzustands und damit

auch zu Nachteilen bezüglich der Beeinflussbarkeit. In den Grundkonzepten ② und ③ wird in vielen Fahrsituationen das Fahrpedal komplett gelöst, so dass in diesen Situationen Probanden die Aufmerksamkeit stärker auf den zeitlichen Aufbau der Verzögerung richten und den einsetzenden Aufbau als zu träge für spezifische Fahrsituationen beschreiben. Trotz gleichem Zeitverhalten des Aufbaus der Verzögerung im Grundkonzept ④ wird dieser in diesem Konzept deutlich unauffälliger wahrgenommen. Dies resultiert nach Aussagen mancher Probanden aus dem Effekt, dass in diesem Grundkonzept die Verzögerung meist durch präzise Interaktion mit dem Fahrpedal eingestellt wird. Auch berichten in diesem Grundkonzept einige Probanden von einer „kompensatorischen Modulation“, also einem langsamen Lösen des Fahrpedals und einem leichten Betätigen beziehungsweise präzisen Halten des Fahrpedals beim Erreichen der Wunschverzögerung. Speziell im Grundkonzept ④ berichten die Probanden gegenüber dem asymmetrischen Verhalten des Grundkonzepts ① von einem symmetrischen Fahrzeugverhalten. Dies resultiert einerseits aus der Möglichkeit rein durch Interaktion mit einem Bedienelement (Fahrpedal) Beschleunigungen sowie Verzögerungen zu dosieren. Andererseits resultiert das erlebte symmetrische Verhalten aus der ausgeprägten Kenntnis über die aktuelle Pedalposition und damit dem Wissen über das Potenzial der Veränderung der Fahrzeugreaktion, was ein hohes Situationsbewusstsein vermittelt. In den Grundkonzepten niedrigeren Schlepptoments führen die durchzuführenden Pedalwechsel zu vielen Situationen, in denen die sich einstellende Fahrzeugreaktion nur schwierig vorhergesehen werden kann, was negativ bezüglich der Kontrolle erlebt wird.

5.2.2 Energiegefühl

Innerhalb des Experiments beschränkt sich die Rückmeldung zum Fahrer über den Energiefluss auf die Komponente der Fahrzeugrückmeldung. Es werden explizit keine Möglichkeiten von visuellen Anzeigen genutzt um dadurch den Einfluss der Fahrzeugrückmeldung isoliert zu evaluieren. Im Rahmen der Instruktion des Probandenversuchs wird den Probanden verdeutlicht, dass in allen Grundkonzepten das gleiche Potenzial an Verzögerung durch Rekuperation eingestellt werden kann, beispielhaft im Grundkonzept ① beim Betätigen des Bremspedals und im Grundkonzept ④ beim Lösen des Fahrpedals. Das Energiegefühl kann gemäß Abschnitt 3.2.2 untergliedert werden in das Gefühl der Energierückgewinnung und das Gefühl der Energieeffizienz durch das eingestellte Fahrverhalten.

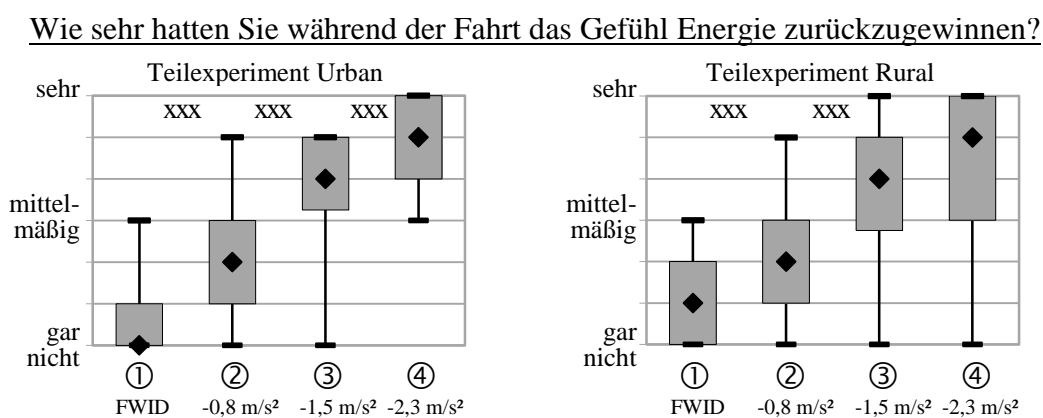


Abbildung 5.15: Ergebnisdarstellung für den Erlebensaspekt Energierückgewinnung

Abbildung 5.15 zeigt den Grad der erlebten **Energierückgewinnung** in den verschiedenen Grundkonzepten. Hierbei erleben die Probanden die Energierückgewinnung höchst signifikant deutlicher mit ansteigendem Schleppmoment, lediglich im ruralen Verkehrsraum zwischen den Grundkonzepten ③ und ④ besteht kein signifikanter Unterschied. Im Grundkonzept ① kann die Rückgewinnung der Energie von den Probanden kaum erlebt werden.

Diese Bewertung beschreiben die Probanden, trotz Kenntnis der energetischen Äquivalenz der einzelnen Grundkonzepte, durch die klare Informationskoppelung der Verzögerung beim Lösen des Fahrpedals mit der Rekuperation. Wird hingegen beim Betätigen des Bremspedals die Rekuperation eingestellt, sind sich die Probanden unsicher über den Verzögerungsvorgang und können lediglich schwierig abschätzen, ob sich der Verzögerungszustand rein rekuperativ oder zusätzlich unter Zuhilfenahme der Reibbremsen einstellt. Den Vorgang der Verzögerung durch Reibbremsen erleben die Probanden stark negativ bezüglich der Energieeffizienz und bezeichnen diesen mit „Energievernichtung“. Die akustische Rückmeldung beim Einstellen der Rekuperation beschreiben viele Probanden deutlich positiv und erleben durch diese eine starke Aktivität des Fahrzeugs, was diesen den Vorgang der Rekuperation nochmals präsenter erleben lässt. Der Grund für das Auftreten der hohen Streuung bei der Bewertung des Grundkonzepts ④ im ruralen Verkehrsraum besteht in den im Rahmen der Versuchsfahrt unterschiedlichen, jedoch verglichen mit dem urbanen Verkehrsraum, deutlich weniger dynamischeren Fahrmanövern. Hierbei wird seitens der Probanden im ruralen Verkehrsraum im Bedienkonzept ④ die Fahrzeugverzögerung stärker an die vorherrschenden Fahrsituationen angepasst, weswegen das Potenzial der hohen Verzögerungen seltener erlebt wird und damit der geringere Unterschied zwischen den Grundkonzepten ③ und ④ begründet werden kann.

Wie sehr hatten Sie das Gefühl, dass Sie mit dem Konzept energieeffizient gefahren sind?

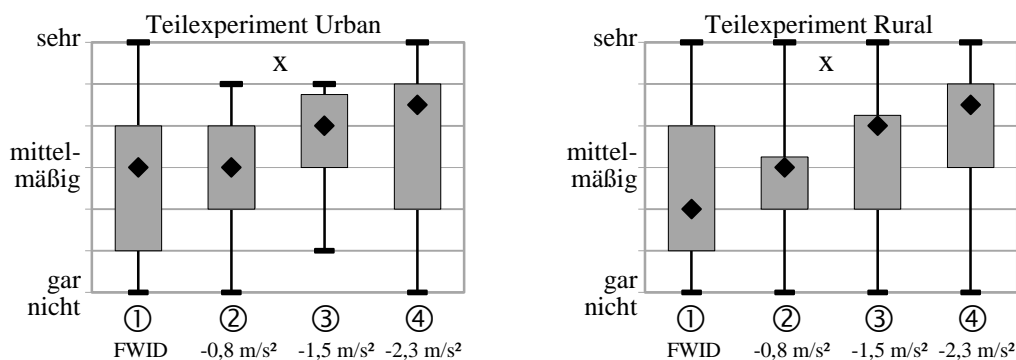


Abbildung 5.16: Ergebnisdarstellung für den Erlebensaspekt Energieeffizienz des Fahrverhaltens

Ein ähnliches Verhalten spiegelt sich auch bei der Bewertung der erlebten **Energieeffizienz** des eingestellten Fahrverhaltens wider (vgl. Abbildung 5.16). Hierbei weist das Grundkonzept ① eine hohe Streuung der Bewertung in beiden Telexperimenten auf, das Grundkonzept ② wird neutral bezüglich der erlebten Energieeffizienz des Fahrverhaltens beschrieben, mit einem signifikanten Unterschied zu einem positiveren Erleben der Grundkonzepte ③ und ④.

Gegenüber der erlebten Energierückgewinnung berücksichtigt die Bewertung des erlebten energieeffizienten Fahrverhaltens zusätzlich das Beschleunigungsverhalten. Bezüglich des energieeffizienten Fahrverhaltens stellen Probanden im Grundkonzept ① vereinzelt Fahrsituationen ein, in denen sie bewusst die Segelverzögerung nutzen. Während dieses Vorgangs beschreiben diese den Segelzustand an sich mit positiven Attributen, wie der Fortbewegung ohne Energieverbrauch oder der nur sehr langsamen Abnahme der Geschwindigkeit. Andererseits erleben viele Probanden den Effizienzvorteil des Segelns kaum, da sie diesen nur schwierig abschätzen können. Diese Probanden beschreiben nach dem Ausprobieren des Segelzustands oft, dass diese sich zwar eine Effizienz des Segelzustands vorstellen können, jedoch der Vorgang der Energierückgewinnung vermutlich einen höheren Stellhebel bezüglich der gesamten Energieeffizienz ausübt. Dies erklärt die positivere Bewertung des erlebten energieeffizienten Fahrverhaltens in den Grundkonzepten ③ und ④. Hier wird auch ersichtlich, dass den Probanden der Einfluss des Energieverbrauchs durch deren Fahrverhalten nur untergeordnet bewusst ist und die Probanden teilweise versuchen, ein energieeffizientes Fahrverhalten alleinig durch eine Maximierung der Energierückgewinnung einzustellen. Dies resultiert aus der lediglich gering ausgeprägten Vorstellung der auftretenden Wirkungsgrade bei der Energiewandlung durch die Probanden. Dies beschreiben Probanden beispielhaft durch Aussagen, dass beim Fahren mit höherem Schleppmoment kein vorausschauendes Fahrverhalten nötig ist, da „ja sofort rekurert werden kann“. Andere Probanden verbalisieren, dass diese gefühlt mit einer höheren Geschwindigkeit auf Hindernisse auffahren, weil sie durch die Rekuperation „eh nichts verlieren“. Eine Beschreibung der objektiven Energieeffizienz des Fahrverhaltens erfolgt in Abschnitt 5.2.8.

5.2.3 Diskomfort

Die Erhebung des Diskomforts stützt sich auf eine quantitative Bewertung im Fragebogen sowie auf eine qualitativ erhobene Frage im Rahmen des Leitfadeninterviews nach einer jeden Versuchsrunde. Daneben verbalisierten viele Probanden Aspekte des Diskomforts, die hier unterstützend aufgeführt werden. Nach BUBB (2003a) stellt die Minimierung des Diskomforts eine nötige Voraussetzung zur Optimierung des Komforts im Rahmen der Fahrzeugentwicklung dar.

Wie störend haben Sie das Hin- und Herwechseln zwischen den Pedalen empfunden?

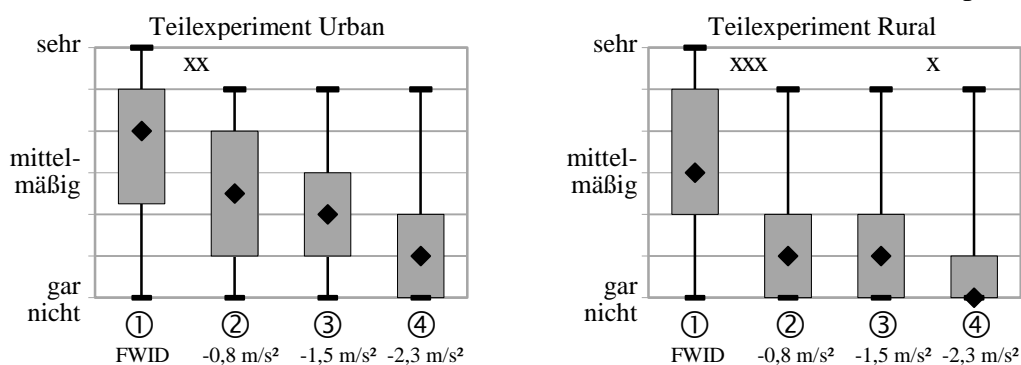


Abbildung 5.17: Ergebnisdarstellung für den Erlebensaspekt physische Beanspruchung durch Pedalwechsel

Abbildung 5.17 beschreibt den durch **Fußpositionswechsel zwischen Fahr- und Bremspedal** erlebten Diskomfort. Hierbei werden die Pedalwechsel im Grundkonzept ② verglichen mit dem Grundkonzept ① im urbanen Verkehrsraum hoch, beziehungsweise im ruralen Verkehrsraum höchst signifikant weniger störend erlebt. Durch eine weitere Erhöhung des Schleppmoments gegenüber dem Grundkonzept ② kann der hierdurch ausgelöste Diskomfort in beiden Verkehrsräumen weiter verringert werden. Im ruralen Verkehrsraum werden zudem die Pedalwechsel im Grundkonzept ④ signifikant weniger störend erlebt als im Grundkonzept ③.

Die durchzuführenden Pedalwechsel im Grundkonzept ① werden von einem Großteil der Probanden im Rahmen der Verbalisierung des Erlebten genannt und können als physische Beanspruchung beschrieben werden. Im Grundkonzept ② hingegen verbalisieren lediglich Fahrer die bereits Fahrerfahrung mit Konzepten höheren Schleppmoments gesammelt haben die nötige Durchführung von Pedalwechseln als störend, der andere Teil der Fahrer erlebt diese neutral und wenig beanspruchend. Diese Unterscheidung innerhalb des Probandenkollektivs beschreibt die Streuung bei der Bewertung des Grundkonzepts ② im urbanen Verkehrsraum. Gegenüber dem urbanen Verkehrsraum werden die Pedalwechsel im ruralen Verkehrsraum weniger störend erlebt. Dies resultiert aus der geringeren Häufigkeit an durchzuführenden Pedalwechseln im ruralen Verkehrsraum, aufgrund der weniger dynamischen und in der Regel stärker selbstbestimmt durchgeführten Fahrsituationen. Speziell im ruralen Verkehrsraum kann zudem festgestellt werden, dass die Pedalwechsel in den Grundkonzepten ② und ③ als wenig störend erlebt werden. Dies resultiert nach Aussagen der Probanden daher, dass auch bereits im Grundkonzept ② im ruralen Verkehrsraum viele Verzögerungsvorgänge rein durch das Lösen des Fahrpedals ausgeführt werden können, falls der Fahrer die Fahrzeuglängsführung mit ausreichender Vorausschau plant. Speziell im ruralen Verkehrsraum sind im Grundkonzept ④ lediglich vereinzelt Pedalwechsel und damit einhergehend der Abruf von höheren Verzögerungen durch Bremspedalbetätigung in vom Fahrer unerwarteten Fahrsituationen nötig, was die Bewertung als gar nicht störend und die geringe Streuung der Bewertung begründet.

Zusätzlich beschreiben Probanden im Grundkonzept ① **die Fußhaltung** während der Segelphasen als beanspruchend. Während dieser Segelphasen schwebt der Fuß der Probanden oft über dem Fahr- oder Bremspedal, weswegen sich einige Probanden eine Ablagemöglichkeit für den Fuß, ähnlich der Fußstütze bei der Betätigung des Kupplungspedals, wünschen. Als ebenfalls physisch beanspruchend beschreiben wenige Probanden **die Abstützung der Verzögerungskräfte** bei der Regelung der Verzögerung beim Lösen des Fahrpedals in den Grundkonzepten ③ und ④. In den Grundkonzepten ① und ② werden nötige Verzögerungen oft durch die Betätigung des Bremspedals angefordert, was es dem Fahrer ermöglicht, die auf diesen einwirkenden Verzögerungskräfte über die Betätigungscharakteristik des Bremspedals und der damit vorherrschenden höheren Gegenkraft am Bremspedal abzustützen. Wird hingegen die Verzögerung beim Lösen des Fahrpedals eingestellt, so kann der Fahrer beispielhaft eine auf diesen einwirkende Verzögerungskraft bei einer Verzögerung von $a_x = -2 \text{ m/s}^2$ im Grundkonzept ④ mit ca. 20 N am Fahrpedal abstützen, während er im Grundkonzept ① ca. 35 N am Bremspedal aufzubringen hat (vgl. Betätigungscharakteristiken in Abschnitt 2.2.2). Dieser Unterschied bezüglich der Abstützung der Verzögerungskräfte wird von wenigen Probanden als

beanspruchend beschrieben, wobei diese aber konkret das Gefühl verbalisieren, während Verzögerungssituationen in den Sicherheitsgurt gezogen zu werden. Von einem deutlich höheren Anteil an Probanden wird die **präzise Einregelung der Pedalposition** in Verzögerungsvorgängen in den Grundkonzepten ③ und ④ als physisch beanspruchend erlebt. Dies schildern Probanden durch Beschreibungen wie „man muss hier mehr tun um das Fahrzeug einzuregeln“ oder „es ist hier eine höhere Anspannung im Fuß, weil der Fuß präziser arbeiten muss“. Diese präzise Interaktion verbalisieren manche Probanden vor allem in monotonen Fahrsituationen als „nervig“, da hier eine Abweichung von der Pedalposition in einer deutlichen Veränderung der Fahrzeugbeschleunigung oder -verzögerung resultiert. Ebenso verhindert die hohe Verzögerung beim Lösen des Fahrpedals in den Grundkonzepten ③ und ④ dem Fahrer den Fuß vom Pedal lösen zu können, was von manchen Fahrern gerne zur Entspannung ausgeführt wird. Dies wird ebenfalls verstärkt von Fahrern im ruralen Verkehrsraum in monotonen Fahrsituationen verbalisiert.

Neben der physischen Belastung erleben Probanden in den verschiedenen Grundkonzepten ebenfalls eine unterschiedlich ausgeprägte **psychische Beanspruchung**. Die psychische Belastung ausgehend von der Fahrzeuglängsführung resultiert aus der nötigen Aufmerksamkeit bezüglich der Vorausschau, die in den verschiedenen Grundkonzepten von den Probanden unterschiedlich beschrieben wird. Der Grad der Aufmerksamkeit für die Fahrzeuglängsführung kann innerhalb des Versuchs als sehr hoch angenommen werden, da sich die Probanden im Versuchsablauf zum Beispiel durch die Methode Verbalisierung des Erlebten explizit auf die Fahrzeuglängsführung konzentrieren. Bezüglich der Vorausschau berichten viele Probanden im Grundkonzept ① nicht nur in Phasen des aktiven Segelns von einer stärkeren **Beobachtung des Verkehrsumfelds**. Dabei sind sich die Probanden in diesem Grundkonzept bewusst, dass beim Lösen des Fahrpedals lediglich eine geringe Verzögerung aufgebaut wird und zum Abruf höherer Verzögerungen der Fuß zum Bremspedal gewechselt werden muss, wofür ein Zeitaufwand nötig ist. Manche Probanden beschreiben, dass sie diesem nötigen Zeitaufwand durch eine fixiertere Beobachtung des Verkehrsumfelds begegnen und somit vor allem im urbanen Verkehrsraum, trotz erlebter niedriger Kontrolle, die Sicherheit in der Bedienung der Fahrzeuglängsführung wieder herstellen. Im Grundkonzept ② berichten nahezu alle Probanden von einem gewohnten Fahrzeugverhalten, welches es ermöglicht, ohne ausgeprägte psychische Belastung die Fahrzeuglängsführung einzustellen. In den Grundkonzepten ③ und ④ beschreiben viele Probanden die höhere **Fokussierung auf die Bedieneingaben** und die Planung der möglichen Verzögerung beim Lösen des Fahrpedals als psychisch beanspruchend. Im Vergleich zur psychischen Beanspruchung im Grundkonzept ① tritt hier, neben der ausgehend vom Verkehrsumfeld beeinflussten Vorausschau, deutlich stärker die Beobachtung der Bedieneingabe in den Vordergrund. Um unter anderem Pedalwechsel in den Grundkonzepten ③ und ④ zu vermeiden, sind somit einerseits die auftretenden Fahrsituationen vom Fahrer zu analysieren und andererseits zu berücksichtigen, welche Verzögerung lediglich mit dem Lösen des Fahrpedals abgerufen werden kann. Dieser nötige Aufwand wird von vielen Probanden gerade am Anfang im Umgang mit einem Grundkonzept höheren Schlepptoments als psychische Beanspruchung beschrieben.

5.2.4 Komfort

Innerhalb des Experiments erfolgt die Charakterisierung der Erlebensdimension Komfort durch die Aspekte Fahrgefühl, Entspannung und dem Gefallen der verschiedenen Grundkonzepte, welche im Folgenden vorgestellt werden. Diese einzelnen Erlebensaspekte können der in Abschnitt 3.2.4 vorgestellten Detaillierung des Komfortbegriffs in die Teildimensionen des Genuss beziehungsweise des Komforts und der im Vordergrund stehenden Handlung beziehungsweise Nutzung untergliedert werden.

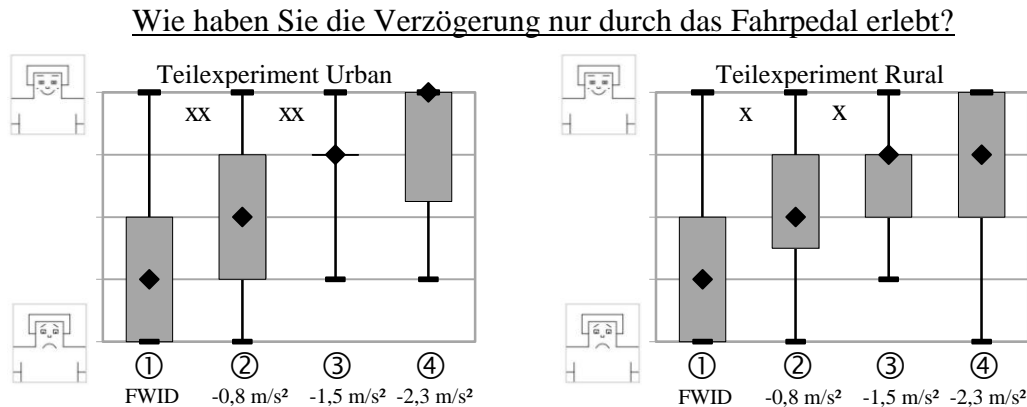


Abbildung 5.18: Ergebnisdarstellung für den Erlebensaspekt Fahrgefühl Interaktionsmöglichkeit Pedalerie

Abbildung 5.18 beschreibt den **Nutzungskomfort**, der als Fahrgefühl bei der Einstellung von Verzögerungen mit dem Fahrpedal charakterisiert wird. Hierbei wird dieses Fahrgefühl in beiden Telexperimenten mit erhöhtem Schleppmoment positiver erlebt, wobei im urbanen Verkehrsraum die Verzögerung beim Lösen des Fahrpedals im Grundkonzept ② beziehungsweise ③ jeweils hoch signifikant positiver erlebt wird. Die Verzögerung beim Lösen des Fahrpedals im Grundkonzept ④ wird zusätzlich positiver erlebt als die des Grundkonzepts ③, wobei im Grundkonzept ④ die Bewertung der Probanden eine höhere Streuung aufweist. Im ruralen Verkehrsraum wird die Verzögerung beim Lösen des Fahrpedals in den Grundkonzepten ② und ③ jeweils signifikant positiver erlebt. Die Verzögerung im Grundkonzept ④ wird hingegen lediglich etwas positiver erlebt und mit einer höheren Streuung gegenüber dem Grundkonzept ③ bewertet.

Viele Probanden beschreiben die sich einstellende Verzögerung im Grundkonzept ① als unangenehm, da durch die niedrige Verzögerung lediglich eine geringe Kontrolle erlebt wird. Dies wird von Probanden vor allem im urbanen Verkehrsraum oder auch im ruralen Verkehrsraum in Folgefahrtsituationen verbalisiert. Die Verzögerung beim Lösen des Fahrpedals im Grundkonzept ② wird vom Großteil der Probanden als angenehm beschrieben, da diese den Probanden ebenfalls aus deren Fahrzeugen mit konventionellem Verbrennungsmotor bekannt ist. Die hohe Streuung der Bewertung des Grundkonzepts ② in beiden Telexperimenten resultiert aus dem unterschiedlichen Grad der Fahrerfahrung mit erhöhtem Schleppmoment. Hierzu berichten vor allem Fahrer mit Fahrerfahrung von einem erlebten Komfortverlust im Grundkonzept ②, da die Bedienung der Längsführung nicht mehr vorrangig über das Fahrpedal eingestellt werden kann. Die Bewertung des Grundkonzepts ③ weist in beiden Telexperimenten die niedrigste Streuung auf und wird von Probanden mit

den Attributen „harmonisch“, „homogen“ und „angenehm“ beschrieben. Dieses Grundkonzept ermöglicht, verglichen mit dem Grundkonzept ④, bereits einen hohen Nutzungskomfort durch die Einstellung vieler Verzögerungsvorgänge rein durch das Lösen des Fahrpedals ohne stark zu polarisieren. Im Grundkonzept ④ können durch das Lösen des Fahrpedals noch höhere Verzögerungen abgerufen werden, was vor allem im urbanen Verkehrsraum als erhöhter Nutzungskomfort erlebt wird. Hierbei polarisiert dieses Verzögerungspotenzial vor allem bei Probanden mit wenig Fahrerfahrung, da diese von einer leichten Überforderung durch die zu regelnde hohe Verzögerung berichten („ein unbedachter Fußheber wird hier gleich bestraft“). Im ruralen Verkehrsraum berichten vermehrt Probanden von einer zu stark ausgeprägten Verzögerung beim Lösen des Fahrpedals im Grundkonzept ④, was als nicht passend zu den auftretenden Fahrsituationen bezeichnet wird.

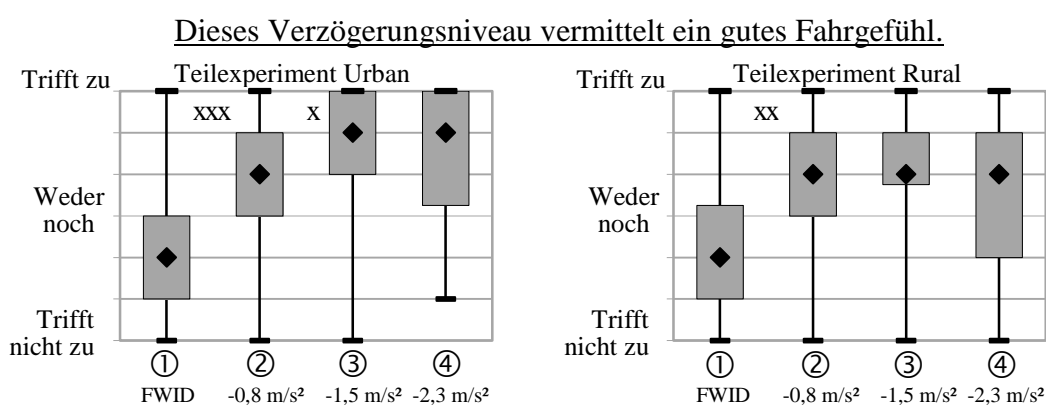


Abbildung 5.19: Ergebnisdarstellung für den Erlebensaspekt Fahrgefühl

Abbildung 5.19 zeigt den erlebten **Handlungsgenuss** charakterisiert durch das Fahrgefühl in den verschiedenen Grundkonzepten. Hierbei wird im urbanen Verkehrsraum das Fahrgefühl im Grundkonzept ③ signifikant positiver als das Grundkonzept ② erlebt, wobei das Grundkonzept ② höchst signifikant positiver erlebt wird als das Grundkonzept ①. Im ruralen Verkehrsraum wird lediglich das Grundkonzept ② hoch signifikant positiver erlebt gegenüber dem Grundkonzept ①.

Im Vergleich der Bewertung des Nutzungskomforts gegenüber dem Handlungsgenuss kann festgestellt werden, dass vor allem die Bewertung des Grundkonzepts ④ etwas neutraler erfolgt sowie dass im ruralen Verkehrsraum die Grundkonzepte ②, ③ und ④ ähnlich bewertet werden. Gegenüber dem Nutzungskomfort der Interaktionsmöglichkeit mit dem Fahrpedal weitet die Charakterisierung des Handlungsgenusses die Bewertung auf das gesamte Fahrgefühl aus. Hierbei werden von den Probanden auch verstärkt neben der reinen Interaktionsmöglichkeit mit dem Fahrpedal auch die weiteren Erlebensaspekte, beispielhaft des Diskomforts, in die Bewertung mit einbezogen, was die unterschiedliche Bewertung erklärt.

Die Bewertung der möglichen Entspannung während der Fahrt in den einzelnen Grundkonzepten als Aspekt des **Handlungskomforts** stellt Abbildung 5.20 dar. Hierbei wird in beiden Verkehrsräumen das Grundkonzept ① gegenüber dem Grundkonzept ② hoch beziehungsweise höchst signifikant weniger entspannend erlebt. Im urbanen Verkehrsraum bietet das Grundkonzept ③ das höchste Potenzial an Entspannung mit einer signifikant

niedriger ausgeprägten Entspannung im Grundkonzept ④. Demgegenüber bietet im ruralen Verkehrsraum das Grundkonzept ② das höchste Potenzial an Entspannung, ebenfalls mit einem signifikanten Unterschied zum Grundkonzept ③. Zwischen den beiden Verkehrsräumen besteht ein Unterschied in der Bewertung der möglichen Entspannung im Grundkonzept ①, welche im ruralen Verkehrsraum hoch signifikant positiver erlebt wird.

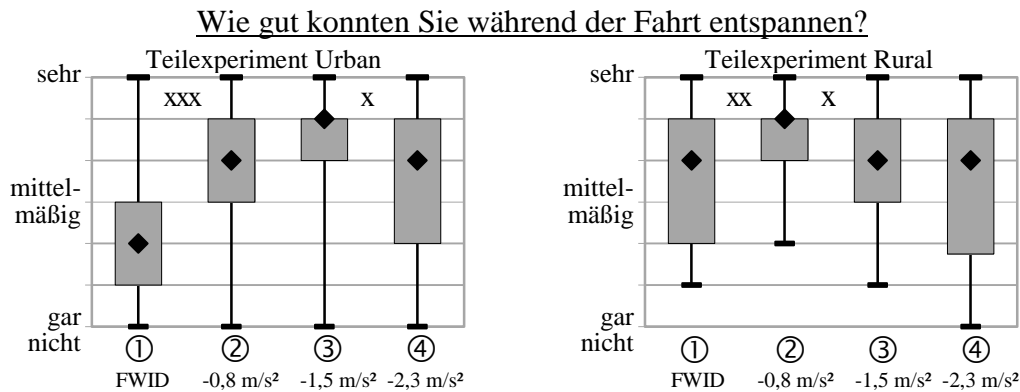


Abbildung 5.20: Ergebnisdarstellung für den Erlebensaspekt Entspannung

Die mögliche Entspannung in den verschiedenen Grundkonzepten wird vorrangig durch die verschiedenen Aspekte des Diskomforts beeinflusst. Im Grundkonzept ① verbalisieren Probanden vor allem in monotonen Fahrsituationen im ruralen Verkehrsraum einerseits eine mögliche Entspannung durch das Lösen aus der Regelaufgabe, andererseits aber den Kontrollverlust der als Anspannung erlebt wird. Dies erklärt auch die unterschiedliche Bewertung des Grundkonzepts ① in den beiden Verkehrsräumen sowie die Streuung in der Bewertung. Durch die dynamischeren Fahrsituationen im urbanen Verkehrsraum wirkt sich der erlebte Kontrollverlust in diesem Verkehrsraum deutlich negativer auf die Entspannung aus. Im urbanen Verkehrsraum bietet das Grundkonzept ③ das höchste Potenzial an Entspannung, da hier nach Aussagen vieler Probanden einerseits ein hoher Anteil der Verzögerungsvorgänge ohne Pedalwechsel durchgeführt werden kann, andererseits aber keine ausgeprägt präzise Regelung des Fahrpedals mit der erforderlichen physischen und psychischen Beanspruchung nötig ist. Im ruralen Verkehrsraum hingegen bietet das Grundkonzept ② das höchste Potenzial an Entspannung, da das sich in diesem Grundkonzept einstellende Verzögerungsniveau einerseits erlaubt das Fahrpedal vollständig zu lösen ohne einen Aufbau von als störend erlebten Verzögerungen zu bewirken, andererseits aber vor allem in Fahrsituationen durch das Verzögerungsniveau beim Lösen des Fahrpedals bereits viele Verzögerungsvorgänge ausgeführt werden können. Die Bewertung des Grundkonzepts ④ weist in beiden Telexperimenten die höchsten Streuungen auf, was aus der unterschiedlichen Gewichtung der einzelnen Erlebensaspekte durch die Probanden resultiert. Hierzu verbalisieren einerseits viele Probanden die verringerte Häufigkeit an durchzuführenden Pedalwechsel als entspannend, andere hingegen fokussieren sich auf die Bedieneingaben und erleben die präzise Pedalinteraktion, die vor allem im Grundkonzept ④ notwendig ist, als beanspruchend und damit als Reduzierung der möglichen Entspannung.

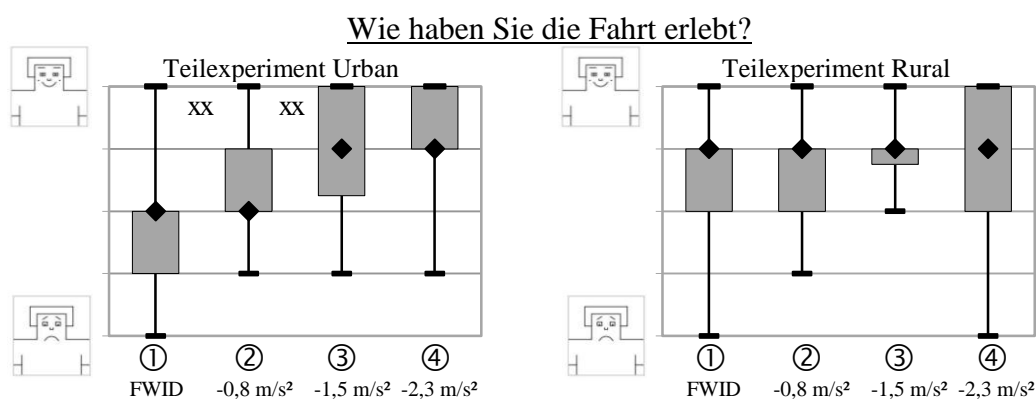


Abbildung 5.21: Ergebnisdarstellung für den Erlebensaspekt Gefallen

Neben den bereits vorgestellten Erlebensaspekten zur Charakterisierung des Komforts wird zusätzlich das **Gefallen** der Fahrt in den einzelnen Grundkonzepten durch eine Beurteilung des Erlebens der Fahrt an Hand der Valenzskala des SAM (LANG 1980, vgl. Abbildung 5.21) charakterisiert. Hierbei zeigt sich im urbanen Verkehrsraum deutlich ein Einfluss des Schleppmoments auf das Gefallen, wohingegen im ruralen Verkehrsraum sich die Bewertung nahezu unabhängig vom Schleppmoment einstellt. Im urbanen Verkehrsraum wird die Fahrt mit erhöhtem Schleppmoment positiver erlebt, mit jeweils einem hoch signifikanten Unterschied zwischen den Grundkonzepten ① und ② beziehungsweise ② und ③.

Diese deutlich unterschiedliche Abhängigkeit vom Verkehrsraum resultiert nach Aussagen der Probanden aus den unterschiedlichen Dynamikanforderungen der beiden Verkehrsräume. Sind im urbanen Verkehrsraum dynamische Verzögerungen aufgrund der höheren Verkehrsdichte notwendig, wirken sich die unterschiedlichen Grundkonzepte auch deutlich stärker auf das Gefallen der Fahrt aus. Demgegenüber steht im ruralen Verkehrsraum die Fahrzeuglängsführung nicht derart im Fokus der Beobachtung, weswegen sich die einzelnen Grundkonzepte nicht so deutlich auf das Gefallen der Fahrt auswirken. Insgesamt werden die verschiedenen Grundkonzepte aber auch im ruralen Verkehrsraum ähnlich und eher positiv bewertet.

Einen weiteren Teilaspekt des Komforts stellt die **Besonderheit des Fahrzeugs** dar, die ähnlich wie die Ästhetik eines Objekts das Erleben beeinflusst. Bei genauerer Analyse der untersuchten Grundkonzepte verbalisieren viele Probanden die Unterschiedlichkeit der Grundkonzepte im Vergleich zu deren gewohntem Fahrzeugverhalten eines Verbrenner-Schleppmoments. Dieses Fahrzeugverhalten wird durch das Grundkonzept ② angenähert und auch von den Probanden als ähnlich bezeichnet. Gegenüber dem bekannten Fahrzeugverhalten beschreiben die Probanden das Grundkonzept ① als deutlich ähnlicher verglichen mit dem Grundkonzept ③ oder gar dem Grundkonzept ④. Die niedrige Verzögerung beim Lösen des Fahrpedals im Grundkonzept ① stellt sich den Probanden als bekannt aus Fahrzeugen mit Handschaltgetriebe und betätigtem Kupplungspedal dar, wobei dieses Fahrzeugverhalten als dauerhafte Abstimmung neu erleben. Das gegenüber dem Grundkonzept ② erhöhte Schleppmoment im Grundkonzept ③ beziehungsweise ④, mit der Möglichkeit Verzögerungsvorgänge rein durch das Lösen des Fahrpedals einzustellen, wird von den Probanden deutlicher als unterschiedlich zu deren gewohnten Fahrzeugverhalten erlebt und als besonders beschrieben.

5.2.5 Erlebter Produktcharakter und psychologische Bedürfnisse

Das Erleben des Fahrers in den einzelnen Grundkonzepten, welches durch die in den vorhergehenden Abschnitten vorgestellten Erlebensaspekte charakterisiert wurde, führt zu einer spezifischen Bewertung des Charakters der einzelnen Grundkonzepte, welche mit Hilfe des semantischen Differentials *AttrakDiff mini* zusammengefasst wird. Wie in Abschnitt 5.1.3 vorgestellt, charakterisiert das Messinstrument *AttrakDiff mini* den Charakter interaktiver Produkte an Hand der Dimensionen pragmatische Qualität (PQ), hedonische Qualität-Identität (HQ-I), hedonische Qualität-Stimulation (HQ-S) und der Attraktivität (ATT). Ausgehend von der Ausprägung der Dimensionen pragmatische und hedonische Qualität kann zudem ein Produktcharakter wie begehrt, selbstorientiert oder überflüssig den einzelnen untersuchten Konzepten zugeordnet werden (DIEFENBACH & HASSENZAHL 2010).

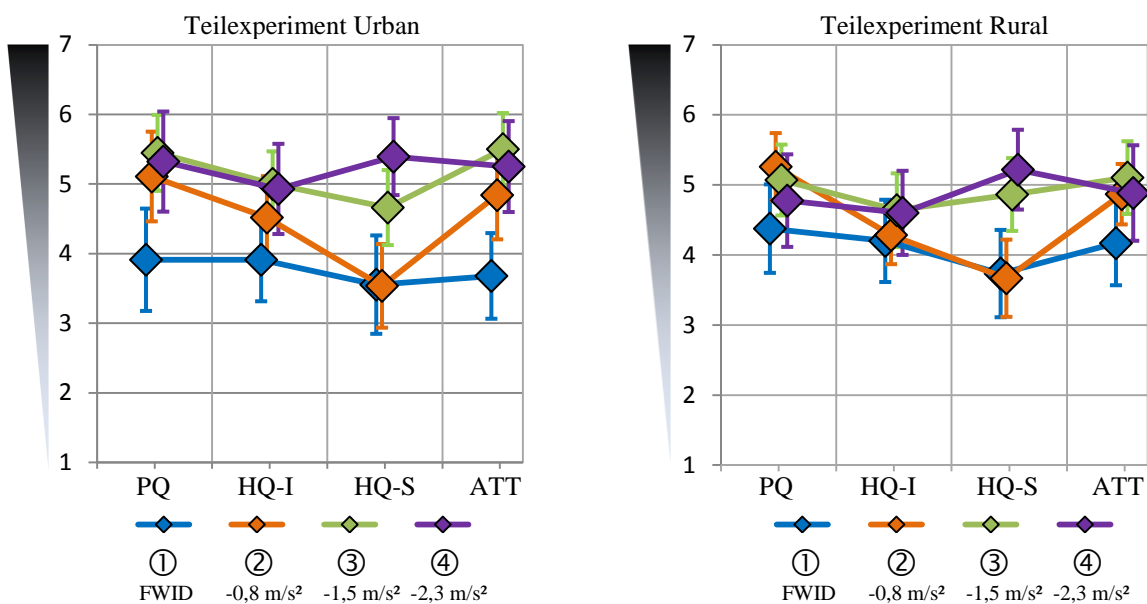


Abbildung 5.22: Mittelwerte und 95 % Konfidenzintervalle der Mittelwerte der Qualitätsdimensionen des *AttrakDiff mini*

Abbildung 5.22 stellt die Mittelwerte der verschiedenen Qualitätsdimensionen des *AttrakDiff mini* in den beiden Teilexperimenten dar. Hierbei wird durch eine Ausprägung mit Wert 7 die positivste Ausprägung und mit dem Wert 1 die negativste Ausprägung in der jeweiligen Qualitätsdimension beschrieben.

Die **pragmatische Qualität** des Grundkonzepts ① wird in beiden Teilexperimenten neutral erlebt, im ruralen Verkehrsraum leicht positiver, aber insgesamt niedriger als alle anderen untersuchten Grundkonzepte. Dies ist vorrangig auf den erlebten Kontrollverlust im Grundkonzept ①, die störend erlebten durchzuführenden Pedalwechsel sowie auf das verkehrsunkonforme Fahrzeugverhalten in Folgefahrsituationen zurückzuführen. Im urbanen Verkehrsraum bieten die anderen untersuchten Grundkonzepte eine ähnliche pragmatische Qualität, wobei das Grundkonzept ② eine leicht niedrigere und das Grundkonzept ③ eine leicht höhere Qualität verglichen mit dem Grundkonzept ④ aufweist. Die etwas höhere pragmatische Qualität der beiden Grundkonzepte ③ und ④ resultiert aus der Möglichkeit einen höheren Anteil an Verzögerungsvorgängen rein durch Interaktion mit dem Fahrpedal einzustellen und der damit einhergehenden reduzierten Häufigkeit an durchzuführenden

Pedalwechselforgängen. Die dennoch ähnliche Bewertung der drei Grundkonzepte resultiert vor allem aus den Items *Voraussagbarkeit* und *Übersichtlichkeit*, welche in den Grundkonzepten ②, ③ und ④ nahezu identisch bewertet wurden, aber deutlich positiver als das Grundkonzept ①. Im ruralen Verkehrsraum bietet das Grundkonzept ② die höchste pragmatische Qualität, die nach Aussagen der Probanden vor allem aus dem zum Verkehrsumfeld konformen Fahrzeugverhalten und den vorherrschenden Fahrsituationen resultiert. Dies spiegelt sich ebenso im Item *Einfach* wider, welches deutlich positiver im Grundkonzept ② bewertet wird.

Die **hedonische Qualität-Identität** der Grundkonzepte ① und ② stellt sich in beiden Verkehrsräumen niedriger ausgeprägt verglichen mit den nahezu identisch bewerteten Grundkonzepten ③ und ④ dar. Das höhere Niveau der hedonischen Qualität-Identität der Grundkonzepte ③ und ④ resultiert vornehmlich aus der vermittelten Besonderheit, viele Verzögerungen rein durch das Lösen des Fahrpedals einzustellen. Diese Möglichkeit wird von den Probanden deutlich als *wertvoll* bewertet. Das Item *stilvoll* ist im urbanen Verkehrsraum leicht positiver in den Grundkonzepten ③ und ④ ausgeprägt, im ruralen Verkehrsraum werden die verschiedenen Grundkonzepte ähnlich bezüglich dieses Items bewertet.

Die **hedonische Qualität-Stimulation** wird in den Grundkonzepten ③ und ④ deutlich stärker verglichen mit den Grundkonzepten ① und ② erlebt, die ähnlich bewertet werden. Hierbei kann sich vor allem im urbanen Verkehrsraum das Grundkonzept ④ deutlich vom Grundkonzept ③ abheben, welches eine noch ausgeprägtere Stimulation vermittelt. Diese Stimulation resultiert aus einer vom Fahrer erlebten Herausforderung, möglichst viele Verzögerungsvorgänge rein durch das Lösen des Fahrpedals einzustellen (*One-Pedal-Challenge*). Um dies zu bewerkstelligen, ist einerseits eine Vorstellung über die Verzögerungsfähigkeit des Fahrzeugs beim Lösen des Fahrpedals nötig, andererseits ein Vergleich mit dem Verkehrsumfeld und daraus die Ableitung von Entscheidungen, wann Verzögerungsvorgänge eingeleitet werden müssen. Neben dem Verzicht von durchzuführenden Pedalwechseln und der damit einhergehenden niedrigeren physischen Beanspruchung wirkt das Energiegefühl als weitere Motivation stimulierend. Hierzu beschreiben viele Probanden, dass die Funktionsverknüpfung Lösen des Fahrpedals und Einstellung der Rekuperation einfach zu verstehen ist und hierdurch der Effekt der Energierekuperation prägnant erlebt wird, beziehungsweise gezielt durch das Fahrverhalten gesteigert werden kann. Bei der Regelung der Rekuperation durch Bremspedalinteraktion sind sich die Probanden deutlich unsicherer, in welchem Ausmaß Energie durch die Rekuperation zurückgewonnen werden kann. Im ruralen Verkehrsraum stellt sich verglichen mit dem urbanen Verkehrsraum eine ähnlichere Stimulation der beiden Grundkonzepte höheren Schleppmoments ein. Dies resultiert aus den im ruralen Verkehrsraum vorherrschenden Fahrsituationen, die weniger dynamisch und stärker vorhersehbar auftreten und damit die nötige Verzögerungshöhe beziehungsweise nötige direkte Einflussnahme reduzieren.

Die **Attraktivität** der verschiedenen Grundkonzepte stellt sich in beiden Verkehrsräumen ähnlich zum erlebten Handlungsgenuss ein (vgl. Abbildung 5.19). Im urbanen Verkehrsraum wird das Grundkonzept ① neutral erlebt, demgegenüber besitzt das Grundkonzept ② eine etwas höhere Attraktivität sowie die beiden Grundkonzepte höheren Schleppmoments eine höhere aber ähnliche Attraktivität. Die Attraktivität der Grundkonzepte mit Schleppmoment

(②, ③ und ④) stellt sich im ruralen Verkehrsraum ähnlich ein, jedoch insgesamt positiver als die Attraktivität des Grundkonzepts ①, welches neutral erlebt wird.

Ausgehend von diesen Qualitätsdimensionen kann den einzelnen Grundkonzepten nach DIEFENBACH & HASSENZAHL (2010) ein **Produktcharakter** zugeordnet werden. Das Grundkonzept ① wird in beiden Verkehrsräumen mit einem *neutralen* Produktcharakter verbunden. Demgegenüber weist das Grundkonzept ② eine deutlich höhere pragmatische Qualität auf, weswegen der Produktcharakter als *handlungsorientiert* beschrieben werden kann. Das Grundkonzept ③ wird durch die gegenüber dem Grundkonzept ② gesteigerte hedonische Qualität nahezu mit einem *begehrten* Produktcharakter verbunden. Im urbanen Verkehrsraum befindet sich die Bewertung des Grundkonzepts ④ im Bereich eines *begehrten* Produktcharakters, im ruralen Verkehrsraum demgegenüber im Bereich zwischen einem *neutralen*, einem *selbstorientierten* und nahezu einem *begehrten* Produktcharakter.

Neben der Erfüllung des psychologischen Bedürfnisses nach Stimulation, welches bereits im Rahmen des *AttrakDiff mini* diskutiert wurde, stellt die Erweiterung der **Kompetenz** eine weitere Dimension dar, die in den verschiedenen Grundkonzepten unterschiedlich beeinflusst wird. Die Erhebung des Grads der Erfüllung des psychologischen Bedürfnisses nach Kompetenz erfolgte im Rahmen der Interviews durch eine offene Frage („Was haben Sie bei der Fahrt dazugelernt?“).

Im Grundkonzept ① beschreiben viele Probanden, dass die Umsetzung von Segelphasen aufgrund der erforderlichen weiten Vorausschau und der Fremdbestimmung durch das Verkehrsumfeld nur schwer möglich erscheint. Demnach berichten Probanden von keiner Erweiterung der Kompetenz sondern beschreiben diese im Grundkonzept ① eher als hinterfragt. Beispielhaft berichten Probanden von Fahrsituationen, in denen diese sich bewusst das Ziel setzten, eine folgende Geschwindigkeitsbeschränkung rein durch die Verzögerung beim Lösen des Fahrpedals einzustellen und dafür den Verzögerungsvorgang bereits beim Erkennen der Beschränkung einstellten. Auch wenn dieser Vorgang bereits derart früh eingestellt wird, so reicht die verbleibende Wegstrecke oft nicht aus um die vorhandene Geschwindigkeitsdifferenz abzubauen. Diesen Zusammenhang beschreiben manche Probanden deutlich negativ. Demgegenüber wirkt das Grundkonzept ② wenig stimulierend, auch kann die Kompetenz nur bedingt gegenüber dem erlernten Umgang mit einem Fahrzeug mit konventionellem Verbrennungsmotor erweitert werden. Dies wird von den Probanden weitestgehend neutral beschrieben. Die Grundkonzepte höheren Schlepplmoments ③ und ④ wirken, wie beschrieben, deutlich stimulierend und die Probanden berichten bereits nach kurzer Fahrdauer von positiven Erfahrungen im Umgang mit diesen Grundkonzepten. Dies beschreiben viele Probanden als Kompetenzerweiterung und zu meist auch als deutlich positiv („Ja das ist auch eine Spielerei irgendwo, wenn du jetzt versuchst immer Stück für Stück das immer mehr zu perfektionieren“). Ebenso gewinnen diese Probanden in den Grundkonzepten ③ und ④ während der Fahrt ein Gefühl für die Energieeffizienz, indem diese nach der Fahrt reflektieren, ob die ausgewählte Strecke ohne Betätigung des Bremspedals und damit rein rekuperativ bewerkstelligt werden konnte, was deutlich positiv und kompetenzbestätigend erlebt wird. Wenige Probanden kritisieren hingegen vor allem im ruralen Verkehrsraum die ständige Stimulation in den Grundkonzepten ③ und ④ und wünschen sich, diese irgendwie abzustellen oder umgehen zu können.

5.2.6 Präferenz in spezifischen Fahrsituationen

Neben der Bewertung der einzelnen Grundkonzepte an Hand der verschiedenen in den vorherigen Abschnitten vorgestellten Aspekte wurde auch die konkrete Präferenz der Probanden für ein Grundkonzept in spezifischen Fahrsituationen erhoben. Tabelle 5.4 zeigt hierzu die Häufigkeit verschiedener Präferenzen sowie die sich ergebende mittlere Gesamtpräferenz ausgehend von den erhobenen Fahrsituationen.

Tabelle 5.4: Präferenz der Grundkonzepte für spezifische Fahrsituationen in den beiden Teilerperimenten (durch Fettschrift wird das in Summe präferierte Grundkonzept hervorgehoben)

Urbaner Verkehrsraum	① FWID	② -0,8 m/s²	③ -1,5 m/s²	④ -2,3 m/s²
1. Stadtfahrt mit hoher Verkehrsdichte	0,0 %	14,8 %	33,3 %	51,9 %
2. Stadtfahrt mit geringer Verkehrsdichte	22,2 %	14,8 %	44,4 %	18,5 %
3. Stadtfahrt mit niedriger Geschwindigkeit	0,0 %	18,5 %	25,9 %	55,6 %
Mittlere Gesamtpräferenz	7,4 %	16,0 %	34,6 %	42,0 %
Ruraler Verkehrsraum	① FWID	② -0,8 m/s²	③ -1,5 m/s²	④ -2,3 m/s²
1. Anpassungsverzögerung auf Landstraße	10,0 %	23,3 %	43,3 %	23,4 %
2. Anpassungsverzögerung Autobahnabfahrten	13,3 %	20,0 %	40,0 %	26,7 %
3. Zielverzögerung bis Stillstand Landstraße	3,3 %	6,7 %	36,7 %	53,3 %
4. Folgefahrt Landstraße bei dichtem Verkehr	6,6 %	36,7 %	30,0 %	26,7 %
5. Monotone Konstantfahrt auf Autobahn	63,3 %	26,7 %	6,7 %	3,3 %
6. Spurwechsel auf Autobahn	20,0 %	50,0 %	23,3 %	6,7 %
7. Kurvige Landstraßenfahrt	6,7 %	46,7 %	23,3 %	23,3 %
8. Überholvorgang und Einscheren Landstraße	13,3 %	36,7 %	30,0 %	20,0 %
9. Flüssiges Abbiegen bei Gegenverkehr	10,0 %	36,7 %	23,3 %	30,0 %
Mittlere Gesamtpräferenz	16,3 %	31,5 %	28,5 %	23,7 %

Im **urbanen Verkehrsraum** kann eine deutliche Präferenz für Grundkonzepte höheren Schleppmoments festgestellt werden. Das Grundkonzept ① wird hier einzig von wenigen Probanden für Fahrsituationen mit geringer Verkehrsdichte gewünscht. Speziell für diese Fahrsituation präferiert der Großteil der Probanden hingegen das Grundkonzept ③, da das Verzögerungspotenzial des Grundkonzepts ④ für derartige Fahrsituationen nicht zwingend erforderlich erscheint. In den anderen beiden beschriebenen Fahrsituationen wird deutlich das Grundkonzept ④ präferiert.

Demgegenüber zeigen die Ergebnisse des **ruralen Verkehrsraums** ein uneinheitlicheres Bild. In Fahrsituationen, in denen ein spezifischer Verzögerungsbedarf besteht (Fahrsituationen 1 bis 3), werden Grundkonzepte höheren Schleppmoments präferiert. Stehen allerdings, wie im ruralen Verkehrsraum oft üblich, Folgefahrten im Vordergrund, so wird ein dem Umfeld angepasstes Fahrzeugverhalten von den Fahrern gewünscht. Einzig für eine monotone Konstantfahrt auf der Autobahn wird demgegenüber das Grundkonzept ① deutlich präferiert, wobei hierzu anzugeben ist, dass dies eine adäquate Fahrsituation zur Nutzung einer Geschwindigkeitsregelfunktion darstellt. Ebenfalls in den weiteren beschriebenen

Fahrsituationen wird das Grundkonzept ② am häufigsten von Probanden präferiert, so dass dieses Grundkonzept im Mittel aller Fahrsituationen die höchste Präferenz erzielt. Gegenüber der Bewertung im urbanen Verkehrsraum stellt sich im ruralen Verkehrsraum ein deutlich uneinheitlicheres Bild der gewünschten Grundkonzepte dar. Auch wenn dieses uneinheitliche Ergebnis durch die unterschiedliche Gesamtanzahl an Fahrsituationen hervorgerufen werden kann, so kann auch ausgehend von den Aussagen der Probanden abgeleitet werden, dass im ruralen Verkehrsraum in vielen Fahrsituationen ein dem Umfeld angepasstes Fahrzeugverhalten präferiert wird. Zusammenfassend lässt sich demnach ableiten, dass das von den Probanden präferierte Grundkonzepte vorrangig durch das nötige Verzögerungspotenzial der Fahrsituationen beeinflusst wird, welches in starken Wechselwirkungen mit der auftretenden Verkehrsdichte steht.

5.2.7 Ausprägung einwirkender Randbedingungen

Das Erleben des Fahrers ist neben den untersuchten Grundkonzepten auch stark abhängig von spezifischen Randbedingungen während derer das Erleben stattfindet. Durch die Vorgabe definierter Bewertungsstrecken kann die interne Validität in den beiden Telexperimenten erhöht werden und so der Einfluss der Fahrsituationen und fahrzeugseitiger Parameter als homogen innerhalb der Stichprobe angenommen werden. Neben den sich ausgehend vom Verkehrsumfeld und der Verkehrsdichte einstellenden Fahrsituationen analysieren manche Probanden auch die **Wirkung des Fahrverhaltens anderer Verkehrsteilnehmer**. Speziell in den Grundkonzepten ① und ② beschreiben Probanden, dass diese den Verzögerungsstartpunkt später als eigentlich nötig einstellen, um den rückwärtigen Verkehr nicht zu beeinträchtigen. Dies führt wiederum häufig dazu, dass die geringe Verzögerung beim Lösen des Fahrpedals vor allem im Grundkonzept ① selten ausgenutzt wird. In den Grundkonzepten ③ und ④ versuchen manche Probanden im Folgeverkehr ein ähnliches Fahrverhalten wie Fahrer mit einem konventionellen Fahrzeug mit Verbrennungsmotor einzustellen, um ebenfalls andere Verkehrsteilnehmer nicht zu behindern. Hierzu stellen sich viele Probanden die Frage, ob die hohe Verzögerung beim Lösen des Fahrpedals den anderen Verkehrsteilnehmern durch das Bremslicht signalisiert wird. Manche Probanden treiben diese Gedanken weiter und diskutieren das Zusammenspiel zwischen den Bremslichtaktivierungen und der Wirkung auf den umgebenden Verkehr. Durch die Aktivierung des Bremslichts bei einer definierten Verzögerungshöhe können die Fahrer nicht intuitiv einschätzen, ab wann es aktiviert ist, was zu einer deutlich höheren Häufigkeit an Bremslichtwechselphasen führen kann. Diese häufigeren Bremslichtwechselphasen erleben diese Fahrer negativ, da sie deren Wirkung auf den folgenden Verkehr als die eigene vermittelte Fahrkompetenz reduzierend erleben („was ist da vorne für ein Bremshektiker“).

Neben den sich durch das Verkehrsumfeld einstellenden Randbedingungen wirken sich **fahrerseitige Randbedingungen** auf das Erleben aus. Zur Erhebung von Emotionen wurde im Telexperiment urbaner Verkehrsraum die quantitative Aktivierungsskala von LANG (1980) eingesetzt, welche aber keine Unterschiede zwischen den einzelnen Grundkonzepten aufdecken konnte und sich für die Probanden als schwierig zu beantworten darstellte. Ausgehend von diesen Gründen wurde die quantitative Erhebung im Telexperiment ruraler Verkehrsraum nicht durchgeführt. Wie bereits bei der Beschreibung der einzelnen

Erlebensdimensionen aufgezeigt, wirkt sich die Vorprägung beziehungsweise Erfahrung im Umgang mit Grundkonzepten höheren Schleppmoments auf das Erleben aus.

Tabelle 5.5 beschreibt hierzu die **Auswirkung der Fahrerfahrung** auf die Bewertung der einzelnen Erlebensaspekte in den beiden Verkehrsräumen. Im urbanen Verkehrsraum bewerten Probanden mit Fahrerfahrung das Grundkonzept ① leicht negativer. Die übrigen Grundkonzepte werden in etwa ähnlich unabhängig von der Fahrerfahrung bewertet. Im ruralen Verkehrsraum hingegen werden die Grundkonzepte ① bis ③ ähnlich unabhängig von der Fahrerfahrung bewertet, jedoch bewerten die Probanden mit Fahrerfahrung das Grundkonzept ④ deutlich positiver. Diese unterschiedliche Erwartungshaltung an die Grundkonzepte führt auch beispielhaft zu einem Unterschied im Fahrgefühl im Grundkonzept ④ im ruralen Verkehrsraum, welches von Fahrern mit Fahrerfahrung signifikant positiver erlebt wird.

Tabelle 5.5: Einfluss der Fahrerfahrung auf die Bewertung der Erlebensaspekte basierend auf der Ausprägung von 15 Medianen der einzelnen Erlebensaspekte je Grundkonzept

Urbaner Verkehrsraum	① FWID	② -0,8 m/s²	③ -1,5 m/s²	④ -2,3 m/s²
Positivere Bewertung bei Fahrerfahrung	20,0 %	33,3 %	13,3 %	20,0 %
Gleiche Bewertung bei Fahrerfahrung	33,3 %	40,0 %	66,7 %	60,0 %
Negativere Bewertung bei Fahrerfahrung	46,7 %	26,7 %	20,0 %	20,0 %
Ruraler Verkehrsraum	① FWID	② -0,8 m/s²	③ -1,5 m/s²	④ -2,3 m/s²
Positivere Bewertung bei Fahrerfahrung	33,3 %	38,9 %	27,8 %	72,2 %
Gleiche Bewertung bei Fahrerfahrung	33,3 %	22,2 %	50,0 %	5,6 %
Negativere Bewertung bei Fahrerfahrung	33,3 %	38,9 %	22,2 %	22,2 %

5.2.8 Charakterisierung an Hand objektiver Kennwerte

Das subjektive Erleben des Fahrers in den verschiedenen Grundkonzepten kann gezielt objektiven Kennwerten gegenübergestellt werden, die die verschiedenen vorgestellten Erlebensaspekte zusätzlich beschreiben (vgl. Abschnitt 3.2.8). Die Darstellung der objektiven Kennwerte basiert auf den in Abschnitt 5.1.3 vorgestellten Ebenen der Datenerhebung, welche das Zusammenspiel zwischen Fahrer, Fahrzeug und Umfeld beschreiben. Ausgehend von einer Charakterisierung der Bedieneingaben erfolgt eine Beschreibung der sich einstellenden Fahrzeugreaktion, der Fahrzeuggeschwindigkeit und –beschleunigung sowie deren Auswirkung auf die objektive Energieeffizienz der Fahrzeuglängsführung in den untersuchten Grundkonzepten. Die Interaktion mit dem Verkehrsumfeld wird zusätzlich durch den Sicherheitsabstand zu Vorderfahrzeugen charakterisiert.

Aufgrund von Unregelmäßigkeiten bei der Datenaufzeichnung basiert die folgende Darstellung auf einer Datenbasis von 19 Probandenfahrten im Telexperiment Urban sowie 28 Probandenfahrten im Telexperiment Rural, was einer gesamten ausgewerteten Wegstrecke von 392 km im Telexperiment Urban sowie 1920 km im Telexperiment Rural entspricht.

Tabelle 5.6: Häufigkeit von durchgeführten Pedalwechseln zwischen Fahr- und Bremspedal in den beiden Teilexperimenten für die gesamte Fahrstrecke sowie ohne Berücksichtigung der Anhaltephasen

Urbaner Verkehrsraum	① FWID	② -0,8 m/s²	③ -1,5 m/s²	④ -2,3 m/s²
Häufigkeit Pedalwechsel gesamt	14,5 ¹ /km	12,3 ¹ /km	7,9 ¹ /km	6,2 ¹/km
Häufigkeit Pedalwechsel bei $v_{Fzg} > 10 \text{ km/h}$	13,2 ¹ /km	10,4 ¹ /km	4,9 ¹ /km	2,7 ¹/km
Ruraler Verkehrsraum	① FWID	② -0,8 m/s²	③ -1,5 m/s²	④ -2,3 m/s²
Häufigkeit Pedalwechsel gesamt	2,7 ¹ /km	2,2 ¹ /km	1,3 ¹ /km	0,8 ¹/km
Häufigkeit Pedalwechsel bei $v_{Fzg} > 10 \text{ km/h}$	2,5 ¹ /km	2,0 ¹ /km	1,0 ¹ /km	0,4 ¹/km

Ein vom Fahrer erlebbarer Kennwert zur Charakterisierung der Bedieneingaben in den einzelnen Grundkonzepten sind die **durchzuführenden Pedalwechsel** (vgl. Tabelle 5.6). Zur detaillierten Darstellung des Einflusses der Grundkonzepte auf die Häufigkeit von durchzuführenden Pedalwechseln wird neben der gesamten Häufigkeit an auftretenden Pedalwechseln zusätzlich die Häufigkeit bei Fahrzeuggeschwindigkeiten $v_{Fzg} > 10 \text{ km/h}$ ausgewertet. Dieser eingeschränkte Auswertebereich blendet den Übergang zum Stillstand aus, welcher in den verschiedenen Grundkonzepten ähnlich ausgeprägt ist. Fahrer, die das Fahrzeugverhalten eines Verbrenner-Schleppmoments gewohnt sind, erleben gezielt den Unterschied an durchzuführenden Pedalwechseln gegenüber diesem Verhalten, welches dem Grundkonzept ② entspricht. Hierbei sind von den Probanden im Mittel bei Fahrzeuggeschwindigkeiten $v_{Fzg} > 10 \text{ km/h}$ im Grundkonzept ② im urbanen Verkehrsraum 10,4 Pedalwechsel pro km durchzuführen und im weniger dynamischen ruralen Verkehrsraum lediglich 2,0 Pedalwechsel pro km Fahrstrecke. Gegenüber dem Grundkonzept ② sind im Grundkonzept ① im urbanen Verkehrsraum 26,8 % beziehungsweise im ruralen Verkehrsraum 25,9 % häufiger Pedalwechsel pro km Fahrstrecke durchzuführen. In den Grundkonzepten höheren Schleppmoments reduziert sich demgegenüber die Häufigkeit an durchzuführenden Pedalwechseln, so dass im Mittel im urbanen Verkehrsraum lediglich 47,0 % an Pedalwechseln pro km Fahrstrecke im Grundkonzept ③ und 26,3 % im Grundkonzept ④ gegenüber dem Grundkonzept ② durchgeführt werden. Ein ähnliches Verhalten stellt sich im ruralen Verkehrsraum ein, mit einer Verringerung der Häufigkeit zwischen den Grundkonzepten ② und ③ auf 49,2 % und zwischen den Grundkonzepten ② und ④ auf 21,8 %. Zwischen der Häufigkeit an Pedalwechseln im gesamten Geschwindigkeitsbereich und denen ohne Berücksichtigung der Anhaltephasen kann festgestellt werden, dass sich diese in den Grundkonzepten ① und ② nur gering unterscheiden, im Grundkonzept ③ hingegen die Pedalwechsel pro km Fahrstrecke bereits zu zirka 30 % in den Anhaltephasen durchzuführen sind und im Grundkonzept ④ zur Hälfte auf die Anhaltephasen entfallen. Diese Häufigkeit an durchzuführenden Pedalwechseln steht, wie in den vorherigen Abschnitten beschrieben, in starker Wechselwirkung zu Erlebensaspekten der Dimensionen Sicherheit, Diskomfort sowie dem Kompetenzerleben der Probanden.

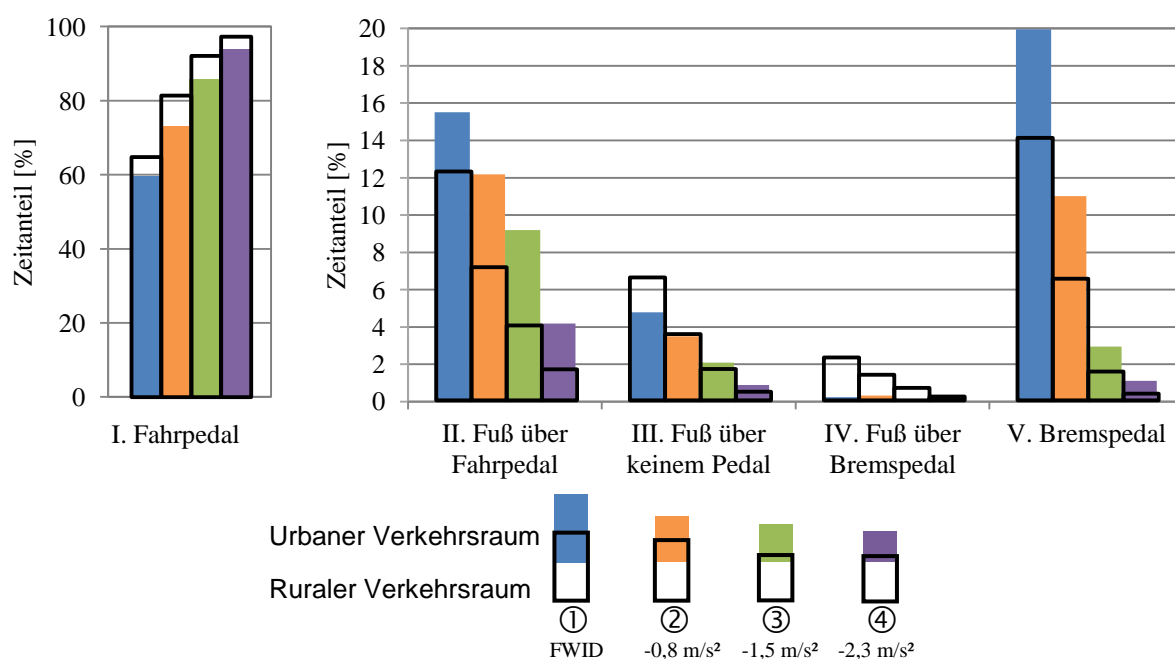


Abbildung 5.23: Zeitanteile spezifischer Betätigungszustände der Pedalnutzung für $v_{Fzg} > 10 \text{ km/h}$

Neben den durchzuführenden Pedalwechseln kann die Bedieneingabe des Fahrers hinsichtlich einzelner **spezifischer Betätigungszustände** charakterisiert werden, deren Zeitanteile in Abbildung 5.23 dargestellt sind. Hierbei bezeichnet der *Betätigungszustand I* eine Betätigung des Fahrpedals. Der Zeitanteil des *Betätigungszustands II* beschreibt ein Schweben des Fahrerfußes über dem Fahrpedal. Im *Betätigungszustand III* werden Zeitanteile registriert, in welchen sich Fahrer von der Pedalerie lösen und den Fuß zum Beispiel zurücknehmen und auf dem Fahrzeugbodenblech abstellen. Demgegenüber beschreibt der *Betätigungszustand IV* ein Schweben des Fußes über dem Bremspedal und der *Betätigungszustand V* eine Betätigung des Bremspedals. Diese verschiedenen Betätigungszustände können im Fahrzeug durch die Auswertung der Betätigungswege der Bedienelemente sowie durch installierte Infrarotsensoren registriert werden und charakterisieren gesamthaft die Bedieneingaben des Fahrers mit Hilfe der Pedalerie. Die in Abbildung 5.23 dargestellten Zeitanteile beziehen sich explizit auf Fahrzustände und klammern damit die Betätigungszustände in den Haltephasen aus.

Den höchsten Zeitanteil der Fahrzeuglängsführung verzeichnet der Betätigungszustand I, der im Grundkonzept ① im Mittel mit einem Zeitanteil von 62,1 % eingestellt wird und demgegenüber im Grundkonzept ④ einen Zeitanteil von 95,5 % einnimmt. Zwischen den beiden untersuchten Verkehrsräumen kann im Wesentlichen ein ähnliches Verhalten in Abbildung 5.23 festgestellt werden, wobei im urbanen Verkehrsraum durch die höhere Dynamik und Fremdbestimmung leicht niedrigere Zeitanteile im Betätigungszustand I zu verzeichnen sind. In den anderen Betätigungszuständen stellt sich unabhängig vom Verkehrsraum mit ansteigendem Schleppmoment ein abfallender Zeitanteil ein. Im Mittel werden mit leicht höheren Häufigkeiten Schwebephase über dem Fahrpedal (II) gegenüber Betätigungen des Bremspedals (V) durchgeführt, wobei deren Zeitanteil speziell im Grundkonzept ① deutlicher ausgeprägt ist. Im Betätigungszustand III stellt sich in den beiden Verkehrsräumen jeweils in den Grundkonzepten ② bis ④ ein ähnlicher Zeitanteil ein,

lediglich im Grundkonzept ① wird im ruralen Verkehrsraum mit einem höheren Zeitanteil der Fuß von der Pedalerie gelöst. Im Betätigungszustand IV werden im ruralen Verkehrsraum in allen Grundkonzepten deutlich häufiger Schwebephase über dem Bremspedal eingestellt.

Diese Zeitanteile der Betätigungszustände resultieren ebenfalls im unterschiedlichen Erleben der Grundkonzepte. Beispielhaft die Möglichkeit den Fuß von der Pedalerie zu lösen (III) unterstützt die hoch signifikant positivere Entspannung im Grundkonzept ① im ruralen Verkehrsraum. Bezüglich des Energiegefühls resultiert beispielhaft der höhere Anteil im Betätigungszustand Bremspedal (V) in den Grundkonzepten ① und ② verbunden mit der von den Probanden erlebten, niedriger transparent unterscheidbaren Aufteilung zwischen Rekuperation und Reibbremsverzögerung in dem weniger präsenten Erleben der Energierückgewinnung und der Energieeffizienz. Die höheren Zeitanteile der Längsführung in den Grundkonzepten ③ und ④ im Betätigungszustand Fahrpedal (I) wurden von den Probanden positiv bezüglich des Komforts und der erlebten Sicherheit bewertet. Diese höheren Zeitanteile wurden aber andererseits im ruralen Verkehrsraum in den Grundkonzepten ③ und besonders ④ mitunter auch als psychische und physische Beanspruchung beschrieben. Die höhere physische Beanspruchung kann zusätzlich durch eine Auswertung der Häufigkeit verschiedener Fahrpedalstellungen belegt werden. Hierbei kann ein Anstieg des mittleren eingestellten Fahrpedalwinkels mit der Erhöhung des Schleppmoments registriert werden, zum Beispiel im ruralen Verkehrsraum von einem mittleren Fahrpedalwinkel im Grundkonzept ① von zirka 30 % zu 45 % im Grundkonzept ②, zu 50 % im Grundkonzept ③ und zu 55 % im Grundkonzept ④. Dieser Anstieg des mittleren Fahrpedalwinkels resultiert aus der unterschiedlichen Abstimmung der Fahrzeugreaktion in Bezug zur Bedieneingabe. Speziell im Grundkonzept ④ muss relativ zum Fahrpedalweg zusätzlich eine deutliche Verzögerung dosiert eingestellt werden können, was dazu führt, dass häufiger höhere Fahrpedalwinkel eingestellt werden müssen. Diese höheren einzustellenden Fahrpedalwinkel führen zu einer höheren Krafrückmeldung am Fahrpedal (vgl. Abbildung 2.9), die von den Probanden als Diskomfort erlebt wurde.

Tabelle 5.7: Von den Probanden erlebte absolute Zeitdauer der Betätigungsphase Fahrpedal (I) in den beiden Verkehrsräumen für $v_{Fzg} > 10 \text{ km/h}$

Urbaner Verkehrsraum	①	②	③	④
	FWID	-0,8 m/s²	-1,5 m/s²	-2,3 m/s²
75 % der Probanden erleben eine Zeitdauer des Betätigungszustand (I) von	50 s	60 s	80 s	90 s
Ruraler Verkehrsraum	①	②	③	④
	FWID	-0,8 m/s²	-1,5 m/s²	-2,3 m/s²
75 % der Probanden erleben eine Zeitdauer des Betätigungszustand (I) von	70 s	100 s	130 s	250 s

Neben der Häufigkeit einzustellender Fahrpedalstellungen und der damit verbundenen Krafrückmeldung stellt die **absolute Zeitdauer der Betätigungsphasen** einen weiteren von den Probanden erlebten objektiven Kennwert der Interaktion dar (vgl. Tabelle 5.7). Hierzu kann festgestellt werden, dass die Zeitdauer der Betätigungsphase Fahrpedal (I) im ruralen Verkehrsraum sich deutlich länger verglichen zum urbanen Verkehrsraum einstellt, welcher durch die hohe Dynamik und die häufig auftretenden Anhaltephasen nahezu keine

durchgehenden Betätigungsphasen größer als 120 Sekunden ermöglicht. Bezogen auf die einzelnen Grundkonzepte stellt sich bedingt durch die aufgeführten Gründe ein ähnliches Verhalten im urbanen Verkehrsraum in den verschiedenen Grundkonzepten ein. Von 75 % der Probanden wird eine Betätigungsphase Fahrpedal (I) im Grundkonzept ① mit 50 Sekunden durchgeführt und demgegenüber im Grundkonzept ④ mit 90 Sekunden. Demgegenüber werden im ruralen Verkehrsraum mit erhöhtem Schleppmoment deutlich längere Betätigungsphasen eingestellt, beispielhaft im Grundkonzept ④ mit einer Zeitdauer von 250 Sekunden. Durch diese Auswertung der Betätigungsphase Fahrpedal (*Ein-Pedal-Bedienung*) kann das unterschiedliche Erleben der physischen Beanspruchung der Probanden erklärt werden, da im ruralen Verkehrsraum deutlich längere durchgehende Betätigungsphasen vor allem im Grundkonzept ④ durchzuführen sind. Neben dem Betätigungszustand Fahrpedal (I) kann der Betätigungszustand Lösen von der Pedalerie (III) mit einer äquivalenten Herangehensweise charakterisiert werden. Hierbei treten im urbanen Verkehrsraum in allen Grundkonzepten keine Situationen auf, in denen sich die Probanden länger als 10 Sekunden von der Pedalerie lösen konnten. Demgegenüber im ruralen Verkehrsraum treten einzig im Grundkonzept ① derartige Betätigungsphasen auf (relative Häufigkeit Zeitanteil 4 %). Diese Betätigungsphase wurde von ca. 20 % der Probanden im ruralen Verkehrsraum erlebt, was zu der hoch signifikant positiveren Bewertung des Grundkonzepts ① im ruralen Verkehrsraum beiträgt.

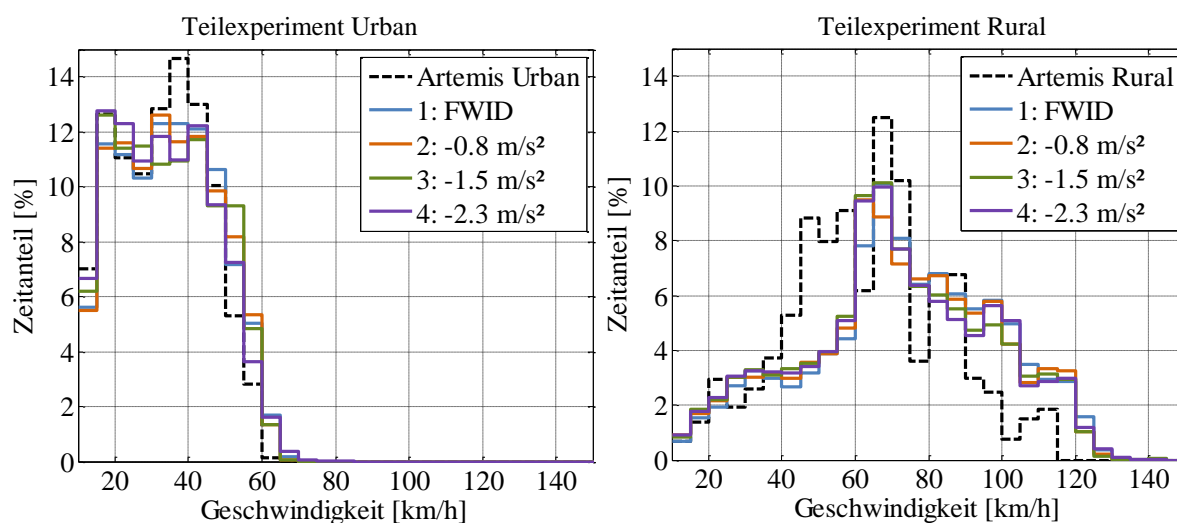


Abbildung 5.24: Häufigkeit verschiedener Geschwindigkeiten im Telexperiment urbaner Verkehrsraum (links) sowie im Telexperiment ruraler Verkehrsraum (rechts) sowie jeweils Gegenüberstellung mit dem Geschwindigkeitskollektiv der Artemis-Fahrzyklen

Die vom Fahrer eingestellten Bedieneingaben führen zu einer Änderung der Fahrzeugbeschleunigung und damit zu einer definierten Geschwindigkeit des Fahrzeugs. Die **Häufigkeit verschiedener Geschwindigkeiten** in den beiden Telexperimenten zeigt Abbildung 5.24. Bezüglich des Geschwindigkeitskollektivs kann in den beiden Teilabbildungen festgestellt werden, dass die untersuchten Grundkonzepte keinen deutlichen Einfluss auf die Häufigkeit der eingestellten Geschwindigkeiten ausüben. Dies stellt sich auch als valide dar, da das Geschwindigkeitsfahrverhalten oft in starken Wechselwirkungen mit Geschwindigkeitsbeschränkungen oder dem umgebenden Verkehr steht.

Zur Absicherung der externen Validität der gewählten Versuchsstrecken ist in Abbildung 5.24 ein Vergleich der Geschwindigkeitskollektive mit den aus den Artemis-Fahrzyklen resultierenden Geschwindigkeitskollektiven aufgeführt. Die Artemis-Fahrzyklen wurden im Rahmen eines EU-Projekts generiert und sollen ein realistisches Bild des Fahrverhaltens in verschiedenen Verkehrsräumen bieten (ARTEMIS: Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems, ANDRÉ 2004). Im Teilexperiment Urban stellt sich in den untersuchten Grundkonzepten ein sehr ähnliches Geschwindigkeitskollektiv gegenüber dem Artemis-Fahrzyklus Urban ein. Demgegenüber können im Teilexperiment Rural leicht höhere Geschwindigkeiten verzeichnet werden, was aus der zusätzlichen Berücksichtigung des Autobahnabschnitts im Teilexperiment Rural resultiert.

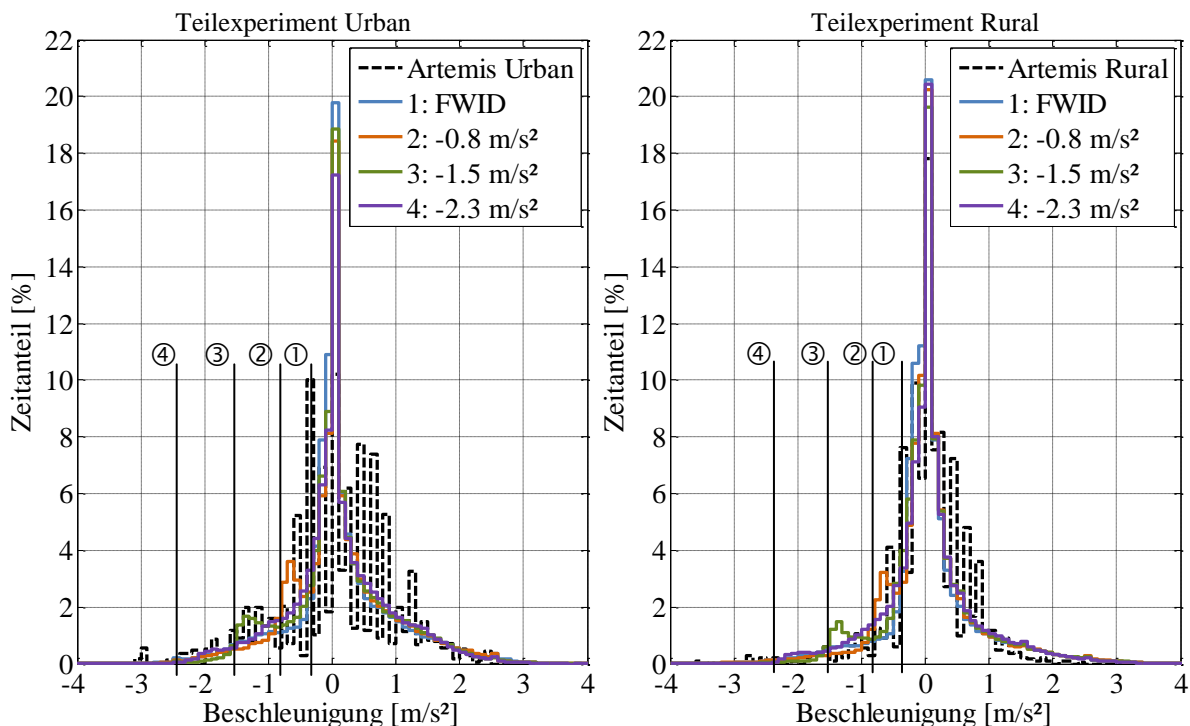


Abbildung 5.25: Häufigkeit verschiedener Längsbeschleunigungen in den beiden Teilexperimenten sowie jeweils Gegenüberstellung mit dem Längsbeschleunigungskollektiv der Artemis-Fahrzyklen für $v_{Fzg} > 10 \text{ km/h}$

Neben der Fahrzeuggeschwindigkeit stellt die Fahrzeugbeschleunigung die weitere aus den Bedieneingaben resultierende Kenngröße dar. Hierzu zeigt Abbildung 5.25 das **Beschleunigungskollektiv** in den einzelnen Grundkonzepten in den beiden Teilexperimenten und stellt dieses zusätzlich dem Beschleunigungskollektiv der Artemis-Zyklen gegenüber. Hierbei zeigen die jeweiligen Grundkonzepte im positiven Beschleunigungsbereich ein ähnliches Verhalten in den beiden Verkehrsräumen. Verglichen mit den Artemis-Fahrzyklen fällt jedoch die Unstetigkeit des Beschleunigungskollektivs der Artemis-Zyklen auf, die aus der starken zeitlichen Reduktion der Geschwindigkeitsvorgabe im Fahrzyklus resultiert. Speziell bei höheren Beschleunigungen ($a_x > 1,5 \text{ m/s}^2$) lässt sich im Teilexperiment Urban ein ähnlicher Verlauf zwischen den ausgewerteten Daten und den Artemis-Zyklen erkennen und im Teilexperiment Rural können leicht höhere Beschleunigungen gegenüber den Artemis-Zyklen festgestellt werden. Der Zeitanteil von Fahrzuständen mit einer konstanten

Geschwindigkeit unterscheidet sich in den verschiedenen Grundkonzepten. Hierbei kann festgestellt werden, dass mit abnehmendem Schleppmoment in einem höheren Zeitanteil exakt eine konstante Geschwindigkeit eingestellt wird. Dies resultiert aus dem geringeren zu regelndem Beschleunigungspotenzial bezogen auf den Fahrpedalweg und der damit einhergehenden objektiv präziseren Dosierbarkeit. Im Verzögerungsbereich kann ein deutlicher Unterschied zwischen den verschiedenen Grundkonzepten festgestellt werden. Hierbei fällt auf, dass die Probanden oft die volle Verzögerung beim Lösen des Fahrpedals in den Grundkonzepten ①, ② und ③ abrufen. Dies ist in Abbildung 5.25 durch vertikale Linien visualisiert, die die Verzögerung beim vollständigen Lösen des Fahrpedals in den jeweiligen Grundkonzepten verdeutlichen. Im Gegensatz hierzu kann festgestellt werden, dass im Grundkonzept ④ die Verzögerung häufiger mit dem Fahrpedal moduliert eingestellt wird, weswegen kein Anstieg in der Häufigkeit bei diesem Grundkonzept festgestellt werden kann. Im Vergleich zu den jeweiligen Artemis-Zyklen werden von den Probanden in den beiden Teilerperimenten ähnliche Verzögerungshäufigkeiten eingestellt.

Tabelle 5.8: Zeitanteil verschiedener Längsbeschleunigungen für $v_{Fzg} > 10 \text{ km/h}$

Urbaner Verkehrsraum	$a_x < -2,3 \text{ m/s}^2$	$a_x < -1,5 \text{ m/s}^2$	$a_x < -0,8 \text{ m/s}^2$	$a_x < -0,3 \text{ m/s}^2$	$a_x < 0 \text{ m/s}^2$
① FWID	0,68 %	3,68 %	10,55 %	18,09 %	41,02 %
② $-0,8 \text{ m/s}^2$	0,54 %	3,07 %	9,16 %	23,47 %	41,02 %
③ $-1,5 \text{ m/s}^2$	0,28 %	1,94 %	11,99 %	21,26 %	40,76 %
④ $-2,3 \text{ m/s}^2$	0,18 %	3,36 %	11,14 %	22,53 %	41,52 %
Ruraler Verkehrsraum	$a_x < -2,3 \text{ m/s}^2$	$a_x < -1,5 \text{ m/s}^2$	$a_x < -0,8 \text{ m/s}^2$	$a_x < -0,3 \text{ m/s}^2$	$a_x < 0 \text{ m/s}^2$
① FWID	0,74 %	3,22 %	7,84 %	15,77 %	44,85 %
② $-0,8 \text{ m/s}^2$	0,84 %	2,71 %	6,68 %	20,35 %	43,18 %
③ $-1,5 \text{ m/s}^2$	0,49 %	1,91 %	9,34 %	19,88 %	43,41 %
④ $-2,3 \text{ m/s}^2$	0,23 %	3,11 %	9,46 %	20,94 %	42,11 %

Der Zeitanteil verschiedener Verzögerungen kann zusätzlich mit Hilfe Tabelle 5.8 beschrieben werden. Hierbei kann festgestellt werden, dass im Teilerperiment Urban ähnlich häufig Verzögerungsphasen ($a_x < 0 \text{ m/s}^2$) eingestellt werden, im Teilerperiment Rural demgegenüber mit steigendem Schleppmoment weniger häufig Verzögerungsphasen. Zusätzlich lässt sich in Tabelle 5.8 erkennen, dass in den verschiedenen Grundkonzepten eine Adaption des Fahrverhaltens an das jeweilige Grundkonzept stattfindet, mit dem Ziel, möglichst häufig die Verzögerungsphasen rein durch das Lösen des Fahrpedals einzustellen. Dies wird durch die fett dargestellten Zeitanteile auf den Diagonalen der jeweiligen Tabellen ersichtlich, die jeweils den niedrigsten Zeitanteil der betreffenden Spalte markieren.

Ausgehend vom eingestellten Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverhalten in den beiden Teilerperimenten kann die **objektive Energieeffizienz** der jeweiligen Grundkonzepte abgeleitet werden. Hierzu erfolgt eine Auswertung des Energieumsatzes durch das eingestellte Fahrverhalten. Formel 5.2 beschreibt hierzu die Verzögerungswirkung durch die Fahrwiderstände (a_{FWID}), welche die charakteristische Größe der energetischen Betrachtung

darstellt. Liegt ein Fahrzustand vor, in dem die aktuelle Fahrzeugbeschleunigung größer als die durch die Fahrwiderstände einwirkende Verzögerung ausgeprägt ist, so ist ein Aufwand an Energie nötig, um diesen Fahrzustand zu erwirken ($E_{Aufwand}$). Im anderen Fall, falls sich eine Verzögerung höher als die aus den Fahrwiderständen resultierende Verzögerung einstellt, stellt dieser Fahrzustand ein Energiepotenzial zur Rekuperation dar ($E_{RekuPot}$). Falls sich eine Fahrzeugverzögerung einstellt, die exakt der Verzögerungswirkung der Fahrwiderstände entspricht, liegt kein Drehmoment am Antriebstrang an und der Energieaufwand und das Rekuperationspotenzial sind Null. In den Bestimmungsgleichungen zur Auswertung der Energieeffizienz wirkt einerseits die aus den Fahrwiderständen resultierende Verzögerungswirkung als Energieaufwand, andererseits reduziert diese bei der Auswertung des Rekuperationspotenzials das Potenzial an rekuperativ nutzbarer Energie in den spezifischen Verzögerungsphasen. In Formel 5.2 bezeichnet zudem ρ_L die Dichte der Luft, c_w den Luftwiderstandsbeiwert, A_{St} die Fahrzeugstirnfläche, m_{Fzg} die Fahrzeugmasse, f_R den Rollwiderstandsbeiwert, g den Ortsfaktor sowie t die Zeit des spezifischen Vorgangs.

Formel 5.2: Bestimmungsgleichungen zur Definition des Energieaufwands und des Rekuperationspotenzials mit Hilfe einer Energiebetrachtung exklusiv Wirkungsgraden und Nebenverbrauchern

$$a_{FWID} = 1/2 \rho_L c_w A_{St} \frac{1}{m_{Fzg}} v_{Fzg}^2 + f_R g$$

Falls $a_x > -a_{FWID}$: Energieaufwand: $E_{Aufwand} = m_{Fzg} (a_{Fzg} + a_{FWID}) v_{Fzg} t$

Falls $a_x = -a_{FWID}$: Segelzustand: $E_{Aufwand} = E_{RekuPot} = 0 \text{ kWh}$

Falls $a_x < -a_{FWID}$: Rekuperationspotenzial: $E_{RekuPot} = m_{Fzg} (a_{Fzg} - a_{FWID}) v_{Fzg} t$

Tabelle 5.9: Betrachtung der Energieflüsse am Rad exklusiv der Wirkungsgrade und Nebenverbraucher für $v_{Fzg} > 10 \text{ km/h}$ sowie Auswertung des Anteils, der mit einer spezifischen Rekuperationsfähigkeit des Antriebstrangs abhängig von der Ausprägung des Grundkonzepts rekuperativ umgesetzt werden kann

Urbaner Verkehrsraum		①	②	③	④
Energie [kWh/100 km]		FWID	-0,8 m/s ²	-1,5 m/s ²	-2,3 m/s ²
Energieaufwand		15,03	15,45	15,27	15,76
Rekuperationspotenzial		-6,38	-6,93	-7,03	-7,38
Rekuperationsfähigkeit	$a_x = \text{FWID}$	0,0 %	-	-	-
	$a_x = -0,8 \text{ m/s}^2$	67,7 %	77,2 %	-	-
	$a_x = -1,5 \text{ m/s}^2$	91,9 %	94,3 %	96,7 %	-
	$a_x = -2,3 \text{ m/s}^2$	98,8 %	99,2 %	99,4 %	99,7 %
Ruraler Verkehrsraum		①	②	③	④
Energie [kWh/100 km]		FWID	-0,8 m/s ²	-1,5 m/s ²	-2,3 m/s ²
Energieaufwand		15,47	15,98	16,08	16,60
Rekuperationspotenzial		-4,43	-5,05	-5,28	-5,78
Rekuperationsfähigkeit	$a_x = \text{FWID}$	0,0 %	-	-	-
	$a_x = -0,8 \text{ m/s}^2$	64,0 %	74,8 %	-	-
	$a_x = -1,5 \text{ m/s}^2$	89,6%	91,1%	95,3%	-
	$a_x = -2,3 \text{ m/s}^2$	98,0%	97,8%	98,7%	99,3%

Tabelle 5.9 zeigt die Auswertung der Energieflüsse in den beiden Telexperimenten. Bezüglich der Energieflüsse kann in beiden Telexperimenten festgestellt werden, dass vom Grundkonzept ① zum Grundkonzept ④ der Energieaufwand ansteigt, jedoch sich auch das Potenzial an durch Rekuperation zurückgewinnbarer Energie erhöht. Hierbei nimmt im urbanen Verkehrsraum der Energieaufwand vom Grundkonzept ① (15,03 kWh/100 km) zum Grundkonzept ④ (15,76 kWh/100 km) um 5 % zu, das Rekuperationspotenzial hingegen um 16 % auf 7,38 kWh/100 km. Demgegenüber ist im ruralen Verkehrsraum ein Anstieg des Energieaufwands um 7 % und ein Anstieg des Rekuperationspotenzials um 30 % im Grundkonzept ④ gegenüber dem Grundkonzept ① zu verzeichnen. Aufgrund der Betrachtung exklusiv Wirkungsgraden und Nebenverbrauchern ist es nicht zulässig den Energieaufwand und das Rekuperationspotenzial zu addieren, um damit Aussagen über die globale Energieeffizienz zu treffen.

Neben dem aus dem Fahrverhalten resultierenden Energiefluss in den einzelnen Grundkonzepten stellt Tabelle 5.9 zusätzlich dar, welcher Anteil des Rekuperationspotenzials abhängig von der spezifischen Rekuperationsfähigkeit des Antriebstrangs genutzt werden kann. Ist der Antriebstrang eines Fahrzeugs in der Lage, eine Fahrzeugverzögerung von $a_x = -2,3 \text{ m/s}^2$ rekuperativ einzustellen, so können basierend auf der Datenbasis der beiden Telexperimente etwa 99 % der Verzögerungsenergie rekuperativ umgesetzt werden. Hierbei wird bezüglich der Energieeffizienz ebenfalls die Adaption des Fahrverhaltens an die Grundkonzepte ersichtlich. Wird die jeweilige Rekuperationsfähigkeit als Schleppmoment ausgeprägt, so kann der höchste Anteil der Rekuperationsfähigkeit genutzt werden. Wird in einem Grundkonzept nicht die gesamte Rekuperationsfähigkeit als Schleppmoment ausgeprägt, so ist die verbleibende Rekuperationsfähigkeit mit der Bremspedalbetätigung zu aktivieren. Dieser Vorgang stellt sich jedoch für den Fahrer weniger transparent dar als die Aktivierung mit Schleppmoment, so dass die Rekuperationsfähigkeit schwierig eingeschätzt und oft überschätzt wird und damit zusätzlich mit Hilfe der Reibbremsen verzögert wird, was die Energieeffizienz negativ beeinflusst. Insgesamt kann festgestellt werden, dass die ermittelte objektive Energieeffizienz ähnliche Ergebnisse wie das subjektive Erleben der Probanden zeigt, jedoch objektiv in den Grundkonzepten niedrigeren Schleppmoments auch ein hoher Anteil der Rekuperation genutzt werden kann, wenn auch nicht derart ausgeprägt wie bei Aktivierung der Rekuperation mit Schleppmoment.

Die vom Fahrer eingestellte Beschleunigung kann zu einer Veränderung der Position des Fahrzeugs gegenüber dem Verkehrsumfeld führen, welche durch den **Abstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen** charakterisiert werden kann. Basierend auf Daten eines im Fahrzeug installierten Radarsensors wurden in den verschiedenen Grundkonzepten Zeitanteile extrahiert, in denen mit einer hohen Wahrscheinlichkeit sich ein Fahrzeug im relevanten Umfeld vor dem Fahrzeug befunden hat und somit eine Folgefahrtsituation aufgetreten ist. Aufgrund von Unzulänglichkeiten der verwendeten Messtechnik verringert sich durch den beschriebenen Analyseschritt die Datenbasis auf lediglich 3,3 % Streckenanteil im Telexperiment Urban, bei dem sicher davon ausgegangen werden kann, dass eine Folgefahrt stattgefunden hat und das vorausfahrende Fahrzeug als relevantes Fahrzeug erkannt wurde. Auch im Telexperiment Rural reduziert sich die Datenbasis auf einen Wegstreckenanteil von 15,4 %. Insgesamt kann bezüglich der Datenaufbereitung festgestellt werden, dass in den einzelnen Telexperimenten gegenüber dem ausgewerteten Anteil ein deutlich höherer Anteil

im Folgeverkehr stattgefunden hat, jedoch die im Rahmen der Datenaufbereitung als Folgeverkehr identifizierten Fahrzustände auch mit hoher Wahrscheinlichkeit einen Folgeverkehr beschreiben.

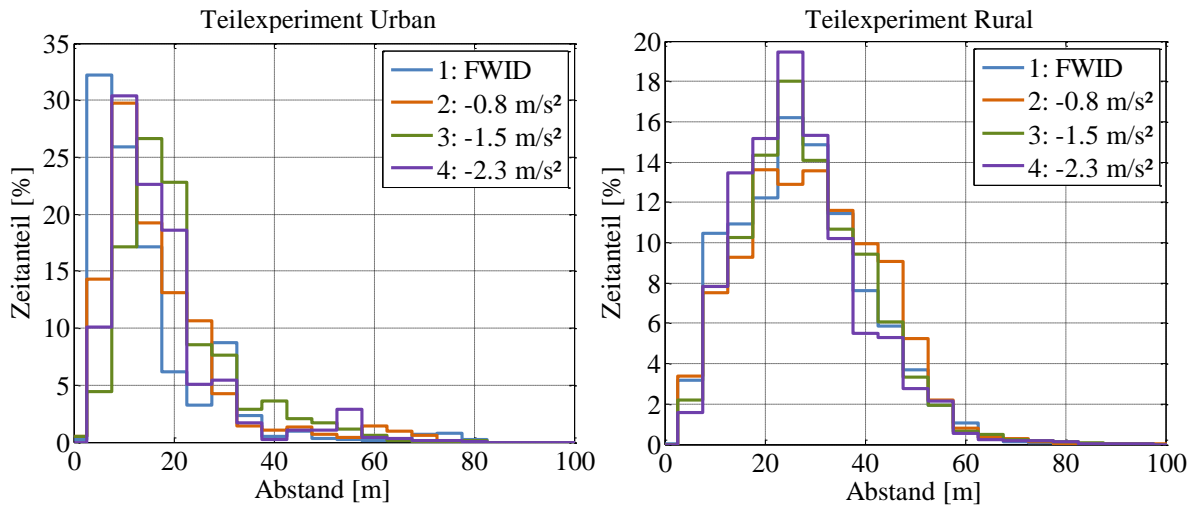


Abbildung 5.26: Häufigkeit verschiedener Abstände zum Vorderfahrzeug im Telexperiment urbaner Verkehrsraum (links) sowie im Telexperiment ruraler Verkehrsraum (rechts) für $v_{Fzg} > 10 \text{ km/h}$ (Ausgewerteter Streckenanteil Telexperiment Urban 3,3% und Telexperiment Rural 15,4 %)

Abbildung 5.26 zeigt die basierend auf der beschriebenen Datenbasis resultierenden Zeitanteile des Abstands zu vorausfahrenden Fahrzeugen in den jeweiligen Grundkonzepten und Telexperimenten. Ausgehend von den durchgeführten Auswertungen kann kein abgesicherter Zusammenhang zwischen den Grundkonzepten und dem globalen Abstandsfolgeverhalten dargestellt werden. Auch Untersuchungen bezüglich spezifischer Teilprozesse im Abstandsfolgeverhalten, wie beispielhaft der minimale Abstand im Rahmen der Abstandsregelung, ließen keine stichhaltigen Ergebnissen erkennen. Nach Aussagen mancher Probanden unterscheidet sich jedoch das Abstandsfolgeverhalten in den verschiedenen Grundkonzepten. Hier berichten Probanden im Grundkonzept ① vor allem im ruralen Verkehrsraum von einem Versuch einen höheren Abstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen einzustellen, um Segelphasen nutzen zu können. Andererseits wird während dieser Segelphasen versucht, diese so lange wie möglich aufrecht zu erhalten, was in einem dichteren „Aufsegeln“ auf vorausfahrende Fahrzeuge resultiert. Somit motiviert einerseits das Grundkonzept ① zu einem höheren einzustellenden Sicherheitsabstand, andererseits resultiert aus der Umsetzung des Grundkonzepts ① teilweise ein niedrigerer Sicherheitsabstand. Ein ähnliches Verhalten kann auch bei den Grundkonzepten höheren Schleppmoments festgestellt werden. Hier versuchen Fahrer rein die Verzögerung des Fahrzeugs beim Lösen des Fahrpedals auszunutzen, weswegen diese speziell im Grundkonzept ③ unter Umständen einen etwas höheren Abstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen einstellen. Während Verzögerungssituationen versuchen die Fahrer hingegen Pedalwechsel zu vermeiden und nehmen in Kauf, dass sie bei begrenzter Verzögerungsstärke auch etwas dichter als eigentlich gewünscht auf das vorausfahrende Fahrzeug auffahren. Im Vergleich der beiden Telexperimente zeigt sich ein höherer eingestellter Sicherheitsabstands im Telexperiment ruraler Verkehrsraum, der aus einer höheren mittleren Geschwindigkeit in diesem Verkehrsraum resultiert.

5.3 Ergebniszusammenfassung und Ableitung möglicher Gestaltungskonzepte

In Abschnitt 5.2 wurden die Ergebnisse des Experiments Charakterisierung möglicher Grundkonzepte vorgestellt, gegliedert in eine Beschreibung der spezifischen in Abschnitt 3.2 vorgestellten Erlebensdimensionen, der Erfüllung psychologischer Bedürfnisse sowie des erlebten Produktcharakters, der Präferenz für spezifische Fahrsituationen und den einwirkenden Randbedingungen. Abschließend konnten dem subjektiven Fahr-Erleben gezielt objektive Kennwerte gegenübergestellt werden, die eine detaillierte Charakterisierung der verschiedenen Grundkonzepte ermöglichen. Im folgenden Abschnitt werden die wesentlichen Kernergebnisse des beschriebenen Experiments zusammengefasst und auf Basis dessen abschließend eine Einteilung möglicher abgeleiteter Gestaltungskonzepte der Fahrzeuglängsführung vorgestellt, die dem Fahrer ein positives Fahr-Erleben vermitteln.

Die verschiedenen Grundkonzepte führen zu einer unterschiedlich erlebten **Sicherheit** im Umgang mit dem Fahrzeug, welche vorrangig durch die erlebte Kontrolle beeinflusst wird. Ausgehend von den Ergebnissen kann eine erhöhte erlebte Kontrolle mit steigendem Schleppmoment festgestellt werden. Speziell die niedrige Verzögerung rein durch die auf das Fahrzeug einwirkenden Fahrwiderstände im Grundkonzept ① wird von den Probanden als verringerte Verbindung zum Fahrzeug beschrieben, welche es den Fahrern erschwert, die Fahrzeugreaktion abzuschätzen. Zusätzlich wirkt sich die Häufigkeit an durchzuführenden Pedalwechseln auf die erlebte Kontrolle aus. Hierbei wird, vor allem im Grundkonzept ①, während der Zeitdauer der Durchführung von Pedalwechselforgängen das Fahrzeugverhalten als unkontrolliert erlebt. Demgegenüber sind in den Grundkonzepten höheren Schleppmoments deutlich weniger häufig Pedalwechsel durchzuführen, im Grundkonzept ④ im Mittel ca. 24 % gegenüber dem Grundkonzept ②. Durch diese reduzierte Häufigkeit an durchzuführenden Pedalwechseln entstehen einerseits weniger Phasen unkontrollierter Fahrzeugreaktion, andererseits stellt sich bei den Grundkonzepten höheren Schleppmoments auch ein höheres Situationsbewusstsein ein. Dieses Situationsbewusstsein unterstützt bezüglich der Beeinflussung der Fahrzeugreaktion, da die Fahrer über eine Kenntnis der aktuellen (Fahr-) Pedalstellung verfügen und somit durch präzises Betätigen oder Lösen eine Anpassung der Fahrzeugreaktion bewirken können. Diesen Zusammenhang erleben die Probanden positiv bezüglich der Dosierbarkeit sowie bezüglich der erlebten Direktheit der Einflussnahme.

Das von den Fahrern erlebte **Energiegefühl** kann untergliedert werden in das Erleben der energieeffizienten Fortbewegung und das Erleben der Energierückgewinnung. Die Energierückgewinnung wird besonders im urbanen Verkehrsraum höchst signifikant präsenter mit erhöhtem Schleppmoment erlebt. Dies beschreiben Probanden, trotz Kenntnis der energetischen Äquivalenz der verschiedenen Grundkonzepte, durch die transparente Informationskoppelung beim Lösen des Fahrpedals mit der Rekuperation. Der Vorgang der Rekuperation an sich wird von den Fahrern deutlich positiv erlebt und kann beispielhaft durch die akustische Rückmeldung eine starke Aktivität des Fahrzeugs vermitteln. Bei der Einstellung der Rekuperation in den Grundkonzepten niedrigeren Schleppmoments durch Betätigung des Bremspedals können die Probanden nur schwierig abschätzen, welcher Grad an Verzögerung rein durch die Rekuperation eingestellt werden kann und ab wann zusätzlich

die Reibbremsen unterstützen. Speziell der Vorgang der Verzögerung unter Zuhilfenahme der Reibbremsen wird von den Probanden negativ mit Energievernichtung verbunden, weswegen diese versuchen, diesen Zustand zu vermeiden. Den zweiten Teilaspekt des Energiegefühls stellt das Erleben des energieeffizienten Fahrverhaltens dar. Hierbei nutzen nur sehr wenige Probanden vereinzelt die Verzögerung beim Lösen des Fahrpedals im Grundkonzept ① um durch diesen Fahrzeugzustand ein energieeffizientes Fahrverhalten einzustellen. Der Großteil der Probanden versucht demgegenüber die Energierückgewinnung während der Fahrt zu maximieren, um damit ein energieeffizientes Fahrverhalten einzustellen. Dies führt allerdings dazu, dass mit steigendem Schleppmoment, also in den Grundkonzepten in denen die Fahrer das Rekuperationspotenzial bewusster erleben, ein dynamischeres Fahrverhalten zu verzeichnen ist. Dieses dynamischere Fahrverhalten resultiert im Grundkonzept ④ gegenüber dem Grundkonzept ① in einem höheren Energieaufwand um im Mittel 6 % und demgegenüber einer Erhöhung des Rekuperationspotenzials um 23 %. Die Betrachtung der Energieeffizienz berücksichtigt hier jedoch keine Nebenverbraucher und Wirkungsgrade, weswegen eine Aussage bezüglich der Gesamtenergieeffizienz auf Basis dieser Auswertung nicht zulässig ist. Kritisch ist jedoch anzusehen, dass Probanden vor allem im Grundkonzept ④ berichten, dass kein besonders vorausschauendes Fahrverhalten nötig sei, da bezüglich der Energieeffizienz durch die Rekuperation nichts verloren würde. Hier suggeriert die Rekuperation durch die hohe Präsenz beim Fahrer einen zu hohen Stellhebel auf die gesamte Energieeffizienz. Basierend auf der energetischen Auswertung kann zudem dargestellt werden, mit welcher Rekuperationsfähigkeit des Antriebstrangs welcher Anteil der Verzögerungsenergie rekuperativ genutzt werden kann. Beispielhaft können bei einem Rekuperationspotenzial von $a_x = -2,3 \text{ m/s}^2$ etwa 99 % der Verzögerungsenergie rekuperativ genutzt werden, falls dieses Rekuperationspotenzial als Schleppmoment ausgeprägt ist. Durch die Ausprägung der Rekuperation als Schleppmoment kann zudem eine Adaption des Fahrverhaltens an die spezifische Verzögerungshöhe festgestellt werden, durch welche in allen Grundkonzepten weniger häufig höhere Verzögerungen abgerufen werden.

Die Hauptkomponenten des erlebten **Diskomforts** stellen die erlebte physische sowie psychische Beanspruchung dar. Die erlebte physische Beanspruchung resultiert vornehmlich aus den deutlich störend erlebten durchzuführenden Pedalwechseln, vor allem im Grundkonzept ① sowie aus der Fußhaltung während der Interaktion. Diese beiden Teilfacetten der physischen Beanspruchung werden in den untersuchten Verkehrsräumen unterschiedlich erlebt. Während im dynamischen, fremdbestimmten urbanen Verkehrsraum viele Pedalwechsel durchzuführen sind, treten diese dort auch stärker in das Bewusstsein des Fahrers und werden damit auch häufiger als störend erlebt, falls sich deren Häufigkeit höher als das dem Fahrer gewohnte Ausmaß darstellt. Demgegenüber wird vor allem die präzise Fußhaltung im ruralen Verkehrsraum von den Probanden als Beanspruchung in den Grundkonzepten ③ und ④ genannt. Dies resultiert einerseits aus höheren aufzubringenden Betätigungskräften am Fahrpedal in den Grundkonzepten ③ und ④ sowie andererseits aus deutlich längeren ununterbrochenen Betätigungsphasen der Interaktion mit dem Fahrpedal. Die erlebte psychische Beanspruchung in den verschiedenen Grundkonzepten resultiert vornehmlich aus der nötigen Vorausschau. Im Grundkonzept ① findet eine fokussierte Beobachtung des Verkehrsumfelds statt, durch diese der niedrigeren erlebten Kontrolle in diesem Grundkonzept begegnet wird. In den Grundkonzepten höheren Schleppmoments ③

und ④ erfolgt neben der fokussierten Beobachtung des Verkehrsumfelds ein Vergleich mit der limitierten Verzögerung beim Lösen des Fahrpedals, was zusätzlich beanspruchend erlebt wird.

Der erlebte **Komfort** in den verschiedenen Grundkonzepten wird maßgeblich von den Erlebensaspekten der Dimension Diskomfort beeinflusst. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass in beiden Verkehrsräumen der Komfort im Grundkonzept ① durch den erlebten Kontrollverlust negativ beeinflusst wird. Durch ein erhöhtes Schleppmoment im Grundkonzept ② kann vor allem im ruralen Verkehrsraum dem Fahrer ein komfortables Fahrzeugverhalten vermittelt werden, was besonders in Folgefahrtsituationen durch ein gegenüber dem umgebenden Verkehr angepasstes Verzögerungsverhalten beim Lösen des Fahrpedals unterstützt wird. Speziell in monotonen Fahrsituationen im ruralen Verkehrsraum werden die Grundkonzepte ③ und ④ differenziert gegenüber dem urbanen Verkehrsraum erlebt, da hier die nötigen präzisen Bedieneingaben und die fehlende Möglichkeit sich vom Fahrzeug zu lösen als beanspruchend und damit komfortmindernd erlebt werden. Im urbanen Verkehrsraum erleben die Probanden im Grundkonzept ③ den höchsten Komfort, da einerseits bereits viele Verzögerungen lediglich durch Interaktion mit dem Fahrpedal ausgeführt werden können, andererseits aber keine ausgeprägt präzisen Bedieneingaben notwendig sind. Diese hohe nötige Präzision der Bedieneingaben polarisiert vor allem im Grundkonzept ④. Probanden mit niedriger Fahrerfahrung mit einem Grundkonzept höheren Schleppmoments erleben die notwendige präzise Bedienung als unkomfortabel, wohingegen Fahrer mit Fahrerfahrung die Vorteile der reduzierten Häufigkeit an durchzuführenden Pedalwechseln stärker gewichten. Die Möglichkeit des sich Lösens aus der Regelaufgabe mit dem Fahrpedal kann speziell im Grundkonzept ① im ruralen Verkehrsraum entspannend wirken. Die Auswertung der objektiven Messdaten zeigt hierzu, dass es einzig dieses Grundkonzept im ruralen Verkehrsraum ermöglicht, eine längere Phase des Lösens von der Pedalerie auszuführen. Verglichen mit den anderen Grundkonzepten bietet jedoch das Grundkonzept ① speziell im urbanen Verkehrsraum einen niedrigeren erlebten Handlungskomfort.

Die verschiedenen Grundkonzepte werden mit einer unterschiedlichen **pragmatischen und hedonischen Qualität** erlebt sowie als unterschiedlich **attraktiv** beschrieben. Das Grundkonzept ① wird in den verschiedenen Qualitätsdimensionen neutral erlebt, demgegenüber die Grundkonzepte mit Schleppmoment positiver. Bezüglich der pragmatischen Qualität wirkt sich ein Schleppmoment im urbanen wie ruralen Verkehrsraum positiv aus und ermöglicht dem Fahrer eine hohe Kontrolle über das Fahrzeug, beziehungsweise verringert es die Häufigkeit an durchzuführenden Pedalwechseln. Die beiden Teildimensionen der hedonischen Qualität, die hedonische Qualität-Identität und die hedonische Qualität-Stimulation werden deutlich durch die Möglichkeit, viele Verzögerungen rein durch das Lösen des Fahrpedals einzustellen, beeinflusst und mit einem höheren Schleppmoment positiver erlebt. Speziell im urbanen Verkehrsraum vermittelt das Grundkonzept ④ eine deutlich ausgeprägte **Stimulation**. Bezüglich der Attraktivität der einzelnen Grundkonzepte wird das Grundkonzept ① neutral erlebt und das Grundkonzept ③ sowohl im urbanen als auch im ruralen Verkehrsraum am positivsten bewertet. Diese positive Bewertung resultiert aus der Möglichkeit viele Verzögerungen rein mit dem Lösen des Fahrpedals einstellen zu können und gegenüber dem Grundkonzept ④ nicht zu stark zu

polarisieren. Besonders die Möglichkeit viele Verzögerungen rein mit dem Lösen des Fahrpedals einzustellen wird von den Probanden als **Kompetenzerweiterung** beschrieben, die unter anderem neben der Vermeidung der physischen Beanspruchung der Pedalwechsel auch eine Reflexion der energetischen Effizienz des Fahrverhaltens unterstützt.

Auf die Beschreibungsdimensionen der Längsführung wirken in den beiden Teilexperimenten neben den variierten Grundkonzepten weitere **Randbedingungen** ein. Durch die Vorgabe der Bewertungsstrecken kann jedoch bereits ein hoher Anteil der Störeinflüsse gemindert und als homogen innerhalb der Teilexperimente angesehen werden. Neben den sich durch das Umfeld einstellenden Randbedingungen wirken fahrerspezifische Einflüsse zusätzlich auf die Beschreibungsdimensionen ein, wobei der Grad an Vorprägung beziehungsweise Fahrerfahrung mit den einzelnen Grundkonzepten eine deutliche Auswirkung auf deren Bewertung ausübt. So bewerteten speziell im ruralen Verkehrsraum Probanden mit Erfahrung im Umgang mit einem hohen Schleppmoment das Grundkonzept ④ deutlich positiver, verglichen mit Probanden ohne Fahrerfahrung.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Ausprägung des Schleppmoments maßgeblichen Einfluss auf das Fahr-Erleben der Fahrzeuglängsführung ausübt und somit einen Parameter zur Charakterausprägung eines Fahrzeugs darstellt, mit dem das Fahr-Erleben spezifisch gestaltet werden kann. Hierbei werden die Grundkonzepte höheren Schleppmoments deutlich attraktiver erlebt, was vorrangig aus der Möglichkeit resultiert, viele Verzögerungen rein durch das Lösen des Fahrpedals einstellen zu können (*One-Pedal-Challenge*).

Jedoch zeigen die Ergebnisse des Experiments Charakterisierung möglicher Grundkonzepte auch, dass trotz der hohen Attraktivität beispielhaft des Grundkonzepts ④ spezifische Aspekte in bestimmten Fahrsituationen auch negativ erlebt werden (z. B. präzise Pedalinteraktion). Zusätzlich zeigt sich eine Streuung der Präferenz spezifischer Grundkonzepte für konkrete Fahrsituationen, was Potenzial für ein positiveres Fahr-Erleben eines gegenüber einem Grundkonzept geänderten Bedienkonzepts erwarten lässt. Durch die Kenntnis der Ausprägung der spezifischen Erlebensaspekte können folgend mögliche Gestaltungskonzepte abgeleitet werden, die dem Fahrer ein positives Fahr-Erleben vermitteln. Die Nutzungsanforderungen, auf Basis derer die Gestaltungslösungen zu entwickeln und zu evaluieren sind, stellen die verschiedenen Beschreibungsdimensionen der Fahrzeuglängsführung dar, deren Ausprägung für die verschiedenen Grundkonzepte in Abschnitt 5.2 beschrieben wurde. Ein ähnliches Vorgehen zur menschenzentrierten Gestaltung technischer Produkte beschreibt auch die Norm DIN EN ISO 9241-210 (2011).

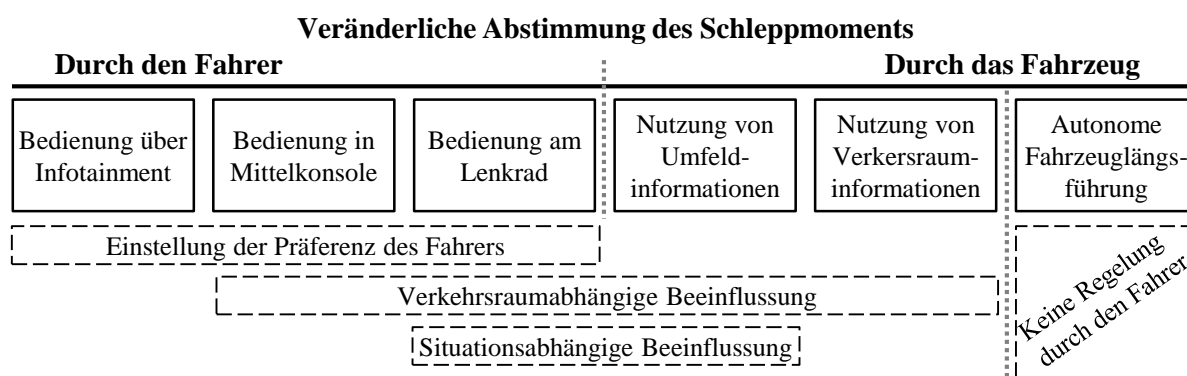


Abbildung 5.27: Einordnung möglicher abgeleiteter Gestaltungskonzepte der Abstimmung des Schleppmoments

Abbildung 5.27 zeigt eine **Einordnung verschiedener Gestaltungskonzepte** einer veränderlichen Abstimmung des Schleppmoments. Hierbei kann die Adaption des Schleppmoments einerseits manuell durch den Fahrer erfolgen, andererseits automatisch durch das Fahrzeug. Bei der Abstimmung durch den Fahrer sind verschiedene Arten der Bedienung denkbar, die einen unterschiedlichen Grad der Beeinflussung ermöglichen. Während eine Bedienung über das Infotainment-System dazu dienen kann, das Schleppmoment an die Grundpräferenz des Fahrers anzupassen, ist eine derartige Bedienmöglichkeit weniger gut geeignet, eine verkehrsraum- oder situationsabhängige Beeinflussung zu ermöglichen. Umso höher der Grad der Wahlmöglichkeit ausgeprägt sein soll, umso stärker sind die Bedienelemente an für den Fahrer intuitiv zu bedienenden Stellen im Fahrzeug zu integrieren. Dementsprechend sollte ein Bedienelement, das vom Fahrer fahrsituationspezifisch genutzt wird, in der Nähe des Lenkrads platziert sein, um den Fahrer möglichst gering von der Fahraufgabe abzulenken. Demgegenüber sind verschiedene adaptive Gestaltungskonzepte denkbar, bei denen abhängig spezifischer Führungsgrößen das Schleppmoment durch das Fahrzeug angepasst wird. Je nach Nutzung zur Verfügung stehender Führungsgrößen sind sowohl Gestaltungskonzepte denkbar, die basierend auf Verkehrsrauminformationen (z. B. Fahrzeuggeschwindigkeit) das Schleppmoment beeinflussen, bis hin zu adaptiven Gestaltungskonzepten, die aktiv Umfeldinformationen auswerten (z. B. Abstand zu vorausfahrendem Fahrzeug). Einen Sonderfall eines Gestaltungskonzepts stellt die autonome Längsführung dar, während dieser keine direkte Regelung durch den Fahrer benötigt wird. Je höher jedoch der Grad an Veränderbarkeit des Schleppmoments ausgeprägt ist, umso kritischer stellt sich die Auswirkung auf das Sicherheitserleben und speziell die Vorhersehbarkeit der Fahrzeugreaktion dar. Um speziell bei adaptiven Gestaltungskonzepten dem Fahrer ein vorhersehbares Fahrzeugverhalten zu ermöglichen, ist dieser über das aktuelle Fahrzeugverhalten zu informieren. Ein hoher Anteil der beschriebenen Ausprägungen wird bereits in einem Patent von KRUSE (2011) diskutiert. Mit Hilfe einer Wahlmöglichkeit für den Fahrer beziehungsweise einer automatischen Abstimmung des Schleppmoments kann das Schleppmoment gezielt verschiedenen Einflüssen angepasst werden, um somit dem Fahrer in spezifischen Fahrsituationen ein passendes Fahrzeugverhalten zu bieten, welches dem Fahrer ein positives Fahr-Erleben vermittelt.

6. Charakterisierung abgeleiteter Gestaltungskonzepte

Basierend auf den in Kapitel 5 beschriebenen Ergebnissen des Experiments Charakterisierung möglicher Grundkonzepte wird innerhalb dieses Kapitels ein Experiment vorgestellt, mit Hilfe dessen zwei von den Grundkonzepten abgeleiteten Gestaltungskonzepten der Fahrzeuglängsführung evaluiert werden. Anschließend an die Darstellung der verwendeten Versuchsmethodik folgt die Darstellung der Ergebnisse des Experiments sowie eine Zusammenfassung der Kernergebnisse.

6.1 Versuchsmethodik

Innerhalb dieses Abschnitts werden zunächst die untersuchten Gestaltungskonzepte vorgestellt und sowie die dem Versuch zugrunde liegenden Hypothesen formuliert. Anschließend erfolgt die Darstellung des Versuchsdesigns, der eingesetzten Methoden sowie des Ablaufs der Datenerhebung, mit Hilfe derer die beschriebenen Gestaltungskonzepte evaluiert werden.

6.1.1 Vorstellung der Gestaltungskonzepte

Basierend auf der in Abbildung 5.27 vorgestellten Einordnung möglicher Gestaltungskonzepte der Fahrzeuglängsführung können verschiedene Gestaltungskonzepte abgeleitet werden, welche in einer unterschiedlichen Abstimmung des Schleppmoments resultieren. Mit Hilfe dieser möglichen Gestaltungskonzepte soll ein in spezifischen Fahrsituationen angepasstes Fahrzeugverhalten ermöglicht werden, dass dem Fahrer ein positiveres Fahr-Erleben im Vergleich zu einer Ausprägung einer Festabstimmung eines Grundkonzepts vermittelt. Aus den möglichen Gestaltungskonzepten wurden die in Abbildung 6.1 dargestellten Gestaltungskonzepte ausgewählt, die zum einen eine fahrsituationsabhängige Abstimmung durch den Fahrer und zum anderen eine automatische Abstimmung des Schleppmoments abhängig von der Fahrzeuggeschwindigkeit ermöglichen. Speziell die fahrzeuggeschwindigkeitsabhängige Abstimmung des Schleppmoments dient der Anpassung der Fahrzeugreaktion an verschiedene Verkehrsräume und dem in diesen Verkehrsräumen vorherrschenden Verzögerungsbedarf.

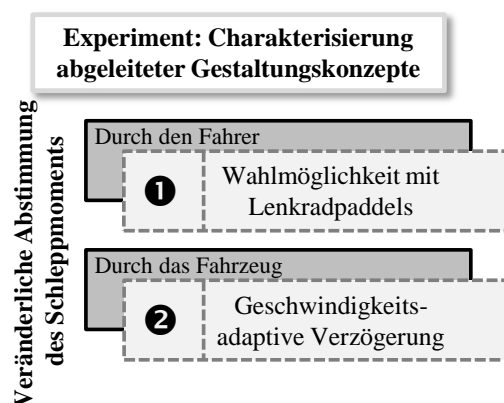


Abbildung 6.1: Im Rahmen des Experiments ausgewählte Gestaltungskonzepte der Fahrzeuglängsführung

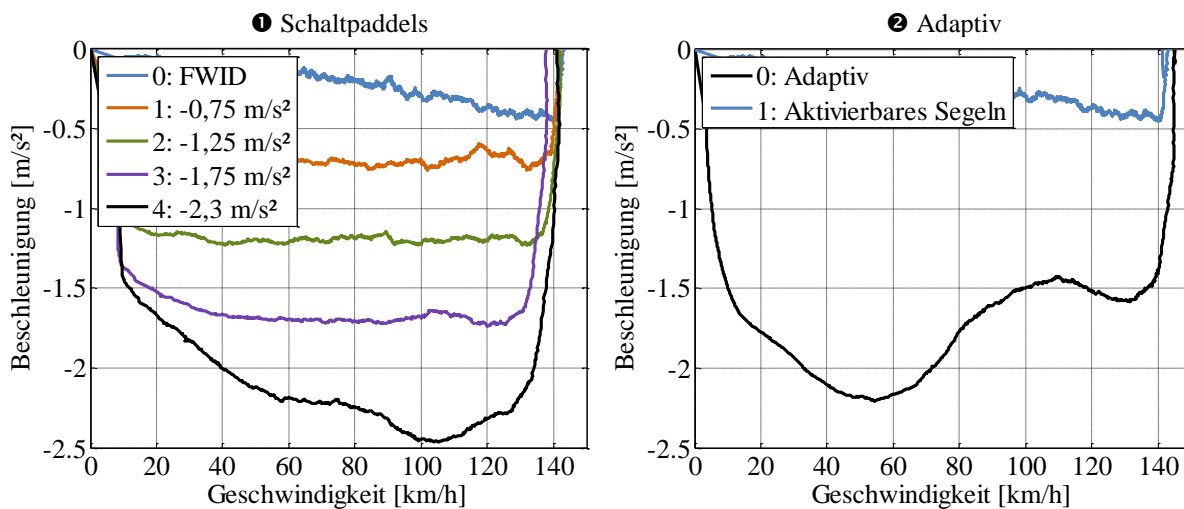


Abbildung 6.2: Im Rahmen des Experiments Charakterisierung abgeleiteter Gestaltungskonzepte untersuchte technische Ausgestaltungen



Abbildung 6.3: Verwendete Bedienelemente im Experiment Charakterisierung möglicher Gestaltungskonzepte

Abbildung 6.2 und Abbildung 6.3 zeigen die technische Ausgestaltung der beiden Gestaltungskonzepte im verwendeten Versuchsfahrzeug MINI E. Aufgrund der Auswertung der Bedienelemente und Einstellung der Fahrzeugreaktion mit Rapid Prototyping Hardware besitzt das verwendete Versuchsfahrzeug in diesem Experiment ebenfalls keine vollständige Straßenfreigabe, weswegen auch in diesem Experiment zum Betrieb eine entsprechende Fahrausbildung notwendig ist.

Im **Gestaltungskonzept Schaltpaddels** (1) besitzt der Fahrer die Möglichkeit durch am Lenkrad montierte Schaltpaddels zwischen verschiedenen Abstimmungen des Schleppmoments zu wechseln. In der im Versuchsfahrzeug dargestellten Ausprägung bewirkt ein Drücken eines Schaltpaddels eine Verringerung des Schleppmoments und demgegenüber ein Ziehen eines Schaltpaddels eine Erhöhung des Schleppmoments. Die beiden jeweils links und rechts am Lenkrad mitdrehend angeordneten Bedienelemente bewirken eine äquivalente Veränderung der Fahrzeugreaktion. Zur Abgrenzung der verwendeten Ausprägungen des Schleppmoments werden diese im Folgenden für die Ausprägung Schaltpaddels mit *Stufen* bezeichnet, wobei Stufe 0 dem Segeln (Grundkonzept 1) und Stufe 4 dem hohen

Schleppmoment (Grundkonzept ④) entspricht. Die Ausgestaltung der einzelnen Verzögerungsstufen resultiert aus den Möglichkeiten des eingesetzten Versuchsfahrzeugs. Durch längeres Halten eines Betätigungszustands des Schalt paddels kann zwischen mehreren Stufen gewechselt werden. Nach jedem erneuten Starten des Versuchsfahrzeugs wird die Stufe 3 aktiviert. Über eine oberhalb des Ganghebels angebrachte Anzeige wird dem Fahrer zusätzlich die aktuell eingestellte Stufe visualisiert, wobei hier keine leuchtende Anzeige die Stufe 0 und vier leuchtende Anzeigen die Stufe 4 symbolisieren. Zur Umsetzung dieser Anzeige wurde ein einfacher Funktionsdemonstrator verwendet und hierdurch transparent verdeutlicht, dass die Anzeige keinen Gegenstand der Untersuchung darstellt. Basierend auf den Ergebnissen des in Abschnitt 5.1.1 vorgestellten Wahrnehmungsexperiments kann zudem abgeleitet werden, dass die im Rahmen des Gestaltungskonzepts ❶ gewählten Verzögerungsstufen gezielt vom Fahrer unterschieden werden können.

Neben dem Gestaltungskonzept Schalt paddels wird zudem eine Veränderlichkeit durch das Fahrzeug, eine **geschwindigkeitsadaptive Abstimmung des Schleppmoments** untersucht (❷), deren technische Ausgestaltung Abbildung 6.2 in der rechten Teilabbildung zeigt. Hierbei wird in einem Fahrzeuggeschwindigkeitsbereich von 0 km/h bis zu 60 km/h das hohe Schleppmoment ausgeprägt (Grundkonzept ④) und anschließend bis zu einer Geschwindigkeit von 100 km/h das Schleppmoment auf das Grundkonzept ③ reduziert. Zwischen diesen beiden Geschwindigkeitswerten erfolgt eine lineare Interpolation des eingestellten Schleppmoments. Neben dieser geschwindigkeitsadaptiven Ausprägung des Schleppmoments kann mit Hilfe einer Taste des Multifunktionslenkrads das Grundkonzept Segeln durch den Fahrer aktiviert werden. Diese Funktion des Aktivierens der Segelfunktion durch Betätigen der Segeltaste (*Segelbutton*) ist grundsätzlich in beiden Gestaltungskonzepten möglich, wobei im Gestaltungskonzept ❶ dieser Zustand somit einerseits mit Schalt paddel Stufe 0 und andererseits äquivalent dazu mit Hilfe des Segelbuttons aktiviert werden kann.

6.1.2 Vorstellung des Versuchsdesigns

Die im vorhergehenden Abschnitt vorgestellten Gestaltungskonzepte können ebenfalls an Hand der in Abschnitt 3.2 vorgestellten Beschreibungsdimensionen sowie der aufgeführten Hypothesen charakterisiert werden, wobei speziell gegenüber den Grundkonzepten die Nutzung und das Erleben der geänderten Interaktion näher detailliert werden kann. In den beiden Gestaltungskonzepten kann jeweils durch den Fahrer Einfluss auf die Fahrzeugreaktion genommen werden, im Gestaltungskonzept ❶ durch eine Wahlmöglichkeit verschiedener Stufen und im Gestaltungskonzept ❷ durch eine Aktivierung des Segelzustands mit Hilfe des Segelbuttons. Demgegenüber erfolgt im Gestaltungskonzept ❷ eine fahrzeugseitig adaptive Abstimmung des Schleppmoments mit dem Ziel, das Verzögerungsniveau an den Verkehrsraum anzupassen.

Zusammenfassend lassen sich zusätzlich zu den in Abschnitt 3.2 beschriebenen Hypothesen folgende Hypothesen bezüglich der gegenüber den Grundkonzepten geänderten Elemente ableiten:

H4:

Durch eine Wahlmöglichkeit der Abstimmung des Schleppmoments kann eine Anpassung der Fahrzeugabstimmung an spezifische Fahrsituationen erreicht werden, was zu einem positiveren Erleben der Fahrzeuglängsführung führt.

H5:

Durch eine geschwindigkeitsadaptive Abstimmung des Schleppmoments kann die hohe Attraktivität des hohen Schleppmoments verbunden mit niedrigerem Diskomfort in monotonen Fahrsituationen ermöglicht werden.

Zur Untersuchung dieser Hypothesen wird ein Within-Subject-Design gewählt, um mit begrenzter Stichprobe vergleichende Aussagen ableiten zu können. Um speziell auch das Anlernverhalten an das Fahrzeug sowie die Gestaltungskonzepte erheben zu können wird ein Versuchsdesign mit Messwiederholung gewählt (vgl. Abbildung 6.4). Hierbei gliedert sich das Versuchsdesign in eine Bewertung des Gestaltungskonzepts ②, anschließend eine ausgedehnte Anlernzeit im Gestaltungskonzept ① und eine Bewertung dieses sowie darauf folgend eine erneute Bewertung des Gestaltungskonzepts ②. Durch dieses Versuchsdesign können die beiden Gestaltungskonzepte gezielt gegenübergestellt werden und damit einerseits eine allgemeine Bewertung des Gestaltungskonzepts ② und andererseits eine vergleichende Bewertung gegenüber dem Gestaltungskonzept ① erhoben werden. Die Messwiederholung erfolgt im Gestaltungskonzept ②, da dieses eine niedrigere Einflussnahme durch den Fahrer bietet und damit nach kürzerer Anlernzeit bewertet werden kann.

**Tabelle 6.1: Beschreibung der Fahrsituationen der gesamten Versuchsstrecke im Experiment
Charakterisierung abgeleiteter Gestaltungskonzepte**

	Objektort fest	Objektort variabel
Zielgeschwindigkeit variabel	<ul style="list-style-type: none"> • 2 variable Geschwindigkeitsvorgaben durch Verkehrsleitsystem • 17 Ampelsituationen 	<ul style="list-style-type: none"> • 10,3 km Strecken mit niedrigem Verkehrsaufkommen • 17,5 km Strecken mit mittlerem Verkehrsaufkommen • 8,3 km Strecken mit hohem Verkehrsaufkommen
Zielgeschwindigkeit fest	<ul style="list-style-type: none"> • 18 feste Geschwindigkeitsbegrenzungen • 4 Vorfahrt-Achten Situationen 	Keine wandernden Baustellen oder ähnliche Verkehrssituationen vorhanden

Der Einflussparameter Fahrsituationen auf das Erleben des Fahrers wird durch die Vorgabe der Bewertungsstrecke weitestgehend standardisiert. Hierzu zeigt Anhang 11.3 die gewählte Versuchsstrecke sowie Tabelle 6.1 eine Einordnung der vorherrschenden Fahrsituationen in Anlehnung an DORRER (2004). Um speziell auch die durch den Fremdverkehr bestimmten Fahrsituationen annähernd konstant zu halten, wurden die einzelnen Bewertungsfahrten zu definierten Zeitpunkten durchgeführt. Die gewählte Versuchsstrecke weist eine Gesamtlänge von 36,1 km auf, was einer mittleren Fahrdauer von 48 Minuten entspricht. Diese Gesamtlänge kann vom verwendeten Versuchsfahrzeug ohne ein Aufleuchten der

Restreichweiten-Warnleuchte durchfahren werden, womit der bereits in Abschnitt 5.1.2 beschriebenen subjektiven Fokussierung begegnet werden kann.

Neben den Fahrsituationen wirkt ein fahrerspezifischer Einfluss auf das Erleben des Fahrers ein. Hierbei prägt vor allem der Grad an Erfahrung mit Bedienkonzepten höheren Schlepptoments das Erleben sowie die spezifische Bewertung der Gestaltungskonzepte. Aus diesem Grund wurde bereits mit der Versuchseinladung der Grad an Erfahrung mit Elektrofahrzeugen erhoben und mit Hilfe diesem eine Verteilung zwischen erfahrenen und unerfahrenen Fahrern im Umgang mit Konzepten hohen Schlepptoments eingestellt.

6.1.3 Methodik und Ablauf der Datenerhebung

Wie bereits in Abschnitt 6.1.2 beschrieben, wird für das Experiment Charakterisierung abgeleiteter Gestaltungskonzepte ein Versuchsdesign mit Messwiederholung gewählt. Abbildung 6.4 stellt hierzu den Versuchsablauf dar, wobei ähnlich wie im Experiment Charakterisierung möglicher Grundkonzepte eine Kombination aus qualitativen und quantitativen Methoden der Datenerhebung erfolgt, um einerseits die konkreten Forschungshypothesen auszuwerten und andererseits mit Hilfe der qualitativen Daten Beweggründe für die spezifische Bewertung zu erheben.

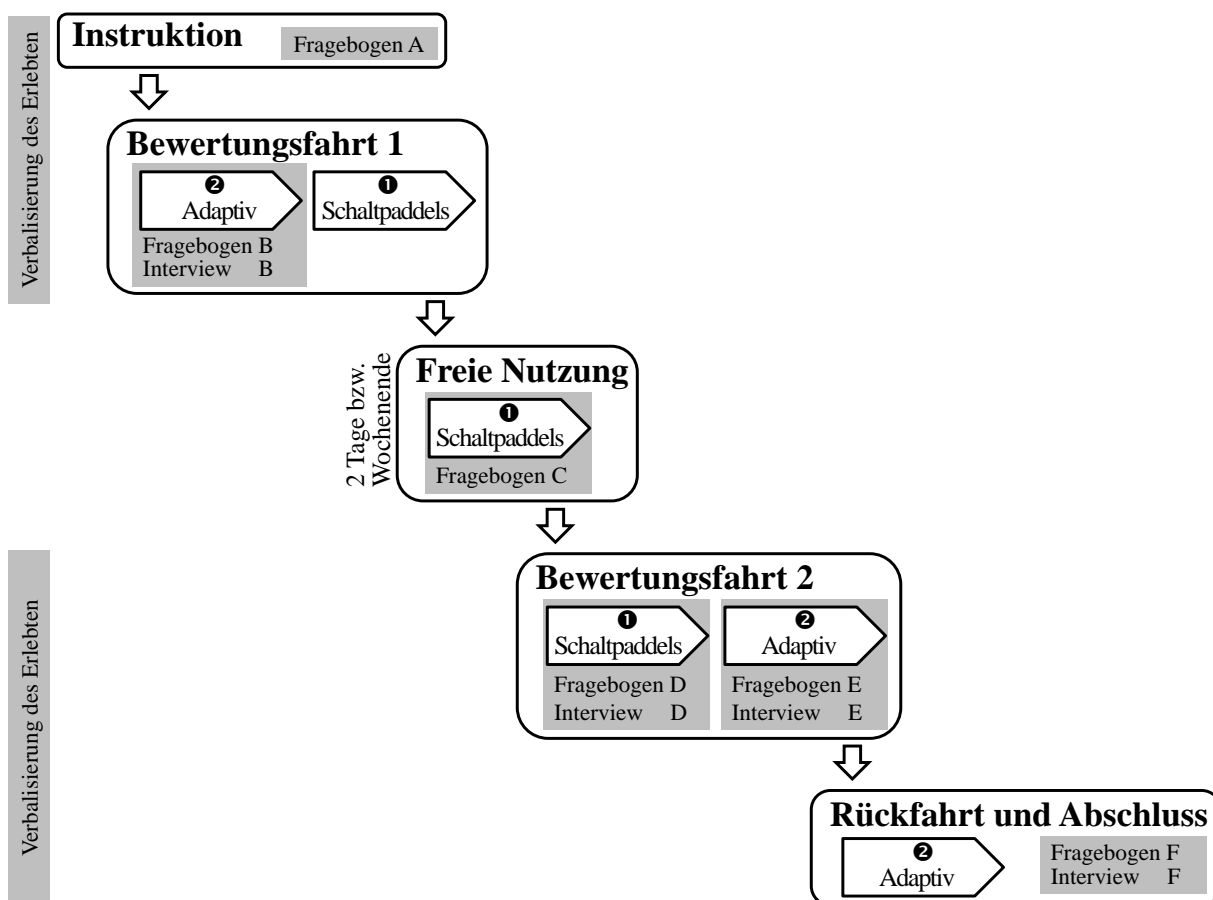


Abbildung 6.4: Ablauf des Versuchs und der Datenerhebung im Experiment Charakterisierung abgeleiteter Gestaltungskonzepte

Im Rahmen der **Instruktion** werden den Probanden das Ziel des Experiments sowie der Umgang mit dem Versuchsfahrzeug verdeutlicht. Zusätzlich werden im *Fragebogen A* soziodemographische Daten (Geschlecht, Alter) und Daten zur persönlichen Fahrzeugnutzung (jährliche Fahrleistung, Nutzungshäufigkeit Fahrzeug) sowie Daten zur Fahrerfahrung mit Elektrofahrzeugen (Typ, Erfahrung in km) erhoben. Neben diesen Daten wird zusätzlich die Erfahrung im Umgang mit Schaltpaddels erhoben, die von manchen Probanden bereits im Umgang mit Fahrzeugen mit Automatikgetriebe aufgebaut werden konnte.

Im Rahmen der **Bewertungsfahrt 1** erfolgt eine Bewertung des Gestaltungskonzepts ② mit Hilfe des *Fragebogens B* und des *Interviews B* sowie eine Instruktion im Umgang mit den Schaltpaddels des Gestaltungskonzepts ① und des Ziels der Abendfahrten. Hierbei werden die Probanden instruiert im Rahmen der Abendfahrten gezielt die Interaktion mit den Schaltpaddels auszuprobieren und sich dadurch ein Urteil über den individuellen Einsatz dieser Bedienelemente zur Abstimmung des Schlepptoments zu bilden und diese folgend an diese Anlernzeit dementsprechend einzusetzen.

Anschließend an die **freie Nutzung** Fahrzeugs im Rahmen von zwei Tagen beziehungsweise einer Wochenendfahrt erfolgt im *Fragebogen C* eine Erhebung der Nutzung während dieser Zeit (Fahrleistung, Spezifikation Fahrstrecke, Nutzung Schaltpaddels).

Die **Bewertungsfahrt 2** gliedert sich in die beiden Bewertungsfahrten der beiden Gestaltungskonzepte, wobei das Gestaltungskonzept ① auf den ersten 8,5 km der Versuchsstrecke gefahren wird, um den Probanden eine erneute Einstimmung in dieses Gestaltungskonzept und eine einheitliche Streckenbasis für die Bewertung zu ermöglichen. Mit Hilfe des *Fragebogens D* und des *Interviews D* wird die Bewertung des Gestaltungskonzepts ① erhoben sowie mit Hilfe des *Fragebogens E* und des *Interviews E* erfolgt die Messwiederholung des Gestaltungskonzepts ②.

Im Anschluss erfolgt die Rückfahrt und am Ende des jeweiligen Versuchs eine **Abschlusserhebung** mit Hilfe des *Fragebogens F* und des *Abschlussinterviews F*. Hierbei fokussiert der Abschlussfragebogen F die Präferenz des Fahrers für die untersuchten Gestaltungskonzepte.



Abbildung 6.5: Smiley-Skala nach JÄGER (2004)

Der **Aufbau der einzelnen Fragebögen B, D und E** stellt sich sehr ähnlich zueinander dar, um eine Vergleichbarkeit der erhobenen Daten zu ermöglichen und basiert zudem auf dem Fragebogen des Experiments Charakterisierung möglicher Grundkonzepte, mit dem Ziel, die verschiedenen Beschreibungsdimensionen zu evaluieren. Eine Zusammenstellung der verschiedenen Fragebögen ist Anhang 11.4 zu entnehmen. Zunächst erfolgt in den einzelnen Fragebögen eine Erhebung des Gefallens der Fahrt und der Handhabung des Fahrzeugs, mit Hilfe der in Abbildung 6.5 dargestellten Skala nach JÄGER (2004). Im Unterschied zum Experiment Charakterisierung möglicher Grundkonzepte wurde zur Erhebung des Gefallens

gegenüber der dort genutzten Valenzskala nach LANG (1980) aufgrund der höheren Verständlichkeit die Smiley-Skala nach JÄGER (2004) eingesetzt.

Im folgenden Bereich der Bewertungsfragebögen werden ähnlich wie in Abschnitt 5.1.3 beschrieben die einzelnen Erlebensaspekte mit Hilfe von Intensitäts- und Zustimmungsskalen erhoben. Zusätzlich wird im Rahmen dieses Experiments die Interaktion mit den Bedienelementen beziehungsweise der geschwindigkeitsadaptiven Abstimmung des Schleppmoments mit einzelnen Aussagen detailliert. Neben diesen spezifischen Erlebensaspekten wird ebenfalls der Produktcharakter mit Hilfe des Messinstruments AttrakDiff mini erhoben (HASSENZAHL et al. 2003) sowie die Erfüllung spezifischer psychologischer Bedürfnisse mit dem von KNOBEL et al. (2012) entwickelten Fragebogen *Needs* näher untersucht. Im Fragebogen *Needs* wird mit Hilfe von 12 Aussagen verbunden mit einer Zustimmungsskala der Grad der Erfüllung der psychologischen Bedürfnisse nach Kompetenz, Stimulation, Sicherheit und Autonomie erhoben.

Neben den eingesetzten Fragebögen werden ähnlich zum Experiment Charakterisierung möglicher Grundkonzepte mit Hilfe von qualitativen Methoden die Beweggründe für die spezifische Bewertung untersucht. Hierbei wird während der einzelnen Bewertungsfahrten die Methode **Verbalisierung des Erlebten** angewendet und mit Hilfe eines Audiogeräts die Aussagen während der Fahrt aufgezeichnet. Zusätzlich wird anschließend an die Erhebung der Fragebögen B, D und E mit Hilfe eines **Leitfadeninterviews** das Erleben der Probanden detailliert untersucht, welches durch folgende Leitfragen strukturiert wird:

1. Wollen Sie vorher schon etwas los werden?
2. Wie ist Ihr Gefühl für das Fahrzeug?
3. Wurde Ihr persönliches Fahrverhalten beeinflusst?
4. Was hat Sie bei der Fahrt beansprucht?

Am Ende eines jeweiligen Experiments werden ebenfalls im Rahmen eines **Abschlussinterviews** die beiden Gestaltungskonzepte gegenübergestellt und mit Hilfe folgender Leitfragen diskutiert:

1. Was erzählen Sie Ihren Kollegen vom MINI E? Und den Konzepten?
2. Welchen Vorteil sehen Sie in der Benutzung der Schaltpaddels gegenüber dem adaptiven System?
3. Wann sollte sich das Verzögerungsniveau im adaptiven System ändern?
4. Welchen Nutzen sehen Sie in dem Segelschalter? Und wie ist die Bedienung?
5. Was wäre Ihnen bei einem zukünftigen Serienkonzept für die Rekuperation wichtig?

Um speziell die **Nutzung der Bedienelemente** näher zu detaillieren werden mit Hilfe eines Datenloggers spezifische Sensorsignale aufgezeichnet, wobei in diesem Experiment die Interaktion mit der geänderten Abstimmung näher fokussiert wird.

Im Rahmen des Experiments Charakterisierung abgeleiteter Gestaltungskonzepte wird in einem Experiment mit Messwiederholung das Fahr-Erleben in zwei Gestaltungskonzepten erhoben. Das Gestaltungskonzept ❶ bietet hierzu eine Wahlmöglichkeit der Abstimmung des Schleppmoments durch den Fahrer mit Hilfe von Schaltpaddels und demgegenüber das Gestaltungskonzept ❷ eine fahrzeuggeschwindigkeitsadaptive Abstimmung des Schleppmoments. In beiden Gestaltungskonzepten kann mit Hilfe einer Taste am Lenkrad (Segelbutton) der Segelzustand (Grundkonzept ①) aktiviert werden. Zur Erhebung der Beschreibungsdimensionen der Fahrzeuglängsführung werden, ähnlich wie im Experiment

Charakterisierung möglicher Grundkonzepte, sowohl quantitative Methoden (Fragebogen) als auch qualitative Methoden (Verbalisierung des Erlebten, Leitfadeninterview) eingesetzt. Um speziell das Erleben der Interaktionsmöglichkeit näher zu detaillieren wird zusätzlich die objektive Nutzung der Bedienelemente mit Hilfe verschiedener Sensorsignale aufgezeichnet.

6.2 Ergebnisdarstellung

Basierend auf der im vorhergehenden Abschnitt vorgestellten Methodik wurde das Experiment Charakterisierung abgeleiteter Gestaltungskonzepte durchgeführt, dessen Ergebnisse folgend vorgestellt werden. Zunächst erfolgt die Beschreibung der dem Datenmaterial zu Grunde liegenden Stichprobe und darauf folgend die Beschreibung des Fahr-Erlebens an Hand der in Abschnitt 3.2 vorgestellten Erlebensdimensionen. Diese Bewertung wird in Abschnitt 6.2.5 durch die Bewertung der Erfüllung spezifischer psychologischer Bedürfnisse unterstützt (basierend auf Fragebogen Needs) und anschließend mit der Darstellung des erlebten Produktcharakters sowie der Präferenz der Fahrer zusammengefasst. Abschließend erfolgt eine Beschreibung einwirkender Randbedingungen sowie in Abschnitt 6.2.8 eine objektivierte Charakterisierung der Nutzung der Bedienelemente.

Im Rahmen des Experiments konnten aufgrund der in Abschnitt 6.1.1 aufgeführten Einschränkungen des verwendeten Versuchsfahrzeugs lediglich Mitarbeiter eines Automobilherstellers berücksichtigt werden. Um dennoch eine möglichst heterogene Stichprobe zu bewerkstelligen wurden gezielt Probanden mit unterschiedlichem täglichem Arbeitsfeld ausgewählt. Insgesamt besteht die Stichprobe aus 22 Probanden, wobei der Anteil an weiblichen Probanden mit 18 % unterdurchschnittlich ausgeprägt ist. Bezüglich der Erfahrung mit Fahrzeugen mit hohem Schlepptomoment weisen 13,7 % keine Fahrerfahrung, 81,8 % etwas Fahrerfahrung und 4,5 % Fahrerfahrung größer als 500 km auf. Die Altersverteilung der Probanden kann Abbildung 6.6 entnommen werden und weist eine Ähnlichkeit zu der von VILIMEK et al. (2012) beschriebenen Altersverteilung der Zielgruppe für Elektrofahrzeuge auf. Im Rahmen der freien Nutzung wurde von den Probanden im Mittel eine Wegstrecke von 150 km zurückgelegt, im Rahmen derer sie das Gestaltungskonzept ❶ anlernten.

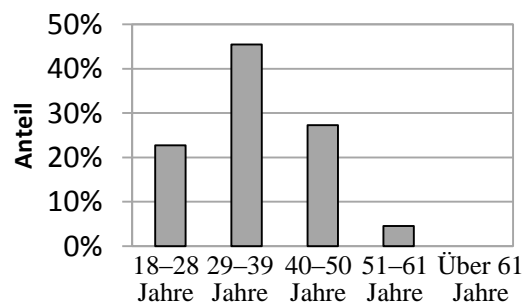


Abbildung 6.6: Altersverteilung der Probanden im Experiment
Charakterisierung abgeleiteter Gestaltungskonzepte

Zur Ergebnisdarstellung der Messinstrumente mit Ordinalskalenniveau werden Boxplot-Darstellungen verwendet, für deren Beschreibung sowie der dargestellten Signifikanzniveaus auf Abbildung 5.10 verwiesen wird. Innerhalb dieser einzelnen Darstellung wird die im Rahmen der Bewertungsfahrt 1 durchgeführte Bewertung des Gestaltungskonzept ❷ kursiv dargestellt und so den beiden Teilbewertungen der Bewertungsfahrt 2, die folgend an die Anlernzeit im Rahmen der freien Nutzung stattfand, gegenübergestellt.

6.2.1 Sicherheit

Abbildung 6.7 zeigt die Bewertung der **erlebten Sicherheit im Umgang** mit dem Fahrzeug und **die erlebte Kontrolle** in den beiden untersuchten Gestaltungskonzepten. Beide Aspekte zeigen eine ähnliche Bewertung, so dass der sichere Umgang beziehungsweise die erlebte Kontrolle in den beiden Gestaltungskonzepten insgesamt auf hohem Niveau erlebt wird. Das Gestaltungskonzept ① bietet zudem eine leicht höhere erlebte Sicherheit im Umgang mit dem Fahrzeug sowie eine signifikant höhere Kontrolle gegenüber dem Gestaltungskonzept ②. Im Vergleich der beiden Bewertungen des Gestaltungskonzepts ② stellt sich ein ähnliches Ergebnis dar.

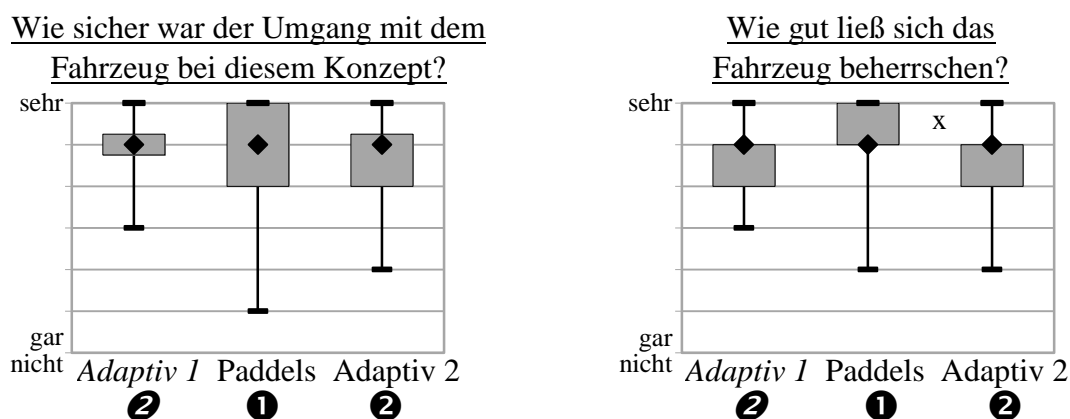


Abbildung 6.7: Ergebnisdarstellung für den Erlebensaspekt Sicherheit und Kontrolle

Die Ergebnisse der qualitativen Methoden zeigen, dass durch die Wahlmöglichkeit der Abstimmung des Schleppmoments direkt Einfluss auf das Fahrzeugverhalten genommen werden kann, was von vielen Probanden als erhöhte erlebte Kontrolle beschrieben wird. Der in beiden Gestaltungskonzepten auf hohem Niveau bewertete sichere Umgang mit dem Fahrzeug, beziehungsweise die erlebte Kontrolle, resultiert aus dem Vorhandensein eines Schleppmoments im Grundzustand in beiden Gestaltungskonzepten. Manche Probanden hingegen bezeichnen die Spreizung der einstellbaren Fahrzeugreaktion vor allem im Gestaltungskonzept ① als kritisch, da mit dem Einstellen des Segelzustands eine stark verminderte Rückmeldung der Fahrzeugreaktion zum Fahrer erfolgt und befürchtet wird, dass die aktuelle Stufe vergessen wird und daher kritische Situationen vor allem im Folgeverkehr auftreten können.

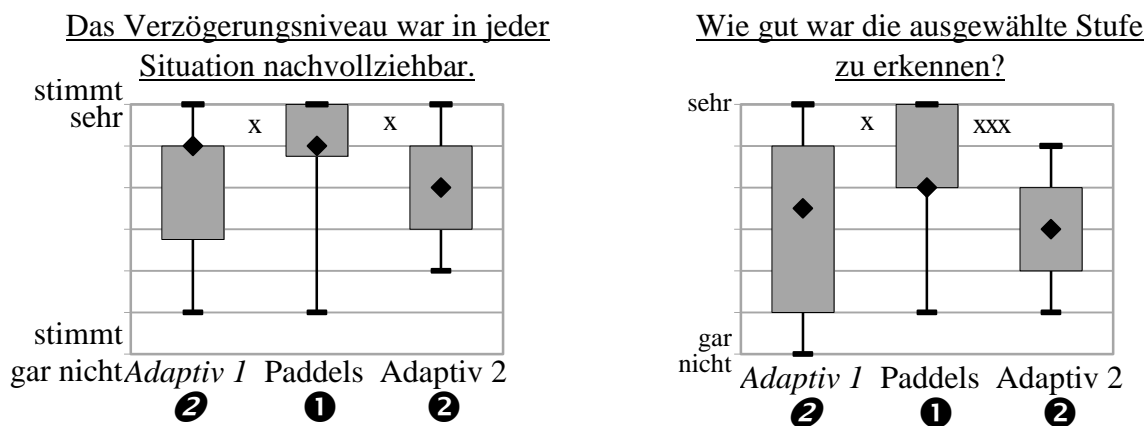


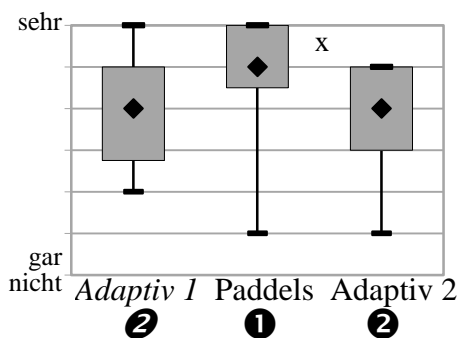
Abbildung 6.8: Ergebnisdarstellung für den Erlebensaspekt Durchschaubarkeit und Vorhersehbarkeit

Der Erlebensaspekt **Durchschaubarkeit**, der die für den Fahrer erkennbare Verbindung zwischen den Bedieneingaben und deren Auswirkung auf die Fahrzeugreaktion beschreibt, stellt eine Komponente der erlebten Kontrolle nach HAIDER (1977) dar. Die linke Teilabbildung von Abbildung 6.8 zeigt hierzu die Bewertung dieses Erlebensaspekts, wobei die Durchschaubarkeit im Gestaltungskonzept ① signifikant positiver erlebt wird als im Gestaltungskonzept ②. Im Vergleich der beiden Bewertungsfahrten des Gestaltungskonzepts ② kann eine geringfügig abnehmende Durchschaubarkeit nach dem Anlernen an das Fahrzeug festgestellt werden.

Die **Vorhersehbarkeit** der Fahrzeugreaktion wird signifikant beziehungsweise höchst signifikant positiver im Gestaltungskonzept ① gegenüber der ersten beziehungsweise zweiten Bewertungsfahrt im Gestaltungskonzept ② erlebt. Ein Vergleich der beiden Bewertungen des Gestaltungskonzepts ② zeigt besonders eine höhere Streuung der abgegebenen Bewertungen in der ersten Bewertungsfahrt.

Die Durchschaubarkeit und die Vorhersehbarkeit der Fahrzeugreaktion stellt sich in den beiden Gestaltungskonzepten mit sich ändernder Abstimmung des Schleppmoments stark abhängig von der Rückmeldung über die aktuelle Abstimmung des Fahrzeugs an den Fahrer dar. Neben der sich einstellenden Fahrzeugreaktion wird dem Fahrer zusätzlich mit Hilfe einer Anzeige die sich einstellende Fahrzeugabstimmung visualisiert. Im Rahmen der Verbalisierung des Erlebten wird diese Anzeige häufig thematisiert. Neben Kommentaren zur konkreten Ausgestaltung dieser Anzeige (z. B. Position oder verwendete Anzeigeelemente) wird die hohe Relevanz dieser Anzeige verdeutlicht. Als weitere Rückmeldungsmöglichkeit führen vereinzelt Probanden vor nötigen Verzögerungsvorgängen kurze „Vor-Verzögerungen“ durch, um durch diese Vorgänge die aktuelle Fahrzeugabstimmung abzuschätzen.

Wie präzise konnten Sie die Geschwindigkeit bei Verzögerungen regulieren [...]?



Die Fahrzeugverzögerung konnte in diesem Konzept unverzüglich beeinflusst werden.

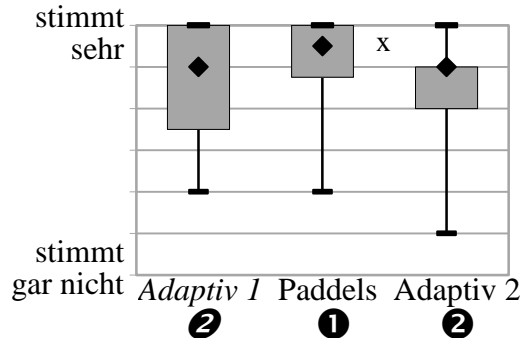


Abbildung 6.9: Ergebnisdarstellung für die beiden Erlebensaspekte Dosierbarkeit und Direktheit

Die **Beeinflussbarkeit** der Fahrzeugreaktion stellt nach HAIDER (1977) neben der Durchschaubarkeit und Vorhersehbarkeit eine weitere Teilkomponente der Kontrolle dar. Abbildung 6.9 zeigt hierzu die Bewertung für die beiden Teilaspekte Dosierbarkeit und Direktheit der Einflussnahme. Die Dosierbarkeit des Gestaltungskonzepts ① wird signifikant präziser gegenüber der Bewertungsfahrt 2 des Gestaltungskonzepts ② erlebt. Im Vergleich der beiden Bewertungen des Gestaltungskonzepts ② wird die Dosierbarkeit ähnlich präzise bewertet. Bezüglich der erlebten Direktheit der Fahrzeugreaktion kann ebenfalls eine

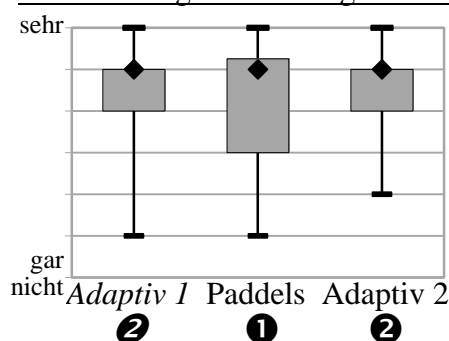
signifikant unverzüglichere Beeinflussung der Fahrzeugverzögerung im Gestaltungskonzept ① gegenüber der Bewertungsfahrt 2 des Gestaltungskonzepts ② festgestellt werden. Zwischen den beiden Bewertungen des Gestaltungskonzepts ② kann eine höhere Streuung der Bewertung 1 festgestellt werden.

Die präzisere und direktere Beeinflussbarkeit der Fahrzeugreaktion im Gestaltungskonzept ① wird von den Probanden durch die Möglichkeit der Anpassung der Fahrzeugabstimmung an verschiedene Fahrsituationen und dem in diesen Situationen spezifischen Verzögerungsbedarf begründet. Hierbei kann durch eine an die spezifische Fahrsituation angepasste Fahrzeugabstimmung die Häufigkeit von Modulationen zur Einstellung der Wunschverzögerung verringert werden.

6.2.2 Energiegefühl

Das Energiegefühl des Fahrers resultiert in diesem Experiment ebenfalls lediglich aus der auf den Fahrer einwirkenden Fahrzeugrückmeldung. Abbildung 6.10 zeigt hierzu die Bewertung für die beiden Teilaspekte der Energierückgewinnung und der Energieeffizienz, resultierend aus dem eingestellten Fahrverhalten.

Wie sehr hatten Sie während der Fahrt das Gefühl Energie zurückzugewinnen?



Wie sehr hatten Sie das Gefühl, dass Sie mit dem Konzept energieeffizient gefahren sind?

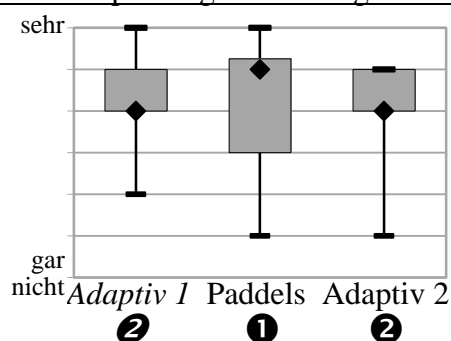


Abbildung 6.10: Ergebnisdarstellung für den Erlebensaspekt Energierückgewinnung und Energieeffizienz

Die Bewertung der beiden Erlebensaspekte zeigt für die untersuchten Gestaltungskonzepte ein ähnliches hoch ausgeprägtes Energiegefühl. Ebenfalls verbalisieren Probanden in den beiden Gestaltungskonzepten durch die äquivalente Möglichkeit des hohen Schleppmoments sowie der Möglichkeit der Einstellung des Segelzustands ähnliche Aspekte. Gegenüber dem Experiment Charakterisierung möglicher Grundkonzepte verbalisieren Probanden in diesem Experiment häufiger positive Attribute bezüglich der Energieeffizienz des Segelzustands, da dieser Zustand gezielt für spezifische Fahrsituationen aktiviert werden kann. Bezüglich der Gesamtenergieeffizienz verbalisiert jedoch auch in diesem Experiment der Großteil der Probanden, dass die Rekuperation potentiell einen höheren Einfluss auf die gesamte Energieeffizienz ausübt, im Vergleich zum Effizienzpotenzial durch eine Anpassung des Fahrverhaltens.

6.2.3 Diskomfort

Die Darstellung des erlebten Diskomforts stützt sich auf quantitative Bewertungen im Rahmen des Fragebogens, auf eine qualitativ erhobene Frage im Leitfadeninterview nach der Fahrt in jedem Gestaltungskonzept sowie auf die Verbalisierung des Erlebten der Probanden.

Abbildung 6.11 zeigt die **erlebte Beanspruchung** in den beiden Gestaltungskonzepten. Hierbei wird das Gestaltungskonzept ① signifikant stärker beanspruchend erlebt gegenüber dem Gestaltungskonzept ②. Speziell die Bewertung der erlebten Beanspruchung des Gestaltungskonzepts ① weist eine höhere Streuung im Vergleich zum Gestaltungskonzept ② auf.

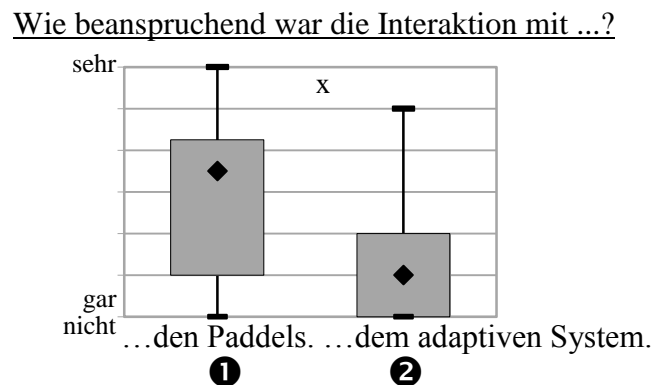


Abbildung 6.11: Ergebnisdarstellung der erlebten Beanspruchung

Im Rahmen des Fragebogens D wurde die erlebte Beanspruchung detailliert bezüglich deren physischen und psychischen Anteilen sowie der Auslösung abhängig der Interaktion mit spezifischen Bedienelementen (vgl. Abbildung 6.12). Auch wenn die Bewertung folgend an die Bewertungsfahrt des Gestaltungskonzepts ① durchgeführt wurde, können die Ergebnisse für die explizite Interaktion mit dem Fahrpedal auch dem Gestaltungskonzept ② übertragen werden, bei dem die Interaktion ebenso vorrangig mit dem Fahrpedal durchgeführt wird.

Bitte beurteilen Sie den Grad der physischen Beanspruchung in Verzögerungssituationen, wenn Sie die Verzögerung eingestellt haben

Bitte beurteilen Sie den Grad der mentalen Beanspruchung in Verzögerungssituationen, wenn Sie die Verzögerung eingestellt haben

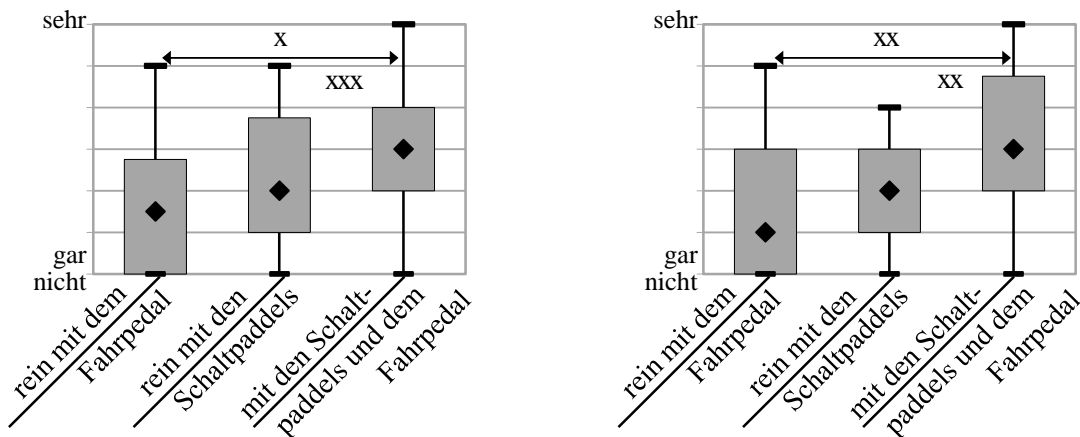


Abbildung 6.12: Ergebnisdarstellung für den Erlebensaspekt physische und psychische Beanspruchung

Die Interaktion mit den verschiedenen Bedienelementen führt zu einer ähnlichen **physischen** wie auch **psychischen Beanspruchung**. Hierbei wird bei der expliziten Interaktion mit dem Fahrpedal die geringste Beanspruchung erlebt und demgegenüber eine steigende Beanspruchung bei Interaktion mit den Schaltpaddels sowie einer hoch beziehungsweise höchst signifikant höheren Beanspruchung bei gemeinsamer Interaktion mit dem Fahrpedal und den Schaltpaddels. Im Rahmen des Leitfadeninterviews sowie der Verbalisierung des Erlebten konkretisieren viele Probanden den erlebten Diskomfort im Umgang mit dem Fahrzeug.

Bei der **reinen Interaktion mit dem Fahrpedal** in den beiden Gestaltungskonzepten beschreiben manche Probanden die nötige Vorausschau speziell in Verbindung mit der spezifischen Verzögerungsstufe der Fahrzeugabstimmung als psychisch beanspruchend. Dies wird speziell im Gestaltungskonzept ② bei der Planung und Durchführung von Verzögerungssituationen im ruralen Verkehrsraum deutlich, in denen sich das Schleppmoment ändert. Neben der psychischen Beanspruchung kann die Interaktion mit dem Fahrpedal auch zu einer physischen Beanspruchung führen. Dies beschreiben Probanden vor allem im Gestaltungskonzept ② im ruralen Verkehrsraum. Durch die Reduzierung des Schleppmoments wird zwar keine derart ausgeprägt präzise Pedalinteraktion wie im Grundkonzept ④ bei hohen Geschwindigkeiten nötig, es ist aber trotzdem eine nahezu dauerhafte Interaktion mit dem Fahrpedal durchzuführen, die als physisch beanspruchend beschrieben wird.

Speziell im Gestaltungskonzept ② kann der Fahrer durch eine Betätigung des **Segelbuttons** den Segelzustand aktivieren. Diese Möglichkeit wird sowohl bezüglich der Aktivierbarkeit als auch der sich einstellenden Fahrzeugreaktion von vielen Probanden positiv beschrieben. Die Aktivierung der Stufe 0 führt zu einer weniger präzisen nötigen Pedalinteraktion, die als niedrigere physische Beanspruchung erlebt wird. Die nötige Vorausschau zur Planung und Aktivierung von derartigen Segelphasen im Gestaltungskonzept ② wird als nicht beanspruchend erlebt, da die potentiellen Situationen, in denen Fahrer über die Aktivierung des Zustand reflektieren, Fahrsituationen darstellen, die häufig keine Reaktion auf Umfeldbedingungen erfordern. Bei kurzen Nutzungsphasen des Segelbuttons beschreiben wenige Probanden einen niedrigeren Nutzen gegenüber dem Aufwand der Möglichkeit. Hierbei beschreiben diese den Aufwand durch die Analyse der Fahrsituation und dem Vergleich mit dem Segelzustand, des Betätigens des Segelbuttons, des Lösens des Fahrpedals, der Beobachtung der Fahrzeugreaktion und des Vergleichs mit dem Verkehrsumfeld, der Ableitung des Beendigungsvorgangs des Zustands sowie des erneuten Einstellens der gewünschten Fahrpedalposition. Speziell das anschließend an die Durchführung der Segelphasen nötige Modulieren der gewünschten Fahrpedalposition wird von Probanden, die den Segelzustand nicht in einer Verzögerungssituation beenden, als beanspruchend beschrieben. Wenige Probanden beschreiben zudem das Halten des Fußes in der Luft in Segelphasen als physisch beanspruchend.

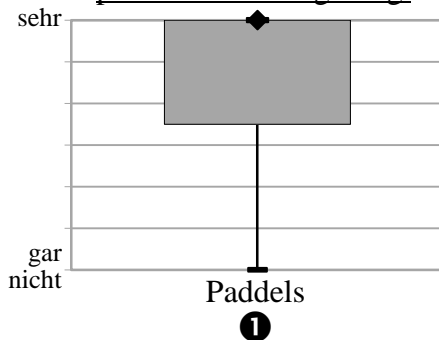
Bezüglich der **Interaktion mit den Schaltpaddels** berichten vor allem Fahrer zu Beginn der Nutzung von einer psychischen Beanspruchung durch die Planung der Betätigungsrichtung. Hier führen viele Probanden an, dass sie zu Beginn der Nutzung der Schaltpaddels in die falsche Richtung schalten. Probanden, die mit Hilfe der Schaltpaddels die

Fahrzeugverzögerung in spezifischen Fahrsituationen anpassen, beschreiben zudem eine niedrigere physische Beanspruchung, da diese speziell in Verzögerungssituationen weniger häufig mit dem Fahrpedal die Verzögerung modulieren. Die Beeinflussung der Wunschverzögerung durch reine Interaktion mit den Schalt paddels wird von diesen Probanden als „bequemer“ bezeichnet, da sich bereits durch die Lenkradinteraktion eine Verbindung zumindest einer Hand mit dem Lenkrad als nötig darstellt. Die Wahl einer passenden Verzögerungsstufe für spezifische Fahrsituationen wird von Probanden, die das Schleppmoment in spezifischen Fahrsituationen durch explizite Interaktion mit den Schalt paddels variieren, als wenig beanspruchend beschrieben

6.2.4 Komfort

Die Erhebung des erlebten Komforts in den beiden Gestaltungskonzepten erfolgt an Hand der in Abschnitt 3.2.4 vorgestellten Detaillierung hinsichtlich der Teildimensionen Genuss beziehungsweise Komfort und der im Vordergrund stehenden Handlung und Nutzung.

Die Schaltmöglichkeit mit den Paddels unterstützte mich beim Einstellen einer passenden Verzögerung.



Das Konzept stellte für die jeweilige Fahrsituation das passende Verzögerungsniveau bereit.

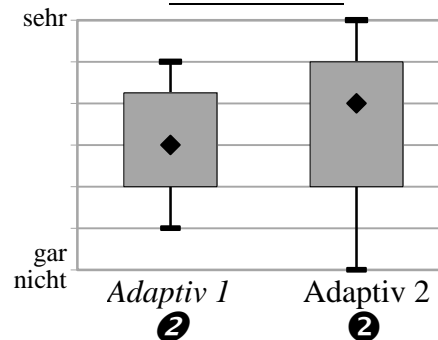


Abbildung 6.13: Ergebnisdarstellung für den Erlebensaspekt Interaktionsmöglichkeit Gestaltungskonzepte (Nutzungskomfort)

Abbildung 6.13 zeigt die Bewertung des **Nutzungskomforts** in den beiden Gestaltungskonzepten. Durch die Wahlmöglichkeit der Verzögerungsstufe im Gestaltungskonzept ❶ kann der Fahrer die Abstimmung des Schleppmoments an verschiedene Fahrsituationen anpassen. Die Ausprägung der Wahlmöglichkeit mit Hilfe von Schalt paddels am Lenkrad wird von vielen Probanden deutlich als unterstützend beschrieben. Demgegenüber erfolgt im Gestaltungskonzept ❷ eine geschwindigkeitsadaptive Abstimmung des Schleppmoments durch das Fahrzeug. Die gewählte Abstimmung wird hierbei von den Probanden als mittelmäßig bis leicht positiv passend für die vorherrschenden Fahrsituationen bewertet. Im Vergleich der beiden Einzelbewertungen des Gestaltungskonzepts ❷ fällt die leicht höhere Streuung im Ergebnis der Bewertungsfahrt 2 sowie die etwas positivere Bewertung nach der Gewöhnung an das Fahrzeug auf.

Wie empfanden Sie die Handhabung des

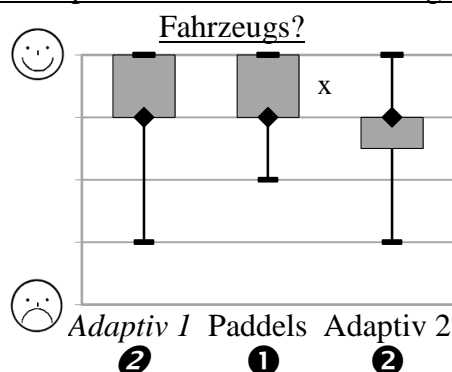
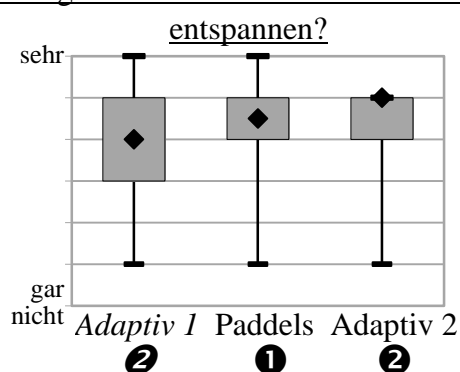


Abbildung 6.14: Ergebnisdarstellung für den Erlebensaspekt Fahrgefühl (Handlungsgenuss)

Neben dem Nutzungskomfort stellt die in Abbildung 6.14 dargestellte Bewertung des **Handlungsgenusses** eine weitere Detaillierung des Komforterlebens dar. Hierbei wird das Gestaltungskonzept ① signifikant positiver gegenüber dem Gestaltungskonzept ② erlebt, wobei der Median aller Erhebungen sich auf einem äquivalenten positiven Niveau befindet. Im Vergleich der beiden Bewertungen des Gestaltungskonzepts ② zeigt sich eine leicht negativere Bewertung im Anschluss an die Anlernzeit mit dem Fahrzeug.

Wie gut konnten Sie während der Fahrt



Wie haben Sie die Fahrt erlebt?

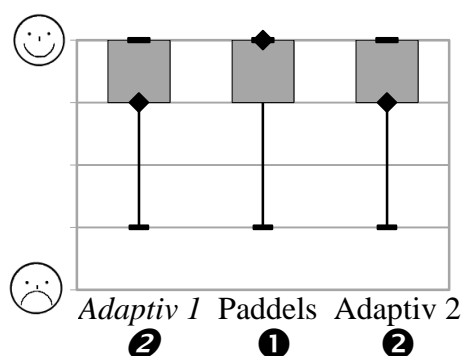


Abbildung 6.15: Ergebnisdarstellung für den Erlebensaspekt Entspannung und Gefallen

Die mögliche **Entspannung** als Teilelement des Handlungskomforts wird in den untersuchten Gestaltungskonzepten auf ähnlich positivem Niveau erlebt (vgl. Abbildung 6.15 links). Zwischen den beiden Bewertungen des Gestaltungskonzepts ② kann eine leicht positivere Bewertung mit einer geringeren Streuung im Anschluss an die Anlernzeit beobachtet werden. Speziell im Gestaltungskonzept ② verbalisieren Probanden positive Attribute für den Segelbutton, der es erlaubt, auch bei Vorhandensein eines deutlichen Schleppmoments im Gestaltungskonzept ② sich aus der ständig nötigen präzisen Pedalinteraktion zu lösen.

Das **Gefallen** der Fahrt im Gestaltungskonzept ① wird leicht positiver gegenüber der Fahrt im Gestaltungskonzept ② bewertet, wobei die beiden untersuchten Gestaltungskonzepte sich auf einem leicht positivem bis positivem Niveau befinden (vgl. Abbildung 6.15 rechts).

Zur Beschreibung des erlebten Komforts verbalisieren viele Probanden Aspekte betreffend den einzelnen Teilelementen der beiden Gestaltungskonzepte. Im **Gestaltungskonzept ①** beschreiben speziell Probanden die fahrsituationsspezifisch eine Verzögerungsstufe wählen einen höheren Komfort, da eine geringere Pedalinteraktion durchzuführen ist. Diese geringere

Pedalinteraktion resultiert einerseits aus der niedrigeren Häufigkeit an durchzuführenden Pedalwechseln, andererseits aus der komfortableren Dosierbarkeit der Verzögerung, da nur ein für die jeweiligen Fahrsituationen nötiges Verzögerungsniveau spezifisch zu modulieren ist. Bezüglich der Ausgestaltung des Bedienelements Schaltpaddels beschreiben speziell diese Probanden die Notwendigkeit der Lokalisierung des Bedienelements zur Abstimmung des Schleppmoments am Lenkrad, da nur derart eine fahrsituationsspezifische Anpassung des Schleppmoments ermöglicht wird. Manche Probanden im Gestaltungskonzept ❶ beschreiben zudem eine Wahl des Schleppmoments in Gefällefahrsituationen mit dem Ziel, ohne Pedalinteraktion eine konstante Geschwindigkeit einzustellen. Kann dieser Zustand mit einer spezifischen Verzögerungsstufe eingestellt werden, so erleben diese den Fahrzustand mit einem derart kompensierenden Schleppmoment deutlich positiv.

Die geschwindigkeitsadaptive Ausprägung des **Gestaltungskonzepts ❷** wird deutlich seltener gegenüber dem Gestaltungskonzept ❶ im Rahmen der Verbalisierung des Erlebten beschrieben, da dieses nur in spezifischen Fahrsituationen von den Probanden bewusst erlebt wird. Eine hierfür beispielhafte Fahrsituation stellt eine Autobahnausfahrt dar, im Rahmen derer von manchen Probanden das Fahrpedal vollständig gelöst wird und hierdurch die sich ändernde Verzögerung ausgeprägt und für den Fahrer erlebbar wird. Bezüglich der Ausgestaltung der Abstimmung des Schleppmoments im Gestaltungskonzept ❷ wünschen sich manche Probanden eine höhere Spreizung der Veränderung des Schleppmoments, wobei die damit verknüpfte niedrigere Vorhersehbarkeit der Fahrzeugreaktion auch kritisch bewertet wird. Die Verringerung der Fahrzeugverzögerung bei Fahrzeuggeschwindigkeiten größer als 60 km/h im Gestaltungskonzept ❷ wird von den Probanden als passend beschrieben, da diese Geschwindigkeitsgrenze gezielt die Möglichkeit viele Verzögerungen rein durch das Lösen des Fahrpedals einzustellen im urbanen Verkehrsraum ermöglicht.

Die Beeinflussung der Fahrzeugabstimmung mit Hilfe des **Segelbuttons** wird speziell bei der Fahrt im Gestaltungskonzept ❷ von den Probanden verbalisiert. Hierbei wird einerseits die Aktivierung dieses Modus durch Bedienung am Lenkrad komfortabel erlebt und demgegenüber die sich einstellende geringe Verzögerung in Fahrsituationen ohne nötige Verzögerungsanforderung positiv beschrieben. Im Vergleich der Aktivierung des Segelzustands mit dem Segelbutton gegenüber dem gezielten Einstellen eines Fahrpedalwinkels, verbalisieren manche Probanden ein deutlich positiveres Segelgefühl, da dieser Fahrzustand ohne ständige Bedieneingabe des Fahrers eingestellt wird und dieser somit diesen Zustand bewusster verfolgen kann. Gegenüber einer Geschwindigkeitsregelfunktion weisen manche Probanden vor allem für Fahrsituationen auf Landstraßen dem Segelzustand positivere Attribute zu, da hier die Geschwindigkeit häufig nur leicht angepasst werden muss, was durch die Segelverzögerung teilweise bewerkstelligt werden kann und somit gegenüber einer Geschwindigkeitsregelfunktion eine gewisse „Restbeeinflussbarkeit“ erhalten bleibt.

6.2.5 Erfüllung psychologischer Bedürfnisse

Das Erleben des Fahrers in den beiden Gestaltungskonzepten führt zu einem unterschiedlichen Grad der Erfüllung spezifischer psychologischer Bedürfnisse. Mit Hilfe des Fragebogens Needs (KNOBEL et al. 2012) wurde die Ausprägung der psychologischen

Bedürfnisse nach Sicherheit, Kompetenz, Stimulation und Autonomie in den beiden Gestaltungskonzepten erhoben (vgl. Abbildung 6.16).

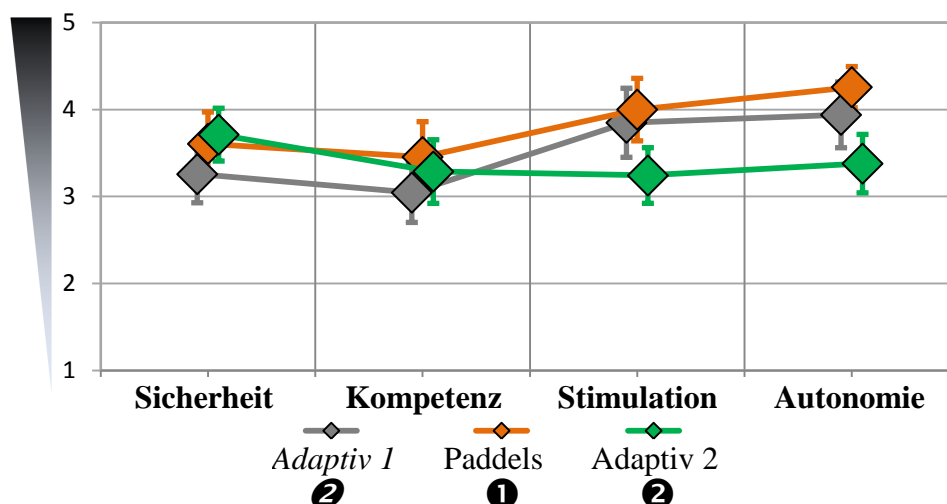


Abbildung 6.16: Mittelwert des Grads der Erfüllung spezifischer psychologischer Bedürfnisse basierend auf dem Fragebogen Needs sowie 95 % Konfidenzintervalle der Mittelwerte der einzelnen Bedürfnisse

Das Bedürfnis nach **Sicherheit** wird in den untersuchten Gestaltungskonzepten sehr ähnlich erfüllt. Speziell im Vergleich der beiden Fahrten im Gestaltungskonzept ② zeigt sich eine positivere Ausprägung des Aspekts Sicherheit nach der Gewöhnung an das Fahrzeug.

Ein ähnliches Verhalten stellt sich auch bezüglich des psychologischen Bedürfnisses nach **Kompetenz** ein. Hierbei kann auch im Anschluss an die Gewöhnung an das Fahrzeug ein leicht höherer Grad der Erfüllung des Bedürfnisses nach Kompetenz erkannt werden sowie im Vergleich der beiden Gestaltungskonzepte eine positivere Ausprägung im Gestaltungskonzept ①. Diese leicht positivere Bewertung des Gestaltungskonzept ① basiert auf der Wahlmöglichkeit mit Hilfe der Schaltpaddels, die eine höhere Beeinflussbarkeit der Fahrzeugabstimmung bieten.

Bezüglich der psychologischen Bedürfnisse nach **Stimulation und Autonomie** unterscheidet sich die Bewertung der untersuchten Gestaltungskonzepte deutlich. Zeigt sich bei der Bewertung des Gestaltungskonzepts ② im Rahmen der Bewertungsfahrt 1 im Vergleich zum Gestaltungskonzept ① eine ähnliche Bewertung, werden die Bedürfnisse nach Stimulation und Autonomie im Gestaltungskonzept ② anschließend an die Anlernzeit lediglich neutral bewertet. Hierbei besteht ein signifikanter Unterschied zwischen der Bewertung des Gestaltungskonzepts ① und ②, der basierend auf dem dargestellten 95 % Konfidenzintervall der Bewertung abgelesen werden kann.

Im Rahmen der **Verbalisierung des Erlebten** berichten manche Probanden in Fahrsituationen mit nachfolgendem Verkehr von einer negativen Wirkung der Segelphasen auf den umgebenden Verkehr. In diesen Situationen befürchten Probanden, dass diese durch die eingestellten Segelphasen den nachfolgenden Verkehr „nerven“ und daher überholt werden, was diese negativ bezüglich der verdeutlichten Kompetenz beschreiben. Die Wahlmöglichkeit der Fahrzeugabstimmung im Gestaltungskonzept ① mit Hilfe der Schaltpaddels ermöglicht den Probanden die Anpassung der Fahrzeugabstimmung an deren Wunsch in spezifischen Fahrsituationen. Mit Hilfe der Schaltpaddels stellt beispielsweise ein

Proband für „relaxes Fahren morgens nach dem Aufstehen“ eine niedrige Verzögerungsstufe ein, für „fetzen“ im urbanen Verkehrsraum präferiert dieser hingegen Stufe 4. Hierdurch wird deutlich, dass Fahrer die Wahlmöglichkeit nutzen um das präferierte Verzögerungsniveau an den spezifischen Wunsch nach Aktivierung anzupassen. Zusätzlich beschreiben viele Probanden die auf diese einwirkende Stimulation durch das im Rahmen der Fahraufgabe intuitiv zu bedienende Bedienelement Schaltpaddels und die Anpassung der Fahrzeugabstimmung an spezifische Fahrsituationen mit positiven Attributen („macht Spaß“). Andere wenige Probanden berichten jedoch, dass sie sich nicht ständig auf eine geänderte Fahrzeugabstimmung einstellen wollen und beschreiben die Wahlmöglichkeit im Gestaltungskonzept ① als zu stark stimulierend.

6.2.6 Erlebter Produktcharakter

Das Erleben des Fahrers in den beiden untersuchten Gestaltungskonzepten der Fahrzeuglängsführung resultiert in einem unterschiedlich erlebten Charakter basierend auf dem Messinstrument AttrakDiff mini (HASSENZAHL et al. 2003).

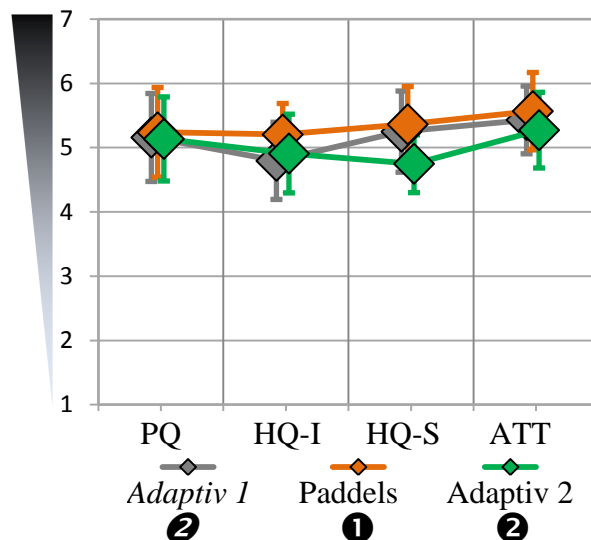


Abbildung 6.17: Mittelwerte der Qualitätsdimensionen des AttrakDiff mini

Die beiden untersuchten Gestaltungskonzepte weisen eine ähnliche **pragmatische Qualität** (PQ) auf, die einerseits aus der Möglichkeit viele Verzögerungen rein durch das Lösen des Fahrpedals einzustellen (Ein-Pedal-Bedienung) resultiert. Andererseits wirkt sich die Möglichkeit der Veränderung der Fahrzeugabstimmung mit Hilfe der Schaltpaddels im Gestaltungskonzept ① beziehungsweise mit Hilfe des Segelbuttons vorrangig im Gestaltungskonzept ② positiv auf die erlebte pragmatische Qualität aus.

Das Gestaltungskonzept ① vermittelt eine leicht gesteigerte **hedonische Qualität-Identität** (HQ-I) gegenüber dem Gestaltungskonzept ②. Diese leicht gesteigerte hedonische Qualität-Identität im Gestaltungskonzept ① ist vornehmlich die Folge der erlebten Besonderheit der Möglichkeit der Beeinflussung des Schlepptoments eines Elektrofahrzeugs mit Hilfe von Schaltpaddels, welche von allen Probanden erstmalig in diesem Versuch erlebt wurde.

Ähnlich wie bei der Beschreibung der Erfüllung des psychologischen Bedürfnisses nach Stimulation in Abschnitt 6.2.5 kann auch im Rahmen der **hedonischen Qualität-Stimulation** eine höhere Stimulation des Gestaltungskonzepts ❶ festgestellt werden. Verglichen mit den Ergebnissen des Messinstruments *Needs* kann hier jedoch keine signifikant höhere Stimulation basierend auf den dargestellten 95 % Konfidenzintervallen abgeleitet werden.

Bezüglich der **Attraktivität** der beiden Gestaltungskonzepte kann eine geringfügig höhere Attraktivität des Gestaltungskonzepts ❶ gegenüber dem Gestaltungskonzept ❷ festgestellt werden.

Basierend auf der Bewertung dieser Qualitätsdimensionen kann den untersuchten Gestaltungskonzepten ein unterschiedlicher Produktcharakter nach DIEFENBACH & HASSENZAHL (2010) zugeordnet werden. Der Produktcharakter des Gestaltungskonzepts ❷ verändert sich im Rahmen der Anlernphase von einem nahezu *begehrten* Produktcharakter zu einem als *handlungsorientiert* erlebten Produkt. Demgegenüber zeigt die Bewertung der Qualitätsdimensionen des Gestaltungskonzepts ❶ einen *begehrten* Produktcharakter.

6.2.7 Präferenz in spezifischen Fahrsituationen

Neben der Bewertung der untersuchten Gestaltungskonzepte an Hand der verschiedenen, in den vorhergehenden Abschnitten, vorgestellten Aspekten wurde auch ähnlich zu Abschnitt 5.2.6 im Rahmen der Abschlussbefragung die konkrete Präferenz für die einzelnen Gestaltungskonzepte in spezifischen Fahrsituationen erhoben.

Tabelle 6.2: Präferenz der Gestaltungskonzepte für spezifische Fahrsituationen

	Gestaltungskonzept ❶					Gestaltungskonzept ❷
	Stufe 0 FWID	Stufe 1 -0,75 m/s ²	Stufe 2 -1,25 m/s ²	Stufe 3 -1,75 m/s ²	Stufe 4 -2,3 m/s ²	
1. Stadt: Wenig Verkehr	11 %	11 %	37 %	21 %	5 %	16 %
2. Stadt: Viel Verkehr	0 %	5 %	16 %	11 %	16 %	53 %
3. Landstraße	30 %	20 %	15 %	5 %	5 %	25 %
4. Freizeitfahrt	5 %	20 %	5 %	15 %	0 %	55 %
5. Autobahn: Hohe Geschwindigkeit	25 %	15 %	15 %	0 %	0 %	45 %
6. Autobahn: Viel Verkehr	0 %	6 %	22 %	17 %	17 %	39 %
7. Ökologisches Fahren	12 %	0 %	12 %	12 %	6 %	59 %
Mittlere Gesamtpräferenz	12 %	11 %	17 %	11 %	7 %	42 %

Tabelle 6.2 zeigt hierzu mit Hilfe der Hervorhebung das von den Probanden präferierte Gestaltungskonzept. Im Gestaltungskonzept ❶ ist zusätzlich, falls dieses in Summe präferiert wird, die von den Probanden gewünschte Verzögerungsstufe hervorgehoben. Im Vergleich der verschiedenen Fahrsituationen zeigt sich eine hohe Streuung des präferierten Gestaltungskonzepts sowie bei der Bewertung des Gestaltungskonzepts ❶ eine Streuung der präferierten Stufe. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass durch die höhere Beeinflussbarkeit der Fahrzeugabstimmung mit Hilfe der Schalt paddels im

Gestaltungskonzept ❶ die Fahrzeugabstimmung fokussierter an den Verzögerungsbedarf spezifischer Fahrsituationen angepasst werden kann und daher in Summe präferiert wird.

6.2.8 Ausprägung einwirkender Randbedingungen

Die Beschreibungsdimensionen der Fahrzeuglängsführung werden neben den untersuchten Gestaltungskonzepten auch von spezifischen Randbedingungen beeinflusst. Anders als im Experiment Charakterisierung möglicher Grundkonzepte in Abschnitt 5 erfolgt die Bewertung der Gestaltungskonzepte ❶ und ❷ jedoch auf unterschiedlichen Strecken, was sich durch unterschiedliche **Fahrsituationen** unter Umständen als Störeinfluss auf die Bewertung auswirken kann. Diese Randbedingung wurde bewusst eingegangen, um bei maximal zur Verfügung stehender Zeitdauer der Bewertungsfahrten je Proband das Grundkonzept ❷ ähnlicher gegenüber dem Gestaltungskonzept ❶ zu repräsentieren, welches im Rahmen der freien Nutzung von den Probanden gezielt angelernt und über einen längeren Zeitraum erlebt wurde.

Neben den Fahrsituationen wirken **fahrerseitige Randbedingungen** auf die Beschreibungsdimensionen der Fahrzeuglängsführung ein. Durch die Möglichkeit der freien Nutzung des Versuchsfahrzeugs über zwei Tage beziehungsweise ein Wochenende kann jedoch von einem hohem Grad der Fahrerfahrung mit diesem Versuchsfahrzeug ausgegangen werden, auch wenn durch die einzelnen Probanden eine unterschiedliche Wegstrecke im Rahmen der freien Nutzung zurückgelegt wurde. Speziell durch die Erhebung der Daten mit Hilfe der Messwiederholung des Gestaltungskonzepts ❷ konnte zudem, wie in den vorhergehenden Abschnitten vorgestellt, analysiert werden, wie sich das Erleben des Gestaltungskonzepts abhängig des Anlerngrads an das Fahrzeug verändert.

6.2.9 Charakterisierung an Hand objektiver Kennwerte

Das subjektive Erleben des Fahrers in den untersuchten Gestaltungskonzepten kann zusätzlich mit Hilfe von objektiven Kennwerten beschrieben werden. Im Gegensatz zur Beschreibung der objektiven Kennwerte im Experiment Charakterisierung möglicher Grundstrategien in Abschnitt 5.2.8 wird in diesem Abschnitt der Schwerpunkt auf die Interaktion mit den gegenüber den Grundkonzepten geänderten Elementen gelegt.

Tabelle 6.3: Ausgewertete Fahrstrecke der 22 Probanden zur Bestimmung der objektiven Kennwerte im Gestaltungskonzept ❶ im Rahmen der freien Nutzung

	MIN	MW	MAX	STD
Ausgewertete Fahrstrecke	25 km	146 km	417 km	97 km

Die folgend vorgestellten Kennwerte zur Charakterisierung des **Gestaltungskonzepts ❶** beziehen sich auf die aufgezeichnete Fahrstrecke während der freien Nutzung, da die Fahrstrecke der Bewertungsfahrt 2, in der die Kennwerte des Gestaltungskonzepts ❷ ermittelt wurden, lediglich zur erneuten Eingewöhnung diente. Tabelle 6.3 zeigt hierzu die Verteilung der von den Probanden zurückgelegten Wegstrecke im Rahmen der freien Nutzung, wobei im Mittel 146 km von den Probanden zurückgelegt wurden.

Im Rahmen der folgenden Auswertungen wird zudem zwischen zwei Geschwindigkeitsbereichen unterschieden, einem ähnlich zum urbanen und einem ähnlich zum ruralen Verkehrsraum (vgl. Abbildung 6.18). Durch die Festlegung der Auswertegrenzen für den urbanen Verkehrsraum können zudem gezielt Fahrsituationen, wie der Übergang zum Stillstand und Haltephasen, ausgeblendet werden und damit die Auswertung auf die eigentliche Fahrtätigkeit fokussiert werden. Die Zuordnung der Geschwindigkeitsbereiche zu den Verkehrsräumen stellt sich jedoch nicht trennscharf dar, da unter anderem auch im ruralen Verkehrsraum Fahrsituationen im unteren Geschwindigkeitsbereich auftreten. Diese Unschärfe kann jedoch vernachlässigt werden, da diese einen geringen zeitlichen Anteil aufweisen.

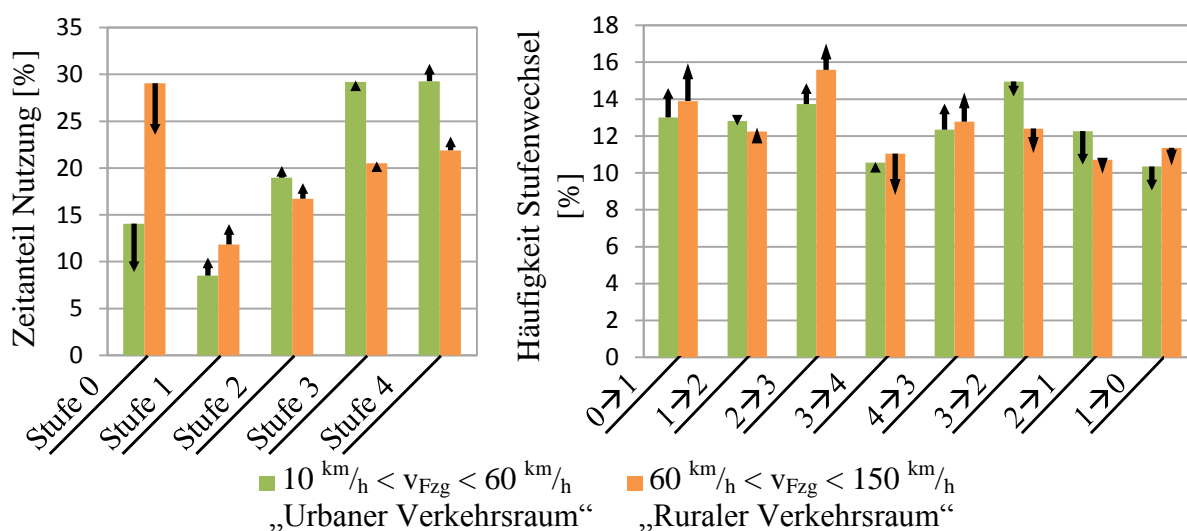


Abbildung 6.18: Zeitanteil der Nutzung der einzelnen Stufen im Gestaltungskonzept 1 und Häufigkeit von Stufenwechseln sowie Gegenüberstellung mit expliziter Betrachtung von Verzögerungsvorgängen (schwarze Pfeile)

Im Rahmen des Gestaltungskonzepts 1 kann durch den Fahrer die Abstimmung des Schlepptoments mit Hilfe von Schalt paddels am Lenkrad verändert werden. Abbildung 6.18 zeigt hierzu einerseits den Zeitanteil der verschiedenen Stufen während der Fahrt sowie andererseits die Häufigkeit von Schaltungen zwischen den einzelnen Stufen. Mit Hilfe der vertikalen schwarzen Pfeile in Abbildung 6.18 wird zudem die Veränderung der Zeitanteile beziehungsweise der Häufigkeiten in Fahrsituationen mit einer Verzögerung $a_x < -0,2 \text{ m/s}^2$ dargestellt.

Der **Zeitanteil der Nutzung** der verschiedenen Verzögerungsstufen im Gestaltungskonzept 1 zeigt ein unterschiedliches Verhalten in den beiden untersuchten Geschwindigkeitsbereichen. Im niedrigen Geschwindigkeitsbereich weisen die Stufen 3 und 4 einen höheren Zeitanteil gegenüber den anderen untersuchten Stufen auf, das heißt, diese werden von den Probanden vornehmlich gewählt. In beiden Geschwindigkeitsbereichen weist die Stufe 1, das dem Schlepptoments eines Verbrennungsmotors ähnliche Fahrzeugverhalten, den niedrigsten Zeitanteil auf. Im höheren Geschwindigkeitsbereich ist ein deutlicher Anstieg des Zeitanteils der Nutzung der Stufe 0 zu erkennen. Die explizite Betrachtung von Verzögerungsvorgängen zeigt zudem, dass während dieser Vorgänge die Stufe 0 mit niedrigerer Häufigkeit genutzt wird und die anderen Stufen leicht häufiger eingestellt werden.

Die **Häufigkeit von Stufenwechseln** zeigt ein ähnliches Verhalten in den beiden untersuchten Geschwindigkeitsbereichen, wobei ein Wechsel zwischen Stufe 0 nach Stufe 1 durch $0 \rightarrow 1$ dargestellt wird. Bei der expliziten Auswertung von Verzögerungsvorgängen zeigt sich eine niedrigere Häufigkeit von Schaltungen zur Verringerung des Schlepptoments, lediglich der Wechsel von Stufe 4 zu 3 wird leicht häufiger durchgeführt und somit in Verzögerungsvorgängen zwischen diesen beiden Stufen gewechselt. Der Unterschied der Häufigkeit von Wechseln von Stufe 0 nach 1 und 1 nach 0 kann durch die Durchführung von Mehrfachwechseln erklärt werden, die durch lang anhaltendes Betätigen eines Schaltpaddels eingestellt werden können und damit den direkten Wechsel zwischen beispielhaft Stufe 4 und 0 ermöglichen. Die Auswertung der globalen Stufenwechsel zeigt zudem, dass 80 % der gesamten Stufenwechsel während Verzögerungsvorgängen stattfinden und somit Probanden gezielt während dieser Vorgänge das Schlepptoment variieren.

Basierend auf dem Zeitanteil der Nutzung und der Häufigkeit von Stufenwechseln kann zudem festgestellt werden, dass sich für die im Rahmen des Versuchs gewählte Spreizung der Abstimmung des Schlepptoments zwischen dem Grundkonzept ① und dem Grundkonzept ④ die Auswahl von insgesamt 5 wählbaren Abstufungen als passend darstellt. Dieses Ergebnis unterstreicht zudem die im Rahmen der Abschlussbewertung quantitativ erhobene gewünschte Anzahl von Stufen. Hier wurde von den Probanden im Mittel eine Stufenanzahl von 5,18 als komfortabel erlebt (STD: 1,53).

Anzahl Fahrer	22	19	14	8	5	3	2	1	1
Anteil urban	61 %	55 %	43 %	43 %	40 %	38 %	42,5 %	25 %	25 %

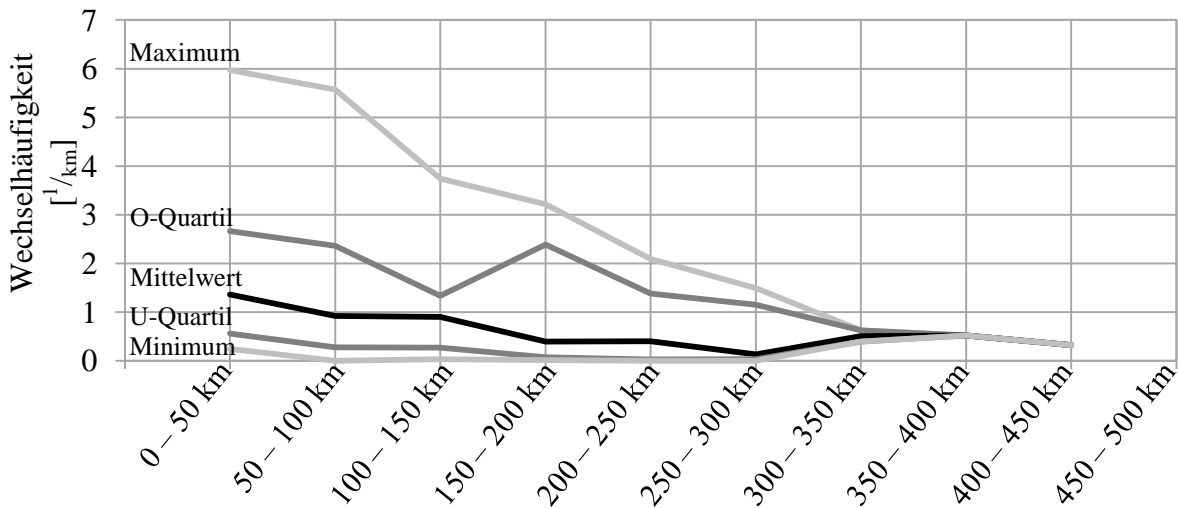


Abbildung 6.19: Wechselhäufigkeit zwischen einzelnen Stufen abhängig bestimmter zurückgelegter Wegstreckenabschnitte

Die Wechselhäufigkeit zwischen einzelnen Stufen kann zusätzlich gegenüber der von den Probanden zurückgelegten Wegstrecke dargestellt werden und damit das Anlernverhalten an die Möglichkeit der Beeinflussung des Schlepptoments mit Hilfe der Schaltpaddels beobachtet werden. Abbildung 6.19 zeigt hierzu die **Wechselhäufigkeit in unterschiedlichen Wegstreckenabschnitten**. Da im Rahmen der freien Nutzung des Versuchsfahrzeugs eine unterschiedliche Wegstrecke von den Probanden zurückgelegt wurde, wird ergänzend dargestellt, von wie vielen Probanden in einem spezifischen Wegstreckenabschnitt die Wechselhäufigkeit ausgewertet werden kann. Durch die zur Verfügung stehende begrenzte

Zeitdauer der freien Nutzung kann zudem festgestellt werden, dass Probanden mit einer höheren Wegstrecke diese mit niedrigerem Anteil im urbanen Verkehrsraum zurücklegen (Basis: Subjektive Erhebung). Zusammenfassend kann aus Abbildung 6.19 abgelesen werden, dass mit ansteigender Wegstrecke die Probanden weniger häufig zwischen verschiedenen Stufen wechseln sowie eine heterogene Nutzung der Wahlmöglichkeit durch die verschiedenen Probanden erfolgt. Die heterogene Nutzung zwischen den verschiedenen Probanden wird durch die Darstellung der mittleren Nutzung, der minimalen und maximalen Nutzung sowie der 25 % niedrigsten beziehungsweise höchsten Nutzung (U-Quartil, O-Quartil) deutlich. Bezüglich aller aufgeführten Kennwerte kann eine Verringerung der Wechselhäufigkeit mit ansteigender zurückgelegter Wegstrecke festgestellt werden.

Tabelle 6.4: Häufigkeit der Aktivierung und Zeitanteil der Nutzung des Segelbuttons mit Definition der Verkehrsräume abhängig ausgewählter Geschwindigkeitsbereiche im Gestaltungskonzept ②

		MIN	MW	MAX	STD
Verkehrsraum Urban	Häufigkeit Aktivierung	0,0 ¹ /km	0,8 ¹ /km	5,9 ¹ /km	1,6 ¹ /km
	Zeitanteil Nutzung	0,0 %	10,5 %	75,4 %	21,6 %
Verkehrsraum Rural	Häufigkeit Aktivierung	0,0 ¹ /km	0,4 ¹ /km	2,5 ¹ /km	0,7 ¹ /km
	Zeitanteil Nutzung	0,0 %	15,9 %	96,7 %	29,7 %

Im **Gestaltungskonzept ②** kann die Verzögerungsstufe 0 durch den Fahrer mit Hilfe des Segelbuttons aktiviert werden. Hierzu zeigt Tabelle 6.4 die Häufigkeit der Aktivierung sowie den Zeitanteil der Nutzung im Rahmen der Bewertungsfahrt 2. Bezüglich der Nutzung zeigt sich eine sehr hohe Streuung zwischen den verschiedenen Probanden. Im Rahmen der Verbalisierung des Erlebten berichteten viele Probanden, dass das Gespräch mit dem Versuchsleiter während der Fahrt etwas ablenkend wirkte und daher teilweise mögliche Nutzungsphasen zu spät erkannt wurden. Im Vergleich der beiden Verkehrsräume kann aus Tabelle 6.4 abgeleitet werden, dass im ruralen Verkehrsraum die einzelnen Nutzungsphasen einen längeren Zeitbereich aufweisen. Dies ergibt sich aus einer geringeren Häufigkeit der Aktivierung und demgegenüber einem höheren Zeitanteil der Nutzung.

Im Vergleich zwischen den beiden Gestaltungskonzepten kann der **Grad der Ein-Pedal-Bedienung** durch die Häufigkeit an durchzuführenden Bremspedalbetätigungen abgeschätzt werden, wobei ein hoher Grad der Ein-Pedal-Bedienung nahezu keine Bremspedalbetätigungen erfordern würde. In den folgenden Darstellungen des Vergleichs zwischen den beiden Gestaltungskonzepten wird für das Gestaltungskonzept ① die Fahrt der freien Nutzung und für die Darstellung der Kennwerte des Gestaltungskonzepts ② die Bewertungsfahrt 2 ausgewertet. Durch diese Randbedingung wirken sich neben den unterschiedlichen Gestaltungskonzepten zusätzlich die unterschiedlichen Fahrstrecken auf die spezifische Nutzung der Bedienelemente aus.

Tabelle 6.5: Häufigkeit von Betätigungen des Bremspedals mit Definition der Verkehrsräume abhängig ausgewählter Geschwindigkeitsbereiche

		MIN	MW	MAX	STD
Gestaltungskonzept ①	Verkehrsraum Urban	0,28 ¹ / _{km}	1,18 ¹ / _{km}	3,49 ¹ / _{km}	0,89 ¹ / _{km}
	Verkehrsraum Rural	0,00 ¹ / _{km}	0,08 ¹ / _{km}	0,82 ¹ / _{km}	0,18 ¹ / _{km}
Gestaltungskonzept ②	Verkehrsraum Urban	0,00 ¹ / _{km}	0,15 ¹ / _{km}	0,61 ¹ / _{km}	0,17 ¹ / _{km}
	Verkehrsraum Rural	0,00 ¹ / _{km}	0,01 ¹ / _{km}	0,07 ¹ / _{km}	0,02 ¹ / _{km}

Tabelle 6.5 zeigt hierzu die Häufigkeit der durchzuführenden Bremspedalbetätigungen in den beiden Gestaltungskonzepten in Abhängigkeit der verschiedenen Verkehrsräume, die durch die Definition des eingestellten Geschwindigkeitsbereichs ausgewertet wurden. Hierbei zeigt sich, dass speziell im Gestaltungskonzept ① häufiger Bremspedalbetätigungen durchgeführt werden und in beiden Gestaltungskonzepten häufiger im urbanen Verkehrsraum die Verzögerung des Fahrzeugs beim Lösen des Fahrpedals nicht ausreicht.

Neben der Möglichkeit viele Verzögerungsvorgänge rein durch das Lösen des Fahrpedals einzustellen (Ein-Pedal-Bedienung), ermöglichen die untersuchten Gestaltungskonzepte in unterschiedlichem Ausmaß sich **von der Pedalerie zu lösen**.

Tabelle 6.6: Zeitanteil ohne Pedalbetätigung in den ausgewerteten Gestaltungskonzepten mit Definition der Verkehrsräume abhängig ausgewählter Geschwindigkeitsbereiche, Verzögerungssituationen ausgewertet für $a_x < -0,2 \text{ m/s}^2$

			MIN	MW	MAX	STD
Gestaltungskonzept ①	Urban	Im Fahrbetrieb	7,0 %	15,4 %	39,5 %	8,9 %
		Während Verzögerungen	14,2 %	31,2 %	65,5 %	14,2 %
	Rural	Im Fahrbetrieb	1,3 %	12,0 %	32,6 %	8,7 %
		Während Verzögerungen	7,0 %	27,6 %	64,7 %	17,1 %
Gestaltungskonzept ②	Urban	Im Fahrbetrieb	0,8 %	7,6 %	40,3 %	9,8 %
		Während Verzögerungen	2,8 %	14,6 %	67,8 %	14,4 %
	Rural	Im Fahrbetrieb	0,0 %	8,1 %	47,5 %	11,1 %
		Während Verzögerungen	0,0 %	19,5 %	78,6 %	20,8 %

Die untersuchten Gestaltungskonzepte weisen eine unterschiedliche Zeitdauer ohne Pedalbetätigung des Fahrers auf (vgl. Tabelle 6.6). Hierbei werden im Gestaltungskonzept ① mit höherem Zeitanteil Situationen ohne Pedalbetätigung eingestellt, wobei im Vergleich der beiden Verkehrsräume der durch den niedrigen Geschwindigkeitsbereich identifizierte urbane Verkehrsraum einen höheren Zeitanteil aufweist. Demgegenüber kann im Gestaltungskonzept ② ein ähnlicher Zeitanteil zwischen den verschiedenen Verkehrsräumen festgestellt werden. Im Vergleich der Zeitanteile im Fahrbetrieb sowie während der

Verzögerungsvorgänge zeigt sich, dass in beiden Gestaltungskonzepten mit höherem Zeitanteil Phasen ohne Pedalbetätigung während Verzögerungsvorgängen eingestellt werden.

Die mittlere Häufigkeit der von den Probanden **eingestellten Fahrzeuggeschwindigkeiten und Beschleunigungen** zeigt Anhang 11.5, einerseits für die freie Nutzung im Gestaltungskonzept ❶ und andererseits für die Bewertungsfahrt 2 im Gestaltungskonzept ❷. Ähnlich wie in Abschnitt 5.2.8 erfolgt zudem eine Darstellung der Häufigkeit verschiedener Geschwindigkeiten und Beschleunigungen basierend auf den Artemis-Zyklen. Hierbei kann ein sehr ähnliches Verhalten der von den Probanden eingestellten mittleren Geschwindigkeiten und Beschleunigungen in beiden ausgewerteten Gestaltungskonzepten gegenüber den Artemis-Zyklen Urban und Rural festgestellt werden, was die von den Probanden durchgeführte normale Nutzung unterstreicht.

6.3 Ergebniszusammenfassung

In Abschnitt 6.2 wurden die Ergebnisse des Experiments Charakterisierung abgeleiteter Gestaltungskonzepte vorgestellt. Im Rahmen der einzelnen Abschnitte erfolgte zunächst eine Beschreibung der Ausprägung der in Abschnitt 3.2 vorgestellten Erlebensaspekte, des Grads der Erfüllung psychologischer Bedürfnisse, des erlebten Produktcharakters, der Präferenz der untersuchten Gestaltungskonzepte für spezifische Fahrsituationen sowie der einwirkenden Randbedingungen. Abschließend wurden durch eine Darstellung von objektiven Kennwerten der Nutzung der Gestaltungskonzepte diese dem subjektiven Erleben des Fahrers gegenübergestellt. Im Rahmen des folgenden Abschnitts erfolgt zur Zusammenstellung der wesentlichen Kernergebnisse eine Ergebniszusammenfassung der einzelnen Beschreibungsdimensionen.

Die im Rahmen des Experiments **untersuchten Gestaltungskonzepte** bieten einerseits eine fahrsituationsabhängige Abstimmung des Schlepptoments durch den Fahrer, mit Hilfe von Schaltpaddels am Lenkrad, andererseits eine automatische Abstimmung abhängig der Fahrzeuggeschwindigkeit. Durch die Anpassung der Fahrzeugabstimmung an verschiedene Fahrsituationen kann diese an den in diesen Situationen vorherrschenden Verzögerungsbedarf angepasst werden. Speziell das Gestaltungskonzept ❶, die Beeinflussung der Fahrzeugabstimmung durch den Fahrer, bietet eine hohe Beeinflussungsmöglichkeit durch den Fahrer, weswegen hierzu im Rahmen einer freien Nutzung über zwei Tage den Probanden die Möglichkeit gegeben wurde, sich ein Urteil über den individuellen Einsatz dieser Wahlmöglichkeit zu bilden.

Die beiden untersuchten Gestaltungskonzepte führen zu einer positiven Bewertung der erlebten **Sicherheit**, wobei speziell das Gestaltungskonzept ❶ zu einer erhöhten erlebten Kontrolle über das Fahrzeug führt. Diese erhöhte erlebte Kontrolle resultiert aus den einzelnen Teilaspekten, der Durchschaubarkeit, der Vorhersehbarkeit und der Beeinflussbarkeit. Bezüglich der Durchschaubarkeit und der Vorhersehbarkeit wirkt sich die Wahlmöglichkeit und das damit verbundene hohe Situationsbewusstsein des Fahrers für die eingestellte Fahrzeugabstimmung positiv auf diese beiden Aspekte aus. Ein ähnliches Verhalten zeigt auch die Beeinflussbarkeit der Fahrzeugreaktion. Die Dosierbarkeit der Fahrzeugreaktion, ein Teilaspekt der Beeinflussbarkeit, stellt sich durch die Anpassung der Fahrzeugabstimmung an den spezifischen Verzögerungsbedarf in Fahrsituationen positiver

ausgeprägt dar. Auch für den zweiten Teilaspekt der Beeinflussbarkeit, der Direktheit der Einflussnahme, führt die gegenüber dem Gestaltungskonzept ② zusätzliche Möglichkeit der Abstimmung der Fahrzeugreaktion mit Hilfe der Schaltpaddel zu einer direkteren erlebten Einflussnahme. Speziell bezüglich der Wahlmöglichkeit der Fahrzeugreaktion in Verzögerungssituationen im Gestaltungskonzept ① zeigt die Auswertung der objektiven Nutzung, dass 80 % der Anpassungen der Fahrzeugreaktion in Verzögerungssituationen stattfinden und hierdurch die Fahrzeugreaktion an den spezifischen Verzögerungsbedarf angepasst wird.

Bezüglich des erlebten **Energiegefühls** können keine signifikanten Unterschiede zwischen den untersuchten Gestaltungskonzepten festgestellt werden. Positiv beschreiben Probanden in beiden Gestaltungskonzepten, dass einerseits durch die Schaltpaddels, andererseits durch den Segelbutton das Schleppmoment deaktiviert werden kann und damit ein Ausrollen des Fahrzeugs eingestellt werden kann, was positiv in Bezug zur Energieeffizienz erlebt wird.

Die Möglichkeit zur Reduktion des Schleppmoments in beiden Gestaltungskonzepten wirkt sich zusätzlich positiv auf den erlebten **Diskomfort** aus. Wird von den Probanden die Möglichkeit der Ausführung vieler Verzögerungen rein durch das Lösen des Fahrpedals und damit die reduzierte Häufigkeit an durchzuführenden Pedalwechseln deutlich positiv erlebt (One-Pedal-Challenge), kann durch eine Reduktion des Schleppmoments speziell in Situationen ohne Verzögerungsbedarf der Diskomfort weiter reduziert werden. Die ausgeprägtere Wahlmöglichkeit im Gestaltungskonzept ① führt jedoch dazu, dass dieses als beanspruchender erlebt wird. Die Beanspruchung wird hierbei sowohl physisch als auch psychisch erlebt und resultiert aus der Möglichkeit, sowohl durch Interaktion mit dem Fahrpedal als auch den Schaltpaddels oder einer Kombination aus beidem, mit dem Fahrzeug zu interagieren. Speziell bezüglich der psychischen Beanspruchung ist vom Fahrer bei einer fahrsituationsspezifischen Nutzung der Wahlmöglichkeit der nötige Verzögerungsbedarf in der konkreten Fahrsituation voranzuplanen, anschließend die passende Verzögerungsstufe auszuwählen und mit Hilfe des Fahrpedals die gewünschte Verzögerung zu modulieren. Der hierbei beschriebene letzte Schritt, die Modulierung der Verzögerung einer Verzögerungsstufe, wird von den Probanden im Gestaltungskonzept ① gegenüber dem Gestaltungskonzept ② deutlich weniger häufig ausgeführt, was speziell im urbanen Verkehrsraum zu einer Verdoppelung des Anteils an Situationen, in denen sich der Fahrer von der Pedalerie in Verzögerungssituationen löst, führt.

Ein Teilaspekt des erlebten **Komforts** stellt die für die jeweiligen Fahrsituationen passende Fahrzeugabstimmung dar. Kann im Gestaltungskonzept ① die Fahrzeugabstimmung durch den Fahrer an den spezifischen Verzögerungsbedarf angepasst werden, führt dies zu einem hohen erlebten Nutzungskomfort. Durch die Vorwegnahme des Verzögerungsbedarfs abhängig von der Fahrzeuggeschwindigkeit und dem häufig in höheren Geschwindigkeiten niedrigeren Verzögerungsbedarf führt dies im Gestaltungskonzept ② zu einem erhöhtem erlebten Nutzungskomfort. Speziell im Gestaltungskonzept ② kann zudem festgestellt werden, dass sowohl im urbanen als auch im ruralen Verkehrsraum weniger häufig Betätigungen des Bremspedals durchgeführt werden, was zu einem präsenteren Erleben der Ein-Pedal-Bedienung führt. Die Möglichkeit mit Hilfe des Segelbuttons auch bei der Grundabstimmung einer Ein-Pedal-Bedienung das Schleppmoment zu deaktivieren wird von

den Probanden als komfortabel beschrieben, da diese sich hierdurch aus dem beschriebenen „Kontrollzwang“ der Ein-Pedal-Bedienung lösen können.

Die Erhebung des Grads der Erfüllung der **psychologischen Bedürfnisse** nach Sicherheit, Kompetenz, Stimulation und Autonomie zeigt einerseits die Wirkung der Anlernzeit an das Fahrzeug, andererseits die positive Wirkung des Gestaltungskonzepts ❶ auf diese Bedürfnisse. Speziell die Bedürfnisse nach Stimulation und Autonomie werden im Gestaltungskonzept ❶ positiver erfüllt, was aus der höheren Einflussnahme des Fahrers mit Hilfe der Schaltpaddels resultiert. Die stimulierende Wirkung des Gestaltungskonzepts ❶ kann der objektiven Häufigkeit von durchgeführten Stufenwechseln im Rahmen der zurückgelegten Fahrstrecke der freien Nutzung gegenübergestellt werden. Hierbei zeigt sich eine Reduzierung der Wechselhäufigkeit abhängig der zurückgelegten Fahrstrecke. Im Vergleich der beiden Erhebungen des Gestaltungskonzepts ❷ zeigt sich zudem die stimulierende Wirkung des Fahrzeugs zu Beginn des Probandenversuchs, welche sich im Rahmen der Bewertungsfahrt 2 reduziert.

Speziell die erhöhte erlebte Stimulation des Gestaltungskonzepts ❶ resultiert in einem begerter erlebten **Produktcharakter** gegenüber dem Gestaltungskonzept ❷, wobei sich die anderen Teildimensionen des Messinstruments AttrakDiff mini auf einem ähnlichen Niveau befinden. Die erhobene **Präferenz** der beiden Gestaltungskonzepte für spezifische Fahrsituationen zeigt eine hohe Streuung abhängig von individuellen Vorlieben der einzelnen Probanden, die mit Hilfe der Wahlmöglichkeit mittels der Schaltpaddels positiver gegenüber dem Gestaltungskonzept ❷ erfüllt werden können.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass durch eine Wahlmöglichkeit der Abstimmung des Schleppmoments Fahrer die Fahrzeugabstimmung an den spezifischen Verzögerungsbedarf anpassen, was den Fahrern ein positives Erleben der Fahrzeuglängsführung vermittelt. Mit Hilfe einer geschwindigkeitsadaptiven Abstimmung des Schleppmoments kann der Verzögerungsbedarf spezifischer Fahrsituationen vorweggenommen werden, was positiv erlebt wird, jedoch wirken sich auch individuelle Vorlieben der Fahrzeugabstimmung auf das Erleben des Fahrers aus.

7. Diskussion

In diesem Kapitel werden die Inhalte dieser Arbeit erneut aufgegriffen und einer kritischen Diskussion unterzogen. Folgend an eine Darstellung der dieser Arbeit zu Grunde liegenden Einschränkungen erfolgt in Abschnitt 7.2 eine Diskussion der verwendeten Methodik, welche neben den durchgeführten Experimenten auch die vorgestellten Aspekte des Erlebens der Fahrzeuglängsführung beleuchtet. Anschließend erfolgt die Diskussion der Inhalte in Bezug zur vorgestellten Fragestellung, zum Stand der Forschung sowie zur Praxis. Abschließend erfolgt im Rahmen dieses Kapitels eine Darstellung des sich ausgehend von der Arbeit ergebenden weiteren Forschungsbedarfs.

7.1 Einschränkungen

Sowohl zur Ermittlung der Erlebensaspekte der Fahrzeuglängsführung als auch in den auf diesen Erlebensaspekten basierenden Experimenten wurden Probandenversuche durchgeführt, deren **Stichprobe** vollständig aus Mitarbeitern eines Automobilherstellers besteht. Diese Einschränkung war, wie in den einzelnen Abschnitten beschrieben, notwendig um einen sicheren Betrieb des Versuchsfahrzeugs ohne vollständige Straßenfreigabe zu gewährleisten. Auch wenn im Rahmen der einzelnen Experimente gezielt darauf geachtet wurde, eine möglichst heterogene Durchmischung der teilnehmenden Probanden basierend auf deren täglichen Arbeitsgebiet zu erwirken, muss dennoch von einer allgemein hohen Affinität zur Technik und zu Fahrzeugen ausgegangen werden. Diese hohe Affinität zur Technik kann einerseits unterstützend wirken, so dass diese technikaffinen Probanden konkreter technische Zusammenhänge beschreiben können (vgl. Dosierbarkeit), andererseits lassen diese eventuell Vorprägungen und Erwartungshaltungen mit in die Beschreibung und Bewertung einfließen, die durchschnittliche Fahrer so nicht aufweisen. Speziell die Eigenschaft der Stichprobe der hohen Affinität zur Technik wird andererseits auch potentiellen Erstkunden (engl. ‚*early adopter*‘) von Elektrofahrzeugen zugeschrieben (WIETSCHEL et al. 2012). Neben dieser Eigenschaft wird von WIETSCHEL et al. (2012) den Erstkunden ein höherer Anteil an männlichen Kunden zugeschrieben, was sich ähnlich zu den gewählten Stichproben verhält. Die Altersverteilung der gewählten Stichproben der einzelnen Experimenten stellt sich jedoch etwas jünger gegenüber der von WIETSCHEL et al. (2012) vorgestellten Stichprobe dar, die den Erstkunden von Elektrofahrzeugen ein mittleres Alter zwischen 40 und 50 Jahren zuschreibt.

Eine weitere Einschränkung, die sich sowohl auf die gewählten Stichproben als auch auf die durchgeführten Experimente auswirkt, ist die **Lokalisierung der Experimente** im Raum München. Zwar wurde versucht, durch die Auswahl der Bewertungsstrecken eine möglichst valide Verteilung von Fahrsituationen zu bewirken (bezogen auf den deutschen Verkehrsraum), was auch der Vergleich des Geschwindigkeits- und Beschleunigungskollektivs mit den Artemis-Zyklen zeigt, dennoch ist davon auszugehen, dass andere Verkehrsumfelder Auswirkungen auf die ermittelten Ergebnisse aufweisen würden. Beispielhaft ist davon auszugehen, dass sich das Verkehrsumfeld in einem Ballungsraum dieser Welt (engl. ‚*Megacity*‘) deutlich dichter und dynamischer gegenüber dem in den einzelnen Experimenten gewählten Umfeld darstellt.

Eine weitere Einschränkung stellt das zur Erhebung der Daten **verwendete Versuchsfahrzeug** dar. Als Versuchsfahrzeug wurde ein MINI E Elektrofahrzeug gewählt, welches technisch auf einem MINI Cooper basiert. Diesem Fahrzeugtyp wird ein spezifischer Fahrzeugcharakter zugeschrieben, der mit „fun, energetic, cheeky, stylish, self-confident, reliable and exciting“ umschrieben werden kann (DAHLEN & LANGE 2009, S. 275). Diese Attribute wurden oft auch von Probanden verwendet um die verschiedenen Grund- und Gestaltungskonzepte zu beschreiben. Es ist daher möglich, dass Probanden bei der Beschreibung und Bewertung der einzelnen Konzepte unbewusst versucht haben, einen stimmigen Gesamtfahrzeugcharakter zwischen zu bewertenden Konzepten und dem Fahrzeug, mit Hilfe dessen die Ausprägungen erlebt wurden, herzustellen. Da die verschiedenen Experimente mit dem gleichen Fahrzeugtyp durchgeführt wurden, ist während der einzelnen Experimente der Fahrzeugcharaktereinfluss jedoch als konstant anzusehen und daher können die dargestellten Ergebnisse als in sich valide angenommen werden.

Eine weitere Rahmenbedingung dieser Arbeit stellt die **fokussierte Analyse des Zusammenspiels Fahrer-Fahrzeug-Umfeld** dar, wobei dem Fahrer lediglich Rückmeldungen durch die Fahrzeugreaktion vermittelt wurden und der Einfluss von unterstützenden Informationsdarstellungen und Fahrerassistenzsystemen, soweit möglich, ausgeklammert wurde. Mit Hilfe von Fahrerassistenzsystemen könnten dem Fahrer beispielhaft zusätzlich Informationen übermittelt werden, die diesen bei der Einstellung eines effizienten Fahrverhaltens unterstützen (POPIV 2012). Auch die Akustik stellt einen weiteren Einflussparameter auf das Erleben des Fahrers dar. In den einzelnen Experimenten wurden die Probanden bezüglich der energetischen Äquivalenz der einzelnen Konzepte instruiert, jedoch konnten diese einzig bei der mit dem Lösen des Fahrpedals aktivierten Rekuperation eine akustische Rückmeldung dieses Fahrzustandes wahrnehmen. Dieser Einfluss kann sich unter anderem auf die erlebte Präsenz der Energierückgewinnung auswirken, da nach den Ergebnissen dieser Arbeit sowie von TURRENTINE et al. (2011) Fahrer eine akustische Rückmeldung zur Rekuperation positiv erleben.

Der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Bewertungsmethode zur Charakterisierung des Erlebens der Fahrzeuglängsführung sowie der gewonnen Ergebnisse liegen spezifische Rahmenbedingungen zu Grunde. Diese Rahmenbedingungen stellen die in den Experimenten verwendete Stichprobe aus Mitarbeitern eines Automobilherstellers, die Lokalisierung der Experimente im Verkehrsraum München, das verwendete Versuchsfahrzeug sowie die fokussierte Analyse der Fahrzeugrückmeldung als Informationskanal des Fahrers, dar. Der Einfluss dieser den Experimenten zu Grunde liegenden Rahmenbedingungen ist bei der Übertragung der Bewertungsmethode und der Ergebnisse zu beachten.

7.2 Angewendete Methodik

Im folgenden Abschnitt erfolgt eine Diskussion der im Rahmen der Arbeit entwickelten und angewendeten Methodik. Dies betrifft einerseits die Methodik der in Kapitel 5 und 6 vorgestellten Experimente, als auch eine Diskussion der in Abschnitt 3.2 beschriebenen Beschreibungsdimensionen der Fahrzeuglängsführung.

7.2.1 Experimente zur Charakterisierung des Fahr-Erlebens

Da die durchgeführten Experimente eine ähnliche Versuchsmethodik aufweisen, werden im Folgenden Unterschiede zwischen den einzelnen Experimenten sowie die verwendete Methodik diskutiert. Dies betrifft im Einzelnen das durchgeführte Wahrnehmungsexperiment, die eingesetzten qualitativen und quantitativen Methoden zur Erhebung der Beschreibungsdimensionen der Fahrzeuglängsführung sowie der Auswertung des objektiven Fahrverhaltens und eine Diskussion der im Rahmen der Experimente aufgetretenen Störeinflüsse.

Zur Vorbereitung des Experiments Charakterisierung möglicher Grundkonzepte wurde ein **Wahrnehmungsexperiment** durchgeführt, im Rahmen dessen ermittelt werden konnte, dass die notwendige Verzögerungsdifferenz zweier Konzepte, die vom Fahrer gezielt unterschieden werden können, mit ca. $0,28 \text{ m/s}^2$ angegeben werden kann. Ein Vergleich dieser Verzögerungsdifferenz mit der im Experiment gewählten Niveauschrittweite zeigt hierbei jedoch, dass die Verzögerungsdifferenz lediglich um 53 % höher ausgeprägt ist als die untersuchte Niveauschrittweite, weswegen von einer Unschärfe der Aussage hin zu einer geringeren Wahrnehmungsschwelle auszugehen ist. Für die vorliegende Arbeit stellt sich die ermittelte Ergebnisschärfe jedoch als ausreichend dar, da die hieraus abgeleiteten und untersuchten Grundkonzepte und Gestaltungskonzepte eine deutlich höhere Verzögerungsdifferenz aufweisen. Für eine detailliertere Ableitung von Aussagen bezüglich der Wahrnehmungsschwelle von Fahrzeugverzögerungen sollte der Versuch mit einer geringeren Niveauschrittweite und mit einer höheren Probandenanzahl wiederholt werden.

Im Rahmen der durchgeführten Experimente wurden die Methoden Verbalisierung des Erlebten und das Leitfadeninterview als **Methoden zur Erhebung qualitativer Daten** eingesetzt. Hierbei erfolgt durch die Methode Verbalisierung des Erlebten eine Erhebung des Denkflusses der einzelnen Probanden im Rahmen der Experimente. Ähnlich wie bei MIKOS (2005) konnte durch die Verwendung der Methode in den Experimenten festgestellt werden, dass Probanden hierdurch spezifische Aspekte fokussierter erleben. Berichten Probanden beispielhaft innerhalb einer Fahrt mit einem Konzept von einem spezifischen Aspekt, führt dies dazu, dass diese auch versuchen die Ausprägung dieses Aspekts bei der Fahrt in einem anderen Konzept zu beschreiben. Zusätzlich kann auch deutlich festgestellt werden, dass Probanden die einzelnen Erlebensaspekte im Anschluss an die erste Durchführung der Befragung mit Hilfe des Fragebogens deutlicher während der Fahrt reflektieren und bewusster beschreiben. Dies führt wiederum im Laufe der Versuchsdurchführung zu einer gewissen Fokussierung auf die vorgegebenen oder selbst erkannten Aspekte und zu einer reduzierten individuellen explorativen Auseinandersetzung mit den Konzepten, ähnlich wie von VÖLZKE (2012) beschrieben. Dennoch zeigen die Experimente auch, dass der Vergleich verschiedener Konzepte Probanden bei der Benennung und Bewertung verschiedener Aspekte unterstützt.

Ein ähnliches Verhalten kann auch bei der Durchführung der Interviews festgestellt werden. Hierbei zeigte sich, dass Probanden besonders bei der ersten Erhebung des Leitfadeninterviews über die erlebten Aspekte reflektierten. In der oder den darauf folgenden Bewertungsfahrten versuchen Probanden hingegen, die hinterfragten Inhalte bereits im Rahmen der Verbalisierung zu beantworten. Bei erneuter Ansprache im Rahmen der Interviews verweisen die Probanden anschließend häufig auf das bereits verbalisierte. Zwischen der Verbalisierung des Erlebten und der Erhebung im Interview nach der Bewertungsfahrt besteht jedoch der Unterschied der ausgeprägteren Reflexion (vgl.

Abschnitt 2.1.3). Hierbei sind die Probanden im Rahmen der Interviews erneut anzuregen, das Erlebte zu reflektieren und zu beschreiben. Im Rahmen der Interviews wirkt zusätzlich unterstützend, dass vom Fahrer keine Nebenaufgabe durchzuführen ist, die dessen Konzentration benötigt und dieser sich somit auf die Reflexion des Erlebten konzentrieren kann. Die im Rahmen der Interviews gewählte Unterscheidung zwischen dem an jede Bewertungsfahrt folgenden Interview und dem Abschlussinterview unterstützt zudem die Auswertbarkeit der Daten. Auch wenn es vielen Probanden im Rahmen der Interviews nach einzelnen Konzepten leichter fällt diese vergleichend zu beschreiben, so können durch eine spezifische Reflexion des erlebten Konzepts dessen konkrete Eigenschaften erhoben werden. Eine detaillierte vergleichende Bewertung stellt sich demgegenüber erst schlüssig dar, wenn vom Probanden die gesamten zu bewertenden Konzepte erlebt wurden und somit die Konzepte im Rahmen des Abschlussinterviews gezielt gegenübergestellt werden können. Zur Auswertung der erhobenen qualitativen Daten stellt das in Abschnitt 3.1.2 erwähnte Vorgehen der qualitativen Inhaltsanalyse nach MAYRING (2010) ein adäquates Vorgehen dar. Zusammenfassend bietet der Einsatz von qualitativen Methoden deutliches Potenzial der Erhebung wichtiger Zusammenhänge und Wechselwirkungen, mit Hilfe derer beispielhaft die Ausprägung erhobener quantitativer Daten verdeutlicht werden kann.

Neben den qualitativen Methoden wurden im Rahmen der durchgeführten Experimente als **Methode zur Erhebung von quantitativen Daten** zur Beschreibung des subjektiven Fahrerlebens Fragebögen eingesetzt. In den einzelnen Experimenten erfolgte zusammen mit der Erhebung soziodemographischer Daten auch die Erhebung des Grads an Fahrerfahrung mit Elektrofahrzeugen. Auch wenn dieser Parameter nicht umfassend ausgewertet wurde, konnten hierdurch dennoch Streuungen bezüglich der abgegebenen Bewertungen der Ausprägungen der Erlebensaspekte charakterisiert werden. Für eine stichhaltige Analyse dieses Parameters sind jedoch Versuche mit höherer Probandenanzahl mit und ohne Fahrerfahrung mit Elektrofahrzeugen nötig. Zur Erfassung des Grads an Fahrerfahrung stellt sich für den in dieser Arbeit untersuchten Freiheitsgrad des Schleppmoments die Vorprägung durch Fahrzeuge mit hohem Schleppmoment als wesentlicher Parameter dar. Diese Vorprägung stellt sich nach Erfahrungen der durchgeführten Experimente bereits nach geringer zurückgelegter Wegstrecke ein, falls der individuelle Fahrer bereit ist, die geänderte Bedienung zu adaptieren.

Der Einstieg in die Bewertungsfragebögen der einzelnen Konzepte erfolgte einerseits mit Hilfe des Self-Assessment-Manikins nach LANG (1980) und andererseits mit Hilfe der Smiley-Skala nach JÄGER (2004). Besonders bezüglich der Dominanzskala des Self-Assessment-Manikins zur Erfassung der erlebten Kontrolle traten bei den Probanden häufig Unsicherheiten bezüglich der Anwendung auf, zudem wurden die untersuchten Konzepte als zu geringfügig unterschiedlich beschrieben, um konkret mit Hilfe dieser Skala erfasst werden zu können. Basierend auf diesen Gründen wurde im Experiment Charakterisierung abgeleiteter Gestaltungskonzepte die erlebte Kontrolle mit Hilfe einer Intensitätsskala erhoben und zusätzlich Aspekte des Komforts durch die ebenfalls für die Probanden einfacher verständliche Smiley-Skala nach JÄGER (2004) evaluiert. Zur Erhebung der weiteren Erlebensmerkmale wurden Aussagen und Fragen verknüpft mit einer siebenstufigen Intensitäts- und Zustimmungsskala eingesetzt. Die verwendeten Skalenbezeichnungen orientieren sich dabei an den von BORTZ & DÖRING (2006) vorgeschlagenen Bezeichnungen,

wobei die Skalenanker auf die Extrem- und Mittelausprägungen reduziert wurden. Unterstützend wurde in beiden Experimenten die Skala durch einen Erfüllungsgrad graphisch verdeutlicht, der nach Aussagen der Probanden bei der Beantwortung unterstützte. Im Vergleich der beiden durchgeführten Experimente wurden zwei unterschiedliche Skalenbezeichnungen für die Zustimmungsskala verwendet (trifft zu bzw. stimmt sehr), die beide von BORTZ & DÖRING (2006) vorgeschlagen werden und ausgehend von den Erfahrungen der Experimente keinen Einfluss auf die erhobenen Aspekte ausüben. Zusätzlich wurde im Experiment Charakterisierung abgeleiteter Gestaltungskonzepte die Benennung der Mittelausprägung ebenfalls reduziert, um einer Flucht zur Mittelkategorie weiter zu begegnen. Die Ausprägung der Skalen mit sieben Stufen kann ausgehend von Aussagen der Probanden und der Ergebnisse als adäquat für die Erhebung der Aspekte angenommen werden. Ein Vergleich beider Experimente zeigt, dass sich im Experiment Charakterisierung möglicher Grundkonzepte gegenüber dem Experiment Charakterisierung abgeleiteter Gestaltungskonzepte die Antworten stärker über den gesamten Skalenbereich verteilt darstellen. Im Experiment Charakterisierung abgeleiteter Gestaltungskonzepte werden die untersuchten Gestaltungskonzepte positiv bewertet, weswegen durch eine detailliertere Anpassung der Skalen im Bereich positiver Bewertung eine differenziertere Darstellung ermöglicht würde. Neben der Erhebung der Erlebensaspekte wurde zusätzlich in beiden Experimenten mit Hilfe des Messinstruments AttrakDiff mini der erlebte Produktcharakter ermittelt. Sowohl die Ergebnisse, als auch die Aussagen der Probanden unterstützen hierbei den Einsatz dieses semantischen Differenzials im Rahmen der Bewertung. Lediglich die Qualitätsdimension hedonische Qualität-Identität wurde von den Probanden teilweise als schwierig zu beantworten empfunden, da diese mit den Items *stilvoll* und *wertvoll* beziehungsweise deren negativen Gegenpaaren nur begrenzt einen Zusammenhang zu Konzepten der Fahrzeuglängsführung herstellen konnten. Im Vergleich zur Langform des Differentials AttrakDiff mit 28 Items (HASSENZAHL et al. 2003) können jedoch basierend auf Erfahrungen von Vorstudien die ausgewählten zehn Items der Kurzform adäquater mit der untersuchten Fragestellung in Verbindung gebracht werden. Im Experiment Charakterisierung abgeleiteter Gestaltungskonzepte wurde zusätzlich mit Hilfe des Messinstruments Needs von KNOBEL et al. (2012) die Erfüllung der psychologischen Bedürfnisse nach Sicherheit, Kompetenz, Stimulation und Autonomie erhoben. Die Übertragung der gewählten Items auf die konkreten zu bewertenden Gestaltungskonzepte wurde von den Probanden positiv beschrieben, was durch die Ergebnisse des Messinstruments, verglichen mit den mit Hilfe der qualitativen Methoden erhobenen Daten, unterstrichen wird.

Im Abschlussfragebogen der durchgeführten Experimente wurde die konkrete Präferenz spezifischer Konzepte für definierte Fahrsituationen erhoben. Durch diese Erhebung kann die Bewertung der Erlebensaspekte und der Attraktivität der verschiedenen Konzepte der konkreten Präferenz eines Konzepts für spezifische Fahrsituationen gegenübergestellt werden. Bei dieser Erhebung ist jedoch zu berücksichtigen, dass die beschriebenen Fahrsituationen den Probanden zum Zeitpunkt der Bewertung unterschiedlich präsent waren und deren Bewertung demnach unter Umständen eine gewisse Extrapolation beinhaltet. Dies betrifft speziell beschriebene Fahrsituationen wie eine *monotone Konstantfahrt auf der Autobahn* oder eine *Freizeitfahrt*. Hat der Proband unter Umständen eine derartige Fahrsituation, wie die monotone Konstantfahrt, erlebt, kann dieser eine Bewertung abgeben. Demgegenüber

stellt die Bewertung der Präferenz für die Fahrsituation *Freizeitfahrt* eine Extrapolation dar, die verschiedene Probanden unterschiedlich einschätzen (z. B. Fahrt mit Familie, Fahrt auf Passstraße). Dies macht eine Deutung speziell derartiger Fahrsituationen schwierig.

Das subjektive Fahr-Erleben wurde zusätzlich in beiden durchgeführten Experimenten einer **Auswertung von objektiven Kennwerten**, die basierend auf Sensorsignalen während der Fahrt ermittelt wurden, gegenübergestellt. Als Ausgangspunkt dient eine Charakterisierung des Fahrverhaltens aufbauen auf verschiedenen Ebenen (Bedieneingaben, Fahrzeugreaktion, Zusammenspiel mit Umfeld), die den Regelkreis Fahrzeuglängsführung beschreiben. Die hieraus abgeleiteten und vorgestellten Kennwerte beschreiben das Fahrverhalten in den spezifisch untersuchten beziehungsweise ausgewerteten Verkehrsräumen. Durch eine tiefergehende Analyse des Fahrverhaltens in spezifisch auftretenden Fahrsituationen könnten weitere Kennwerte abgeleitet werden, die zusätzlich konkrete Prozesse des Fahrverhaltens detaillierter fokussierten. Zur Identifikation spezifischer auszuwertender Fahrsituationen sollten die einzelnen Fahrten beispielhaft mit einer Videoaufzeichnung festgehalten werden und damit die Auslöser für ein konkretes eingestelltes Fahrverhalten dokumentiert werden. Mit Hilfe derartiger Auswertungen könnten beispielhaft Aussagen über den eingestellten Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug abgeleitet werden, die basierend auf den im Rahmen der Experimente aufgezeichneten Daten nicht valide möglich sind. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass durch die Gegenüberstellung des subjektiven Fahr-Erlebens und des objektiven Fahrverhaltens konkrete Zusammenhänge aufgezeigt und verdeutlicht werden können, die eine explizite Erhebung eines spezifischen Datentyps nicht zugänglich macht.

Zur Beschreibung des subjektiven Fahr-Erlebens und des objektiven Fahrverhaltens wurden im Rahmen der vorgestellten Experimente Probandenversuche im Realverkehr durchgeführt. Speziell im Vergleich mit Untersuchungen im Fahrsimulator (OSTGATHE 2012) treten im Realverkehr deutlich höhere **Störeinflüsse** auf die konkret manipulierten Variablen auf. Demgegenüber werden spezifische Aspekte, beispielhaft die Beeinflussbarkeit, im Realverkehr deutlicher erlebt, weswegen diese Untersuchungsart für derartige Fragestellungen ausdrücklich empfohlen wird. Die auftretenden Störeinflüsse können jedoch durch die Vorgabe der Fahrstrecken und Fahrtzeiten bereits erheblich gemindert allerdings nie derart kontrolliert werden, wie in Untersuchungen in Fahrsimulatoren. Zur Definition von Versuchsstrecken existieren aktuell lediglich wenige Gestaltungsrichtlinien um ein alltägliches Fahrverhalten auf diesen abzubilden. Beispielhaft kann hier die Arbeit von GRIMM (2012) aufgeführt werden, im Rahmen derer eine spezifisch ausgewählte Versuchsstrecke vorgestellt wird und bezüglich der Verallgemeinerbarkeit diskutiert wird. Demgegenüber wurde in der vorliegenden Arbeit ein retrospektiver Ansatz gewählt und basierend auf den erhobenen Daten untersucht, inwieweit diese dem mit Hilfe von Fahrzyklen standardisierten Fahrverhalten entsprechen. Basierend auf einer derartigen Gegenüberstellung des durch die Streckenwahl bestimmten Fahrverhaltens im Experiment und des Fahrverhaltens in einem spezifischen Fahrzyklus kann folgend abgeleitet werden, in welchen Kontext Aussagen übertragen werden können.

Weitere Störeinflüsse resultieren aus einer unterschiedlichen Zeitdauer des Erlebens der einzelnen zu bewertenden Konzepte und damit einem unterschiedlichem Anlernzustand, der sich auf die Bewertung auswirkt (BENGLER 2007). Im Experiment Charakterisierung

möglicher Grundkonzepte haben die Probanden die Möglichkeit, jedes der vier zu bewertenden Grundkonzepte in ähnlichen Fahrsituationen und einer ähnlichen Gesamtzeit zu erleben. Diese Gesamtzeit je Grundkonzept (ca. 20 Minuten) stellt sich nach Erfahrungen der Experimente für eine Bewertung der Grundkonzepte als ausreichend dar, nach längerer Anlernzeit könnten jedoch Fahrer speziell die Interaktion mit den Grundkonzepten höheren Schlepptoments weiter verfeinern und differenzierter bewerten. Insgesamt ist aber davon auszugehen, dass die verfeinerte Möglichkeit der Interaktion eher zu einer positiveren Beurteilung führen würde, was auch die Bewertungen der Probanden, die bereits eine Fahrerfahrung mit Konzepten höheren Schlepptoments aufweisen, zeigen (vgl. Abschnitt 5.2.7). Demgegenüber erfolgt im Experiment Charakterisierung der abgeleiteten Gestaltungskonzepte ein Vergleich der verschiedenen Gestaltungskonzepte auf unterschiedlichen Streckenabschnitten und zusätzlich ist eine deutlich unterschiedliche Anlernzeit zu verzeichnen. Speziell diese unterschiedliche Anlernzeit resultiert aus der Möglichkeit der freien Nutzung, im Rahmen derer die Probanden explizit den Umgang mit dem Gestaltungskonzept Schalt paddels einüben können. Im Rahmen dieser freien Nutzung legen die Probanden jedoch eine unterschiedliche Wegstrecke in unterschiedlichen Verkehrsräumen zurück, so dass ein unterschiedlicher Grad des Anlernzustands zu verzeichnen ist. Dieser Umstand führt des Weiteren dazu, dass beispielhaft basierend auf der in Abbildung 6.19 dargestellten Wechselhäufigkeit abhängig bestimmter zurückgelegter Wegstrecken keine Langzeitnutzungshäufigkeit abgeleitet werden kann. Hierfür ist einerseits die ausgewertete Wegstrecke insgesamt zu gering, andererseits legen Probanden die Wegstrecke in einem unterschiedlichen Anteil in verschiedenen Verkehrsräumen zurück. Speziell Probanden, die im Rahmen der freien Nutzung eine hohe Wegstrecke zurücklegen, weisen einen höheren Anteil im ruralen Verkehrsraum auf, in dem jedoch eine niedrigere Wechselhäufigkeit zu verzeichnen ist.

Einen weiteren Störeinfluss in den durchgeführten Experimenten stellt der Versuchsleiter im Rahmen eines begleiteten Probandenversuchs dar. Die Präsenz des Versuchsleiters im Fahrzeug wirkt sich einerseits durch das Vorhandensein einer Nebenaufgabe beanspruchend und damit ähnlich wie bei RAUCH et al. (2005) beschrieben auf das Erleben aus, andererseits wirkt sich ein höherer Aktivitätszustand durch die Teilnahme in einem Probandenversuch auf den Probanden und dessen Erleben sowie Verhalten aus. Um die Beeinflussung des Probanden weitestgehend zu reduzieren sind vom Versuchsleiter gewisse Regeln, ähnlich wie von BORTZ & DÖRING (2006) für den Einsatz von qualitativen Methoden beschrieben, zu beachten. Speziell zur Reduktion der Beeinflussung im Rahmen der Bewertung mit Hilfe des Fragebogens wirkte sich das im Rahmen der Experimente durchgeführte Verlassen des Fahrzeugs durch den Versuchsleiter positiv aus.

Die gewählte Stichprobe, die vollständig aus Mitarbeitern eines Automobilherstellers besteht, wirkt zusätzlich als Störeinfluss auf die erhobenen Ergebnisse. Eine detaillierte Beschreibung dieses Störeinflusses wurde bereits in Abschnitt 7.1 vorgenommen. Diese genannten Störeinflüsse sind als Rahmenbedingungen bei der Übertragung der Erkenntnisse zu berücksichtigen.

7.2.2 Beschreibungsdimensionen der Fahrzeuglängsführung

In Abschnitt 3.2 wurden verschiedene Beschreibungsdimensionen der Fahrzeuglängsführung vorgestellt, die als theoretische Basis für die Erhebung des subjektiven Fahr-Erlebens in den durchgeführten Experimenten dienen. Diese Beschreibungsdimensionen basieren einerseits auf in der Literatur berücksichtigten Erlebensdimensionen, andererseits auf im Rahmen der Arbeit durchgeführtem explorativem Vorgehen mit dem Ziel, der Ableitung, Konkretisierung und Operationalisierung der Erlebensaspekte der Fahrzeuglängsführung (Abschnitt 3.1). Die im Rahmen dieser Beschreibungsdimensionen beschriebenen Aspekte können einerseits als das Erleben der Fahrzeuglängsführung charakterisierende Aspekte beschrieben werden, andererseits durch die ein Erlebnis der Fahrzeuglängsführung unterstützenden psychologischen Bedürfnisse sowie die auf das Erleben einwirkenden Randbedingungen zusammengefasst werden.

Die vorgestellten **Erlebensdimensionen der Fahrzeuglängsführung** Sicherheit, Energiegefühl, Diskomfort und Komfort können basierend auf den Ergebnissen der Experimente hierarchisch in verschiedene Ebenen eingeordnet werden. Hierbei stellen die Dimensionen Sicherheit und Diskomfort spezifische Rahmenbedingungen des Erlebens dar, die ein Komforterleben ermöglichen. Bezogen auf das im Rahmen der Experimente variierte Niveau des Schlepptoments sollte ein Mindestmaß an Schlepptoments in Fahrsituationen, in denen ein Verzögerungsbedarf besteht, vorhanden sein, damit der Fahrer die Fahrzeuglängsführung einerseits bezüglich erlebter Sicherheit kontrollieren kann, andererseits jedoch bezüglich erlebtem Diskomfort nicht zu viele Pedalwechsel durchzuführen sind. Stellen sich beide Dimensionen positiv ausgeprägt dar, stellt dies eine notwendige Voraussetzung für einen erlebten Komfort des Fahrers dar. Ähnliches ermitteln auch ZHANG et al. (1996) im Rahmen der von ihnen durchgeführten Clusteranalyse durch die Charakterisierung des Komforts unter anderem mit dem Parameter Entlastung und Entspannung. Zusätzlich beschreiben ZHANG et al. (1996) als einen Parameter des erlebten Komforts den Eindruck. Im Rahmen der durchgeführten Experimente wirkten sich auf den erlebten Eindruck besonders die Unterschiedlichkeit zum gewohnten Fahrzeugverhalten und die damit einhergehende Besonderheit des Fahrzeugs aus. Dies führt beispielhaft im Experiment Charakterisierung abgeleiteter Gestaltungskonzepte zu einer leicht negativeren Bewertung des erlebten Handlungsgenusses nach der Anlernphase an das Fahrzeug sowie des Kennenlernens der Möglichkeit der Einflussnahme mit Hilfe der Schaltpaddels.

Gegenüber dem Zusammenwirken der Erlebensdimensionen Sicherheit, Diskomfort und Komfort stellt die Erlebensdimension Energiegefühl eine eigenständige, abgrenzbare Beschreibungsdimension dar. Hierbei zeigen speziell die erhobenen qualitativen Daten, dass die Ausprägung der erlebten Energieeffizienz von den Fahrern deutlich reflektiert werden muss, um eine Einschätzung ableiten zu können und daher nicht primär erlebt werden kann. Hierzu beschreiben Probanden, dass diese eine Einschätzung des durch die eingestellte Fahrweise resultierenden Energieverbrauchs in Bezug zu einer definierten Wegstrecke oder spezifischen Fahrsituationen herstellen. Bezüglich des Energieverbrauchs ist es vielen Probanden bewusst, dass ein dynamischeres Beschleunigungsverhalten einen höheren Energieverbrauch nach sich zieht. Demgegenüber besitzen die Probanden jedoch keine konkrete Vorstellung bezüglich des Einflusses der Energierückgewinnung auf die gesamte

Energieeffizienz. Speziell bei einer Ausprägung der Rekuperation als Schlepptomoment können die Probanden die Verzögerungswirkung der Rekuperation bewusster erleben, was dazu führt, dass diese den Einfluss auf die Gesamteffizienz häufig überschätzen. Zwischen den beiden Teilaspekten des Energiegefühls kann demnach zwischen einem Erleben der Energierückgewinnung und einer reflektierten Einschätzung der Gesamtenergieeffizienz unterschieden werden.

Die Ergebnisse der Experimente zeigen zudem, dass der Grad der Erfüllung psychologischer Bedürfnisse eine unterstützende Voraussetzung für das Auftreten eines **Fahr-Erlebnisses** darstellt. Im Bezug zu der im Rahmen der Experimente variierten Abstimmung des Schlepptomoments bezeichnen die Probanden die Möglichkeit Fahrzeugverzögerungen rein durch das Lösen des Fahrpedals einzustellen (Ein-Pedal-Bedienung), als stimulierend und beschreiben dies auch als positives Erlebnis. Neben der stimulierenden Wirkung beschreiben Probanden zusätzlich den durch die Ein-Pedal-Bedienung möglichen Kompetenzaufbau positiv. Dieser Kompetenzaufbau gestaltet sich ähnlich wie die von DICK (2001) beschriebene Expansion des Fahrers im Sinne der Verfeinerung der Nuancen der Einflussnahme. Zusätzlich wird von den Probanden bei einem Bedienkonzept hohen Schlepptomoments die Energierückgewinnung positiv reflektiert und als Kompetenzerlebnis beschrieben. Hierbei berichten Probanden, dass während der einzelnen Fahrten lediglich selten eine Betätigung des Bremspedals durchgeführt werden musste, weswegen im Rahmen der Fahrt durch das eingestellte Fahrverhalten die gesamte Verzögerungsenergie rekuperativ gewandelt werden konnte und damit keine Verzögerungsenergie in den Reibbremsen dissipativ umgesetzt wurde.

Auf das Erleben des Fahrers wirken zudem als **Randbedingungen** fahrzeugspezifische Parameter, ein fahrerspezifischer Einfluss sowie ein Einfluss durch das Verkehrsumfeld ein. Hierbei wurden im Rahmen der Experimente die auftretenden Fahrsituationen zur Beschreibung des Verkehrsumfelds sehr grob mit einer Kategorisierung des Verkehrsraums unterschieden. Für die Beschreibung des Erlebens der Fahrzeuglängsführung würde sich basierend auf den Ergebnissen der Experimente jedoch positiver eine Einteilung nach dem Grad der nötigen Einflussnahme des Fahrers auf die Fahrzeuglängsführung darstellen. Beispielhaft stellt sich basierend auf den Ergebnissen der Experimente ein ähnliches Fahr-Erleben in einem Konzept in monotonen Fahrsituationen dar, unabhängig deren Auftreten im urbanen oder ruralen Verkehrsraum. Der fahrerspezifische Einfluss auf das Erleben wurde in der Einordnung der verschiedenen Erlebensaspekte durch die Emotionen des Fahrers und dessen Grundfahrertyp angegeben. Diese beiden Einflussparameter stellen jedoch sehr grobe Kriterien dar, die zusätzlich schwierig zu operationalisieren sind. Speziell um jedoch Streuungen der abgegebenen Bewertungen spezifischer beschreiben zu können, sollte der fahrerspezifische Einfluss konkreter untersucht werden. Neben diesen Randbedingungen konnte durch die Analyse fahrzeugspezifischer Parameter deren Einfluss auf das Fahr-Erleben gezielt herausgestellt werden.

Der **Anspruch der vorgestellten Beschreibungsdimensionen der Fahrzeuglängsführung** stellt nicht die Darstellung eines abgeschlossenen, validen Modells zur Beschreibung des Erlebens der Fahrzeuglängsführung dar. Zur Ableitung eines derartigen allgemeinen Modells müsste die der Darstellung zugrunde liegende Datenbasis ausgedehnt werden

(u. a. Probandenkollektiv, Untersuchungsraum), zudem müssten die verschiedenen Dimensionen und Wechselwirkungen mit Hilfe statistischer Methoden analysiert werden. Basierend auf den vorgestellten Beschreibungsdimensionen sollen vornehmlich Einflussfaktoren auf das subjektive Erleben der Fahrzeuglängsführung aufgezeigt werden, die damit als Basis für folgende Untersuchungen dienen.

Im Rahmen dieses Abschnitts erfolgte eine kritische Diskussion der entwickelten Bewertungsmethoden zur Charakterisierung des Fahr-Erlebens der Fahrzeuglängsführung sowie der den Bewertungsmethoden zu Grunde liegenden Beschreibungsdimensionen der Fahrzeuglängsführung. Diese kritische Diskussion basiert auf Erfahrungen der durchgeführten Experimente dieser Arbeit erweitert um in der Literatur diskutierte Aspekte.

7.3 Bezug zur Fragestellung

In Abschnitt 1.1 wurde die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit mit Hilfe von Leitfragen vorgestellt. Diese Leitfragen stellen das Gerüst der Arbeit dar und können dadurch den verschiedenen Kapiteln dieser Arbeit gegenübergestellt werden. Die erste Leitfrage beschreibt die Ermittlung von Aspekten, mit Hilfe derer das Erleben der Fahrzeuglängsführung charakterisiert werden kann. Dieser Teilschritt wurde im Rahmen dieser Arbeit in Kapitel 3 vorgestellt. Die Operationalisierung dieser Erlebensaspekte mit dem Ziel an Hand derer verschiedene Konzepte der Fahrzeuglängsführung zu evaluieren, stellt die zweite Leitfrage dar, welche in den Beschreibungen der Versuchsmethodik der durchgeführten Experimente vorgestellt wurde (Abschnitt 5.1 und 6.1). Demgegenüber beschreiben die dritte und vierte Leitfrage die Analyse der ermittelten Erlebensaspekte in verschiedenen Konzepten der Fahrzeuglängsführung, mit dem Ziel, Konzepte abzuleiten, die dem Fahrer ein positives Fahr-Erleben vermitteln (vgl. Abschnitt 5.2 und 6.2). Speziell diese beiden Leitfragen können zusätzlich fokussierter durch die einzelnen den Experimenten zu Grunde liegenden Hypothesen diskutiert werden. Da die Ergebnisse der durchgeführten Experimente bereits in den einzelnen Ergebniskapiteln ausführlich dargestellt wurden, erfolgt die Diskussion der Hypothesen lediglich basierend auf der Darstellung des prägendsten Erlebensaspekts je Erlebensdimension.

Die erste in Abschnitt 3.2.9 vorgestellte Hypothese beschreibt, dass **verschiedene Konzepte der Fahrzeuglängsführung zu einem unterschiedlichen Erleben** führen, welches mit den in Abschnitt 3.2 vorgestellten Erlebensaspekten der Fahrzeuglängsführung charakterisiert werden kann (H1). Basierend auf den Ergebnissen der durchgeführten Experimente kann diese Hypothese für alle untersuchten Erlebensdimensionen bestätigt werden. Zur Verdeutlichung erfolgt im Folgenden eine zusammenfassende Diskussion der Auswirkung der im Rahmen des Experiments Charakterisierung möglicher Grundkonzepte untersuchten Grundkonzepte auf das Erleben und Erlebnisse der Fahrzeuglängsführung (vgl. Tabelle 7.1).

Tabelle 7.1: Einfluss des Schleppmoments auf das Erleben und Erlebnis der Fahrzeuglängsführung (H1)

	Erleben				Erlebnis
	Sicherheit	Energiegefühl	Diskomfort	Komfort	Psy. Bedürfnisse
① Segeln $a_x = \text{FWID}$	Kontrollverlust	Einsetzen Reibbremsen	Viele Pedalwechsel	Verkehrskonform	Hinterfragung Kompetenz
② Verbrenner-Schleppmoment $a_x = -0,8 \text{ m/s}^2$	Gewohnte Kontrolle	Neutral	Pedalwechsel nötig	Verkehrskonform	Langweilig
③ Erlebbares Schleppmoment $a_x = -1,5 \text{ m/s}^2$	Hohe Kontrolle	Rekuperation erlebt	Vorausschau nötig	Ein-Pedal-Bedienung	Stimulation
④ Hohes Schleppmoment $a_x = -2,3 \text{ m/s}^2$	Symmetrie in Fahrpedal	Rekuperation stark erlebt	Präzise Pedalinteraktion nötig	Modulation Wunschverzögerung	Kompetenzerweiterung

Die niedrige Verzögerung rein durch die Fahrwiderstände beim Lösen des Fahrpedals im Grundkonzept Segeln wird vornehmlich als Kontrollverlust der Fahrzeuglängsführung erlebt, was einerseits zu einem Diskomfort durch die hohe Häufigkeit an durchzuführenden Pedalwechseln führt. Andererseits wird das Grundkonzept Segeln bezüglich des Energiegefühls negativ erlebt, da sich der Grad an rekuperativ wandelbarer Verzögerung als schwierig abschätzbar darstellt und somit Fahrer den aktuellen Verzögerungszustand (rekuperativ oder unterstützend dissipativ) nicht intuitiv einschätzen können. Zusätzlich können auch bei ausgeprägter Vorausschau durch die niedrige Verzögerung beim Lösen des Fahrpedals kaum Fahrsituationen mit einer derartigen Verzögerung eingestellt werden, was als verkehrskonformes Verhalten negativ bezüglich dem Komfort erlebt wird und als Hinterfragung der Fahrkompetenz von den Fahrern beschrieben wird. Die Fahrzeugabstimmung eines Grundkonzepts Verbrenner-Schleppmoment wird in den verschiedenen Erlebensdimensionen weitestgehend neutral erlebt. Dies resultiert aus einer gewohnten Kontrolle der Fahrzeuglängsführung in Zusammenhang mit einem neutral erlebten Energiegefühl, bei dem weder die Energierückgewinnung noch die Energieeffizienz des Fahrverhaltens präsent erlebt wird, sowie einem neutralen Erleben des Diskomforts bezüglich der durchzuführenden Pedalwechsel und der nötigen Vorausschau. Die gleichartige Fahrzeugabstimmung des Grundkonzepts Verbrenner-Schleppmoment im Vergleich mit dem umgebenden Verkehr wird speziell in Fahrsituationen im ruralen Verkehrsraum mit niedriger Dynamik leicht positiv als Komfort erlebt. Bezüglich der Erfüllung der psychologischen Bedürfnisse wirkt die Fahrzeugabstimmung eines Verbrenner-Schleppmoments als langweilig, was aus der geringen Stimulation und dem geringen Potenzial der Erweiterung der Fahrkompetenz resultiert und somit lediglich untergeordnet die Auslösung von Erlebnissen der Fahrzeuglängsführung unterstützt. Die Fahrzeugabstimmung eines erlebbaren Schleppmoments führt durch die Möglichkeit der Auslösung vieler Verzögerungsvorgänge rein durch das Lösen des Fahrpedals (Ein-Pedal-Bedienung) gegenüber den beiden genannten Grundkonzepten zu einer deutlich gesteigerten Kontrolle,

einem positiven Erleben der Energierückgewinnung sowie erlebten Komfort. Bezüglich des erlebten Diskomforts wird die nötige Vorausschau in Fahrsituationen mit hoher Dynamik und dem in diesen Fahrsituationen nötigen Vergleich einer gegebenenfalls nötigen Geschwindigkeitsreduzierung mit dem Potenzial an Verzögerung beim Lösen des Fahrpedals als psychisch beanspruchend beschrieben. Demgegenüber wird die Möglichkeit der Ein-Pedal-Bedienung als stimulierend erlebt, wodurch ein derartiges Grundkonzept Potenzial zur Vermittlung eines Erlebnisses der Fahrzeuglängsführung bietet. Die Ausprägung der Fahrzeugabstimmung im Grundkonzept hohes Schleppmoment stellt sich positiv bezüglich der Erlebendimension Sicherheit dar, da eine derartige Fahrzeugabstimmung zu einer symmetrischen Interaktion mit dem Fahrpedal durch die Auslösung von ähnlich ausgeprägten Beschleunigungen und Verzögerungen führt, was als gesteigertes Situationsbewusstsein positiv erlebt wird. Bezüglich der Erlebendimension Diskomfort ist durch das höhere Potenzial der möglichen Ein-Pedal-Bedienung keine erweiterte Vorausschau nötig, jedoch ist das Verzögerungspotenzial mit einer präziseren nötigen Pedalinteraktion einzustellen, was physisch beanspruchend wirken kann. Dies wird ferner bezüglich dem erlebten Komfort beschrieben, so dass in diesem Grundkonzept die Wunschverzögerung vom Fahrer durch Modulation der Bedieneingabe angefordert werden kann. Zusammenfassend bietet das Grundkonzept hohes Schleppmoment das höchste Potenzial zur Ausbildung eines Erlebnisses der Fahrzeuglängsführung, welches durch die ausgeprägte Stimulation und die Möglichkeit der Erweiterung der Fahrkompetenz durch die Ein-Pedal-Bedienung unterstützt wird.

Tabelle 7.2: Einfluss von Fahrsituationen auf die Präsenz spezifischer Aspekte des Erlebens bzw. psychologischer Bedürfnisse, die Erlebnisse der Fahrzeuglängsführung unterstützen (H2)

	Erleben				Erlebnis
	Sicherheit	Energiegefühl	Diskomfort	Komfort	Psy. Bedürfnisse
Urbaner Verkehrsraum	Direktheit der Beeinflussung	Energierückgewinnung	Vorausschau und Pedalwechsel	Fahrgefühl Interaktionsmöglichkeit Pedalerie	Stimulation durch Reaktion auf Umfeld
Ruraler Verkehrsraum	Dosierbarkeit der Beeinflussung	Reflexion Energieeffizienz	Fußhaltung	Entspannung	Reflexion Kompetenz Fortbewegung

Die zweite in Abschnitt 3.2.9 vorgestellte Hypothese beschreibt die **Beeinflussung des Erlebens durch Fahrsituationen**, während dieser das Erleben stattfindet (H2). Basierend auf den Ergebnissen der durchgeführten Experimente kann diese Hypothese für alle untersuchten Beschreibungsdimensionen bestätigt werden. Dieser Einfluss wurde speziell im Experiment Charakterisierung möglicher Grundkonzepte untersucht, in dem in zwei Telexperimenten in unterschiedlichen Verkehrsräumen vier Grundkonzepte der Fahrzeuglängsführung analysiert wurden. Tabelle 7.2 zeigt hierzu die Auswirkung der untersuchten Verkehrsräume auf die Präsenz spezifischer Erlebensaspekte der jeweiligen Erlebendimensionen. Die beiden untersuchten Verkehrsräume unterscheidet ein unterschiedlicher Grad der nötigen Einflussnahme des Fahrers, der im Rahmen dieser Arbeit als Dynamik des Verkehrsraums beschrieben wurde. Ist im urbanen Verkehrsraum, durch die geringe Vorausschau und den

hohen Grad der Fremdbestimmung von Fahrsituationen durch den umgebenden Verkehr eine hohe Dynamik der Einflussnahme zu verzeichnen, können demgegenüber im ruralen Verkehrsraum durch die niedrigere Ausprägung der genannten Einflussparameter insgesamt Aspekte präsender vom Fahrer reflektiert werden.

Bezogen auf die einzelnen Erlebenaspekte führt die nötige hohe Dynamik im urbanen Verkehrsraum zu einer präsenten Bewertung der Direktheit der Einflussnahme, während im ruralen Verkehrsraum die Dosierbarkeit vorrangig bewertet werden kann, da dieser Verkehrsraum die Reflexion dieses Erlebenaspekts unterstützt. Bezüglich der Erlebendimension Energiegefühl stellt sich für den Fahrer die Energierückgewinnung im urbanen Verkehrsraum deutlich präsender im Vergleich zum ruralen Verkehrsraum dar, da in diesem häufiger das Potenzial der Verzögerung genutzt werden kann. Demgegenüber bietet der rurale Verkehrsraum durch die niedrigere Dynamik ein höheres Potenzial der Einstellung einer energieeffizienten Fahrweise und einer Reflexion dieser, weswegen dieser Aspekt im ruralen Verkehrsraum präsender erlebt wird. Der unterschiedliche Grad der Einflussnahme abhängig von der Dynamik der beiden Verkehrsräume wirkt sich zudem auf die Präsenz der Aspekte der Erlebendimension Diskomfort aus. Treten im dynamischen urbanen Verkehrsraum die psychische Beanspruchung durch die Vorausschau und die physische Beanspruchung durch nötige Pedalwechsel in den Vordergrund, wird im ruralen Verkehrsraum demgegenüber präsender die physische Beanspruchung durch die Fußhaltung erlebt. Bezüglich der Erlebendimension Komfort tritt im urbanen Verkehrsraum vorrangig der Nutzungskomfort, charakterisiert durch das Fahrgefühl der Interaktionsmöglichkeit mit der Pedalerie, in den Vordergrund, wohingegen der rurale Verkehrsraum ein höheres Potenzial der Entspannung bietet. Des Weiteren wirken sich die untersuchten Verkehrsräume auf den Grad der Erfüllung der psychologischen Bedürfnisse aus, weswegen die untersuchten Verkehrsräume differenziert die Ausbildung von Erlebnissen der Fahrzeuglängsführung unterstützen. Wirkt im dynamischen urbanen Verkehrsraum vornehmlich eine Stimulation auf den Fahrer ein, die aus dem Zusammenspiel der Fahrhandlung mit dem Umfeld resultiert, bietet der rurale Verkehrsraum demgegenüber präsender die Möglichkeit die Fahrhandlung nach den Wünschen des Fahrers einzustellen, was ein Kompetenzerlebnis, ähnlich der Verfeinerung der Nuancen der Einflussnahme nach DICK (2001), unterstützt.

Der **Einfluss von Erfahrungen und Prägungen des Fahrers auf dessen spezifisches Erleben** stellt die dritte in Abschnitt 3.2.9 beschriebene Hypothese dar (H3). Beispielhaft im Experiment Charakterisierung möglicher Grundkonzepte wurde dieser Einfluss durch die Erhebung des Grads der Fahrerfahrung mit Fahrzeugen höheren Schleppmoments dargestellt, jedoch führt diese Unterscheidung zu einer geringeren Stichprobengröße je Ausprägung und lässt dadurch keine statistisch abgesicherte Bewertung der Hypothese zu. Dennoch wird im Folgenden exemplarisch die Auswirkung der Fahrerfahrung von Probanden mit Fahrzeugen höheren Schleppmoments auf die Bewertung von Konzepten dargestellt. Diese zeigen, dass dieser Parameter zusätzlich einen Einfluss auf das Erleben der Fahrer ausübt. Von Probanden, die bereits eine Fahrerfahrung mit Konzepten höheren Schleppmoments aufweisen, wird die Dosierbarkeit dieser Konzepte präziser erlebt. Dies stellt sich nachvollziehbar dar, da diese Probanden bereits über einen längeren Zeitbereich diese Fähigkeit anlernen konnten. Daneben zeigt sich der höhere Anlernzustand zudem bezüglich des Energiegefühls. Probanden, die eine Fahrerfahrung mit Konzepten höheren Schleppmoments aufweisen, erleben die

Energierückgewinnung in den Grundkonzepten erlebbares Schleppmoment und hohes Schleppmoment differenzierter, da diesen das höhere Rekuperationspotenzial des Grundkonzepts hohes Schleppmoment deutlicher bewusst ist. Die Fahrerfahrung mit Konzepten höheren Schleppmoments führt außerdem zu einer Prägung bezüglich dem erlebten Diskomfort. Erleben Fahrer ohne Fahrerfahrung mit Konzepten höheren Schleppmoments im Grundkonzept Verbrenner-Schleppmoment die Häufigkeit an durchzuführenden Pedalwechseln neutral und ähnlich im Vergleich zu deren gewohnten Verhalten eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor, so erleben Probanden mit Fahrerfahrung die durchzuführenden Pedalwechsel deutlicher als störend, da diese die Möglichkeit der Ein-Pedal-Bedienung und der damit verbundenen niedrigeren Häufigkeit an durchzuführenden Pedalwechsel kennen. Die genannten Aspekte wirken auch auf den erlebten Komfort ein, so dass Probanden mit Fahrerfahrung Konzepte höheren Schleppmoments positiver beschreiben als Fahrer ohne Erfahrung. Ähnliche Ergebnisse zeigen sich auch bezüglich des Grads der Erfüllung des psychologischen Bedürfnisses nach Stimulation. Hierbei wird speziell das Grundkonzept hohes Schleppmoment von Probanden mit Fahrerfahrung deutlich stimulierender erlebt als von Fahrern ohne Erfahrung, die dieses ähnlich zum Grundkonzept erlebbares Schleppmoment bewerten.

Tabelle 7.3: Einfluss einer Wahlmöglichkeit der Fahrzeugabstimmung auf das Erleben und Erlebnis der Fahrzeuglängsführung (H4)

	Erleben				Erlebnis
	Sicherheit	Energiegefühl	Diskomfort	Komfort	Psy. Bedürfnisse
Wahlmöglichkeit der Fahrzeugabstimmung	Präzisere Dosierbarkeit durch Anpassung an spezifischen Verzögerungsbedarf	Keine Veränderung	Auslösung einer physischen und psychischen Beanspruchung	Positives Fahrgefühl durch Beeinflussung der Fahrzeugabstimmung	Wahlmöglichkeit wirkt stimulierend und unterstützt Autonomie

Bei der Beschreibung der Versuchsmethodik des Experiments Charakterisierung abgeleiteter Gestaltungskonzepte in Abschnitt 6.1.2 wurde als vierte Hypothese dargestellt, dass eine **Wahlmöglichkeit der Abstimmung des Schleppmoments zu einem positiverem Erleben** der Fahrzeuglängsführung führt (H4). Die Auswertung der Ausprägung der Erlebensaspekte im Gestaltungskonzept Wahlmöglichkeit durch Schalt paddels zeigt gegenüber der geschwindigkeitsadaptiven Abstimmung des Schleppmoments mit Ausnahme der Erlebensdimension Energiegefühl, Unterschiede in allen untersuchten Dimensionen. Bezüglich der Erlebensdimension Sicherheit wird im Gestaltungskonzept Schalt paddels beispielhaft die Möglichkeit der Anpassung der Fahrzeugabstimmung an den spezifischen Verzögerungsbedarf als präziser dosierbar erlebt, da bei situationsspezifischer Nutzung der Wahlmöglichkeit nur ein Mindestmaß an Verzögerung vom Fahrer zu dosieren ist. Demgegenüber wird bezüglich der Erlebensdimension Diskomfort die Beeinflussbarkeit negativer erlebt, da die Interaktion im Rahmen der Anpassung der Fahrzeugabstimmung sowohl physisch als auch psychisch beanspruchender erlebt wird. Ähnlich wie die Beschreibung der erlebten Sicherheit wird auch bezüglich der Erlebensdimension Komfort

eine Anpassung der Fahrzeugabstimmung an den spezifischen Verzögerungsbedarf von Fahrsituationen positiv erlebt. Diese Möglichkeit der Anpassung der Fahrzeugabstimmung wird zudem deutlich stimulierend erlebt und unterstützt zusätzlich den Fahrer ein Fahrverhalten einzustellen, das dessen individuellen Präferenzen entspricht (Autonomie), weswegen eine Wahlmöglichkeit ein Erlebnis der Fahrzeuglängsführung unterstützen kann.

In Abschnitt 6.1.2 wurde zudem als fünfte Hypothese dargestellt, dass eine **geschwindigkeitsadaptive Abstimmung des Schleppmoments den Diskomfort in monotonen Fahrsituationen verringert**, jedoch die Attraktivität eines hohen Schleppmoments erhält (H5). Im Experiment Charakterisierung abgeleiteter Gestaltungskonzepte erfolgte kein expliziter Vergleich mit einem Bedienkonzept hohen Schleppmoments, so dass diese Hypothese nicht statistisch abgesichert bestätigt werden kann. Die Ergebnisse des Experiments zeigen jedoch, dass die dargestellte geschwindigkeitsadaptive Abstimmung des Schleppmoments den Probanden deutlich den Charakter der Ein-Pedal-Bedienung vermittelt, was auch durch die Auswertung der Häufigkeit an durchgeführten Pedalwechseln gezeigt werden konnte und von den Probanden als attraktiv bewertet wurde. Auf den erlebten Diskomfort wirkt sich die geschwindigkeitsadaptive Abstimmung des Schleppmoments verglichen mit dem Grundkonzept hohes Schleppmoment in monotonen Fahrsituationen im ruralen Verkehrsraum positiv aus, da vom Fahrer keine derart präzise Pedalinteraktion durchzuführen ist. Demgegenüber wird die geschwindigkeitsadaptive Abstimmung des Schleppmoments in Fahrsituationen, in denen sich die Fahrzeugabstimmung ändert, als psychisch beanspruchend beschrieben, da von den Fahrern zunächst zu antizipieren ist, wie die aktuelle Fahrzeugabstimmung ausgeprägt ist und daraus die Bedienhandlung zu planen ist.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die untersuchten Konzepte zu einem unterschiedlichen Erleben der Fahrzeuglängsführung führen. Zusätzlich wirken spezifische Fahrsituationen auf das Erleben des Fahrers ein, so dass verschiedene Erlebensaspekte unterschiedlich prägnant vom Fahrer erlebt werden. Ein ähnliches Verhalten kann auch ausgehend von Vorerfahrungen und Prägungen des Fahrers festgestellt werden, die ebenfalls zu einem unterschiedlichen Erleben des Fahrers führen. Demgegenüber kann zusammenfassend betreffend den abgeleiteten Gestaltungskonzepten festgestellt werden, dass diese dem Fahrer in Summe ein positiveres Fahr-Erleben gegenüber einer Abstimmung eines Grundkonzepts vermitteln.

7.4 Bezug zum Stand der Forschung

Im folgenden Abschnitt erfolgt eine Gegenüberstellung der im Rahmen dieser Arbeit vorgestellten Inhalte zum dem Stand der Forschung. Da sich aktuell lediglich wenige Arbeiten mit ausgewählten Aspekten des Erlebens der Fahrzeuglängsführung auseinandersetzen, kann an dieser Stelle kein direkter Vergleich dargestellt werden. Dennoch erfolgt anschließend ein Vergleich zwischen der vorliegenden Arbeit und bisherigen Untersuchungen, die in spezifischen Teilaspekten eine inhaltliche Nähe aufweisen.

Beispielhafte Arbeiten mit einer gewissen inhaltlichen Nähe wurden in Abschnitt 2.4 vorgestellt und in drei **Kategorien verschiedener Ansätze** eingeteilt. Die Arbeiten mit ingenieurwissenschaftlichem Ansatz legen den Schwerpunkt auf die Auslegung konkreter

technischer Parameter, weswegen oft spezifische Kriterien, welche die Ausprägung eines technischen Parameters beschreiben, konzentriert untersucht werden. Hierbei kann beispielhaft die Arbeit von DAIROU et al. (2003) angeführt werden, im Rahmen derer die Bremspedalcharakteristik fokussiert durch konkrete Auslegungsparameter untersucht wird. Demgegenüber wird in der Arbeit von TRUTSCHEL (2007) auch die Auslegung von Bremspedalcharakteristiken untersucht, jedoch als Bewertungsaspekt der Komforteindruck und der Sicherheitseindruck global erfasst und basierend auf diesen Urteilen Gestaltungsrichtlinien für Bremscharakteristiken abgeleitet. In Abgrenzung zu diesen Arbeiten mit ingenieurwissenschaftlichem Ansatz wird im Rahmen dieser Arbeit das Erleben der Fahrzeuglängsführung in zusätzlichen Dimensionen charakterisiert sowie diese einzelnen Dimensionen mit Hilfe detaillierter Erlebensaspekte konkretisiert und operationalisiert. Durch diese Herangehensweise konnten basierend auf den charakterisierten Grundkonzepten Gestaltungskonzepte abgeleitet werden, die dem Fahrer ein positives Fahr-Erleben vermitteln. Eine weitere Kategorie stellen Arbeiten mit psychologischem Ansatz dar. Im Rahmen dieser Arbeiten wird das Erleben des Fahrers spezifisch charakterisiert und hierbei beispielhaft wie bei ENGELBRECHT et al. (2009) Empfehlungen abgeleitet, welche Fahrsituationen oder Fahrhandlungen vom Fahrer positiv erlebt werden und dadurch fokussiert zu beachten sind. Im Vergleich zu Arbeiten mit psychologischem Ansatz konnte durch die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte gezielte Bewertung verschiedener Abstimmungen eines Fahrzeugparameters die hieraus resultierenden Auswirkungen auf das Erleben des Fahrers beschrieben werden und darauf aufbauend Gestaltungsempfehlungen für einen technischen Parameter abgeleitet werden. Die dritte Kategorie stellen die Arbeiten mit interdisziplinärem Ansatz dar, die sich explizit mit dem Fahrer und einer fokussierten Gegenüberstellung zu technischen Parametern beschäftigen (KREMS 2011). Der im Rahmen dieser Arbeiten verwendete Ansatz stellt sich ähnlich zu dem der vorliegenden Arbeit dar, jedoch konnte durch die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Methode das Erleben der Fahrzeuglängsführung konkreter charakterisiert werden als in den dem Autor bekannten Arbeiten.

Neben den verschiedenen Ansätzen zur Evaluierung der Fahrzeuglängsführung kann die im Rahmen der Arbeit entwickelte und in den Experimenten eingesetzte **Methode zur Charakterisierung des Erlebens** der Fahrzeuglängsführung gegenüber in der Literatur veröffentlichten Methoden diskutiert werden. Ähnlich wie bei KREMS (2011) werden im Rahmen der entwickelten Methode sowohl qualitative als auch quantitative Methoden der Datenerhebung eingesetzt. Speziell im Vergleich zu einer rein auf quantitativen Methoden basierenden Erhebung, (vgl. beispielhaft SENDLER (2012)), können durch die Erhebung mit Hilfe von qualitativen Methoden zusätzlich die Beweggründe für spezifische quantitative Bewertungen ermittelt werden. Die im Rahmen der Experimente eingesetzte Kombination aus zwei qualitativen Methoden, der Verbalisierung des Erlebten und eines Leitfadeninterviews, ermöglicht neben der Erhebung des momentanen Erlebens der Fahrer auch die Reflexion spezifischer Aspekte und Konzepte. Zur Erhebung von quantitativen Daten wurde in den einzelnen Experimenten Fragebögen eingesetzt, die sich sowohl aus im Rahmen der Arbeit entwickelten Rating-Skalen als auch aus standardisierten Messinstrumenten, zusammensetzten. Hierbei werden als standardisierte Messinstrumente der Fragebogen AttrakDiff mini nach DIEFENBACH & HASSENZAHL (2010) sowie der Fragebogen Needs nach

KNOBEL et al. (2012) eingesetzt, die einerseits den erlebten Produktcharakter, andererseits den Grad der Erfüllung spezifischer psychologischer Bedürfnisse charakterisieren. Im Rahmen der entwickelten Rating-Skalen wurde mit Hilfe von Intensitäts- und Zustimmungsskalen die Ausprägung spezifischer Erlebensaspekte erhoben, die das Erleben der Fahrzeuglängsführung beschreiben. Unterstützend wird das Fahr-Erleben mit Hilfe von aus der Aufzeichnung von Sensordaten erhobenen Kennwerten beschrieben, die das Fahrverhalten charakterisieren.

Die **Erlebensaspekte wurden im Rahmen einer Einordnung** verschiedenen Erlebensdimensionen zugeordnet und damit als prägende Beschreibungsdimensionen des Fahr-Erlebens der Fahrzeuglängsführung bestimmt. Die häufig bei der Evaluierung von technischen Konzepten untersuchte Dimension Sicherheit lässt sich, wie von HAIDER (1977) vorgestellt, als erlebte Kontrolle beschreiben, die durch die Aspekte Durchschaubarkeit, Vorhersehbarkeit und Beeinflussbarkeit geprägt wird. Hierbei steht speziell die Beeinflussbarkeit deutlich in Wechselwirkung mit verschiedenen Konzepten der Fahrzeuglängsführung, die im Rahmen der Arbeit weiter untergliedert wurde in die Aspekte Dosierbarkeit und Direktheit. Eine ebenfalls häufig in der Literatur untersuchte Dimension stellt der Komfort dar. Im Unterschied zu vielen Untersuchungen, in denen lediglich eine globale Komfortbewertung erhoben wird (vgl. BECKER 2006), stützt sich die Definition des Komfortbegriffs auf eine Definition nach ENGELN & VRATIL (2008), die zwischen Komfort und Genuss unterscheidet. Basierend auf dieser Definition werden im Rahmen der Arbeit konkrete Erlebensaspekte der Fahrzeuglängsführung abgeleitet. Der erlebte Diskomfort stellt eine weitere Dimension dar. Im Bezug zur Fahrzeuglängsführung steht hier vor allem der Aspekt Beanspruchung im Vordergrund, der durch physische und psychische Komponenten detailliert wird und nach KRÜGER et al. (2000) einen vielversprechenden Zugang zu den subjektiven Bewertungen von Fahrzeugeigenschaften darstellt. Die im Rahmen der Arbeit entwickelte Konkretisierung der Beanspruchungsdimensionen unterstützt hierbei eine spezifische Charakterisierung der Fahrzeuglängsführung. Das Energiegefühl der Fahrer stellt eine weitere Erlebensdimension dar, die in der Form erst in wenigen Arbeiten berücksichtigt wird (vgl. VILIMEK et al. 2012). Jedoch wird beispielhaft für den in dieser Arbeit abgeleiteten Erlebensaspekt Energierückgewinnung, je nach Abstimmung des Schleppmoments, das Energiegefühl von den Fahrern deutlich unterschiedlich bewusst erlebt. Der Grad der Erfüllung spezifischer psychologischer Bedürfnisse stellt weitere Aspekte dar, die in der Vergangenheit eine untergeordnete Rolle gespielt haben, in aktuellen Untersuchungen im Bereich der User Experience-Ansätze allerdings vermehrt Beachtung finden (GARRETT 2011). In Bezug zur Fahrzeuglängsführung stellen die Bedürfnisse nach Stimulation, Kompetenz und Autonomie bedeutsame Aspekte dar, die in verschiedenen Fahrzeugabstimmungen zu einem unterschiedlichen Grad erfüllt werden und die Ausprägung von Erlebnissen der Fahrzeuglängsführung unterstützen können. Das Erleben der Fahrer stellt sich zusätzlich abhängig von spezifischen Randbedingungen dar, wobei im Rahmen der Einordnung der verschiedenen Erlebensaspekte der Einfluss von Fahrzeugparametern, ein fahrerspezifischer Einfluss sowie der Einfluss des Verkehrsumfelds herausgestellt werden konnte. Derartige Randbedingungen werden in aktuellen Untersuchungen häufig lediglich als Störparameter angenommen und versucht, so weit wie möglich zu reduzieren (HEIBING & BRANDL 2002), jedoch nicht bewusst analysiert.

Im Vergleich der **Ergebnisse der durchgeführten Experimente** mit Untersuchungen der Feldversuche zur Elektromobilität (KREMS 2011, TURRENTINE et al. 2011, HENNIG 2012), die eine gewisse inhaltliche Nähe aufweisen, zeigt sich im Rahmen dieser Arbeit eine detailliertere Analyse unterschiedlicher Bedienkonzepte der Fahrzeuglängsführung. Speziell durch die Bewertung verschiedener Ausprägungen technischer Parameter konnten Zusammenhänge abgeleitet werden, die bei der Analyse einer spezifischen Ausprägung, wie in den genannten Arbeiten, nicht erkannt werden hätten können.

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Methode stellt einen interdisziplinären Forschungsansatz zur Charakterisierung des Erlebens der Fahrzeuglängsführung dar. Basierend auf einer Einordnung ermittelter Beschreibungsdimensionen der Fahrzeuglängsführung in spezifische Erlebensdimensionen kann hierbei das Fahr-Erleben in Aspekten charakterisiert werden, die in der aktuellen Forschung keine oder lediglich eine untergeordnete Beachtung aufweisen. Die Anwendung der Methode im Rahmen der durchgeführten Experimente zeigt die Bedeutung der ermittelten Erlebensaspekte sowie der bearbeiteten Forschungsfrage.

7.5 Bezug zur Praxis

Die der vorliegenden Arbeit zu Grunde liegenden Leitfragen haben ihren Ursprung in der Fahrzeugentwicklung und dienen dazu, basierend auf einem technischen Abstimmparameter, Gestaltungsempfehlungen für ein positives Fahr-Erleben darzustellen. Aus diesem Grund wird nachfolgend auf die praktische Relevanz des gewählten Ansatzes und der gewonnenen Ergebnisse eingegangen, als auch konkrete Gestaltungsempfehlungen vorgestellt und ausgewählten aktuellen Fahrzeugabstimmungen gegenübergestellt.

Die im Rahmen der Arbeit durchgeführten Experimente haben gezeigt, dass die Abstimmung des Schlepptoments vom Fahrer bewusst wahrgenommen wird und hierdurch das **Fahr-Erleben gezielt beeinflusst werden** kann. Wie bereits in der Einleitung dargestellt, wirkt das Fahr-Erleben maßgeblich auf die vom Fahrer erlebte Attraktivität eines Fahrzeugs ein, so dass dieses einen entscheidenden Faktor für den Markterfolg eines Fahrzeugs darstellt. Hierbei hat es sich im Rahmen der Arbeit als vielversprechend gezeigt, im Gestaltungsprozess eines technischen Parameters neben ingenieurwissenschaftlichen Methoden zusätzlich die Sichtweisen anderer Disziplinen, insbesondere der Psychologie, zu integrieren. Durch diese erweiterte Sichtweise stellt die Gestaltung der Fahrzeuglängsführung weit mehr als die explizite Abstimmung des Parameters Pedalcharakteristik dar, wie beispielhaft bei TRUTSCHEL (2007), sondern basiert vornehmlich auf Aspekten des menschlichen Erlebens.

Zugleich gestattet eine Auseinandersetzung mit dem Fahr-Erleben die Möglichkeit, einen marken- oder **fahrzeugspezifischen Charakter** herauszuarbeiten und sich so von anderen Herstellern mit Produkten mit ähnlichen technischen „Prospektwerten“ abzugrenzen. Hierbei bieten speziell bei Elektrofahrzeugen diejenigen technischen Eigenschaften Potenzial, die sich gezielt gegenüber den einem Fahrer bekannten verbrennungsmotorischen Eigenschaften unterscheiden, wie beispielsweise die Rekuperation oder die Akustik. Für diese Eigenschaften existiert momentan bei den Fahrern häufig noch keine spezifische Erwartungshaltung, so dass aktuell die Chance besteht, einen spezifischen Fahrzeugcharakter zu kreieren und diesen dem Fahrer entsprechend zu vermitteln.

Basierend auf den Ergebnissen dieser Arbeit können **Gestaltungsempfehlungen für die Grundabstimmung des Schleppmoments** abgeleitet werden, die dem Fahrer ein positives Fahr-Erleben vermitteln. Da das Erleben des Fahrers, wie im Rahmen der Arbeit gezeigt, sich abhängig von spezifischen Fahrsituationen gestaltet, werden auch den Empfehlungen beispielhafte Fahrsituationen gegenübergestellt. Für die Grundabstimmung des Schleppmoments können folgende Empfehlungen basierend auf den Ergebnissen dieser Arbeit abgeleitet werden:

- **Grundkonzept Segeln:** Die Fahrzeugabstimmung des Bedienkonzepts Segeln wird von Fahrern in Fahrsituationen, die sehr niedrige Verzögerungsanforderungen aufweisen, positiv erlebt. Derartige Fahrsituationen finden sich in der Regel nicht im urbanen Verkehrsraum und treten auch im ruralen Verkehrsraum nur vereinzelt auf. Um damit dem Fahrer ein positives Erleben des Bedienkonzepts Segeln zu vermitteln, sollte dieses Grundkonzept fahrsituationsspezifisch aktivierbar ausgeprägt sein.
- **Grundkonzept Verbrenner-Schleppmoment:** Eine Fahrzeugabstimmung, die ähnlich der eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor ausgeprägt ist, wirkt auf Fahrer gewohnt. Dieses gewohnte Fahrzeugverhalten unterstützt einerseits Fahrer, die kein anderes Fahrzeugverhalten anlernen möchten, andererseits bietet es speziell für Folgefahrsituationen ein gegenüber dem Verkehrsumfeld angepasstes Fahrverhalten. Auch im ruralen Verkehrsraum bietet ein Verbrenner-Schleppmoment einen Kompromiss zwischen einer Grund-Beeinflussbarkeit der Fahrzeugreaktion und einer niedrig präzisen nötigen Pedalinteraktion, verbunden mit der Möglichkeit für den Fahrer, sich von der Pedalerie zu lösen.
- **Grundkonzept erlebbares Schleppmoment:** Bei weiterer Erhöhung des Schleppmoments zu einem Verzögerungsniveau des Grundkonzepts erlebbares Schleppmoment ergibt sich für den Fahrer die Möglichkeit, viele Verzögerungsvorgänge rein durch das Lösen des Fahrpedals einzustellen. Diese Möglichkeit benötigt speziell im dynamischen urbanen Verkehrsraum vom Fahrer eine gewisse Vorausschau und Vorplanung der Interaktion. Demgegenüber kann im ruralen Verkehrsraum mit einer derartigen Abstimmung im Vergleich zum urbanen Verkehrsraum bei verringerter nötiger Vorausschau auch ein hoher Anteil an Verzögerungssituationen rein durch das Lösen des Fahrpedals eingestellt werden.
- **Grundkonzept hohes Schleppmoment:** Die Ausprägung eines Verzögerungsniveaus des Grundkonzepts hohes Schleppmoment ermöglicht bei einer präzise ausgeprägten, direkten Beeinflussbarkeit, für den Fahrer die Möglichkeit, die Verzögerungsvorgänge nahezu ausschließlich durch das Lösen des Fahrpedals einzustellen. Diese direkte Beeinflussbarkeit wirkt auf die Fahrer als starke Stimulation deren Fahrverhalten an die Fahrzeugabstimmung anzupassen. Zusätzlich wird die durch die Rekuperation aufgeprägte Fahrzeugreaktion sehr präsent erlebt. In Gegenüberstellung zu spezifischen Fahrsituationen stellt sich eine derartige Fahrzeugabstimmung passend für dynamische Fahrsituationen im urbanen Verkehrsraum dar.

Neben Empfehlungen für die Grundabstimmung können basierend auf den Ergebnissen der Arbeit auch **Empfehlungen für eine Wahlmöglichkeit der Abstimmung des Schleppmoments** durch den Fahrer abgeleitet werden. Da sich die Präferenz einer spezifischen Fahrzeugabstimmung abhängig von fahrerindividuellen Vorlieben, dem

umgebenden Verkehrsraum und den aus der auftretenden Verkehrsdichte resultierenden Fahrsituationen gestaltet, kann durch eine Wahlmöglichkeit der Abstimmung des Schleppmoments die Fahrzeugabstimmung vom Fahrer individuell an den spezifischen Bedarf angepasst werden. Da diese Anpassung der Fahrzeugabstimmung unter Umständen situationsspezifisch an spezifische Fahrsituationen erfolgt, sollte hierfür ein für den Fahrer präsent Bedienelement verwendet werden. Die Spreizung der möglichen Abstimmungen, die ein Fahrer mit Hilfe einer derartigen Wahlmöglichkeit einstellt, kann über einen weiten Bereich erfolgen, da die Wahlmöglichkeit vom Fahrer bewusst genutzt und erlebt wird. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass durch eine Wahlmöglichkeit der Fahrzeugabstimmung Fahrer gezielt die Möglichkeit besitzen, das Fahr-Erleben abhängig individueller und intraindividuelle Präferenzen zu beeinflussen.

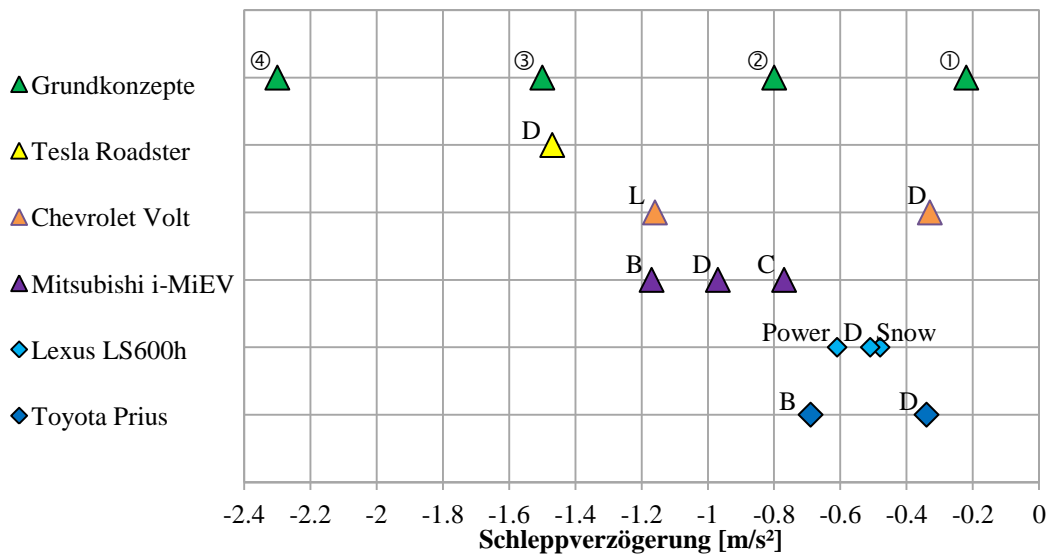


Abbildung 7.1: Fahrzeugabstimmung der Schleppverzögerung beispielhafter Hybridfahrzeuge (Raute) und Elektrofahrzeuge (Dreieck) bei $v_{Fzg}=70 \text{ km/h}$, in Anlehnung an EBERL & STROPH (2011)

Diese Gestaltungsempfehlungen können zusätzlich der in Abbildung 7.1 vorgestellten Übersicht der Abstimmung des Schleppmoments ausgewählter Hybrid- und Elektrofahrzeugen gegenübergestellt werden. Hierbei werden die Aufstartabstimmungen der Fahrzeuge mit dem *Modus D* bezeichnet, zudem verfügt der Großteil der Fahrzeuge über eine Wahlmöglichkeit für den Fahrer. Diese Wahlmöglichkeit gestaltet sich in aktuellen Fahrzeugen vorrangig durch eine Anwahl der geänderten Abstimmung mit Hilfe des Gangwahlschalters oder Tasten im Bereich der Mittelkonsole. Der Vergleich der verschiedenen Fahrzeugabstimmungen in Abbildung 7.1 zeigt, dass lediglich das Fahrzeug Tesla Roadster ein erlebbares Schleppmoment ausprägt. Die übrigen vermessenen Fahrzeuge weisen ein geringeres Schleppmoment auf, das sich zwischen dem Segel-Niveau und dem erlebbaren Schleppmoment gestaltet. Speziell derartige Ausprägungen stellen sich nach den Erfahrungen dieser Arbeit als schwierig für den Fahrer dar, da hierbei weder die Fahrzeugverzögerung beim Lösen des Fahrpedals zur Durchführung einer Ein-Pedal-Bedienung ausreicht, noch ein sich Lösen des Fahrers von der Pedalerie ermöglicht wird, was in Summe als indifferenter Fahrzeugcharakter erlebt wird.

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Methode sowie die gewonnenen Ergebnisse dienen als Basis für die Charakterausprägung von Fahrzeugen, die im Rahmen des Produktentwicklungsprozesses stattfindet. Basierend auf einer stimmigen Ausprägung wird dem Fahrer ein positives Fahr-Erleben vermittelt, was eine Basis für ein erfolgreiches Produkt am Markt darstellt. Die Relevanz der untersuchten Forschungsfrage unterstreicht zudem ein Vergleich der Gestaltungsempfehlungen mit der aktuellen Abstimmung vermessener Hybrid- und Elektrofahrzeuge, die eine jeweilig differierende Abstimmung aufweisen und lediglich vereinzelt die im Rahmen der Gestaltungsempfehlungen abgeleiteten Aspekte berücksichtigen.

7.6 Weiterer Forschungsbedarf

Im Rahmen dieser Arbeit wurden zwei Experimente vorgestellt, mit Hilfe derer das Fahr-Erleben spezifischer Konzepte der Fahrzeuglängsführung charakterisiert wurde sowie darauf aufbauend Gestaltungsempfehlungen zur Fahrzeugabstimmung abgeleitet werden konnten. Neben den Ergebnissen dieser Experimente lässt sich basierend auf den Erfahrungen dieser Arbeit auch ein weiterer Forschungsbedarf ableiten.

Hierbei sind einerseits weitergehende Experimente nötig, die sich vorrangig mit den dieser **Arbeit zu Grunde liegenden Einschränkungen** auseinandersetzen. Zu diesen Einschränkungen zählt zunächst die gewählte Stichprobe, die vollständig aus Mitarbeitern eines Automobilherstellers am Standort München besteht. Hierzu sind Experimente mit Probanden durchzuführen, die eine höhere Heterogenität aufweisen. Dies kann zusätzlich unterstützt werden indem weitere Standorte für Experimente gewählt werden und damit einhergehend auch der Einfluss unterschiedlicher Kulturen und Verkehrsräume auf das spezifische Erleben der Fahrer elaboriert wird (Hypothesen H2 und H3). Die gewählte Versuchsdauer stellt ebenfalls eine Einschränkung dar, weswegen weitere Experimente zusätzlich diesen Einfluss deutlicher untersuchen sollten. Eine weitere Einschränkung stellt das verwendete Versuchsfahrzeug dar. Um speziell den Einfluss des Fahrzeugcharakters auf das Erleben des Fahrers und die Erwartungen des Fahrers zu ermitteln, sind ähnliche Experimente mit unterschiedlichen Fahrzeugen (Mittelklasse, Oberklasse) durchzuführen. Zudem sollten weiterführende Untersuchungen, abgesehen von der Komponente der Fahrzeugrückmeldung, auch weitere Informationskanäle für den Fahrer berücksichtigen. Neben dem visuellen Sinneskanal bietet sich hier zusätzlich der haptische Kanal an. Um beispielhaft in Bedienkonzepten, bei denen mit Betätigung des Bremspedals eine rekuperative Verzögerung durch den Fahrer eingestellt wird, diesem eine intuitive Einschätzung des Verzögerungszustands zu ermöglichen (rekuperativ oder zusätzlich dissipativ), kann dem Fahrer das Niveau der maximalen rekuperativen Verzögerung haptisch signalisiert werden. Eine derartige Möglichkeit wurde bereits von PICKARZ et al. (2009) im Rahmen einer Offenlegungsschrift beschrieben und vom Autor in einem ersten Probandenversuch untersucht (EBERL et al. 2011a). Die Ergebnisse zeigen hierbei vielversprechende Möglichkeiten der Gestaltung.

Ein weiteres Handlungsfeld des zukünftigen Forschungsbedarfs stellt die **Weiterentwicklung der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Methodik** dar. Hierzu zählt einerseits die Auseinandersetzung mit der entwickelten Einordnung verschiedener Beschreibungsdimensionen der Fahrzeuglängsführung und damit verbunden die Weiterentwicklung zu einem psychologischen Modell, welches die verschiedenen Beziehungen und Wechselwirkungen der Erlebensaspekte statistisch hinterlegt begründet. Andererseits ist die Operationalisierung der Erlebensaspekte weiterzuentwickeln, wobei auf die im Rahmen dieser Arbeit aufgeführten Ergebnisse der quantitativen und auch qualitativen Methoden aufgesetzt werden sollte und hierauf basierend die quantitativen Messinstrumente angepasst werden sollten.

Der sich basierend auf der vorliegenden Arbeit darstellende Forschungsbedarf gliedert sich einerseits in eine Auseinandersetzung mit den der Arbeit zu Grunde liegenden Einschränkungen, andererseits in eine Weiterentwicklung der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Methode zur Charakterisierung des Fahr-Erlebens der Fahrzeuglängsführung.

8. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass durch die Abstimmung des Schleppmoments unterschiedliche Bedienkonzepte der Fahrzeuglängsführung ermöglicht werden, die das Erleben des Fahrers signifikant beeinflussen. Hierbei konnte das Erleben mit Aspekten spezifisch charakterisiert werden, die in der aktuellen Forschung keine oder lediglich eine untergeordnete Rolle aufweisen. Diese Aspekte werden zwar durch technische Parameter beeinflusst, können ihrem Wesen nach jedoch in der Psychologie angesiedelt werden, weshalb eine interdisziplinäre Herangehensweise bei der Charakterisierung und Gestaltung des Fahr-Erlebens unabdinglich erscheint.

Die Erlebensaspekte, mit Hilfe derer das Fahr-Erleben charakterisiert wurde, können in die Dimensionen Sicherheit, Energiegefühl, Diskomfort und Komfort eingeordnet und untergliedert werden. Neben diesen einzelnen Erlebendimensionen kann die Fahrzeuglängsführung zusätzlich durch die Erfüllung spezifischer psychologischer Bedürfnisse charakterisiert werden, deren Grad der Erfüllung im Rahmen dieser Arbeit als unterstützende Voraussetzung eines Erlebnisses der Fahrzeuglängsführung angesehen wird. Hierzu werden im Rahmen der Fahrzeuglängsführung vorrangig die Bedürfnisse nach Stimulation, Kompetenz und Autonomie beeinflusst. Auf das Erleben des Fahrers wirken zudem spezifische Randbedingungen, im Einzelnen insbesondere fahrzeugspezifische Parameter, ein durch Emotionen und Vorprägungen hervorgerufener fahrerindividueller Einfluss sowie ein Einfluss des Verkehrsumfelds, in dem das Erleben stattfindet, ein.

Basierend auf der vorgestellten Einordnung der Beschreibungsdimensionen der Fahrzeuglängsführung wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Methode entwickelt, mit Hilfe derer das Fahr-Erleben verschiedener Bedienkonzepte der Fahrzeuglängsführung charakterisiert werden kann. Diese entwickelte Methode stützt sich sowohl auf quantitative, als auch auf qualitative Messinstrumente der Datenerhebung, mit Hilfe derer die Beweggründe der quantitativen Ergebnisse unterstützend ermittelt werden können. Neben dem subjektiven Fahr-Erleben wurde zusätzlich mit Hilfe der eingesetzten quantitativen Methoden der erlebte Produktcharakter der spezifischen Konzepte, als auch die Präferenz spezifischer Konzepte für konkrete Fahrsituationen erhoben. Demgegenüber kann das subjektive Fahr-Erleben zusätzlich mit objektiven Kennwerten, die das Fahrverhalten basierend auf einer Auswertung von Sensordaten beschreiben, gegenübergestellt werden. Unter Berücksichtigung dieser objektiven Kennwerte kann das Fahrverhalten auf verschiedenen Ebenen charakterisiert werden, die einerseits die Bedieneingaben, andererseits die sich einstellende Fahrzeugreaktion als Geschwindigkeit und Beschleunigung sowie den Abstand zum Verkehrsumfeld umfassen.

Mit Hilfe der vorgestellten Methodik wurden zwei Hauptexperimente sowie zusätzliche Vorexperimente durchgeführt. Im ersten Hauptexperiment konnten zunächst basierend auf einem Wahrnehmungsexperiment (N=8) verschiedene für den Fahrer gezielt unterscheidbare Grundkonzepte der Fahrzeuglängsführung abgeleitet werden, die folgend im Rahmen von zwei Telexperimenten im urbanen und ruralen Verkehrsraum von Probanden bewertet wurden (N=57). Ausgehend von den Ergebnissen dieses Experiments konnten verschiedene

Gestaltungskonzepte der Fahrzeuglängsführung abgeleitet werden, die in einem weiteren Experiment von Probanden bewertet wurden (N=22).

Die Ergebnisse der durchgeführten Experimente zeigen eine hohe Attraktivität von Bedienkonzepten mit hohem Schleppmoment, welche die Möglichkeit aufweisen, viele Verzögerungsvorgänge rein durch das Lösen des Fahrpedals einzustellen (Ein-Pedal-Bedienung). Diese Möglichkeit vermittelt eine hoch ausgeprägte, direkt erlebte Beeinflussbarkeit der Fahrzeuglängsführung, die dem Fahrer eine präzise Rückmeldung der Energierückgewinnung vermittelt und zudem stimulierend einen Ansporn darstellt, die fahrerindividuelle Kompetenz zu erweitern. Diese positiven Attribute werden abhängig von auftretenden Fahrsituationen und fahrerindividuellen Prägungen unterschiedlich erlebt, so dass verschiedene Fahrer in spezifischen Fahrsituationen unterschiedliche Abstimmungen des Schleppmoments präferieren. Diese unterschiedlichen Abstimmungen des Schleppmoments können beispielhaft durch eine Wahlmöglichkeit der Fahrzeugabstimmung dem Fahrer zugänglich gemacht werden, was von Fahrern als zusätzliche Möglichkeit der direkten Einflussnahme positiv erlebt wird und zur situationsspezifischen Anpassung der Fahrzeugcharakteristik an den spezifischen Verzögerungsbedarf dient.

Basierend auf der im Rahmen der Arbeit entwickelten und angewendeten Methodik zur Charakterisierung und Gestaltung des Fahr-Erlebens der Fahrzeuglängsführung wurde zudem ein weiterer Forschungsbedarf vorgestellt. Die Schwerpunkte dieses weiteren Forschungsbedarfs stellen einerseits die Weiterentwicklung der im Rahmen der Arbeit entwickelten Methodik dar, andererseits ist die Methodik in weiteren Experimenten anzuwenden, um damit den beschriebenen Einschränkungen zu begegnen.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, wie eine systematische Charakterisierung und Gestaltung des Fahr-Erlebens der Fahrzeuglängsführung durchgeführt werden kann und welche Relevanz eine Auseinandersetzung mit derartigen Fragestellungen aufweist. Speziell bei einer technischen Annäherung verschiedener Produkte bietet eine gezielte Gestaltung des Fahr-Erlebens den Automobilherstellern die Chance, auch und gerade bei Elektrofahrzeugen, der Marke oder einzelnen Fahrzeugen einen klaren Charakter zu vermitteln. Dieser spezifische Charakter ermöglicht dem Fahrer neue Formen des Fahr-Erlebens, bleibt beim Fahrer als Erlebnis in Erinnerung und führt somit prägend zu einem Erfolg eines Produkts.

9. Abkürzungsverzeichnis

①	Grundkonzept Segeln ($a_x = \text{FWID}$)
②	Grundkonzept Verbrenner-Schleppmoment ($a_x = -0,8 \text{ m/s}^2$)
③	Grundkonzept erlebbares Schleppmoment ($a_x = -1,5 \text{ m/s}^2$)
④	Grundkonzept hohes Schleppmoment ($a_x = -2,3 \text{ m/s}^2$)
❶	Gestaltungskonzept Wahlmöglichkeit durch Schaltpaddels
❷	Gestaltungskonzept geschwindigkeitsadaptive Verzögerung
a_{FWID}	Beschleunigungswirkung durch Fahrwiderstände
A_{St}	Fahrzeugstirnfläche
a_x	Längsbeschleunigung des Fahrzeugs
ATT	Attraktivität
AV	Abhängige Variable
Betätigungszustand I	Interaktion rein mit Fahrpedal
Betätigungszustand II	Schweben über dem Fahrpedal
Betätigungszustand III	Lösen von der Pedalerie
Betätigungszustand IV	Schweben über dem Bremspedal
Betätigungszustand V	Interaktion mit Bremspedal
Between-Subject-Design	Versuchsplan, bei dem von einer Versuchsperson nur ein Teil der Konzepte bewertet wird.
BKV	Bremskraftverteilung
c_w	Luftwiderstandsbeiwert
δ	Verzögerungsstufe
E_{Aufwand}	Energieaufwand zur Einstellung des Fahrzustands
E_{RekuPot}	Energiepotenzial zur Rekuperation
f_R	Rollwiderstandsbeiwert
FWID	Verzögerungswirkung durch Fahrwiderstände
g	Ortsfaktor
H1	Hypothese: Verschiedene Konzepte der Fahrzeuglängsführung beeinflussen das Fahr-Erleben sowie Erlebnisse der Fahrzeuglängsführung.
H2	Hypothese: Verschiedene Fahrsituationen beeinflussen das Fahr-Erleben sowie Erlebnisse der Fahrzeuglängsführung.

H3	Hypothese: Erfahrungen und Prägungen des Fahrers beeinflussen das Fahr-Erleben sowie Erlebnisse der Fahrzeuglängsführung.
H4	Hypothese: Durch eine Wahlmöglichkeit der Abstimmung des Schleppmoments kann eine Anpassung der Fahrzeugabstimmung an spezifische Fahrsituationen erreicht werden, was zu einem positiveren Erleben der Fahrzeuglängsführung führt.
H5	Hypothese: Durch eine geschwindigkeitsadaptive Abstimmung des Schleppmoments kann die hohe Attraktivität des hohen Schleppmoments verbunden mit niedrigerem Diskomfort in monotonen Fahrsituationen ermöglicht werden.
HQ-I	Hedonische Qualität-Identität
HQ-S	Hedonische Qualität-Stimulation
JND	Kleinste wahrnehmbare Reizdifferenz (engl.: ‘just noticeable difference‘)
k	Anzahl an Versuchsvarianten
MAX	Maximum
MED	Median
m_{Fzg}	Masse des Fahrzeugs
MIN	Minimum
MW	Arithmetischer Mittelwert
N	Stichprobengröße
NEFZ	Neuer europäischer Fahrzyklus
O-Quartil	Oberes Quartil (75 % Perzentil)
p	Wert für Wahrscheinlichkeit, dass Nullhypothese zutrifft.
PQ	Pragmatische Qualität
ρ_L	Dichte der Luft
R	Korrelationskoeffizient
STD	Standardabweichung
Stufe 0	Gewählte Abstimmung $a_x = \text{FWID}$ (Segeln)
Stufe 1	Gewählte Abstimmung $a_x = -0,75 \text{ m/s}^2$
Stufe 2	Gewählte Abstimmung $a_x = -1,25 \text{ m/s}^2$
Stufe 3	Gewählte Abstimmung $a_x = -1,75 \text{ m/s}^2$
Stufe 4	Gewählte Abstimmung $a_x = -2,3 \text{ m/s}^2$
t	Zeit

U-Quartil	Unteres Quartil (25 % Perzentil)
UV	Unabhängige Variable
v_{Fzg}	Längsgeschwindigkeit des Fahrzeugs
Within-Subject-Design	Versuchsplan, bei dem jedes Konzept von jeder Versuchsperson bewertet wird.
x	Signifikanter Unterschied (Fehler erster Art ≤ 5 %)
xx	Hoch signifikanter Unterschied (Fehler erster Art ≤ 1 %)
xxx	Höchst signifikanter Unterschied (Fehler erster Art $\leq 0,1$ %)
X_n	Untersuchter Stimulus im letzten Versuchsschritt
X_{n+1}	Untersuchter Stimulus im nächsten Versuchsschritt
Z_n	Indikator bezüglich der Reizerkennung

10. Literaturverzeichnis

ANDRÉ 2004

André, M. (Hrsg.): Real-world driving cycles for measuring cars pollutant emissions. Part A: The ARTEMIS European driving cycles, Report INRETS-LTE 0411 (2004).

APEL & DRIFTMEYER 2007

Patent EP 1 777 095 B1 (08.06.2011) - Apel, P.; Driftmeyer, M.: Fahrpedal für ein Kraftfahrzeug.

BECKER 2006

Becker, K. (Hrsg.): Subjektive Fahreindrücke sichtbar machen. Renningen: Expert-Verlag 2006. ISBN: 978-3-8169-1776-2.

BENGLER 2007

Bengler, K.: Subject Testing for Evaluation of Driver Information Systems and Driver Assistance Systems — Learning Effects and Methodological Solutions. In: Cacciabue, P. C. (Hrsg.): Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments. London, Springer 2007, ISBN: 978-1-84628-617-9.

BERNOTAT 1970

Bernotat, R.: Operation Functions in Vehicle Control. Anthropotechnik in der Fahrzeugführung; Ergonomics 13 (1970) 3, S. 353-377.

BETSCH et al. 2011

Betsch, T.; Funke, J.; Plessner, H.: Denken - Urteilen, Entscheiden, Problemlösen. Berlin: Springer 2011. ISBN: 978-3-642-12473-0.

BORTZ & DÖRING 2006

Bortz, J.; Döring, N.: Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. 4. Auflage. Heidelberg: Springer 2006. ISBN: 978-3-540-33305-0.

BORTZ & SCHUSTER 2010

Bortz, J.; Schuster, C.: Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. 7. Auflage. Berlin: Springer 2010. ISBN: 978-3-642-12769-4.

BREITLING et al. 2011

Breitling, T.; Dragon, L.; Paknia, H.; Löblich, D.: Aktive Sicherheit. ATZ extra - Der neue SLK von Mercedes-Benz. Wiesbaden: Springer Vieweg (2011) S. 15.

BREUER 2006

Breuer, B. (Hrsg.): Bremsenhandbuch. 3. Auflage. Wiesbaden: Vieweg 2006. ISBN: 978-3-8348-0064-0.

BRUNNER-SPERDIN 2008

Brunner-Sperdin, A.: Erlebnisprodukte in Hotellerie und Tourismus : Erfolgreiche Inszenierung und Qualitätsmessung. Dissertation Universität Innsbruck: 2008. ISBN: 978-3-503-11006-3. (Management und Wirtschaft Studien Band 67).

BUBB 2003a

Bubb, H.: Komfort und Diskomfort - Definition und Überblick. Ergonomie aktuell 4 (2003a) S. 5-8.

BUBB 2003b

Bubb, H.: Wie viele Probanden braucht man für allgemeine Erkenntnisse aus Fahrversuchen? In: Darmstädter Kolloquium Fahrversuche mit Probanden - Nutzwert und Risiko, Technische Universität Darmstadt, 03.-04. April 2003. VDI-Verlag ISBN: 3-18-355712-6.

BUBB 2003c

Bubb, H.: Fahrerassistenz - primär ein Beitrag zum Komfort oder für die Sicherheit? In: Der Fahrer im 21. Jahrhundert Anforderungen, Anwendungen, Aspekte für Mensch-Maschine-Systeme, Braunschweig, 2.-3. Juni 2003. VDI-Verlag ISBN: 3-18-091768-7.

CORNET et al. 2012

Cornet, A.; Mohr, D.; Weig, F.; Zerlin, B.; Hein, A.-P.: Mobility of the future - Opportunities for automotive OEMs. Advances in Industries, McKinsey & Company (2012) S. 1-10.

DAHLEN & LANGE 2009

Dahlen, M.; Lange, F.: Marketing Communications : A Brand Narrative Approach. 1. Auflage. New York: Wiley 2009. ISBN: 978-0-470-31992-5.

DAIROU et al. 2003

Dairou, V.; Priez, A.; Sieffermann, J.-M.; Danzart, M.: An Original Method to Predict Brake Feel: A Combination of Design of Experiments and Sensory Science. SAE 2003-01-0598 (2003) S. 1-7.

DICK 2001

Dick, M.: Die Situation des Fahrens - Phänomenologische und ökologische Perspektiven der Psychologie. Hamburger Beiträge zur Psychologie und Soziologie der Arbeit SB 03 (2001) S. 1-164.

DICK 2002

Dick, M.: Auf den Spuren der Motive, Auto zu fahren - Die Perspektive der Fahrenden. Verkehrszeichen 18 (2002) 4, S. 9-16.

DIEFENBACH et al. 2010

Diefenbach, S.; Hassenzahl, M.; Klöckner, K.; Nass, C.; Maier, A.: Ein Interaktionsvokabular: Dimensionen zur Beschreibung der Ästhetik von Interaktion. In: Brau, H. et al. (Hrsg.): Usability Professionals 2010. Jahresband 2010 der Workshops der German Usability Professionals' Association e.V. 2010, S. 17-32. ISBN: 978-3-83960-167-9.

DIEFENBACH & HASSENZAHL 2010

Diefenbach, S.; Hassenzahl, M. (Hrsg.): Handbuch zur Fun-ni Toolbox - User Experience Evaluation auf drei Ebenen. Abschlussbericht, Förderkennzeichen 01ISO9007, Folkwang Universität der Künste, (2010).

DONGES 1982

Donges, E.: Aspekte der Aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. Automobil-Industrie 27 (1982) S. 183-190.

DONGES 2012

Donges, E.: Fahrerhaltensmodelle. In: Winner, H. (Hrsg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. 2. Auflage. Wiesbaden, Vieweg + Teubner 2012, ISBN: 978-3-8348-1457-9.

DORRER 2004

Dorrer, C.: Effizienzbestimmung von Fahrweisen und Fahrerassistenz zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs unter Nutzung telematischer Informationen. Diss. Universität Stuttgart (2004). Renningen: expert-Verl. 2004. ISBN: 3-8169-2384-4.

DUVAL-DESTIN et al. 2011

Duval-Destin, M.; Kropf, T.; Abadie, V.; Fausten, M.: Auswirkungen eines Elektroantriebs auf das Bremssystem. ATZ-Automobiltechnische Zeitung Jahrgang 113 (2011) 09, S. 12-17.

EBERL et al. 2011a

Eberl, T.; Stroph, R.; Pruckner, A.: Analyse unterschiedlicher Bedienkonzepte der Fahrzeuglängsführung bei Elektromobilität. In: 2. Automobiltechnisches Kolloquium, Garching, Technische Universität München, 11.-12. April 2011. VDI-Wissensforum ISBN: 978-3-942980-00-5.

EBERL et al. 2011b

Eberl, T.; Jung, M.; Stroph, R.; Pruckner, A.: Bedienkonzepte für die Fahrzeuglängsführung bei Elektromobilität. In: Der Fahrer im 21. Jahrhundert 6. VDI-Tagung: Fahrer, Fahrerunterstützung und Bedienbarkeit, Braunschweig, 8.-9. November 2011. VDI-Verlag ISBN: 978-3-18-092134-1.

EBERL & STROPH 2011

Eberl, T.; Stroph, R.: One-Pedal-Feeling: Beschleunigen und Bremsen mit dem Fahrpedal - Studienergebnisse mit Fokus Fahr-Erlebnis. In: 1. VDI-Fachkonferenz Innovative Bremstechnik, Einfluss durch Elektrifizierung & Neue Werkstoffe, Parkhotel Stuttgart, Messe-Airport in Leinfelden-Echterdingen, 12.-13. Dezember 2011. VDI-Wissensforum ISBN: 978-3-942980-07-4.

EBERL et al. 2012a

Eberl, T.; Terhorst, B.; Stroph, R.; Pruckner, A.: Pedal feel of electric vehicles – The driver and the regeneration. Chassis.tech plus, 3. Internationales Münchner Fahrwerk-Symposium. München, 21.-22. Juni 2012 2012a.

EBERL et al. 2012b

Eberl, T.; Sharma, R.; Stroph, R.; Schumann, J.; Pruckner, A.: Evaluation of interaction concepts for the longitudinal dynamics of electric vehicles - Results of study focused on driving experience. In: Advances In Human Factors And Ergonomics 2012- 14 Volume Set: Proceedings Of The 4th AHFE Conference, San Francisco, CA, United States, 21.-25. Juli 2012. CRC Press, ISBN: 978-0-9796435-5-2.

EBERT & KAATZ 1994

Ebert, D. G.; Kaatz, R. A.: Objective Characterisation of Vehicle Brake Feel. SAE Technical Paper 940331 (1994) S. 1-8.

ENGELBRECHT et al. 2009

Engelbrecht, A.; Engeln, A.; Arndt, S.: Wie entstehen Komfort und Fahrspaß - Beschreibung und Bewertung von Fahrkomfort und Fahrspaß aus Expertensicht. Der Fahrer im 21. Jahrhundert 5. VDI-Tagung: Fahrer, Fahrerunterstützung und Bedienbarkeit. Düsseldorf, 04.-05. November 2009 2009.

ENGELN & VRATIL 2008

Engeln, A.; Vratil, B.: Fahrkomfort und Fahrgenuss durch den Einsatz von Fahrerassistenzsystemen. In: Engeln, J. S. u. A. (Hrsg.): Fortschritte der Verkehrspsychologie: Beiträge vom 45. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie. Wiesbaden, VS Verlag für Sozialwissenschaften, GWV Fachverlag GmbH 2008, ISBN: 978-3531159560.

DIN EN ISO 9241-210 2011

Ergonomie der Mensch-System-Interaktion (DIN EN ISO 9241-210). Internationale Normungsorganisation (ISO): 2011

DIN EN ISO 10075-1 2000

Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung (DIN EN ISO 10075-1). Internationale Normungsorganisation (ISO): 2000

FALMAGNE 1985

Falmagne, J.-C.: Elements of Psychophysical Theory. New York: Oxford University Press Inc. 1985. ISBN: 978-019514-832-9.

EPA 420-R-93-007 1993

Federal Test Procedure Review Project (EPA 420-R-93-007). US Environmental Protection Agency: Mai 1993

FIALA 2006

Fiala, E.: Mensch und Fahrzeug. 1. Auflage. Wiesbaden: Vieweg 2006. ISBN: 978-3-8348-0016-9.

FREIMANN 2012

Freimann, H.: E-Mobilität braucht Fahrerlebnisse. VDI Nachrichten 17 (2012) S. 5.

GARRETT 2011

Garrett, J. J.: The elements of user experience. 2nd ed Auflage. Berkeley, CA: New Riders 2011. ISBN: 978-0-32168-368-7.

GEISER 1990

Geiser, G.: Mensch-Maschine-Kommunikation. München: Oldenbourg 1990. ISBN: 3-486-21505-1.

GERRIG et al. 2008

Gerrig, R. J.; Zimbardo, P. G.; Graf, R.: Psychology and life. 18. Auflage. München: Pearson Studium 2008. ISBN: 978-3-8273-7275-8.

GERSTENMAIER 1995

Gerstenmaier, J.: Einführung in die Kognitionspsychologie. München: Reinhardt 1995. ISBN: 3-8252-8086-1.

GOLDSTEIN 2010

Goldstein, E. B.: Wahrnehmungspsychologie. 7. Auflage. Heidelberg: Spektrum, Akad Verlag 2010. ISBN: 978-3-8274-1766-4.

GRESZIK 2009

Greszik, A.: Physiologiebasierte Simulation des Bremsverhaltens von Fahrzeugführern. Ilmenau: Kraftfahrzeugtechnische Berichte, Diss. Technische Universität Ilmenau 2009. ISBN: 978-3-939473-48-0.

GRIMM 2012

Grimm, M. (Hrsg.): FLUKS: Flotten-Untersuchung im kundenrelevanten Stuttgart-Zyklus. Uni Stuttgart, (2012).

GROTE 1997

Grote, G.: Autonomie und Kontrolle: Zur Gestaltung automatisierter und risikoreicher Systeme. Zürich: Vdf, Hochschulverlag an der ETH Zürich, 1997. ISBN: 3-7281-2388-9.

GUILFORD 1976

Guilford, J. P.: The nature of human intelligence. New York: McGraw-Hill 1976.

HAGENDORF et al. 2011

Hagendorf, H.; Krummenacher, J.; Müller, H.-J.; Schubert, T.: Wahrnehmung und Aufmerksamkeit. Berlin: Springer 2011. ISBN: 978-3-642-12710-6.

HAIDER 1977

Haider, E.: Beurteilung von Belastung und zeitvarianter Beanspruchung des Menschen bei kompensatorischen Regeltätigkeiten: Simulationen- Feldstudien- Modelle. VDI-Verlag 1977. ISBN: 3-18-140517-5. (Fortschritt-Berichte der VDI-Zeitschriften. Biotechnik 17).

HALDER 2011

Halder, C.: Bremsenergie intelligent genutzt - Die Rekuperationsbremsung in Elektro- und Hybridfahrzeugen. In: 1. VDI-Fachkonferenz Innovative Bremstechnik, Einfluss durch Elektrifizierung & Neue Werkstoffe, Parkhotel Stuttgart, Messe-Airport in Leinfelden-Echterdingen, 12.-13. Dezember 2011. VDI-Wissensforum. ISBN: 978-3-942980-07-4.

HASSENZAHL et al. 2003

Hassenzahl, M.; Burmester, M.; Koller, F.: AttrakDiff: Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität. In: Ziegler, J. et al. (Hrsg.): Mensch & Computer 2003: Interaktion in Bewegung. Stuttgart, Teubner 2003, ISBN: 978-3-51900-441-7.

HASSENZAHL et al. 2009

Hassenzahl, M.; Eckoldt, K.; Thielsch, M. T.: User Experience und Experience Design – Konzepte und Herausforderungen. In: Brau, H. et al. (Hrsg.): Usability Professionals 2009. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2009, ISBN: 978-3-8396-0043-6.

HEIßING & BRANDL 2002

Heißing, B.; Brandl, H. J.: Subjektive Beurteilung des Fahrverhaltens. 1. Auflage. Würzburg: Vogel 2002. ISBN: 3-8023-1903-6.

HEIßING 2011

Heißing, B.: Fahrwerkhandbuch. 3. Auflage. Wiesbaden: Vieweg + Teubner 2011. ISBN: 978-3-8348-0821-9.

HENNIG 2012

Hennig, H.: Der A1 e-tron im Flottenversuch. In: Conference on Future Automotive Technology, Garching, 26.-27. März 2012.

HÖHLE 2010

Höhle, B. (Hrsg.): Psycholinguistik. Berlin: Akad.-Verlag 2010. ISBN: 978-3-05-004935-9.

HUSSY et al. 2010

Hussy, W.; Schreier, M.; Echterhoff, G.: Forschungsmethoden in Psychologie und Sozialwissenschaften. Berlin: Springer 2010. ISBN: 978-3-540-95935-9.

HÜTER-BECKER & DÖLKEN 2005

Hüter-Becker, A.; Dölken, M.: Biomechanik, Bewegungslehre, Leistungsphysiologie, Trainingslehre. Stuttgart: Thieme 2005. ISBN: 3-13-136861-6.

INFAS & DLR 2010

INFAS; DLR (Hrsg.): Mobilität in Deutschland 2008 (MiD 2008). infas Institut für Sozialwissenschaft, Institut für Verkehrsforschung beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) in der Helmholtz-Gemeinschaft, Bonn (2010).

JÄGER 2004

Jäger, R.: Konstruktion einer Ratingskala mit Smilies als symbolische Marken. Diagnostica: Zeitschrift für psychologische Diagnostik und differentielle Psychologie 50 (2004) 1, S. 31-38.

JUNG 2011

Jung, M.: Das Erleben der Längsführung in Elektrofahrzeugen. Unveröffentlichte Masterarbeit Hochschule für Angewandte Psychologie, Fachhochschule Nordwestschweiz (2011).

JÜRGENSOHN 1997

Jürgensohn, T.: Hybride Fahrermodelle. 1 Auflage. Sinzheim: Pro-Universitate-Verlag 1997. ISBN: 978-3-93249-022-4.

JÜRGENSOHN 2001

Jürgensohn, T.: Kraftfahrzeugführung. Berlin: Springer 2001. ISBN: 3-540-42012-6.

KAHNEMAN 1973

Kahneman, D.: Attention and effort. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall 1973. ISBN: 0-13-050518-8.

KIRCHNER et al. 2012

Kirchner, S.; Sendler, J.; Augsburg, K.: Brake Pedal Feeling of decoupled Braking Systems for Electric and Hybrid Electric Vehicles. In: Eurobrake 2012, Internationales Congress Centre Dresden, 15.-17. April 2012. FISITA-Press ISBN: 978-0-9572076-0-8.

KLEBELSBERG 1977

Klebelsberg, D.: Das Modell der subjektiven und objektiven Sicherheit. Schweizerische Zeitschrift für Psychologie 36 (1977) 4, S. 285-294.

KNOBEL et al. 2012

Knobel, M.; Hassenzahl, M.; Lamara, M.; Sattler, T.; Schumann, J.; Eckoldt, K.; Butz, A.: Clique Trip: Feeling related in different cars. In: DIS 2012, Newcastle, UK, 11.-15. Juni 2012. ACM ISBN: 978-1-4503-1210-3.

KREMS 2011

Krems, J. F. (Hrsg.): MINIEVatt Berlin - Freude am umweltgerechten Fahren, Verbundprojekt: Klimaentlastung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Zusammenwirken mit emissionsfreien Elektrofahrzeugen - MINI E 1.0 Berlin. Abschlussbericht, Förderkennzeichen 16EM0003, Technische Universität Chemnitz, Chemnitz (2011).

KRÜGER et al. 2000

Krüger, H.-P.; Neukum, A.; Schuller, J.: Vom Fahrgefühl zum Fahrergefühl. Bewertung von Mensch-Maschine-Systemen - 3. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme. Berlin, 6.-8. Oktober 2000 2000.

KRUSE 2011

Offenlegung (10.03.2011) DE102010004846 - Kruse, G.: Verfahren und Steuervorrichtung zur Rekuperation für ein Fahrzeug.

LABEYE et al. 2011

Labeye, E.; Hugot, M.; Regan, M.; Brusque, C.: Electric Vehicles: An eco-friendly mode of transport which induce changes in driving behaviour. Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter - Annual Meeting. Human Factors of Systems and Technology. Maastricht, the Netherlands: Shaker Publishing, 20110101 2011.

LANG 1980

Lang, P. J.: Behavioral treatment and bio-behavioral assessment: computer applications. In: Sidowski, J. B. et al. (Hrsg.): Technology in mental health care delivery systems. Norwood (N.J.) USA 1980, S. 119-137.

LANGE 2008

Lange, C.: Wirkung von Fahrerassistenz auf der Führungsebene in Abhängigkeit der Modalität und des Automatisierungsgrades. Diss. Technische Universität München, (2008).

LESZCZYNSKI & LORD 1995

Leszczynski, C. B.; Lord, W. R.: Lexikon der Psychologie. Gütersloh: Bertelsmann-Lexikon-Verlag 1995, ISBN: 3-577-10579-8.

LEWANDOWITZ 2012

Lewandowitz, L.: Markenspezifische Auswahl, Parametrierung und Gestaltung der Produktgruppe Fahrerassistenzsysteme. Diss. Karlsruher Institut für Technologie (KIT): 2012. ISBN: 978-3-86644-701-1. (Karlsruher Schriftenreihe Fahrzeugsystemtechnik / Institut für Fahrzeugsystemtechnik #9).

LINDEMANN 2009

Lindemann, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte. 3. Auflage. Berlin: Springer 2009. ISBN: 978-3-642-01422-2.

91/441/EWG 1991

Maßnahmen gegen die Verunreinigung der Luft durch Emissionen von Kraftfahrzeugen (91/441/EWG). Europäische Wirtschaftsgemeinschaft: 26.06.1991

MAYRING 2010

Mayring, P.: Qualitative Inhaltsanalyse. 11. Auflage. Weinheim: Beltz 2010. ISBN: 978-3-407-25533-4.

MICHON 1984

Michon, J. A.: A critical view of drivers behavior models: What do we know, what should we do? General Motors Symposium. GM Research Laboratories, Warren Michigan, 23. -25. September 1984 1984.

MIKOS 2005

Mikos, L.: Qualitative Medienforschung. Konstanz: UVK Verl.-Ges. 2005. ISBN: 3-8252-8314-3.

MITSCHKE & WALLENTOWITZ 2004

Mitschke, M.; Wallentowitz, H.: Dynamik der Kraftfahrzeuge. 4. Auflage. Berlin [u.a.]: Springer 2004. ISBN: 3-540-42011-8.

NEUKUM et al. 2001

Neukum, A.; Krüger, H.-P.; Schuller, J.: Der Fahrer als Messinstrument für fahrdynamische Eigenschaften? Der Fahrer im 21. Jahrhundert, VDI-Tagung, VDI-Berichte 1613. Düsseldorf, 3.-4. Mai 2001 2001.

NIELSEN 1993

Nielsen, J.: Usability engineering. Boston: Acad. Press 1993. ISBN: 0-12-518405-0.

OECD 2012

OECD: Organisation for Economic Cooperation and Development: OECD-Umweltausblick bis 2050: Die Konsequenzen des Nichthandelns. 1. Auflage. Paris: OECD Publishing 2012. ISBN: 978-92-64-17280-7.

OSTGATHE 2012

Ostgathe, N.: Umsetzung und Bewertung der fahrpedalgesteuerten Rekuperation eines Elektrofahrzeugs im Fahrsimulator. Unveröffentlichte Studienarbeit, Technische Universität München (2012).

PETERMANN 2009

Petermann, F.: Entspannungsverfahren. 4. Auflage. Weinheim: Beltz, PVU 2009. ISBN: 978-3-621-27642-9.

PICKARD & THEWS 2001

Pickard, J.; Thews, H.-J.: Die Pedalanlage - ein wichtiges Bedienelement an der Schnittstelle Fahrer-Fahrzeug. ATZ-Automobiltechnische Zeitung Jahrgang 103 (2001) 9, S. 774.

PICKARZ et al. 2009

Offenlegung (10.09.2009) DE102008012636 - Pickarz, H.; Bildstein, M.; Lock, R.: Bremsanlage mit einer Vorrichtung zur optimalen Bremsdosierung.

PIETZSCH & WOLF 2005

Pietzsch, W.; Wolf, G.: Strassenplanung. 7. Auflage. Düsseldorf: Werner 2005. ISBN: 3-8041-5003-9.

POLLMANN 2008

Pollmann, S.: Allgemeine Psychologie. München: R. Reinhardt 2008. ISBN: 978-3-8252-8391-9.

PONN & LINDEMANN 2011

Ponn, J. C.; Lindemann, U.: Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer 2011. ISBN: 978-3-642-20579-8.

POPIV 2012

Popiv, D.: Enhancement of driver anticipation and its implications on efficiency and safety. Diss. Technische Universität München, (2012).

PREIM & DACHSELT 2010

Preim, B.; Dachselt, R.: Interaktive Systeme - Band 1: Grundlagen, Graphical User Interfaces, Informationsvisualisierung. 2. Auflage. Berlin: Springer 2010. ISBN: 978-3-642-05401-3.

RASMUSSEN 1983

Rasmussen, J.: Skills, Rules and Knowledge; Signals, Signs and Symbols and other Distinctions in Human Performance Models. IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics SMC 13 (1983) 3, S. 257-266.

RAUBITSCHKEK et al. 2011

Raubitschek, C.; Deuble, P.; Bäker, B.: Approach of an Energetic Evaluation of different Deceleration Methods by use of Predictive Information. EEVC 2011 - Energy Efficient Vehicle Conference 2011. Dresden, 30. Juni - 01. Juli 2011 2011.

RAUCH et al. 2005

Rauch, N.; Gradenegger, B.; Krüger, H.-P.: Darf ich oder darf ich nicht? Situationsbewusstsein im Umgang mit Nebenaufgaben während der Fahrt. Beiträge aus der Zeitschrift für Arbeitswissenschaft: GRIN: 2005. ISBN: 978-3-640-68091-7.

REIF 2010

Reif, K.: Bremsen und Bremsregelsysteme. 1. Auflage. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag 2010. ISBN: 978-3-8348-1311-4.

RHEINBERG 2006

Rheinberg, F.: Intrinsische Motivation und Flow-Erleben. In: Heckhausen, J. et al. (Hrsg.): Motivation und Handeln. 4. Auflage. Berlin, Springer 2006, S. 365-388. ISBN: 978-3-64212-692-5.

SAENGER 2011

Saenger, B.: Charakterisierung der Mensch-Maschine-Schnittstelle hinsichtlich der Längsdynamik von Hybrid- und Elektrofahrzeugen. Unveröffentlichte Diplomarbeit Karlsruhe Institut für Technologie (KIT), (2011).

SAILER 2002

Sailer, U.: Aussagen zum Pedalgefühl im rechnergestützten Auslegungsprozess und in der Applikation von Pkw-Bremsanlagen. Brems.Tech 2002. München, 12.-13. Dezember 2002 2002.

SCHIMMEL 2010

Schimmel, C.: Entwicklung eines fahrerbasierten Werkzeugs zur Objektivierung subjektiver Fahreindrücke. Diss. Technische Universität München: 2010.

SCHMIDT 2010

Schmidt, R. F. (Hrsg.): Physiologie des Menschen. 31. Auflage. Heidelberg: Springer 2010. ISBN: 978-3-642-01650-9.

SENDLER 2012

Sendler, J.: Untersuchungen zur ergonomiegerechten Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstellen von aktuellen Pkw-Bremsanlagen. Diss. Technische Universität Ilmenau: Univ.-Verlag 2012. ISBN: 978-3-86360-037-2.

SHARMA 2012

Sharma, R.: Analyse des subjektiven Fahr-Erlebens und der Fahrzeuglängsführung bei verschiedenen Bedienkonzepten der Elektromobilität. Unveröffentlichte Diplomarbeit Hochschule München, (2012).

SHELDON et al. 2001

Sheldon, K. M.; Andrew, J. E.; Kim, Y.; Kasser, T.: What is Satisfying about Satisfying Events? Testing 10 Candidate Psychological Needs. *Journal of Personality and Social Psychology* 80 (2001) 2, S. 325-339.

SHELDON 2004

Sheldon, K. M.: *Optimal Human Being: An Integrated Multi-level Perspective*. Routledge: Psychology Press 2004. ISBN: 978-0-80584-189-3.

SILBERNAGL & DESPOPOULOS 2007

Silbernagl, S.; Despopoulos, A.: *Taschenatlas der Physiologie*. 7. Auflage. Stuttgart [u.a.]: Thieme 2007. ISBN: 3-13-567706-0.

SOLSO 2001

Solso, R. L.: *Cognitive psychology*. 6. Auflage. Heidelberg: Springer 2001. ISBN: 3-540-21270-1.

STAN 2008

Stan, C.: *Alternative Antriebe für Automobile - Hybridsysteme, Brennstoffzellen, alternative Energieträger*. 3. Auflage. Berlin: Springer 2008. ISBN: 978-3-642-25266-2.

TERHORST 2012

Terhorst, B.: *Analyse des subjektiven Fahr-Erlebens und der objektivierten Fahrweise auf einer Landstrecke sowie die Ableitung erlebnisorientierter Konzepte der Längsführung für Elektrofahrzeuge*. Unveröffentlichte Masterarbeit Hochschule Osnabrück, (2012).

THYRI 2003

Thyri, H.: *Relevante Emotionen im Marketing*. Wien: WUV-Univ.-Verl. 2003. ISBN: 3-85114-755-3.

TISCHLER & RENNER 2007

Tischler, M. A.; Renner, G.: *Ansatz zur Messung von positivem Fahrerleben - Die Messung von Fahrspaß und Ableitungen für die Fahrzeuggestaltung*. In: *Der Fahrer im 21. Jahrhundert*, Braunschweig, 14.-15. November 2007. VDI-Berichte Nr. 2015, VDI-Verlag ISBN: 978-3-18-092015-3.

TOMASKE & FORTMÜLLER 2001

Tomaske, W.; Fortmüller, T.: *Der Einfluss von Wahrnehmungsschwellen auf die Auslegung von Bewegungssystemen in der Fahrsimulation*. *Human Factors bei der Entwicklung von Fahrzeugen*. Hamburg, 2001.

TRAXEL 1974

Traxel, W.: *Grundlagen und Methoden der Psychologie*. 2. Auflage. Bern: Huber 1974. ISBN: 3-456-30576-1.

TRUTSCHEL 2007

Trutschel, R.: *Analytische und experimentelle Untersuchung der Mensch-Maschine-Schnittstellen von PKW-Bremsanlagen*. Diss. Technische Universität Ilmenau: Univ.-Verl. 2007. ISBN: 978-3-939473-14-5.

TURRENTINE et al. 2011

Turrentine, T.; Garas, D.; Lentz, A.; Woodjack, J. (Hrsg.): The UC Davis MINI E Consumer Study. Research Report UCD-ITS-RR-11-05, Institute of Transportation Studies, University of California, Davis, (2011).

UNITED NATIONS 2008

United Nations: State of the World's Cities 2010/2011 - Briding the Urban Divide. London: Earthscan 2008. ISBN: 978-1-84971-175-3. (Human Settlements Programme - UN-HABITAT).

VILIMEK et al. 2012

Vilimek, R.; Keinath, A.; Schwalm, M.: The MINI E field study - Similarities and differences in international everyday EV driving. In: Advances In Human Factors And Ergonomics 2012- 14 Volume Set: Proceedings Of The 4th AHFE Conference, San Francisco, CA, United States, 21.-25. Juli 2012. CRC Press, ISBN: 978-0-9796435-5-2.

VÖLZKE 2012

Völzke, K.: Lautes Denken bei kompetenzorientierten Diagnoseaufgaben zur naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung. Kassel: University Press 2012. ISBN: 978-3-89958-585-8.

VON SAUCKEN et al. 2011

von Saucken, C.; Diwischek, L.; Landau, M.; Lindemann, U.; Bengler, K.; Frenkler, F.: The Customer Experience Interaction Model "CEIM". User Experience in Cars, Workshop at Interact 2011. Lisbon, Portugal, 05.09.2011 2011.

WALLENTOWITZ & FREIALDENHOVEN 2011

Wallentowitz, H.; Freialdenhoven, A.: Strategien zur Elektrifizierung des Antriebsstranges. 2. Auflage. Wiesbaden: Vieweg + Teubner 2011. ISBN: 978-3-8348-1412-8.

WIETSCHEL et al. 2012

Wietschel, M.; Dütschke, E.; Funke, S.; Peters, A.; Plötz, P.; Schneider, U.; Roser, A.; Globisch, J. (Hrsg.): Kaufpotenzial für Elektrofahrzeuge bei sogenannten „Early Adoptern“. Endbericht Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi), (2012).

WINNER 2012

Winner, H. (Hrsg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. 2. Auflage. Wiesbaden: Vieweg + Teubner 2012. ISBN: 978-3-8348-1457-9.

ZELL et al. 2010

Zell, A.; Leone, C.; Arcati, A.; Schmitt, G.: Aktives Fahrpedal als Schnittstelle zum Fahrer. ATZ-Automobiltechnische Zeitung Jahrgang 112 (2010) 4, S. 280.

ZHANG et al. 1996

Zhang, L.; Helander, M. G.; Drury, C. G.: Identifying Factors of Comfort and Discomfort in Sitting. The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society 38 (1996) 3, S. 377-389.

ZÖLLER 2011

Zöllner, D.: Modellbasierte Regelung eines aktiven Bremspedals. Unveröffentlichte Diplomarbeit Hochschule München, (2011).

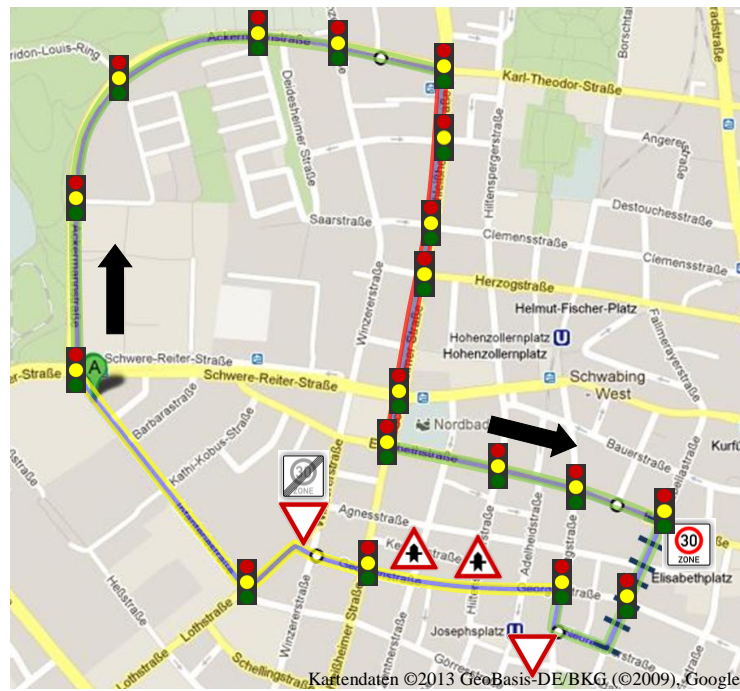
ZOMOTOR 2000

Zomotor, A.: Historische Entwicklung der Beurteilungsmethoden für das Fahrverhalten. In: Subjektive Fahreindrücke sichtbar machen, III. Renningen, Expert-Verlag 2000, ISBN: 978-3-8169-2531-6.

11. Anhang

11.1 Versuchsstrecken zur Charakterisierung möglicher Grundkonzepte

Teilstecke urbaner Verkehrsraum:



Teilstrecke ruraler Verkehrsraum:



Legende: ■ Niedriges Verkehrsaufkommen ■ Mittleres Verkehrsaufkommen ■ Hohes Verkehrsaufkommen

11.2 Fragebogen zur Charakterisierung möglicher Grundkonzepte

<p style="text-align: center;">BMW Group Forschung und Technik</p> <p style="text-align: center;"></p> <p>Gruppe/Probant: _____ Datum: _____ Uhrzeit: _____</p> <p>Probandenstudie „Erlebbarkeit Rekuperation – Landstrecke“</p> <p>Sehr geehrte VersuchsteilnehmerIn, sehr geehrter Versuchsteilnehmer,</p> <p>vielen Dank, dass Sie sich bereit erklärt haben an unserer Untersuchung teilzunehmen.</p> <p>Im Rahmen der Promotion von Herrn Thomas Eberl (ZT-1) erfolgt eine Beurteilung verschiedener Bedienkonzepte für die Fahrtdrängstiftung bei Elektromobilität. Hierzu bitten wir Sie diesen Fragebogen auszufüllen, denn Ihre Meinung ist uns sehr wichtig. Weiterhin wird während der gesamten Versuchsfahrt eine Gesprächsprotokollführung durchgeführt.</p> <p>Es besteht kein Beantwortungszwang, versuchen Sie dennoch alle Fragen zu beantworten um uns eine möglichst valide Auswertung zu ermöglichen. Eine Antwortkontrolle und Nachfrageaktion wird nicht stattfinden. Nach beendeter Auswertung der aufgeschriebenen Daten werden Sie von uns über die Befragungsergebnisse selbstverständlich informiert.</p> <p>Des Weiteren werden sämtliche Rohdaten und Audioaufzeichnungen nach der Auswertung vernichtet. Alle personenbezogenen oder -beziehbare Antworten werden nicht notiert und aus den Gesprächsaufzeichnungen gelöscht.</p> <p>Die Auswertung Ihrer Daten erfolgt selbstverständlich anonym und streng vertraulich. Die Verantwortung hierfür übernimmt ZT-1.</p> <p>Mit Ihrer Unterschrift bestätigen Sie, dass Sie mit der Auswertung Ihrer Daten sowie der Audioaufzeichnung während der Versuchsfahrt einverstanden sind.</p> <p style="text-align: right;">Datum: _____ Unterschrift: _____</p> <p style="text-align: right; font-size: small;">Erlebbarkeit Rekuperation – Landstrecke 1/2</p>	<p>A: Allgemeine Informationen</p> <p>Geschlecht: <input type="radio"/> weiblich <input type="radio"/> männlich</p> <p>Bitte geben Sie Ihr Alter an:</p> <p>18 – 28 <input type="radio"/> 29 – 39 <input type="radio"/> 40 – 50 <input type="radio"/> 51 – 61 <input type="radio"/> über 61 <input type="radio"/></p> <p>Wie hoch ist Ihre jährliche Fahrleistung?</p> <p>bis 5000 km <input type="radio"/> 5000 – 10.000 km <input type="radio"/> 10.000 – 15.000 km <input type="radio"/> 15.000 – 20.000 km <input type="radio"/> über 20.000 km <input type="radio"/></p> <p>Wie oft fahren Sie Auto?</p> <p>täglich <input type="radio"/> wöchentlich <input type="radio"/> monatlich <input type="radio"/></p> <p>Sind Sie bereits mit einem Elektrofahrzeug gefahren?</p> <p><input type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Nein</p> <p>Wenn Ja welche Fahrzeuge waren es und wie viele km sind Sie gefahren?</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%; text-align: center;">Fahrzeug</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">km</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </table> <p>Was verstehen Sie unter „Segeln“ im PKW?</p> <p>Konstantfahrt <input type="radio"/> Ausrollen <input type="radio"/> Kupplung treten <input type="radio"/> Motorbremse <input type="radio"/> schon mal gehört <input type="radio"/> nichts <input type="radio"/></p> <p>Wie häufig nutzen Sie das Auskuppeln für Verzögerungsvorgänge?</p> <p>nie <input type="radio"/> selten <input type="radio"/> manchmal <input type="radio"/> oft <input type="radio"/> immer <input type="radio"/></p> <p style="text-align: right; font-size: small;">Erlebbarkeit Rekuperation – Landstrecke 2/2</p>	Fahrzeug	km				
Fahrzeug	km						



B: Bewertung

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen hinsichtlich des eben gefahrenen Verzögerungsniveaus des Fahrpedals.

Wie haben Sie die **Fahrt erlebt**?

Wie haben Sie die **Verzögerung** nur durch das Fahrpedal erlebt? (Falls es keine Situation gab, überspringen Sie diese Frage bitte)

Wie haben Sie die Situationen erlebt, in denen Sie **kein Pedal** berührt haben? (Falls es keine Situation gab, überspringen Sie diese Frage bitte)

Wie sehr halten Sie das Fahrzeug unter **Kontrolle**? (Je größer die Figur, desto mehr Kontrolle)

Bitte geben Sie an wie Sie die **Verzögerung durch das Fahrpedals** empfunden haben.

zu schwach ausgegogen zu stark

Landstraße - Bewertung Stufe:

Probiernd:

Bitte geben Sie unten an mit welcher Intensität Sie die jeweiligen Aspekte während der Fahrt wahr genommen haben.

sehr
ger
mittel-
mäßig
nicht
sehr

Wie **störend** haben Sie das **Hin- und Herwechseln** zwischen den Pedalen empfunden?

Wie **gut** war es möglich eine **Geschwindigkeit** mit einer **konstanten Fußstellung** zu halten?

Wie **gut** konnten Sie während der **Fahrt entspannen**?

Wie sehr hatten Sie das Gefühl, dass Sie mit dem **Bedienkonzept** **energiefizient** gefahren sind?

Wie sehr hatten Sie während der Fahrt das Gefühl **Energie** **zurückzugewinnen**?

Wie **sicher** war der **Umgang** mit dem Fahrzeug bei diesem Verzögerungsniveau?

Für wie präzise hatten Sie die **Dosierbarkeit** der **Geschwindigkeit** bei einer **Anpassungsverzögerung**, z. B. **Verzögerung von 100 km/h auf 70 km/h**?

Wie **präzise** würden Sie die **Dosierbarkeit** der **Geschwindigkeit** bei einer **Zielverzögerung**, z. B. **Heraurollen** **an eine Ampel**, beschreiben?

Es folgen nun **Aussagen**, zu denen wir Sie **biten** anzugeben, **inwieweit** diese auf ihr **Erleben** während der **letzten Fahrt** zutreffen.

trifft
nicht
zu
weder
noch
trifft
zu

„Dieses Verzögerungsniveau vermittelt ein gutes Fahrgefühl.“

„Das Fahrzeug hat immer das gemacht, was ich von ihm erwartet habe.“

„Die Fahrzeuverzögerung konnte in dieser Stufe unverzüglich beeinflusst werden.“

„Ich habe die Fahrweise der anderen als behindernd empfunden.“

„Ich denke, die anderen haben meine Fahrweise als behindernd empfunden.“

Nachfolgend sehen Sie eine Liste von Wortpaaren, mit denen Hilfe Sie Ihr Erleben beschreiben können. Diese Wortpaare stellen jeweils extreme Gegensätze dar, zwischen denen jedoch eine Abstufung möglich ist.

Beispiel: neuartig X herkömmlich

Diese Bewertung bedeutet, dass Sie die Einstellmöglichkeit eher als neuartig erlebt haben. Denken Sie nicht lange über Wortpaare nach, sondern geben Sie bitte einfach direkt Ihre Einschätzung ab. Vielleicht erscheinen Ihnen einige Wortpaare als unpassend zu Ihrem erlebten Eindruck, kreuzen Sie aber dennoch bitte immer eine Antwort an. Denken Sie daran, dass es keine „richtigen“ oder „falschen“ Antworten geben kann – nur Ihre persönliche Meinung zählt!

Geben Sie bitte mit Hilfe folgender Wortpaare Ihr Erleben bei der Pedalbediennung für die eben gefahrenen Stufe wider.

einfach	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	kompliziert
hässlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	schön
praktisch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unpraktisch
stillvoll	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	stillos
voraussagbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unberechenbar
minderwertig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	wertvoll
phantasios	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	kreativ
gut	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	schlecht
vernünftig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	übersichtlich
lahm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	fesselnd

BMW Group
Forschung und Technik



C: Abschließende Bewertung urbaner Verkehrsraum

Im Nachfolgenden werden einige Fahrsituationen geschildert. Bitte geben Sie an welches Verzögerungsniveau Sie für die jeweilige Situation wählen würden:

Stufe 1: Segeln

Stufe 2: niedriges Verzögerungsniveau

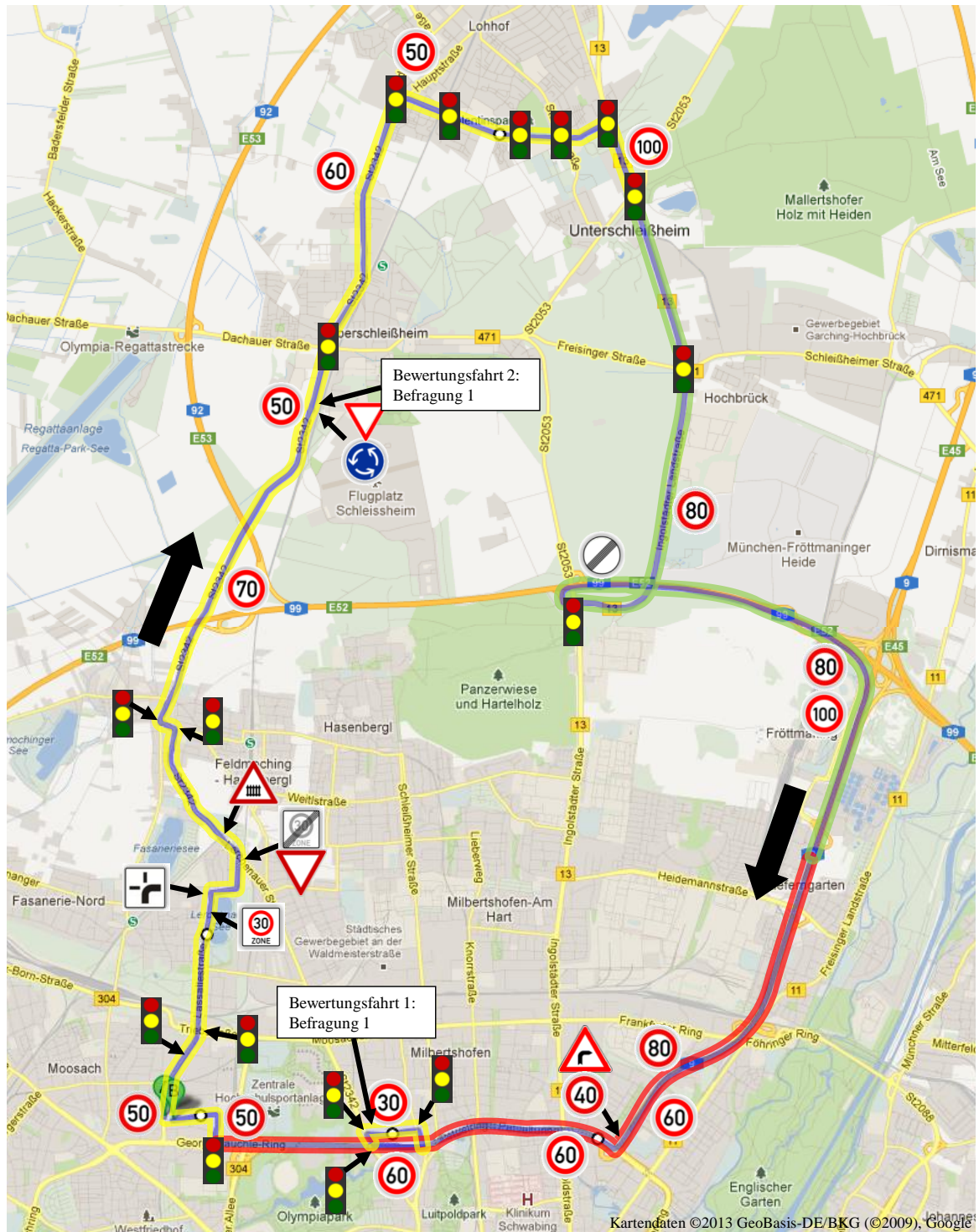
Stufe 3: mittleres Verzögerungsniveau

Stufe 4: hohes Verzögerungsniveau

1. Anpassungsverzögerungen z.B. von 100km/h auf 70 km/h auf der Landstraße Stufe
2. Anpassungsverzögerungen in Autobahnabfahrten
3. Zeitverzögerung bis zum Stillstand auf der Landstraße (z.B. rote Ampel, Vorfahrt gewähren)
4. Folgefahren auf der Landstraße bei dichtem Verkehr
5. monotone Konstanthahrt auf Autobahn
6. Spurwechsel auf der Autobahn
7. Kurvige Landstraßenfahrt mit niedrigem Verkehrsaufkommen
8. Überholvorgang und anschließendem Einscheren auf der Landstraße
9. flüssiges Abbiegen ohne Gegenverkehr

Vielen Dank für Ihre Unterstützung!


11.3 Versuchsstrecke zur Charakterisierung abgeleiteter Gestaltungskonzepte



Legende: ■ Niedriges Verkehrsaufkommen ■ Mittleres Verkehrsaufkommen ■ Hohes Verkehrsaufkommen

11.4 Fragebogen zur Charakterisierung abgeleiteter Gestaltungskonzepte

BMW Group
Forschung und Technik



Gruppe/Proband: _____ Datum: _____ Uhrzeit: _____

Probandenstudie „Erliebbarkeit Rekopulation“

Sehr geehrte Versuchsteilnehmerin, sehr geehrter Versuchsteilnehmer,
vielen Dank, dass Sie sich bereit erklärt haben an unserer Untersuchung teilzunehmen.

Im Rahmen der Promotion von Herrn Thomas Eweil (ZT-1) erfolgt eine Beurteilung verschiedener Bedienkonzepte für die Fahrzeuglenkung bei Elektromobilität. Hierzu bitten wir Sie diesen Fragebogen auszufüllen, denn Ihre Meinung ist uns sehr wichtig. Weiterhin werden wir während der gesamten Versuchsfahrt die Gespräche im Fahrzeug aufzeichnen, um die Auswertung zu erleichtern.

Es besteht kein Beantwortungszwang, bitte versuchen Sie dennoch alle Fragen zu beantworten um uns zu möglichst validen Ergebnissen zu verhelfen. Eine Antwortkontrolle und Nachfrageaktion wird nicht stattfinden. Nach beendeter Auswertung der aufgeschriebenen Daten werden Sie von uns über die Befragungsergebnisse selbstverständlich informiert.

Des Weiteren werden sämtliche Rohdaten und Audioaufzeichnungen nach der Auswertung vernichtet. Alle personenbezogenen oder -beziehbare Antworten werden nicht notiert und aus den Gesprächsaufzeichnungen gelöscht.

Die Auswertung Ihrer Daten erfolgt selbstverständlich anonym und streng vertraulich. Die Verantwortung hierfür übernimmt ZT-1.

Mit Ihrer Unterschrift bestätigen Sie, dass Sie mit der Auswertung Ihrer Daten sowie der Audioaufzeichnung während der Versuchsfahrt einverstanden sind.

Datum _____ Unterschrift _____

Erliebbarkeit Rekopulation

A: Allgemeine Informationen

Geschlecht: weiblich männlich

Bitte geben Sie Ihr Alter an:

18 – 28 29 – 39 40 – 50 51 – 61 über 61

Wie hoch ist Ihre jährliche Fahrleistung?

bis 5000 km 5000 – 10.000 km 10.000 – 15.000 km 15.000 – 20.000 km über 20.000 km

Wie oft fahren Sie Auto?

täglich wöchentlich monatlich <monatlich

Wie oft fahren Sie mit Schalspaddels am Lenkrad?

nie mal ausprobiert manchmal oft immer

Sind Sie bereits mit einem Elektrofahrzeug gefahren? Ja Nein

Wenn ja, welche Fahrzeuge waren es und wie viele km sind Sie gefahren?

Fahrzeug	km



Bewertungsfragebogen

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen bezüglich des oben gefahrenen Konzepts. Versuchen Sie dabei Ihre eigene Wahrnehmung zu beschreiben. Wenn keine der gegebenen Antwortmöglichkeiten zutrifft, kreuzen Sie bitte die Antwort an, die am ehesten passt.

1. Wie haben Sie die Fahrt erlebt?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Wie empfanden Sie die Handhabung des Fahrzeugs?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Es folgen nun Aussagen, zu denen wir Sie bitten anzugeben, inwieweit diese auf Ihr Erleben während der Fahrt zutreffen.



3. „Die Fahrzeugverzögerung kommt in diesem Konzept unverzüglich beeinflusst werden.“	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. „Das Verzögerungsniveau war in jeder Situation nachvollziehbar.“	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. „Ich habe die Fahrweise der anderen als behindernd empfunden.“	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. „Das Konzept stelle für die jeweilige Fahrsituation das passende Verzögerungsniveau bereit.“	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. „Bei hohen Geschwindigkeiten reichte mir die Verzögerung beim Losen des Fahrpedals aus.“	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. „Die Veränderung der Verzögerung bei verschiedenen Geschwindigkeiten hat mich gestört.“	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bitte halten Sie die oben bearbeitete Fahrt in Ihren Gedanken fest und erinnern sich an die verschiedensten Gedanken und Gefühle, die Ihnen währenddessen durch den Kopf gegangen sind. Versuchen Sie die Intensität dieser Gefühle mit Hilfe der unten genannten Skala bestmöglich zu beschreiben bzw. abzugrenzen. Hierbei können Sie zwischen fünf Abstufungen wählen. Lassen die gesamte Fahrt nochmals Revue passieren und antworten Sie möglichst spontan!

Während der Fahrt halte ich das Gefühl ...



9. Neues zu erleben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. dass alles an seinem Platz ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. meinen Wissensdurst zu stillen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. schwierige Aufgaben erfolgreich zu meistern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Dinge auf meine eigene Art und Weise tun zu können.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. komplexe Situationen zu beherrschen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15. dass alles in gewohnter Art und Weise abläuft.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16. von angenehmer Routine.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17. das tun zu können, was ich für richtig halte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18. neue Eindrücke zu bekommen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19. hohe Anforderungen erfüllen zu können.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20. selbstbestimmt handeln zu können.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bitte geben Sie an, wie Sie die genannten Aspekte während der Fahrt empfunden erlebt haben.



21. Wie sicher war der Umgang mit dem Fahrzeug bei diesem Konzept?
22. Wie sehr hatten Sie das Gefühl, dass Sie mit dem Bedienkonzept energieeffizient gefahren sind?
23. Wie sehr hatten Sie während der Fahrt das Gefühl Energie zurückzugewinnen?
24. Wie gut konnten Sie während der Fahrt entspannen?
25. Wie präzise konnten Sie die Geschwindigkeit bei Verzögerungen regulieren, z.B. beim Heranrollen an eine Ampel oder verzögern von 100km/h auf 70 km/h?
26. Wie gut war es Ihnen möglich die Geschwindigkeit mit einer konstanten Fußstellung zu halten?
27. Wie gut war die ausgewählte Stufe zu erkennen?
28. Wie gut ließ sich das Fahrzeug beherrschen?
29. Wie sehr wird durch diesen Modus eine ruhige Fahrweise ermöglicht?

Nachfolgend sehen Sie eine Liste von Wortpaaren, mit deren Hilfe Sie Ihr Erleben beschreiben können. Diese Wortpaare stellen jeweils extreme Gegensätze dar, zwischen denen jedoch eine Abstufung möglich ist:

Beispiel: neuartig herkömmlich

Diese Bewertung bedeutet, dass Sie die Ernsthaftigkeit eher als neuartig erlebt haben. Denken Sie nicht lange über Wortpaare nach, sondern geben Sie bitte einfach direkt Ihre Einschätzung ab. Vielleicht erschannen Ihnen einige Wortpaare als unpassend zu Ihrem erlebten Eindruck, kreuzen Sie aber dennoch bitte immer eine Antwort an. Denken Sie daran, dass es keine „richtigen“ oder „falschen“ Antworten geben kann – nur Ihre persönliche Meinung zählt!

Geben Sie bitte mit Hilfe folgender Wortpaare Ihr Erleben bei der Bedienung für das eben gefahrene Konzept wieder.

30. einfach kompliziert
31. hässlich schön
32. praktisch unpraktisch
33. stilvoll stillos
34. vorausagbar unberechenbar
35. minderwertig wertvoll
36. phantasielos kreativ
37. gut schlecht
38. verwirrend übersichtlich
39. lahm fesselnd



C: Probandenstudie „Erflebbarkeit Rekuperation“

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen hinsichtlich der Abendfahrten mit dem **MINI E** in den vergangenen Tagen:

1. Wieviele Kilometer sind Sie gefahren? _____ km
2. Wie bekannt war Ihnen die gefahrene Strecke insgesamt?

vollständig bekannt	überwiegend bekannt	teilweise bekannt	überwiegend unbekannt	vollständig unbekannt
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. Wie groß war der zeitliche Anteil der innerstädtischen Strecke? _____ %
4. Wie gut konnten Sie sich mit dem Konzept vertraut machen?

gernein	kaum	mittelmäßig	überwiegend	völlig
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. Wie häufig haben Sie die Schaltpedale benutzt?

nie	mal ausprobiert	manchmal	oft	immer
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. Ich habe mit den Schaltpedalen die Fahrzeugverzögerung verändert ...
(Bitte nur eins ankreuzen)

<input type="radio"/> ... in vielen Verzögerungssituationen	<input type="radio"/> ... in manchen Verzögerungssituationen	<input type="radio"/> ... beim Wechsel zwischen Verkehrsräumen (z.B. Stadt auf Land)	<input type="radio"/> ... nur Anfangs zum Ausprobieren der Funktion
---	--	--	---
7. Inwieweit konnten Sie die Schaltpedale in Ihre Fahraufgabe einbinden?

gernein	kaum	mittelmäßig	überwiegend	völlig
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8. Hatten Sie Probleme? Wenn ja, welche?

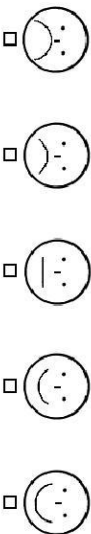


D: Bewertungsfagebogen

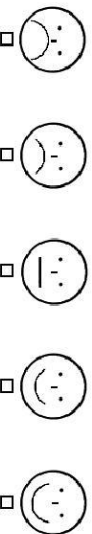
Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen bezüglich des eben gefahrenen Konzepts. Versuchen Sie dabei Ihre eigene Wahrnehmung zu beschreiben.

Wenn keine der gegebenen Antwortmöglichkeiten zutrifft, kreuzen Sie bitte die Antwort an, die am ehesten passt.

1. Wie haben Sie die Fahrt erlebt?



2. Wie empfanden Sie die Handhabung des Fahrzeugs?



Es folgen nun Aussagen, zu denen wir Sie bitten anzugeben, inwieweit diese auf Ihr Erleben während der Fahrt zutreffen.



- 3. „Die Fahrzeugverzögerung konnte in diesem Konzept unverzüglich beeinflusst werden.“
- 4. „Das Verzögerungsniveau war in jeder Situation nachvollziehbar.“
- 5. „Ich habe die Fahrweise der anderen als behindernd empfunden.“
- 6. „Die Situationen zum Umschalten des Verzögerungsniveaus waren klar zu erkennen.“
- 7. „Die einzustellende Verzögerung war vorhersehbar.“
- 8. „Die Schaltmöglichkeit mit den Paddels unterstützte mich beim Einstellen einer passenden Verzögerung.“
- 9. „Durch die Schaltmöglichkeit habe ich das passende Verzögerungsniveau ausgewählt.“

Bitte halten Sie die soeben beendete Fahrt in Ihren Gedanken fest und erinnern sich an die verschiedensten Gedanken und Gefühle, die Ihnen währenddessen durch den Kopf gegangen sind. Versuchen Sie die Intensität dieser Gefühle mit Hilfe der unten genannten Skala bestmöglich zu beschreiben bzw. abzugrenzen. Hierbei können Sie zwischen fünf Ausdrücken wählen. Lassen die gesamte Fahrt nochmals Revue passieren und antworten Sie möglichst spontan!

Während der Fahrt hatte ich das Gefühl...



- 10. Neues zu erleben.
- 11. dass alles an seinem Platz ist.
- 12. meinen Wissensdurst zu stillen.
- 13. schwierige Aufgaben erfolgreich zu meistern.
- 14. Dinge auf meine eigene Art und Weise tun zu können.
- 15. komplexe Situationen zu beherrschen.
- 16. dass alles in gewohnter Art und Weise abläuft.
- 17. von angenehmer Routine.
- 18. das tun zu können, was ich für richtig halte.
- 19. neue Eindrücke zu bekommen.
- 20. hohe Anforderungen erfüllen zu können.
- 21. selbstbestimmt handeln zu können.

Bitte geben Sie an, wie Sie die genannten Aspekte während der Fahrt empfunden erlebt haben.

	gar nicht	sehr							
22. Wie sicher war der Umgang mit dem Fahrzeug bei diesem Konzept?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23. Wie sehr hatten Sie das Gefühl, dass Sie mit dem Bedienkonzept energieeffizient gefahren sind?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24. Wie sehr hatten Sie während der Fahrt das Gefühl Energie zurückzugewinnen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25. Wie gut konnten Sie während der Fahrt entspannen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26. Wie präzise konnten Sie die Geschwindigkeit bei Verzögerungen regulieren, z.B. beim Heranrollen an eine Ampel oder verzögern von 100 km/h auf 70 km/h?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27. Wie gut war es Ihnen möglich die Geschwindigkeit mit einer konstanten Fußstellung zu halten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28. Wie gut war die ausgewählte Stufe zu erkennen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29. Wie gut ließ sich das Fahrzeug beherrschen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30. Wie sehr wird durch diesen Modus eine ruhige Fahrweise ermöglicht ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31. Wie beanspruchend war das Wählen eines für die Fahrsituation passenden Verzögerungsmoments?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bitte beurteilen Sie den Grad der **physischen Beanspruchung** in Verzögerungssituationen, wenn Sie die Verzögerung eingestellt haben. ...

	sehr gering	sehr hoch							
32. ... rein mit dem Fahrpedal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
33. ... rein mit den Schaltpaddels	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
34. ... mit den Schaltpaddels und dem Fahrpedal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bitte beurteilen Sie den Grad der **mentalen Beanspruchung** in Verzögerungssituationen, wenn Sie die Verzögerung eingestellt haben. ...

	sehr gering	sehr hoch							
35. ... rein mit dem Fahrpedal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
36. ... rein mit den Schaltpaddels	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
37. ... mit den Schaltpaddels und dem Fahrpedal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3/4

Nachfolgend sehen Sie eine Liste von Wortpaaren, mit deren Hilfe Sie Ihr Erleben beschreiben können. Diese Wortpaare stellen jeweils extreme Gegensätze dar, zwischen denen jedoch eine Abstufung möglich ist:

Beispiel: neuartig herkömmlich

Diese Bewertung bedeutet, dass Sie die Einstellmöglichkeit eher als neuartig erlebt haben.

Denken Sie nicht lange über Wortpaare nach, sondern geben Sie bitte einfach direkt Ihre Einschätzung ab. Vielleicht erscheinen Ihnen einige Wortpaare als unpassend zu Ihrem erlebten Eindruck, kreuzen Sie aber dennoch bitte immer eine Antwort an. Denken Sie daran, dass es keine „richtiger“ oder „falscher“ Antworten geben kann – nur Ihre persönliche Meinung zählt!

Geben Sie bitte mit Hilfe folgender Wortpaare Ihr Erleben bei der Bedienung für das eben gefahrene Konzept wieder.

38. einfach	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	kompliziert
39. hasallich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	schön
40. praktisch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unpraktisch
41. stilvoll	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	stillos
42. voraussagbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unberechenbar
43. minderwertig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	wertvoll
44. pharlasieles	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	kreativ
45. gut	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	schlecht
46. verwirrend	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Übersichtlich
47. lähm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	fesselnd

F: Abschließende Bewertung

Bitte kreuzen Sie bei den nachfolgenden Fahrtsituationen an, ob Sie für die jeweilige Situation lieber ein **adaptives System** oder eine **manuell** Steuerung für die Einstellung des Verzögerungsmoments halten.
Falls Sie die **manuelle** Bedienung möchten, geben Sie wenn möglich die gewünschte Stufe an.

Verfügbare Stufen: 0 – 4 (Stufe 0 = Segeln, Stufe 4 = max. Rekuperation; vgl. LED-Anzeige)

Beispiel:
Wenn Sie gern mit dem **manuellen System** in Stufe 2 die Fahrt auf gerader Straße fahren wollen.
Fahrt auf gerader Straße **adaptiv** **manuell** 2
Wenn Sie sich ein **adaptives System** für die Fahrt auf gerader Straße wünschen.
Fahrt auf gerader Straße **adaptiv** **manuell**

- | | | | | |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. Stadt: wenig Verkehr | <input type="checkbox"/> | adaptiv | <input type="checkbox"/> | manuell |
| 2. Stadt: viel Verkehr | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Allein auf der Landstraße | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. Freizeitfahrt: Mitfahrer, Beladung | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5. Autobahn: Cruisen, hohe Geschwindigkeit | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6. Autobahn: viel Verkehr, Stop&Go | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7. Wädrige Umfeldbedingungen | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8. Ökologisches Fahren | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9. Halten, Parken, Rangieren | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

10. Welchen Grad an Einstellbarkeit halten Sie am geeignetsten? (Bitte nur eins ankreuzen)
- Reine Serienabstimmung ausreichend
 - Auswahl eines Modus für mein Fahrzeug (z.B. beim Kauf)
 - Auswahl eines Modus für die Fahrt
 - Wechsel zwischen verschiedene Verkehrsräume
 - Wechsel in manchen Verzögerungssituationen
 - Wechsel in vielen Verzögerungssituationen

11. Wenn Sie sich vorstellen zwei Verzögerungsmomente im Drive auswählen zu können, **welche Stufe** sollte als Standard und welche als Alternative verfügbar sein?
Standard: _____ Alternative: _____

12. Wie viele Stufen benötigen Sie für eine komfortable Bedienung der Paddels im Vergleich zu der vorgegebenen Anzahl?
- | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--------------------------|----|--------------------------|----|--------------------------|-------|--------------------------|----|--------------------------|----|--------------------------|----|--------------------------|
| -3 | <input type="checkbox"/> | -2 | <input type="checkbox"/> | -1 | <input type="checkbox"/> | +/- 0 | <input type="checkbox"/> | +1 | <input type="checkbox"/> | +2 | <input type="checkbox"/> | +3 | <input type="checkbox"/> |
|----|--------------------------|----|--------------------------|----|--------------------------|-------|--------------------------|----|--------------------------|----|--------------------------|----|--------------------------|

13. Wie häufig haben Sie den Segelbutton benutzt?

nie	<input type="checkbox"/>	mal ausprobiert	<input type="checkbox"/>	manchmal	<input type="checkbox"/>	oft	<input type="checkbox"/>	immer	<input type="checkbox"/>
-----	--------------------------	-----------------	--------------------------	----------	--------------------------	-----	--------------------------	-------	--------------------------

14. Wie beanspruchend war die Interaktion mit dem Schallpaddels?

gar nicht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	sehr
-----------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	------

15. Wie beanspruchend war die Interaktion mit dem adaptiven System?

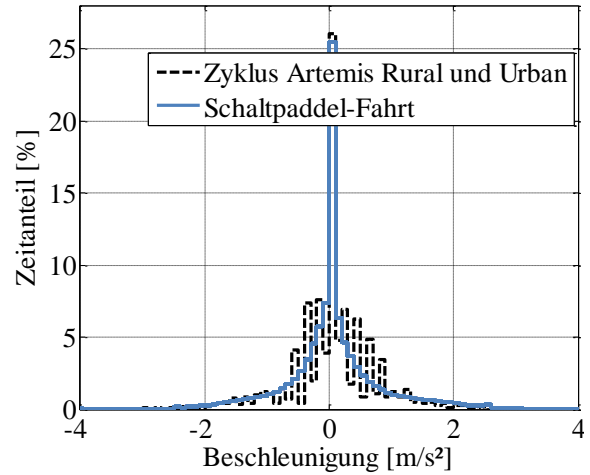
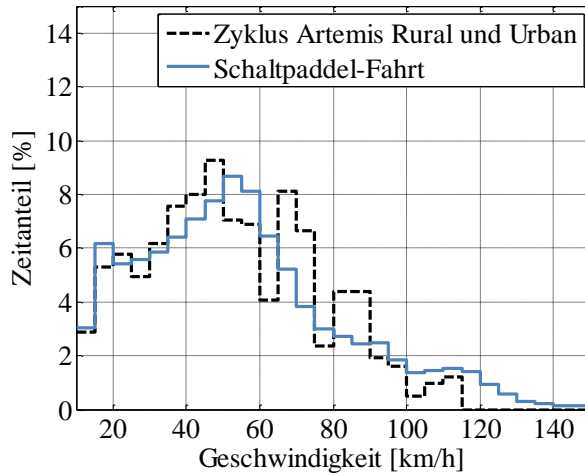
gar nicht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	sehr
-----------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	------

16. Was wären Sie bereit für eine manuelle Wahlmöglichkeit der Verzögerung durch Schallpaddels als Sonderausstattung auszugeben?

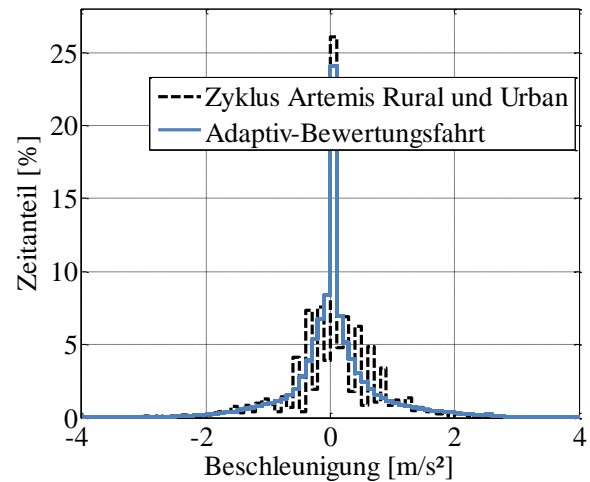
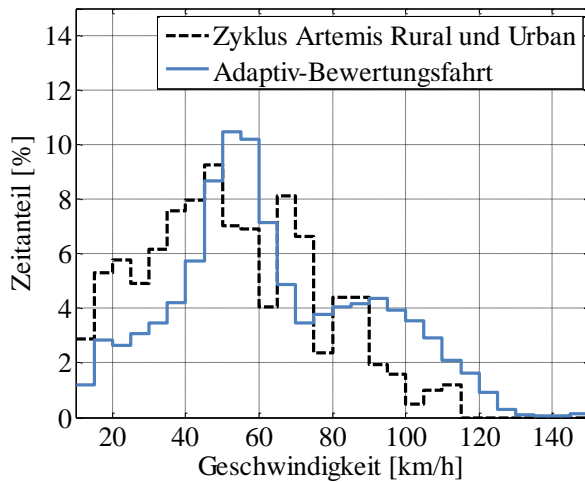
- Kein Interesse an der Funktion
- 250 € (vgl. Multifunktion für Lenkrad)
- 500 € (vgl. Tempomat mit Bremsfunktion)
- 750 € (vgl. Xenon-Licht)
- 1.250 € (vgl. Dynamische Dämpfer Control)
- 1.750 € (vgl. Integral-Aktivlenkung)

Vielen Dank für Ihre Unterstützung!

11.5 Fahrverhalten im Experiment Charakterisierung abgel. Gestaltungskonzepte



Häufigkeit verschiedener Geschwindigkeiten und Beschleunigungen im Rahmen der Fahrt im Gestaltungskonzept ❶ sowie Gegenüberstellung mit den Artemis-Fahrzyklen



Häufigkeit verschiedener Geschwindigkeiten und Beschleunigungen im Rahmen der Bewertungsfahrt 2 im Gestaltungskonzept ❷ sowie Gegenüberstellung mit den Artemis-Fahrzyklen