



Fakultät für Maschinenwesen
Lehrstuhl für Ergonomie

**Längsdynamik und Antriebsakustik von elektrifizierten
Straßenfahrzeugen – Beschreibung und Gestaltung des
emotionalen Erlebens**

Hermann Hajek

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen
der Technischen Universität München
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigten Dissertation.

Vorsitzender:

Prof. Dr. Veit Senner

Prüfer der Dissertation:

1. Prof. Dr. Klaus Bengler

2. Prof. Dr. Udo Lindemann

Die Dissertation wurde am 23.01.2017 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 24.07.2017 angenommen.

Kurzfassung

Elektrifizierte Antriebe für Straßenfahrzeuge bieten aufgrund ihrer Motorcharakteristik viele verschiedene Möglichkeiten zur Einstellung des längsdynamischen Verhaltens. Sie differenzieren sich von Fahrzeugen mit konventionellem Antrieb auch durch ihr leises Innenraumgeräusch. Durch Einsatz geeigneter Maßnahmen kann jedoch auch die Antriebsakustik im Innenraum zielgerichtet inszeniert werden.

Diese Arbeit fokussiert die Beschreibung und Gestaltung des emotionalen Erlebens der Fahrer von elektrifizierten Straßenfahrzeugen. Als maßgebliche Einflussgrößen auf die Wahrnehmung und das Erleben des Antriebs werden die Beschleunigungswahrnehmung und die auditive Wahrnehmung betrachtet. Zur Ermittlung einer weiten kognitiven Erlebnisstruktur, werden in der ersten Studie Erlebnisse aus dem Fahrzeugkontext mit Freizeiterlebnissen verglichen. Der zweite Versuch vergleicht, ausgehend von dieser Struktur, das emotionale Erleben der Fahrer beim Fahren konventioneller und elektrifizierter Antriebe manöverbasiert im realen Straßenverkehr. In zwei Einzelversuchen zur Längsdynamik und Innenraumakustik werden die gefundenen Erlebnisgrößen des ersten Fahrversuchs detaillierter untersucht. Der letzte Fahrversuch integriert die gefundenen Wirkgrößen, welche starken Einfluss auf das Erleben von Fahrzeugantrieben haben und bindet verschiedene Fahrerintentionen mit ein. Abschließend werden die Einflussgrößen diskutiert und technische Gestaltungsempfehlungen gegeben, wie das Fahrerleben elektrifizierter Fahrzeugantriebe zielgerichtet und positiv gestaltet werden kann.

Abstract

Electric drivetrains in road vehicles provide a broad control range to adjust the longitudinal dynamics due to their specific motor characteristics. They are distinguished from vehicles with gasoline engines by their low interior noise. By using suitable measures, it is possible to configure the interior acoustics in a specific desired way.

This thesis focuses on the specification and configuration of the driver's emotional experience while driving an electric vehicle. The driver's perception of acceleration and acoustics are selected as the main control factors on the perception and experience of electric drivetrains. In the first study, vehicle related experiences are compared with leisure experiences in order to determine a wide cognitive experience structure. Beginning with this structure, the second study compares driving experiences of conventional and electrified drive maneuvers based in real traffic situations. The resulting key-experiences of the first road test are examined in detail in two additional studies dedicated to longitudinal dynamics and interior acoustics. The last road test integrates the found control variables, which have a strong influence on experiencing vehicle drivetrains and include different drive intentions. In conclusion, the influence variables are discussed and technical design recommendations are given on how electrified vehicle drivetrains can be designed specifically and positively for the driver.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei einigen Personen bedanken, die auf vielfältige Weise zum Gelingen der Dissertation beigetragen haben. Sie haben nicht nur durch fachliche Unterstützung und Diskussionen zum Erfolg der Arbeit beigetragen, sondern mich auch immer wieder neu motiviert und auch zum Durchhalten ermutigt.

Insbesondere bedanke ich mich bei

- Prof. Klaus Bengler dafür, dass Sie mir die Möglichkeit zur Promotion gegeben haben sowie die zahlreichen interessanten Diskussionen und wertvollen Rückmeldungen. Ich hoffe, dass Ihnen die gemeinsamen Fahrtermine ebenso viel Spaß bereitet haben, wie mir. Vielen Dank!
- Prof. Udo Lindemann für die Bereitschaft die Rolle des Zweitgutachters zu übernehmen und für die interessanten Vorlesungen von Beginn bis Ende meines Studiums.
- meinem Mentor Prof. Armin Eichinger, für die vielen, vielen Diskussionen und ermutigend-unterhaltsamen Gespräche weit über die Dissertation hinaus.
- meinem früheren Kommilitonen, LfE-Mitdoktoranden und jetzigen Kollegen Dr. Thomas Müller für die vielen ermunternden Gespräche, Diskussionen über Psychophysik und die Unterstützung bei meinen Versuchen.
- meinem Kollegen Dr. Thomas Eberl für die großartige Betreuung bei BMW.
- Annegret Franzl, Kristian Hristov und Claire Rolshoven, die mich im Rahmen von Studienarbeiten tatkräftig unterstützt haben.
- meinen Kollegen von BMW für die Unterstützung und der BMW Group für die bereitgestellten Versuchsfahrzeuge und Messtechnik. Erwähnen möchte ich namentlich Marcus Pluntke, Sebastian Neuhaus und Jürgen Fernsemer.
- meinen Kollegen am LfE für die Unterstützung und die schöne Promotionszeit. Exemplarisch genannt seien hier Michael Krause, Dr. Martin Kienle und Albert Zaindl.
- meiner gesamten Familie für die Ermutigung, Unterstützung sowie das fortwährende Interesse an der Arbeit und dem erfolgreichen Abschließen dieser. Erwähnen möchte ich neben meinen Großeltern und meiner Mutter, besonders meinen Vater, der mich beginnend vom ersten Semester meines Studiums bis hin zum Korrekturlesen der Dissertation immer und immer unterstützt und ermutigt hat. Außerdem gilt mein herzlicher Dank meiner Frau Shewita, die mich fortwährend ermutigte und einen großen Beitrag daran hat, dass ich die Arbeit abschließen konnte. Bei meinen Söhnen Jonathan und Silas bedanke ich mich dafür, dass Sie mich durch Ihre volle Lebensfreude zusätzlich dazu ermutigt haben, die Arbeit erfolgreich abzuschließen.

Ihnen und Euch allen ein herzliches „Vergelt's Gott!“

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Technische und psychologische Grundlagen	9
2.1. Bestrebungen und Herausforderungen in der Antriebsentwicklung	9
2.1.1. Konventionelle Antriebe in Personenkraftwagen	10
2.1.2. Elektrische Antriebe in Personenkraftwagen	10
2.2. User Experience	12
2.3. Wahrnehmungspsychologische Grundlagen der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion	15
2.3.1. Vestibuläre Wahrnehmung	16
2.3.2. Beschreibung einer Fahrzeuginnenbeschleunigung	18
2.3.3. Auditive Wahrnehmung	20
2.3.4. Beschreibung von Motorgeräuschen.....	22
2.4. Emotionspsychologische Grundlagen	23
2.4.1. Erarbeitung einer Definition zum Begriff Emotion im Kontext dieser Arbeit.....	24
2.4.2. Beschreibung von Emotionen: Valenz und Anregung.....	25
2.4.3. Relevante Emotionstheorien	28
2.4.4. Kognitive Abläufe bei der Entstehung von Emotionen (Plutchik, 1980).....	30
2.4.5. Zusammenfassende Betrachtung: Vom Erleben zur Emotion und von der Emotion zum Erlebnis	34
3. Stand der Technik und Ableitung des Forschungsbedarfs	35
3.1. Relevante Vorarbeiten zu Wahrnehmung und Erleben von Fahrzeugantrieben	35
3.1.1. Zum Fahrerleben allgemein	35
3.1.2. Zu Wahrnehmung und Erleben der Längsdynamik.....	37
3.1.3. Zu Wahrnehmung und Erleben der Antriebsakustik	40
3.1.4. Zu Wahrnehmung und Erleben von Längsdynamik im Zusammenhang mit der Antriebsakustik	42
3.2. Abgrenzung, Ableitung des Forschungsbedarfs und Forschungsfragen	43
4. Vergleich von Fahrerlebnissen mit Freizeiterlebnissen	47
4.1. Forschungsfragen	47
4.2. Methodik	48
4.2.1. Card-Sorting Methode	48
4.2.2. Verwendete Sortiermethode.....	49
4.2.3. Charakterisierung und Untersuchung der einzelnen Stapel.....	49
4.2.4. Untersuchung der Stapel durch eine Multidimensionale Skalierung.....	49
4.2.5. Bildung einer Rangreihenfolge aller Erlebnisse	50
4.2.6. Probandenkollektiv	50
4.3. Ergebnisse	51
4.3.1. Ergebnisse der Multidimensionalen Skalierung	51
4.3.2. Ergebnisse der Rangreihenfolge.....	54
4.3.3. Ergebnisse der PANAS-Skalen.....	55
4.3.4. Ergebnisse der Befragung zu den sortierten Stapeln	57

4.4.	Diskussion.....	58
4.5.	Schlussfolgerungen für die weiteren Versuche der Arbeit.....	60
4.5.1.	Folgerungen für die Fahrzeugauswahl.....	60
4.5.2.	Folgerungen für die Fahrzeugspezifikation (Längsdynamik und Motorakustik).....	60
4.5.3.	Folgerungen für die eingesetzten Methoden zur Emotionserfassung.....	61
4.5.4.	Vorschlag zur Erweiterung des Emotionsmodells nach Plutchik (1980) um einen sensomotorischen Aspekt.....	62
5.	Vergleich des emotionalen Erlebens konventioneller und elektrischer Antriebe	65
5.1.	Forschungsfragen.....	66
5.2.	Methodik.....	67
5.2.1.	Explorative Vorgehensweise.....	67
5.2.2.	Versuchsfahrzeuge.....	67
5.3.	Durchführung.....	74
5.3.1.	Versuchsablauf und Befragungsmethoden.....	74
5.3.2.	Versuchsstrecke.....	75
5.3.3.	Manöver.....	76
5.3.4.	Probandenkollektive der beiden Versuchsteile.....	77
5.4.	Ergebnisse des Vergleichs hoch motorisierter Antriebe.....	78
5.4.1.	Erwartungen der Probanden und Ergebnisse des Abschlussfragebogens.....	78
5.4.2.	Deskriptive Auswertung und Mittelwertvergleich.....	80
5.4.3.	Gruppenspezifische Auswertung - Diskriminanzanalyse.....	82
5.4.4.	Ergebnisse der subjektiven Äußerungen und der erinnerten Erlebnisse.....	84
5.5.	Ergebnisse des Vergleichs durchschnittlich motorisierter Fahrzeuge.....	85
5.5.1.	Erwartungen an Antriebe und Ergebnisse des Abschlussfragebogens.....	86
5.5.2.	Deskriptive Auswertung und Mittelwertvergleich.....	87
5.5.3.	Ergebnisse der subjektiven Äußerungen.....	89
5.6.	Diskussion.....	91
5.6.1.	Diskussion des Vergleichs hoch motorisierter Fahrzeuge.....	91
5.6.2.	Diskussion des Vergleichs durchschnittlich motorisierter Fahrzeuge.....	93
5.6.3.	Vergleichende Diskussion der beiden Versuchsteile.....	94
6.	Einfluss von Längsdynamikvariation auf das Antriebserleben.....	99
6.1.	Hypothesen.....	99
6.2.	Versuchsplanung und Methodik.....	100
6.2.1.	Versuchsfahrzeug.....	100
6.2.2.	Versuchsdurchführung.....	102
6.2.3.	Probandenkollektiv.....	103
6.3.	Ergebnisse.....	103
6.3.1.	Bewertung der Valenz in den Durchgängen.....	103
6.3.2.	Bewertung der Anregung in den Durchgängen.....	104
6.3.3.	Bewertung der Sportlichkeit in den Durchgängen.....	105
6.3.4.	Einfluss von Beschleunigungsgradient und Maximalbeschleunigung.....	106
6.4.	Diskussion und Hypothesenüberprüfung.....	108

7.	Einfluss von inszeniertem Motorsound auf das Antriebserleben.....	111
7.1.	Hypothesen	111
7.2.	Versuchsplanung und Methodik.....	112
7.2.1.	Vorgehensweise	112
7.2.2.	Versuchsfahrzeug.....	113
7.2.3.	Versuchsablauf und Befragungsmethoden	114
7.2.4.	Probandenkollektiv	116
7.3.	Ergebnisse	117
7.3.1.	Emotionen und Anregung während den Versuchsdurchgängen	117
7.3.2.	Schätzung der Leistung in den einzelnen Durchgängen.....	118
7.3.3.	Wahrgenommene Sportlichkeit	119
7.3.4.	Gruppenspezifische Auswertung.....	121
7.4.	Diskussion und Hypothesenüberprüfung	122
8.	Erleben von Elektroantrieben und Fahrerintention	125
8.1.	Hypothesen	125
8.2.	Methodik.....	126
8.2.1.	Priming, Storytelling Methode und verwendete Storys	126
8.2.2.	Versuchsfahrzeug.....	130
8.3.	Durchführung.....	135
8.3.1.	Versuchsablauf und Befragungsmethoden	135
8.3.2.	Versuchsstrecke	136
8.3.3.	Manöver	137
8.3.4.	Probandenkollektiv	137
8.4.	Ergebnisse	138
8.4.1.	Deskriptive Auswertung und Mittelwertvergleiche.....	138
8.4.2.	Gruppenspezifische Auswertung.....	142
8.4.3.	Einfluss der Reihenfolge der Fahrten	142
8.4.4.	Auswertung der subjektiven Daten.....	143
8.5.	Diskussion und Hypothesenüberprüfung	145
8.5.1.	Diskussion der Fahrten mit entspannter Intention.....	146
8.5.2.	Diskussion der Fahrten mit angeregter Intention	147
8.5.3.	Vergleichende Diskussion der beiden Versuchsteile	149
9.	Diskussion.....	151
10.	Anhang.....	161
10.1.	Weitere Daten und Ergebnisse der Versuche	161
10.2.	Abbildungsverzeichnis	178
10.3.	Tabellenverzeichnis	184
11.	Literaturverzeichnis	187

1. Einleitung

Elektromobilität im Wandel der Zeit

Elektrisch betriebene Fahrzeuge aller Art sind kein Phänomen des 21. Jahrhunderts. Im Jahre 1881, fünf Jahre bevor Carl Benz den Patent-Motorwagen Nummer 1 vorstellte, präsentierte der französische Elektroingenieur Gustave Trouvé in Paris das Trouvé Tricycle, ein dreirädriges Elektrofahrzeug, vergleiche Desmond und Devitt (2015) und Abbildung 1-1. Ausgestattet mit einer elektrischen Maschine und wieder aufladbaren Bleiakкумуляtor konnte das Gefährt bis zu 12 km/h schnell und rund 26 km weit fahren.

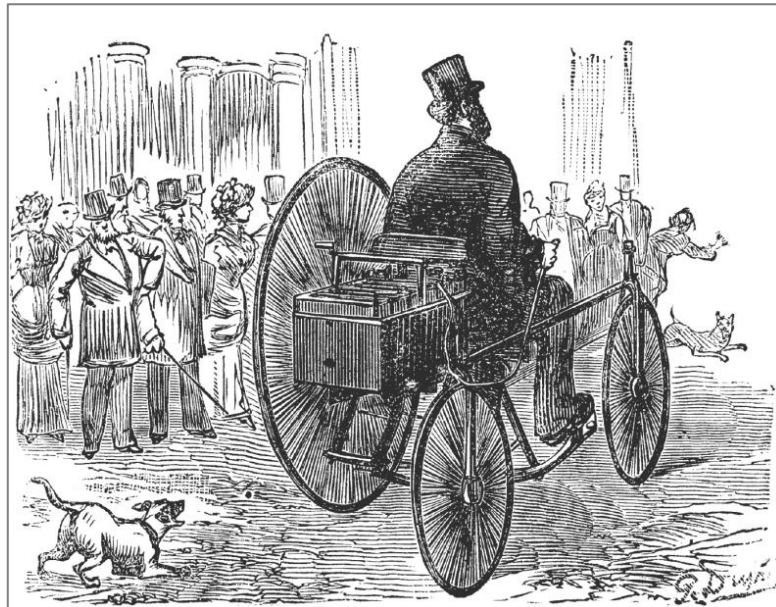


Abbildung 1-1: Zeitgenössische Darstellung eines Künstlers zur Präsentation des Trouvé Tricycle in Paris aus dem Jahr 1881; Die Grafik wurde ursprünglich in Clerc (1881-1883) gezeigt und aus Desmond und Devitt (2015) übernommen

Ein wichtiger Schritt auf dem Weg hin zum ersten elektrisch betriebenen Fahrzeug war die Erfindung der selbsterregten Gleichstrommaschine, die Ernst von Siemens und Charles Wheatstone 1866 unabhängig voneinander, aber fast zeitgleich, entwickelten (Kampker, 2014). Ab 1875 wurden die Maschinen zur elektrischen Kraftübertragung so weiterentwickelt, dass eine Dynamomaschine als Motor und die andere als Generator eingesetzt werden konnte (Weidauer, 2013). Diese fanden dann als elektrische Lokomotiven, Straßenbahnen und auch im Schiffsverkehr Anwendung, vergleiche Yay (2011), Weidauer (2013) und Kampker (2014). Um Elektromotoren auch in Fahrzeugen des Individualverkehrs wirtschaftlich einsetzen zu können, wird ein Energiespeicher benötigt, der elektrische Energie abgeben kann und idealerweise wieder aufladbar ist.

EINLEITUNG

Diese Anforderungen erfüllt der 1859 von Gaston Planté entwickelte Bleiakкумуляtor als eine der ersten wieder aufladbaren Sekundärbatterien (Trueb & Rüetschi, 1998). Durch diese Entwicklungen wurde der Grundstein für Elektrofahrzeuge des Individualverkehrs gelegt.

Dementsprechend lieferten sich Automobile mit Dampftrieb, Elektrofahrzeuge und benzinbetriebene Wagen zwischen dem 19. und 20. Jahrhundert ein Kopf an Kopf Rennen um die Gunst der Automobilpioniere. Im Jahr 1900 wurden in den USA 1.688 Dampfautomobile, 1.525 Elektrofahrzeuge und nur 929 Ottomotorwagen produziert (Becker, 2010). Dampfautomobile schieden in der Folge aufgrund ihres schlechten Wirkungsgrades schnell aus dem Rennen aus. Elektrofahrzeuge wurden als „sicher, zuverlässig und geräuscharm“ bezeichnet, wohingegen die Verbrennungsfahrzeuge als „laut, wetterabhängig, stinkend und gefährlich“ galten (Kampker, 2014, S. 4). Dennoch setzte sich in der Folge der Verbrennungsmotor durch. Dies ist vor allem auf die höhere massenspezifische Energie von Benzin im Vergleich zu Akkumulatoren zurück zu führen. So kann Benzin 12.000 Wh/kg (in Form von Wärme) freisetzen, wohingegen der historische Bleiakкумуляtor nur maximal 45 Wh/kg Energie lieferte (Trueb & Rüetschi, 1998, S. 7). Dies hatte zur Folge, dass damalige batterie-elektrische Fahrzeuge ein vergleichsweise hohes Fahrzeuggewicht aufgrund der schweren Bleibatterien hatten und eine sehr geringe Reichweite aufwiesen. Der historische „Lohner-Porsche“ von 1900 wog stattliche 980 Kilogramm, wobei die Akkumulatoren allein mit 410 Kilogramm zu Buche schlugen, vergleiche Becker (2010).

Auf Seiten der Ottomotoren setzte parallel eine rasante Entwicklung von technischen Verbesserungen ein. So wurden die Motoren durch die von Robert Bosch entwickelte Zündkerze und Verbesserungen in der Gemischbildung immer leistungsstärker und auch effizienter (Basshuysen & Schäfer, 2014). Im Jahre 1911 wurde von Charles Kettering der elektrische Anlasser entworfen, was als weiterer wichtiger Wegbereiter für die Marktdurchdringung von Verbrennungsmotoren gilt, da das aufwändige Ankurbeln entfiel (König, 2010). Zusätzlich konnten in der Folge Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor wesentlich kostengünstiger produziert werden als Elektrofahrzeuge (Westbrook, 2001). Diese Entwicklung führte dazu, dass Elektrofahrzeuge für den Individualverkehr bis zum Ende des 20. Jahrhunderts nur eine Nebenrolle spielten. Elektrische Fahrzeuge fand man fortan hauptsächlich in Nah- und Fernverkehrszügen sowie in Straßen- und U-Bahnen, sowie vereinzelt in oberleitungsgebundenen elektrischen Bussen in Großstädten. Mit der Entwicklung neuer Batteriekonzepte wie den Lithiumionen-Batterien, welche eine Energiedichte bis zu 150 Wh/kg ermöglichen (Bauer, 1999, S. 576) und der weltweit immer restriktiver werdenden Abgasgesetzgebung wurde der Elektromobilität um die Jahrtausendwende langsam neues Leben eingehaucht.

Elektromobilität heute

Heute bewegt Elektromobilität (wieder) die Gesellschaft. Die Bundesregierung und die deutsche Industrie setzten sich im Jahr 2010 als ambitioniertes, gemeinsames Ziel 1.000.000 Elektro-Fahrzeuge bis 2020 auf die deutschen Straßen zu bringen, siehe BMUB (2010). Ende 2014 waren es in Deutschland statt der erwarteten 100.000 nur 29.000 zugelassene Elektrofahrzeuge. In Presseartikeln zum Thema Elektromobilität wird meist

in kritischer Form über die Rahmenbedingungen berichtet. Die Schlagzeilen reichen von „Festgefahren - Warum das Elektroauto nicht vorankommt“ (Wüst, 2015) über „Kurzschluss in der E-Mobilität“ (Remmert, 2015) bis zu „Sozialfall der Autoindustrie“ (Fromm, 2015). Viele dieser Presseartikel kritisieren die „zu geringen“ Reichweiten, die „zu schlechte“ Ladeinfrastruktur und die „zu lange“ Ladedauer. Diese Sichtweise betrachtet allerdings eher die Rahmenbedingungen der Elektromobilität als das elektrische Fahren selbst. Über das Fahrgefühl, das Elektrofahrzeuge vermitteln, und die Eindrücke der Fahrer, wird wenig oder nur am Rande publiziert.

Emotionales Erleben technischer Produkte

In einer aktuellen Studie werden Erstnutzer von Elektrofahrzeugen in Deutschland nach der Motivation, warum ein elektrifiziertes Fahrzeug angeschafft wurde, befragt (Frenzel, Jarass, Trommer & Lenz, 2015). Die drei am häufigsten genannten Kaufgründe sind: Interesse an der innovativen Fahrzeugtechnologie, Reduzierung der Umweltbelastung und günstige Energiekosten pro gefahrenem Kilometer. Diese drei eher pragmatischen Kaufgründe spiegeln nur einen Teil des Selbstanspruchs der großen deutscher Premium-Automobilhersteller wider. Exemplarisch für diesen Anspruch steht die Aussage von Norbert Reithofer im Onlineinterview, dem damaligen Vorstandsvorsitzenden von BMW: „Wer sich für ein Premium-Fahrzeug entscheidet, kauft damit etwas Besonderes, Begehrliches (...). Unsere Fahrzeuge sind in puncto Dynamik und Sportlichkeit führend, und das ist ein wichtiger Kaufgrund. Unsere Marken lösen zudem Emotionen aus.“ Reithofer (2013, S. 1).

Die oben zitierte Studie nennt erst an vierter Stelle als einen weiteren Kaufgrund den Fahrspaß, welchen Elektroantriebe bieten. Der genannte Selbstanspruch der Premiumhersteller, dass Mobilität Emotionen auslösen soll, muss zweifelsohne auch – und vor dem Hintergrund der vordergründig pragmatischen Kaufgründe sogar besonders – für Elektrofahrzeuge gelten! Doch dies wirft im selben Moment einige Fragen auf:

- Wie werden Elektroantriebe beim Fahren erlebt?
- Lösen Elektroantriebe in gleichem Maße Emotionen aus, wie es konventionelle Fahrzeuge vermögen?
- Welche Wahrnehmungskanäle werden besonders angesprochen?
- Lassen sich die auftretenden Emotionen durch geeignete Veränderung der Antriebseigenschaften gestalten?

Um diese eingangs gestellten Fragen beantworten zu können, hilft der Blick hin zu anderen Forschungsdisziplinen. In den ersten Jahren des neuen Jahrtausends regte Donald Norman an, dass die Entwicklung von Produkten nicht nur auf die reine Erfüllung deren Aufgabe, der sogenannten Gebrauchstauglichkeit oder Usability, fokussiert sein sollte. Vielmehr muss auf positives und emotionales Design Wert gelegt werden, vergleiche Norman (2004) und Norman (2005). Anhand vieler Beispiele wird dargelegt, wie technische Eigenschaften von Produkten positive oder negative Emotionen auslösen können. Somit legt Norman durch die Verknüpfung von Technik und Emotion den Grundstein für emotionales Produktdesign.

EINLEITUNG

Während einerseits technische Produkteigenschaften für Ingenieure gestaltbare Ausprägungen darstellen und wie Werkzeuge angesehen werden, fällt es dem Techniker andererseits schwer, emotionales Design im Auslegungs- und Konstruktionsprozess anzuwenden. Das Zitat „Everyone knows what an emotion is, until asked to give a definition.“ von Fehr und Russell (1984, S. 464) zeigt das Dilemma auf, das selbst anerkannte Emotionspsychologen beschreiben. Bevor Emotionen, welche durch Änderungen der Umwelt hervorgerufen werden, entstehen, müssen entsprechende Stimuli der Umwelt wahrgenommen und diese dann im zweiten Schritt emotional bewertet werden (Hamm, 2006). Es stellt sich die Frage, welche Sinneskanäle maßgeblich an der Wahrnehmung von Antriebseigenschaften beteiligt sind. Gemäß Lange (2008), Tomaske (1983), Müller (2015) und Bubb, Bengler, Grünen und Vollrath (2015) sind dies vor allem die Beschleunigungswahrnehmung und die auditive Wahrnehmung. Deswegen fokussiert sich diese Arbeit auf die beiden genannten Sinneskanäle und die Emotionen, die dadurch ausgelöst werden.

Es ist notwendig, dass sich der Produktentstehungsprozess noch viel intensiver damit beschäftigt, welche technischen Größen, bestimmte Emotionen auslösen, unterstützen und fördern können. Über die Entstehung und Funktion von Emotionen gibt es unterschiedliche Ansichten, die stark von der jeweiligen Betrachtungsrichtung abhängen. Da diese Arbeit Emotionen aus der wahrnehmungs- und kognitionspsychologischen Richtung aus betrachtet, wird auf eine geeignete kognitive Emotionstheorie zurückgegriffen, um die Ergebnisse zu diskutieren. Es gibt nicht nur viele verschiedene Emotionstheorien, sondern auch eine große Anzahl an Methoden, die sich zum Ziel setzen, Emotionen zu erfassen. Diese reichen von einfachen kurzen Fragebögen, die ohne großen Aufwand beantwortet werden können, bis hin zu aufwendigen Gesichtsscans, die anhand der Mimik, Emotionen interpretieren. Auch physiologische Messungen und Selbsteinschätzungen des somatosensorischen Feedbacks von Emotionen im Körper werden durchgeführt, um Emotionen einzuordnen, vergleiche Abbildung 1-2.

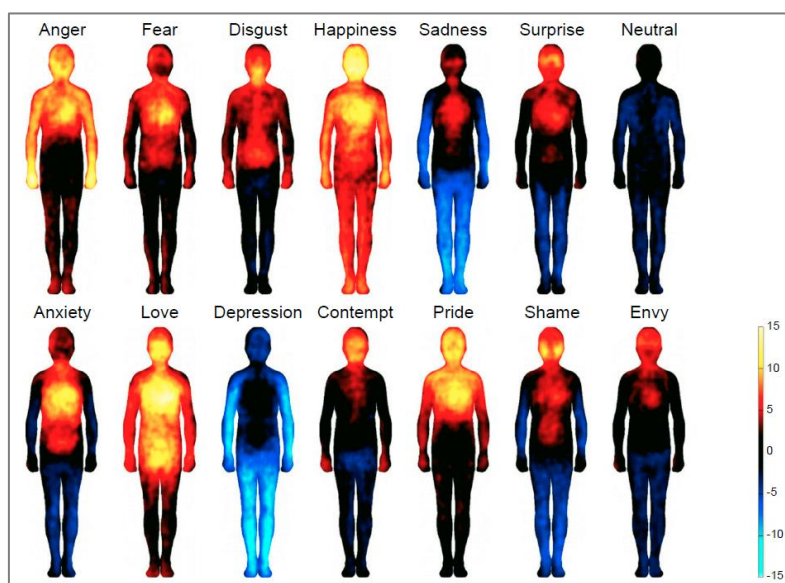


Abbildung 1-2: Somatosensorisches Feedback von Emotionen im Körper (die Skala rechts beschreibt die subjektive Höhe der selbsteingeschätzten Aktivität im Körper); Grafik entnommen aus Nummenmaa, Glerean, Hari und Hietanen (2013)

In diesem eindrucksvollen Beispiel von Nummenmaa et al. (2013) werden 700 Probanden nach einer Emotionsinduktion gebeten, die Regionen im Körper zu kennzeichnen, in denen sie während dem Erleben einer bestimmten Emotion eine gesteigerte Aktivität wahrnahmen.

Selbstanspruch der Arbeit

Die Faszination, die Fahrzeugantriebe auf viele Menschen ausüben, zeigte sich schon sehr früh. Die vierte These des futuristischen Manifests von Filippo Tommaso Marinetti aus dem Jahr 1909 lautet: „Wir erklären, dass sich die Herrlichkeit der Welt um eine neue Schönheit bereichert hat: die Schönheit der Geschwindigkeit. Ein Rennwagen, dessen Karosserie große Rohre schmücken, die Schlangen mit explosivem Atem gleichen (...) ein aufheulendes Auto (...) ist schöner als die Nike von Samothrake.“ (Marinetti, Paris, 20. Februar 1909). Ein Vergleich eines historischen Rennwagens von 1909 mit der angesprochenen Statue zeigt Abbildung 1-3. Nun, 110 Jahre später hat, das Automobil nichts von seiner Faszination eingebüßt. Der Motorsport erfreut sich nach wie vor großer Beliebtheit, in Fernsehen und Internet sind viele Fahrzeugmagazine und Sendungen zu finden.

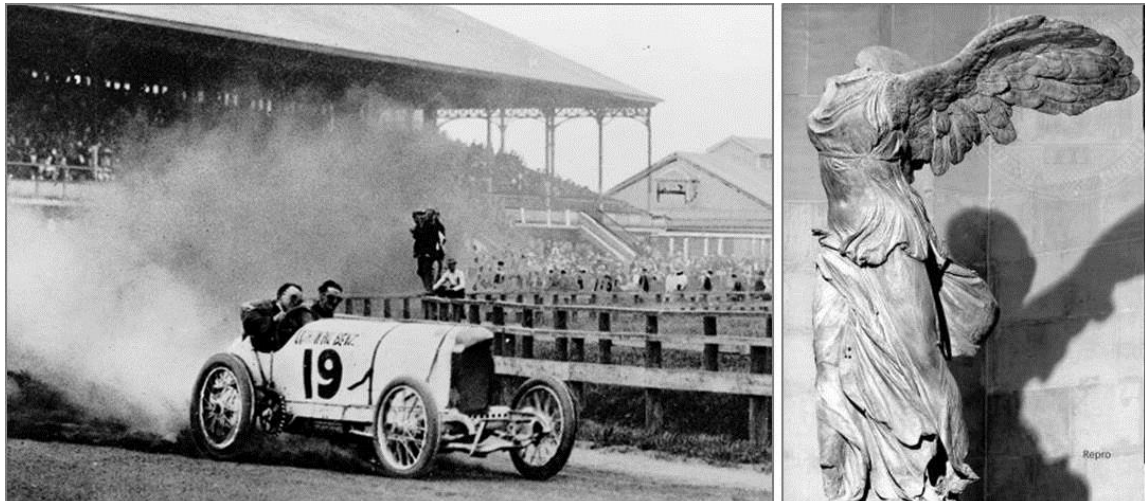


Abbildung 1-3: Benz 200 PS „Blitzenbenz“ (links) von 1909 und die Statue der Nike von Samothrake (rechts). Abbildung des Rennwagens von Mercedes-Benz Classic (2015), Abbildung der Statue von Uni Köln (2016)

Vor dem Hintergrund der bevorstehenden großen Umwälzungen in der Automobilindustrie hin zu hochautomatisiertem Fahren und Elektromobilität setzt diese Arbeit an. Sie liefert einen wichtigen Beitrag dazu, das Verständnis davon zu erweitern, wie Fahrzeugantriebe und im Besonderen elektrifizierte Antriebe vom Fahrer erlebt werden. Dafür greift sie auf einfache und schnell durchführbare Methoden zur Erfassung des emotionalen Erlebens zurück und verknüpft die gewonnenen Ergebnisse mit den technischen Beschreibungsgrößen des jeweils untersuchten Fahrzeugantriebs. Durch diese Vorgehensweise wird es möglich, anhand physikalischer, im Fahrzeug wirkender Größen, einen Rückschluss auf die emotionale Wirkungsweise beim Fahrer zu ziehen. Darüber hinaus werden Gestaltungsempfehlungen gegeben, wie Elektroantriebe technisch ausgelegt werden sollten, damit diese vom Fahrer positiv emotional erlebt werden.

Gliederung der Arbeit

Um den genannten Ansprüchen gerecht zu werden, gliedert sich die Arbeit wie folgt: In Kapitel 2 werden Herausforderungen für die Antriebsentwicklung und emotionspsychologische sowie wahrnehmungspsychologische Grundlagen beschrieben. Dann wird in Kapitel 3 der Stand der Technik vorgestellt und daraus der Forschungsbedarf abgeleitet. Gemeinsam bilden diese beiden einführenden Kapitel den Grundstein für die Studien dieser Arbeit.

Da der aktuelle Forschungsstand zum Thema Erleben von Fahrzeugantrieben sehr heterogen ist, wird nach einer übergreifenden Beschreibung der Struktur von Erlebnissen gesucht. Dazu gibt es verschiedene Ansätze, wie beispielsweise die Experience Sampling Methode von Schallberger (2005). Probanden werden dabei in zufälligen Zeitabständen dazu aufgefordert, ihr aktuelles Erleben und ihre aktuelle Tätigkeit zu beschreiben. So entsteht ein sehr breites Bild vom allgemeinen Erleben der Versuchsteilnehmer. Dieser Ansatz wird abstrahiert aufgegriffen und fließt in die erste durchgeführte Studie in Kapitel 4 ein. Hier wird durch einen holistisch angelegten Card-Sorting Versuch ein breiter Erlebnisraum aufgespannt. Dieser beschreibt die kognitive Repräsentation ausgewählter Fahrzeug- und Freizeiterlebnisse, die sich hinsichtlich ihrer Dynamik und ihrer akustischen Komponente unterscheiden. Aus den Ergebnissen des Versuchs ergeben sich wichtige Schlussfolgerungen für die weiteren Versuche der Arbeit. Diese werden in Kapitel 4.5 erläutert. So fließt unter anderem die gefundene kognitive Struktur von Erlebnissen in den zweiten großen Versuch in Kapitel 5 ein und das Emotionsmodell wird für Versuche im Realfahrzeug erweitert. Der Versuch des Kapitels 5 vergleicht das emotionale Erleben durchschnittlich und hoch motorisierter Fahrzeugantriebe im Realversuch. Dabei werden gängige konventionelle und elektrifizierte Fahrzeuge hinsichtlich ihrer Antriebseigenschaften auf einer Versuchsstrecke verglichen, innerhalb derer bestimmte Manöver durchfahren werden. Ein Ergebnis dieses Versuchs sind identifizierte Einflussgrößen, die auf das emotionale Erleben von elektrifizierten Fahrzeugantrieben einwirken oder darauf übertragen werden können. Diese werden hinsichtlich Längsdynamik und Antriebsakustik in zwei weiteren Versuchen genauer betrachtet. Im ersten dieser beiden Versuche in Kapitel 6 werden manöverbasiert längsdynamische Kenngrößen variiert und deren Einfluss auf das Erleben der Antriebe untersucht. Im zweiten Versuch in Kapitel 7 wird der Einfluss eines inszenierten Motorsounds auf das Antriebserleben im Elektrofahrzeug während einer Beschleunigungsphase untersucht. Dieser Versuch findet ebenfalls manöverbasiert statt. Beide Versuche liefern gestaltbare Erlebnisgrößen, die Eingang in den letzten Versuch finden. Dieser wird in Kapitel 8 vorgestellt und fasst die bis dahin gefundenen Ergebnisse zusammen. Die Studie wird abermals im realen Straßenverkehr auf einer vorgegebenen Strecke manöverbasiert durchgeführt. Hierbei wird noch die Fahrerintention mit einbezogen, um zu klären, welchen Einfluss diese auf die gefundenen Wirkgrößen und die Erwartungen der Fahrer hat. Die Struktur der durchgeführten Versuche zeigt Abbildung 1-4. Abschließend werden in Kapitel 9 die vorhergehenden Versuche in der Zusammenschau diskutiert und ein Ausblick, sowie Gestaltungsempfehlungen gegeben.

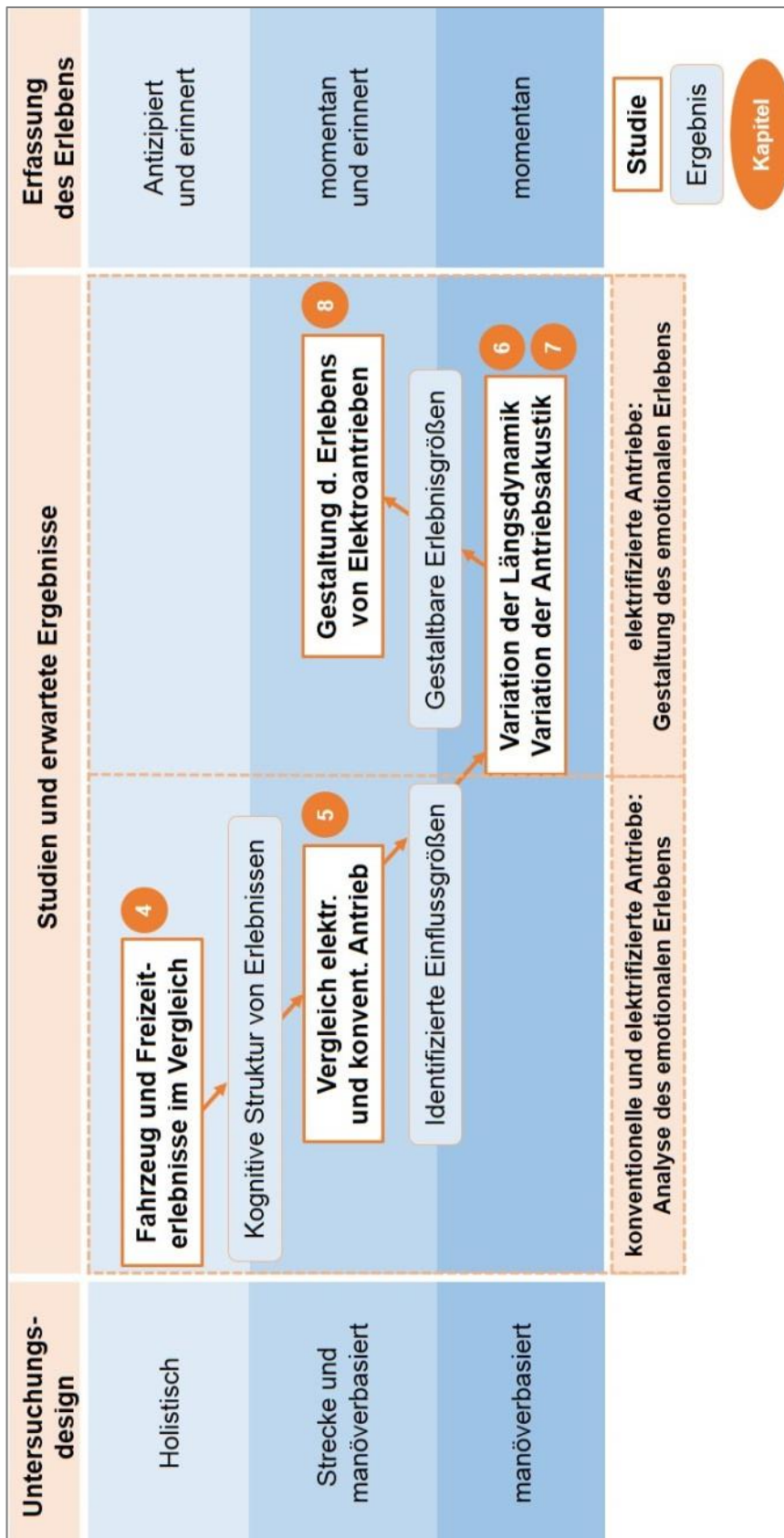


Abbildung 1-4: Struktur der Arbeit

2. Technische und psychologische Grundlagen

Das einleitende Kapitel beschreibt die Herausforderungen, aber auch die großen Chancen, die mit der zunehmenden Elektrifizierung des Straßenverkehrs einhergehen. Um die eingangs gestellten Fragen beantworten zu können, greift diese Arbeit auf Ansätze, Methoden und Theorien verschiedener Forschungsgebiete zurück. Sie betrachtet Längsdynamikvariationen, die durch den Einsatz von applikativen Änderungen in den Motorsteuergeräten der Versuchsfahrzeuge umgesetzt werden. Eine Veränderung der Antriebsakustik ist heutzutage durch den Einsatz von „Active Sound Design“-Methoden möglich. Diese greifen relevante Daten wie Geschwindigkeit, Fahrpedalwinkel, anliegendes Moment oder Fahrerwunschmoment aus Steuergeräten sowie von Fahrzeugbussystemen ab und generieren einen eigenen Motorsound. Dieser wird über das im Fahrzeug verbaute Soundsystem, Zusatzlautsprecher und teilweise auch über Außenlautsprecher inszeniert. Neben den technischen Anforderungen muss sich die Arbeit zur Ermittlung der Auswirkung auf die Wahrnehmung und des subjektiven Erlebens des Fahrers auch grundlegender psychologischer Theorien und Methoden bedienen. Hierbei stehen zuerst wahrnehmungs- und dann emotionspsychologische Grundlagen im Vordergrund, welche es zu erläutern gilt. Einen methodischen Beitrag liefert die User Experience Forschung. Dieser noch junge Forschungszweig untersucht emotionale Aspekte der Interaktion zwischen dem Mensch und technischen Produkten.

2.1. Bestrebungen und Herausforderungen in der Antriebsentwicklung

In Zukunft wird der Anteil an elektrisch betriebenen Straßenfahrzeugen im Straßenverkehr stetig steigen, um das wachsende Bedürfnis nach Mobilität in der Weltbevölkerung zu befriedigen (Lienkamp, 2012). Konventionelle Antriebskonzepte werden auf einen weiter sinkenden Kraftstoffverbrauch getrimmt, indem an den Grundmotoren sowie vor allem an der Peripherie intensiv optimiert und geforscht wird. Auch die Getriebe werden immer effizienter konstruiert und der Wirkungsgrad stetig erhöht. Es steht jedoch außer Frage, dass all diese Anstrengungen letztlich nicht ausreichen werden, um die weiterhin restriktiver werdenden Vorschriften seitens des Gesetzgebers hinsichtlich der CO₂ Emissionen in Zukunft zu erreichen. „Wir konnten unsere durchschnittliche Emission mit Hilfe effizienterer Motoren und innovativer Spritspartekniken von 210 Gramm auf 144,7 Gramm pro Kilometer in Deutschland senken. Vielleicht schaffen wir mit konventionellen Technologien auch noch 120 Gramm. Aber dann ist Schluss, dann ist technisch alles ausgereizt.“ (Reithofer, 2013, S. 3). Deswegen müssen Plug-In Hybrid Konzepte und reine Elektrofahrzeuge den Markt in Zukunft mehr und mehr durchdringen, um die sich weiter

verschärfenden Abgasvorschriften erfüllen zu können. Nachfolgend werden Bestrebungen in konventionellen Hubkolbenmotoren, die nach dem Otto-Prinzip arbeiten, vorgestellt und dann auch ein kurzer Abriss zu den elektrischen Fahrzeugantrieben gegeben.

2.1.1. Konventionelle Antriebe in Personenkraftwagen

Um den Schadstoffausstoß und damit den Kraftstoffverbrauch weiter zu reduzieren, werden bei Hubkolbenmotoren große Anstrengungen unternommen und viele technische Neuerungen entwickelt und eingesetzt. Basshuysen und Schäfer (2014) nennen hierbei unter anderem folgende Entwicklungsschritte, die zur Effizienzsteigerung von Ottomotoren maßgeblich beitragen: Direkteinspritzung, Mehrfacheinspritzung, Ladungsschichtung, vollvariable Ventiltriebe, Zylinderabschaltung bei Mehrzylindermotoren, Kurbelwellen-Starter-Generatoren, variables Hubvolumen, Downsizing durch Hochaufladung, Turboaufladung als Verbrauchskonzept, Reibleistungsminimierung, elektrischer Antrieb von Hilfsaggregaten oder Abgaswärmenutzung. Den größten Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch hat nach wie vor der Fahrer selbst. Dementsprechend werden weitere Innovationen eingeführt, um das Fahrverhalten der Fahrer bedarfsgerecht zu unterstützen. Dazu gehören Schaltpunktanzeigen bei Fahrzeugen mit Handschaltgetrieben und verbrauchsgünstige Fahrmodi, die vom Fahrer über das Anzeige-Bedienkonzept angewählt werden können. Diese beeinflussen die Motorapplikation sowie das Fahrpedalkennfeld verbrauchsgünstig. Außerdem kommt in modernen Fahrzeugen häufig die Motor-Start-Stopp Funktion zum Einsatz, die den Verbrennungsmotor im Stillstand abstellt. Außerdem bietet sich das Abkoppeln des Verbrennungsmotors vom Antriebsstrang während längerer Ausrollphasen an. Dieses sogenannte Segeln kann zu einer Verdopplung des Ausrollweges gegenüber der konventionellen Schubabschaltung genutzt werden und somit helfen, Kraftstoff einzusparen.

2.1.2. Elektrische Antriebe in Personenkraftwagen

Elektrische Antriebssysteme in Personenkraftwagen unterscheiden sich deutlich von konventionell mit Verbrennungsmotoren betriebenen Fahrzeugen. Diese Unterschiede beziehen sich zuerst auf die verwendeten Antriebskomponenten. Daraus resultierend unterscheidet sich das Fahrverhalten von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor und Elektrofahrzeugen ebenfalls deutlich, was sich auch an den Ergebnissen der Versuche dieser Arbeit zeigen wird.

Gemäß Bauer (1999, S. 576), Lienkamp (2014) und (Reupold, 2014)¹ umfassen die **Antriebskomponenten** von Elektrofahrzeugen immer: Energiespeicher, elektrische Maschine, Wechselrichter und Getriebe, siehe Abbildung 2-1. Diese Komponenten werden bei den reinen Elektrofahrzeugen als Antriebsstrang bezeichnet. Weitere wichtige Komponenten des elektrifizierten Antriebsstranges sind: Ladeeinrichtung, Wechselrichter (Inverter), das Niedervolt-Bordnetz und ein elektrischer Kältemittelverdichter zur Kühlung hitzeempfindlicher Komponenten. Im **Energiespeicher** wird die Energie gespeichert, die für eine im Fahrbetrieb ausreichend hohe Reichweite benötigt wird. Außerdem soll der Energiespeicher in der Lage sein, einen großen Teil der beim Verzögern erzeugten

¹ Die Ausführungen des folgenden Absatzes beziehen sich maßgeblich auf die Ausführungen in der Arbeit von Reupold (2014).

Energie wieder aufzunehmen (Rekuperation). Heutzutage kommen aufgrund der hohen Energiedichte sehr häufig Lithium-Ionen Akkumulatoren als Energiespeicher zum Einsatz. Die **elektrische Maschine** wandelt die aus dem Speicher bereitgestellte elektrische Energie in Drehmoment und Drehzahl um und stellt somit den Fahrbetrieb sicher. Neben dem Beschleunigen des Fahrzeugs ermöglicht die Elektrische Maschine ebenfalls Rekuperation im Verzögerungsbetrieb. Heutzutage kommen hauptsächlich stromrichter-gespeiste Drehfeldmaschinen vom Typ Asynchron- und Synchronmaschinen zum Einsatz. Der **Wechselrichter** regelt den nötigen Energiefluss zwischen Energiespeicher und elektrischer Maschine, den das Fahrzeug beim Beschleunigen und Rekuperieren benötigt, in beiden Richtungen. So wandelt der Wechselrichter beim Beschleunigen den Gleichstrom, der im Speicher vorhanden ist, in Wechselstrom um, den die elektrische Maschine benötigt. Beim Rekuperieren arbeitet der Wechselrichter dann als Gleichrichter, um die beim Verzögern umgesetzte Energie zurück in den Speicher zu führen. Häufig kommt noch ein DCDC-Wandler zum Einsatz, der die Hochvolt-Gleichspannung des Speichers in den Niedervoltbereich transformiert, um das 12V-Bordnetz zu stützen und gegebenenfalls die 12V-Batterie zu laden. Zur Wandlung der Drehzahl und des Drehmoments, das die Elektrische Maschine bereitstellt, wird zwischen An- und Abtrieb ein **Getriebe** eingesetzt. Dabei ist prinzipiell kein Rückwärtsgang notwendig, weil elektrische Maschinen in der Lage sind, die Drehrichtung umzukehren. Da elektrische Maschinen, im Vergleich zu Verbrennern, einen wesentlich größeren Drehzahlbereich konstanter Leistung haben und in einem breiteren Drehzahlband betrieben werden können, kann das Getriebe meistens als Eingang- oder Zweiganggetriebe ausgeführt werden. Vergleichbare Getriebe in Verbrennerfahrzeugen arbeiten je nach Bauart mit fünf bis neun Gängen bei Automatikgetrieben.

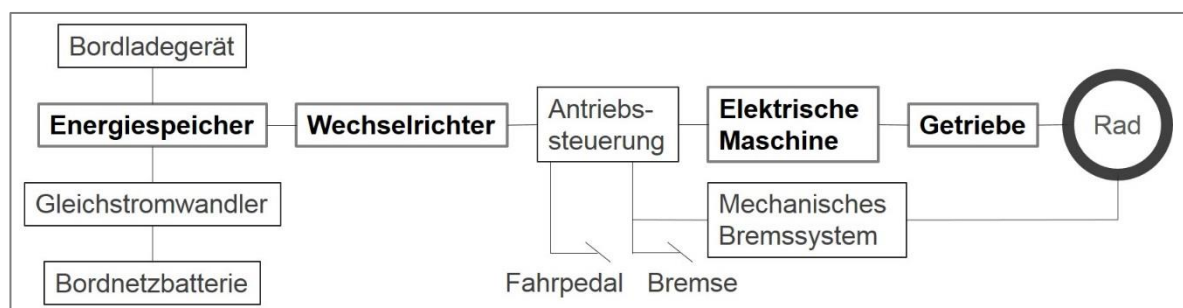


Abbildung 2-1: Blockschaftbild zum Elektroantrieb eines Batterie-Elektrofahrzeugs in Anlehnung an Reupold (2014, S. 7) und Bauer (1999, S. 576)

Auch die Elektromobilität ist mit vielfältigen Herausforderungen konfrontiert. So zeigt sich momentan noch eine geringe Kaufbereitschaft von Elektro- und Hybridfahrzeugen. Dies liegt zum einen an den momentan noch hohen Anschaffungskosten und auch an der in Deutschland nicht ausreichend ausgebauten Ladeinfrastruktur. Ein weiterer Kostentreiber besteht in dem hohen Bedarf an Edelmetallen und seltenen Erden. So werden zur Herstellung wesentlicher Komponenten wie Elektromotor, der Leistungselektronik und Ladeinfrastrukturelemente wie Ladesäule und -kabel neben großen Mengen Kupfer auch Edelmetalle (Silber, Gold, Palladium, Platin) und seltene Erden (Neodym, Terbium, Dysprosium, Praseodym) benötigt. Die Versorgung mit seltenen Erden ist momentan

kritisch und muss unter anderem durch Erschließung neuer Lagerstätten und stringentes Recycling mit unterstützt werden (Buchert & Dittrich, 2011).

2.2. User Experience

Der Begriff User Experience (UX) – deutsch: Nutzererleben, Nutzungserleben oder Benutzererlebnis beschreibt eine recht junge Forschungssparte, die aus der Gebrauchstauglichkeitsforschung oder Usability-Forschung hervorging. Die Usability fokussiert, dass festgelegte Ziele eines Systems oder Produkts, wie zum Beispiel die Bearbeitung einer Bildschirmaufgabe mit einer Tastatur, effektiv, effizient und zufriedenstellend erreicht wird (DIN EN ISO 9241-11). In der Literatur wird der Begriff UX derzeit vielfältig, multidisziplinär und heterogen beschrieben sowie ganz unterschiedlich abgegrenzt. UX wird laut DIN EN ISO 9241-210 wie folgt definiert: „Wahrnehmungen und Reaktionen einer Person, die aus der tatsächlichen und/oder der erwarteten Benutzung eines Produkts, eines Systems oder einer Dienstleistung resultieren.“ (DIN EN ISO 9241-210, S. 11).

Trotz der bestehenden Definition der ISO wird der Begriff (UX) im Bereich der Interaktion von Mensch und Maschine, der Gebrauchstauglichkeit (Usability), des Human Centered Design und zur Gestaltung von Software und Websites häufig verwendet, vergleiche Nielsen (1999) und Tullis und Albert (2013). Darüber hinaus wird UX immer wieder mit Begriffen wie Emotion, ‚Wow-Effekt‘ und (Kick)-Erlebnissen in unterschiedlichen Bedeutungen und Hintergründen gleich gesetzt, vergleiche Roto, Law, Vermeeren und Hoonhout (2010). Wie Hassenzahl, Burmester und Koller (2008) beschreiben, wird der Begriff Usability langsam durch den Begriff User Experience ersetzt. Auch diese Tatsache bekräftigt die zunehmende Bedeutung von emotionalem Produktdesign.

Dementsprechend viele und unterschiedliche Definitionen und Perspektiven auf UX gibt es. So listet eine Website derzeit 27 verschiedene UX-Definitionen auf (<http://www.allaboutux.org/ux-definitions>, Stand: 14.07.2015). Auch deswegen versuchen anerkannte Experten aus dieser Fachrichtung eine einheitliche Begriffsbestimmung und Einordnung von UX zu erzielen. Zu nennen ist als wichtiger Schritt hierfür Law, Roto, Hassenzahl, Vermeeren und Kort (2009), die durch eine Expertenbefragung den Begriff UX einzugrenzen versuchen. In einer Befragung, an der 275 Forscher und Praktiker teilnahmen, beschrieben die meisten UX als dynamisch, vom Kontext abhängig und subjektiv. Die Autoren schlagen vor, dass UX individuell anstelle von sozial beschrieben werden sollte und dass UX im Rahmen der Interaktion mit einem Produkt, System, Service oder Objekt auftritt.

Vor dem Hintergrund der oben genannten vielfältigen Einsatzgebiete und der unterschiedlichen Definitionen weisen Hassenzahl et al. (2008) darauf hin, dass es in der akademischen Diskussion zu UX sehr wohl unterschiedliche Ansätze gibt, aber jeweils immer mindestens eine der folgenden drei Charakteristiken betont werden, in welcher sich UX von Usability abgrenzt. Diese sind: **Ganzheitlichkeit**: Usability konzentriert sich auf die Aufgaben der Benutzer, wogegen UX eine breitere Sicht einnimmt. **Subjektivität**: Usability legt Wert auf Objektivität und Unabhängigkeit von der Meinung der Nutzer. UX

betont jedoch die Subjektivität, also die wahrgenommene Qualität eines Produktes. Diese Qualitätswahrnehmung bestimmt die zukünftige Nutzung und die Kommunikation über das Produkt. **Positivität:** Usability fokussiert auf das Reduzieren von Stress und das Beseitigen von Barrieren. UX schließt emotionale Begriffe wie Freude, Spaß, Attraktivität, Herausforderung oder Schönheit ausdrücklich mit ein.

Als weitere wichtige Publikation, die zur Eingrenzung des Begriffs User Experience dient, ist das UX White Paper anzuführen (Roto et al., 2010). Es entstand als Ergebnis eines Dagstuhl-Seminars, an dem weltweit anerkannte Experten auf dem Gebiet UX teilnahmen. Dort wird Usability als Teil von UX beschrieben. Im White Paper wird UX beschrieben als eine Begegnung oder Auseinandersetzung mit einem System, wobei eine UX einen Anfang und ein Ende hat. Es beschreibt, wie Personen eine Zeitspanne einer Interaktion mit einem System erlebt haben. Diese Sichtweise betont mehr das Ergebnis und die Erinnerungen an eine Interaktion, als dessen dynamische Natur. Im White Paper wird UX als Fachrichtung wie folgt beschrieben (Roto et al., 2010):

- UX ist eine Teilmenge von Erlebnissen als generelles Konzept. UX ist spezifischer, da es das Erlebnis beim Nutzen eines Systems beschreibt.
- UX schließt Begegnungen mit einem System mit ein – nicht nur aktive, persönliche Interaktion, sondern auch das Konfrontiertsein mit einem System in passiverer Form, wie zum Beispiel Beobachten einer anderen Person, die ein System verwendet.
- UX ist für ein Individuum einzigartig.
- UX wird durch frühere Erlebnisse, Erfahrungen und Erwartungen, die aus diesen Erlebnissen entstehen, beeinflusst.
- UX ist in einem sozialen und kulturellen Kontext verwurzelt.

Es werden verschiedene temporale Aspekte von UX unterschieden: Die **antizipierte UX**, welche vor der Benutzung des Systems stattfindet und das Vorstellen des Erlebens mit einschließt. Die **momentane UX**, die das Erleben während der Nutzung zum Fokus hat. Darüber hinaus wird die **episodische UX** genannt. Diese betrachtet die Reflexion des Erlebten nach der Benutzung. Außerdem wird noch die **kumulative UX** genannt, welche mehrere verschiedene Nutzungsperioden untersucht. Die verschiedenen temporalen Aspekte machen deutlich, dass der Mensch aufgrund seiner herausragenden Antizipationseigenschaften nicht unbedingt eine bestimmte Erlebnissituation erlebt haben muss, um diese für sich selbst evaluieren zu können. So hat beispielsweise ein geringer Prozentsatz an Menschen einen Fallschirmsprung selbst erlebt, kann jedoch eine Aussage darüber treffen, ob dieses Ereignis eher positive oder negative Emotionen hervorrufen wird. Genutzt wird das Konzept der antizipierten und episodischen UX im ersten Versuch dieser Arbeit in Kapitel 4, in welchen verschiedenste Erlebnisse aus Freizeit und Fahrzeug miteinander verglichen werden.

Weiterhin werden drei Hauptkategorien genannt, die maßgeblichen Einfluss auf die UX einer Person haben. UX kann sich mit dem **Kontext** ändern. Kontexte im Bereich der UX können sozialer, physikalischer, aufgabenbezogener, informationstechnischer und

technischer Natur sein. Darüber hinaus sind im Rahmen dieser Arbeit umgebungsspezifische Kontexte wie Witterungssituation, Fahrbahnbeschaffenheit und ähnliches zu berücksichtigen. Genauso wie UX selbst, ist auch der erlebende **Benutzer** selbst dynamisch. Dies bezieht sich auf die Motivation, mit der die Person das Produkt benutzt, den Gemütszustand, die momentan zur Verfügung stehenden mentalen und physischen Ressourcen und die Erwartungen, die die Person mitbringt. Als dritte Kategorie hat das **System** einen Einfluss. Die Wahrnehmung der Systemeigenschaften beeinflussen die UX des Benutzers. Wichtig zu nennen sind die Eigenschaften, die ins System eingebracht wurden wie zum Beispiel Funktionalität, Interaktionsverhalten und Antwortverhalten, die Eigenschaften, die der Benutzer hinzugefügt oder geändert hat, sowie die Marke und das Markenlogo.

Die Autoren resümieren, dass durch diese Faktoren die UX zwar nicht beschrieben werden kann, aber dass diese Faktoren dazu genutzt werden können, um die Situation in der die Person eine bestimmte UX erlebt hat, zu beschreiben. So können diese Faktoren dazu beitragen, Gründe zu identifizieren, die sich hinter einem bestimmten Erlebnis verbergen.

Hassenzahl (2010) beschreibt, dass positive Erlebnisse dadurch entstehen, dass psychologische Bedürfnisse befriedigt werden. In dem zugrundeliegenden Modell geht er von einer hierarchischen Struktur von Zielen (engl. goals) aus. Die unterste Stufe belegen die „motor goals“, die sich auf das „Wie“ der Interaktion beziehen. Diese Ebene beschreibt, wie der Erlebende, die zweite Stufe, die „do goals“ erfüllt. Diese mittlere Ebene fokussiert das „Was“ (will die Person erleben?). Die dritte und somit höchste Ebene umfasst die „be goals“ und fokussiert das „Warum“. Am Beispiel „Fahrt nach Hause“ umfasst die zweite Ebene (do goals) die Wahl des Verkehrsmittels, zum Beispiel ein Fahrzeug. Die erste Stufe „motor goals“ beinhaltet alle Tätigkeiten, die nötig sind um das „do goal“ zu erfüllen, also das Betätigen des Fahrpedals, Bremsen und Lenken. Die oberste Ebene fokussiert das „Warum“, also die „be goals“. Diese Antwort kann hier beispielsweise sein: „um meiner Familie nahe zu sein“. Sie beantwortet somit das hinter der Interaktion liegende psychologische Bedürfnis. Die Grundlage für dieses Konzept legten unter anderem Sheldon, Elliot, Kim und Kasser (2001). Sie untersuchen zehn mögliche psychologische Bedürfnisse mit Hilfe von drei Studien im Hochschulbereich. Als Ergebnis stellen sie fest, dass die Bedürfnisse nach Autonomie, Kompetenz, Verbundenheit und Selbstwertgefühl als psychologisches Bedürfnis genannt werden können. Darüber hinaus könnte Sicherheit ein Bedürfnis sein. Kein Bedürfnisstatus wird hingegen Stimulation, Selbstverwirklichung, Beliebtheit-Einfluss, Körperlichkeit und Luxus zugemessen. Hassenzahl (2010) greift diese zehn Bedürfnisse auf, um die hinter der Handlung befindende Motivation zu erklären und zu kategorisieren. Die Befriedigung eines dieser zehn Bedürfnisse stellt den Kern des Erlebnisses dar. Dabei werden nur positive Erlebnisse betrachtet.

Im Rahmen dieser Arbeit werden negative Erlebnisse mit einbezogen und der Schwerpunkt auf das kognitive und emotionale Erleben während der Interaktion – dem Fahren – gelegt. Dies setzt zur Interpretation der Ergebnisse zum einen voraus, dass ein Verständnis über die Wahrnehmung des Fahrers entsteht. Zum anderen müssen die entstehenden Emotionen als Hauptkomponente von Erlebnissen untersucht und beschrieben werden. Dies erfolgt durch den Einsatz grundlegender emotionspsychologischer Methoden anstelle von Methoden der UX, um eine

tiefere Betrachtung der emotionalen Prozesse während des Erlebens von Antrieben zu ermöglichen. Deswegen werden nachfolgend grundlegende Prozesse der Wahrnehmung von Längsdynamik und dem Motorgeräusch vorgestellt. Außerdem werden emotionspsychologische Grundlagen erläutert. Ein besonderes Augenmerk liegt auf ausgewählten kognitiven Emotionstheorien, da diese den momentanen Erlebenskontext tiefgehend beleuchten. So ergibt sich ein Bild, was der Fahrer während der Interaktion emotional erlebt und welche Kognitionen daran beteiligt sind.

2.3. Wahrnehmungspsychologische Grundlagen der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion

In diesem Kapitel werden Grundlagen zu Wahrnehmung und Emotion gegeben und diese im Kontext des Fahrens vorgestellt. Um ein technisches Produkt positiv erleben zu können, müssen die Änderungen, die das Produkt in der Umwelt hervorruft zunächst wahrgenommen werden, bevor diesen Änderungen ein emotionaler Wert beigemessen werden kann. Solche Änderungen sind zum Beispiel, das Beschleunigen eines Fahrzeugs und das damit einhergehende Motorgeräusch. Dabei ist der vom Fahrer wahrgenommene sensorische Input, der im zentralen Nervensystem und Gehirn verarbeitet wird, die Eingangsgröße für eine spätere, emotionale Färbung des Erlebten.

Zur Beschreibung des Fahrerlebens kommen folgende Wahrnehmungskanäle in Frage, die näher betrachtet werden können: Der visuelle, der auditive, der vestibuläre, sowie im erweiterten Sinne auch der haptische Wahrnehmungskanal und die Propriozeption. Die haptische Wahrnehmung bekommt ihre Bedeutung vor allem bei der Mensch-Fahrzeug Interaktion wie Lenken, Schalten, Kuppeln, Bremsen und Betätigung des Fahrpedals zugemessen; die Propriozeption in Form von Lage- und Kraftsinn sowie die kinästhetische Wahrnehmung liefert gemeinsam mit der vestibulären Wahrnehmung Informationen über Beschleunigungen des Fahrzeugs, die auf den Körper wirken. Im Rahmen dieser Arbeit wird auf die auditive Wahrnehmung und die Wahrnehmung der Beschleunigung mit dem Vestibularorgan als maßgebliche Wahrnehmungskomponenten beim Erleben der Längsdynamik eingegangen, vergleiche Rockwell und Snider (1965), Heißing, Kudritzki, Schindlmaister und Mauter (2000) und Müller (2015). Dementsprechend wird ein kurzer Abriss über die auditive und die vestibuläre Wahrnehmung gegeben. Im Rahmen dieser Arbeit soll keine erschöpfende Darstellung der Wahrnehmungsprozesse erfolgen, sondern relevante Grundlagen beschrieben werden.

Um dem anwendungsorientierten Charakter der Arbeit Rechnung zu tragen, wird neben der Beschreibung der vestibulären Wahrnehmung in Kapitel 2.3.1 eine technische Beschreibung von typischen Fahrzeuglängsbeschleunigungen von Fahrzeugen mit aufgeladenem Otto- und Elektromotor gegeben (Kapitel 2.3.2). Die auditiven Grundlagen in Kapitel 2.3.3 werden durch die psychoakustische Beschreibung von Antriebsgeräuschen ergänzt (Kapitel 2.3.4).

Für weiterführende Informationen zu Wahrnehmungsprozessen wird beispielsweise auf Goldstein, Ritter und Herbst (2002), Schmidt (2001) oder Schandry (2006) verwiesen. Die nachfolgenden Ausführungen zur vestibulären und auditiven Wahrnehmung stützen sich

hauptsächlich auf die Ausführungen in Schmidt (2001) und bei den Ausführungen zum menschlichen Gehör und der Psychoakustik zusätzlich auf Genuit (2010).

2.3.1. Vestibuläre Wahrnehmung

Die Vestibularorgane nehmen lineare Beschleunigungen und Winkelbeschleunigungen wahr. Der Vestibularapparat sitzt beidseitig im Bereich des Innenohres und besteht aus je zwei Makulaorganen und drei Bogengängen, siehe Abbildung 2-2. Die Makulaorgane bestehen aus Macula sacculi mit senkrechter und Macula utriculi mit waagerechter Normallage. Sie erfassen Linearbeschleunigungen in vertikaler und horizontaler Richtung. Die drei Bogengänge des Vestibularapparats (horizontaler, hinterer und vorderer Bogengang) stehen nahezu senkrecht zueinander und können somit Winkelbeziehungsweise Drehbeschleunigungen detektieren. In den Makulaorganen und den Bogengängen befinden sich sekundäre Sinneszellen in Form von Haarzellen. Jede Haarzelle besteht aus einem Kinozilium und 60-80 kleinere Stereozilien. Die Stereozilien erfüllen die Rezeptoreigenschaften der Haarzellen (Schmidt, 2001). Die Sinneshärchen ragen in eine gallertartige Masse, welche in den Bogengängen als Kupula bezeichnet wird und in den Makulaorganen Otolithenmembran genannt wird. Die gallertartige Membran der Makulaorgane enthält feine Kalziumkarbonatkristalle, welche Otolithen genannt werden. Diese erhöhen die Dichte der Membran. Durch Abwinkelung oder Abscherung der Haarzellen entsteht ein elektrischer Reiz, der zur Empfindung der jeweiligen auf den Kopf einwirkenden Beschleunigung führt. Die Abwinkelung, beziehungsweise Scherung kommt dadurch zustande, dass die gallertartige Masse bei Beschleunigungen, bedingt durch Ihre Massenträgheit, eine Relativbewegung zur Ihrer Umgebung durchführt und dadurch die Haarzellen bewegt werden.

Translationsbeschleunigungen werden innerhalb der Makulaorgane detektiert, siehe Abbildung 2-3 linke Seite. Durch auf den Kopf einwirkende Translationsbeschleunigungen verschiebt sich die durch die Statokonien (Otolithen) schwerere Gallerte. Die Endolymphe enthält sehr viele Kaliumionen (K^+). Bereits in Ruhe setzen die Haarzellen ständig Transmittersubstanz frei, was in den afferenten Nervenfasern zu einer hohen Ruheaktivität führt. Eine Auslenkung der Stereozilien führt zu einer Öffnung der Kaliumkanäle der Haarzellen und damit zum Einströmen der Kaliumionen. Die Kaliumionen depolarisieren die Haarzellen und ermöglichen so den Eintritt von Kalziumionen. Dieser wiederum führt zur erhöhten Transmitterfreisetzung in den synaptischen Spalt und dadurch zur erhöhten Aktivierung der Nervenfasern. Eine Fahrzeuglängsbeschleunigung wird in der Maculae utriculi detektiert. Die lineare Beschleunigung des Fahrzeugs senkrecht zur Körperoberfläche, führt zu Verschiebungen der Otolithenmembran und damit zur Zunahme der afferenten Aktivität, wie in Abbildung 2-3 linke Seite dargestellt. Eine Abscherung in die Gegenrichtung erfolgt bei negativer Beschleunigung, reduziert die Zahl der Entladungen und führt somit zur Verringerung der Aktivität. Beschleunigungen quer zu dieser Achse werden nicht detektiert. In Kapitel 2.3.2 werden Fahrzeuglängsbeschleunigungen, die durch Ottomotoren und Elektroantriebe verursacht werden, beschrieben und Unterschiede aufgezeigt.

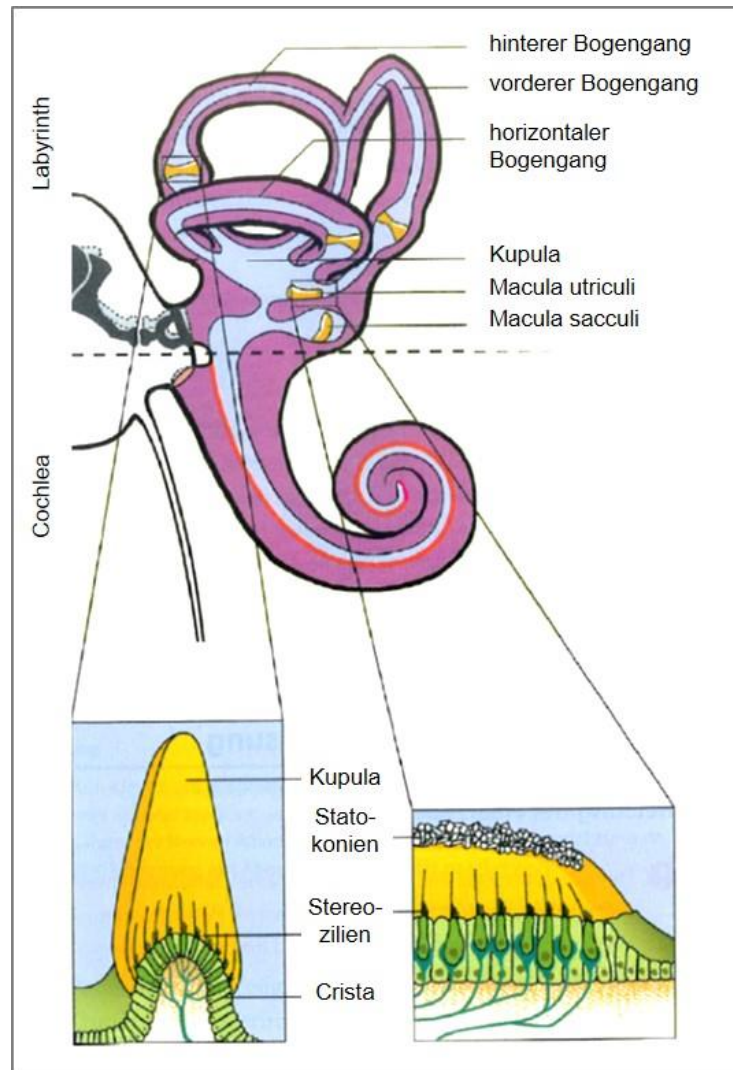


Abbildung 2-2: Schematische Darstellung des Vestibularorgans gemäß Schmidt (2001)

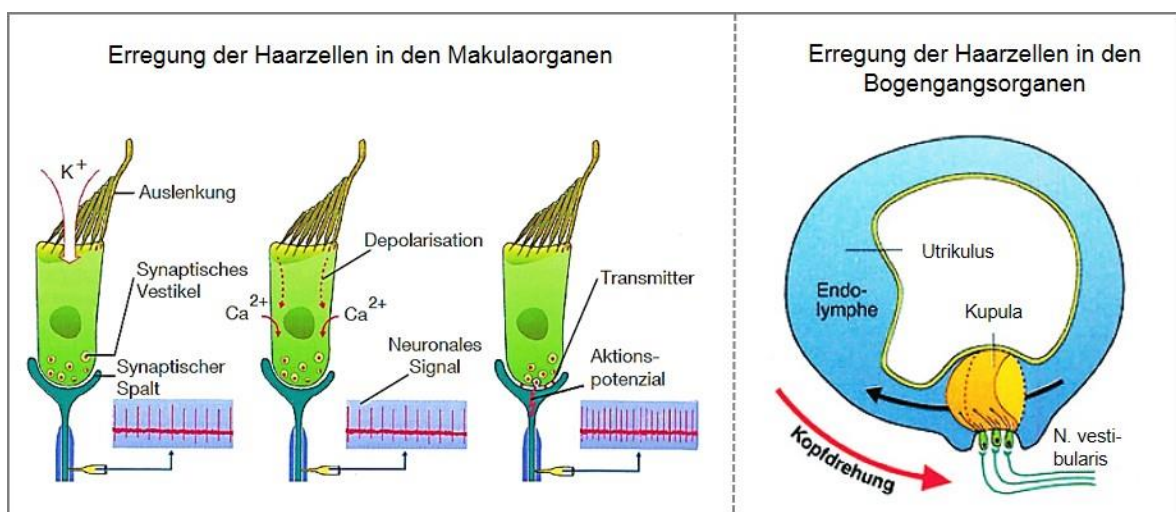


Abbildung 2-3: Beschleunigungsdektektion im Vestibularorgan; leicht abgewandelt aus Schmidt (2001)

Drehbeschleunigungen werden innerhalb der Bogengänge detektiert, siehe Abbildung 2-3 rechte Seite. In jedem Bogengang befindet sich ein mit Endolymphe gefüllter Kanal, der nahezu kreisförmig ist. Die festangewachsene Kupula bildet eine Art Trennwand und hat die gleiche spezifische Dichte wie die Endolymphe (Schmidt, 2001). Bei Drehbeschleunigungen des Kopfes lenkt die Endolymphe aufgrund ihrer Trägheit die Kupula in die jeweilige Gegenrichtung aus. Diese Auslenkung schert die Stereozilien, was zu einer Zu- oder Abnahme der afferenten Aktivität führt. Somit entsteht für jede Drehung des Kopfes ein spezifisches Aktivitätsmuster der Bogengänge. Die Funktion des Vestibularapparates findet normalerweise ohne primäre Beteiligung des Bewusstseins statt.

2.3.2. Beschreibung einer Fahrzeuglängsbeschleunigung

Die gerade vorgestellten Wahrnehmungsprozesse im Vestibularorgan, stellen die Basis für Wahrnehmung und Erleben einer Fahrzeuglängsbeschleunigung dar. In diesem Teilkapitel wird die Beschleunigung eines Fahrzeugs mit konventionellen Ottomotor und darauf folgend mit Elektromotor grundlegend beschrieben. Wie es Müller, Hajek, Radic-Weissenfeld und Bengler (2013) für eine Ottomotorbeschleunigung beschreiben, lässt sich eine Vollastbeschleunigung eines Fahrzeuges in einem festen Gang in vier wichtige Phasen unterteilen, siehe Abbildung 2-4. Und Abbildung 2-5 (Vollastbeschleunigung eines Elektrofahrzeugs):

1. **Ansprechzeit:** Die Ansprechzeit ist definiert als die Zeit zwischen Fahrpedaleingabe aus Konstantfahrt oder Stillstand und erster messbarer Reaktion des Fahrzeugs. In den Abbildungen erfolgt die Fahrpedaleingabe bei genau 1,0 s Messzeit.
2. **Beschleunigungsgradient:** Der Anstieg der Beschleunigung über der Zeit, bevor die Beschleunigung asymptotisch gegen sein Maximum strebt, wird Beschleunigungsgradient genannt. Gemessen wird dieser Gradient im Rahmen der Arbeit als Mittelwert des Beschleunigungsanstiegs ab erster messbarer Änderung der Beschleunigung bis zum Erreichen von 90% der maximal möglichen Beschleunigung. Die technische Beschreibungsgröße wird in $[m/s^3]$ angegeben.
3. **Maximalbeschleunigung:** Nach dem Beschleunigungsanstieg erreicht die Beschleunigung bei modernen aufgeladenen Motoren und bei allen Elektrofahrzeugen einen Maximalwert, den das Fahrzeug aufgrund des gleichbleibenden Drehmoments in einem bestimmten Drehzahlband für einen gewissen Zeitabschnitt halten kann. Zur Beschreibung wird der über die Zeit nahezu konstant bleibende Mittelwert herangezogen.
4. **Beschleunigungsabfall:** Nach Durchlaufen des Bereichs der Maximalbeschleunigung fällt die Beschleunigungsleistung hin zu sehr hohen Drehzahlen bei Verbrennungsmotoren Prinzip bedingt ab. In diesen Bereichen begrenzt die Massenträgheit der bewegten Motorteile und die Reibung der Komponenten das zur Verfügung stehende Moment immer stärker. Kurze Zeit später regelt die Motorelektronik den weiteren Anstieg der Drehzahl des Verbrennungsmotors ab, um mechanische Schäden am Antrieb zu vermeiden.

Bei Elektrofahrzeugen fällt die Beschleunigung nach Erreichen der Eckdrehzahl kontinuierlich ab, siehe Abbildung 2-5. Der Elektromotor kann das Drehmoment von sehr niedrigen Drehzahlen bis zur Eckdrehzahl konstant hoch halten. Die Feldverhältnisse in der E-Maschine bleiben konstant, solange mit einem konstanten Verhältnis zwischen Spannung und Frequenz (Drehzahl der elektrischen Maschine) gefahren werden kann. Wenn ab der maximal möglichen Spannung die Frequenz noch weiter erhöht wird, reduziert sich das Moment durch Feldschwächung. Der sich dann einstellende Drehmomentabfall zeigt sich in der Abbildung 2-5 ab dem Bereich 4, also nach ungefähr 3,4 s Beschleunigungszeit (4,4 s im Diagramm).

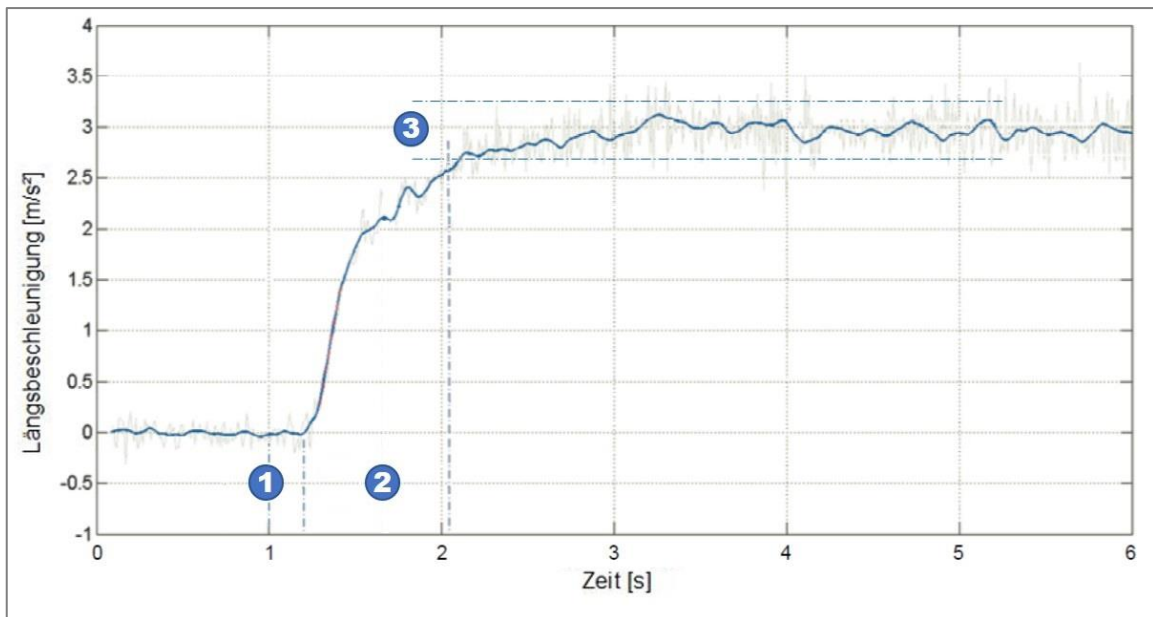


Abbildung 2-4: Phasen einer Vollastbeschleunigung beim Verbrennungsmotor; volle Fahrpedaleingabe bei 1s; entnommen und abgewandelt aus Müller et al. (2013)

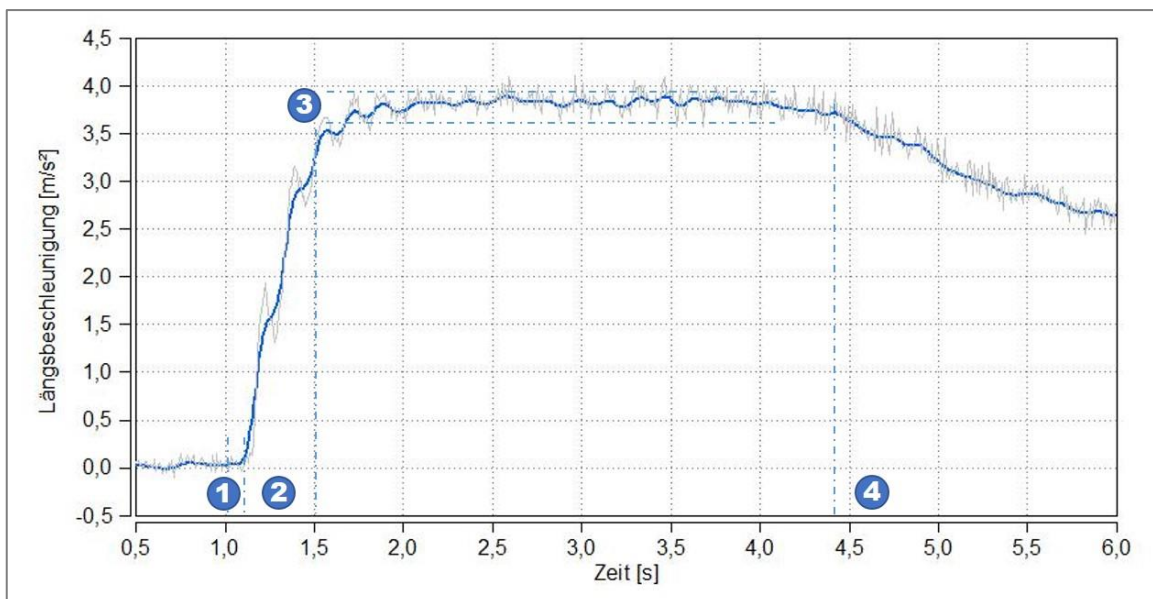


Abbildung 2-5: Phasen einer Vollastbeschleunigung beim Elektrofahrzeug; volle Fahrpedaleingabe bei 1s; eigene Vermessung eines Elektrofahrzeugs

Vergleicht man die vorgestellten Beschleunigungsverläufe der unterschiedlichen Antriebsarten, so zeigt sich, dass in beiden Fällen ähnliche Verläufe und gleiche Beschreibungsgrößen verwendet werden können. Unterschiede sind bei genauerer Betrachtung jedoch auch zu erkennen.

Die Ansprechzeit (1) kann bei Elektroantrieben wesentlich geringer als bei Verbrennungsmotoren ausgeführt werden, da die elektrischen Komponenten eine sehr kurze Reaktionszeit im Vergleich zu den mechanischen Bauteilen des Verbrennungsmotors haben. Im Bereich des Beschleunigungsgradienten (2) zeigen sich ebenfalls Prinzip bedingte Unterschiede. Beim aufgeladenen Verbrennungsmotor wird dieser Bereich der Beschleunigung mitunter durch das sogenannte Instationärverhalten geprägt. Zunächst steigt das Moment und somit die Beschleunigung um die saugmotorische Komponente des Verbrennungsmotors an. Zusätzlich baut sich das Moment, das der Turbolader zur Verfügung stellen kann, nach und nach auf. Der Turbolader benötigt jedoch nach Fahrpedaleingabe eine gewisse Zeit, bis sich der volle Ladedruck aufbauen kann. Damit stellt sich auch das volle zur Verfügung stehende Gesamtmoment erst eine gewisse Zeit nach Fahrpedaleingabe ein.

Elektromotoren bauen das maximale Drehmoment kontinuierlich und sehr schnell auf, was sich in einem lineareren Verlauf des Beschleunigungsanstiegs zeigt, vergleiche die Bereiche (2) in den oben aufgeführten Abbildungen. Die Maximalbeschleunigung kann beim Elektrofahrzeug länger gehalten werden, da das maximale Drehmoment über einen breiteren Drehzahlbereich zur Verfügung steht, als beim Verbrenner. Somit kann bei vielen am Markt befindlichen Elektrofahrzeugen auf ein Mehrganggetriebe verzichtet werden und das Getriebe kosten- und gewichtsgünstig als Einganggetriebe mit fester Übersetzung ausgeführt werden. Dagegen kommen bei Verbrennungsmotoren ausschließlich Mehrganggetriebe zum Einsatz. So kann häufiger im Bereich der besten Effizienz, beziehungsweise des größten abrufbaren Moments gefahren werden. Für Beschleunigungsvorgänge bei höheren Geschwindigkeiten bedeutet dies in Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren, dass das Automatikgetriebe bei Fahrpedaleingabe häufig aus höheren in niedrigere Gänge zurückgeschaltet werden muss. Dadurch verzögert sich die Zeit, bis ein Beschleunigungsanstieg für den Fahrer wahrnehmbar wird, noch weiter im Vergleich zur schnellen Reaktion des Elektrofahrzeugs, vergleiche hierzu auch die Abbildung 5-3 auf Seite 72.

2.3.3. Auditive Wahrnehmung

Beim Fahren kommt neben der Beschleunigungswahrnehmung und dem Sehen auch dem Hören eine zentrale Funktion zu. Das Gehör stellt eine wichtige Rückmeldekomponente über den aktuellen Fahrzustand und auch die Geschwindigkeit dar, siehe Bubb (1977). So wird die Geschwindigkeit nicht nur über das Motorengeräusch mit eingeschätzt, sondern auch durch die stetige Zunahme von Störgeräuschen, die durch den Luftstrom entlang an der Karosserie und dem Abrollgeräusch der Reifen zustande kommen. Die Ausführungen zur auditiven Wahrnehmung stützen sich auf Schmidt (2001) und Genuit (2010). Weiterführende Informationen finden sich zum Beispiel bei Schandry (2006) und Pritzel, Brand und Markowitsch (2003).

Das Ohr wandelt akustische Reize in Form von Luftschallwellen in Flüssigkeitsschall um und leitet elektrische Impulse an das Gehirn weiter. Das Ohr besteht aus drei wesentlichen Teilen, siehe Abbildung 2-6. Das **äußere Ohr**, welches den Luftschall aufnimmt und hin zum Trommelfell fokussiert. Als nächstes verstärkt das **Mittelohr** als luftgefüllter Hohlraum mit den drei Gehörknöchelchen Hammer, Amboss und Steigbügel den Schalldruck und gewährleistet den Übergang von Luftschall zu Flüssigkeitsschall. Schmidt (2001) führt aus, dass ohne Mittelohr der Schall nur zu 2% in das Innenohr eindringen würde und zu 98% reflektiert würde. Über die Gehörknöchelchenkette werden jedoch aufgrund der Druckübersetzung von der großen Trommelfellfläche auf die kleine Stapesfußplatte und der Hebelwirkung der Gehörknöchelchenkette 60% des Schalls übertragen. Das **Innenohr** besteht aus Vestibular- und Hörorgan (Cochlea) und beinhaltet neuronale Strukturen. Die Cochlea (auch Hörschnecke) ist ein Teil des Innenohres und als spiralförmige mit Flüssigkeit gefüllte Struktur ausgeführt, siehe Abbildung 2-7. Sie weist 2,5 Windungen auf. Darin befinden sich feine innere und äußere Haarzellen, die für Bewegungen sensibel sind. Der Luftschall, welcher über die Gehörknöchelchen übertragen wird, trifft auf das ovale Fenster. Dieses lenkt aus und versetzt somit die Flüssigkeit in der Cochlea in Bewegung. Aufgrund der Fortpflanzung der entstehenden Wellen werden die Haarzellen angeregt. Die von den Haarzellen abgegebenen elektrischen Impulse werden an den Hörnerv weitergeleitet. Sobald die Signale den auditiven Cortex erreichen, werden Berechnungen angestellt und die Frequenz des Geräusches ermittelt.

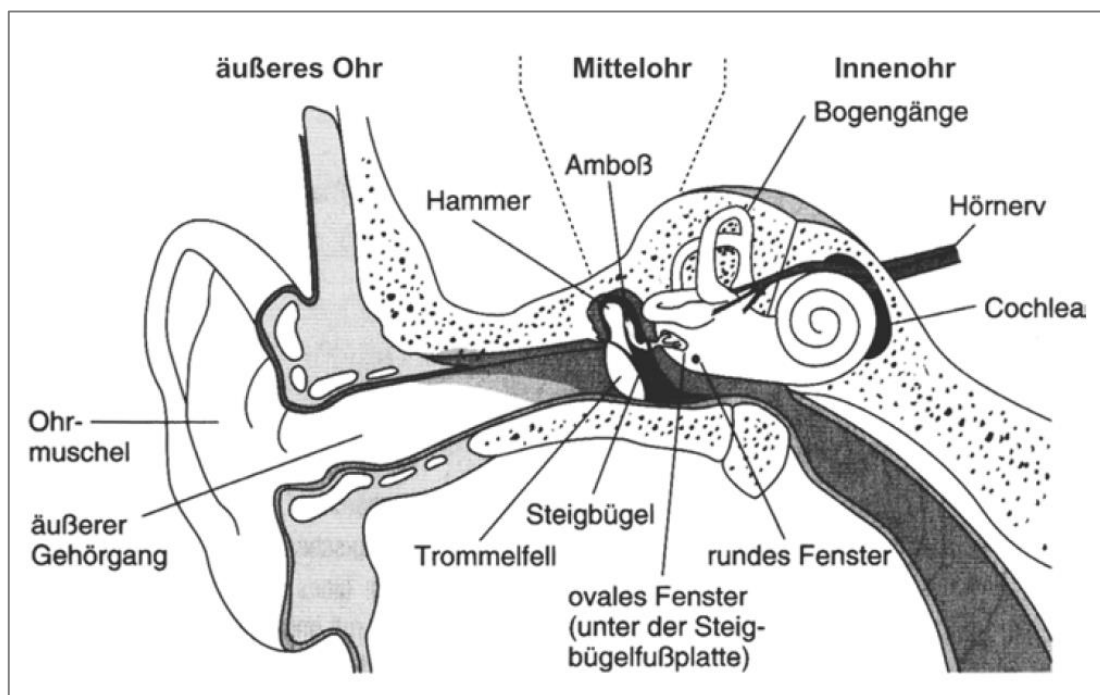


Abbildung 2-6: Aufbau des menschlichen Gehörs; Grafik entnommen aus Goldstein und Ritter (1997)

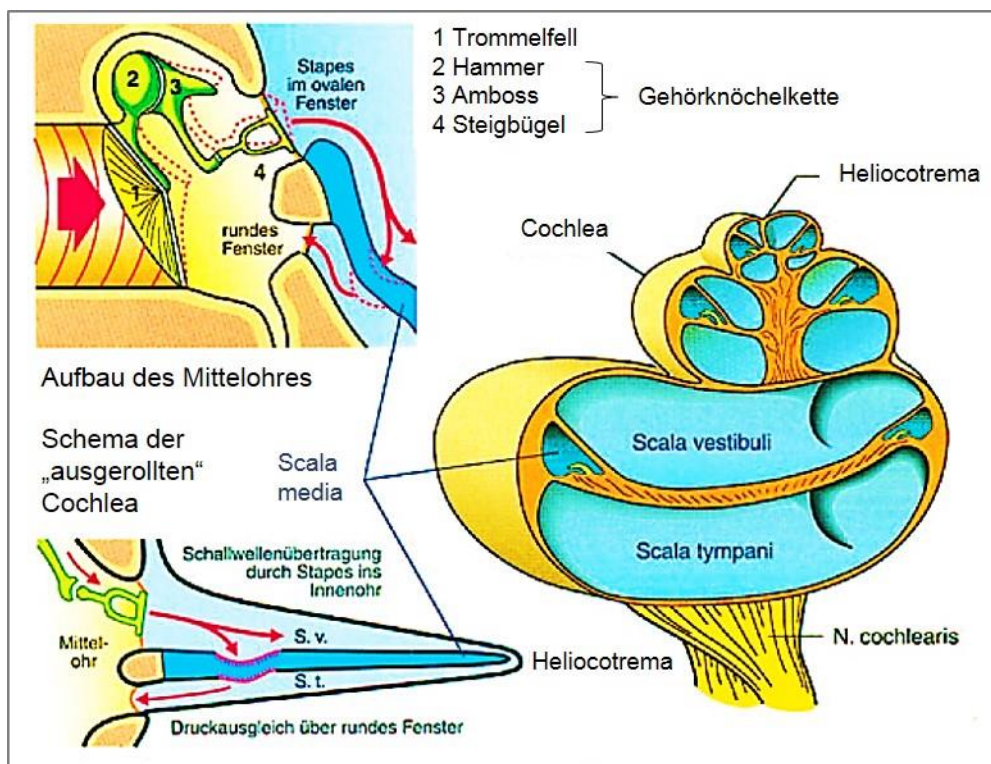


Abbildung 2-7: Illustration zur Schallübertragung; entnommen und leicht abgewandelt aus Schmidt (2001)

2.3.4. Beschreibung von Motorgeräuschen

Die technische Akustik geht jeweils nur von der Schallquelle aus und untersucht die ausgesendeten Signale nach Amplituden, Frequenzen und Energie. Die Psychoakustik stellt jedoch den Empfänger von Schall – den Menschen – in den Mittelpunkt der Betrachtung. Zur subjektiven Beschreibung und Untersuchung von auditiven Größen werden meist semantische Differenziale und Adjektive verwendet, vergleiche zum Beispiel Altinsoy (2012b), Hanselka (2012), Eichinger und Pellkofer (2012) oder Fastl (2006). Darüber hinaus wird in der Psychoakustik ein Schwerpunkt auf die kognitiven Aspekte eines Geräuschs gelegt. Deswegen wird zur Beschreibung von Motorsound im Rahmen dieser Arbeit keine rein akustische Betrachtung angestellt, sondern die psychoakustische Vorgehensweise gewählt. Störgeräusche werden nur am Rande erwähnt, eine Arbeit zum Thema findet sich zum Beispiel bei Zeller (2009). Nachfolgend werden psychoakustische Größen, die zur Beschreibung von Geräuschen verwendet werden, vorgestellt sowie bewertet und dann anhand dieser, die Motorgeräusche der Versuchsfahrzeuge dieser Arbeit kategorisiert.

Fastl (1997), Fastl (2006) oder Patsouras (2002) und Genuit (2010) beschreiben folgende objektive Größen, um Geräusche psychoakustisch einzuordnen: die Lautheit „loudness“, die Tonschärfe „sharpness“ als Größe der Tonfarbe, die Schwankungsstärke „Fluctuation strength“, und die Rauigkeit „roughness“, sowie die Tonalität. Diese Größen werden nachfolgend kurz erläutert. „Der Parameter **Lautheit** spiegelt die subjektiv empfundene Lautstärke von Schallen wider“ (Genuit, 2010, S. 54). Die Lautheit berücksichtigt die Frequenzaufteilung und die Maskierungseigenschaften im Ohr. Sie wird in der DIN 45 631

und ISO 532 B beschrieben und in *sona* gemessen. Einen Einfluss auf die Lautheit haben die Frequenz, die Dauer der Lautheit, die spektrale Bandbreite und die temporale und spektrale Verdeckung. Die **Tonschärfe** ist das gewichtete Moment der Tonverteilung der spezifischen Lautheit. Sie beschreibt das Verhältnis der höherfrequenten Spektralanteile zur Gesamtlautheit. Somit berücksichtigt sie die Einschätzung von Hörern, welche Geräusche, deren energetischer Schwerpunkt im hochfrequenten Bereich liegt, häufig als „scharf“ oder „hell“ beschreiben. Zur Schärfe besteht folgende Norm: DIN 45692. Die psychoakustischen Größen Schwankungsstärke und Rauigkeit werden durch die zeitliche Struktur des Schallsignals, den Modulationsgrad und die Pegeldifferenz beschrieben. „Die [...] **Rauigkeit** beschreibt eine Empfindung, die durch Modulationen in einem Schallereignis hervorgerufen wird. Der Eindruck entsteht, [...] wenn beispielsweise Töne eine zeitliche Struktur durch die permanente Änderung der Amplitude oder der Frequenz aufweisen“ (Genuit, 2010, S. 64). Einflüsse auf die Rauigkeitsempfindung sind der Modulationsgrad, die Trägerfrequenz, die Modulationsfrequenz und der Schalldruckpegel. „Der psychoakustische Parameter **Schwankungsstärke** beschreibt die Wahrnehmung von „langsamen“ Modulationen“ (Genuit, 2010, S. 69). Sie wird in *vacil* gemessen und spiegelt die Empfindung wider, die entsteht, wenn Signalschwankungen mit sehr geringen Modulationsfrequenzen entstehen. Als eindimensionale psychoakustische Größe wird die **Tonalität** oder Tonhaltigkeit bezeichnet. Sie kann isoliert wahrgenommen werden. „Ein Geräusch gilt als tonhaltig, wenn einzelne Töne bzw. tonale Komponenten deutlich wahrnehmbar sind“ (Genuit, 2010, S. 70). Des Weiteren wird meist noch eine übergeordnete rein subjektive Kategorie erhoben, wie beispielsweise die Geräuschqualität.

Bei der Beschreibung von Motorgeräuschen kommt der Lautheit und Schwankungsstärke eine besondere Bedeutung zu, da diese den unmittelbarsten Eindruck beim Fahrer hinterlassen. Sie werden bei konventionellen Antrieben mit Sportlichkeit in Verbindungen gebracht, da laute Antriebe, zum Beispiel von Motorsportfahrzeugen mit hoher Sportlichkeit assoziiert werden. Eine hohe Rauigkeit wird ebenfalls meist mit sportlichen Antrieben in Verbindung gebracht. Bei elektrifizierten Antrieben tritt die Lautheit, Schwankungsstärke und Rauigkeit in den Hintergrund, da das Geräusch von E-Motor und Leistungselektronik als hochfrequent und vergleichsweise leise wahrgenommen wird. Wichtige psychoakustische Größen sind hier die Tonschärfe und Tonalität. Außerdem fließt noch der Einfluss von Störgeräuschen mit ein, der gerade bei Elektrofahrzeugen eine hohe Bedeutung bekommt.

2.4. Emotionspsychologische Grundlagen

Psychologie wird in einer allgemein gehaltenen und gängigen Definition als „die Wissenschaft vom menschlichen Verhalten und Erleben und deren Bedingungen“ (Dieterich, 1992, S. 12) bezeichnet. Das Erleben stellt also einen zentralen Forschungsgegenstand der Psychologie dar und mit dem Erleben eng verknüpft sind Emotionen. Dementsprechend weit ist das Feld der Emotionsforschung. Fehr und Russell (1984) stellen das Dilemma zur Findung einer allgemein anerkannten Definition zum Begriff „Emotion“ wie folgt dar: „Everyone knows what an emotion is, until asked to give a

definition.“ (Fehr & Russell, 1984, S. 464). Dementsprechend groß ist die Anzahl an Arbeitsdefinitionen und Beschreibungsversuchen. Nachfolgend wird eine für die Ziele dieser Arbeit passende Arbeitsdefinition zum Begriff „Emotion“ erarbeitet (Kapitel 2.4.1) und anschließend erläutert, in welchen Kategorien Emotionen beschrieben werden (Kapitel 2.4.2). Dann werden relevante Emotionstheorien diskutiert (Kapitel 2.4.3) und dabei der Schwerpunkt auf die Verknüpfung von Kognition und Emotion gelegt (Kapitel 2.4.4). Abschließend werden die vorherigen Erkenntnisse in Kapitel 2.4.5 zusammengefasst und eine Verknüpfung der Begriffe Erleben, Emotion und Erlebnis beschrieben.

Weiterführende Informationen zum Thema finden sich zum Beispiel auch in Plutchik (1980), LeDoux (1996), Schmidt-Atzert (1996), Euler und Mandl (2000), Meyer, Schützwohl und Reizenzein (2001), Reizenzein, Meyer und Schützwohl (2003), Meyer, Reizenzein und Schützwohl (2003) und Hamm (2006).

2.4.1. Erarbeitung einer Definition zum Begriff Emotion im Kontext dieser Arbeit

Wie eingangs erwähnt, gibt es viele verschiedene Definitionen zum Emotionsbegriff. Einen Überblick emotionspsychologischer Definitionen geben Otto, Euler und Mandl (2000) in den Begriffsbestimmungen des Handbuchs Emotionspsychologie (S. 11-18). Da sich diese Arbeit grundlegender wahrnehmungs- und kognitiv-psychologischer Modelle bedient, werden nachfolgend zwei typische Definitionen dieser beiden Bereiche vorgestellt und, unter Zuhilfenahme wichtiger emotionaler Komponenten, eine für diese Arbeit passende Definition erarbeitet.

Im Rahmen der Wahrnehmungsphysiologie werden Emotionen von Schmidt (2001, S. 80) definiert als „Reaktionsmuster auf körperinterne und externe Reize, die stets in den Dimensionen 1. angenehm /unangenehm (Annäherung /Vermeidung) und 2. erregend /deaktivierend erlebt werden“. Hier werden Emotionen als Reaktionen auf sensorischen Input verstanden, wohingegen in der Emotionspsychologie häufig Anreize zu Handlungen thematisiert werden, die durch Emotionen ausgelöst werden. Die Arbeitsdefinition nach Oatley und Jenkins (1996) betont sowohl den kognitiven (1)-(2) als auch den gefühlsbetonten und körperlich erfahrbaren Aspekt (3) des emotionalen Ereignisses. „(1) Eine Emotion wird üblicherweise dadurch verursacht, daß eine Person - bewußt oder unbewußt - ein Ereignis als bedeutsam für ein wichtiges Anliegen (ein Ziel) bewertet. (2) Der Kern einer Emotion sind Handlungsbereitschaft (readiness to act) und das Nacheilen (prompting) von Handlungsplänen; (...) (3) Eine Emotion wird gewöhnlicherweise als ein bestimmter mentaler Zustand erlebt, der manchmal von körperlichen Veränderungen, Ausdruckserscheinungen und Handlungen begleitet oder gefolgt wird.“ zitiert nach Otto et al. (2000, S. 16).

Beiden Definitionen ist gemein, dass Emotionen von Reizen ausgelöst sowie kognitiv verarbeitet werden und körperlich fühlbare Veränderungen verursachen. In Anlehnung daran nennt Mees (2006) folgende maßgebliche Komponenten einer Emotion: die kognitive, die handlungsbezogene, beziehungsweise motivationale, die expressive, die psychophysiologische Komponente und die Komponente des subjektiven Erlebens. Die kognitive Komponente befasst sich mit der individuellen Bedeutung einer emotionalen

Situation; die handlungsbezogene Komponente leitet Handlungstendenzen ab und zeigt sich auch häufig in einer körperlichen Reaktion auf die Emotion. Solche körperlichen Reaktionen können Änderungen in der Gestik und Mimik des Erlebenden sein. Der psychophysiologische Aspekt bezieht sich auf die mögliche Aktivierung des autonomen und zentralen Nervensystems und auch auf subjektiv wahrgenommene körperliche Veränderungen (zum Beispiel Herzrasen in Angstsituationen). Gerade die körperlichen Veränderungen gehören stark zur Komponente des subjektiven Erlebens einer Emotion. Dieses Erleben stellt das dem Individuum bewusste emotionale Gefühl dar.

Im Rahmen dieser Arbeit wird eine Emotion beschrieben als:

Reaktion auf ein für den Erlebenden bedeutsames Ereignis, das durch körperinterne und/oder durch die Umwelt induzierte sensorisch wahrgenommene Reize ausgelöst wird. Die der Reaktion vorangegangenen Reize werden kognitiv verarbeitet und im Zuge dessen entweder als angenehm oder unangenehm und zugleich anregend oder deaktivierend wahrgenommen. Die Reaktion führt häufig zu Handlungstendenzen und äußert sich in körperlichen oder mentalen Veränderungen, die als emotionales Gefühl wahrgenommen werden und deswegen berichtbar sind.

2.4.2. Beschreibung von Emotionen: Valenz und Anregung

Emotionen werden zumeist in verschiedenen Dimensionen beschrieben und treten in verschiedenen Manifestationsbereichen auf. Diese sind verbale Äußerungen, motorisch-expressives Verhalten und neurovegetative Veränderungen. Im Rahmen dieser Arbeit werden die verbalen Äußerungen, die von Probanden getroffen werden, untersucht. Bei der Beschreibung der verschiedenen Dimensionen emotionalen Erlebens benennt Wundt, (1896) als Vertreter der experimentellen Selbstbeobachtung, in der physiologischen Psychologie schon sehr früh die Qualität und Intensität als maßgebliche Dimensionen des Erlebens: „Diese beiden unerlässlichen Bestimmungsstücke aller psychischen Elemente bezeichnen wir als Qualität und Intensität. Jede einfache Empfindung, jedes einfache Gefühl hat eine bestimmte qualitative Beschaffenheit, die es allen anderen Empfindungen und Gefühlen gegenüber charakterisiert; diese qualitative Beschaffenheit ist aber immer zugleich in irgend einer Stärke gegeben.“ (Wundt, 1896, S. 36) Diese von Wundt eingeführten Kategorien des Erlebens sind auch in der neueren Emotionspsychologie erhalten geblieben, vergleiche zum Beispiel Traxel und Heide (1961) oder Ertel (1965). Ebenso legen diese beiden Beschreibungskategorien den Grundstein zur empirischen Erfassung von Emotionen: „Darum unterscheiden wir an der Qualität die verschiedenen psychischen Elementen voneinander; die Intensität dagegen fassen wir als den einen bestimmtem Element in einem concreten Fall zukommenden Größenwerth auf.“ (Wundt, 1896, S. 36).

Die Qualität der Empfindung, beziehungsweise die Wertigkeit, wird auch als **Valenz** (engl. valence) bezeichnet, Dorsch, Wirtz et al. (2014) und die Intensität des Erlebens als **Anregung** (engl. arousal). Traxel und Heide (1961) fanden ein Ordnungssystem an Gefühlsqualitäten, das mithilfe dreier Versuche bestimmt wurde. Die gefundenen drei Dimensionen bezeichnen sie als „Angenehm – Unangenehm“, „Unterwerfung – Überhebung“ und „Grad der Motivierung“. Dieses System zeigt große Ähnlichkeiten zum

oben von Wundt beschriebenem System. Nur die Achse „Unterwerfung – Überhebung“ kommt dort nicht vor. Ertel (1965) griff zur Bestimmung einer Klassifikation von Emotionen auf Emotionswörter in Gegensatzpaaren zurück und verwendete eine achtstufige Ratingskala. Dabei griff er auf das von Osgood, Suci und Tannenbaum (1957) eingeführte Konzept des semantischen Differenzials zurück. Eine Faktorenanalyse ergab ebenfalls eine ähnliche Drei-Faktoren-Lösung: Valenz (angenehm – unangenehm), Potenz (stark – schwach) und Erregung (beruhigend – erregend). Die dimensionale Beschreibung emotionalen Erlebens wurde ebenfalls empirisch durch Studien von Mehrabian und Russell (1974) bestätigt. Die Verfasser entwickelten hierfür ein eigenes semantisches Differenzial, das aus achtzehn Skalen bipolarer Adjektivpaaren besteht. Die faktorenanalytische Untersuchung ergab eine Drei-Faktorenlösung, wobei der Faktor Valenz 27%, der Faktor Anregung / Erregung 23% und der Faktor Dominanz nur 14% der Gesamtvarianz erklärte. Russell (1980) postulierte, dass der Faktor Dominanz eher mit den Konsequenzen aus Emotionen als mit Emotionen selbst in Verbindung steht. Auch die übrige Literatur weist immer wieder auf die Schwierigkeit einer konsistenten Identifikation von Dominanz als reliable Dimension neben Valenz und Anregung hin, vergleiche Russell (1979), Russell (1980), Storm und Storm (1987) oder Hamm und Vaitl (1993). Dementsprechend wird im Rahmen dieser Arbeit zur verbalen Beschreibung und Erhebung von Emotionen und dem emotionalen Erleben nur auf die beiden Dimensionen Valenz und Anregung zurückgegriffen. Die ausgewählten Adjektivpaare beziehen sich dabei auf die von Mehrabian und Russell (1974) verwendeten, welche von Hamm und Vaitl (1993) übersetzt wurden.

Ein weiterer, im Rahmen dieser Arbeit, verwendeter Fragebogen ist der PANAS (Positive and Negative Affect Schedule) nach Watson, Clark und Tellegen (1988). Die Struktur des PANAS Fragebogens wird durch zwei Dimensionen beschrieben: „Positiver und Negativer Affekt“ als im affektiven Raum voneinander unabhängigen Hauptdimensionen des affektiven Erlebens. Der Begriff „Affekt“ beschreibt dabei einen mentalen Status, der bewertende und somit subjektive Gefühle beinhaltet. Dabei wird zwischen rasch auftretenden und schnell verblassenden emotionalen Zuständen, welche durch emotionale Situationen ausgelöst werden und längerfristigen stabilen charakterlichen Dispositionen unterschieden. Letztere halten länger an und beeinflussen die emotionale Färbung der kurzfristigen affektiven Zustände, vergleiche Coan und Allen (2007). Watson et al. (1988) griffen diese Dimensionen dann auf und verstehen sie als um 45 Grad rotierte Dimensionen zu den Valenz und Anregungs-Dimensionen, vergleiche auch Coan und Allen (2007). Die beiden Dimensionen des PANAS, PA und NA beinhalten jedoch je einen positiven und negativen Pol (niedriger und hoher PA, sowie niedriger und hoher NA) und sind deswegen als je bipolar zu bezeichnen, vergleiche Schallberger (2005). Deswegen wurde von den Autoren des PANAS eine Umbenennung der Skalen in Positive und Negative Aktivierung angestoßen, siehe Tellegen, Watson und Clark (1999), welcher diese Arbeit folgt.

Insgesamt ergänzt der Einsatz des PANAS-Fragebogens die oben beschriebene Vorgehensweise zur Messung von Valenz und Anregung sehr gut, vergleiche Abbildung 2-8.

Eine hohe positive Aktivierung wird durch Enthusiasmus, Energie und Konzentration beschrieben; ein niedriger positiver Affekt mit Trägheit, Traurigkeit und Müdigkeit; eine hohe negative Aktivierung zeigt Anspannung im negativen Sinne; eine niedrige negative Aktivierung kennzeichnet Ausgeglichenheit und Ruhe, vergleiche Watson und Tellegen (1985), Watson et al. (1988), Krohne, Egloff, Kohlmann und Tausch (1996) und Krohne und Hock (2007). Im Rahmen dieser Arbeit wird der PANAS beziehungsweise dessen Kurzform nach Mackinnon, Christensen, Korten, Jacomb, und Rodgers (1999) in der deutschen Version von Krohne et al. (1996) verwendet. Der PANAS misst die beschriebenen, affektiven Zustände durch Abfrage von zwanzig Adjektiven, beziehungsweise zehn in der Kurzform, die auf einer fünfstufigen Skala (gar nicht – ein bisschen – einigermaßen – erheblich – äußerst) bewertet werden. Beispiele hierfür sind: aktiv, freudig erregt, begeistert, wach, bekümmert, verärgert, erschrocken, nervös. Der PANAS kann dabei auf unterschiedliche Zeitintervalle angewendet werden, von „Wie fühlen Sie sich im Moment?“ bis hin zu „Wie fühlten Sie sich im letzten Jahr / im Allgemeinen“. Im Rahmen dieser Arbeit wird der PANAS jeweils auf ein abgeschlossenes Ereignis angewendet, zum Beispiel der gesamten Fahrt mit einem modifizierten Versuchsfahrzeug.

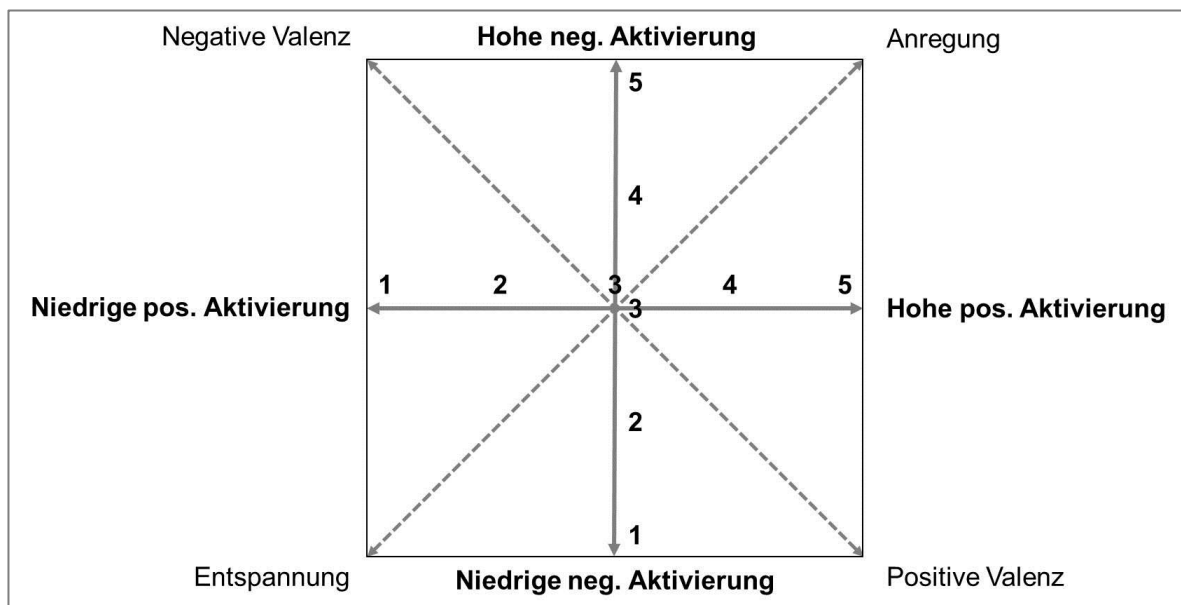


Abbildung 2-8: Zusammenhang zwischen positiver / negativer Aktivierung und Valenz / Anregung. Eigene Darstellung in Anlehnung an Coan und Allen (2007) und Krohne und Hock (2007)

In der psychologischen Fachliteratur wird ein Zusammenhang zwischen Valenz und Anregung wiederkehrend beschrieben. Beispiele hierfür sind Russell (1980), Russell und Mehrabian (1977), Hamm und Vaitl (1993) und die Reversal Theorie von Apter (1989), Apter (2001). Sie stellt eine Beziehung zwischen Anregung und hedonischer (lustorientierter) Färbung her. Das zentrale Konzept der Reversal Theorie sagt aus, dass das bevorzugte Anregungs-Niveau personenindividuell fluktuiert. In einer Bistabilität wird zwischen zwei Zuständen hin- und hergewechselt: telisch und paratelisch, vergleiche Abbildung 2-9. Es wird daraufhin gewiesen, dass Personen meist eine Präferenz für einen

der beiden Zustände haben, dass jedoch durchaus je nach Situation und momentaner Neigung hin und hergewechselt werden kann.

Den telischen Zustand kennzeichnet, dass ein geringer Anregungslevel bevorzugt wird. Hohe Anregung wird als unangenehm und besorgniserregend empfunden und vermieden. In diesem Zustand ist die erlebende Person zielorientiert, ernsthaft gesinnt und versucht ihre aktuelle Aktivität fertig zu stellen, um ihr Ziel zu erreichen. Den paratelic Zustand kennzeichnet, dass ein hoher Anregungslevel bevorzugt wird. Niedrige Anregung wird dann als langweilig empfunden und führt zu Unbehagen. Eine Person möchte in diesem Zustand eine „gute Zeit“ haben. Längerfristige Ziele und Errungenschaften treten in den Hintergrund. Apter beschreibt diesen Zustand als eine Zeit zu spielen, Spaß zu haben und spontan zu sein.

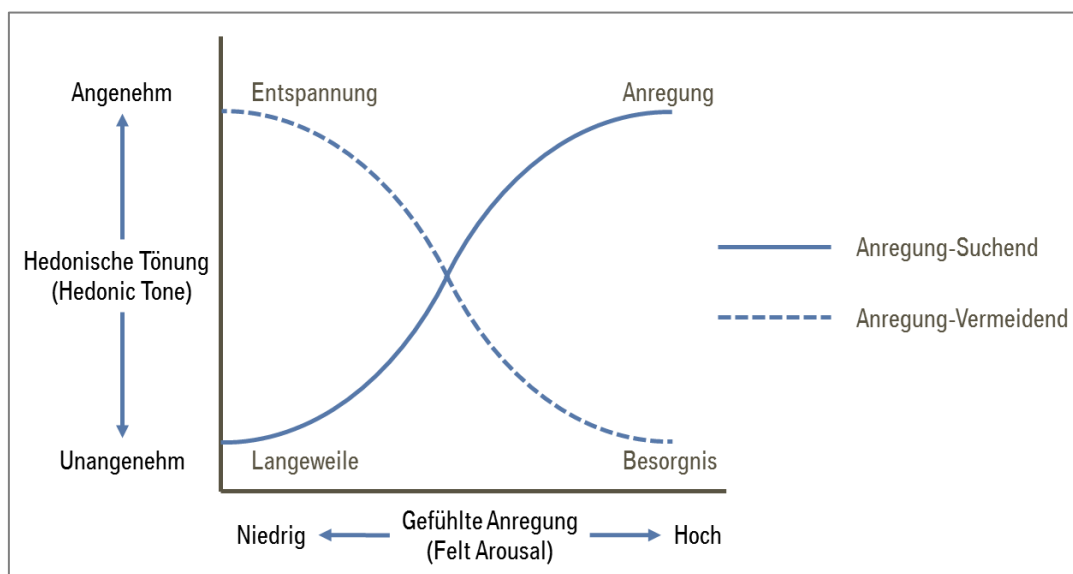


Abbildung 2-9: Die Reversal Theorie nach Apter. Eigene Übersetzung. Grafik angepasst übernommen aus Apter (1989)

2.4.3. Relevante Emotionstheorien

LeDoux (1998) führt drei grundlegende Ansätze zur Erforschung von Emotionen an, siehe Abbildung 2-10: die introspektive Psychologie, die Verhaltenspsychologie und die Kognitionswissenschaft. Die introspektive Psychologie beschäftigt sich hauptsächlich mit dem unmittelbaren Bewusstsein eines sensorischen Inputs. Sie war im späten neunzehnten bis Anfang des 20. Jahrhunderts die vorherrschende Methode der psychologischen Forschung. Danach war die Psychologie dann maßgeblich von der behavioristischen Denkweise geprägt, was sich auch in der Emotionsforschung niederschlug. Hierbei werden die Vorgänge zwischen sensorischem Input und der Verhaltensreaktion jedoch als eine nicht zugängliche „Black Box“ gesehen und deswegen nicht weiter betrachtet. Die Kognitionswissenschaft versucht die Vorgänge innerhalb der „Black Box“ zu verstehen und erstreckt sich sowohl auf die bewussten als auch die unbewussten Vorgänge der Verarbeitung eines sensorischen Inputs. Nachfolgend werden kurz die maßgeblichen Theorien und Vertreter der verschiedenen Ansätze aufgeführt.

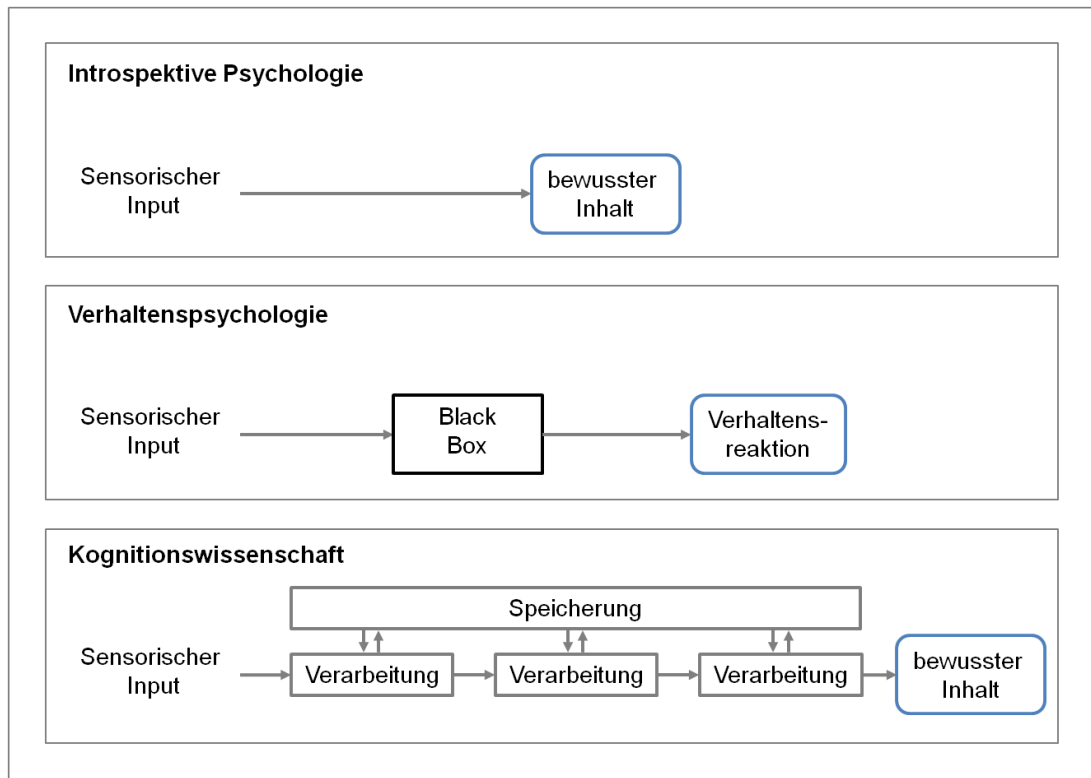


Abbildung 2-10: Verschiedene Ansätze in der Emotionsforschung; eigene Darstellung nach LeDoux (1998)

Ein Hauptvertreter der **introspektiven Psychologie** war Wilhelm Wundt (1832 – 1920), der die Introspektion in einer experimentellen Laboranordnung durchführte. Dabei wurden mentale Prozesse wie Reizwahrnehmung und unter anderem auch Emotionen in Selbstbeobachtung durch hochtrainierte Versuchspersonen untersucht. Aufgrund der hohen Subjektivität der Ergebnisse wurde diese von den Behavioristen jedoch abgelehnt und verlor ab den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts an Bedeutung. Heute finden sich Ansätze der Introspektion nur noch in der Methode des „Lauten Denkens“ wider.

Die **Verhaltenspsychologie** befasst sich mit den behavioristischen Emotionstheorien. Deren Schwerpunkt liegt nicht im Erleben von Emotionen, sondern vielmehr in der Beobachtung von Reaktionen und Reizen, die Emotionen auslösen. Die Wahrnehmung der subjektiven Gefühle, die von Emotionen ausgelöst werden können, nimmt nur eine untergeordnete Rolle ein. Vertreter dieser Theorien sind beispielsweise Watson (1930), und Skinner (1953). Heutzutage haben die behavioristischen Theorien jedoch an Bedeutung verloren. Dies ist gemäß Meyer, Schützwohl und Reisenzein (1993) auf deren fragwürdigen philosophischen Ausgangspunkte, die Vernachlässigung der Analyse innerer Zustände und der fehlenden Betonung der mentalen Abläufe, die das Erleben von Emotionen betrachtet, zurückzuführen. Da diese Theorien kognitive Prozesse nur untergeordnet betrachten, eignen sie sich nicht für den Einsatz in dieser Arbeit.

Den **kognitiv-physiologischen Theorien** ist die Annahme gemein, dass die Wechselwirkung zwischen physiologischen Veränderungen und deren bewusste wie unbewusste Wahrnehmung auftretende Emotionen bestimmen und verändern. Frühe Vertreter dieser Theorien sind die James-Lange Theorie, siehe James (1890) und Lange

(1887) sowie die Cannon-Bard Theorie (Cannon, 1927). Zu den Theorien, die in den 1960er und 70er Jahren entstanden, gehören Schachter (1962), Valins (1966) und Izard (1971). Diese Theorien untersuchen die Notwendigkeit physiologischer Erregung zur Entstehung von Emotionen und kommen zu teils widersprüchlichen Ergebnissen. Dementsprechend fand danach ein Trend hin zu der Auffassung statt, dass Emotionen primär auf Kognitionen, Einschätzungen und Bewertungen zurückzuführen sind. Diesen Ansatz greift Robert Plutchik auf, der den kognitiven Abläufen bei der Entstehung von Emotionen besonderes Gewicht beimisst (Plutchik, 1980), siehe Kapitel 2.4.4.

In den 90er Jahren des 20. Jahrhunderts stellt LeDoux (1996) eine **neurobiologisch geprägte Emotionstheorie** vor. Dabei orientiert er sich an neueren Erkenntnissen der Hirnforschung und Ergebnissen empirischer Studien. Er geht davon aus, dass Kognitionen nicht kausal zu Emotionen führen, sondern dass zwei separate, wechselwirkende Bahnen durchlaufen werden, die durch ebenfalls in Wechselwirkung stehenden, voneinander getrennten Hirnsysteme bearbeitet werden. Dementsprechend werden emotionale Situationen in getrennten Gedächtnissystemen dem Amygdala und dem Hippocampus System bearbeitet. Diese Sichtweise kann sehr schnell ablaufende emotionale Bewertungen erklären, die teilweise entstehen, bevor ein Reiz vollständig verarbeitet wurde, siehe zum Beispiel Bosch, Schiel und Winder (2006). Aufgrund der starken neurobiologischen Sichtweise eignet sich diese Theorie nur bedingt für den Einsatz in dieser Arbeit.

Deswegen wird die kognitive Emotionstheorie nach Plutchik (1980) verwendet, welche ausgehend von den sensorischen Inputs den Schwerpunkt in den kognitiven Abläufen setzt, die dann dazu führen, dass Emotionen ausgelöst werden. Diese Theorie wird nachfolgend eingehend erläutert.

2.4.4. Kognitive Abläufe bei der Entstehung von Emotionen (Plutchik, 1980)

Robert Plutchik (1927 – 2006) forderte, dass Emotionen in einem evolutorischen Zusammenhang betrachtet werden müssen. Plutchik (1962) ist Hauptvertreter der evolutionspsychologischen Emotionstheorien. Dabei räumt er der kognitiven Einschätzung im Emotionsentstehungsprozess ein besonders starkes Gewicht ein, siehe Abbildung 2-11.

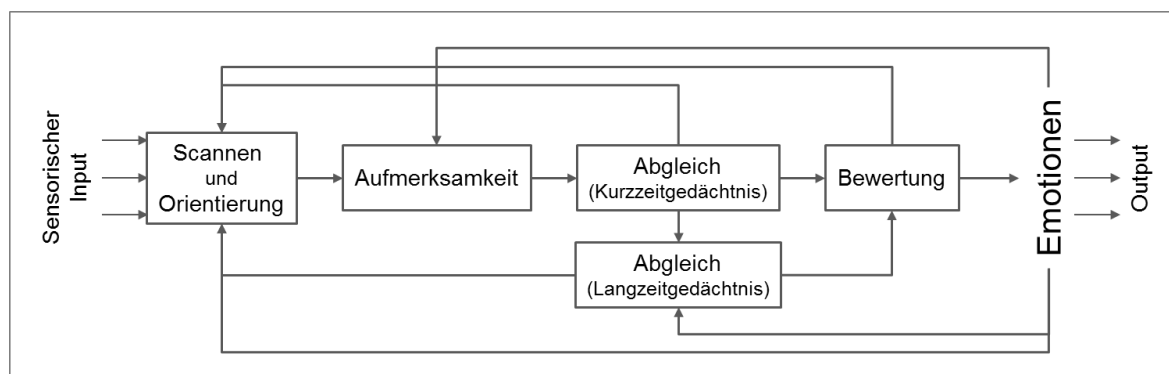


Abbildung 2-11: Kognitive Abläufe bei der Entstehung von Emotionen; Eigene Darstellung nach Plutchik (1980)

Eine besondere Stärke der Forschungsaktivitäten von Plutchik ist die Tatsache, dass in seiner Theorie zur Emotionsentstehung folgende drei Komponenten enthalten sind: die Erlebenskomponente, die physiologische Komponente und die behaviorale Komponente. Plutchik setzt voraus, dass die Bewertung externer und interner Stimuli durchgeführt werden muss, bevor Emotionen entstehen. Durch diese Bewertung werden die Reize in gut oder schlecht aufgeteilt und sind somit auch sehr stark von den kognitiven Beurteilungen, also Erfahrung und Lernen, abhängig.

In Anlehnung an Abbildung 2-11 unterscheidet Plutchik (1980, S. 300-302) neun wesentliche funktionale Hauptelemente des mentalen Systems an Kognitionen und Emotionen. Diese werden nachfolgend beschrieben (englische Originalbezeichnungen der einzelnen Prozesse in Klammern). Den Auslöser beziehungsweise Startpunkt des kognitiv-emotionalen Prozesses bilden sensorische Informationen, die aus externen oder internen Reizen entstehen. Diese werden als „sensorischer Input“ bezeichnet. **Scannen** (scanning) beschreibt den Prozess der zufälligen Bewegung des sensorischen Feldes durch das Wahrnehmungsfeld der erlebenden Person. Es kann als willkürliches Erkundungsverhalten beschrieben werden und leitet neue Informationen laufend zum zentralen Prozessor weiter. **Orientieren** (orienting) erfolgt immer dann, wenn neue oder unerwartete Reize plötzlich im sensorischen Feld erscheinen. Als Folge richtet sich das sensorische System so aus, dass die Aufnahme von Informationen in das kognitive System maximiert wird. Nun findet eine **Steuerung der Aufmerksamkeit** (attending) statt, so dass momentan unwichtige sensorische Informationen ausgeblendet werden und die wesentlichen in den Vordergrund der Wahrnehmung gerückt werden. Somit findet eine Fokussierung auf einen speziellen Teil der Umwelt statt. Sobald der Reiz interpretiert ist und eine bekannte Kategorie dafür gefunden wurde, treten andere Prozesse in Kraft. Als nächstes findet ein **Einspeisen ins Kurzzeitgedächtnis** (short-term registering) statt. Dabei wird eine vorläufige Identifikation des Stimulus durchgeführt. Diese Vorevaluation des Reizes ermöglicht weitere zweckmäßige Reaktionen. Darüber hinaus findet eine Rückmeldung zum Scannen und Orientieren statt, um dieses weiter zu schärfen. Als nächstes findet ein **Abgleich im Kurzzeitgedächtnis** (comparing) statt. Im Kurzzeitgedächtnis existieren viele verschiedene angeborene und durch vorangegangene Erfahrungen gelernte Codes. Die erlernten Codes kommen durch vorherige Versuche zustande, die Umwelt als eine Art „Landkarte“ im Gehirn abzubilden. Eine Person, die einen neuen Stimulus nach dem Orientieren und der Aufmerksamkeitssteuerung evaluiert, muss den Stimulus mit einem präexistenten Code der Gedächtniskarte vergleichen. Sollte der Reiz beim Abgleich mit den bereits im Langzeitgedächtnis gespeicherten Inhalten ergeben, dass der Reiz weder situativ noch biologisch relevant für die erlebende Person ist, dann ist eine Speicherung des neuartigen Reizes im Langzeitgedächtnis unwahrscheinlich. Ist der neuartige Reiz potenziell wichtig für das Individuum, so gehen die Informationen über ins Langzeitgedächtnis und werden dort permanent gespeichert. Auch dieser Prozess wirkt auf die am Anfang stehenden sensorischen Prozesse zurück und erzeugt neben Wahrnehmung auch erste generelle Einschätzungen. Anschließend findet die **Speicherung im Langzeitgedächtnis** (long-term registering) statt. Danach steht der sensorische Reiz als Code zur Verfügung. Er kann nun als Teil der inneren „Landkarte“ der erlebenden Person bezeichnet werden und hilft zukünftig zum besseren

Verständnis der Umwelt. Als nächstes findet eine **Evaluierung des Reizes** (retrieving and evaluating) statt. Um möglichst passend auf den Reiz reagieren zu können, muss dieser mit vorangegangenen Stimuli, die in der kognitiven Landkarte gespeichert sind, verglichen werden. Diese Bewertung erfordert den Abruf von bereits vorhandenem Wissen. Der Prozess verläuft direkt, intuitiv und unmittelbar, weshalb er für das Individuum häufig nicht bewusst nachvollziehbar ist. Als nächstes findet ein Prozess statt, der als „**zukünftige Prognosefähigkeit**“ (predicting) bezeichnet werden kann. Nach der Einschätzung des Reizes werden in einem internen Prozess die Voraussetzungen dafür geschaffen, dass in der Zukunft Prognosen getroffen werden können, die das sensorische Ereignis zuverlässig wiedererkennen. Informationen für die Validierung dieser Prognose stellt das Langzeitgedächtnis zur Verfügung. Dabei greift es auf gespeicherte Vorerfahrungen und erlerntes sowie vererbtes Vorwissen zurück. Als letztes findet die **Emotionalisierung** (emoting) statt. Bei diesem Prozess findet die emotionale Färbung des Reizes statt. Diese ist hochgradig von den vorangegangenen Prozessen abhängig. Ein besonderes Gewicht kommt dabei der Bewertung der Stimuli zu. Außerdem wird im Rahmen der Emotionalisierung die Basis für Erleben und Verhalten gelegt. Dieser Prozess fließt zurück in den Langzeitspeicher, bleibt dort als Information erhalten und steht für zukünftige Bewertungen zur Verfügung. Ebenso wirken die erlebten Emotionen auf den Scanning- und Orientierungsprozess zurück und führen zu einer weiteren Fokussierung der Aufmerksamkeit.

Zur Veranschaulichung der Vorgänge wird dieser Prozess an einem Beispiel verdeutlicht. Das Beispiel behandelt die ungewohnt starke Beschleunigung eines Fahrzeuges, die ein Beifahrer erlebt.

Tabelle 2-1: Beispiel zur Entstehung von Emotionen unter Beteiligung kognitiver Abläufe nach Plutchik (1980)

Vorgang	Beispielhafte Beschreibung
(1) Scannen	Eine Person fährt bei einem Freund in dessen leistungsstarken Mittelklassewagen mit. Das Fahrzeug hat viel mehr Leistung als der Kleinwagen der mitfahrenden Person. Während der Fahrt sammeln die sensorischen Organe des Mitfahrers willkürlich Informationen und stellen diese dem zentralen Prozessor bereit. Solche Informationen können verschiedener Natur sein, zum Beispiel: akustische Reize des Fahrtwindes und der Abgasanlage, Beschleunigungs-Reize, die das Vestibularorgan aufnimmt oder Reize des optischen Flusses aus der Umgebung, die am Mitfahrer vorbeiziehen.
(2) Orientieren	Auf einer Autobahnauffahrt beschleunigt der Fahrer sehr stark. Das sensorische System des Vestibularorgans nimmt diese starke Beschleunigung als Reiz auf und leitet diesen weiter. Der Reiz ist aufgrund seiner Stärke neu und unerwartet für den Mitfahrer.
(3) Steuerung der Aufmerksamkeit	Aufgrund der Neuartigkeit des Reizes wird die Aufmerksamkeit nun verstärkt auf das Vestibularorgan gelenkt. Die übrigen sensorischen Informationen werden tendenziell ausgeblendet. Dies können im Beispiel die Wahrnehmung des optischen Flusses der Umgebung oder die Erzählungen des Fahrers sein.

(4) Einspeisen ins Kurzzeitgedächtnis	Nun werden die neuen sensorischen Informationen ins Kurzzeitgedächtnis weitergeleitet und dort identifiziert. Der Reiz wird als Beschleunigungsreiz identifiziert und das Scannen und Orientieren weiter geschärft.
(5) Abgleich im Kurzzeitgedächtnis	Der Beifahrer stellt nun durch den Abgleich mit im Kurzzeitgedächtnis gespeicherten Reizen fest, dass sich die Stärke an Beschleunigung sehr von den sonst gewohnten Reizen unterscheidet. Die sonst gewohnten Reize sind beispielweise die geringere Beschleunigungsleistung seines Kleinwagens.
(6) Speicherung im Langzeitgedächtnis	Der neue Reiz wird nun im Langzeitgedächtnis gespeichert und erweitert so den Erfahrungsschatz des Beifahrers. Darüber hinaus findet wahrscheinlich eine Verknüpfung dieses Reizes mit dem Fahrzeugtyp oder möglicherweise auch mit anderen neuartigen Reizen wie zum Beispiel einem sportlichen Motorsound statt.
(7) Evaluierung des Reizes	Nun wird der Beschleunigungsreiz mit bereits vorhandenen, gespeicherten Codes vorangegangener Erlebnisse verglichen. Der Beifahrer kann sich hier beispielsweise an das Fahren eines Sportwagens erinnern fühlen, welchen er in der Vergangenheit gefahren hatte. Der Reiz wird somit einem sportlichen Fahren gleichgesetzt.
(8) Zukünftige Prognosefähigkeit	In diesem Schritt stellt das Langzeitgedächtnis Informationen zur Verfügung, um in Zukunft gerichtete Vorhersagen zum sensorischen Ereignis anstellen zu können. So ist es dem Beifahrer in Zukunft möglich die Information „starke Beschleunigung“ abzurufen, bevor er erneut in ein gleiches Fahrzeug einsteigt, wie das, mit dem er momentan unterwegs ist. Dementsprechend kann sich seine Erwartung an die Beschleunigungsfähigkeit des Fahrzeugs in Zukunft verändern.
(9) Emotionalisierung	Im letzten Schritt folgt nun die emotionale Färbung des Reizes. Anhand der vorherigen Erfahrungen des Fahrers und den sich daraus ergebenden persönlichen Präferenzen kann diese Emotionalisierung positiv oder negativ ausfallen. So könnte der Fahrer „starke Beschleunigung“ als etwas Positives erlebt haben und davon freudig begeistert sein. Auf der anderen Seite könnte aufgrund einer negativen Vorerfahrung, zum Beispiel starkes Beschleunigen und anschließendes Schleudern des Fahrzeugs, zu einer negativen Emotion wie Angst führen.

2.4.5. Zusammenfassende Betrachtung: Vom Erleben zur Emotion und von der Emotion zum Erlebnis

Die Darstellung der ausgewählten Emotionsdefinitionen zeigt, dass Emotionen mit internen und externen Reizen, Kognitionen und einer positiv oder negativ behafteten Reaktion verbunden sind. Zur Beschreibung werden häufig Valenz und Anregung verwendet, die mit Hilfe von Fragebögen zuverlässig erfasst werden können. Momentan besonders präferierte Zustände von Valenz und Anregung werden durch die Reversal Theorie beschrieben. Im Rahmen dieser Arbeit wird die kognitive Emotionstheorie von Plutchik (1980) ausgewählt, um die Ergebnisse der Versuche zu diskutieren, da diese eine besonders gute Kombination aus hinreichend tiefer kognitiver Betrachtung und anwendungsfreundlichem Modell bietet. Die Diskussion des kognitiven Emotionsmodells zeigt, dass verschiedenste kognitive Abläufe zusammenkommen müssen, damit Emotionen entstehen können. Sie zeigt auf, unter welchen Umständen, aus der normalen **Wahrnehmung** der Umwelt, Emotionen entstehen können. So bedingen alltägliche Aufgaben und Tätigkeiten durchaus kognitive Prozesse, jedoch ist nicht gegeben, dass eine solche Situation auch emotional erlebt wird. Das **Erleben** an sich definieren beispielsweise Dorsch, Häcker, Stapf und Ries (1987, S. 186) als „jegliches Innewerden von etwas, jedes Haben mehr oder weniger bewusster subjektiver, seelischer Inhalte, jeder Vorgang im Bewusstsein“ (zitiert nach Schenz (2006, S. 19)). Das Erleben kann somit als fortlaufender Bewusstseinsstrom beschrieben werden (Roto et al., 2010). Aus diesem heben sich **Erlebnisse**, gemäß Dietrich und Walter (1972), vom alltäglichen Erleben durch Auftreten ausgeprägter Emotionen und Anregung ab. Dementsprechend ähnlich sind gängige Erlebnisdefinitionen den vorgestellten Emotionsdefinitionen: Leszczynski (1995, S. 91) definiert ein Erlebnis als „gefühlbetontes und unmittelbares Ergriffenwerden anlässlich eines Ereignisses“. Weiter ist festzuhalten, dass Erlebnisse einen Beginn und ein Ende haben, vergleiche Roto et al. (2010) und Wright, McCarthy und Meekison (2005). Weitere Autoren weisen darauf hin, dass Erlebnisse immer subjektiv erlebt werden (Hassenzahl, 2010), (Prechtl & Burkard, 1999), (Roto et al., 2010). Aufgrund des subjektiven Charakters haben Erlebnisse eine emotionale Tönung. Sie werden entweder als positiv oder als negativ erlebt, jedoch nie neutral (Schenz, 2006), (Schott, 2003). Erlebnisse werden im episodischen Gedächtnis gespeichert. Sie stehen somit als Geschichten, die erzählt werden können, zur Verfügung (Forlizzi & Battarbee, 2004), (Hassenzahl, 2010). Die genannten Eigenschaften von Erlebnissen werden bei den Interviews der Probanden vor, während und nach den Versuchen herangezogen, um Erlebnisse zu identifizieren und zu erfassen.

3. Stand der Technik und Ableitung des Forschungsbedarfs

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über relevante Vorarbeiten und erörtert den Forschungsbedarf. Es wird dargelegt, wie sich diese Arbeit vom Stand der Technik abgrenzt und welcher Forschungsbedarf sich daraus ergibt. Abschließend wird erläutert, wie die vorgestellten Theorien und Methoden zur Beantwortung der Forschungsfragen beitragen.

3.1. Relevante Vorarbeiten zu Wahrnehmung und Erleben von Fahrzeugantrieben

Nachfolgend werden Quellen aus der Literatur aufgeführt, die im Rahmen dieser Arbeit relevant sind. Dabei wird nicht zwischen dem Aspekt Wahrnehmung und Erleben unterschieden, sondern die Quellen nebeneinander betrachtet. Es wird zunächst die relevante Literatur zum Fahrerleben allgemein beschrieben und dann auf die beiden wahrnehmungsrelevanten Erlebnisaspekte Längsdynamik und Motorsound eingegangen.

3.1.1. Zum Fahrerleben allgemein

Einen Überblick zum Fahrerleben zeigt beispielsweise Eberl (2014). Dabei weist er daraufhin, dass momentan noch kein allgemein gültiger Ansatz zum Fahrerleben gefunden wurde. In einer Literaturliste werden verschiedene Erlebensdimensionen genannt. Im Rahmen dieser Arbeit sind folgende Vorarbeiten und die genannten Erlebensdimensionen von Interesse, vergleiche Eberl (2014):

Dick (2001) nennt als Erlebensdimensionen Entspannung, Anregung, Routine, Störung, Expansion und Kontinuität. Dabei nennt er neben den positiven Fahrerlebnissen, die anregend oder entspannend wirken, auch negative Erlebnisse, die ein Unfall oder Stop and Go Verkehr sein können, vergleiche Abbildung 3-1. Den Hauptdimensionen zugrunde liegt die psychologische Auswertung von achtzehn narrativen Grid-Interviews von Cabrio-Pkw-, und Motorradfahrern.

Engelbrecht, Engeln und Arndt (2009) nennen Fahrspaß und Fahrkomfort als maßgebliche Erlebensdimensionen. Dabei greifen Sie auf eine heuristische Modellvorstellung zurück, die als „Joy and Convenience in Activities“ bezeichnet wird und zuerst in Engeln, Engelbrecht und Kieninger (2008) veröffentlicht wurde, vergleiche Abbildung 3-2. Je nach gerade präferiertem Zustand, wird „Entspannung“ oder „Aktivierung“ gesucht. Dieses Modell zeigt Ähnlichkeiten zur Reversal Theorie von Apter (1989).

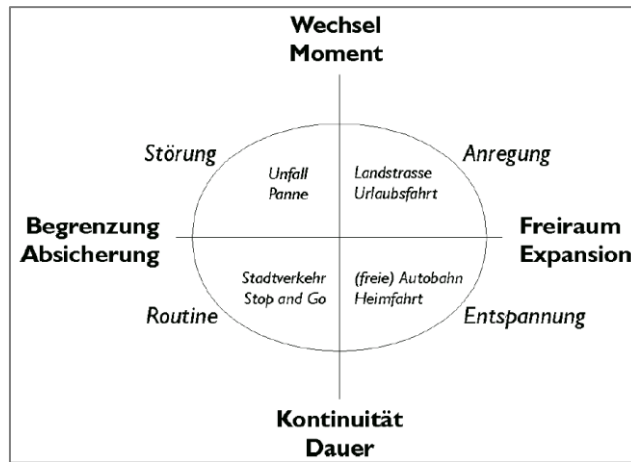


Abbildung 3-1: Hauptdimensionen des Fahrerlebens als Empfinden von Raum und Zeit; entnommen aus Dick (2001)

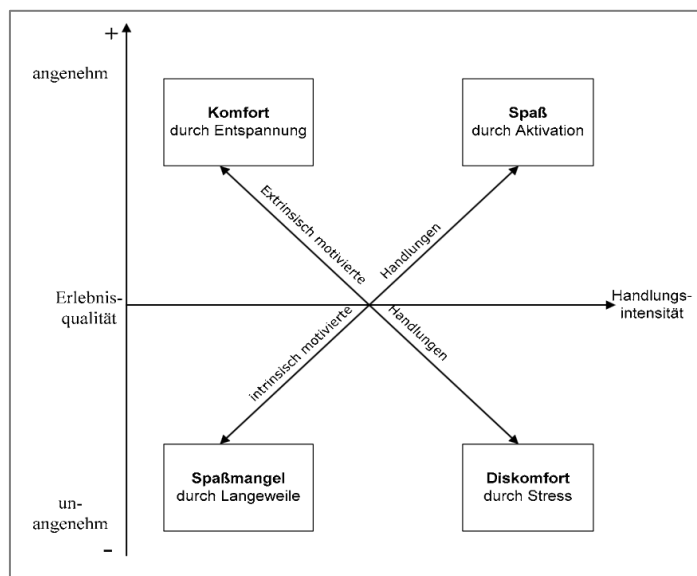


Abbildung 3-2: Modellvorstellung zu „Joy and Convenience in Activities“ entnommen aus Engelbrecht et al. (2009)

Bei der Untersuchung von vorausschauenden Fahrerassistenzsystemen nennt Popiv (2012) die Erlebnisdimensionen Unterstützung, Gefallen, Energieeffizienz, Komfort, Sicherheit und Bevormundung, vergleiche zum Beispiel auch Hajek, Popiv, Just und Bengler (2011). In Ihrem Ansatz zur Messung von positiven Fahr-Erleben nennen Tischler und Renner (2007) neben Komfort auch Rückmeldung, Längsdynamik, Handlungsfreiheit und Kontrollierbarkeit als Dimensionen. Vilimek, Keinath und Schwalm (2012) und Ramsbrock, Vilimek und Weber (2013) werten eine Feldstudie mit elektrischen Mini-E Fahrzeugen aus und beschreiben dabei die Erlebnisdimensionen Sicherheit, Reichweite, Energieeffizienz, Gefallen, Stimulation, Kompetenz, Pedalbetätigungsverhalten.

Eberl (2014) nennt diese und weitere Quellen und integriert sie zu einer eigenen Modellvorstellung, siehe Abbildung 3-3. Es werden die Erlebnisdimensionen Sicherheit, Energiegefühl, Diskomfort und Komfort ausgewählt. Diese werden beeinflusst durch die Randbedingungen des Fahrer-Fahrzeug-Regelkreises, nämlich Fahrzeugparameter, fahrerspezifische Aspekte und dem Verkehrsumfeld. Außerdem wird das Erleben des

Fahrers maßgeblich von der Erfüllung psychologischer Bedürfnisse bestimmt. Dabei nennt Eberl (2014) als besonders interessante Bedürfnisse beim Fahren Kompetenz, Stimulation und Autonomie. Weitere Informationen dazu folgen im nächsten Teilkapitel.

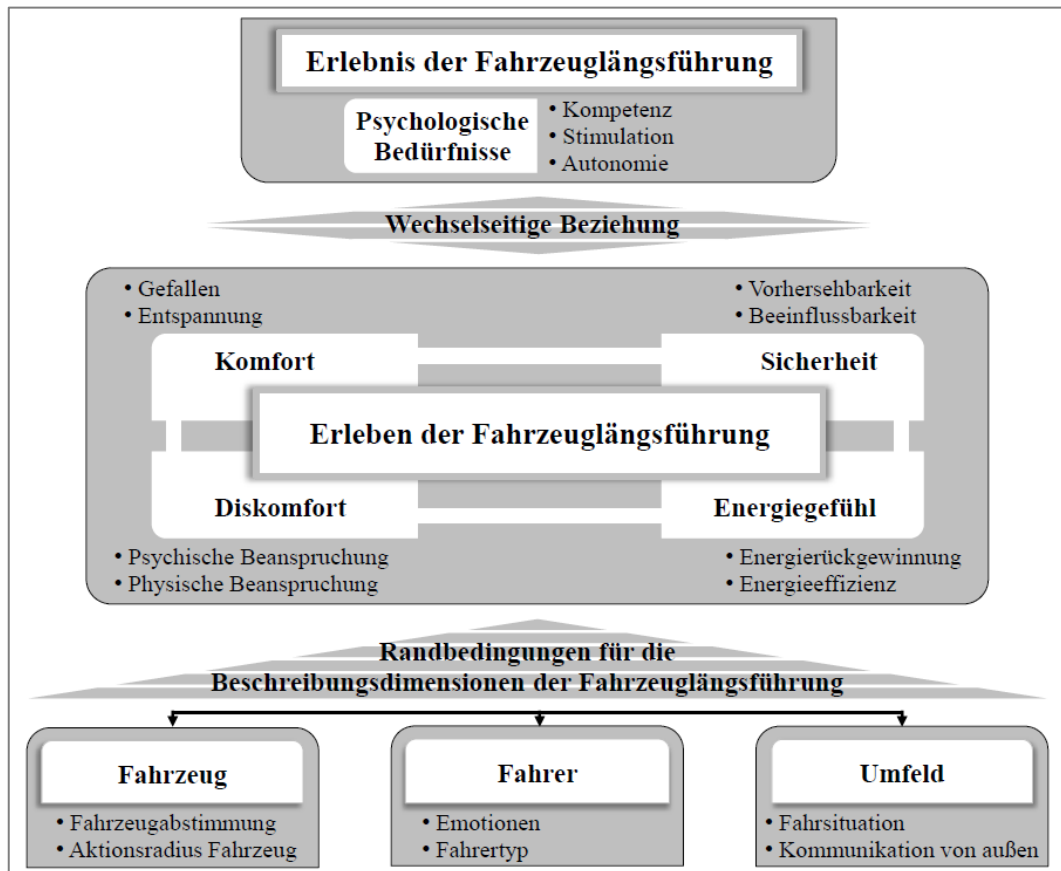


Abbildung 3-3: Modellvorstellung zum Erleben der Fahrzeuglängsführung; entnommen aus Eberl (2014)

Der vorliegenden Literatur gemein ist, dass immer wieder auf eine Polarität zwischen Anregung und Entspannung hingewiesen wird. Diese wird bei Dick (2001) explizit so genannt, bei Engelbrecht et al. (2009) ist sie in der Achse Komfort – Spaß enthalten und in der Modellvorstellung von Eberl (2014) deutet sich die Bipolarität in der Beschreibung des Komforts und dem Erleben aufgrund Befriedigung psychologischer Bedürfnisse implizit an. Deswegen wird in Kapitel 4 im Rahmen des Vergleichs von Fahrzeug- und Freizeiterlebnissen untersucht, ob die Anregung-Entspannungsachse auch in diesem weiter gefassten Kontext erhalten bleibt.

Im Rahmen dieser Arbeit soll kein eigenes Modell oder eine Modellvorstellung entwickelt werden, sondern anhand des vorgestellten Emotionsmodells erläutert werden, wie Emotionen beim Führen eines Fahrzeugs entstehen können und welche internen und externen Reize einen Beitrag zum Erleben leisten.

3.1.2. Zu Wahrnehmung und Erleben der Längsdynamik

Tischler und Renner (2007) geben auf Basis von Probandenversuchen und Literaturrecherchen Empfehlungen für die erlebnisorientierte Fahrzeuggestaltung. Dabei gehen sie auf fahrspaßfördernde und fahrspaßhemmende Faktoren auf Landstraßen und

Autobahnen ein. Zu den fahrspaßfördernden Faktoren gehören auf Seiten des Antriebs auf der Landstraße (Rangzahl in Klammern) eine gute Längsdynamik (2), Leistungsreserve (4), Kontrollierbarkeit (4) und eine direkte Ansprache (7). Darüber hinaus wird eine „schöne Strecke“ (4) ebenfalls vorausgesetzt. Auf der Autobahn wird hingegen neben der „guten Längsdynamik (1) ebenso ein „allgemeines Gefühl der Sicherheit (1) zur Fahrspaßförderung bei. Genannt werden ebenfalls die „Möglichkeit hohe Geschwindigkeiten zu fahren“ (3), ein „guter Komfort“ (6) und Kontrollierbarkeit (6). Auf Seiten der fahrspaßhemmenden Faktoren werden häufig neben anderen Faktoren eine „schlechte Kontrollierbarkeit“ und „viel Verkehr“ genannt. Bei den Probandenversuchen von Tischler und Renner (2007) werden die erlebte Sportlichkeit und der erlebte Komfort auf verschiedenen Strecken mit Hilfe einer Regressionsanalyse untersucht. Auf einer Handlingstrecke wird die Sportlichkeit stärker erlebt, wohingegen auf Autobahnen und Landstraße eine stärkere Korrelation auf dem erlebten Komfort liegt. So zeigte sich, dass professionelle Testfahrer mit steigender Querschleunigung und reduziertem Lenkwinkelbedarf sowie mit steigender Längsbeschleunigung eine höhere erlebte Sportlichkeit und einen höheren Fahrspaß berichten. Bei den nicht professionellen Fahrern konnten aufgrund der Heterogenität der Stichprobe keine statistisch signifikanten Ergebnisse genannt werden.

Simon (2011) betrachtet das Anfahrverhalten von Personenkraftwagen mit dem Ziel eine objektive Beurteilungsmethode zu generieren. Dabei geht er im Speziellen auf den Komfort-, Dosierbarkeits- und Agilitätseindruck ein. Da die Ergebnisse an Fahrzeugen mit Handschaltgetrieben diskutiert werden, sind sie nur bedingt auf diese Arbeit übertragbar, da hier nur Fahrzeuge mit Automatikgetriebe betrachtet werden.

Krüger (2012) beschreibt, dass positive Emotionen, wie Freude, durch Regulation der Umwelt entstehen können. Als Beispiel wird das sogenannte „Bohrhammer-Syndrom“ angeführt. Dieses besagt, dass kleine Bewegungen große Wirkung auslösen können und somit elementare Freude oder Frust entstehen. Freude, wenn die im Vergleich zur Fahrzeugreaktion kleine Bewegung am Fahrpedal große Auswirkungen im Sinne von hoher Längsbeschleunigung auslöst und Frust, wenn das Fahrpedal von anfänglicher Teil- in Vollastbeschleunigung weiter durchgedrückt wird, sich aber keine signifikant höhere Beschleunigung einstellt.

Tischler (2013) ermittelt Faktoren, die zu „Fahrspaß“ führen. In vier Studien werden Normalfahrer und Experten untersucht. In einer Interview- und einer Online-Studie werden emotionale Zielzustände und Fahrmotive betrachtet. Diese zeigen, dass ein Großteil der Teilnehmer komfortables und entspanntes Fahren als Fahrspaß erlebt. In zwei Studien mit jeweils vier Fahrzeugen auf einer öffentlichen Straße und einer Teststrecke wird das subjektive Erleben in den Dimensionen Fahrkomfort und Sportlichkeit untersucht. Dabei werden die Straßenlage und die Beschleunigungsfähigkeit als bestimmender Faktor identifiziert. Die Bewertung des Fahrspaßes korreliert signifikant mit einer hohen Längsbeschleunigung, jedoch nicht mit den gefahrenen Geschwindigkeiten, der Querschleunigung und den Verzögerungswerten. Somit kann der Fahrer die Beschleunigung in einem breiteren Band selbst einstellen, sodass ein größerer Bereich des gewünschten Fahrstils umgesetzt werden kann. Ein weiteres Ergebnis ist, dass ein hohes Beschleunigungsvermögen auch den Fahrkomfort positiv beeinflusst, unter der

Prämisse, dass sich die Beschleunigung mühelos und souverän anfühlt. Dies ist dann der Fall, wenn die Beschleunigung bei angenehm ruhiger Geräuschkulisse und niedriger Drehzahl trotzdem hoch ist. Zur Ermittlung des momentanen Erlebens wird in einer Studie der Self-Assessment Manikin (SAM) Fragebogen von Bradley und Lang (1994) verwendet.

Eberl (2014) untersucht das Erleben der Längsführung von Elektrofahrzeugen in verschiedenen Probandenversuchen. Das Fahrerleben wird anhand der Dimensionen Sicherheit, Energiegefühl, Diskomfort und Komfort und der Erfüllung spezifischer psychologischer Bedürfnisse untersucht. Die untersuchten Bedürfnisse sind Kompetenz, Stimulation und Autonomie. Außerdem werden beeinflussende Faktoren genannt, wie Vorprägungen und der Einfluss des Verkehrsumfeldes, die das Erleben beeinflussen. Im ersten von zwei Hauptexperimenten werden verschiedene Grundkonzepte der Fahrzeuglängsführung abgeleitet (N=8). Im Rahmen von zwei Telexperimenten im Überland- und innerstädtischen Bereich werden die gefundenen Konzepte evaluiert (N=57). Aus den Ergebnissen werden Gestaltungskonzepte abgeleitet, die erneut von 22 Probanden bewertet werden. In den durchgeführten Versuchen zeigt sich eine hohe Attraktivität von Bedienkonzepten mit hohem Rekuperationsmoment. Die Rekuperationshöhe soll so hoch sein, dass viele Verzögerungsvorgänge rein mit dem Fahrpedal eingestellt werden können. Diese Möglichkeit fördert laut (Eberl, 2014) die Kompetenz des Fahrers und vermittelt eine anspornende Rückmeldung zur Energierückgewinnung. Da diese positiven Attribute abhängig von Fahrsituation und persönlichen Präferenzen unterschiedlich erlebt werden, wird ein für den Fahrer einstellbares Schleppmoment vorgeschlagen.

(Müller, 2015) ermittelt vestibuläre Wahrnehmungsschwellen zur zielgerichteten Gestaltung der Fahrzeug-Längsdynamik. Dabei wird auch häufig auf das Erleben von Längsdynamik und Motorsound eingegangen. In einer ersten Realfahrzeug-Studie werden Aspekte der Fahrzeuglängsdynamik von Normalfahrern betrachtet. Am Versuch nehmen 20 Probanden teil, die mit fünf Fahrzeugen unterschiedlicher Fahrzeugklassen und Motorisierungen, bestimmte Versuchsstrecken abfahren. Dabei wird während der Fahrt ein freies Interview geführt und nach der Fahrt ein Repertory Grid Interview sowie ein Abschlussfragebogen absolviert. Die Studie identifizierte Beschleunigung, Motorgeräusch und Schaltverhalten als Wahrnehmungsschwerpunkte. Die Beschleunigung und das Motorgeräusch finden dann Eingang in die restlichen Versuche. Weitere Informationen zu dieser Studie finden sich auch in Müller, Gold, Eichinger und Bengler (2012). In einer zweiten Studie wird die menschliche Wahrnehmungsleistung in Hinblick auf die Unterscheidbarkeit von Längsbeschleunigungen untersucht. Am Versuch nehmen sechzehn Personen teil. Die gefundenen Wahrnehmungsschwellen liegen bei $0,08 \text{ m/s}^2$ für Leistungsreduktion bis $0,10 \text{ m/s}^2$ für Leistungssteigerung. In weiteren Versuchen werden zusätzliche mögliche Einflüsse untersucht. Dabei hat die Ausgangsgeschwindigkeit keinen Einfluss auf die ermittelten Unterschiedsschwellen. Darüber hinaus wird noch der Einfluss der Fahrerbeanspruchung, der Richtungsabhängigkeit bei der Annäherung an den Referenzreiz und die Fahrerfahrung diskutiert. Weitere Informationen sind in Müller et al. (2013), sowie Müller, Hajek, Frank und Bengler (2014) zu finden.

3.1.3. Zu Wahrnehmung und Erleben der Antriebsakustik

Viele Arbeiten, die sich mit der Antriebsakustik bei Elektrofahrzeugen beschäftigen, gehen nicht oder nur am Rande auf Wahrnehmung und Erleben des Fahrers ein. Der Schwerpunkt der Untersuchungen liegt im Bereich eines warnenden Außengeräuschs für Fußgänger und Radfahrer, insbesondere, wenn diese blind oder schwerhörig sind. Genuit (2013) beschäftigt sich mit der erwarteten Reduzierung von Straßenlärm durch die zunehmende Elektrifizierung von Straßenfahrzeugen. Dabei wird auch auf die Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer, insbesondere für Blinde, durch leise Hybrid- und Elektrofahrzeuge hingewiesen. Deswegen wird ein synthetisches Außengeräusch für diese Fahrzeuge gefordert. Dieses steht im Zielkonflikt zwischen guter Detektierbarkeit und möglichst geringer Geräuschbelästigung. Weitere Beispiele hierfür finden sich bei Altinsoy (2012a) oder Cocron, Bühler, Franke, Neumann und Krems (2011).

Bubb (1977) untersucht die Geschwindigkeitswahrnehmung im Fahrzeug. Dabei weist er neben dem optischen Fluss, als wichtigste Komponente, auf den wichtigen Rückmeldungscharakter von Antriebs- und Fahrgeräuschen hin. Auch Denjean et al. (2013) gehen auf die wichtige Rückmeldefunktion des Motorgeräuschs beim Fahren ein und geben zu bedenken, dass beim elektrischen Fahren, ohne gewohntem Motorgeräusch, die kognitive Beanspruchung durch häufige Geschwindigkeitskontrolle im Vergleich zu Fahrzeugen mit konventionellem Antrieb steigt.

Nyeste und Wogalter (2008) untersuchen in einer Probandenstudie verschiedene Geräuschkategorien für Elektrofahrzeuge. 24 Probanden beurteilten achtzehn Geräusche (jeweils drei Variationen in den sechs Kategorien: Verbrenner, Hupe, Brummen, Sirene, Pfeifen und „Weißes Rauschen“²). Den Probanden wird das Geräusch vor einem Bildschirm sitzend vorgespielt, während ein Video eines fahrenden Hybridfahrzeugs abgespielt wird. Die Probanden präferierten das Geräusch des Verbrennungsmotors. Dieses sollte einem elektrifizierten Fahrzeug hinzugefügt werden. Gefolgt wird dieses Zielgeräusch von Weißem Rauschen und dem brummenden Geräusch.

Genuit (2010) fordert vor allem eine passende Gestaltung der Antriebsakustik. Die akustische Rückmeldung des Fahrzeugs muss einen nachvollziehbaren Zusammenhang zwischen der akustischen Reaktion und dem jeweiligen Fahrzeugkonzept aufweisen. Außerdem soll eine Situationsabhängigkeit vom aktuellen Betriebszustand des Fahrzeugs und der Geräuschentwicklung des Antriebs bestehen.

Genuit und Fiebig (2010) weisen darauf hin, dass Sounddesign im automobilen Kontext nicht nur zur Verminderung von Störgeräuschen verwendet werden sollte. Vielmehr trägt die Gestaltung von Geräuschen maßgeblich zur Kundenzufriedenheit bei. Dabei weisen sie auf die komplexe, multi-sensorische Wahrnehmung hin, die es zu betrachten gilt. In Kombination mit verschiedenen Kontexten und Versuchssituationen zeigt sich, dass sich die Beurteilungen von fast identischen Stimuli stark unterscheiden können.

² Als „Weißes Rauschen“ wird ein Geräusch bezeichnet, das durch Überlagerung vieler harmonischer Schwingungen mit unterschiedlicher Frequenz und Amplitude entsteht, ein konstantes Leistungsdichtespektrum aufweist und stark auf hohe Frequenzen fokussiert ist. Weitere Informationen dazu finden sich z.B. in Kallianpur und Karandikar (1988).

Genuit und Fiebig (2011) gehen von drei Zielgeräuschszenarien für Elektrofahrzeuge aus. Das Szenario „Authentizität“, bei dem die typischen Geräusche des Elektromotors erhalten bleiben, das Szenario „Erfüllung gewohnter Erwartungen“ bei dem ein Innengeräusch ähnlich dem Sound eines Verbrennungsmotors klingen soll und das Szenario „Neue Kompositionen“, bei dem neue, zum Elektrofahrzeug passende, Sounds kreiert werden sollen.

Lennström, Ågren und Nykänen (2011) evaluieren in einer Probandenstudie drei mögliche Versuchsumgebungen bei Geräusch-, Vibrations- und akustische Härteuntersuchungen. 22 Volvo-Mitarbeiter bewerten anhand von acht semantischen Differenzialen die subjektive Qualität des Sounds. Dabei zielen sechs direkt auf den Sound ab (ruhig – laut, kultiviert – rau, mühelos – angestrengt, kraftvoll – schwach, sportlich – zurückhaltend, aggressiv – gedämpft). Die beiden anderen Paare sind: angenehm – störend und gedämpft – scharf. Die allgemeine Zufriedenheit wird auf einer zehnstufigen Skala bewertet. Die drei Versuchsbedingungen sind: Playback im Hörraum mit Kopfhörern; Playback mit Kopfhörern in einem Demonstrationsfahrzeug und Mitfahrt in einem Elektrofahrzeug auf einer Teststrecke. Evaluiert werden fünf verschiedene Soundszenarien in einem Volvo C30 Elektrofahrzeug. Die Studie zeigt, dass keine signifikanten Unterschiede in der Bewertung der Soundinszenierungen in den drei Testbedingungen auftraten. Eine hohe Lautstärke bei hohen Frequenzen der dargebotenen Sounds und eine Verringerung der Lautstärke von mittleren Frequenzen führen zu hohen Wertungen der Tonschärfe, Aggressivität und Stärke – führen allerdings auch zu einer negativen Bewertung aufgrund von Verdross. Eine Verminderung der mittleren und hohen Frequenzen führen zu einer hohen Gesamtzufriedenheit.

Steffens, Küppers und Skoda (2011) und Fallstudie 2 in Steffens, Schulte-Fortkamp und Becker-Schweitzer (2012) untersuchen die Zielgeräuschkentwicklung von Elektrofahrzeugen. Dabei werden Versuche im Labor mittels Einsatz von Kopfhörern und im Fahrsimulator durchgeführt. Im Labor wird den Probanden das Video eines Beschleunigungsmanövers aus Fahrerperspektive vorgespielt. Dabei wird die Konfiguration, bei der nur Wind- und Abrollgeräusche zu hören waren, jedoch kein Motorgeräusch vorhanden war, am besten bewertet. Im Simulator bei eigener Steuerung des Fahrzeugs zeigt sich ein anderes Bild. Hier führt die alleinige Darbietung von Wind- und Abrollgeräuschen zur Abwertung gegenüber der Konfiguration mit hörbarem Motorgeräusch. Beim Selbst-Fahren liegt eine erhöhte Aufmerksamkeit auf dem Fahrgeräusch, da dieses als eine wichtige Rückmeldfunktion von den Probanden benannt wird.

Frank, Sontacchi, Brandl und Höldrich (2014) schlagen aus Gründen der Gewohnheit vor, Antriebsgeräusche von Verbrennerfahrzeugen leicht zu erweitern und abstrahieren und diese im Elektrofahrzeug als Innenraumgeräusch zu verwenden. Über die für einzelne Fahrzeughersteller typischen Antriebsgeräuschwelten könne die Markentradition so in elektrifizierte Fahrzeuge transportiert werden.

Kerkmann, Schulte-Fortkamp, Fiebig und Genuit (2014) und Genuit und Fiebig (2014) untersuchen in einer Fahrzeugstudie mit Elektrofahrzeugen vier Soundbedingungen (Verbrenner, modern, unauffällig, kein Sound). Dabei wird im Realversuch eine Fahrt für

circa 20-25min auf einer definierten Strecke ohne Manörovorgabe durchgeführt. Am Versuch haben zehn Personen teilgenommen. Während der Fahrt wird die Methode des lauten Denkens zur Äußerung von Assoziationen, Emotionen und Gedanken eingesetzt. Nach der Fahrt finden Interviews statt und eine Bewertung der vier Sounds wird vorgenommen. Die „unauffällige“ Ausprägung wird von den Probanden am besten bewertet. Es werden sowohl eine enge Kopplung des verwendeten Sounds an die abgerufene Last des Fahrzeugs, als auch der Einsatz eines unauffälligen Sounds empfohlen.

3.1.4. Zu Wahrnehmung und Erleben von Längsdynamik im Zusammenhang mit der Antriebsakustik

Skoda, Steffens und Becker-Schweitzer (2012) beschäftigen sich mit der subjektiven Bewertung von Beschleunigung unter dem Einfluss von Fahrzeuginnen-geräuschen in zwei verschiedenen Fahrsimulatoren. Der Versuch wird in einem statischen und einem dynamischen Fahrsimulator durchgeführt. Die 52 am Versuch teilnehmenden Probanden wurden zu gleichen Teilen auf einen der Simulatoren verteilt. Im ersten der beiden Versuchsteile steuern die Teilnehmer das Fahrzeug selbst. Die Probanden hatten die Aufgabe, einem Führungsfahrzeug zu folgen und dessen Manöver zu imitieren. Je zwei Teillast- und Vollastmanöver wurden bei fünf Soundbedingungen untersucht. Im zweiten Versuchsteil bleiben die Probanden passiv auf dem Fahrersitz sitzen, wobei ihnen zehn Fahrscenarien mit unterschiedlichen Modifikationen der Fahrgeräusche präsentiert wurden. Nach den jeweiligen Szenarien bewerten die Versuchspersonen das Fahrgeräusch und die Beschleunigung anhand eines siebenstufigen semantischen Differenzials und werden befragt. Im Interview zeigt sich ein Zusammenhang zwischen lautem Fahrgeräusch und starkem Beschleunigungseindruck. Im zweiten Versuchsteil zeigt sich, dass weder eine Bassanhebung noch eine Lautstärkenanhebung einen Einfluss auf die Bewertung der Beschleunigungsstärke haben. Außerdem wird eine signifikante Korrelation zwischen den Bewertungsgrößen „Sportlichkeit des Fahrzeugs“ und „Angenehmheit“ gefunden.

Müller (2015) untersucht in einem seiner Versuche unter anderem den Einfluss des Motorgeräuschs bei überschwelligem Beschleunigungsvariationen. An diesem Versuch nehmen 21 Personen teil. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein daran anschließender durchgeführter Versuchsteil mit den gleichen Probanden vorgestellt und diskutiert. Dieser betrachtet die Auswirkung der längsdynamischen Variationen auf das emotionale Erleben in Kapitel 6 ab Seite 99. Dabei wird nur einer der beiden Soundvariationen – nämlich der mit professionellem Gehörschutz – untersucht, um dem Verhalten eines Elektrofahrzeuges möglichst nah zu kommen. Müller (2015) diskutiert die beiden Versuchsteile im Vergleich. Dabei wird der Einfluss des Motorgeräuschs mithilfe von Ergebnissen des abgefragten Gefallens-Aspekts diskutiert. Es zeigt sich, dass mehrheitlich ein präsenter Motorsound für dynamisches Fahren gewünscht wird. Ist das dynamische Motorgeräusch jedoch auch bei Beschleunigungsvorgängen präsent, bei dem der Motor applikativ stark gedrosselt wird, entsteht eine Diskrepanz zwischen Erwartung und Erleben des Motorsounds, welches zur Abwertung des subjektiven Gefallens führt. Dieses Verhalten wird laut Müller (2015) auch in Genuit (2010) beschrieben. So wünscht

sich der Fahrer bei Beschleunigung des Fahrzeugs ein akustisches Feedback, welches passend zum Beschleunigungseindruck gestaltet sein muss.

3.2. Abgrenzung, Ableitung des Forschungsbedarfs und Forschungsfragen

Die vorgestellten Literaturquellen zum allgemeinen Fahrerleben geben häufig Fahrkomfort und Fahrspaß, Entspannung und Anregung und weitere Erlebensdimensionen wie zum Beispiel Gefallen, Rückmeldung, Kontrolle oder Stimulation an. Die Ergebnisse werden mit unterschiedlichen Methoden durch Versuchsfahrten im Simulator, auf Teststrecken, manchmal auch im realen Straßenverkehr und durch Interviews erzielt. Dabei bleiben die Studien meist auf positive Fahrerlebnisse beschränkt. Insgesamt bleibt festzuhalten, dass es kein einheitliches Bild sowie viele unterschiedliche Herangehensweisen zur Ermittlung des emotionalen Erlebens gibt. Dementsprechend heterogen sind die Ergebnisse. Es empfiehlt sich deswegen in übergeordneter Form – das heißt nicht nur auf Fahrzeuge beschränkt – nach allgemeinen Erlebnisstrukturen zu suchen. Dadurch kann abgeleitet werden, wie Fahrerlebnisse im Kontext anderer Erlebnissituationen erlebt werden. Als weitere Erlebnissituationen für den Vergleich bieten sich alle möglichen Erlebnisse aus Freizeit, Sport und Gesellschaft an, die sich anhand der eingangs gewählten Kriterien Dynamik und Akustik unterscheiden. Diese Betrachtung erweitert den Blick nochmals und zeigt, ob auch hier ähnliche Erlebniskategorien wie die beim Autofahren gefunden werden.

Einige der vorliegenden Arbeiten stützen sich teilweise auf psychologische Konzepte und Theorien, häufig wird jedoch nur eine allgemein gehaltene Kategorie „Gefallen“ oder eine Präferenz im Vergleich zu anderen Konzepten erhoben. Eine grundlegende emotionspsychologische Auseinandersetzung fehlt häufig. Um mehr über das Erleben des Fahrers während der Fahrt und in bestimmten Fahrsituationen zu erfahren, sollten geeignete Methoden, zum Beispiel eine Untersuchung von Valenz und Anregung durchgeführt werden. Diese Untersuchung wird nur in einer Studie von Tischler (2013) anhand des SAM-Fragebogens durchgeführt. Eine eingehende Diskussion der Ergebnisse anhand einer kognitiven Emotionstheorie fehlt ebenfalls. Diese Diskussion kann jedoch einige der unklaren Ergebnisse erklären, wie zum Beispiel, warum gleiche Fahrsituationen oder Beschleunigungen sowie Motorsounds von verschiedenen Probanden und in verschiedenen Fahrzeugen situationsbezogen grundlegend anders erlebt und evaluiert werden. Darüber hinaus erheben die meisten aufgelisteten Arbeiten das Erleben der Fahrzeuge aus der Erinnerung der Probanden. Eine Erhebung des momentanen, sozusagen „frischen“ Erlebens der Probanden findet nur selten statt. Kahneman (2011) weist jedoch darauf hin, dass Unterschiede zwischen dem momentanen Erleben und der Erinnerung an das Erlebte bestehen. Wenn das momentane Erleben mit erhoben wird, kann dieses anhand der gerade im Fahrzeug vorherrschenden physikalischen und psychophysischen Bedingungen abgeglichen werden. Im zweiten Schritt können in nachgelagerten Interviews die Kognitionen der Probanden, im Speziellen deren Erwartungen erfragt und evaluiert werden.

Bei der Betrachtung von Arbeiten zum Längsdynamikerleben zeigt sich, dass ein Zusammenhang zwischen Motorgeräusch und Beschleunigung teilweise diskutiert wird und häufig eine Leistungsreserve sowie direktes Ansprechen gefordert werden. Allerdings

fehlen detailliertere Betrachtungen zum Erleben von Beschleunigungen bei Elektrofahrzeugen. Die grundlegende Beschreibung zur Wahrnehmung von Längsbeschleunigungen im Vergleich zwischen aufgeladenen Ottomotoren und Elektroantrieben, siehe Kapitel 2.3.2 geben einen Hinweis darauf, dass Unterschiede im Erleben der beiden Antriebskonzepte bestehen können. Diese sollen untersucht werden. Außerdem liegt in den aufgeführten Arbeiten nur eine pauschale Angabe der technischen Daten der verwendeten Versuchsfahrzeuge vor. Auf konkrete in den Versuchen durchgeführte Manöver und den vorherrschenden physikalischen Größen, wird häufig nicht eingegangen. Eine Ausnahme stellt Müller (2015) dar. Somit stehen auch keine Messdaten von der im Fahrzeug herrschenden Beschleunigung während des Versuchs sowie anderer Randbedingungen in diskreten Manövern zur Verfügung. Eine detaillierte Betrachtung verschiedener typischer Fahrmanöver inklusive messtechnischer Erfassung der Beschleunigung, kann mit Hilfe der Erfassung des momentanen, emotionalen Erlebens jedoch ein wesentlich detaillierteres Bild zeichnen. Diskrete Variationen der Längsdynamik können mit Hilfe von applikativen Eingriffen am Motorsteuergerät von Versuchsfahrzeugen erfolgen. Die dadurch geschaffenen Beschleunigungsverläufe können abermals auf Emotion und Anregung hin untersucht werden.

Neuere Studien zur Antriebsakustik untersuchen grundlegend den „subjektiven Gefallen“ von verschiedenen Motorgeräuschen für Elektrofahrzeuge im Innenraum. Diese Untersuchungen finden jedoch häufig in realitätsfernen Versuchsumgebungen statt, wie zum Beispiel beim Betrachten von Videos, beim Fahren im Fahrsimulator oder dem Mitfahren als Beifahrer. Somit ist fraglich, ob die gefundenen Ergebnisse auf Fahrten im realen Straßenverkehr übertragen werden können. Es wird von Genuit und Fiebig (2011) auf drei verschiedene Zielgeräuschkategorien hingewiesen; ein klares Bild, welches Szenario favorisiert wird, zeigt sich jedoch in Zusammenschau der Ergebnisse aufgrund der großen Heterogenität nicht. Auch hier muss ein breiteres Verständnis darüber entstehen, ob und welche Zielgeräusche im Innenraum eines Elektrofahrzeuges von Probanden positiv erlebt werden.

Der Forschungsbedarf lässt sich, wie folgt, zusammenfassen und wird in Abbildung 3-4 einschließlich der Forschungsfragen visualisiert: Ein Vergleich zwischen typischen Freizeit- und Fahrzeugerlebnissen soll Rückschlüsse darüber geben, in welchen allgemeinen Kategorien emotionales Erleben stattfindet und was besonders prägnante Erlebnisse im Kontext von Freizeit und Fahrzeug sind. Die gefundenen Kategorien sollen dann als Eingangsgröße für die weiteren Versuche am Realfahrzeug dienen. Diese Versuche sollen im Straßenverkehr durchgeführt werden und bestimmte Manöver beinhalten. Besonders relevante Manöver werden im Vorfeld messtechnisch hinsichtlich der auftretenden Längsdynamik erfasst und sollen direkt nach Erleben der Situation emotional anhand Valenz und Anregung bewertet werden. Durch das Erfragen von Erwartungen und vorangegangener Erlebnisse können die gefundenen Ergebnisse interpretiert und diskutiert werden. Somit wird es möglich, Gestaltungsempfehlungen für elektrifizierte Fahrzeugantriebe zu geben. In einem geeigneten Versuch sollen Elektro- und Ottoantriebe vergleichend untersucht werden. So zeigt sich, wie die unterschiedlichen Antriebskonzepte erlebt werden und wo Stärken und Schwächen liegen. Die beim Ottoantrieb gefundenen Stärken sollen dann, wenn möglich, auf den Elektroantrieb

übertragen werden und weiter am Elektrofahrzeug untersucht werden. In einem weiteren Versuch sollen die gefundenen Wirkmechanismen evaluiert und auf eine Kopplung mit einer bestimmten Intention der Fahrer hin untersucht werden. Alle Studien dieser Arbeit legen den Schwerpunkt auf auditive und vestibuläre Wahrnehmungsgrößen. Die Ergebnisse aller Studien sollen anhand der gewählten kognitiven Emotionstheorie nach Plutchik (1980) diskutiert werden.

Folgende Forschungsfragen sollen beantwortet werden:

1. Lässt sich im Vergleich von Fahrzeug- und Freizeiterlebnissen eine gemeinsame Erlebnisstruktur ableiten, die auf die Beteiligung eines allgemein gültigen Bewertungssystems von Erlebnissen schließen lässt?
2. Welche Höhe an Emotionen und Anregung lösen typische Antriebe konventioneller und elektrifizierter Fahrzeugen bei Probanden aus in Bezug auf deren längsdynamische und antriebsakustische Spezifikation?
3. Welchen Einfluss haben längsdynamische Änderungen auf das emotionale Erleben der Fahrer von Elektrofahrzeugen?
4. Wie wirkt sich ein künstlich generierter Motorsound auf das emotionale Erleben während der Beschleunigung eines Elektrofahrzeugs aus?
5. Wie beeinflussen die gefundenen Wirkketten bei Fahrten mit einer bestimmten Intention das Fahrerleben?
6. Welche der verwendeten Methoden eignen sich besonders gut zur Untersuchung des Erlebens während der Fahrt?

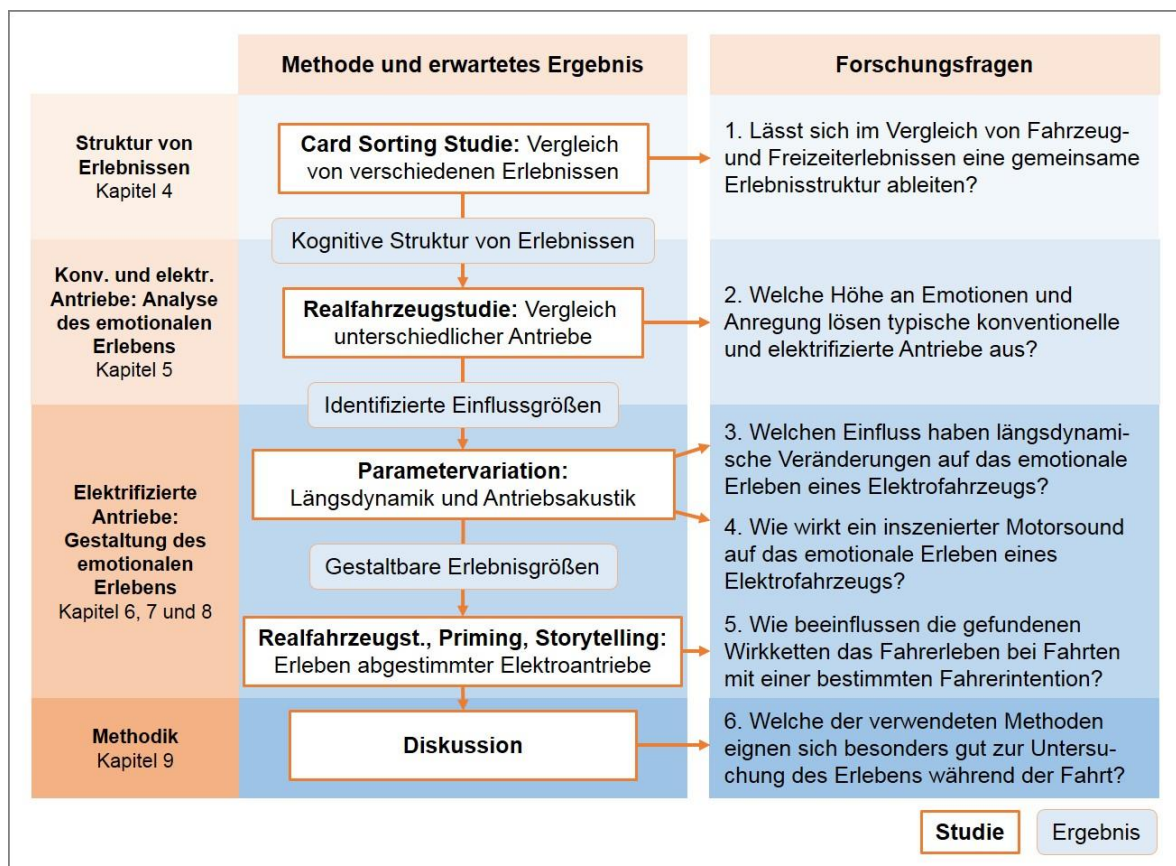


Abbildung 3-4: Zuordnung von Forschungsfragen zu den einzelnen Kapiteln der Arbeit

4. Vergleich von Fahrerlebnissen mit Freizeiterlebnissen

Die Ausführungen zum Stand der Technik haben gezeigt, dass das Fahren von Straßenfahrzeugen in bestimmten Kategorien und Beschreibungsdimensionen erlebt wird. Dabei werden jedoch keine Vergleiche zwischen Freizeit- und Fahrerlebnissen angestellt. Ein solcher Vergleich soll in diesem Kapitel anhand eines Card-Sorting Versuchs durchgeführt werden. Die verwendete Methode eignet sich besonders gut für die Beantwortung der Fragestellung, da die explorative Vorgehensweise die Probanden bei der Findung von Strukturen und mentalen Kategorien unterstützt. Dabei werden die zu untersuchenden Erlebnisse so ausgewählt, dass sie sich anhand ihrer zugrundeliegenden Dynamik und ihrer akustischen Komponente unterscheiden. Mit der Dynamik des Erlebnisses ist das erwartete Aktivierungspotenzial des Erlebenden gemeint, welches alle möglichen positiven wie negativen und hohe wie niedrige Werte annehmen kann. In anderen emotionspsychologischen Untersuchungen wird das emotionale Erleben häufig mit der Experience Sampling Methode untersucht, wie zum Beispiel bei Schallberger (2005), Schallberger (2000) und Rheinberg, Manig, Kliegl, Engeser und Vollmeyer (2007). Diese Technik befragt die Probanden mit unterschiedlichen Methoden, wie beispielsweise dem PANAS, zu unterschiedlichen Zeiten des Erlebens nach deren momentanen Befinden. Mit Hilfe der Card-Sorting Methode erinnert sich der Proband im Rahmen des Versuchs an die verschiedenen, abgefragten Erlebnissituationen oder antizipiert diese, falls er sie noch nicht erlebt hat.

4.1. Forschungsfragen

Das Ziel des Versuchs ist, einen Erlebnisraum aufzuspannen, der zeigt, wie Fahrzeug- und Freizeiterlebnisse im Kontext erlebt werden. Aufgrund des explorativen Charakters der Studie werden keine Hypothesen aufgestellt, sondern es sollen folgende Forschungsfragen beantwortet werden.

1. Nach welchen mentalen Mustern sortieren Probanden Erlebnisse, die sich anhand ihrer Dynamik und ihrer akustischen Komponente unterscheiden?
2. Welche Gemeinsamkeiten und welche Unterschiede stellen sich im interindividuellen Erleben von Freizeit- und Fahrerlebnissen ein?

4.2. Methodik

Nachfolgend wird die beim Versuch verwendete Methodik beschrieben, um die gestellten Forschungsfragen beantworten zu können. Es wird die Sortiermethode vorgestellt und die Datenerhebung erläutert.

4.2.1. Card-Sorting Methode

Im Rahmen der Studie werden mittels einer Card-Sorting-Aufgabe nach Miller (1969) Ähnlichkeitsurteile zwischen Freizeit-Erlebnissen und fahrzeugspezifischen Erlebnissen, die auf kleinen Karten abgebildet sind, explorativ erhoben; weitere Information zu neueren Card-Sorting-Methoden finden sich beispielsweise in Harloff (2005) sowie Hinkle (2008).

Jede Karte besteht aus einer Überschrift, die das Erlebnis kurz und prägnant charakterisiert und ein bis zwei passenden Bildern. 54 Erlebnis-Karten bilden Erlebnisse aus allgemeinen, sportlichen, gesellschaftlichen, kulturellen oder künstlerischen Freizeitaktivitäten ab. Die restlichen 24 Karten repräsentieren Erlebnisse, die im Fahrzeugkontext zu finden sind. Die Auswahl der Erlebnisse sowie der entsprechenden Überschriften wurde durch Befragung von Experten der BMW AG und der Technischen Universität München erhoben. Einige beispielhafte Erlebniskarten zeigt die Abbildung 4-1. Die einzelnen abgebildeten Erlebnisse unterscheiden sich stark in der damit assoziierbaren Dynamik und somit dem möglichen Aktivierungsniveau des Erlebenden. Des Weiteren unterscheiden sich die Erlebnisse aber auch prägnant in der akustischen Komponente des Erlebten. Dabei wurde nicht auf eine umfassende Sammlung aller möglichen Erlebnisse geachtet, sondern versucht, holistisch ein Überblick zu geben. Eine Auflistung über die Erlebnisse findet sich im Anhang in Kapitel 10.1: Weitere Daten und Ergebnisse der Versuche ab Seite 161.

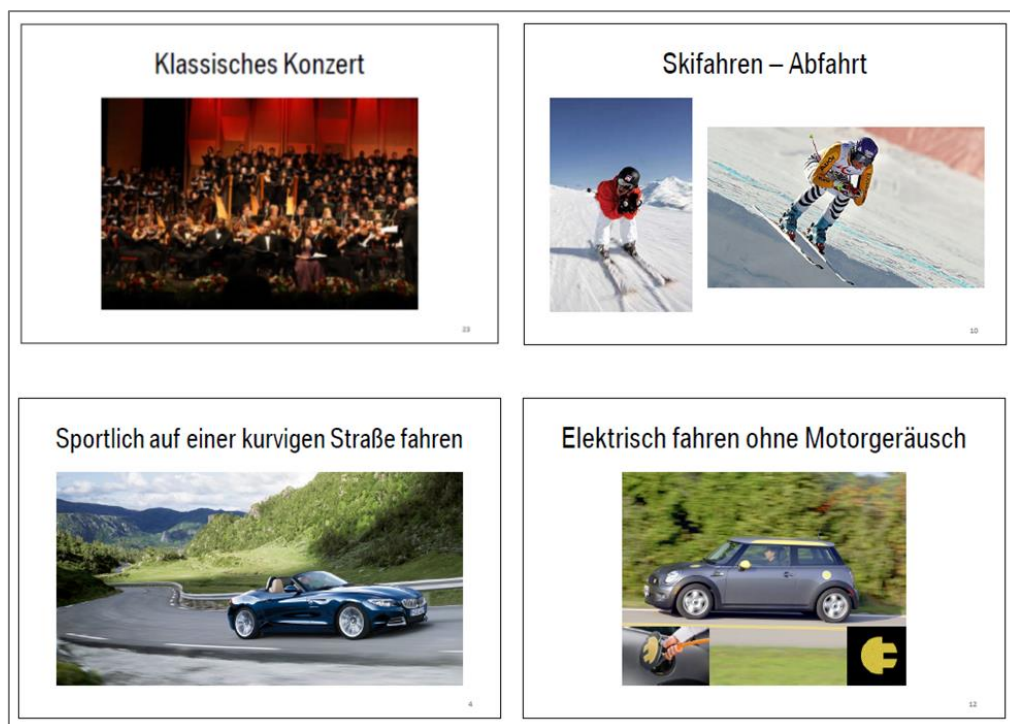


Abbildung 4-1: Beispiele zu den Erlebniskarten

4.2.2. Verwendete Sortiermethode

Die Versuchsteilnehmer werden aufgefordert, die 78 Erlebnis-Karten in vier bis zehn Stapel zu sortieren. Dabei sollen Kategorien gefunden werden, die von den Probanden als subjektiv logisch und stimmig beurteilt werden. Die Versuchspersonen dürfen frei Stapel bilden, allerdings wurde davon abgeraten triviale Stapel (zum Beispiel alle Wintersporterlebnisse in einen Stapel) oder persönliche Präferenzen (zum Beispiel „meine Lieblingserlebnisse“) zu kategorisieren. Eine Bedingung war, dass in jeder Kategorie mindestens ein allgemeines Erlebnis und ebenfalls mindestens ein Fahrzeug-Erlebnis vertreten sein müssen, so dass direkte Vergleiche zwischen beiden Arten von Erlebnissen ermöglicht werden. Keine Karte durfte ausgelassen werden, was bedeutet, dass ein Stapel „Sonstiges“ ohne weitere übergeordnete Ähnlichkeiten zwischen den Erlebnissen unzulässig war.

4.2.3. Charakterisierung und Untersuchung der einzelnen Stapel

Jeder der in der Card-Sorting-Aufgabe gebildeten Stapel musste von den Probanden anschließend benannt und stichpunktartig beschrieben werden. Anhand eines teilstrukturierten Interviews wurde erfragt: Welche Ähnlichkeiten sind unter den Erlebnissen in der jeweiligen Kategorie vorhanden? Welche Bedingungen gewährleisteten ein positives Erleben in den jeweiligen Situationen? Welche Umstände könnten es gefährden? Die einzelnen, individuell sortierten Stapel werden durch weitere Daten über die Beweggründe für die zustande gekommene Aufteilung ergänzt. Hierfür werden die von den Probanden gebildeten Kategorien mittels einer gekürzten Bedürfnisskala nach Diefenbach und Hassenzahl (2011) untersucht. Besonders relevante Erlebnisse der einzelnen Stapel werden mittels der PANAS Skala von Watson et al. (1988) genauer untersucht. Zur Verwendung kam die deutsche Übersetzung von Krohne et al. (1996). Mit Hilfe der PANAS Skala wurden bis zu drei Erlebnisse jedes Stapels bewertet. Diese waren: (1) das Freizeiterlebnis, das dem Probanden am besten gefällt; (2) das Fahrzeugerlebnis, das dem zuvor ausgewähltem „Lieblings“-Freizeiterlebnis am ähnlichsten ist; (3) das Fahrzeugerlebnis³, das dem Versuchsteilnehmer am besten gefällt. Zur Generierung weiterer Daten und der Unterstützung der Interpretation der Stapel wurden die Probanden ermutigt, während des Sortierens die Methode des lauten Denkens, siehe Sandmann (2014), anzuwenden.

4.2.4. Untersuchung der Stapel durch eine Multidimensionale Skalierung

Gesamthaft wurden die in den Stapeln aller Probanden vorhandenen Ähnlichkeitsurteile statistisch mit einer Multidimensionalen Skalierung (MDS) weiter untersucht. Theoretische Grundlagen zur verwendeten Methode finden sich beispielsweise in Backhaus (2011), Kockläuner (2000) oder Borg, Groenen und Mair (2010). Jeder der sortierten Stapel enthält implizite Ähnlichkeits- und somit auch Unähnlichkeitsurteile hinsichtlich der Gesamtzahl der Erlebnis-Karten. Ausgehend von den 78 untersuchten Erlebnissen ergeben sich 3003 mögliche Sortierungs-Kombinationen. Dabei wird davon ausgegangen, dass je häufiger

³ Es besteht die Möglichkeit, dass die ausgewählten Erlebnisse (2) und (3) identisch sind und somit der PANAS Fragebogen nur einmal ausgefüllt wurde. Ebenso wird der Fragebogen nur einmal durchlaufen, wenn sich im Stapel nur *ein* Fahrzeugerlebnis befindet.

zwei Erlebnisse in einen Stapel sortiert werden, desto ähnlicher sich diese Erlebnisse sind. Jede Kombination eines Probanden innerhalb eines gebildeten Stapels erhält den Ähnlichkeitswert „1“. Über alle Versuchspersonen hinweg wurden diese Ähnlichkeitswerte aufsummiert. Der höchste erreichbare Ähnlichkeitswert zweier Erlebnisse ist somit gleich der Zahl der am Versuch teilnehmenden Probanden, nämlich „30“. Zwei Erlebniskarten, die niemals gemeinsam sortiert werden, erhalten einen Ähnlichkeitswert von „0“.

Mithilfe der MDS wurden die Ähnlichkeitsurteile in einem subjektiven Wahrnehmungsraum, einer sogenannten kognitiven Landkarte ausgegeben. Die einzelnen Elemente werden entsprechend ihrer Ähnlichkeitswerte so positioniert, dass ähnliche Objekte nahe beieinander und unähnliche weit voneinander entfernt liegen. Die Gesamtheit der Elemente im Wahrnehmungsraum samt der relativen Lage der Elemente zueinander wird Konfiguration genannt. Die mittels der MDS erhaltene Konfiguration wird in einem zweiten Schritt deskriptiv mit Hilfe einer hierarchischen Clusteranalyse untersucht. Statistische Grundlagen dazu finden sich zum Beispiel bei Bortz und Schuster (2010) oder Kockläuner (2000). Ausgehend von den Punktelagen in der MDS-Konfiguration werden die Objekte schrittweise zu Clustern, gemäß ihrer Nähe zueinander, zusammengefasst. Die Anzahl der möglichen Cluster ist dabei nicht vorgegeben. Die Clusteranalyse wird nach der Ward-Methode durchgeführt. Als Distanz-Maß wird die quadrierte euklidische Distanz gewählt, sowie die Clusterzahl anhand eines Dendrogramms und eines Scree-Tests bestimmt. Die Benennung der einzelnen Cluster erfolgt durch Abgleich mit den Ergebnissen der qualitativen Datenerhebung. Hierfür werden die Stapelüberschriften und die Beschreibungen von Stapeln herangezogen, die häufig Erlebnisse eines der Cluster beinhalten.

4.2.5. Bildung einer Rangreihenfolge aller Erlebnisse

Nach den Interviews zu den gebildeten Stapeln, folgt abschließend eine weitere Aufgabe: Die Probanden werden gebeten, eine Rangreihenfolge zu bilden und alle 78 Erlebnisse absteigend nach persönlicher Präferenz zu ordnen. Ein weiterer kurzer Fragebogen erfasst zum Abschluss demographische Daten wie Alter, Geschlecht und Beruf sowie eine subjektive Einschätzung der Probanden zum eigenen Fahrstil.

4.2.6. Probandenkollektiv

Am Versuch nahmen insgesamt 30 Personen (zwölf Frauen) teil. Der Altersdurchschnitt lag bei 42 Jahren, wobei die jüngste Person 27 Jahre und die älteste 64 Jahre alt waren. Die Gesamtstichprobe untergliedert sich in zwei Gruppen. Zehn getestete Probanden sind in der Antriebsentwicklung der BMW Group tätig und allesamt Ingenieure. Die übrigen zwanzig Probanden hatten keine beruflichen Berührungspunkte mit der Automobilindustrie. In dieser zweiten Gruppe besitzen alle Probanden einen Führerschein der Klasse B und waren mindestens 35 Jahre alt.

Die Versuchsdauer schwankte je nach Person und Anzahl der gebildeten Stapel zwischen 2 und 3,5 Stunden.

4.3. Ergebnisse

Bei der Besprechung der Ergebnisse wird nicht gesondert zwischen qualitativen und quantitativen Ergebnissen getrennt, sondern die quantitativen Ergebnisse anhand der qualitativen Daten erklärt und damit bekräftigt.

4.3.1. Ergebnisse der Multidimensionalen Skalierung

Wie oben beschrieben, wird anhand der ermittelten Ähnlichkeitswerte eine MDS-Konfiguration mithilfe der Software SPSS (IBM, 2012) berechnet und diese grafisch ausgegeben. Basis hierfür sind insgesamt 2899 Ähnlichkeitsurteile, die in den insgesamt 182 im Versuch gebildeten Stapeln aller Probanden enthalten sind. Zur Ermittlung der passenden Zahl an Dimensionen der kognitiven Landkarte wird gemäß Backhaus (2011) das normalisierte, unbearbeitete Stress-Maß, welches die Güte der Übereinstimmung zwischen den Objekten der ermittelten Konfiguration und den Ähnlichkeitsurteilen ausdrückt, herangezogen. Dieses ändert sich ab einer dreidimensionalen Lösung nur noch geringfügig gegenüber der zweidimensionalen Lösung. Dies bedeutet, dass eine zweidimensionale Darstellung der Ergebnisse fast ebenso genaue Ergebnisse zeigt, wie eine dreidimensionale. Somit wird eine zweidimensionale Lösung gewählt, da diese darüber hinaus leichter zu interpretieren ist, als eine dreidimensionale. Die Konfiguration ist der Abbildung 4-2 zu entnehmen.

Zur Beurteilung der Güte der Anpassung werden die Stress-I und Stress-II Maße berechnet. Diese liegen für die Gesamtstichprobe bei 0.245 und 0.568 für das Stress-I beziehungsweise Stress-II-Maß. Diese Werte erfüllen nicht die von Backhaus (2011) als ausreichend angegebenen Werte von 0.2 für Stress-I und 0.4 für Stress-II. Da diese Werte jedoch häufig nicht erreicht werden, gibt es eine weitere Empfehlung zur Einschätzung der Stress-Maße von Borg (2000). Es wird empfohlen, die Stress-Maße für eine Zufallsverteilung zu berechnen und diese mit den im Versuch errechneten Stress-Maßen zu vergleichen. Wenn die Differenz zwischen Zufallsverteilung und der Verteilung des Versuchs ausreichend hoch ist, handelt es sich nicht um eine Zufallsverteilung. Die Statistiksoftware SPSS gibt einen durch Zufallszahlen ermittelten Roh-Stress 0,337 für das Stress-I und 0,804 für das Stress-II Maß aus. Darüber hinaus liefert eine Monte-Carlo Simulation, die mit Excel (Microsoft, 2010) erzeugt wurde und zufällige Ähnlichkeitsurteile verwendet, weitere Werte. Die so ermittelten Stressmaße werden gemittelt. Dieser Stress ergab bei fünf Durchgängen einen Mittelwert von 0,391 (SD=0,004) für den Stress-I und 0,955 (SD=0,012) für den Stress-II Wert. Auch diese Werte der Zufallsverteilung liegen weit über den im Versuch ermittelten Stresswerten. Somit ist in Übereinstimmung mit den Ausführungen von Borg (2000) und Backhaus (2011) festzustellen, dass die im Versuch ermittelte Konfiguration nicht zufällig zustande gekommen ist, sondern als reliabel bezeichnet werden kann.

Die jeweiligen Koordinaten der Erlebnisse in der zweidimensionalen Konfiguration werden mithilfe einer hierarchischen Clusteranalyse weiter untersucht. Diese liefert insgesamt sieben unterschiedliche Cluster, wie sie Abbildung 4-2 schematisch zeigt. Die gestrichelten Linien in Abbildung 4-2 zeigen die übergeordnete Clusterstruktur. Nachfolgend werden die gefundenen Cluster im Uhrzeigersinn besprochen. Die Cluster

VERGLEICH VON FAHRZEUGERLEBNISSEN MIT FREIZEITERLEBNISSEN

werden jeweils mit Überschriften beschrieben. Diese leiten sich zum einen aus den Stapelbeschriftungen und -Beschreibungen von Kategorien der Probanden ab, die mit einer Vielzahl der im Cluster enthaltenen Erlebnisse übereinstimmen. Zum anderen ergeben sie sich implizit anhand der in den Clustern enthaltenen Erlebnisse. Die Größe der Cluster in der Abbildung spiegelt die relative Anzahl der darin enthaltenen Erlebnisse wider, sodass kleine Clusterflächen wenige Erlebnisse enthalten und große Clusterflächen viele Erlebnisse.

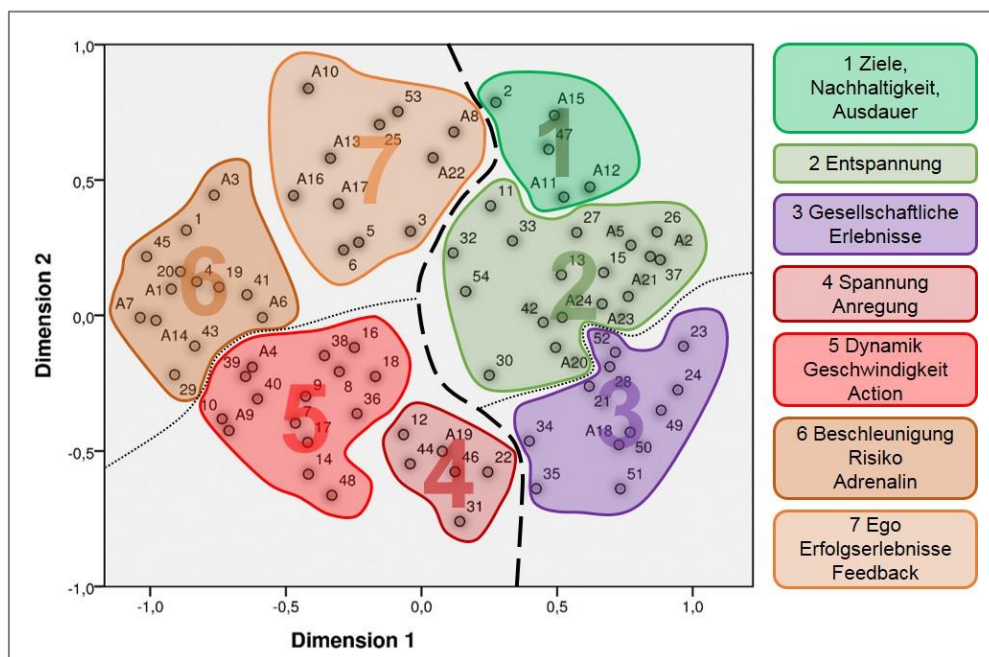


Abbildung 4-2: Schematische Darstellung der Ergebnisse der MDS-Modellierung der Gesamtstichprobe mit Clusterzugehörigkeit; (N=30); Clusterbenennung im Uhrzeigersinn, Abgrenzung der Clusterstruktur durch gestrichelte Linien

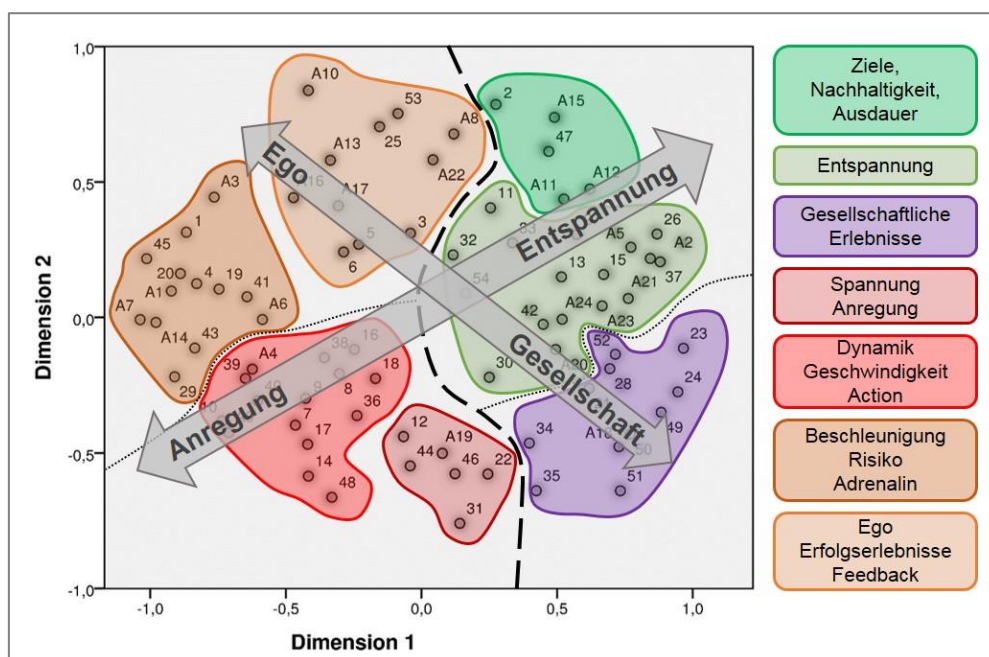


Abbildung 4-3: Ableitung der Erlebnisachsen „Aktivierung“ (Anregung ... Entspannung) und „menschliches Umfeld“ (Ego ... Gesellschaft) der MDS-Konfiguration; (N=30)

Das erste Cluster „**Ziele, Ausdauer, Nachhaltigkeit**“ beinhaltet fünf Erlebnisse. Darin sind die Erlebnisse „Elektrisch fahren“, „Reichweite sammeln“ und „Fliegen auf Reiseflughöhe“ enthalten. Das zweite Cluster „**Entspannung**“ beinhaltet siebzehn Erlebnisse wie zum Beispiel „Schnorcheln“, „Rudern“, „Entspanntes Fischen“, „Wandern“, aber auch Fahrerlebnisse wie „Auf der Autobahn dahingleiten“, „Nachts durch eine verkehrsleere Stadt fahren“, „Gute Musik im Fahrzeug hören“ und „Gefahren werden“. Das dritte Cluster umfasst elf „**Gesellschaftliche Erlebnisse**“ wie „Gutes Essen“, „Opernbesuch“, „Zoobesuch“, „Gesellschaftsspiele“ und das Fahrerlebnis „Fahrt in den Urlaub zu Freunden / Bekannten“. Das nächste Cluster „**Spannung, Anregung**“ beinhaltet sechs Erlebnisse wie zum Beispiel „Skiabfahrt“, „Einen spannenden Film im Kino ansehen“, „Zuschauer bei einer Sportveranstaltung sein“ und das Fahrerlebnis „Ein neues Auto Probe fahren“. Das Cluster „**Dynamik, Geschwindigkeit, Action**“ umfasst fünfzehn Erlebnisse; unter anderen „Windsurfen“, „Snowboard auf der Piste fahren“, „Einen Actionfilm im Kino ansehen“, „Wasserski“ aber zum Beispiel auch das Fahrerlebnis „hohe Geschwindigkeiten auf der Autobahn“. Das sechste Cluster „**Beschleunigung, Risiko, Adrenalin**“ beinhaltet dreizehn Erlebnisse darunter Freizeiterlebnisse wie „Downhill mit dem Mountainbike“, „Wasserrutsche“, „Bungee Jumping“, „Achterbahn fahren“, „Startendes Flugzeug“, „Fallschirmspringen“ und auch einige Fahrerlebnisse wie „Schnelles Hochdrehen des Motors“, „auf einer Autobahnauffahrt stark beschleunigen“ oder „Starkes Beschleunigen aus dem Stillstand“. Das letzte Cluster „**Ego, Erfolgserlebnisse, Feedback**“ beinhaltet elf Erlebnisse darunter „Fisch am Haken“, „Prüfung bestehen“, und Fahrerlebnisse wie „Sicheres Überholmanöver“, „Allradantrieb im Schnee“, „Direktes Ansprechen des Motors in der Stadt“ und „ESP-Eingriff“.

Anhand der Cluster und den darin enthaltenen Erlebnissen können zwei Achsen in der MDS-Konfiguration abgeleitet werden. Dies ist zum einen, ausgehend von Abbildung 4-2 von halblinks-oben nach rechts unten, die Achse „**menschliches Umfeld**“, siehe Abbildung 4-3. Im oberen Bereich der MDS-Konfiguration (ausgehend von der Abbildung) finden sich vermehrt Erlebnisse, die das „Ego“ in den Mittelpunkt rücken, wie beispielsweise das Bestehen einer Prüfung oder einen Fisch zu fangen. Darin enthalten sind jedoch auch Erlebnisse, bei denen man lieber niemanden in unmittelbarer Nähe um sich hat, wie bei einem „ESP-Eingriff“ in einer kritischen Situation. Rechtsunten befinden sich viele Erlebnisse, bei der die Gesellschaft mit anderen Personen im Mittelpunkt steht, wie zum Beispiel beim „guten Essen“ oder den „Gesellschaftsspielen“. Vertreten ist hier jedoch auch ein Fahrerlebnis, das meist in Gesellschaft erlebt werden will: die „Urlaubsfahrt“. Die zweite, klar ableitbare Achse betrifft die „**Aktivierung**“ der Probanden während des Erlebens. Diese Achse verläuft nahezu horizontal, bezogen auf die gezeigte Abbildung. Rechts im Bild sind viele gemütliche, entspannte und wenig dynamische Erlebnisse enthalten, wie zum Beispiel „Rudern“, „Wandern“ oder das „Dahingleiten auf einer Autobahn“. Je weiter man sich auf der kognitiven Landkarte von diesen Erlebnissen entfernt, desto dynamischer, aufregender und polarisierender wird erlebt. In diese Kategorien fallen Erlebnisse wie „Windsurfen“, „Actionfilme im Kino sehen“, „Vollgas im Tunnel“ oder „Starkes Beschleunigen aus dem Stillstand“. Dies geht bis zu Erlebnissen,

die von einigen Probanden schon als Grenzerfahrung bezeichnet werden, wie zum Beispiel „Fallschirmspringen“ oder „Bungee-Jumping“.

4.3.2. Ergebnisse der Rangreihenfolge

Die Rangreihenfolge behandelt die deskriptive Analyse der von den Probanden favorisierten Erlebnisse (Lieblingserlebnisse). In der Gesamtstichprobe ist der kleinste beobachtete Wert der Rangreihenfolge 15,28 und wird dem Erlebnis „durch schöne Landschaften fahren“ zugeordnet. Dieser Wert entsteht durch Mittelung aller Rangplätze des Erlebnisses und ist somit das Lieblingserlebnis der Gesamtstichprobe. In Tabelle 4-1 sind die sechs Erlebnisse mit größter und geringster Präferenz der einzelnen Gruppen aufgelistet.

Tabelle 4-1: Ergebnisse der Rangreihenfolge von Erlebnissen in allen drei Stichproben; Mittelwerte der Bewertung in Klammern.

Erlebnis-Rangreihenfolge nach Stichproben (SP)			
Rang	Gesamt-SP (N=30)	BMW-SP (N=10)	Externe SP (N=30)
1	Durch schöne Landschaften fahren (15,28)	Durch schöne Landschaften fahren (11,80)	Gutes Essen (11,11)
2	Gutes Essen (15,59)	Sportlich fahren (12,40)	Gehaltserhöhung (16,68)
3	Gehaltserhöhung (18,21)	Starkes Beschleunigen aus dem Stillstand (17,60)	Durch schöne Landschaften fahren (17,11)
4	Prüfung bestehen (18,72)	Gehaltserhöhung (21,10)	Prüfung bestehen (17,42)
5	Urlaubsfahrt (21,31)	Prüfung bestehen (21,20)	Urlaubsfahrt (19,79)
6	Sportlich fahren (24,83)	Mountainbiking (ebene Strecke) (22,80)	Schnorcheln (21,37)
⋮	⋮	⋮	⋮
73	Vollgas im Tunnel (53,41)	Opernbesuch (56,40)	Schnelles Hochdrehen und immer stärkere Beschleunigung (52,37)
74	Fischen: Fisch am Hacken (53,55)	Fischen: ruhig und entspannend (58,30)	Skitour Aufstieg (52,79)
75	Bungee-Jumping (53,62)	Klassisches Konzert (58,70)	Karaoke (55,79)
76	Sportmassenveranstaltung (53,66)	Golf spielen (60,40)	Sportmassenveranstaltung (99,32)
77	Golf spielen (53,79)	Fischen Fisch am Hacken (62,00)	Vollgas im Tunnel (61,63)
78	Karaoke (54,38)	Verkehrsflug in Reiseflughöhe (62,20)	Bungee-Jumping (63,11)

In der BMW-Stichprobe sind drei Fahrzeugerlebnisse in der Auflistung enthalten; in den ersten zehn sind sogar sechs Fahrzeugerlebnisse vertreten. Fünf dieser Erlebnisse

werden aktiv durch den Fahrer selbst hergestellt. Die Erlebnisse an Rang drei und vier „Sportlich Fahren“ und „Starkes Beschleunigen aus dem Stillstand“ beziehen sich direkt auf Antriebseigenschaften des Fahrzeugs, wohingegen sich die übrigen Erlebnisse in der Auflistung nur indirekt auf den Antrieb beziehen. Die beiden Erlebnisse „Sportlich fahren“ und „Starkes Beschleunigen aus dem Stillstand“ werden in der externen Stichprobe weniger stark priorisiert – sie sind auf den Plätzen 12 und 39 zu finden. Auf Seiten der externen Stichprobe finden sich nur zwei Fahrzeugerlebnisse unter den sechs Lieblingserlebnissen. Bei den beiden genannten Erlebnissen ist das Fahrzeug jedoch mehr als Mittel zum Zweck zu sehen – es dreht sich mehr um das Fahrziel (schöne Landschaft, beziehungsweise der Urlaubsort) als um das Fahrzeug an sich. Somit zeigt sich, dass in der BMW-Stichprobe Fahrzeugerlebnisse, die über den Antrieb hervorgerufen werden, stärker in den Lieblingserlebnissen vertreten sind. Diese Behauptung wurde statistisch durch eine einfaktorielle Varianzanalyse mit der Gruppenzugehörigkeit (BMW- vs. externe Stichprobe) als Faktor überprüft. Die Nicht-Fahrzeug Erlebnisse waren bei der externen Stichprobe beliebter, während bei der BMW-Stichprobe die Fahrzeug-Erlebnisse annähernd signifikant beliebter waren (beide mit $F(2,29) = 3,099$, $p = 0,06$). Die BMW-Stichprobe präferiert risikobehaftete und hoch anregende Erlebnisse wie „Bungee-Jumping“, „Mountainbiking“, „Wildwasserraften“, „Fallschirmspringen“, „Sportlich fahren“ und „Hohe Geschwindigkeit auf der Autobahn“ signifikant mehr, als die externe Stichprobe ($F(2,29) = 5,794$, $p < 0,05$); beide Gruppen unterscheiden sich jedoch nicht signifikant in ihrem Interesse für klassische Konzerte, Oper und Museen sowie für gesellschaftliche Erlebnisse (Karaoke, Gesellschaftsspiele und Urlaubsfahrten mit Familie oder Freunden; $F(2,29) = 2,879$ bzw. $F(2,29) < 1$). Eine zweite Varianzanalyse zeigte, dass das unterschiedliche Alter der Probanden keinen signifikanten Einfluss hat.

4.3.3. Ergebnisse der PANAS-Skalen

Über alle 182 Stapel, die von den 30 Probanden gebildet wurden, wurde jedes der 24 Fahrzeug-Erlebnisse mindestens zweimal mit den PANAS-Skalen bewertet. Dies bedeutet, dass für jedes Fahrzeug-Erlebnis PANAS Werte vorliegen, welche aggregierte Mittelwerte mehrerer Personen darstellen.

Nachfolgende Tabelle 4-2 zeigt die am häufigsten bewerteten Erlebnisse mit Nennung der Anzahl an Bewertungen (N), dem Wert der positiven Aktivierung (PA) und dem Wert der negativen Aktivierung (NA), der Rang in der Rangreihenfolge der Gesamtstichprobe (R_{gs}) und die beiden ähnlichsten Erlebnisse aus der Nicht-Fahrzeuggruppe mit Nennung der Anzahl der gemeinsamen Sortierungen in einen Stapel (N_1 , N_2).

Tabelle 4-2: Werte der PANAS-Skalen für Fahrzeugerlebnisse; Stichprobengröße = 30; farbliche Codierung gemäß besonders niedriger oder hoher Bewertungen

Fahrzeug-Erlebnis	N	PA	NA	R_{gs}	Ähnlichste allgemeine Erlebnisse	
					Rang 1 (N_1)	Rang 2 (N_2)
Sportlich auf einer kurvigen Straße fahren	20	3,85	1,38	6	Wasserski (18)	Ski-Carving (16)
Urlaubsfahrt mit Familie oder Freunden	18	3,53	1,16	5	Gesellschaftsspiele (19)	Zoobesuch (17)
Durch schöne Landschaften fahren (z.B. Cabrio im Sommer)	14	3,55	1,08	1	Schnorcheln (19)	Wandern (16)

VERGLEICH VON FAHRZEUGERLEBNISSEN MIT FREIZEITERLEBNISSEN

Neues Auto Probe fahren	10	3,52	1,27	14	Gehalts- erhöhung (15)	Prüfung bestehen (14)
Mit Allradantrieb sicher im Schnee unterwegs sein	9	3,46	1,18	32	Snowboard auf der Piste (13)	Ski auf der Piste (12)
ESP-DSC Eingriff in unvorher- sehbaren / kritischen Situationen	9	2,63	2,20	64	Reiseflughöhe (9)	Hubschrauber- flug (8)
Mitfahren / Gefahren werden und entspannen	8	2,41	1,11	38	Schnorcheln (12)	Gutes Essen (12)
Hohe Geschwindigkeit auf leerer Autobahn	8	3,40	1,39	20	Skifahren Abfahrt (14)	Ski-Carving (13)
bei niedrigen Drehzahlen mit viel Durchzugsvermögen beschleunigen	8	3,45	1,10	39	Skifahren auf der Piste (9)	Snowboard auf der Piste (9)
Mitfahren mit einem Fahrer, der das Fahrzeug in jeder Situation beherrscht	8	3,51	1,59	17	Snowboard auf der Piste (10)	Wildwasser- Raften (10)
Alleine Fahren	8	2,84	1,13	22	Schnorcheln (16)	Musik hören (15)
Im Fahrzeug gute Musik hören	8	3,36	1,07	8	Musik hören (16)	Gutes Essen (15)
Vollgas im Tunnel	7	3,26	1,83	73	Bungee Jumping (16)	Mountain Biking (15)
Elektrisch fahren ohne Motorgeräusch	7	2,82	1,09	54	Heißluftballon fliegen (12)	Skitour Aufstieg (11)

Die Ergebnisse geben einen Einblick in die mentalen Kategorien der Probanden. Das über die Gesamtstichprobe auf Platz eins gewählte Erlebnis „durch schöne Landschaften fahren“ weist eine sehr hohe PA und sehr niedrige NA auf. Die beiden anderen enthaltenen und positiv bewerteten Fahrzeugerlebnisse „sportlich auf kurviger Straße fahren“ und die „Urlaubsfahrt“ weisen ebenfalls hohe PA-Werte auf. Zwei der aufgelisteten Erlebnisse, die eine mittlere positive Aktivierung aufweisen, äußern sich ebenfalls in einer niedrigen negativen Aktivierung. Diese Konstellation wird mit Ruhe und Ausgeglichenheit in Verbindung gebracht, vergleiche Krohne und Hock (2007). Die Situation des „DSC-Eingriffs“ wird mit einer erhöhten negativen Aktivierung bewertet, was auch den niedrigen Rang in der Rangreihenfolge erklärt. Dieses Erlebnis wird mit einem Flug in „Reiseflughöhe“ oder einem „Hubschrauberflug“ in Verbindung gebracht – beides Erlebnisse, bei dem man sich auf das Funktionieren der Technik, beziehungsweise die Erfahrung des Piloten verlassen muss, da man nicht aktiv ins Geschehen eingreifen kann. Ein weiteres Erlebnis, das mit einem erhöhten NA-Wert einhergeht ist die „Vollgas im Tunnel“-Situation. Diese ist zwar mit einem hohen Maß an Anregung verbunden, was die ähnlichsten Nicht-Fahrzeugerlebnisse zeigen, allerdings wurde dieses Erlebnis aufgrund des unsozialen und angeberischen Charakters mehrheitlich abgelehnt und erreicht einen der letzten Plätze in der Präferenz der Probanden. Ein weiteres beliebtes Erlebnis, das auch auf Ruhe und Ausgeglichenheit aufgrund der sehr niedrigen NA-Werte zurückzuführen ist, ist das „Musikhören im Fahrzeug“. Dies wird mit „Musik hören“ und „gutem Essen“ in Verbindung gebracht, was den Gemeinschaftscharakter des Erlebnisses betont. Das „Erlebnis elektrisch ohne Motorgeräusch“ fahren ist mit mittlerem PA und niedrigen NA bewertet. Die Ähnlichkeit zum Heißluftballon fliegen und dem Aufstieg bei einer Skitour zeigen, dass Ruhe, „Verschliffenheit“ im Bewegungsablauf und eine gewisse Art von Ausdauer mit dem Erlebnis verbunden wird. Anzumerken ist jedoch, dass nur sehr wenige Probanden bereits vorher ein elektrisches Fahrzeug gefahren sind. Deswegen

wurden auch keine weiteren speziellen Erlebnisse aufgeführt, die mit dem elektrischen Fahren zusammenhängen.

Weiterführende Informationen zu den Ergebnissen aus den Kapiteln 4.3.1 - 4.3.3 finden sich in der unveröffentlichten Bachelorarbeit von Kristian Hristov (Hristov, 2012) und in Hajek, Franzl, Hristov und Rolshoven (2013).

4.3.4. Ergebnisse der Befragung zu den sortierten Stapeln

Aus insgesamt 182 Stapeln, die von allen 30 Probanden während des Versuchs gebildet wurden, lassen sich sechzehn inhaltlich abgrenzbare übergeordnete Kategorien induktiv ableiten. An dieser Stelle werden die wichtigsten Erlebniskategorien vorgestellt und kurz charakterisiert.

Mit insgesamt 28 Nennungen (entspricht 15,4% aller Stapel) ist die größte und eindeutigste Erlebniskategorie „**Nervenkitzel und Adrenalin**“. Die enthaltenen Erlebnisse stimmen größtenteils mit Situationen überein, in der ein „Kick“ körperlich spürbar ist. Mit diesen adrenalineladenden Erlebnissen gehen auch Risiko und Gefahr einher. Insofern wird diese Kategorie je nach persönlicher Präferenz individuell als eher positiv oder auch negativ beschrieben. Sie kommt dem oben beschriebenen Cluster „Beschleunigung, Risiko, Adrenalin“ am nächsten, vergleiche Abbildung 4-2 auf Seite 52.

Die zweite Erlebniskategorie kann mit „**Gemeinschaftserlebnisse**“ umschrieben werden. Diese Kategorie wird insgesamt siebzehnmals angeführt, was 9,3% der Gesamtstapel ausmacht. Der Schwerpunkt der Erlebnisse dieser Kategorie liegt auf dem gemeinsamen Erleben mit Familie oder Freunden, wobei teilweise das auf der Karte beschriebene Erlebnis eher als Mittler zum eigentlichen Erlebnis – der sozialen Gemeinschaft – empfunden wird. Dies zeigt sich beispielsweise beim „guten Essen“ oder der „Urlaubsfahrt“. Diese Erlebniskategorie findet sich im gleichnamigen Cluster „gemeinschaftliche Erlebnisse“, das im Rahmen der Clusteranalyse entstand, wider.

An Stelle drei wurde die Kategorie „**Spaß**“ mit fünfzehn Nennungen (8,3%) ermittelt. Die Erlebnisse dieser Kategorie bereiten den Probanden Freude und Spaß, unterscheiden sich aber von der Kategorie „Nervenkitzel und Adrenalin“ dadurch, dass sie weniger intensiv erlebt werden. Erlebnisse dieser Kategorie entstammen mehrheitlich den Clustern „Spannung, Anregung“ und „Dynamik, Geschwindigkeit, Action“.

Eine weitere große Erlebniskategorie kann mit „**Entspannung**“ beschrieben werden. Darin finden sich dreizehn Stapel (7,1%), die allesamt die Losgelöstheit vom Alltag und Stressfreiheit ausdrücken. So finden sich dort häufig die Erlebnisse „Wandern“, „Musik hören“ oder „entspanntes Mitfahren“ wider.

„**Dynamik und Action**“ beinhaltet Erlebnisse, die Bewegung, Kraft und Geschwindigkeit ausdrücken. Diese Kategorie wird insgesamt achtmal genannt (4,4%). Typische Vertreter dieser Erlebniskategorie sind „Rudern“, „Mountainbiking“ und „Wasserski fahren“ aber auch das „Fahren auf einer kurvigen Straße“. Die meistgenannten Erlebnisse dieser Kategorie befinden sich im Cluster „Dynamik, Geschwindigkeit und Action“.

Die Erlebniskategorie „**Erfolgs Erlebnis**“ wird ebenfalls achtmal genannt (4,4%). Enthaltene Erlebnisse stehen für eine Belohnung für erbrachte Anstrengungen oder

drücken Kompetenz aus wie zum Beispiel „Gehaltserhöhung“, „Bestehen einer Prüfung“, „Neues Auto Probefahren“, sowie ein „Souveränes Überholmanöver“. Diese Kategorie findet sich im gleichnamigen Cluster „Ego, Erfolgserlebnis, Feedback,“ wider.

Die letzte hier näher beschriebene Kategorie „**Natur erleben**“ wird achtmal (4,4%) genannt. Insbesondere eine natürliche Umgebung charakterisiert diese Kategorie, sei es beim „Wandern“ oder dem „Aufstieg bei einer Skitour“. Immer wieder betont werden auch der nachhaltige Charakter und die Ruhe, die erlebt werden. So verwundert es auch nicht, dass das Fahrerlebnis „Elektrisch fahren“ in dieser Kategorie häufig enthalten ist. Entsprechende Cluster der MDS-Karte sind: „Entspannung“ und „Ziele, Ausdauer, Nachhaltigkeit“.

Weiterführende Informationen zu den Ergebnissen aus Kapitel 4.3.4 finden sich in der unveröffentlichten Bachelorarbeit von Claire Rolshoven (Rolshoven, 2012) und in Hajek et al. (2013). Dort wird auch auf die im Versuch erhobenen psychologischen Bedürfnisse eingegangen, die im Rahmen dieser Arbeit nicht diskutiert werden.

4.4. Diskussion

Die Ergebnisse zu den einzelnen Erlebnissen lassen sich vor dem Hintergrund der Emotionstheorie nach Plutchik diskutieren. Es ist davon auszugehen, dass der sensorische Input der Probanden während der verschiedenen Erlebnissituationen sehr ähnlich ist. Dementsprechend kann von einer einheitlichen, physiologischen Wahrnehmung innerhalb der Erlebnissituationen ausgegangen werden. Maßgeblichen Einfluss auf die Bewertung des Erlebten haben dann jedoch das Kurz- und das Langzeitgedächtnis. Diese beiden Gedächtnissysteme bewerten die aktuelle Situation und entscheiden über das Entstehen von positiven oder negativen Emotionen und Erlebnissen. Wenn beispielsweise vorangehende Erlebnisse besonders negativ oder positiv im Gedächtnis gespeichert bleiben und mit einem sehr hohen oder niedrigen Aktivierungsniveau einhergehen, begünstigt dies die Präferenz für einen der Zustände in Apters Modell. Wenn eine starke Beschleunigung aus dem Stillstand als positiv wahrgenommen wird, weil man das erste Mal als Beifahrer eines professionellen und sicheren Fahrers diesen Zustand erlebt, ist die Wahrscheinlichkeit, dass diese Situation auch in Zukunft positiv erlebt wird, hoch. Hat man diese Situation jedoch so erlebt, dass der Fahrer kurze Zeit später die Kontrolle über das Fahrzeug verloren hat und es zu einem Schleudern kam, so wird diese Situation bei erneutem Erleben im Langzeitgedächtnis sehr wahrscheinlich als gefährlich eingeschätzt werden, was zu Angst und somit einem Negativerlebnis führt. Je nach der Fülle an vorangegangenen Erlebnissen, die im Langzeitgedächtnis gespeichert sind und den personenindividuellen Präferenzen zeigen sich Gruppen, die Erlebnisse aus manchen Clustern wie „Beschleunigung, Risiko, Adrenalin“ positiv erleben oder diese kategorisch ablehnen.

Ein weiteres Ergebnis ist, dass viele in der Rangreihenfolge weit vorne liegende Erlebnisse in der Bewertung der PANAS-Skalen nicht unbedingt mit besonders hohen Werten an positiver Aktivierung einhergehen. Vielmehr fällt auf, dass die negative Aktivierung in einigen dieser Erlebnisse besonders niedrig ausfällt. Beispielhaft können hier das

Durchfahren schöner Landschaften und das Musikhören im Fahrzeug genannt werden. Auch das rein elektrische Fahren wird mit sehr niedrigen Werten negativer Aktivierung in Verbindung gebracht, wobei darauf hingewiesen werden muss, dass die Mehrzahl der Probanden dies aus ihrer Vorstellung antizipiert, da nur wenige vorher mit einem Elektrofahrzeug gefahren sind. Damit ist als ein Gestaltungsziel abzuleiten: Es bedarf nicht unbedingt einer möglichst hohen positiven Aktivierung, damit freudig erlebt werden kann. Vielmehr ist bei wenig aktivierenden Erlebnissen darauf zu achten, dass Faktoren, die die negative Aktivierung erhöhen, möglichst gering gehalten werden. Solche Faktoren lassen sich aus den Interviews der Probanden dieses Versuches ablesen. Bezogen auf den Fahrzeugantrieb sind es eine gute Kontrollierbarkeit des Fahrzeugantriebs und eine ausreichende Beschleunigungsreserve. Bezogen und auf das Umfeld: gute Straßenverhältnisse und eine ruhige Verkehrslage.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich in dieser breit gefassten Erhebung eine Aktivierungsachse nachweisen lässt, welche von entspannten Erlebnissen hin zu anregenden Erlebnissen reicht. Dieses Ergebnis deckt sich grundlegend mit zwei im Rahmen der Literaturrecherche betrachteten Studien, die sich dem Fahrerleben allgemein widmen, und in Dick (2001) und Engelbrecht et al. (2009) aufgeführt sind. Auch hier wird mehrmals auf diese Achse, beziehungsweise auf sportlich-anregende und komfortabel-entspannte Erlebniskategorien hingewiesen. Die Aktivierungsachse deckt sich ebenfalls mit den Kernaussagen der Reversal Theorie von Apter (1989). Deswegen wird nicht davon ausgegangen, dass die Achse implizit aufgrund der Auswahl an Erlebnissen der Studie zustande gekommen ist. Der Vergleich zwischen den beiden Stichproben zeigt, dass die BMW-Stichprobe allgemein eher einen paratelschen Zustand sucht. Bei einigen Fahrzeug-Erlebnissen geht es den Probanden vor allem mehr darum, Spaß zu haben, als an die Umgebung zu denken, zum Beispiel beim starken Beschleunigen aus dem Stillstand oder dem Vollgas geben im Tunnel. Diese Erlebnisse sind bei der anderen Stichprobe teils wesentlich schlechter bewertet.

In dieser Arbeit wird die Aktivierungs-Achse weiter untersucht und das persönliche Erleben des Fahrers während der Fahrt in den Mittelpunkt gestellt. Die zweite Achse von Ego- zu Gemeinschaftserlebnissen wird in der Literatur weniger stark diskutiert, ist jedoch in dieser Studie klar erkennbar. In der Literatur finden sich weitere Arbeiten, die sich auf Gemeinschaftserlebnisse im automobilen Kontext fokussieren, wie zum Beispiel in Knobel (2013), Eckoldt und Schulz (2009), Loehmann, Knobel, Lamara und Butz (2013), Knobel et al. (2012), Knobel et al. (2013).

Der nächste Versuch vergleicht Elektrofahrzeuge und Verbrennerfahrzeuge mit dem Ziel, prototypische Erlebnisse der beiden Antriebskonzepte zu ermitteln. Dabei wird auf die Aktivierungsachse der Konfiguration eingegangen und es werden zwei durchschnittlich motorisierte Fahrzeuge, sowie zwei hochmotorisierte Fahrzeuge verglichen.

4.5. Schlussfolgerungen für die weiteren Versuche der Arbeit

Anhand der Ergebnisse des Card-Sorting Versuchs ergeben sich wichtige Schlussfolgerungen, die alle nachfolgenden Studien der Arbeit beeinflussen. Diese werden nachfolgend eingeführt und erläutert; sie beziehen sich auf die Fahrzeugauswahl und Fahrzeugspezifikation für die weiteren Versuche, die eingesetzten Methoden zur Emotionserfassung und das verwendete Emotionsmodell.

4.5.1. Folgerungen für die Fahrzeugauswahl

Die verwendeten Fahrzeuge sollen den Probanden die Möglichkeit bieten, anhand der gewählten Achse „Aktivierung“ eine ausreichend große Bandbreite an sensorischem Input wahrzunehmen. Dabei ist besonders darauf zu achten, dass ein Fahrzeug mit ausreichender Motorleistung und deutlich wahrnehmbarem Motorgeräusch verwendet wird, wenn eine hohe Aktivierung ausgelöst werden soll. Auf der anderen Seite ist bei Versuchsfahrzeugen, die wenig Aktivierung auslösen sollen auf eine weniger prägnante Akustik zu achten, um den sensorischen Input zu vermindern.

4.5.2. Folgerungen für die Fahrzeugspezifikation (Längsdynamik und Motorakustik)

Bei den beiden Versuchen, die entweder konventionelle und elektrische Antriebe vergleichen (Kapitel 5) oder unterschiedliche Fahrerintentionen untersuchen (Kapitel 8), ist im Bereich der **Längsdynamik** darauf zu achten, dass die Fahrzeuge ein vergleichbar hohes Maß an Beschleunigungsleistung bieten. Somit können Feinheiten der Fahrzeugspezifikationen in Bezug auf die Motorakustik und der Art und Weise wie die Beschleunigung – möglicherweise unterschiedlich – erlebt wird, herausgearbeitet werden.

Die im Rahmen der Versuche dieser Arbeit eingesetzten **Motorsounds** von konventionellen und Elektrofahrzeugen werden in nachfolgender Tabelle 4-3 anhand der in Kapitel 2.3.4 vorgestellten psychoakustischen Größen vergleichend beschrieben. Dabei handelt es sich um die Einschätzung des Verfassers, die in Diskussion mit Akustik-Experten vorgenommen wurde. Eine detailliertere Beschreibung der Antriebsgeräusche findet in den jeweiligen Kapiteln der Versuche statt. Für die psychoakustische Vermessung der Versuchsfahrzeuge stand leider keine Messtechnik zur Verfügung.

Beim Versuch in Kapitel 5 soll beim hochmotorisierten Verbrennerfahrzeug (BMW E92 Sport) ein prägnantes Motorgeräusch vermittelt werden, um dieses gezielt mit dem ohne Soundinszenierung ausgestatteten Tesla Roadster S vergleichen zu können. Aufgrund des Fahrzeugaufbaus des Tesla (Basis ist eine Lotus Elise) besteht ein hoher Einfluss von Störgeräuschen. Die beiden Fahrzeuge für den Vergleich durchschnittlich motorisierter Fahrzeuge, sowie für die restlichen Versuche haben dieselbe Plattform (BMW E82, Mini E, BMW BEV Prototyp), was für eine gute Vergleichbarkeit innerhalb der Versuche sorgt.

Bei den beiden Versuchen der Kapitel 6 und 7, die sich allein der Längsdynamik, beziehungsweise dem Motorsound widmen, ist darauf zu achten, dass die jeweils nicht variierte Versuchsvariable (Längsdynamik oder Akustik) nicht als Störgröße wirkt. So ist

beim Längsdynamikversuch in Kapitel 6 das Motorgeräusch möglichst auszublenden, was durch den Einsatz eines professionellen Gehörschutzes realisiert wird. Beim Akustikversuch in Kapitel 7 ist darauf zu achten, dass die einzelnen Beschleunigungsmanöver reproduzierbare Beschleunigungsverläufe hervorrufen. Deswegen darf der Ladestand der Hochvoltbatterie nicht unter einen bestimmten Wert fallen, so dass Degradationseffekte des Hochvoltsystems auftreten können. Diese äußern sich in einer geringeren Beschleunigungsleistung.

Tabelle 4-3: Vergleichende Beschreibung der Motorgeräusche, welche im Rahmen der Arbeit im Innenraum der Versuchsfahrzeuge wahrnehmbar sind

Versuchsfahrzeug	Kapitel	Lautheit	Ton-schärfe	Rauig-keit	Schwank-ungsstärke	Tonalität	Einfluss von Stör-geräuschen
BMW E92 Sport	5	hoch	mittel	hoch	hoch	niedrig	niedrig
Tesla Roadster S	5	niedrig	mittel	niedrig	niedrig	hoch	hoch
BMW E82 120iA	5	mittel	niedrig	mittel	hoch	niedrig	niedrig
BMW E82 ActiveE	5	niedrig	niedrig	niedrig	niedrig	hoch	niedrig
BMW F30 335ixA ⁴	6	niedrig	niedrig	niedrig	mittel	niedrig	niedrig
Mini E	7	niedrig	niedrig	niedrig	niedrig	hoch	mittel
Mini E mit Sound	7	hoch	mittel	hoch	mittel	niedrig	niedrig
BMW BEV Prototyp ⁵	8	niedrig	niedrig	niedrig	niedrig	hoch	mittel
BMW BEV mit Sound	8	hoch	mittel	mittel	hoch	mittel	niedrig

4.5.3. Folgerungen für die eingesetzten Methoden zur Emotionserfassung

Die Interview-Ergebnisse des Card-Sorting Versuchs zeigen, dass die meisten Erlebnis-Situationen sensorisch zwar weitgehend einheitlich wahrgenommen werden, jedoch die Bewertung der Situation und damit auch das Auslösen positiver oder negativer Emotionen stark von der individuellen Bewertung des Erlebnisses abhängen. Dies macht insbesondere für die weiteren Versuche, die bestimmte Antriebsausprägungen vergleichen, den Einsatz von **Interviews** nötig, die nach den Fahrten durchgeführt werden.

Um das momentane emotionale Erleben zu erfassen, sollen möglichst kurze und schnell zu beantwortende **Fragen und Methoden** eingesetzt werden, um sowohl die **Anregung** als auch die positive oder negative emotionale Bewertung der Situation, die **Valenz** zu erfassen. Die Methoden sollen möglichst direkt nach dem Erleben der Situation eingesetzt werden, um möglichst viele, aktuelle Informationen zu Wahrnehmung und Erleben der Probanden zu erhalten.

Die subjektiven Äußerungen der Probanden während den Interviews des Card-Sorting Versuchs zeigen darüber hinaus den hohen Stellenwert, der besonders prägnant in Erinnerung bleibenden **Schlüsselerlebnissen** zukommt. Deswegen sollen diese in den Versuchen, die im normalen Straßenverkehr und bei längeren Versuchszeiten durchgeführt werden, retrospektiv abgefragt werden. Dies geschieht im Versuch des

⁴ Die Versuchsfahrten wurden mit professionellem Gehörschutz absolviert.

⁵ BEV...Battery Electric Vehicle; Die Ausführungen beziehen sich auf einen frühen Prototypen, dessen Hochvoltkomponenten nicht Serienstand sind. Eine Übertragung auf aktuelle in Serie befindliche Elektrofahrzeuge ist deswegen nicht möglich.

nächsten Kapitels durch eine nachgelagerte Abfrage von Schlüsselerlebnissen einige Wochen nach dem Versuch und im Versuch des Kapitels 8 durch Abgleich des Erlebten mit der Story des Versuchs.

4.5.4. Vorschlag zur Erweiterung des Emotionsmodells nach Plutchik (1980) um einen sensomotorischen Aspekt

Bei allen nachfolgenden Studien dieser Arbeit steht nun die Interaktion des Probanden mit dem Fahrzeug im Mittelpunkt. Bubb (2001) beschreibt im Regelkreis Fahrer-Fahrzeug die einzelnen Aufgaben, die ein Fahrer zur Bewältigung der Fahraufgabe leisten muss, siehe Abbildung 4-4. Diese bestehen zunächst in der Aufnahme, Selektion und Verarbeitung aller für die Fahraufgabe notwendigen Reize aus der Umwelt. Mithilfe seiner Muskulatur steuert der Fahrer das Fahrzeug und stellt die beabsichtigten Fahrzustände her.

Aus Sicht des vorgestellten Emotionsmodells sind die wichtigsten Fragen jedoch: Was nimmt der Fahrer wahr? Wie bewertet der Fahrer eine bestimmte Situation? Wie erlebt der Fahrer diese Situation emotional? Im Rahmen der **Fahrer-Fahrzeug Interaktion** stellt der Proband, wie oben beschrieben, einen großen Teil des sensorischen Inputs selbst und bewusst her. Um die Ergebnisse der Arbeit anhand des Emotionsmodells von Plutchik (1980) tiefgehender diskutieren zu können, ist es deswegen notwendig, das Emotionsmodell um einen sensomotorischen Aspekt zu erweitern. Dieser berücksichtigt die bewusst gesteuerten muskulären Tätigkeiten des Fahrers, wie im Fahrer-Fahrzeug Regelkreis beschrieben. Die Erweiterung des Modells berücksichtigt außerdem neuere Forschungsergebnisse von Kognitionswissenschaftlern, die zeigten, dass Kognitionen nicht nur im Gehirn, sondern auch körperlich verarbeitet werden, wie es Kahneman (2011) in Verweis auf Niedenthal (2007) erwähnt.

Der **sensomotorische Aspekt** bindet geplantes, also erlerntes Verhalten, mit in das kognitive Emotionsmodell ein. Gemäß Schmidt (2001) entsteht die Bewegung von Gliedmaßen aus einer Folge von intern ablaufenden Schritten, welche als Handlungsantrieb in den kortikalen und subkortikalen Motivationsarealen starten. Über die ausgesuchte Bewegungsstrategie, das Bewegungsprogramm und die Selektion, welche unter anderem in den motorischen Cortices stattfinden, wird die Durchführung der Bewegung vorbereitet und anschließend ausgeführt. Wie es Laube (2009) beschreibt, werden die externen Reize (vergleichbar dem sensorischen Input) in Erregungsmuster übersetzt und gerichtet verarbeitet. Die Wirkungen und Reaktionen der sensomotorisch veranlassten Handlung stellen dann erneut die Eingangsgröße der adäquaten Reize der Sensoren dar. So schließt sich der sensomotorische Regelkreis. Im kognitiven Emotionsmodell lässt sich die Sensomotorik, wie in der Abbildung 4-5, gezeigt einfügen.

Die sensomotorischen Aspekte melden in den Prozess des Scannens und Orientierens zurück und verstärken dort die Fokussierung auf alle Reize, die durch die ausgeführte Handlung beeinflusst werden können. Ein zweiter Abgleich findet dann im Kurzzeitgedächtnis statt, in dem die Auswirkungen der gerade durchgeführten Handlung mit den vorherigen und mit den gespeicherten Codes abgeglichen werden. Einflüsse auf das sensomotorische System stellen die Bewertung der jeweiligen Situation und auch die ausgelösten Emotionen direkt dar. Durch die Einbindung der Sensomotorik können

weitere Reaktionsmuster und ausgelöste Emotionen (und dadurch Erlebnisse) eingehender bewertet werden. Die beiden großen Versuche im realen Straßenverkehr in Kapitel 5 und 8 eignen sich, um die Validität der Modellerweiterung anhand der Versuchsergebnisse zu diskutieren. Die Probanden lernen die verwendeten Fahrzeuge gut kennen, da die Versuchsfahrten ausreichend lang sind. Darüber hinaus gibt es viele verschiedene Situationen, in denen die Sensomotorik einen Beitrag zum Erleben liefern kann.

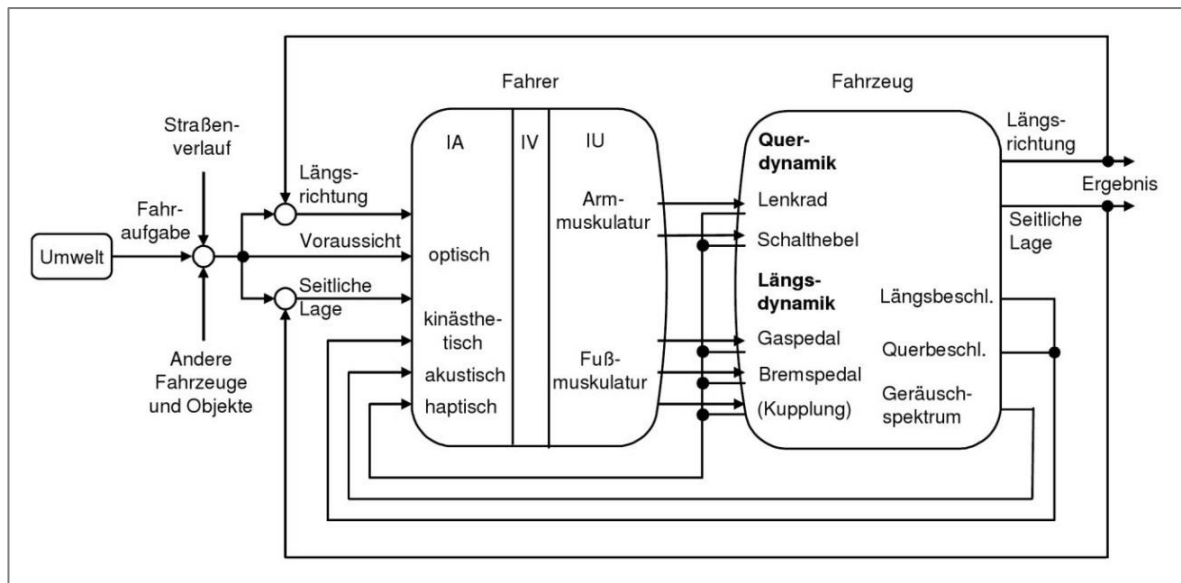


Abbildung 4-4: Fahrer-Fahrzeug Regelkreis nach Bubb (2001); IA...Informationsaufnahme; IV... Informationsverarbeitung, IU...Informationsumsetzung

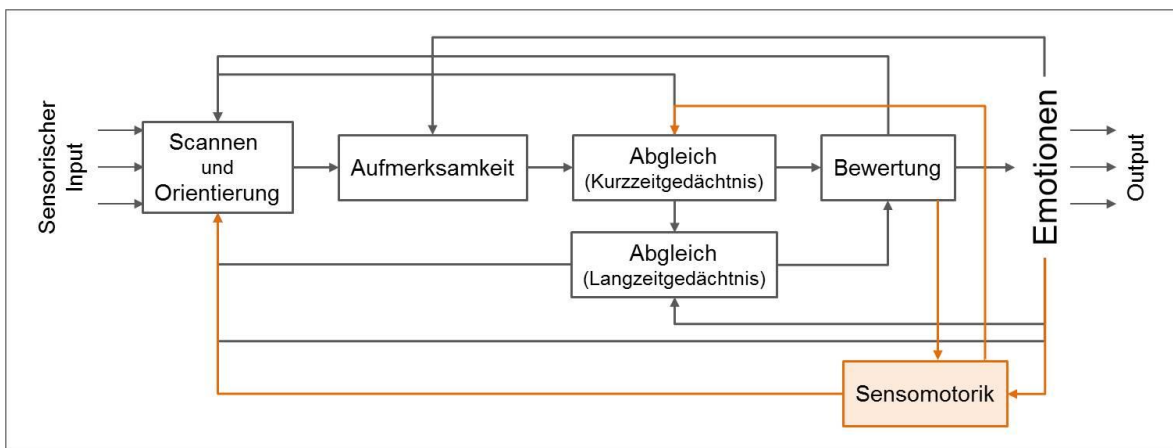


Abbildung 4-5: Kognitive Abläufe bei der Entstehung von Emotionen nach Plutchik (1980) in eigener Darstellung und Erweiterung um den sensomotorischen Aspekt

5. Vergleich des emotionalen Erlebens konventioneller und elektrischer Antriebe






Im Card-Sorting Versuch wurde als eine maßgebliche Erlebnisachse die Aktivierung der Probanden gefunden. Diese Achse erstreckt sich von erlebter Entspannung hin zu starker Anregung der Versuchsteilnehmer. In vielen heutigen Fahrzeugen ist dieses Prinzip konzeptuell als sogenannter **Fahrzeugcharakter** verankert, dass, je nach Auslegung bestimmter Fahrzeugeigenschaften, das Fahrzeug als entweder entspannend oder anregend erlebt werden kann. Dementsprechend gestalten Fahrzeughersteller hauptsächlich zwei Fahrzeugcharaktere, nämlich einen entspannend-beruhigenden oder komfortablen und einen dynamisch anregenden oder sportlichen. Dabei findet eine Differenzierung der jeweiligen Fahrzeuge in vielen Bereichen statt. Angefangen beim Design der Karosserie, über das Fahrwerk bis hin zur Sitzposition gibt es starke Unterschiede. Dies gilt auch für den Antrieb der Fahrzeuge. Einige Hersteller versuchen durch den Einsatz von sogenannten **Fahrerlebnisschaltern** auch einzelne Fahrzeuge innerhalb bestimmter Grenzen je nach Fahrerwunsch sowohl entspannend als auch anregend auszulegen. Ziel ist, dass die Fahrzeuge per Knopfdruck durch Änderungen im Fahrpedalkennfeld, der Fahrwerkseigenschaften, des Anzeige-Bedienkonzepts und der Fahrzeugakustik entweder anregend oder beruhigend erlebt werden können.

Der Fahrzeugcharakter zieht sich unabhängig von der Antriebsart, beginnend vom Design des Exterieurs, über die Gestaltung des Innenraums bis hin zur Motorisierung und dem Anzeige-Bedienkonzept durch, siehe Tabelle 5-1. Der Vergleich dieser beiden Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor zeigt, dass sich die technischen Daten und Fahrleistungen stark ähneln. So sind Leistung, Drehmoment und Beschleunigung auf einem ähnlich hohen Niveau. Das Coupé wird von den Fahrern aber zweifelsohne als sehr anregend und sportlich im Vergleich zur luxuriösen Limousine erlebt. Dabei hat die **Motorapplikation** einen großen Einfluss auf den wahrgenommenen Fahrzeugcharakter. Durch sie ist es möglich, die Antriebseigenschaften spezifisch auf ein bestimmtes Fahrzeug einzustellen. Um die Motoreigenschaften entsprechend zu „applizieren“, werden Eingriffe am Motor- und Getriebesteuergerät so vorgenommen, dass das Fahrzeug unterschiedlich auf Fahrpedaleingaben reagiert, was sich auch bei den Getriebebeschaltungen äußert. Gerade Elektrofahrzeuge bieten aufgrund ihrer Motorcharakteristik breite Einstellmöglichkeiten der Längsdynamik, siehe Kapitel 2.3.2. Dementsprechend drängt sich die Frage auf, ob sich Unterschiede beim Vergleich von Fahrzeugen mit gleichem Fahrzeugcharakter aber unterschiedlicher Antriebsart einstellen. Diese Frage soll in der folgenden Studie beantwortet werden. In diesem Versuch wird untersucht, wie sich Antriebe mit ähnlichen Leistungen, die sich jedoch in ihrer Antriebsart (Ottomotor beziehungsweise

Elektroantrieb) unterscheiden, erlebt werden. Ziel ist die Sammlung prototypischer Situationen emotionalen Erlebens der jeweiligen Antriebe und der Vergleich der Wirkketten hin zur Emotionsentstehung. Die Ergebnisse des Versuchs dienen dann als Eingangsgrößen für die weiteren Versuche der Arbeit.

Dementsprechend werden für den Vergleich Fahrzeugpärchen herangezogen, die gut in die oben beschriebenen Eckpunkte passen. Um die Aktivierungsachse in Richtung „Anregung“ ausschlagen zu lassen, werden hochmotorisierte Fahrzeuge gewählt: der elektrische Sportwagen Tesla Roadster S und ein prototypisch aufgebautes Sportcoupé auf Basis eines stark modifiziertem BMW E92 335iA. Das andere Fahrzeugpärchen ist durchschnittlich⁶ motorisiert. Es werden ein batterieelektrischer BMW E82 ActiveE und ein in der Leistung vergleichbares Coupé mit Ottomotor auf selber Fahrzeugbasis gewählt: ein BMW E82 120iA.

Tabelle 5-1: Vergleich eines komfortablen und eines sportlichen Fahrzeugs; Bilder und technische Daten entstammen der Homepage von BMW.de (2015)

Fahrzeugparameter	BMW 750i xDrive	BMW M4
Exterieur		
Interieur (Homepageauszug)		
Anzeige-Bedien-Konzept (inkl. Head-Up Display)		
Leistung in kW (PS) bei 1/min.	330 (450)/5.500–6.000	317 (431)/5.500-7.300
Max. Drehmoment (Nm) bei 1/min	650/1.800-4.500	550/1.850-5.500
Höchstgeschwindigkeit in km/h	250	250
Beschleunigung 0-100 km/h in s	4,4	4,3

5.1. Forschungsfragen

Der Versuch soll zum besseren Verständnis beitragen, wie von Fahrzeugantrieben ausgelöste Emotionen und Erlebnisse entstehen und wo die Stärken, beziehungsweise

⁶ Nach Stockburger (2013) liegen die durchschnittlichen Motorleistungen von Neuwagen der drei deutschen Premiumhersteller Audi, BMW und Mercedes durchschnittlich bei 133 kW (180 PS).

Schwächen der beiden untersuchten Konzepte liegen. Dementsprechend stellen sich folgende Forschungsfragen:

1. Wie unterscheiden sich die Wahrnehmung und das Erleben der beiden Konzepte?
2. Mit welcher emotionalen Intensität werden die Antriebe erlebt?
3. Welche Erlebnisse bleiben im Gedächtnis gespeichert?
4. Was sind demzufolge Handlungsfelder für die Entwicklung von elektrischen Antrieben?

5.2. Methodik

Die Versuchsmethodik beschreibt zunächst die explorative Vorgehensweise, die zur Beantwortung der Forschungsfragen gewählt wird, gefolgt von einer technischen Beschreibung der Versuchsfahrzeuge.

5.2.1. Explorative Vorgehensweise

Der Versuch soll in einer möglichst realistischen Umgebung – am besten im realen Straßenverkehr – stattfinden. Dabei soll den Probanden genügend Fahrzeit eingeräumt werden, um die Antriebe kennen zu lernen und im Anschluss auch bewerten zu können. Zur besseren Vergleichbarkeit werden verschiedene, an reale Verkehrssituationen angelehnte Fahrmanöver ausgesucht, die die Probanden zu einem selbst gewählten Zeitpunkt absolvieren sollen. Die Manöver sollen sich anhand abgerufener Längsdynamik und der Antriebsakustik möglichst stark unterscheiden. Die ausgewählten Fahrsituationen sollen jeweils am besten direkt nach deren Ende anhand eines geeigneten Fragebogens bewertet werden. Dieser Fragebogen soll zum einen intuitiv, schnell und ohne große kognitive Belastung beantwortet werden können und zum anderen das emotionale Erleben der Probanden hinreichend genau erfassen. Die zu absolvierende Strecke soll jedes Mal die gleiche sein, um Vergleichbarkeit sicher zu stellen. Sie soll genügend Strecken- und Zeitanteile im Stadtverkehr, auf Landstraßen und Autobahnen beinhalten. Durch geeignete Wahl der Versuchszeiten, soll auf ähnliche streckenmäßige Rahmenbedingungen wie Verkehrsaufkommen und Wetterverhältnisse geachtet werden. Bei der Auswahl der Fahrzeuge sollen jeweils zwei typische Vertreter von hochmotorisierten Antrieben beziehungsweise durchschnittlich motorisierten gewählt werden. Jedes Fahrzeugpaar von Verbrenner- und Elektrofahrzeug soll auf einem ähnlichen Leistungsniveau hinsichtlich der abrufbaren Fahrleistung sein. Idealerweise sind die Fahrzeugkonzepte vergleichbar, hinsichtlich Design, Fahrzeugaufbau und Gewicht sowie querdynamischen Verhalten.

5.2.2. Versuchsfahrzeuge

Im Versuch kommen zwei Fahrzeuge für den Vergleich hochmotorisierter Antriebe und zwei Fahrzeuge für den Vergleich durchschnittlich motorisierter Fahrzeuge zum Einsatz. Nachfolgend werden die Fahrzeuge hinsichtlich deren längsdynamischer Ausprägung und deren Klang im Innenraum während der Fahrt beschrieben.

Fahrzeuge für den Vergleich hochmotorisierter Antriebe

Als Versuchsfahrzeuge werden zwei leistungsstarke Fahrzeuge ausgewählt. Auf Seiten der konventionellen Antriebe wurde darüber hinaus auf einen subjektiv ausgeprägt sportlichen Klang, gepaart mit spürbaren, kurzen Gangwechseln des Automatikgetriebes geachtet. Ein im Unternehmen vorhandenes BMW E92 Coupé erfüllt diese Anforderungen und wurde auf Basis einer Expertendiskussion ausgewählt. Dieses wurde für die Versuche verwendet und im Vergleich zum Serienmodell stark modifiziert. Im Segment vergleichbarer hochmotorisierter Elektrofahrzeuge ist die Auswahl weitaus geringer. Dementsprechend fiel die Wahl auf einen zweitürigen Roadster mit festem Hardtop. Einen Überblick über die Antriebs Eigenschaften der Versuchsfahrzeuge bietet Tabelle 5-2.

Tabelle 5-2: Antriebsrelevante Daten der beiden Versuchsfahrzeuge

	Tesla Roadster S	BMW E92 Coupé
Antrieb	Luftgekühlter dreiphasiger Wechselstrom-Induktionsmotor	3,0l Reihensechszylinder mit Turboaufladung
Getriebe	Fester Gang	8-Gang Sportautomatikgetriebe mit kurzer Übersetzung und Quick-Shift Applikation (verkürzte Schaltzeiten unter Vollast)
Leergewicht [kg]	1335 ⁷	1430 ⁸
Beschleunigung 0-100km/h [s]	5,4 ⁹	5,6 ⁸
Max. Leistung [kW(PS)]	223(299) ⁷	~250(~340) ⁸
Max. Moment [Nm] bei 1/min	400(0-5100) ⁷	500(1500-4500) ⁸

Die oben aufgeführte Tabelle zeigt, dass die reine Antriebsleistung und das Beschleunigungsvermögen der beiden Fahrzeuge vergleichbar ist. Dies spiegelt sich in der folgenden Abbildung 5-1 wider, welche das maximale Beschleunigungsvermögen der beiden Fahrzeuge aus dem Stand enthält. Die Abbildung wurde mit MATLAB (MathWorks, 2012) erstellt und zeigt leicht gefilterte Kurven; beide Fahrzeuge wurden auf einem Testgelände mithilfe von Längsbeschleunigungssensoren und einer Abtastfrequenz von 100 Hz vermessen. Bis zu einer Geschwindigkeit von circa 120 km/h (vertikale Linie in Abbildung 5-1) ist das maximale Beschleunigungsvermögen sehr ähnlich. Es bestehen jedoch auch Unterschiede: Das BMW E92 Coupé verfügt über ein Automatikgetriebe mit

⁷ Diese Angaben entsprechen den offiziellen technischen Daten gemäß TESLA Motors (2013).

⁸ Diese Werte wurden mithilfe der später beschriebenen Messtechnik unter praxisnahen Umständen ermittelt. Für das beschriebene Fahrzeug gibt es keine offiziellen Daten, da es sich um kein zu erwerbendes Serienfahrzeug handelt, sondern um einen technisch stark veränderten Prototypen.

⁹ Dieser Wert wurde mithilfe der später beschriebenen Messtechnik unter praxisnahen Umständen ermittelt. Dabei wurde nicht der im Fahrzeug vorhandene „Performance“-Modus verwendet und darüber hinaus wurde das Fahrzeug nicht von einem professionellen Testfahrer bewegt. Zum Vergleich: TESLA Motors (2013) gibt die Beschleunigung von 0 bis 97 km/h mit 3,7 Sekunden (im Performance-Modus) an.

acht Gängen, wobei der Tesla Roadster S einen festen Gang mit konstanter Übersetzung besitzt. Der Tesla Roadster S hat eine leicht niedrigere Maximalbeschleunigung von circa $6,3 \text{ m/s}^2$ im Vergleich zum BMW E92 Coupé mit circa $7,2 \text{ m/s}^2$. Allerdings kann der Tesla Roadster S die Maximalbeschleunigung über einen längeren Geschwindigkeitsbereich halten, nämlich von 10 km/h bis 70 km/h . Nach diesem Geschwindigkeitsbereich fällt das Beschleunigungsvermögen kontinuierlich degressiv ab. Das BMW E92 Coupé hat aufgrund des eingesetzten Getriebes häufige Beschleunigungswechsel, bedingt durch die Motorcharakteristik und durch Schaltungen.

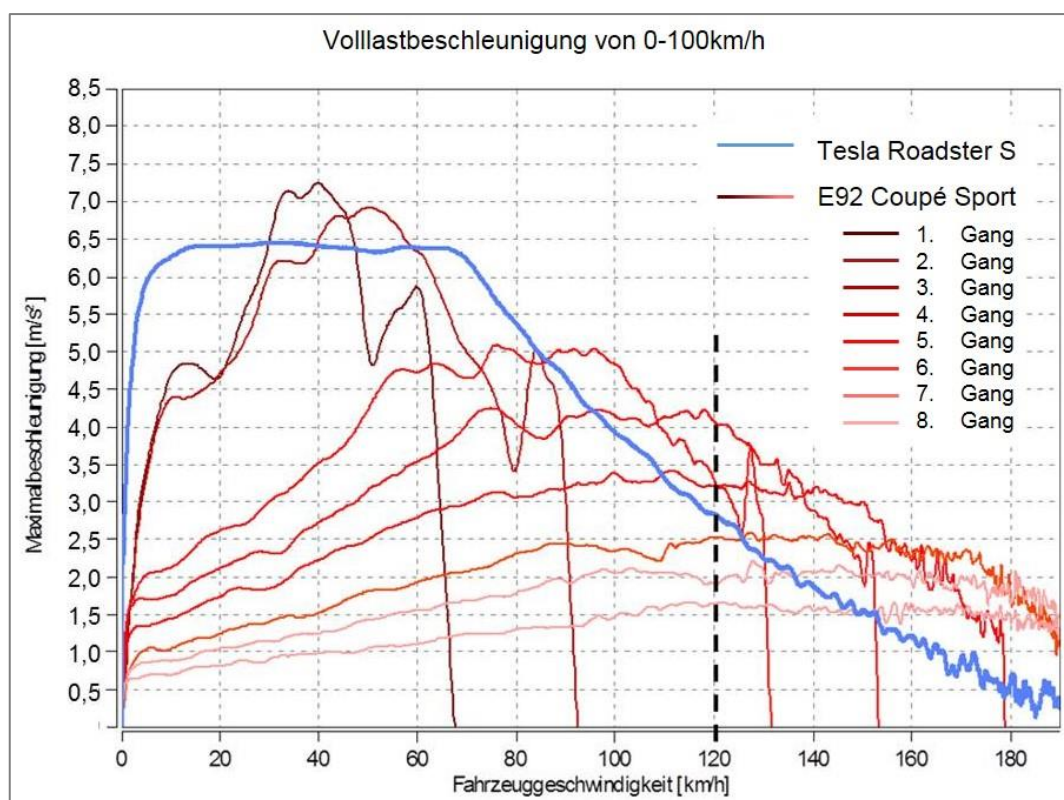


Abbildung 5-1: Beschleunigungsvermögen der Versuchsfahrzeuge unter Vollast; Die blaue Linie kennzeichnet den Tesla Roadster S mit Einganggetriebe und die roten Linien die acht einzelnen Gänge des E92 Coupé

Eine weitere realitätsnahe und häufig vorkommende Situation ist die volle Beschleunigung des Fahrzeugs aus einer bestimmten Geschwindigkeit anstelle aus dem Stillstand heraus. Ein solches Beschleunigungsmanöver zeigt Abbildung 5-2. Hierbei werden die beiden Fahrzeuge aus einer Geschwindigkeit von 20 km/h unter Vollast beschleunigt. Das E92 Coupé wird dabei im manuell angewählten zweiten Gang beschleunigt, um die Motorcharakteristik deutlich zu machen. Die Beschleunigungsdaten wurden ebenfalls mit einem Längsbeschleunigungssensor und einer Frequenz von 100 Hz aufgezeichnet, typische Werte mithilfe von MATLAB (MathWorks, 2012) ermittelt. Die Grafik wurde nach leichter Filterung und Datenexport mit Excel (Microsoft, 2010) erstellt. Mithilfe der grafischen Ergebnisse der Messung lassen sich verschiedene Unterschiede im Beschleunigungsverhalten der beiden Fahrzeuge anschaulich nachvollziehen. So liegt beim Tesla schon $0,05 \text{ s}$ nach Fahrpedaleingabe eine Beschleunigung von $0,56 \text{ m/s}^2$ an, wohingegen beim E92 Coupé dieser Beschleunigungswert erst nach $0,18 \text{ s}$ anliegt. 3 m/s^2

Längsbeschleunigung liegen beim Tesla nach 0,12 s an, beim E92 Coupé nach 0,5 s. Aus den Daten lässt sich der Beschleunigungsaufbau in Form eines Gradienten ermitteln. Der Tesla hat hier einen extrem hohen Wert von 46 m/s^3 , das E92 Coupé 25 m/s^3 . 90 Prozent der maximal möglichen Leistung liegen beim Tesla bereits 0,34 s nach Fahrpedaleingabe an, wohingegen das E92 Coupé aufgrund des Instationärverhaltens des aufgeladenen Motors und den dadurch bedingten verzögerten Momentenaufbau 1,56 s, also viereinhalb Mal so lange, benötigt. Die maximal mögliche Beschleunigung liegt beim E92 Coupé auch im zweiten Gang mit einem Wert von $6,6 \text{ m/s}^2$ höher als im Tesla mit $6,4 \text{ m/s}^2$. Der Tesla hält dieses Niveau über einen Zeitraum von 1,87 s im 95. Perzentil der Maximalbeschleunigung, das E92 Coupé kann 95% oder einen höheren Wert der Maximalbeschleunigung über 0,89 s halten.

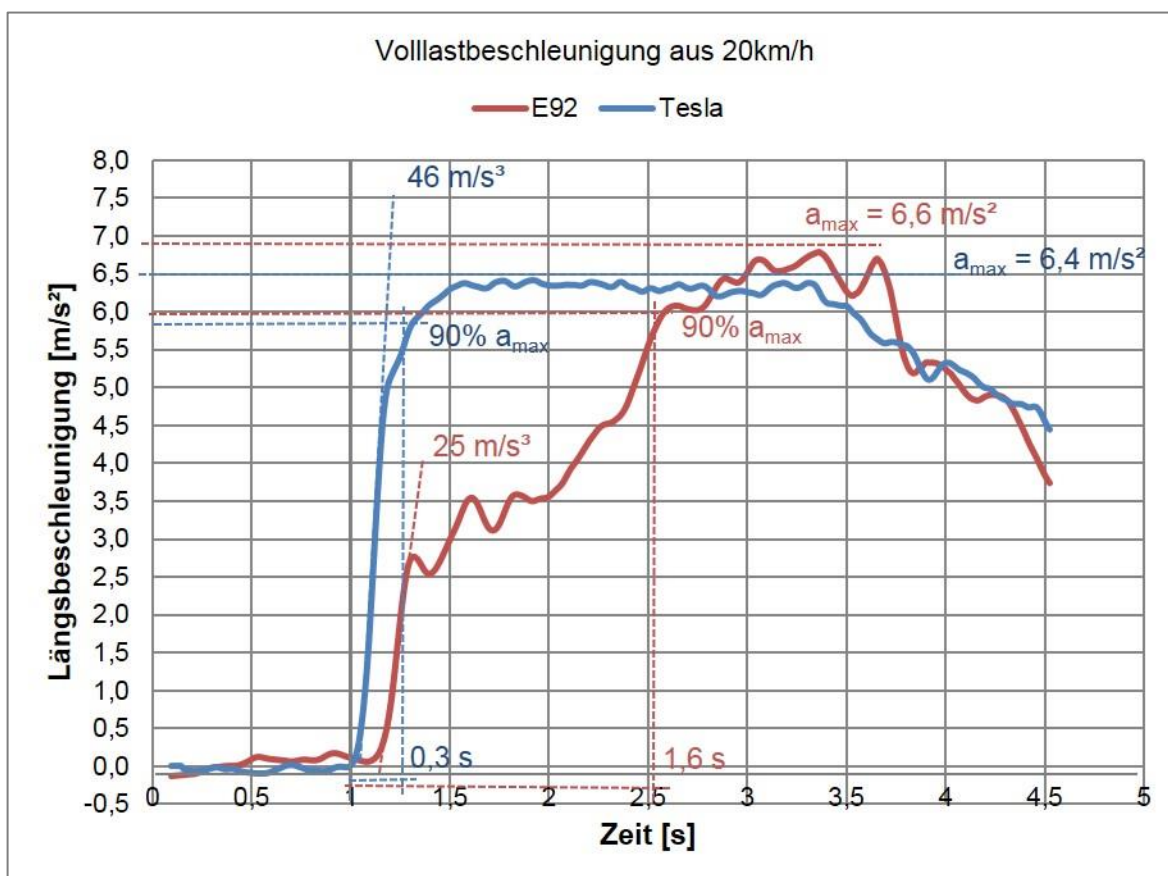


Abbildung 5-2: Reaktion der Versuchsfahrzeuge nach voller Fahrpedaleingabe (bei 1,0 sec) aus Konstantfahrt mit 20 km/h (2. Gang im Verbrenner)

Beschreibung des Motorgeräuschs der hochmotorisierten Fahrzeuge im Innenraum und in ausgewählten Manövern

Der elektrische Antrieb des Tesla Roadster S emittiert hauptsächlich den Ton, der durch E-Maschine und Leistungselektronik entsteht. Bei wiederholter hoher Lastanforderung ist das Geräusch des Kühlgebläses als Störgeräusch deutlich wahrnehmbar. Bei zunehmender Geschwindigkeit steigt das hochfrequente Geräusch der E-Maschine linear mit zunehmender Frequenz an. Bei höheren Geschwindigkeiten (ab circa 80 km/h) werden diese von Abroll- und Windgeräuschen überlagert. Eine Lastabhängigkeit des Geräuschs

kann ebenfalls wahrgenommen werden, da sich die Frequenz bei starker Beschleunigung schneller erhöht und somit zu einer Dynamisierung der Akustik beiträgt. Somit wird im Innenraum, alles in allem, eine niedrige Lautheit, eine mittlere Tonschärfe und geringe Rauigkeit erlebt. Die Schwankungsstärke ist ebenfalls niedrig, die Tonalität aufgrund des dominierenden Geräuschs der E-Maschine jedoch hoch. Der Einfluss an Störgeräuschen wird aufgrund des sonst eher ruhigen Innenraumgeräuschs als hoch eingeschätzt.

Das Geräusch des E92 Coupé kann als deutlicher Gegensatz zu dem des Elektrofahrzeugs beschrieben werden. Beim Starten des Fahrzeugs mit kaltem Motor stellt sich ein sehr deutliches, kurzes Überspringen der Drehzahl vor Erreichen des Leerlaufs ein. Im Verlauf wird im Rahmen des Aufheizens des Katalysators (sogenanntes Katheizen) vermehrt Kraftstoff eingespritzt, um den Katalysator schnell auf Betriebstemperatur zu bringen. Dies führt zu einer harten Verbrennung in den Zylindern und somit zu einem sehr lauten und rauen Geräusch im Innenraum. Aufgrund des eingesetzten Mehrganggetriebes ändert sich die Geräuschkulisse häufig und bleibt nur bei Konstantfahrt gleich. Das Geräusch kann dennoch als typisch für einen Reihensechszylindermotor beschrieben werden. So steigt das Geräuschniveau nach Amplitude und Frequenz beim Beschleunigen über den gesamten Drehzahlbereich an und verändert sich von tief sonor in den unteren Drehzahlbereich bis hin zu heiser kreischend in hohen Drehzahlen. Ebenfalls steigen auch die Lautheit, Tonschärfe und Rauigkeit sowie die Schwankungsstärke an. Nach Hochschalten des Getriebes und erneuter Beschleunigung wird dasselbe Verhalten ab der Anschlussdrehzahl durchlaufen. Dabei nimmt der Drehzahlanstieg in den höheren Gängen bei gleicher Last bedingt durch die längere Übersetzung und die Fahrwiderstände beständig ab. Beim spontanen Loslassen des Fahrpedals in mittleren Drehzahlen, gelangt unverbrannter Kraftstoff in die Abgasseite und verbrennt dort schlagartig, was sich in lauten, knallartigen Geräuschen aus der Abgasanlage bemerkbar macht¹⁰. Die Aufladung des Turboladers ist im Innenraum fast nicht wahrnehmbar. Dementsprechend kann das Antriebsgeräusch des E92 Coupé mit hoher Lautheit, mittlerer Tonschärfe, hoher Rauigkeit und Schwankungsstärke sowie niedriger Tonalität beschrieben werden. Der Einfluss von Störgeräuschen ist, verglichen mit dem Elektrofahrzeug, gering.

Versuchsfahrzeuge für den Vergleich durchschnittlich motorisierter Antriebe

Für den Vergleich der durchschnittlich motorisierten Antriebe wurden ein gängiges Elektrofahrzeug und ein Verbrenner ausgewählt. Die maximale Leistung spielt dabei eine eher untergeordnete Rolle. Wichtig waren jedoch ein Automatikgetriebe beim Verbrenner und ein vergleichbarer Fahrzeugaufbau. So wurden ein BMW ActiveE und ein E82 Coupé 120iA ausgewählt. Der große Vorteil der beiden Fahrzeuge ist die identische Karosserie und die gleiche Leistung der Fahrzeuge, wobei das Elektrofahrzeug 425 kg schwerer ist. Einen Überblick über die technischen Daten bietet Tabelle 5-3.

Auch diese Fahrzeuge wurden mit der oben beschriebenen Messtechnik vermessen. Das Ergebnis der Beschleunigung aus dem Stand bis 100 km/h zeigt Abbildung 5-3. Aufgrund der Momentenüberhöhung des Wandler im Automatikgetriebe erreicht der Saugmotor eine kurze Beschleunigungsspitze von 5,2 m/s² im ersten Gang nach Vollastgabe. Dann beträgt die Maximalbeschleunigung im ersten Gang circa 3,4 m/s². Bei 45 km/h findet die

¹⁰ Dieses Verhalten wird in der Presse meist als „Schubblubbern“ bezeichnet.

erste Schaltung statt und die Beschleunigung erreicht dann circa 2,4 m/s² im zweiten Gang. Bei 100 km/h wird abermals geschaltet. Der ActiveE baut die Beschleunigung rasch auf einen Maximalwert von 3,6m/s² auf und hält diese bis circa 60 km/h. Dann wird die Eckdrehzahl des Elektromotors erreicht und die Beschleunigung fällt degressiv ab.

Tabelle 5-3: Antriebsrelevante Daten der beiden Versuchsfahrzeuge für den Vergleich durchschnittlich motorisierter Antriebe; Die Daten entstammen den offiziellen technischen Daten

	BMW ActiveE	BMW E82 Coupé 120iA
Antrieb	BMW-Hybrid-Synchronmotor	2,0l Reihenvierzylinder mit Multi-Point-Einspritzsystem
Getriebe	Fester Gang	6-Gang-Automatikgetriebe
Leergewicht [kg]	1800	1375
Beschleunigung 0-100km/h [s]	9,0	8,4
Max. Leistung [kW(PS)]	125(170)	125(170)
Max. Moment [Nm] bei 1/min	250(0-4775)	210(4250)

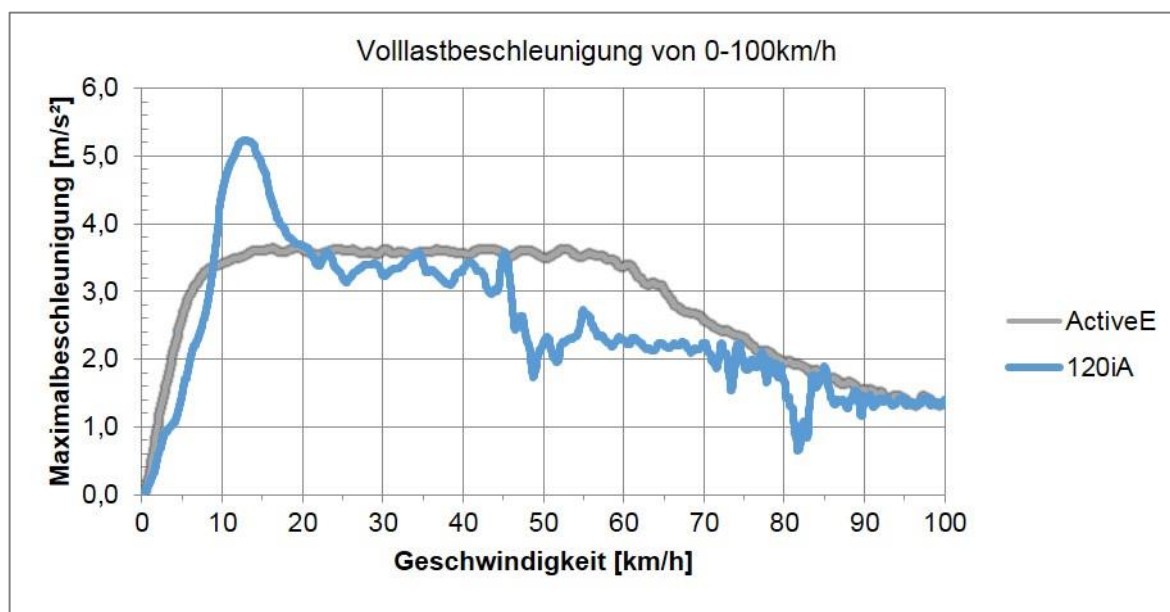


Abbildung 5-3: Beschleunigungsvermögen der beiden Versuchsfahrzeuge des Vergleichs aus dem Stand bis 100 km/h; Beim 120iA sind die zunächst die Wandlerüberhöhung und dann später zwei Schaltungen zu sehen

Die beiden Fahrzeuge werden ebenfalls, wie die zwei Vertreter aus dem hochmotorisierten Vergleich, aus einer Konstantfahrt bei 20 km/h beschleunigt. Der Verbrenner wird dabei ebenfalls im zweiten Gang bewertet. Die Ergebnisse der messtechnischen Untersuchung zeigt Abbildung 5-4. Es fällt zunächst auf, dass der Verbrenner einen steileren Beschleunigungsaufbau besitzt, als das Elektrofahrzeug, was sich in einem Beschleunigungsgradienten von 10,7 m/s³ gegenüber 5,2 m/s² widerspiegelt. Der Verbrenner erreicht 90 Prozent seiner Maximalbeschleunigung nach 0,3 s, das Elektrofahrzeug erst nach 0,9 s. Allerdings unterscheiden sich die maximal erreichbaren

Beschleunigungen deutlicher: Der 120iA erreicht im zweiten Gang 2,4 m/s², das Elektrofahrzeug hingegen einen um 50 Prozent höheren Wert von 3,6 m/s².

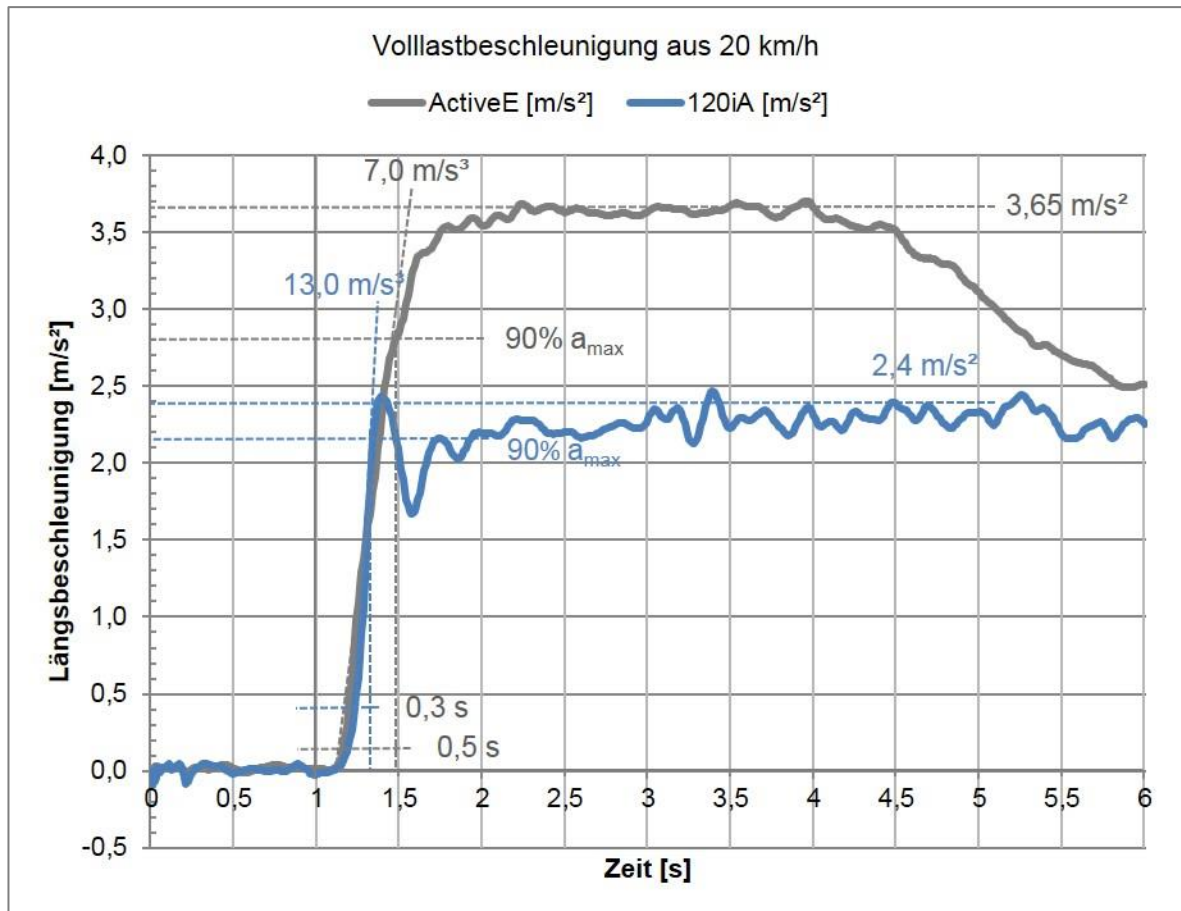


Abbildung 5-4: Reaktion der Versuchsfahrzeuge nach voller Fahrpedaleingabe (bei 1sec) aus Konstantfahrt mit 20 km/h (2. Gang im Verbrenner)

Beschreibung des Motorgeräuschs der Fahrzeuge im Innenraum in ausgewählten Manövern

Der BMW ActiveE klingt grundsätzlich ähnlich wie das oben beschriebene sportliche Elektrofahrzeug. Ein Unterschied besteht in der stärkeren Dämmung des Innenraums und einem dadurch in Summe niedrigeren Geräuschniveau. Somit werden niedrige Werte an Lautheit, Tonschärfe, Rauigkeit und Schwankungsstärke erreicht. Der Einfluss der Störgeräusche ist ebenfalls gering. Einzig die Tonalität wird als hoch bewertet: Sie wird durch den deutlichen, aber nicht laut wahrnehmbaren, hochfrequenten Ton, als Antriebsgeräusch der E-Maschine erzeugt.

Das BMW E82 120iA Coupé klingt im Fahrbetrieb wie ein typischer Vierzylinder-Saugmotor, kernig und leicht rau. Beim Starten des Fahrzeugs aus einem Kaltstart stellt sich ein kurzes, aber kräftiges Überschwingen der Drehzahl ein, gefolgt von dem leicht über der Leerlaufdrehzahl liegenden Geräusch des Kattheizens. Der Klang des Antriebs wird durch die Gangwechsel des Sechsganggetriebes zusätzlich hervorgehoben, wobei die Fähigkeit des Motors, schnell hochzudrehen, eingeschränkt ist. Dies liegt im Vergleich

zum E92 Coupé an der geringeren Motorleistung, dem um zwei Gänge reduzierten Getriebe und der daraus resultierenden größeren Gesamtübersetzung. In den psychoakustischen Beschreibungsgrößen wird der Saugmotor mit einer mittleren Lautheit und Rauigkeit, einer niedrigen Tonschärfe und Tonalität beschrieben. Die Schwankungsstärke wird als hoch eingeschätzt, der Einfluss von Störgeräuschen ist, analog dem Elektrofahrzeug, niedrig.

5.3. Durchführung

Die Durchführung des Experiments gliedert sich in den Versuchsablauf und die unterschiedlichen Befragungsmethoden, die vor, während und nach dem Versuch eingesetzt wurden. Danach werden Strecke und Manöver vorgestellt. Die Probandenkollektive unterscheiden sich, da es für die Versuche zwei Teile gab, welche in unterschiedlichen Zeiträumen durchgeführt wurden. Somit wurden die Probanden nicht durch unnötig lange Versuchszeiten überlastet. Außerdem standen die Versuchsfahrzeuge nicht gleichzeitig zur Verfügung.

5.3.1. Versuchsablauf und Befragungsmethoden

Ein Versuchsteil dauert jeweils zwischen zwei und drei Stunden. Den Probanden wird zunächst eine Präsentation gezeigt, die in den Versuch kurz einführt. Dabei wird neben der Strecke auch die Befragungsmethode während der einzelnen Manöver des Versuchs vorgestellt und das Beantworten geübt. Durch dieses Vorgehen wird versucht, die schnelle Beantwortung des semantischen Differentials während des fahraktiven Teils zu unterstützen und zu vereinfachen. Anschließend werden Fragen zum Versuchsablauf beantwortet. Zu antriebsrelevanten Themen, wie Beschleunigungsvermögen oder der Leistung der Versuchsfahrzeuge, werden keine Fragen beantwortet. Anschließend werden im fahraktiven Teil die Versuchsfahrzeuge in permutierter Reihenfolge gefahren, wobei beim Vergleich hochmotorisierter Fahrzeuge ein Versuchsleiter mit einem Führungsfahrzeug vorausfuhr und der Proband mit dem Versuchsfahrzeug folgte. Beim Vergleich der durchschnittlich motorisierten Fahrzeuge fuhr der Versuchsleiter im Fahrzeug mit. Zu jeder Fahrt wurde den Probanden ein Fragebogen zu den absolvierten Manövern mitgegeben. Der Fragebogen enthält ein fünfstufiges semantisches Differential von Hamm und Vaitl (1993), das die Konstrukte Valenz via der Items (unzufrieden – zufrieden, unglücklich – glücklich und genervt – erfreut) und Anregung via der Items (träge – rasend, nicht angeregt – angeregt und entspannt – stimuliert) erfasst, siehe Tabelle 5-4.

Tabelle 5-4: Erhebung der Valenz und Anregung anhand des semantischen Differenzials von Hamm und Vaitl (1993)

Konstrukt	Valenz	Anregung
Adjektivpaar 1	unzufrieden – zufrieden	träge – rasend
Adjektivpaar 2	unglücklich – glücklich	nicht angeregt – angeregt
Adjektivpaar 3	genervt – erfreut	entspannt – stimuliert

Diese je drei Adjektivpaare werden hierfür pro Konstrukt abgefragt. Sie wurden anhand der höchsten Ladungen gemäß der Validierung von Hamm und Vaitl (1993) und der besten Eignung ausgewählt. Die ersten beiden Adjektivpaare, die Valenz erfassen, werden auch von Schallberger (2005) in den PANAVA Kurzskaalen verwendet. Die Probanden hatten beim Vergleich hochmotorisierter Fahrzeuge an insgesamt vier Streckenpunkten, im Rahmen kleinerer Pausen, die Möglichkeit, eine Manöverbewertung durchzuführen. Beim Vergleich der durchschnittlich motorisierten Antriebe wird die Manöverbewertung während der Fahrt vom Versuchsleiter abgefragt, da dieser im Fahrzeug anwesend ist.

Im Rahmen der Nachbefragung nach jeder der Fahrten wird eine Auflistung von Eigenschaften bewertet, die einen Beitrag zum sportlichen, beziehungsweise entspannten Fahren darstellen können. Diese Items werden gewichtet bewertet auf einer fünfstufigen Skala (von „trägt gar nicht zur Dynamik / zur Entspannung bei“ bis „trägt sehr stark zur Dynamik / zur Entspannung bei“). Abschließend wurde die PANAS Kurzversion mit insgesamt zehn Items nach Mackinnon et al. (1999) über die gesamte Fahrt abgefragt. Es wurde die deutsche Übersetzung von Krohne et al. (1996) verwendet.

Nach der Fahrt mit beiden Fahrzeugen wurde noch ein Abschlussfragebogen ausgefüllt, welcher die beiden Fahrzeuge vergleicht. Im Fragebogen werden folgende Fragen erfasst:

- Welches Fahrzeug wird subjektiv als dynamischer, beziehungsweise entspannender wahrgenommen?
- Wie kommt diese Meinung zustande?
- Welches Fahrzeug beschleunigt besser und welches reagiert besser auf Fahrpedaleingaben?

Darüber hinaus wird abgefragt, ob hochmotorisierte, beziehungsweise durchschnittlich motorisierte Elektrofahrzeuge einen inszenierten Motorsound benötigen und beim Vergleich hochmotorisierter Antriebe, wie sich ein solches Elektrofahrzeug anhören sollte. Außerdem wird gefragt, ob sich die Probanden ein Getriebe im Elektrofahrzeug wünschen und wie die Rekuperation empfunden wurde.

Circa acht Wochen nach dem Versuch wurde den Probanden des hochmotorisierten Vergleichs ein weiterer Fragebogen zugesandt, in dem nochmals dieselben Fragen bezüglich Sportlichkeit, Beschleunigung und Ansprechverhalten der Fahrzeuge gestellt wurden. Außerdem wurde hier nach Fahrerfahrung und Selbsteinschätzung der Fahrer gefragt. Darüber hinaus wurde offen nach den zwei markantesten Erlebnissen des Versuchs gefragt. Über dieses Vorgehen wird versucht, Unterschiede zwischen dem momentan Erlebten, dem „experiencing self“ und dem erinnerten Erlebnis, dem „remembering self“ gemäß Kahneman (2011) zu untersuchen. An der Nachbefragung nahmen 24 der 26 Teilnehmer teil. Um eine Vergleichbarkeit zwischen der Befragung direkt nach dem Versuch und der zeitlich nachgelagerten Befragung herzustellen, werden die Ergebnisse der Fragen in Prozentwerten angegeben.

5.3.2. Versuchsstrecke

Die Versuchsstrecke hat eine Länge von 26 km, wobei die Fahrdauer jeweils durchschnittlich 35 min beträgt. Von den 26 km werden 7,5 km in der Stadt, 11,5 km über Land und 7 km auf einer Autobahn gefahren. Auf den ersten Kilometern in der Stadt sollen

die Probanden das Fahrzeug zunächst kennen lernen und dann die ersten Manöver absolvieren. Beim Vergleich hochmotorisierter Fahrzeuge werden verschiedene Parkplätze und Haltemöglichkeiten angefahren, sodass Gelegenheit zum zeitnahen Ausfüllen des Fragebogens nach den Manövern besteht.

5.3.3. Manöver

Die Probanden werden angewiesen, verschiedene Manöver durchzuführen und anhand des semantischen Differentials so schnell wie möglich zu bewerten. Diese sind bei beiden Versuchsteilen identisch (in Klammern, die Bezeichnung der Manöver, welche bei den Abbildungen im Ergebnisteil verwendet werden):

Motorstart (Starten): Starten des Fahrzeugs am Parkplatz in einer Tiefgarage. Die Probanden werden vorab über die Vorgehensweise zum Starten des Fahrzeugs (insbesondere bei den Elektrofahrzeugen relevant) aufgeklärt und führen das Manöver bei geschlossenen Fenstern selbstständig durch.

Ansprechverhalten bei circa 50 km/h (Ansprechverhalten): Reaktion des Fahrzeugs auf moderate bis starke Fahrpedaleingaben. Das Manöver wird vorzugsweise in der Stadt mehrmals durchgeführt. Je nach Stärke der Pedaleingabe besteht die Möglichkeit, dass die Verbrennerfahrzeuge zunächst ein bis zwei Gänge zurück schalten.

Teillastbeschleunigung aus dem Stand bis 50 km/h (TL_0-50): Moderates Beschleunigen vom Stillstand bis 50km/h. Dieses Manöver entspricht dem normalen Wegbeschleunigen von einer Ampel, die gerade auf Grün geschaltet wurde. Anzumerken ist, dass keines der Verbrennerfahrzeuge über eine Motor-Start-Stopp Automatik verfügte und somit beim Anhalten im Leerlauf weiterläuft.

Teillastbeschleunigung von 30-60 km/h (TL_30-60): Moderates Beschleunigen, welches beispielsweise nach dem Abbiegen in der Stadt oder dem Überholen eines langsamen, vorausfahrenden Fahrzeuges auf einer zweispurigen innerstädtischen Straße auftritt. Dieses Manöver wird ebenfalls im urbanen Raum durchgeführt.

Volllastbeschleunigung von 80-120 km/h auf einer Autobahn (VL_80-120): Beschleunigung unter Volllast, welches einem Überholmanöver auf der Autobahn nachempfunden ist. Die Fahrzeuge werden zunächst auf 80 km/h beschleunigt und die Geschwindigkeit für ein paar Sekunden konstant gehalten. Dann wird das Manöver durch möglichst schnelles und kräftiges Durchdrücken des Fahrpedals eingeleitet und die Fahrzeugreaktion beurteilt. Das BMW E92 Coupé schaltet bei diesem Manöver vom achten in den dritten Gang und bei 115km/h in den vierten Gang. Das 120iA Coupé schaltet zunächst vom sechsten in den dritten Gang zurück und dreht diesen Gang dann aus. Die Elektrofahrzeuge beschleunigen im festen Gang, befinden sich jedoch schon im Bereich nach der Eckdrehzahl, was eine sich verringernde Beschleunigung bei steigender Geschwindigkeit zur Folge hat, siehe Abbildung 5-1 und Abbildung 5-3.

Konstantfahrt mit 100 km/h (Konstant_100): Die Probanden fahren konstant mit 100 km/h und achten hier besonders auf die Anforderungen zum Halten der Geschwindigkeit und der Geräuschkulisse.

Vollastbeschleunigung von 0-100 km/h (VL_0-100): Dieses Manöver ist das einzige, welches die Probanden an einem bestimmten Streckenabschnitt durchführen sollen. Es wird auf einem sehr ruhigen, breiten, übersichtlichen und langem, geraden Streckenabschnitt auf einer nicht beschränkten Landstraße durchgeführt. Zunächst wird eine Parkbucht angefahren, um nachfolgenden Verkehr weder zu behindern noch zu gefährden. Nach dem Passieren eventueller Folgefahrzeuge, wird langsam auf die Straße zurückgerollt und das Fahrzeug zum Stillstand gebracht. Danach wird das Manöver durch schnelles und kräftiges Durchdrücken des Fahrpedals eingeleitet. Die Probanden werden vor Beginn des Manövers angewiesen, dieses nur durchzuführen, wenn sie sich in der Lage fühlen, das Fahrzeug während des Manövers zu beherrschen und ihre eigene Sicherheit sowie die der anderen Verkehrsteilnehmer nicht gefährdet ist. Es wird explizit darauf hingewiesen, dass das Manöver jederzeit durch Loslassen des Fahrpedals abgebrochen werden kann.

Rekuperation (nur bei den Elektrofahrzeugen) (*Rekuperation*): Reaktion des Fahrzeugs auf Verringerung des Fahrpedalwinkels bis hin zum Loslassen bei circa 50 km/h. Beurteilt wird die Fahrzeugreaktion bis circa fünf Sekunden nach Loslassen des Fahrpedals.

5.3.4. Probandenkollektive der beiden Versuchsteile

Am Versuch des **Vergleichs hochmotorisierter Fahrzeuge** nahmen 26 Personen (darunter sieben Frauen) mit einem Durchschnittsalter von 33 Jahren teil. Die jährliche Fahrleistung variiert von 2.000 km bis 30.000 km und beträgt durchschnittlich 15.800 km. Elf Probanden fuhren bereits, meist kurz (unter einer Stunde), ein elektrifiziertes Fahrzeug, dreizehn Personen haben keinerlei Erfahrungen mit Elektrofahrzeugen. Aufgrund der Verwendung von Versuchsfahrzeugen und den dadurch bedingten Anforderungen versicherungstechnischer Natur, mussten die Probanden Mitarbeiter der BMW Group sein und eine interne Fahrausbildung, die einem Fahrsicherheitstraining ähnelt, im Vorfeld absolviert haben. Die Probandenakquise erfolgte durch Einladungsmails an entwicklungsferne Ressorts und Entwicklungsressorts, die keine Schnittmenge mit der Antriebsentwicklung haben. Vor Zusage wurden die potenziellen Probanden telefonisch interviewt und zu ihrer Erfahrung in Bezug auf Elektromobilität befragt. Wenn die jeweilige Person wenig Erfahrung in Form von Fahrten mit Elektrofahrzeugen und wenig Bezug zu Elektromobilitätsthemen im Arbeitsumfeld aufwies, wurde eine Zusage gegeben. Durch dieses Vorgehen sollte sichergestellt werden, dass Expertenwissen im Bereich der Antriebstechnik und der Elektromobilität möglichst ausgeschlossen wird.

Beim Versuch des **Vergleichs durchschnittlich motorisierter Fahrzeuge** nahmen 30 Personen (darunter neun Frauen) teil. Das durchschnittliche Alter der Probanden lag bei 31,4 Jahren. Die jährliche Fahrleistung liegt bei circa 16.000 km, diese variiert allerdings von 800 bis 40.000 km. Vier Fahrer fuhren das erste Mal ein elektrifiziertes Fahrzeug.

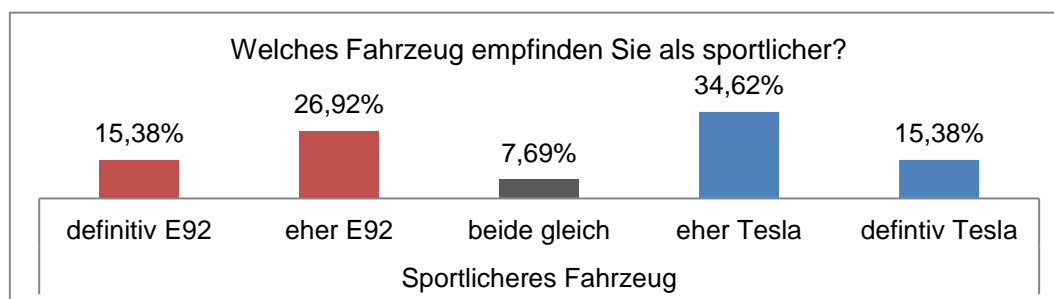
Die beiden Probandenkollektive werden nachfolgend bei der gesamthaften Diskussion des Versuchs als vergleichbar angesehen, da die demografischen Daten sehr ähnlich sind und circa 70% der Teilnehmer des jeweiligen Versuchsteils an beiden Einzelversuchen teilgenommen haben.

5.4. Ergebnisse des Vergleichs hoch motorisierter Antriebe

Um einen ersten Überblick über die Ergebnisse zu gelangen werden zunächst die Ergebnisse des Abschlussfragebogens dargelegt. Danach werden die Ergebnisse der einzelnen Fahrmanöver vorgestellt, gruppenspezifische Unterschiede erläutert und zuletzt die subjektiven Äußerungen der Probanden während des Versuchs wiedergegeben.

5.4.1. Erwartungen der Probanden und Ergebnisse des Abschlussfragebogens

Die Probanden werden dazu befragt, welches Fahrzeug sie insgesamt als sportlicher empfunden haben. Als Ergebnis zeigen sich zwei in etwa gleich große Gruppen, die jeweils ein Fahrzeug favorisieren, siehe Abbildung 5-5. Lediglich zwei Personen empfinden beide Fahrzeuge als gleich sportlich. Dieses Ergebnis bleibt auch in der Nachbefragung im Kern erhalten. In einer offenen Frage werden die Probanden gebeten, ihre Wahl kurz zu begründen. Wenn das E92 Coupé als sportlicher gewählt wird, werden vor allem der Motorsound (elf Nennungen) und das Getriebe (sechs Nennungen) erwähnt. Außerdem je zweimal, dass man sich „sicherer fühlt“ und zweimal werden die „wechselnden Kräfte und Vibrationen“, die durch die Motorcharakteristik und das Achtganggetriebe hervorgerufen werden, genannt. Anders verhält es sich mit den Probanden, die den Tesla Roadster S als sportlicher empfinden. Diese Wahl begründen elf Personen mit dem direkten Ansprechverhalten und sechs nennen das Beschleunigungsvermögen. Drei Personen wählten den Tesla als sportlicher, empfanden den „Sound der E-Maschine“ aber als „störend“. Zwei Personen nannten die „Leistungsabgabe sehr harmonisch“ und ebenfalls zwei bezeichneten das Fahrzeug als „besser kontrollierbar“.



Ergebnis der Nachbefragung (N=24):

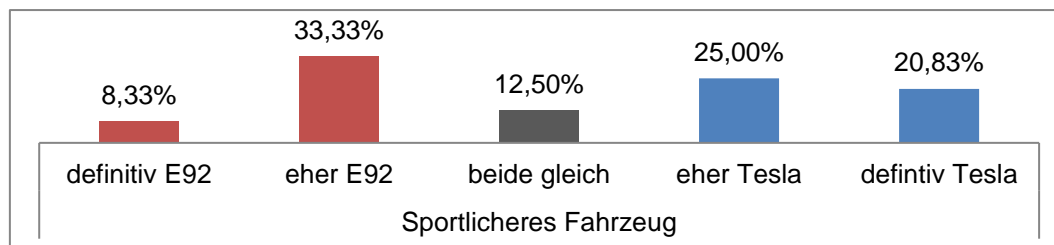
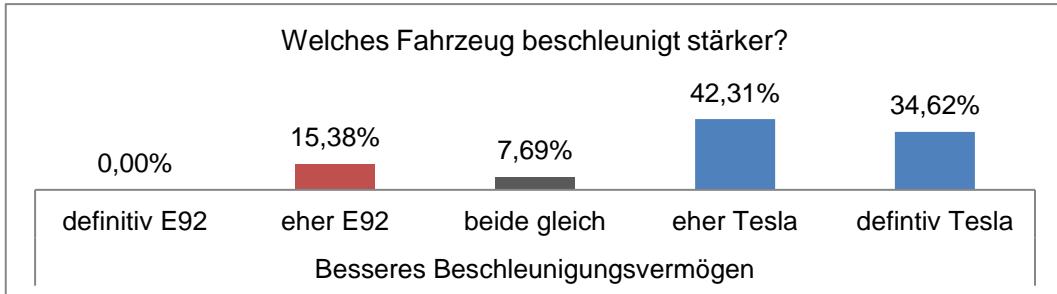


Abbildung 5-5: Beurteilung des Dynamikempfinden der Versuchsfahrzeuge; (N=26)

Die anschließende Frage, welches Fahrzeug stärker beschleunigt, beantwortet eine Mehrzahl von zwanzig Personen eindeutig: der Tesla Roadster, siehe Abbildung 5-6. In Anbetracht der ähnlichen Leistungswerte, siehe Tabelle 5-2 und den ähnlichen maximalen

Beschleunigungswerten bis 120 km/h, siehe Abbildung 5-1, erscheint dieses Ergebnis zunächst ungewöhnlich und wird später diskutiert. In der Erinnerung der Probanden zeigt sich, dass die ursprüngliche Meinung leicht verschwimmt und eine leichte Tendenz zu mittleren Bewertung stattfindet. So empfinden nun knapp 30% der Versuchsteilnehmer, dass beide Fahrzeuge gleich gut beschleunigen. Jedoch ist immer noch die Hälfte der Probanden der Meinung, dass der Tesla Roadster S stärker beschleunige.



Ergebnis der Nachbefragung (N=24):

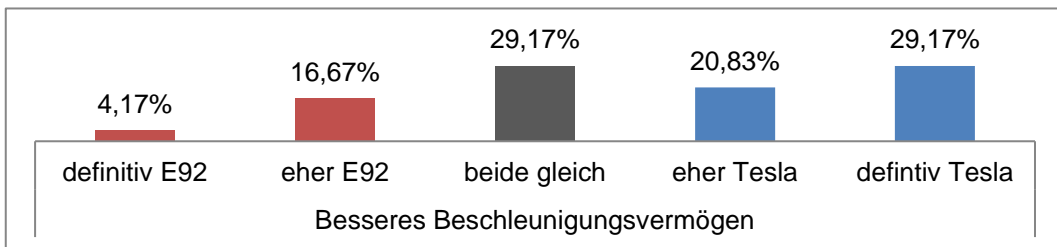
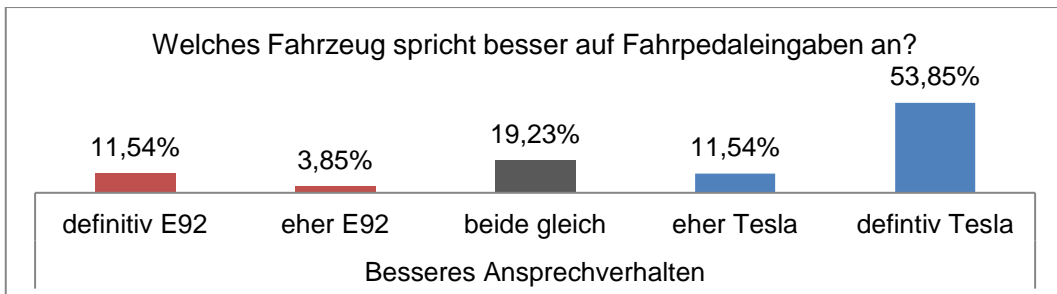


Abbildung 5-6: Beurteilung des Beschleunigungsvermögens der Versuchsfahrzeuge; (N=26)



Ergebnis der Nachbefragung:

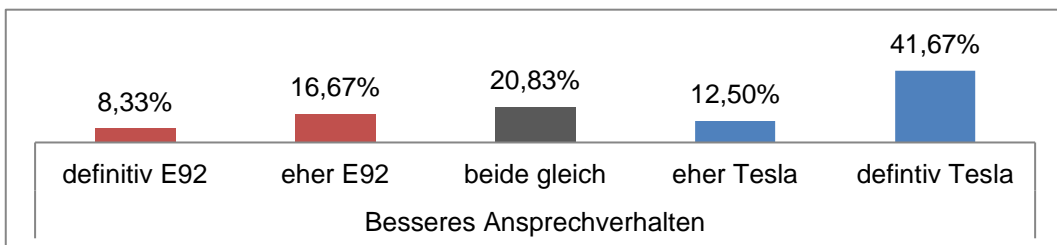


Abbildung 5-7: Beurteilung des Ansprechverhaltens der Versuchsfahrzeuge; (N=26)

Ein ebenfalls klares Votum für den Tesla Roadster ergibt sich auf die Frage, welches Fahrzeug besser auf Fahrpedaleingaben reagiert. Hier favorisieren siebzehn Personen den Tesla Roadster, wohingegen sich vier Personen für das E92 Coupé aussprechen und fünf Personen das Ansprechverhalten als vergleichbar einschätzen, siehe Abbildung 5-7.

Dieses Ergebnis entspricht den objektiven Messungen und wird ebenfalls später genauer diskutiert. In der Nachbefragung findet abermals ein leichter Trend in Richtung Mittelwerte und Verbrenner statt.

Die Probanden werden gebeten, verschiedene Antriebseigenschaften, die einen Beitrag zu sportlichen Antrieben bilden können, auf einer Skala von 1-5 zu bewerten. Eine Bewertung von „1“ bedeutet hierbei, dass das Item gar nicht zur Sportlichkeit beiträgt, wohingegen eine „5“ einen sehr starken Beitrag zur Sportlichkeit darstellt. Aufgrund der Unterschiede in den derzeitigen Ausprägungen von verbrennungsmotorischen und elektrischen Antrieben wurden teilweise verschiedene Items ausgewählt. Die Bewertungskriterien wurden in Abstimmung mit Experten der Antriebsentwicklung bestimmt. Einen antriebsbezogenen Überblick der Items in absoluter Reihenfolge zeigen Abbildung 10-1 und Abbildung 10-2, die im Anhang enthalten sind.

Sportliche Eigenschaften eines Verbrenners sind demnach vor allem eine direkte Gasannahme, ein sportlicher Motorsound, eine starke maximale Beschleunigung, ein gutes Beschleunigungsvermögen in allen Gängen und darüber hinaus ein konstant starkes Beschleunigen in einem einzelnen Gang. Eigenschaften, die nicht oder nur wenig zu einem sportlichen Antrieb bei Verbrennern beitragen, sind ein großer Drehzahlmesser, spürbare Schaltungen, automatische Schaltungen und ein rauer, ruppiger Motor mit Vibrationen.

Auf Seiten der elektrischen Sportantriebe tragen laut Meinung der befragten Probanden ebenfalls vor allem eine direkte Gasannahme, eine starke maximale Beschleunigung, sowie eine konstante starke Beschleunigung zum dynamisch-agilen Antrieb bei. Ein elektrischer Motorsound wird ebenfalls eher gewünscht. Einen geringen Beitrag liefern spürbare Schaltungen (falls ein mehrstufiges Getriebe im Fahrzeug verbaut ist), ein Pendant zum Drehzahlmesser und ein mehrstufiges Getriebe, das Beschleunigungswechsel ermöglichen würde. Die Frage, ob in sportlichen Elektrofahrzeugen ein Getriebe verbaut werden solle, beantworteten zwanzig Probanden mit „nein“ und fünf mit „ja“.

Auf die Frage, ob hoch motorisierte Elektrofahrzeuge zusätzlich zum vorhandenen Geräusch des Elektromotors eine Soundinszenierung zur Unterstreichung der Beschleunigung bekommen sollen, antworten neunzehn Probanden mit „ja“ und sieben mit „nein“. Genauer wird dieses Ergebnis in der Betrachtung der gruppenspezifischen Unterschiede betrachtet.

5.4.2. Deskriptive Auswertung und Mittelwertvergleich

Die Mittelwerte mit den Standardabweichungen für Valenz und Anregung während den einzelnen Manövern zeigt Abbildung 5-8 und Abbildung 5-9. Eine gesamthafte Auswertung zu signifikanten Unterschieden in der Bewertung der einzelnen Adjektivpaare ist in Tabelle 10-1 zu finden, die im Anhang aufgeführt ist. Bei den Manövern wird das Starten des Verbrenners als emotional signifikant positiver erlebt (Starten-Valenz: $t(25)=6,455$; $p<0,0001$). Die Konstantfahrt mit 100 km/h wird ebenfalls im E92 Coupé als angenehmer empfunden, dies jedoch nur tendenziell (Konstantfahrt-Valenz: $t(25)=1,816$; $p=0,081$). Das Ansprechverhalten auf die Fahrpedaleingabe wird dagegen im Tesla

Roadster S signifikant positiver erlebt (Ansprechverhalten-Valenz: $t(23)=2,691$; $p=0,013$). Bei den Vollastmanövern zeigen sich bei der emotionalen Bewertung keine signifikanten Unterschiede.

Bei der Bewertung der Anregung zeigen sich zwei signifikante Unterschiede. Das Startmanöver wird im Verbrenner als signifikant anregender empfunden (Starten-Anregung: $t(25)=3,830$; $p=0,001$). Einen weiteren signifikanten Unterschied gibt es beim Ansprechverhalten. Hier wird, im Gegensatz zu oben, das E92 Coupé als signifikant anregender empfunden (Vollast 80-120 km/h: $t(24)=2,549$; $p=0,018$).

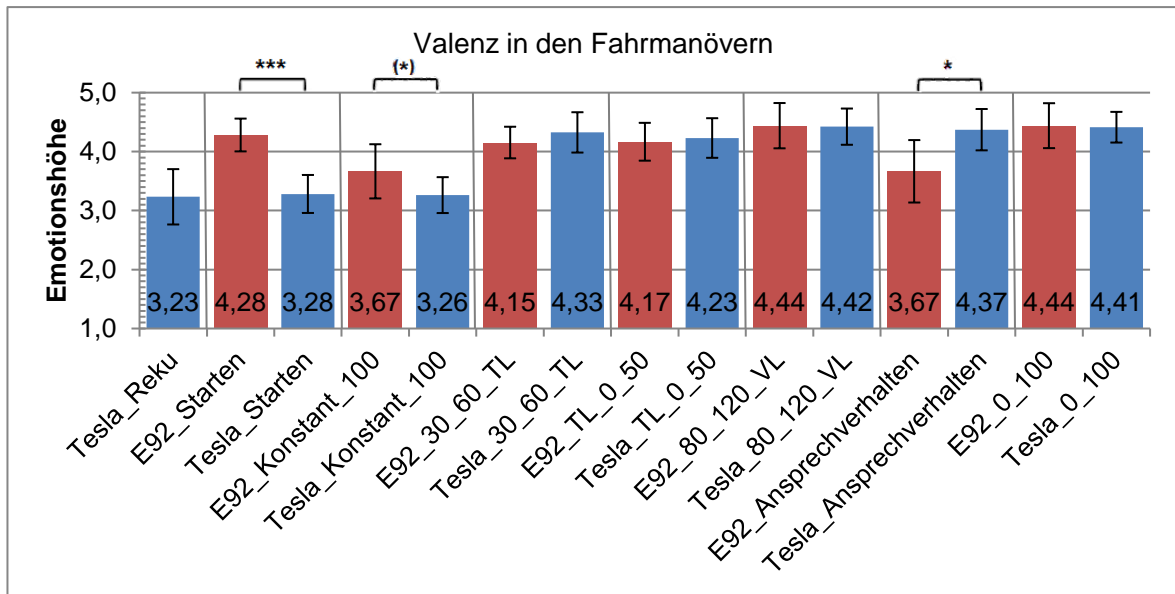


Abbildung 5-8: Auswertung der Valenz nach Fahrmanövern mit Angabe der Standardabweichung; (N=26); Ordinate: 1...sehr / 2...eher –unzufrieden, –unglücklich, –genervt; 3...weder noch; 4...eher / 5...sehr –zufrieden, –glücklich, –erfreut; Signifikanzniveaus: (*) $p < .1$ * $p < .05$ ** $p < .01$ *** $p < .001$

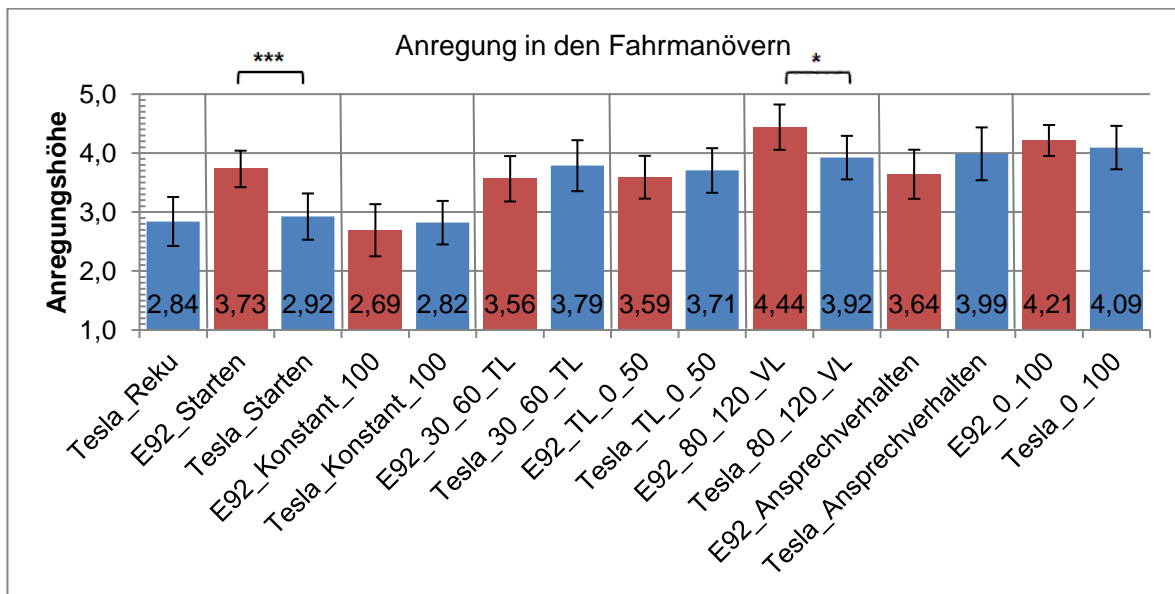


Abbildung 5-9: Auswertung der Anregung in den Fahrmanövern mit Angabe der Standardabweichung; (N=26); (Ordinate: 1...sehr / 2...eher –träge, –nicht angeregt, –entspannt; 3...weder noch; 4...eher / 5...sehr –rasend, –angeregt, –stimuliert)

Nach der Fahrt werden die Probanden gebeten, anhand des PANAS Fragebogens eine subjektive Einschätzung zu Ihrer Positiven und Negativen Aktivierung abzugeben. Diese verharren meist auf einem ähnlichen Niveau und zeigt gesamthaft eine erhebliche Positive Aktivierung sowie sehr geringe Negative Aktivierung, siehe Abbildung 5-10. Die einzige Tendenz besteht in der Bewertung der Ängstlichkeit während der Fahrt (Ängstlich: $t(20)=2,034$; $p=0,055$). Hier ist der Mittelwert bei der Bewertung des Tesla Roadster S höher. Allerdings verharren, trotz des gefundenen Unterschieds, beide mittleren Bewertungen auf einem sehr niedrigen Niveau.

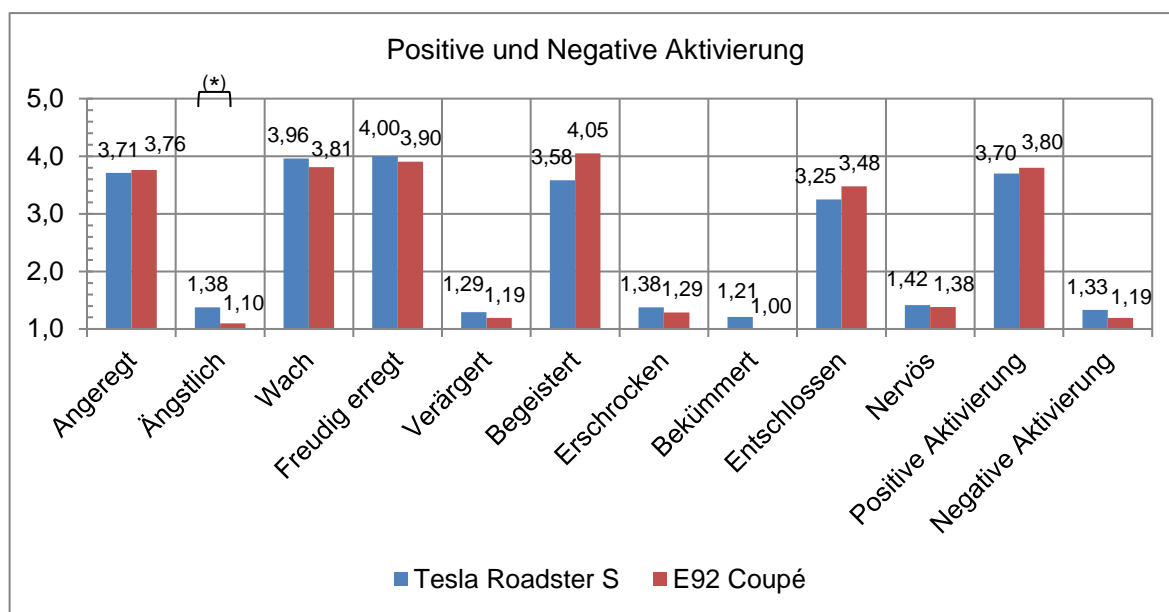


Abbildung 5-10: Auswertung der PANAS-Items; (N=26); (Bedeutungen der Zahlenwerte der Ordinate: 1...gar nicht oder ganz wenig; 2...ein bisschen; 3...einigermaßen; 4...erheblich; 5...äußerst); Signifikanzniveaus: * $p < .05$ ** $p < .01$ *** $p < .001$

5.4.3. Gruppenspezifische Auswertung - Diskriminanzanalyse

Zur Ermittlung von Gruppenunterschieden in der Bewertung der einzelnen Manöver und der PANAS-Items eignet sich als multivariates statistisches Verfahren die Diskriminanzanalyse. Gemäß Backhaus (2011) ermöglicht sie die Unterschiedlichkeit von zwei oder mehreren Gruppen hinsichtlich einer Mehrzahl von Variablen zu untersuchen.

Im vorliegenden Fall wurde im Abschlussfragebogen gefragt, welches Fahrzeug subjektiv als sportlicher empfunden wird, siehe Abbildung 5-5 auf Seite 78. Als Ergebnis zeigen sich zwei ungefähr gleich große Gruppen, die entweder den Tesla Roadster S oder das E92 Coupé als sportlicher beurteilt haben. So wird eine Gruppe definiert, die das sportliche E-Fahrzeug präferiert (*Tesla-Gruppe*) und eine, die den sportlichen Verbrenner vorzieht (*E92 Gruppe*). Lediglich zwei Probanden schätzen die Fahrzeuge als vergleichbar sportlich ein; diese wurden nicht in die Bewertung mit aufgenommen. Auf Basis der Bewertungen dieser beiden Gruppen wurde die Diskriminanzanalyse mit den einzelnen Bewertungen zur Valenz und Anregung der unterschiedlichen Fahrmanöver und den PANAS-Kriterien durchgeführt. Einen Überblick über signifikante und annähernd signifikante Unterschiede gibt Tabelle 5-5.

Statistische Unterschiede zeigen sich in zehn Bewertungen des Tesla Roadster (drei in verschiedenen Manövern und drei in verschiedenen PANAS-Kriterien) und drei Bewertungen unterschiedlicher Manöver des Verbrenners (wobei nur eine Bewertung unterhalb des 0,05 Signifikanzniveau liegt und die beiden anderen knapp oberhalb liegen und somit als Tendenzen angesehen werden). Die häufigsten Unterschiede zeigen sich in der Bewertung des Tesla Roadster S. Die E92-Gruppe beurteilt die Anregung während dem Manöver Ansprechverhalten im Tesla signifikant niedriger als die Tesla Gruppe. Auch in der Bewertung der Teillastbeschleunigung von 30 bis 60 km/h zeigen sich Unterschiede. Die Tesla Gruppe fühlt sich während des Manövers im Tesla Roadster S zufriedener und glücklicher als die E92 Coupé Gruppe. Auch die Konstantfahrt des Elektrofahrzeugs wird von den Gruppen unterschiedlich bewertet. Die Tesla Gruppe fühlt sich im Roadster signifikant glücklicher während dieses Manövers. Bei der Bewertung der Positiven und Negativen Aktivierung gibt es ebenfalls Unterschiede. Die Gruppe, die den Verbrenner vorzieht, fühlt sich im Tesla tendenziell ängstlicher – dafür fühlt sich diese Gruppe im E92 Coupé tendenziell mehr freudig erregt und begeistert als die Tesla Gruppe.

Tabelle 5-5: Ergebnisse der Diskriminanzanalyse; (N=26)

Manöver / PANAS-Item	Statistiken			E92 Gruppe		Tesla Gruppe		Gesamt	
	Wilks- λ	F	Sig.	MW	SD	MW	SD	MW	SD
Tesla_Ansprechv_unglücklich_glücklich	,74	3,81	,077	4,00	0,53	4,60	0,55	4,23	0,60
Tesla_Ansprechv_träge_rasend	,66	5,69	,036	3,50	0,76	4,60	0,89	3,92	0,95
Tesla_Ansprechv_nicht_angeregt_angeregt	,63	6,34	,029	3,63	0,74	4,60	0,55	4,00	0,82
Tesla_Ansprechv_entspannt_stimuliert	,63	6,52	,027	2,88	1,13	4,40	0,89	3,46	1,27
Tesla_Ansprechv_Anregung	,60	7,37	,020	3,34	0,80	4,53	0,73	3,97	0,96
Tesla_30_60_TL_unzufrieden_zufrieden	,61	7,05	,022	4,38	0,52	5,00	0,00	4,62	0,51
Tesla_30_60_TL_unglücklich_glücklich	,78	3,04	,109	3,75	0,71	4,40	0,55	4,00	0,71
Tesla_30_60_TL_Valenz	,72	4,35	,061	4,04	0,52	4,60	0,37	4,32	0,53
Tesla_Konstant_100_unglücklich_glücklich	,55	9,01	,012	3,13	0,35	4,00	0,71	3,46	0,66
Tesla_Konstant_100_entspannt_stimuliert	,77	3,35	,094	2,13	0,83	3,20	1,30	2,54	1,13
Tesla_Konstant_100_Valenz	,76	3,50	,088	3,08	0,43	3,80	0,96	3,36	0,74
Tesla_Ängstlich	,76	3,41	,092	1,63	0,74	1,00	0,00	1,38	0,65
E92_Freudig_erregt	,75	3,62	,083	4,25	0,89	3,20	1,10	3,90	1,07
E92_Begeistert	,76	3,55	,086	4,38	0,74	3,40	1,14	4,05	1,00

Die Frage zum Wunsch nach Motorsound bei sportlichen elektrischen Fahrzeugen wird, wie in Abbildung 5 11 gezeigt, beantwortet. 72% der Gesamtstichprobe wünscht sich Motorsound. Ein noch differenzierteres Bild ergibt sich, wenn die beiden Gruppen einzeln untersucht werden. Die Gruppe, die das E92 Coupé als sportlicher bezeichnet, ist sich uneins, ob ein Elektrofahrzeug einen Motorsound haben sollte (sechsmal „ja“ zu fünfmal „nein“). Einen eindeutigen Wunsch nach Motorsound liefert die Auswertung der Gruppe, die das Elektrofahrzeug als sportlicher empfindet. Hier wünscht sich die breite Mehrheit Motorsound (elfmal „ja“ zu zweimal „nein“). In der darauffolgenden Frage wird erhoben, von welcher Art ein solcher Motorsound für sportliche Elektrofahrzeuge sein sollte. Zwölf Probanden wünschen sich einen neuartigen Motorsound, vier bezeichnen den vorhandenen Sound als gut und drei wünschen eine Optimierung des vorhandenen

Geräuschs der E-Maschine. Von den zwölf Versuchspersonen, die sich ein neuartiges Motorgeräusch wünschen, fällt die Beschreibung dessen, wie dieser sich anhören könnte, wie folgt aus. Sieben Personen wünschen sich den Klang eines V8 oder 6-Zylinder Ottomotors, was einen Widerspruch zum ursprünglichem Wunsch nach etwas Neuem darstellt. Zwei Personen wünschen sich einen „Turbinensound“ und ebenfalls zwei wollen kein simuliertes Verbrennergeräusch. Wiederum zwei Personen wünschen, dass ein Geräusch nur beim Beschleunigen moderat zugespielt wird. Die restlichen Nennungen sind heterogen, was eine kleine Auswahl zeigt: „potent“, „Nebengeräusche sollten überdeckt werden“, „sportlich“, „dynamisch“, „sollte Schaltvorgänge simulieren“.

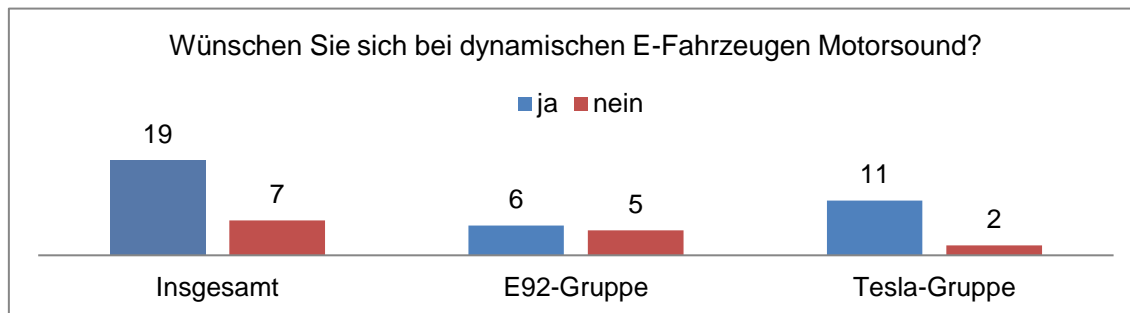


Abbildung 5-11: Wunsch nach Motorsound bei dynamischen E-Fahrzeugen¹¹; (N=26)

5.4.4. Ergebnisse der subjektiven Äußerungen und der erinnerten Erlebnisse

Nach jedem Manöver besteht für die Probanden die Möglichkeit, neben der Beantwortung des semantischen Differenzials, auch Auffälligkeiten und Begründungen zu notieren. Somit lassen sich die quantitativen Daten leichter interpretieren und anschließend diskutieren. In Tabelle 5-6 werden die wichtigsten Nennungen aufgeführt. Eine detaillierte Beschreibung der Äußerungen findet sich im Anhang ab Seite 164. Dort werden jeweils alle Nennungen beschrieben, die mindestens zweimal von unterschiedlichen Probanden geäußert wurden.

Auswertung der Manöverbefragung während der Fahrten

Tabelle 5-6: Subjektive Äußerungen zu den Manövern der Fahrten mit hochmotorisiertem Antrieb (Anzahl der Nennungen in Klammern)

Manöver	Tesla Roadster	BMW E92 335i Sport
Starten des Fahrzeugs	akustische Rückmeldung über Fahrbereitschaft fehlt (9)	sportlicher Klang erfreut (11)
Ansprechverhalten bei 50 km/h	sehr / extrem direkt (9) Fahrzeugreaktion zu „grob“ (4)	verzögerte Fahrzeugreaktion (6) guter Motorsound (2)
Teillastbeschleunigung 30-60 km/h	durchgängige Beschleunigung (10)	verzögerte Reaktion (4) guter Motorsound (2)

¹¹ Zwei Probanden beurteilten beide Fahrzeuge als „gleich dynamisch“ und konnten nicht einer der Gruppen zugeordnet werden. Da sich die beiden Probanden Motorsound für ein dynamisches E-Fahrzeug wünschen, geht ihre Bewertung in die Darstellung der Gesamtstichprobe mit ein.

Teillastbeschleunigung 0-50 km/h	flink / zügig (4)	Gangwechsel spürbar (3)
Konstantfahrt mit 100 km/h	Einfluss der Rekuperation störend / schwer zu kontrollieren (5)	angenehm, ruhig, komfortabel (5)
Volllast 80-120 km/h	guter Durchzug (6) gutes Ansprechverhalten (6)	tolles Motorgeräusch (7) Rückschaltung verzögert (6) guter Durchzug (5)
Volllast 0-100 km/h	starke Beschleunigung (6) ohne Motorsound wird die Beschleunigung nicht so stark erlebt (3)	tolles Motorgeräusch (5) starke Beschleunigung (4) positive Emotionen (4)

Auswertung der Nachbefragung

Im Rahmen der Nachbefragung wurde den Probanden ein kurzer Fragebogen zugesandt. Dabei wurden sie gebeten, die beiden prägnantesten Erlebnisse zu benennen, die sie im Versuch erlebt hatten und an die sie sich noch erinnern konnten. Es gab keine Vorgabe, von welchen Fahrzeugen die Erlebnisse hervorgerufen wurden. An der Nachbefragung nahmen 24 der 26 Probanden teil. Insgesamt wurde der Tesla Roadster S 26-mal als besonders erlebniswirksam beschrieben, siehe Abbildung 10-3 im Anhang auf S. 166. Dabei werden zehnmal Erlebnisse rund um die Beschleunigung des Fahrzeugs erinnert. Diese wird achtmal als „stufenlos“ und zweimal als „enorm spürbar“ beschrieben. Fünf Probanden erwähnen explizit das im Versuch absolvierte Manöver der Volllastbeschleunigung aus dem Stand bis 100 km/h und zwei die Beschleunigung von 80 bis 120 km/h. Das Ansprechverhalten wird fünfmal als besonders erlebnisreich beschrieben und je zweimal der „Sound des Elektromotors“, die „hohe Kontrollierbarkeit“ und die „Rekuperation“.

Beim E92 Coupé wird von insgesamt sechzehn markanten Erlebnissen berichtet, siehe Abbildung 10-4 im Anhang auf Seite 166. Dabei werden elf Erlebnisse rund um den Motorsound genannt. Dieser wird dreimal beim Starten des Fahrzeugs erinnert und zweimal in Kombination mit der Beschleunigung. Darüber hinaus wird viermal die Beschleunigung als erlebnisintensiv beschrieben, davon einmal beim Manöver 0-100 km/h. Der Komfort des Fahrzeugs wird zweimal als Erlebnis erinnert.

5.5. Ergebnisse des Vergleichs durchschnittlich motorisierter Fahrzeuge

Zunächst werden erneut die Ergebnisse des Abschlussfragebogens vorgestellt und dann die Ergebnisse der Manöverbefragungen und anderen Fragebögen dargestellt. Auf eine Diskriminanzanalyse wurde angesichts der geringen Standardabweichungen in den Bewertungen und den eindeutigen Ergebnissen des Abschlussfragebogens verzichtet. Auch aus dem demografischen Fragebogen ließen sich keine eindeutigen Gruppen ableiten.

5.5.1. Erwartungen an Antriebe und Ergebnisse des Abschlussfragebogens

Nach der Fahrt werden die Probanden gefragt, welches Fahrzeug ihrer Meinung nach komfortabler empfunden wurde. Das Ergebnis zeigt eindeutig, dass der elektrische ActiveE als komfortabler empfunden wurde, siehe Abbildung 5-12. Darüber hinaus werden die Probanden, wie im hochmotorisierten Vergleich, dazu befragt, welches Fahrzeug stärker beschleunigt und welches besser auf Fahrpedaleingaben reagiert. Bei beiden Fragen spricht sich der Großteil der Versuchsteilnehmer für den ActiveE aus, siehe Abbildung 5-13 und Abbildung 5-14.

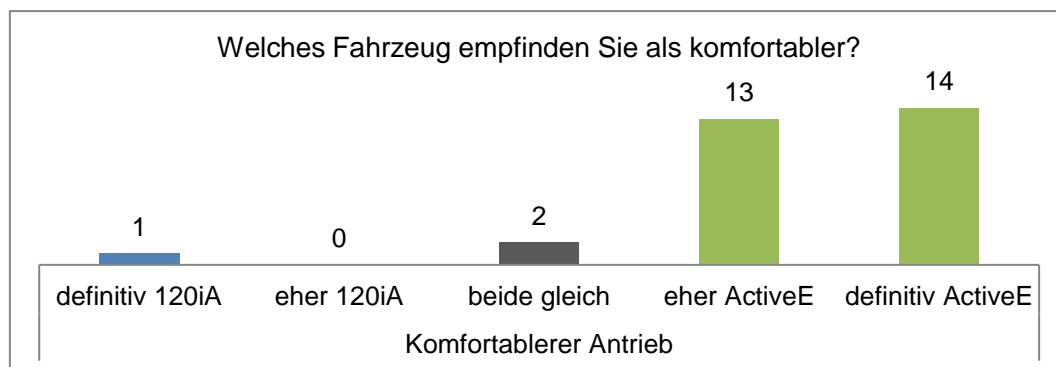


Abbildung 5-12: Beurteilung des Entspannungspotenzials der beiden Fahrzeuge; (N=30)

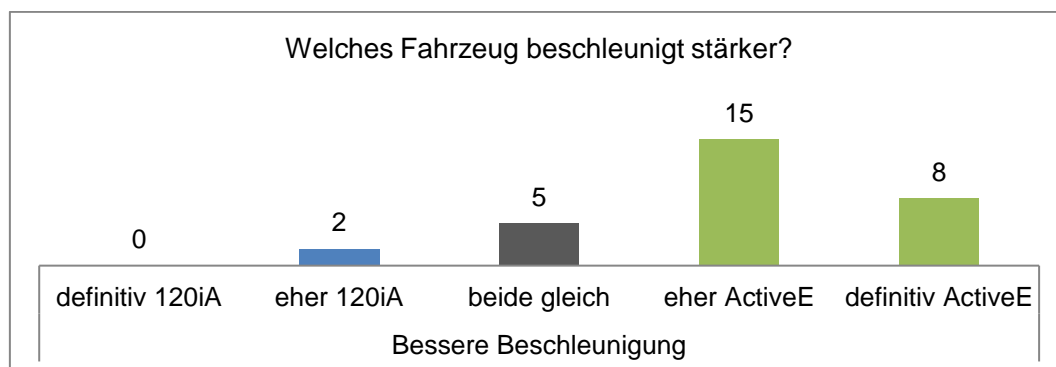


Abbildung 5-13: Beurteilung des Beschleunigungsvermögens der beiden Fahrzeuge; (N=30)

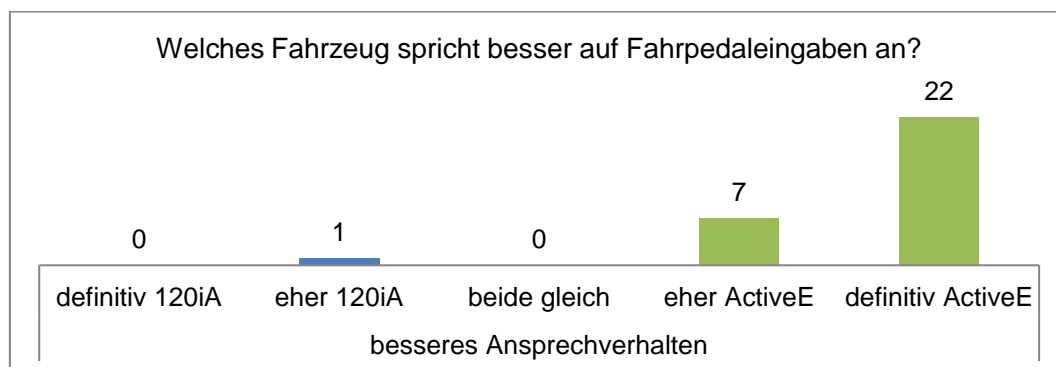


Abbildung 5-14: Beurteilung des Ansprechverhaltens der beiden Fahrzeuge; (N=30)

Um herauszufinden, welche Antriebseigenschaften den Ausschlag für das gerade vorgestellte Votum gegeben haben, wurde in einer zweiten Frage erhoben, welche Antriebseigenschaften einen Beitrag zum komfortablen Fahrzeugcharakter leisten. Dies

wurde anhand von dreizehn vorgegebenen Kategorien ermittelt, siehe Abbildung 10-5, die im Anhang zu finden ist. An erster Stelle wird hier eine gute Kontrollierbarkeit genannt, gefolgt von einer ähnlichen Ausprägung, der guten Dosierbarkeit der vorhandenen Leistung. Weitere starke Einflüsse auf den komfortablen Antriebscharakter sind: gutes Beschleunigungsvermögen in allen Gängen, keine Zugkraftunterbrechungen und ein hohes Beschleunigungsvermögen schon bei niedrigen Drehzahlen sowie Geschwindigkeiten. Für die Probanden tragen zwei Antriebseigenschaften nicht zu einem komfortablen Antriebscharakter bei: eine über die Drehzahl stärker werdende Beschleunigung sowie ein Handschaltgetriebe und die damit verbundenen Zugkraftunterbrechungen.

Die Frage, ob durchschnittlich motorisierte Elektrofahrzeuge mit einem Motorsound ausgestattet werden sollen, wird tendenziell mit „nein“ beantwortet, siehe Abbildung 5-15.

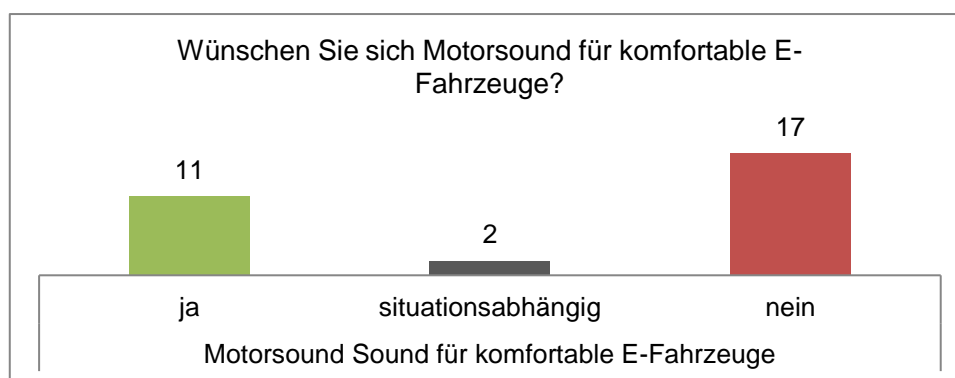


Abbildung 5-15: Wunsch nach Soundinszenierung in durchschnittlich motorisierten Elektrofahrzeugen; (N=30)

5.5.2. Deskriptive Auswertung und Mittelwertvergleich

Die Probanden bewerten jedes Fahrmanöver nach erlebter Valenz und Anregung, die Ergebnisse sind in Abbildung 5-16 und Abbildung 5-17 dargestellt. Einen Überblick über die einzelnen Bewertungen mit signifikanten Unterschieden zeigt Tabelle 10-2, die im Anhang aufgeführt ist. Gemäß den Beschreibungen ergaben sich einige signifikante Unterschiede in den gemittelten Bewertungen der Manöver beider Fahrzeuge. Bei der emotionalen Bewertung der Fahrmanöver zeigt sich nur bei der Bewertung des Startens des Fahrzeugs kein statistisch nachweisbarer Unterschied. Signifikante Unterschiede gibt es jedoch beim Vergleich folgender Manöverbewertungen: Ansprechverhalten: $t(29)=9,958$; $p<0,0001$; Teillast 0-50 km/h: $t(29)=6,451$; $p<0,0001$; Konstantfahrt mit 100 km/h: $t(29)=2,446$; $p=0,021$; Teillast 30-60 km/h: $t(29)=5,030$; $p<0,0001$; Vollastbeschleunigung 0-100 km/h: $t(29)=5,864$; $p<0,0001$; Vollastbeschleunigung 80-120 km/h: $t(29)=5,426$; $p<0,0001$.

Noch eine Anmerkung zur Bewertung der Fahrmanöver des 120iA: Zwischen dem Manöver „Starten des Fahrzeugs“ und jeweils allen Beschleunigungsmanövern besteht ein signifikanter Unterschied: das Starten des Fahrzeugs wird als emotional positiver erlebt, als alle später folgenden Beschleunigungsmanöver.

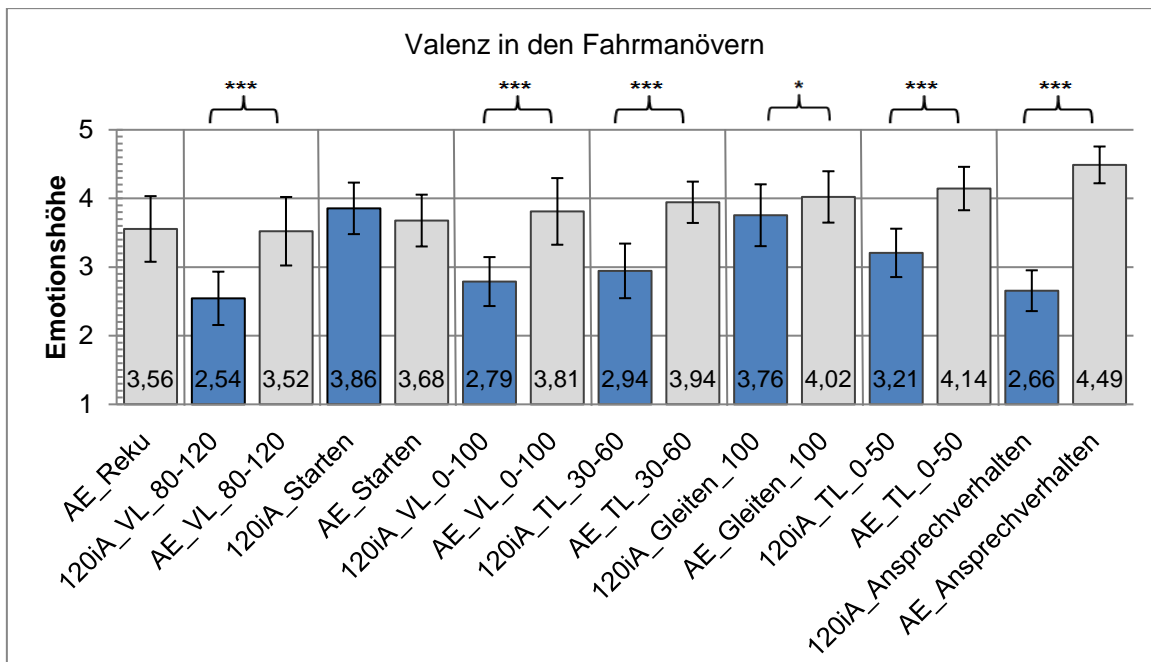


Abbildung 5-16: Ergebnisse der Bewertung der Valenz in den verschiedenen Fahrmanövern beider Versuchsfahrzeuge; (N=29); Ordinate: 1...sehr / 2...eher – unzufrieden, –unglücklich, –genervt; 3...weder noch; 4...eher / 5...sehr –zufrieden, –glücklich, –erfreut; Signifikanzniveaus: * p < .05 ** p < .01 *** p < .001

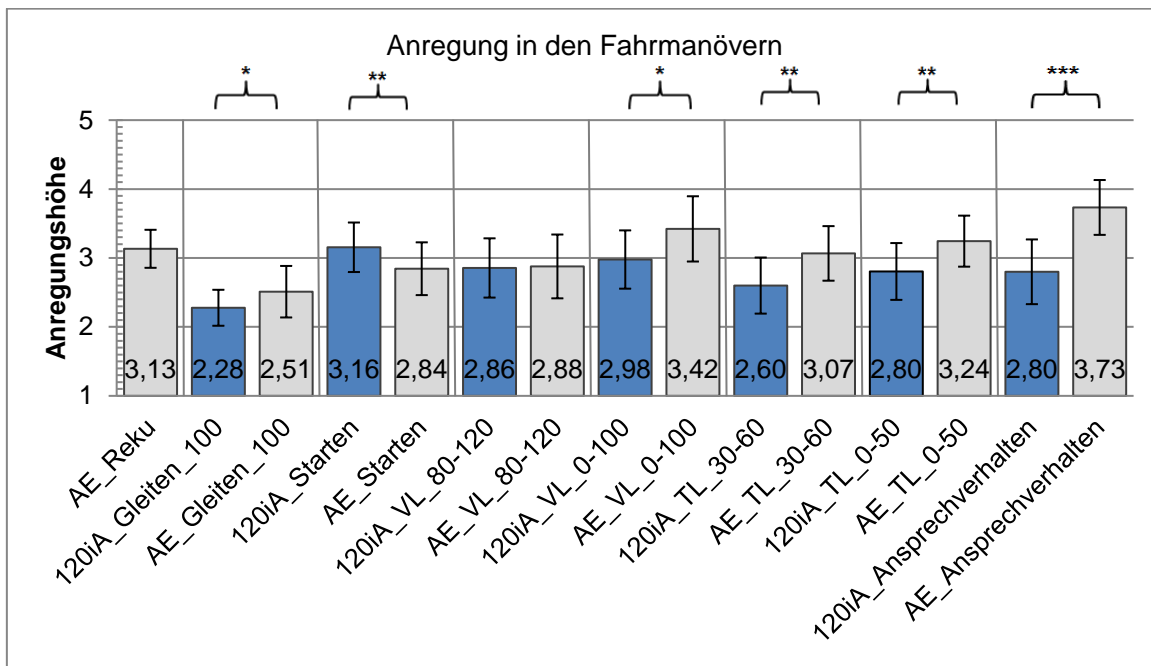


Abbildung 5-17: Ergebnisse der Bewertung der Anregung in den verschiedenen Fahrmanövern der beiden Versuchsfahrzeuge; (N=29); (Ordinate: 1...sehr / 2...eher – träge, –nicht angeregt, –entspannt; 3...weder noch; 4...eher / 5...sehr –rasend, –angeregt, –stimuliert); Signifikanzniveaus: * p < .05 ** p < .01 *** p < 0.001;

Nach der Fahrt wurde den Probanden der PANAS-Fragebogen in Kurzversion vorgelegt. Die Ergebnisse hierzu zeigt Abbildung 5-18. Auch hier ergeben sich viele signifikante Unterschiede, sowohl in den einzelnen Bewertungskriterien als auch gesamthaft (Positive Aktivierung: $t(29)=8,745$; $p<0,0001$; Negative Aktivierung: $t(29)=-3,678$; $p=0,001$). Bei der

Bewertung der Positiven Aktivierung fühlen sich die Probanden im Elektrofahrzeug signifikant angeregter, wacher, freudiger, begeisterter und entschlossener. Die Bewertungen im Einzelnen: angeregt: $t(29)=4,966$; $p<0,0001$; wach: $t(29)=2,538$; $p=0,017$; freudig erregt $t(29)=6,067$; $p<0,0001$; begeistert $t(29)=11,273$ $p<0,0001$; entschlossen $t(29)=3,117$; $p=0,004$. Im 120iA fühlen sich die Probanden hingegen statistisch nachweisbar mehr verärgert und bekümmert als im ActiveE (Verärgert: $t(29)=-5,215$; $p<0,0001$; bekümmert: $t(29)=-3,010$; $p=0,005$). Dabei auffällig ist lediglich das leicht erhöhte Maß an Verärgerung, das von „ganz wenig“ auf „ein bisschen“ steigt.

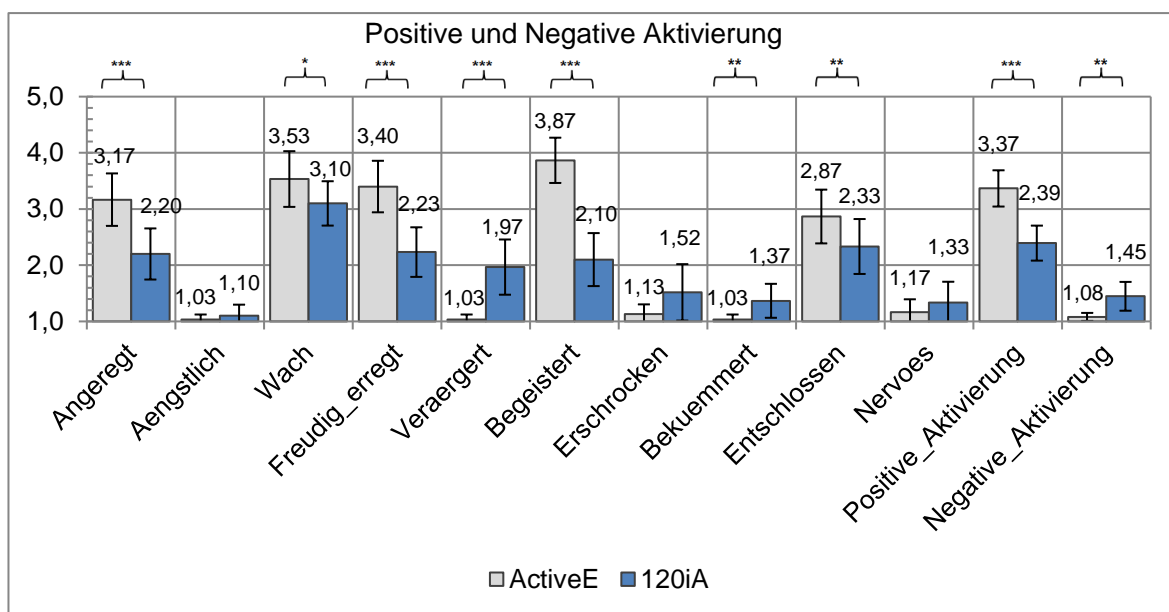


Abbildung 5-18: Auswertung der PANAS-Items; (N=29); (Bedeutungen der Zahlenwerte der Ordinate: 1...gar nicht oder ganz wenig; 2...ein bisschen; 3...einigermaßen; 4...erheblich; 5...äußerst) Signifikanzniveaus: * $p < .05$ ** $p < .01$ *** $p < .001$

5.5.3. Ergebnisse der subjektiven Äußerungen

Nach jedem Manöver besteht für die Probanden die Möglichkeit neben der Beantwortung des semantischen Differenzials auch Auffälligkeiten und Begründungen für die Wahl abzugeben. Diese werden vom Versuchsleiter notiert. Somit lassen sich die quantitativen Daten im Rahmen der Diskussion leichter interpretieren und anschließend diskutieren. Nachfolgend wird in Tabelle 5-7 ein Überblick über die wichtigsten Äußerungen gegeben. Detailliert werden im Anhang ab Seite 168 alle Nennungen beschrieben, die mindestens zweimal von unterschiedlichen Probanden geäußert wurden.

Auswertung der Manöverbefragung während der Fahrten

Tabelle 5-7: Subjektive Äußerungen zu den Manövern der Fahrten mit durchschnittlich motorisiertem Antrieb (Anzahl der Nennungen in Klammern)

Manöver	BMW ActiveE	BMW E82 120iA
Starten des Fahrzeugs	akustisches Feedback fehlt (13)	angenehme, deutliche akustische Rückmeldung (6) Motersound löst Vorfreude aus (2)

VERGLEICH DES EMOTIONALEN ERLEBENS KONVENTIONELLER UND ELEKTRISCHER ANTRIEBE

Ansprechverhalten bei 50 km/h	super, angenehm, gut (13) sehr direkte Reaktion (12)	Fahrzeugreaktion träge (13) Rückschaltung "nervt" (8)
Teillastbeschleunigung 30-60 km/h	gut, kräftig (9) Erwartungen erfüllt (3)	träge Fahrzeugreaktion (6) Rückschaltung "nervt" (5)
Teillastbeschleunigung 0-50 km/h	angenehm, kraftvoll (10) positiv, dass Schaltungen nicht notwendig sind (5)	gut zum "im Verkehr mitschwimmen" (6) Motor zu laut (4)
Konstantfahrt mit 100 km/h	ruhiges Innenraumgeräusch wird gelobt (9) Entspannung wird erlebt (6)	leise (6) gleichwertig zum ActiveE (5)
Volllast 80-120 km/h	Nachlassen der Beschleunigung (7) Erwartungen nicht erfüllt (5) Hochfrequenter Ton der E- Maschine unangenehm (5)	Motorakustik passt nicht zur Beschleunigung (8) Fahrzeug wirkt angestrengt (7) Erwartungen nicht erfüllt (5)
Volllast 0-100 km/h	Beschleunigung lässt ab circa 70 km/h nach (10) im Bereich bis 30 km/h mehr erwartet (6) dynamisch, kraftvoll (4)	Motorakustik passt nicht zur Beschleunigung (8) Fahrzeug wirkt angestrengt (7) zu laut (5)

Auswertung der subjektiven Äußerungen im Vergleichsfragebogen

Nach der Beantwortung der Frage, welches Fahrzeug komfortabler sei (siehe Abbildung 5-12), wird den Probanden eine zweite offene Frage gestellt, in der sie begründen sollen, was am komfortablen Fahrzeug besonders gut umgesetzt ist und was das unkomfortablere Fahrzeug unkomfortabel macht. Die 27 Probanden, die den ActiveE als entspannender bezeichnen begründen dies wie folgt: neunzehnmal wird die „Akustik“ oder das Fahrzeug als „leise“ gelobt, elf Personen heben hervor, dass „keine Schaltungen“ nötig seien oder die Beschleunigung „stufenlos“ geschieht. Zehn Probanden loben das „gute Ansprechverhalten“ und sieben finden das Fahrzeug „gut zu dosieren“ beziehungsweise „einfach zu fahren“. Weitere sieben Fahrer nennen den „guten Durchzug“. Sechs Personen empfinden die Rekuperation oder das „One-Pedal“-Fahren als komfortabel und fünf empfinden die Beschleunigung „gleichmäßig“, den „Drehmomentverlauf ausgeglichen“ oder stellen „keine spürbaren Übergänge beim Beschleunigen“ fest. Zwei Teilnehmer merken an, dass „keine Schwingungen oder Vibrationen“ vorhanden sind. Auf die Frage, was das 120iA Coupé in diesem Vergleich unkomfortabler als das Elektrofahrzeug macht, nennen die 27 Teilnehmer siebzehnmals, dass die Schaltungen entweder „unpassend“, „zu hart“, „nervös“ seien oder „zu lange dauern“. Sechzehn Personen empfinden den „Motorsound unter Last zu laut“ oder gar „gequält“. Vier Fahrer empfinden die Beschleunigung „unregelmäßig“ oder „ruckelig“. Je drei äußern, dass das Fahrzeug „angestrengt wirkt“ und die „Leistung zu wenig“ sei.

5.6. Diskussion

Zunächst werden die Ergebnisse des Vergleichs sportlicher Fahrzeuge diskutiert und dann die des komfortablen Vergleichs. Danach findet eine gesamthafte und vergleichende Diskussion der beiden Versuchsteile statt. Abschließend wird dargelegt, wie die hier ermittelten Ergebnisse als Eingangsgrößen in die beiden nächsten Studien einfließen.

5.6.1. Diskussion des Vergleichs hoch motorisierter Fahrzeuge

Das Manöver „Volllastbeschleunigung 0-100 km/h“ ist gekennzeichnet durch eine hohe Beschleunigung über einen längeren Zeitraum und einem schnellen Beschleunigungsaufbau, so wie es die Abbildung 5-1 auf Seite 69 zeigt. Bei den Beschleunigungen aus Konstantfahrt tritt bei beiden Fahrzeugen ein unterschiedlicher Verlauf der Beschleunigung über der Zeit auf, vergleiche Abbildung 5-2 auf Seite 70. Hier reagiert abermals der Tesla Roadster sehr schnell, aufgrund seines steilen Beschleunigungsgradienten und dem Einganggetriebe, das nicht zurückschalten muss. Das E92 Coupé muss zunächst den Instationärbereich des Beschleunigungsaufbaus überwinden und je nach Geschwindigkeit bis zu drei Gänge zurückschalten. Dadurch und aus den Messdaten ist klar ersichtlich, dass der Tesla Roadster extrem unmittelbar und heftig auf Fahrpedaleingaben reagiert. Dies merken die Probanden auch in der Frage nach der Reaktion auf das Fahrpedal an, bei dem sich zwei Drittel für das Elektrofahrzeug als besser ansprechend entscheiden, siehe Abbildung 5-7 auf Seite 79. Somit erklärt sich auch, warum die Probanden bei der Frage nach sportlichen Attributen des Fahrzeugs und bei vielen Manövern überwiegend das Ansprechverhalten als besonders sportlich angemerkt haben. Allerdings sieht trotzdem circa die Hälfte der Probanden den Antrieb mit aufgeladenem Ottomotor als sportlicher an, was im Widerspruch zu dem großen Wunsch nach direkter Gasannahme steht. Erklärt werden kann dies dadurch, dass der vorhandene Motorsound unbewusst einen größeren Einfluss auf das Erleben der Sportlichkeit hat, als es die Probanden bei den sportlichen Antriebsattributen angegeben haben. Diese Ansicht wird auch unter Betrachtung des vorgestellten kognitiven Emotionsmodells unterstützt. Da beim Erleben der hohen Beschleunigung ein sportlicher Motorsound mit vorhanden ist, ist es wahrscheinlich, dass sich das Kurzzeitgedächtnis im Rahmen der kognitiven Situationsbewertung an ähnliche bereits abgelegte Erlebnis-Codes erinnert. Mögliche Beispiele hierfür sind das Betrachten von Motorsportereignissen oder das Erleben anderer hochpreisiger Sportfahrzeuge mit prägnantem Sound. Es ist davon auszugehen, dass bei vielen Personen im Langzeitgedächtnis folgender Sachverhalt gespeichert ist: „hohe Beschleunigungen gehen mit lauten Motorgeräuschen einher“. Dies gilt sowohl für Fahrzeuge als auch für das Starten eines Flugzeuges. Beide Erlebnisse fanden sich auch im gleichen Erlebniscluster „Beschleunigung“ im Card-Sorting Versuch wider. Eine weitere Theorie zur Erklärung besteht darin, dass sich die annähernd gleich große Maximalbeschleunigung der Fahrzeuge besonders erlebniswirksam darstellt. In weiteren Versuchen soll deswegen abgeklärt werden, ob der Motorsound, die Maximalbeschleunigung oder der Beschleunigungsgradient den größten Einfluss auf das Erleben der Längsdynamik hat.

Weiterhin ist auffallend, dass eine Kopplung zwischen der Höhe von Valenz und Anregung in den Fahrmanövern besteht. Eine Korrelationsanalyse der Zahlenwerte von Anregung und Valenz ergab eine sehr hohe Korrelation von ($r^2=0,803$). Dies spricht dafür, dass die Probanden während des Versuchs vornehmlich Spaß haben wollten und gemäß der Reversaltheorie in einem paratelistischen Zustand waren, siehe Apter (1989).

In allen Manövern – bis auf „Ansprechverhalten“ und „Motorstart“ – werden keine signifikanten Mittelwertunterschiede in der Bewertung von Valenz und Anregung erkannt. Beide Fahrzeuge wirken demnach vergleichbar anregend und lösen ähnlich hohe positive Emotionen während der Fahrt aus. Die Art und Weise, wie dies geschieht, ist allerdings stark vom Konzept abhängig. Der Tesla Roadster ermöglicht dies über die hohe Beschleunigung und den sehr direkten und aggressiven Beschleunigungsgradienten. Das E92 Coupé Sport schafft Erlebnisse über den Motorsound und die hohe Beschleunigung. Diese Einschätzung wird durch die von den Probanden erinnerten Erlebnisse zusätzlich gestützt.

Während des Versuchs zeigte sich, dass Probanden besonders die beiden Vollastmanöver (0-100 km/h und 80-120 km/h), sowie das Ansprechverhalten auf Fahrpedaleingaben teilweise mehrmals durchfahren sind. Auf Rückfrage zu diesem Verhalten gaben die Probanden an, dass sie diese Situation nochmals erleben wollten. Andere erklärten, dass sie sich zunächst an die Leistung der Fahrzeuge herantasten wollten und dann erst bei einem späteren Durchgang das Fahrzeug voll beschleunigten. Das Verhalten der Probanden unterstreicht die Bedeutung der Sensomotorik bei der Fahrer-Fahrzeug Interaktion und stützt die Erweiterung des Emotionsmodells, da sich die Probanden bewusst erneut in eine bestimmte Erlebnissituation begaben.

Der klare Wunsch nach einem Motorsound für Elektrofahrzeuge bei der Gruppe, die den Tesla als sportlicher ansieht, zeigt, dass sportliche Elektrofahrzeuge einen Motorsound besitzen sollten. Allerdings sind die Probanden noch unschlüssig darüber, wie sich ein passendes Geräusch für einen Elektrosportwagen anhören sollte. Wenn sie gebeten werden, ein Zielgeräusch zu skizzieren, ist das entstehende Bild entweder nicht eindeutig, oder es werden alte Attribute von Verbrennungsmotor-Geräuschen genannt, obwohl es einen breiten Wunsch nach „einem neuartigen Sound“ gibt. Dies bietet für die weitere Entwicklung ein großes Potenzial und sollte dahingehend untersucht werden, welche der möglichen Zielgeräuschszenarien am positivsten erlebt werden, siehe Genuit und Fiebig (2011).

Kritisch anzumerken gilt es, dass zwei stark unterschiedliche Fahrzeugkonzepte untersucht wurden. Das Augenmerk lag bei der Auswahl von Fahrzeugen, die auf nahezu gleichem Niveau beschleunigen. Dies hatte jedoch auch zur Folge, dass zwei stark unterschiedliche Fahrzeugkonzepte gewählt werden mussten. So unterscheiden sich die Versuchsfahrzeuge in erster Linie im Design, in der Sitzposition (gewohnt im E92 vs. extrem tief im Tesla), der Ausstattung (gehoben vs. spartanisch) und in den Federungs- und Dämpfungseigenschaften deutlich (moderat bis hart vs. sehr hart). Dem wurde bei der Einweisung in den Versuch dadurch entgegengewirkt, dass die Probanden gebeten wurden, sich nur auf Antriebseigenschaften in ihren Bewertungen zu beziehen.

Aufgrund von Einschränkungen war es nicht möglich, dass ein Versuchsleiter die Probandenfahrt als Beifahrer begleitet. So konnte kein momentanes Erleben aufgenommen werden, die Bewertungen des Probanden erfolgten aus dem Gedächtnis. Deswegen wurden zwei zusätzliche Zwischenstopps auf Parkplätzen während einer Versuchsfahrt angefahren, sodass die Probanden gerade absolvierte Manöver bewerten konnten. Da die Versuchspersonen alleine im Fahrzeug saßen, konnte nicht ermittelt werden, in welcher Form, wann und wie oft sie ein Manöver absolviert haben. Dieses Vorgehen bietet jedoch auch den Vorteil, dass die Versuchspersonen den Versuch unbefangen durchführen konnten.

Eine weitere Einschränkung bestand darin, dass an diesem Versuch, wie auch an allen anderen Fahrversuchen dieser Arbeit, aufgrund von versicherungstechnischen Einschränkungen, nur Mitarbeiter der BMW Group teilnehmen konnten. Deswegen wurden die in Kapitel 5.3 beschriebenen Auswahlkriterien eingefügt. Da ein Versuchsfahrzeug jedoch aus dem eigenen Konzern stammt, können Markeneffekte nicht ausgeschlossen werden.

5.6.2. Diskussion des Vergleichs durchschnittlich motorisierter Fahrzeuge

Die Auswertung des Abschlussfragebogens hat ergeben, dass der Antrieb des elektrischen Fahrzeuges eindeutig als komfortabler empfunden wird. Begründet wird dies durch das fehlende für Verbrenner typische Motorengeräusch im Fahrzeug und außerdem durch das stufenlose Beschleunigen und das gute Ansprechverhalten. So gestaltet sich der ActiveE für die Fahrer als ein einfaches und gut kontrollierbar zu fahrendes Fahrzeug. Die letzte, der von den Probanden genannte Eigenschaft, das gute Ansprechverhalten, spiegelt sich auch in der entsprechenden Frage im Vergleichsfragebogen und in der Manöverbewertung wider. Auf den ersten Blick verwundert dies, da der 120iA einen steileren Beschleunigungsgradienten als der ActiveE besitzt. Dieses Ergebnis lässt die Interpretation zu, dass bei der Bewertung des Ansprechverhaltens nicht nur der Gradient in die Bewertung einfließt, sondern auch die sich dann einstellende Maximalbeschleunigung. Diese ist beim Elektrofahrzeug im Vergleich zum Verbrenner um 50% höher. Ob diese Hypothese zutrifft, muss in einem weiteren Versuch geklärt werden.

Der ActiveE hat im Versuch in den Fahrmanövern durchwegs mittelhohe bis hohe Werte an Valenz ausgelöst, abgesehen vom Motorstart. Die Anregung blieb jedoch auf einem mittleren bis niedrigen Niveau, abgesehen von der anregenden Wirkung des Ansprechverhaltens. Dieses Bild wird von den teils euphorischen, subjektiven Äußerungen bei der Manöverbewertung unterstützt. Anders stellt sich das Bild beim Saugmotor dar. Hier zeigt sich, dass besonders in den Vollastmanövern, die Bewertung bis ins leicht Negative abgeleitet. Die Probanden sind unzufrieden mit der gebotenen Performance. Dies wird auch in den subjektiven Äußerungen deutlich, in welchen hauptsächlich das langwierige Schaltverhalten und die subjektiv schlechte Akustik kritisiert werden. Dies kann, ausgehend vom Emotionsmodell von Plutchik, durch eine Nichterfüllung von Erwartungen erklärt werden. Nachdem die Probanden den Saugmotor des Verbrenners gestartet haben, stellt sich zunächst ein gewohntes Bild dar und einige Probanden sagten, dass sie eine Vorfreude verspüren, nachdem sie den kernig und potent wirkenden Motor gestartet haben. Bei der Fahrt, wenn die Probanden die Beschleunigungsmanöver

evaluieren, wird die anfangs geäußerte Erwartung allerdings nicht erfüllt. Der initiale Ruck, den die Probanden durch den steilen Beschleunigungsgradienten spüren und den darauffolgenden lauten Motorsound, lenkt und fokussiert die Aufmerksamkeit zusätzlich auf die Beschleunigungswahrnehmung. Die sich dann einstellende Beschleunigung wird aufgrund des Abgleichs im Kurzzeitgedächtnis als subjektiv zu gering eingeschätzt. Außerdem wird der Motorsound als nicht passend bewertet und trägt zum eher negativen Gesamtbild bei. Abhilfe würden hier ein aufgeladener Motor und ein Automatikgetriebe mit mehr Gängen und kürzeren Schaltzeiten schaffen. So stellt sich eine höhere Maximalbeschleunigung ein und durch die größere Anzahl an Gängen kann eine kürzere Übersetzung der einzelnen Gänge erreicht werden, welche auch zu einer besseren Beschleunigung führt. Als weitere Abhilfe wäre eine bessere Dämmung des Innenraums nötig. Beim ActiveE wird das geringe Geräuschniveau gepaart mit dem subjektiv guten Ansprechverhalten und der hohen Maximalbeschleunigung als ein sehr souveränes Beschleunigen empfunden. Dieser Eindruck kann ebenfalls ausgehend vom Emotionsmodell nach Plutchik erklärt werden. Das Verhalten, das der ActiveE, wie gerade eben beschrieben zeigt, erinnert die Probanden an leistungsstarke Limousinen, die aufgrund eines hohen Drehmoments und einer guten Dämmung im Innenraum einen sehr mühelosen und unaufgeregten, aber starken Beschleunigungseindruck hinterlassen.

Diese gerade genannten Interpretationen werden ebenfalls durch die Ergebnisse des PANAS-Fragebogens unterstützt. Hier zeigt sich, dass der ActiveE sehr hohe Werte an positiver Aktivierung auslöst und die Probanden gerade zu begeistert. Besonders auffallend sind jedoch auch die sehr geringen Werte an negativer Aktivierung, die der Elektroantrieb mit sich bringt. Dies erinnert an den Card-Sorting Versuch, in dem sich einige besonders präferierte Erlebnisse auch durch sehr niedrige Werte an negativer Aktivierung auszeichneten. Solche Erlebnisse des Card-Sorting Versuchs sind das „Fahren durch schöne Landschaften“ oder „im Fahrzeug gute Musik hören“ und auf Seiten der Freizeiterlebnisse „Schnorcheln“ oder „Wandern“ gleichgestellt wurden. Auch hier liegt der Fokus auf Entspannung, Ruhe und (Natur)-Genuss. Insgesamt entsteht im ActiveE ein unangestregtes und äußerst komfortables Gesamterlebnis. Der 120iA zeigt im PANAS niedrige Werte an positiver Aktivierung und teilweise leicht erhöhte Werte an negativer Aktivierung. Die Probanden fühlen sich sogar ein wenig verärgert.

Bei beiden Fahrzeugen zeigt sich, dass die Bewertungen hin zu den Vollastmanövern abfallen, was jedoch in diesem Versuchsteil nicht weiter diskutiert wird, da es um komfortables und entspanntes Fahren geht. Für die anschließende vergleichende Diskussion der beiden Versuchsteile ist dieses Ergebnis dagegen relevant.

5.6.3. Vergleichende Diskussion der beiden Versuchsteile

Bei der Beschreibung der Stichproben wurde darauf hingewiesen, dass diese als vergleichbar angesehen werden können. Beide Versuchsteile wurden auf gleicher Strecke und mit identischen Manövern durchgeführt. Deswegen werden die Ergebnisse nachfolgend vergleichend diskutiert. In der Abbildung 5-19 sind die Bewertungen aller Manöver nach Valenz und Anregung grafisch aufgelistet. Bei der Darstellung handelt es sich lediglich um eine Modifikation der Abbildung 5-8, Abbildung 5-9, Abbildung 5-16 und Abbildung 5-17. Es zeigt sich, dass beim Motorstart die beiden Verbrenner emotional

positiver und anregender bewertet werden. Dies ist vor allem auf die gewohnte akustische Rückmeldung zurück zu führen. Bei den Elektrofahrzeugen wurde genau diese fehlende Rückmeldung bemängelt. Visuell melden beide Fahrzeuge über eine Anzeige im Bereich der Instrumentenanzeige zurück, dass Fahrbereitschaft hergestellt wurde. Die negativen Kommentare zeigen also auf, dass Fahrer einen generellen Wunsch nach akustischer Rückmeldung beim Starten des Fahrzeugs haben.

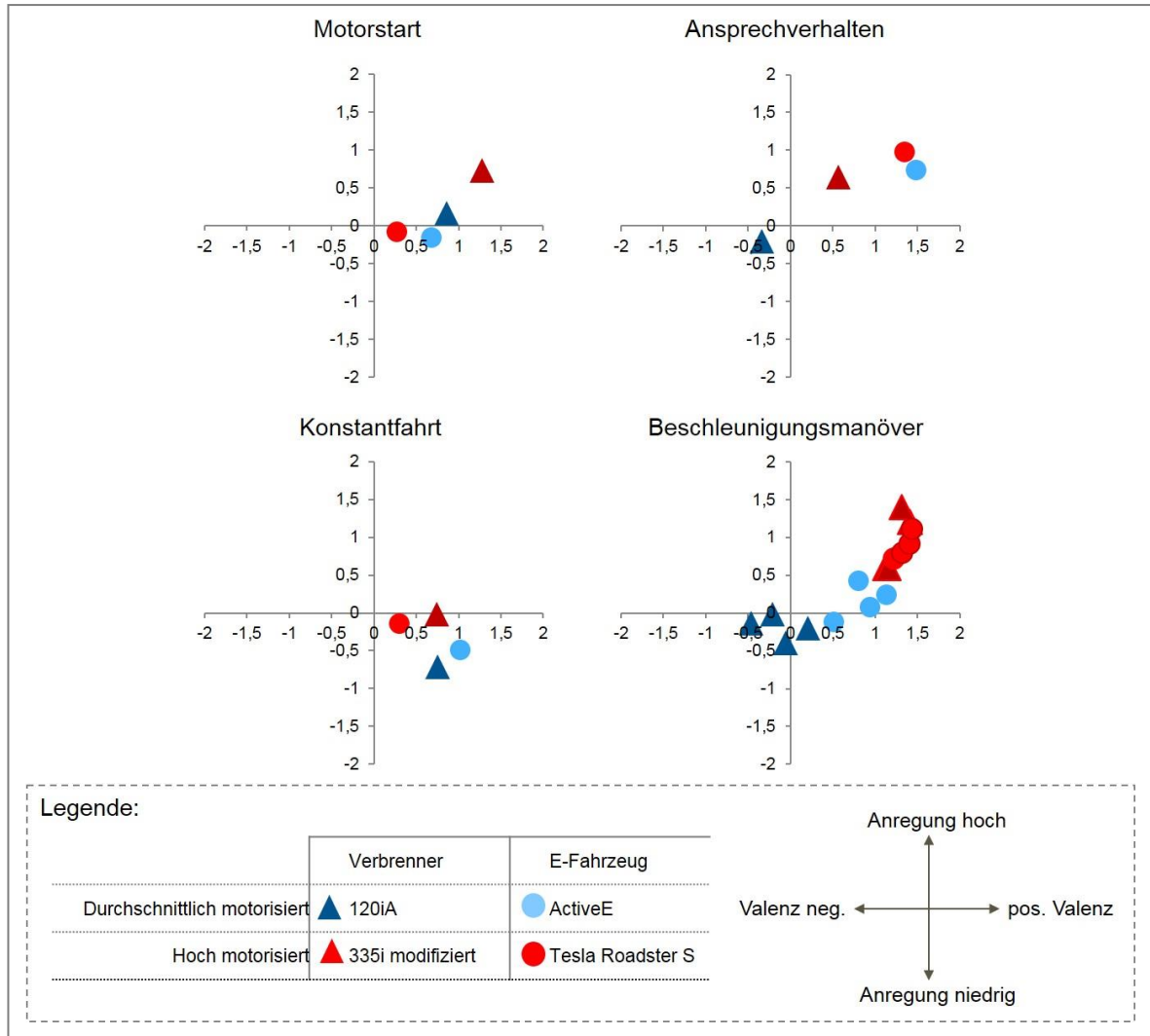


Abbildung 5-19: Übersicht über die Bewertungen der verschiedenen Manöver des Vergleichs durchschnittlich und hoch motorisierter Antriebe (N=26-30)

Interessant ist die Betrachtung des Ansprechverhaltens. Hier zeigt sich, dass das 120iA Coupé als wenig anregend und emotional leicht negativ erlebt wird. Der sportliche Verbrenner vermag eine hohe Anregung bei mittleren positiven Emotionen auszulösen, wohingegen die beiden Elektrofahrzeuge als genauso anregend und noch positiver emotional erlebt werden. Das direkte Ansprechen macht die Versuchsteilnehmer somit durchweg sehr zufrieden, glücklich und erfreut. Dies ist auf das oben diskutierte Beschleunigungsverhalten der Fahrzeuge zurückzuführen und wirft die Frage auf, ob durch das Hinzufügen eines Motorsounds für Elektrofahrzeuge die Anregung noch weiter erhöht werden kann.

VERGLEICH DES EMOTIONALEN ERLEBENS KONVENTIONELLER UND ELEKTRISCHER ANTRIEBE

Die Beschleunigungsmanöver zeigen ein breites Band an auftretender Anregung und Valenz, vergleiche Abbildung 5-19. Auch hier zeichnet sich ein Anstieg an Valenz und Anregung, ausgehend vom komfortorientierten Verbrenner und dem komfortablen Elektrofahrzeug, hin zu den beiden hochmotorisierten Fahrzeugen. Um diese Unterschiede auch in Bezug auf Teillast- und Volllastmanöver genauer betrachten zu können, wurde eine weitere Grafik (Abbildung 5-20) erstellt.

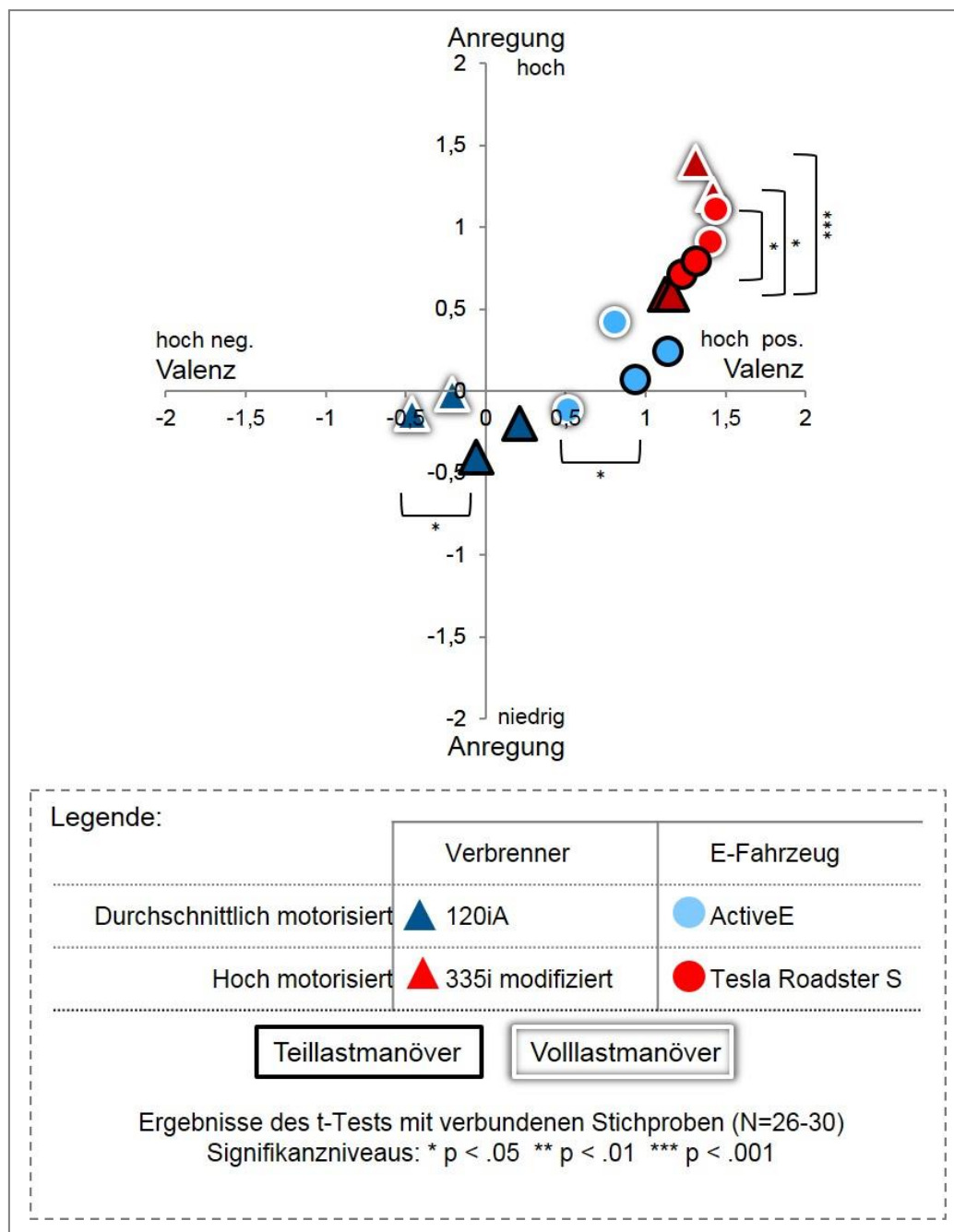


Abbildung 5-20: Übersicht über die Bewertungen der Beschleunigungsmanöver des Vergleichs durchschnittlich und hoch motorisierter Antriebe mit Angabe signifikanter Unterschiede¹²

¹² Ergebnisse des t-Tests mit verbundenen Stichproben (N=26-30); Signifikanzniveaus: * p < .05 ** p < .01 *** p < .001

Bei den komfortablen Antrieben fällt auf, dass die Bewertung der Valenz von Teil- zu Volllastmanövern hin signifikant niedriger ausfällt. Dies hat je nach Konzept unterschiedliche Ursachen. Beim ActiveE beginnt ab 70 km/h der Bereich, in dem die Beschleunigung nachlässt, was sich auf die Volllast-Manöver 0-100 km/h und 80-120 km/h auswirkt. Sieben Probanden äußern explizit, dass sie sich mehr Beschleunigungsleistung erwartet hätten. Außerdem wird angemerkt, dass die Beschleunigung bei hohen Geschwindigkeiten abnimmt. Im Bereich der Teillastbeschleunigungen wird noch nicht nach der Eckdrehzahl gefahren und die Fahrzeugreaktion passt durchweg zu den Erwartungen der Probanden. Beim 120iA zeigt sich ebenfalls ein signifikanter Unterschied zwischen einem Teil- und einem Volllastmanöver. Hier wird vor allem die schlechte Passung von Motorsound und Beschleunigungseindruck negativ bewertet. Darauf gehen einige Probanden ein und merken an, dass der Motorsound des 120iA unter Volllast „gequält“ oder „angestrengt“ wirkt. Insgesamt elf Probanden äußern, dass sie eine höhere Beschleunigung erwartet hätten.

Beim Vergleich der sportlichen Antriebe zeigen sich Unterschiede zwischen Teil- und Volllastmanövern. Hier steigt die Anregung signifikant weiter. Der Tesla Roadster erhöht die Anregung über die starke Maximalbeschleunigung, die lange gehalten werden kann und über das direkte Ansprechverhalten, das sich durch den steilen Gradienten zeigt. Der sportliche Verbrenner wird trotz wesentlich schlechterem Ansprechverhalten ebenso anregend wie das Elektrofahrzeug erlebt. Dies kann durch die ebenfalls hohe Maximalbeschleunigung und auch den Motorsound erklärt werden, der dem Tesla fehlt. Somit stellt sich hier die Frage, ob die Anregung und vielleicht auch die Valenz in einem sportlichen Elektrofahrzeug durch Hinzufügen eines spezifischen künstlichen Motorsounds gesteigert werden kann.

Die vergleichende Betrachtung der Werte an positiver und negativer Aktivierung des PANAS Fragebogen bekräftigt die gerade genannte Diskussion, siehe Abbildung 5-21.

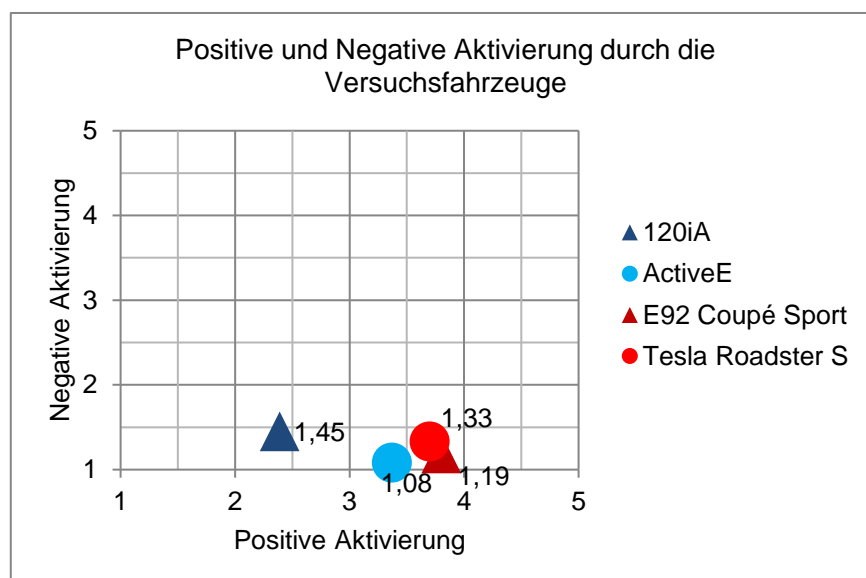


Abbildung 5-21: Vergleichende Betrachtung von positiver und negativer Aktivierung der Versuchsfahrzeuge (N=26-30); Achsenbeschriftung: 1...gar nicht oder ganz wenig; 2...ein bisschen; 3...einigermaßen; 4...erheblich; 5...äußerst; Werte von NA als Zahlenwert angeben

Es fällt die leicht erhöhte negative Aktivierung beim 120iA und in Teilen beim Tesla Roadster auf. Diese spiegelt implizit die von den Probanden genannten Schwächen der Konzepte wider: schlechte Passung von Motorgeräusch und Beschleunigungseindruck beim 120iA und teilweise zu extremer Beschleunigungsaufbau beim Tesla. Allerdings bildet die negative Aktivierung die tatsächlich erlebte Verärgerung von einigen Probanden nicht hinreichend gut ab. Dies ist auf den Ursprung des PANAS aus der klinischen Psychologie zurückzuführen, da einige Adjektive der NA-Dimension schlecht zum Autofahren passen (wie zum Beispiel „beschämt“). Die Ausgeglichenheit und Entspannung, die der ActiveE auslöst, zeigt sich in der sehr geringen negativen Aktivierung. Die beiden sportlichen Fahrzeuge und der ActiveE vermögen aber eine hohe positive Aktivierung auszulösen. Sie ermöglichen es also den Probanden, positive Emotionen wie Begeisterung und Freude zu erleben. Diese positiven Emotionen zeigen sich explizit, zum Beispiel in den berichteten Erlebnissen der Nachbefragung.

6. Einfluss von Längsdynamikvariation auf das Antriebserleben

Der erste Versuch am Realfahrzeug in Kapitel 5 zeigte den Einfluss längsdynamischer Eigenschaften auf das Erleben von Fahrzeugantrieben. Die Ergebnisse des Versuchs im Vergleich mit sportlichen Fahrzeugen zeigen, dass häufig die Beschleunigung als Schlüsselerlebnis genannt wurde, siehe Abbildung 10-3 auf Seite 166. Bei der Beurteilung der Beschleunigungsfähigkeit der Fahrzeuge und dem Ansprechverhalten zeigten sich Ergebnisse, die einer weiteren Untersuchung bedürfen. So war nicht klar, ob die Maximalbeschleunigung, der Beschleunigungsgradient oder eine Kombination dieser Größen maßgeblich auf das emotionale Erleben wirken. Da sich der Beschleunigungseindruck aus verschiedenen typischen Phasen zusammensetzt, wie in Kapitel 2.3.2 ab Seite 18 beschrieben, stellt sich die Frage, welche Phase einer Beschleunigung am wirksamsten auf die auftretenden Emotionen und Erlebnisse der Fahrer wirkt. Deswegen werden in diesem Versuch gezielt das maximale Beschleunigungsvermögen und der Beschleunigungsgradient untersucht. Das gefahrene Manöver wird durch mehrmaliges Absolvieren eines Beschleunigungsmanövers im Vergleich zu einer Referenzbeschleunigung untersucht.

6.1. Hypothesen

Es ist davon auszugehen, dass Beschleunigungsgradient und Maximalbeschleunigung den direktesten Einfluss auf die Beschleunigungswahrnehmung besitzen, wohingegen die Totzeit einen eher geringen Wert aufweisen sollte. Simon (2011) beschreibt ein Zielfenster, in dem sich diese bewegen soll, sodass das Fahrzeug weder „träge“ noch „ruckartig“ oder „giftig“ anfühlt. Diese Zeit liegt bei kleiner 0,25 s. Deswegen wurde die Totzeit im Bereich der angegebenen Grenzen eingestellt und die beiden weiteren genannten Größen zur genaueren Untersuchung ausgewählt und diskret variiert.

Folgende Forschungsfragen sollen beantwortet werden:

1. Wie wirken Variationen von Maximalbeschleunigung und Beschleunigungsgradient auf das emotionale Erleben des Beschleunigungsvorgangs?
2. Welche untersuchte Größe wirkt dominant auf das Erleben der Beschleunigung?
3. Treten Interaktionseffekte zwischen den untersuchten Größen auf?

Daraus lässt sich folgende Hypothese ableiten:

- H₀: Bei der Bewertung eines vom Fahrer deutlich erlebbaren Beschleunigungsverlaufs anhand von Valenz, Anregung und Sportlichkeit interagieren Maximalbeschleunigung und Beschleunigungsgradient nicht nachweisbar miteinander.

H_1 : Bei der Bewertung eines vom Fahrer deutlich erlebbaren Beschleunigungsverlaufs anhand von Valenz, Anregung und Sportlichkeit interagieren Maximalbeschleunigung und Beschleunigungsgradient nachweisbar miteinander.

Die Hypothese wird einseitig auf einem α -Fehlerniveau von 5% getestet.

6.2. Versuchsplanung und Methodik

Um die Hypothesen beantworten zu können, muss ein geeignetes Fahrzeug gefunden werden, das ausreichend hohe Werte an Maximalbeschleunigung und Beschleunigungsgradient darstellen kann. Außerdem müssen die unterschiedlichen Werte schnell und diskret eingestellt werden können, sodass ein rascher Vergleich der Variablen möglich wird.

6.2.1. Versuchsfahrzeug

Als Versuchsfahrzeug kommt ein BMW F30 335ixA mit Allradantrieb, 8-Gang Sportautomatikgetriebe und Applikationsmotorsteuergerät zum Einsatz, siehe Abbildung 6-1 und Tabelle 6-1. Das Applikationsmotorsteuergerät wurde mit der Software INCA V7.1 von ETAS angesteuert (ETAS, 2013). Die beiden Untersuchungsgrößen wurden durch Beschränkung des maximalen Motormoments über der Drehzahl variiert. In einem Vorversuch wurden Einstellungen für die einzelnen Durchgänge des Versuchs ermittelt und diese mit der zur Verfügung stehenden Messtechnik vermessen. Es kam ein Beschleunigungssensor zum Einsatz, der die Längsbeschleunigung mit einer Abtastfrequenz von 100Hz misst.

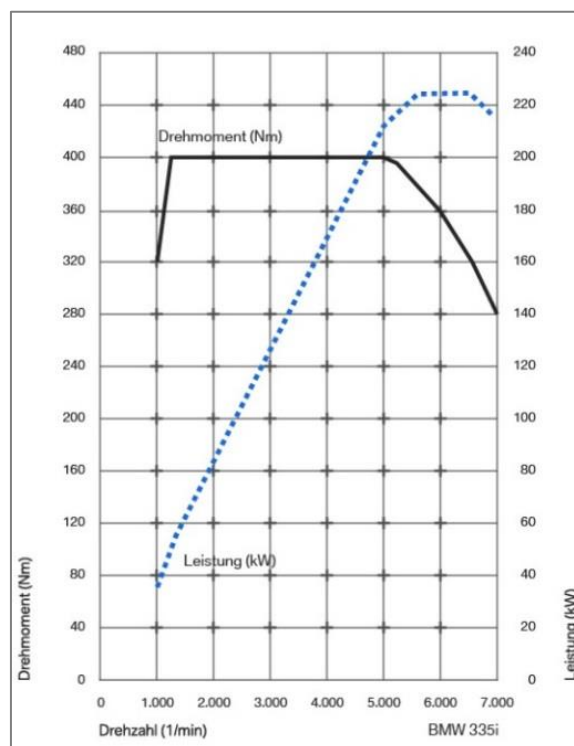


Abbildung 6-1: Leistungsschaubild des Versuchsfahrzeuges aus den offiziellen technischen Daten entnommen (BMW.de, 2011)

Tabelle 6-1: Leistungsdaten des Versuchsfahrzeuges, den offiziellen technischen Daten entnommen (BMW Group, 2011)

Leistungsdaten des Versuchsfahrzeuges	
Maximales Drehmoment (Nm) bei 1/min	400 /1200-5000
Leistung in kW (PS) bei 1/min	225 (306)/5800-6000
Beschleunigung 0-100km/h in s	5,0
Elastizität 80-120km/h im vierten/fünften Gang (Seriengertriebe)	5,5 / 6,5

Als Manöver wird eine Vollastbeschleunigung aus Konstantfahrt mit 20 km/h im zweiten Gang (entspricht circa 1.500 U/min) gewählt. Die Probanden werden angewiesen bis circa 50 km/h, was ungefähr 5.000 U/min entspricht, voll zu beschleunigen. Ein Rückschalten in den ersten Gang wird mittels applikativer Decodierung der Kick-Down Funktion des Fahrpedals unterdrückt. Somit können die Probanden angewiesen werden, das Fahrpedal möglichst schnell und stark durchzudrücken. Das hat zur Folge, dass sich die Beschleunigung jeweils vergleichbar rasch aufbaut, was der Reproduzierbarkeit der Verläufe dient. Der Versuch wurde auf einem sehr ruhigen und abgelegenen Abschnitt einer Landstraße durchgeführt. Das maximale Drehmoment wird über der Drehzahl jeweils um einen bestimmten Prozentsatz herabgesetzt. Um sicher zu gehen, dass die einzelnen Verläufe voneinander unterscheidbar sind, werden die Stufen 50%, 70% und 100% des maximal möglichen Moments betrachtet. Zur Einstellung eines unterschiedlichen Beschleunigungsgradienten wird das Moment von der Leerlaufdrehzahl bis 2.500 U/min beeinflusst, wohingegen zur Erreichung einer bestimmten Maximalbeschleunigung das Drehmoment ab 5.000 U/min beeinflusst wird. Im Bereich von 2.500 bis 5.000 U/min wird das Moment linear zwischen den Werten interpoliert, siehe Prinzipbilder in Abbildung 6-2. Messtechnisch werden somit folgende Werte für den Beschleunigungsgradienten und die Maximalbeschleunigung ermittelt, siehe Tabelle 6-2:

Tabelle 6-2: Messwerte zu den variierten Größen

Variation	Beschleunigungsgradient [m/s ³]	Maximalbeschleunigung [m/s ²]
50% M _{max} (200 Nm)	8	2,6
70% M _{max} (280 Nm)	14	3,6
100% M _{max} (400 Nm)	28	4,8

In einem vorangegangenen Versuch wurden die Wahrnehmungsschwellen für Maximalbeschleunigung und Gradient bestimmt (Müller et al., 2013). Diese liegen für die Maximalbeschleunigung bei dem oben beschriebenen Manöver im Mittel bei 0,09 m/s² (SD: 0,086 m/s²) und beim Beschleunigungsgradienten bei 0,53 m/s³ (SD 0,83 m/s³). Aufgrund der hohen Standardabweichung beim Beschleunigungsgradienten wird als Wahrnehmungsschwelle das obere Ende des 95% Konfidenzintervalls gewählt, welches 1,0 m/s³ beträgt. Der Vergleich dieser Werte mit den in diesem Versuch gewählten diskreten Stufen zeigt, dass die unterschiedlichen Beschleunigungen und Gradienten von den Probanden mit hoher Wahrscheinlichkeit aufgelöst werden können.

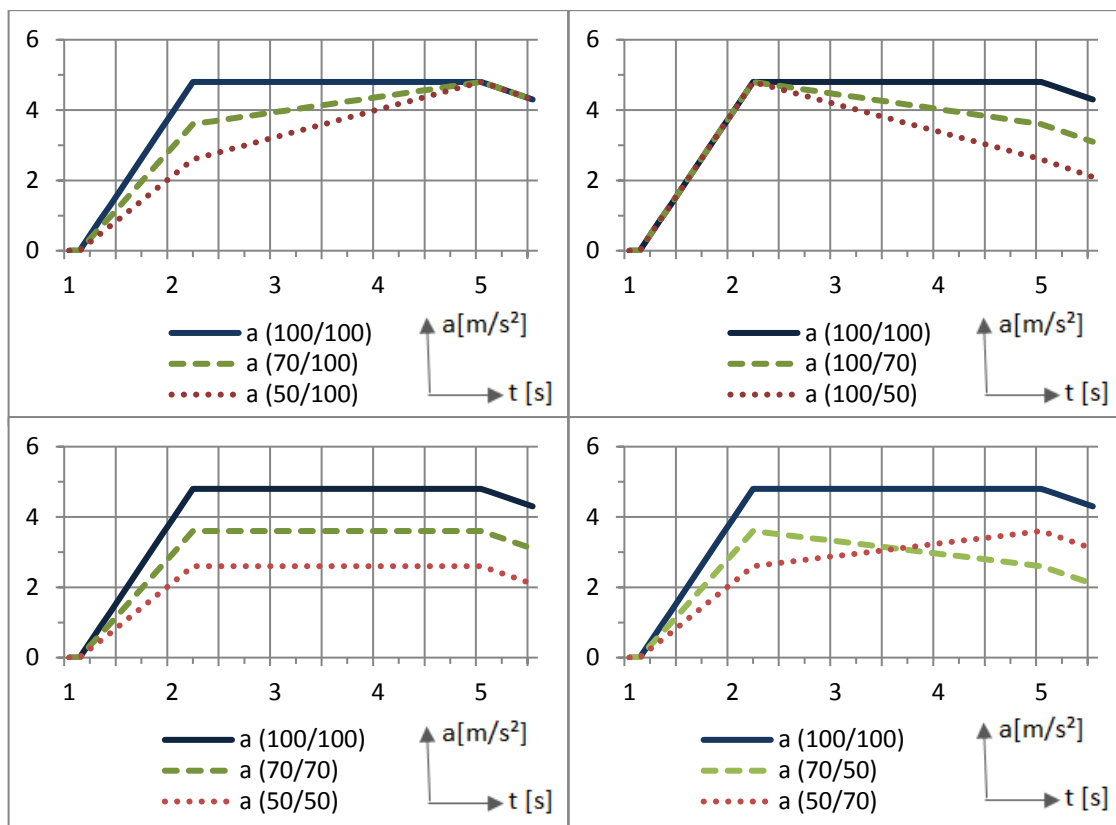


Abbildung 6-2: Überblick über die neun verschiedenen Verläufe¹³; in den vier Abbildungen ist zur besseren Vergleichbarkeit immer der Verlauf mit 100% Gradient und 100% Maximalbeschleunigung eingezeichnet [a (100/100)]

6.2.2. Versuchsdurchführung

Vor Beginn der Befragung wird den Probanden das Manöver erklärt und dieses wird mehrmals eingeübt. Außerdem wird die Befragungsmethodik erklärt und auch diese trainiert. Um zu gewährleisten, dass die Probanden die verschiedenen Manöver richtig einordnen können, werden vor Beginn des Versuchs die Manöver mit jeweils geringsten und größtem Gradienten und Maximalbeschleunigung durchfahren. Die Probanden beginnen anschließend die Fahrten mit Bewertung der Verläufe. Dabei wird jeweils die mittlere Gradienten- und Leistungsstufe zuerst gefahren. Dieser Referenzreiz entspricht dem Drehmomentverlauf mit 220 Nm, dem 70% Gradienten (14 m/s³) und 70% der Maximalbeschleunigung (3,6 m/s²). Während der Verzögerungsphase von 50 km/h auf 20 km/h wird vom Versuchsleiter eine andere der neun Stufen, der modifizierte Reiz, appliziert. Dieser wird anschließend gefahren. Nach dem Durchfahren und Erleben des modifizierten Reizes wird von den Probanden das aus den anderen Versuchen bekannte und leicht angepasste semantische Differenzial nach Hamm und Vaitl (1993), siehe Tabelle 5-4 auf Seite 74 ausgefüllt. Darüber hinaus werden die Probanden nach jedem

¹³ Bei den dargestellten Verläufen handelt es sich um Prinzipbilder. Bei den Verläufen mit 100% Beschleunigungsgradienten tritt zwischen dem linearen Bereich des Gradienten und dem Erreichen der Maximalbeschleunigung noch ein progressiv steigender Verlauf auf, wie er in dem gemessenen Verlauf des Verbrenners in Abbildung 5-2 auf Seite 70 dargestellt ist. Dieser Bereich spiegelt den Instationärbereich des Turboladers wider.

Manöver um Ihre Einschätzung bezüglich Gefallen und Sportlichkeit der erlebten Beschleunigung gebeten. Die modifizierten Reize werden in permutierter Reihenfolge durchfahren. Da für den Versuch kein Elektrofahrzeug zur Verfügung stand, wurden die Fahrten mit einem leistungsstarken Gehörschutz absolviert. Somit dringen große Teile des Luftschalls nicht zu den Probanden vor. Deswegen wird an dieser Stelle auf eine Beschreibung des Motorgeräuschs des Versuchsfahrzeugs verzichtet.

6.2.3. Probandenkollektiv

Am Versuch nehmen 21 Personen (vier Frauen) teil. Das Durchschnittsalter beträgt 28 Jahre, alle Probanden sind bei der BMW Group beschäftigt, da eine interne Fahrausbildung zum Betrieb des Fahrzeugs vorausgesetzt war. Dreiviertel der Fahrer geben an, dass Ihnen Autofahren Spaß bereitet. Die durchschnittliche Fahrerfahrung beträgt circa 10.100 km pro Jahr.

6.3. Ergebnisse

Die Ergebnisse werden nach Valenz und Anregung in den einzelnen Durchgängen sowie nach Sportlichkeit ausgewertet und statistisch untersucht. Außerdem wird der Einfluss der beiden Haupteffekte, Maximalbeschleunigung und Beschleunigungsgradient, dargelegt und hinsichtlich signifikanter Unterschiede beleuchtet.

Die einzelnen Bewertungen der Adjektivpaare für Valenz, Anregung und Sportlichkeit werden gemittelt. Die so errechneten Mittelwerte werden mit Hilfe einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung und dem Post Hoc Test gemäß Bonferroni auf signifikante Unterschiede hin untersucht. Es kam die Statistiksoftware SPSS V19 von IBM zum Einsatz (IBM, 2012).

6.3.1. Bewertung der Valenz in den Durchgängen

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Durchgänge sind grafisch für die Valenz in Abbildung 6-3 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Bewertung der Valenz mit steigendem Beschleunigungsgradienten ebenfalls ansteigt. So steht am Anfang die geringste Stufe von 50% Maximalbeschleunigung und 50% Gradient und am Ende die jeweils höchste Stufe. Die drei Stufen mit 50% Gradienten werden am niedrigsten bewertet und liegen im Bereich negativer Emotionen. Die Stufe mit hohem Gradienten und niedriger Maximalbeschleunigung wird ähnlich wie die Referenz rund um den Mittelwert bewertet und wird emotionslos eingeschätzt. Mit Abstand am positivsten werden die Stufen 70-100, 100-70 und 100-100 eingeschätzt.

Die Untersuchung der beiden Haupteffekte Beschleunigungsgradient und Maximalbeschleunigung zeigt durchweg signifikante Unterschiede für die Valenz in den untersuchten Durchgängen, siehe Tabelle 6-3.

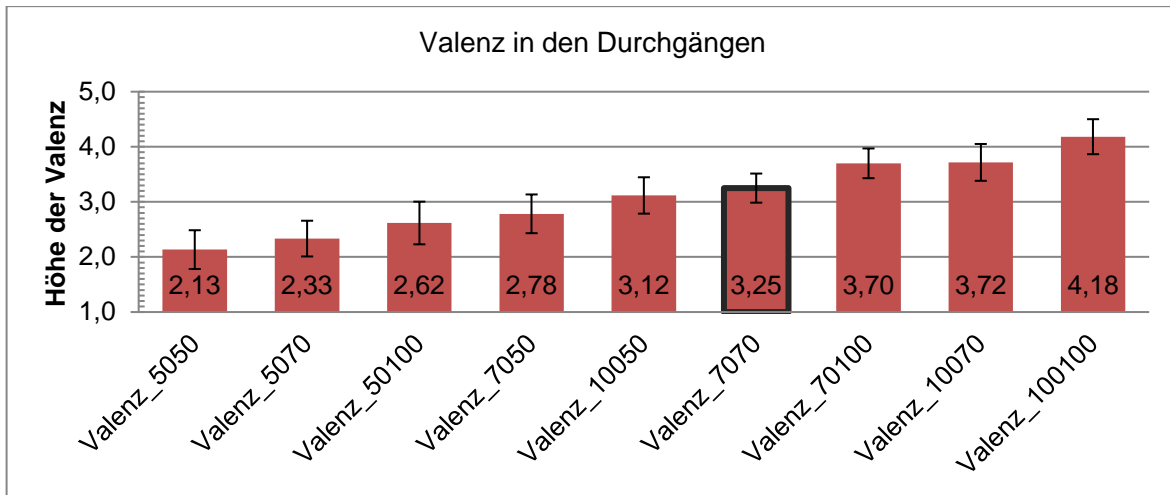


Abbildung 6-3: Deskriptive Auswertung des subjektiven Gefallens mit Angabe der Standardabweichung (N=21); (Ordinate: Ordinate: 1...sehr / 2...eher –unzufrieden, – unglücklich, –genervt; 3...weder noch; 4...eher / 5...sehr –zufrieden, –glücklich, –erfreut); Referenzbeschleunigung (70/70) mit schwarzem Rahmen

Tabelle 6-3: Ergebnis der zweifaktoriellen Varianzanalyse zur Untersuchung der Valenz der beiden Haupteffekte (N=21)

Paarweise Vergleiche zur Untersuchung der Valenz (zweifaktorielle Varianzanalyse)					
Haupteffekt: Beschl.-Gradient		Signifikanz p	Haupteffekt: Maximalbeschl.		Signifikanz p
Stufe 50%	Stufe 70%	<0,001	Stufe 50%	Stufe 70%	0,009
	Stufe 100%			<0,001	Stufe 100%
Stufe 70%	Stufe 50%	<0,001	Stufe 70%	Stufe 50%	0,009
	Stufe 100%	0,016		Stufe 100%	0,010
Stufe 100%	Stufe 50%	<0,001	Stufe 100%	Stufe 50%	<0,001
	Stufe 70%	0,016		Stufe 70%	0,010

6.3.2. Bewertung der Anregung in den Durchgängen

Die Bewertung der Anregung in Abbildung 6-4 ähnelt der Bewertung der Valenz in den einzelnen Manövern. Auch hier werden die Verläufe mit hohem Beschleunigungsgradient anregender empfunden, als die mit geringem. Wenig anregend wirken die Verläufe mit niedrigem Beschleunigungsgradient und niedriger Maximalbeschleunigung. Die unharmonischsten Verläufe (50-100 und 100-50) liegen unter beziehungsweise knapp über der Referenzbeschleunigung und erzielen mittlere Anregungswerte. Deutlich anregend wirken die Verläufe 70-100, 100-70 und 100-100. In der zweifaktoriellen Varianzanalyse zeigen sich ebenfalls nur signifikante Unterschiede, siehe Tabelle 6-4.

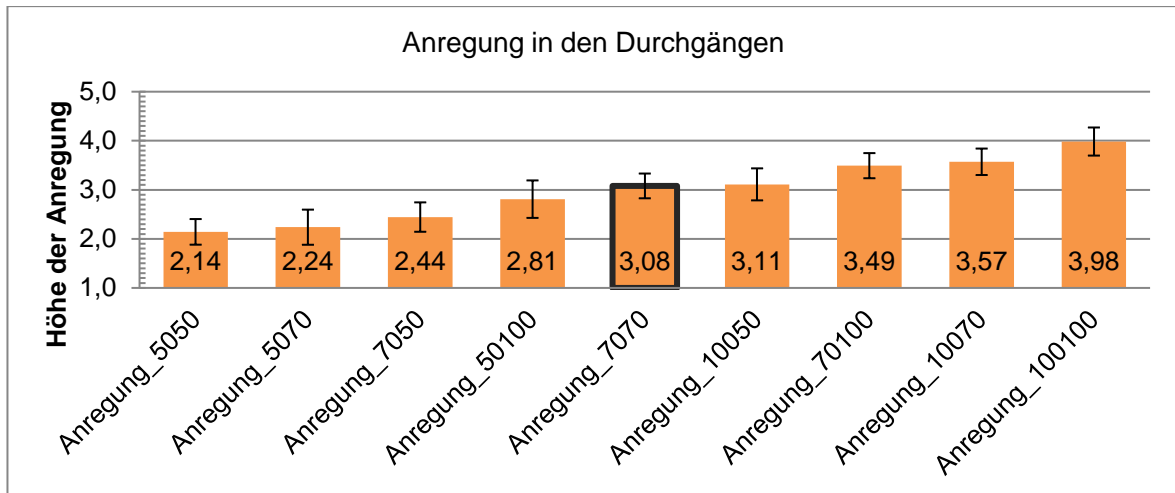


Abbildung 6-4: Deskriptive Auswertung der auftretenden Anregung mit Angabe der Standardabweichung (N=21); (Ordinate: 1...sehr / 2...eher –träge, –nicht angeregt, –entspannt; 3...weder noch; 4...eher / 5...sehr –rasend, –angeregt, –stimuliert); Referenzbeschleunigung (70/70) mit schwarzem Rahmen

Tabelle 6-4: Ergebnis der zweifaktoriellen Varianzanalyse zur Untersuchung der Anregung der beiden Haupteffekte (N=21)

Paarweise Vergleiche zur Untersuchung der Anregung (zweifaktorielle Varianzanalyse)						
Haupteffekt: Beschl.-Gradient			Signifikanz p	Haupteffekt: Maximalbeschl.		
Stufe 50%	Stufe 70%		<0,001	Stufe 50%	Stufe 70%	0,002
	Stufe 100%		<0,001		Stufe 100%	<0,001
Stufe 70%	Stufe 50%		<0,001	Stufe 70%	Stufe 50%	0,002
	Stufe 100%		<0,001		Stufe 100%	0,004
Stufe 100%	Stufe 50%		<0,001	Stufe 100%	Stufe 50%	<0,001
	Stufe 70%		<0,001		Stufe 70%	0,004

6.3.3. Bewertung der Sportlichkeit in den Durchgängen

Bei der Bewertung der subjektiv empfundenen Sportlichkeit zeigen sich drei Gruppen mit jeweils ähnlicher Bewertung, siehe Abbildung 6-5. Die Durchgänge 50-50, 50-70 und 70-50 werden als deutlich weniger sportlich als die Referenzbeschleunigung bewertet. Die zweite Gruppe beinhaltet, neben der Referenz, die beiden unharmonischen Verläufe 50-100 und 100-50. Interessant ist, dass der Verlauf mit hohem Gradienten wesentlich sportlicher bewertet wird. Die dritte Gruppe beinhaltet Verläufe, die als deutlich sportlicher, als die Referenzbeschleunigung beschrieben werden. Die angesprochenen Verläufe sind 100-70, 70-100 und 100-100.

In der zweifaktoriellen Varianzanalyse zeigen sich nur signifikante Unterschiede, siehe Tabelle 6-5.

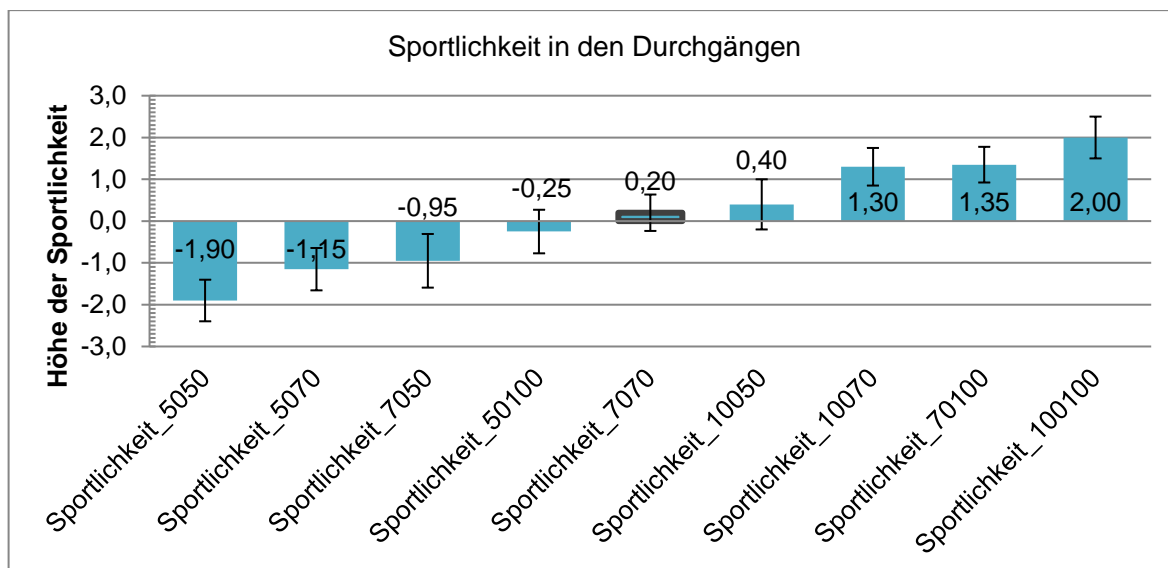


Abbildung 6-5: Deskriptive Auswertung der Sportlichkeit mit Angabe der Standardabweichung (N=21); Ordinate: -3...definitiv – / -2...deutlich – / -1...eher –weniger sportlich / 0...gleich sportlich / 1...eher – / 2...deutlich – / 3...definitiv –sportlicher; Referenzbeschleunigung (70/70) mit schwarzem Rahmen

Tabelle 6-5: Ergebnis der zweifaktoriellen Varianzanalyse zur Untersuchung der Sportlichkeit der beiden Haupteffekte (N=21)

Paarweise Vergleiche zur Untersuchung der Sportlichkeit (zweifaktorielle Varianzanalyse)							
Haupteffekt: Beschl.-Gradient			Signifikanz p	Haupteffekt: Maximalbeschl.			Signifikanz p
Stufe 50%	Stufe 70%		<0,001	Stufe 50%	Stufe 70%		<0,001
	Stufe 100%		<0,001		Stufe 100%		<0,001
Stufe 70%	Stufe 50%		<0,001	Stufe 70%	Stufe 50%		<0,001
	Stufe 100%		<0,001		Stufe 100%		<0,001
Stufe 100%	Stufe 50%		<0,001	Stufe 100%	Stufe 50%		<0,001
	Stufe 70%		<0,001		Stufe 70%		<0,001

6.3.4. Einfluss von Beschleunigungsgradient und Maximalbeschleunigung

Für Gradient und Maximalbeschleunigung weisen die paarweisen Vergleiche der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung durchwegs signifikante Unterschiede der Mittelwerte der Bewertung aus, siehe oben. Dabei wurden die Haupteffekte unter Zuhilfenahme der Anpassung des Konfidenzintervalls nach Bonferroni verglichen. Der Mauchly-Test auf Sphärität ist für Valenz und Anregung sowie für Sportlichkeit jeweils nicht signifikant (Valenz: $p_{\text{Gradient}}=0,119$; $p_{\text{Maximalbeschl}}=0,687$. Anregung: $p_{\text{Gradient}}=0,065$; $p_{\text{Maximalbeschl}}=0,479$. Sportlichkeit: $p_{\text{Gradient}}=0,320$; $p_{\text{Maximalbeschl}}=0,319$).

Die Wechselwirkung der Haupteffekte Gradient und Beschleunigung für Valenz und Anregung sowie für Sportlichkeit wird allerdings deutlich nicht signifikant ($p=0,249$ für

Valenz und $p=0,242$ für Anregung sowie $p=0,894$ für Sportlichkeit). Dies zeigt auch das folgende, mit SPSS erstellte Diagramm der Wechselwirkung, siehe Abbildung 6-6. Die beiden untersuchten Faktoren interagieren in keiner der Bewertungsgrößen signifikant miteinander.

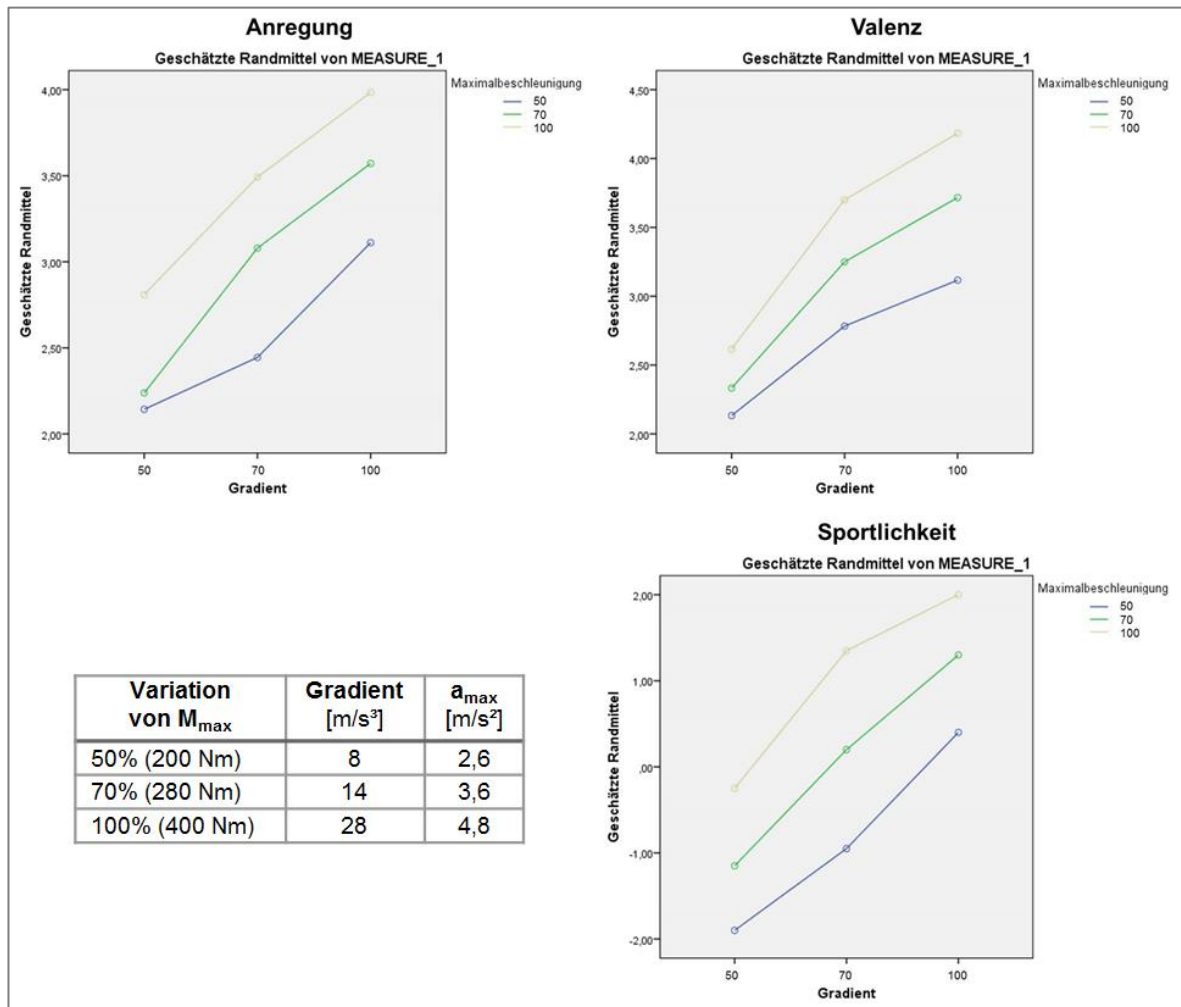


Abbildung 6-6: Wechselwirkungsdiagramm der Haupteffekte „Maximalbeschleunigung“ und „Beschleunigungsgradient“ für die untersuchten Faktoren; (N=21)

Das Wechselwirkungsdiagramm zeigt, dass die Sportlichkeit und die Anregung mit zunehmender Maximalbeschleunigung und Beschleunigungsgradient ebenfalls weiter steigen. Dies gilt auch für die Valenz, wobei sich hier der weitere Anstieg der Bewertung bei Erhöhung des Gradienten von 70% auf 100% abflacht. Dieser degressive Verlauf, wie ihn Abbildung 6-6 zeigt, ist vor dem Hintergrund beachtenswert, dass sich der Zahlenwert des Gradienten zwischen den beiden Stufen verdoppelt, die Maximalbeschleunigung jedoch linear weiter steigt.

6.4. Diskussion und Hypothesenüberprüfung

Die durchweg signifikanten Post-Hoc Tests zeigen, dass die unterschiedlichen Beschleunigungsverläufe von den Probanden gut aufgelöst und dementsprechend unterschiedlich bewertet werden können. Grundsätzlich fällt bei den Bewertungen der Valenz, Anregung und Sportlichkeit auf, dass am wenigsten positiv, anregend und sportlich die Verläufe mit niedrigem Gradienten evaluiert werden. Dies ist meist bei den ersten beiden Verläufen 50-50 und 50-70 der Diagramme der Fall. Dann folgen die ausgesprochen unharmonischen Verläufe, welche sich durch einen niedrigen Gradienten gepaart mit hoher Maximalbeschleunigung 50-100 oder umgekehrt 100-50 auszeichnen. Diese werden von den Probanden häufiger auch als „unrund“ beschrieben oder als vom Fahrer schlecht kontrollierbar eingeschätzt. Am höchsten werden die Stufen mit hohem Gradienten und hoher Maximalbeschleunigung bewertet. Auch hier werden in zwei der drei abgefragten Kategorien die beiden Stufen mit vollem Gradienten als am positivsten und meisten anregend bewertet. Dies lässt auf einen tendenziell größeren Einfluss des Beschleunigungsgradienten beim emotionalen Erleben einer Fahrzeugbeschleunigung schließen.

Diese Beschreibung gilt nicht für die Evaluierung der Anregung und der Sportlichkeit. Bei den Stufen mit niedriger Maximalbeschleunigung und ansteigendem Gradienten ist ein progressiver Anstieg der Bewertungen von Anregung und Sportlichkeit zu erkennen, bei der mittleren Maximalbeschleunigung ist der Anstieg linear und bei hohem Gradienten ist abermals ein leicht degressiver Verlauf zu erkennen. Somit kann aufgrund der Ähnlichkeiten zwischen den Verläufen von Anregung und Sportlichkeit festgehalten werden, dass die Probanden Sportlichkeit und Anregung verbinden und ähnlich bewerten. Ein sehr hoher Korrelationskoeffizient von $r^2=0,831$ bekräftigt diese Einschätzung.

Die Ergebnisse zeigen, dass die sich die weiter steigend positive Bewertung der Valenz hin zu hohen Werten des Beschleunigungsgradienten abflacht, obwohl sich der Zahlenwert des Gradienten verdoppelt, vergleiche Abbildung 6-6. Es liegt nahe, dass die positiven Emotionen bei Erhöhung des Gradienten in ein Maximum der Valenzbewertung hineinlaufen, sodass sich eine weitere Erhöhung des Gradienten nur noch wenig auf die zunehmend positiv emotionale Wahrnehmung auswirkt. Vielmehr ist davon auszugehen, dass bei weiter zunehmenden Gradienten die Valenzbewertung wieder abnimmt, da dann das Fahrzeug als zu „giftig“ bewertet wird, vergleiche Simon (2011).

Bekräftigt wird diese Argumentation zusätzlich dadurch, dass mit zunehmender Maximalbeschleunigung der Einfluss des Gradienten abnimmt. Dies kann dadurch erklärt werden, dass bei sehr hohen Beschleunigungsgradienten, gepaart mit hohen Maximalbeschleunigungen, die Fahrbarkeit und Kontrollierbarkeit für den Normalfahrer abnimmt. Diese Interpretation erinnert an subjektive Äußerungen zum Tesla Roadster aus Kapitel 5.4.4, in dem einige Probanden den Beschleunigungsaufbau im Rahmen des Manövers „Ansprechverhalten“ als „zu ruckartig“, „digital“ und schlecht kontrollierbar beschreiben. Diese Indizien sprechen dafür, dass bei weiterer Erhöhung des Gradienten und hohen Geschwindigkeiten eine zunehmende Anzahl an Probanden das Fahrzeugverhalten negativ bewerten wird. Es ist davon auszugehen, dass bei weiter ansteigendem Beschleunigungsgradienten nicht nur ein Maximum der Valenzbewertung

eintritt, sondern bei weiterer Erhöhung eine Abnahme der Bewertungen stattfinden wird. Es wird deswegen von einem Verlauf ausgegangen, der einer umgekehrten Parabel ähnlich ist, siehe Abbildung 6.7.

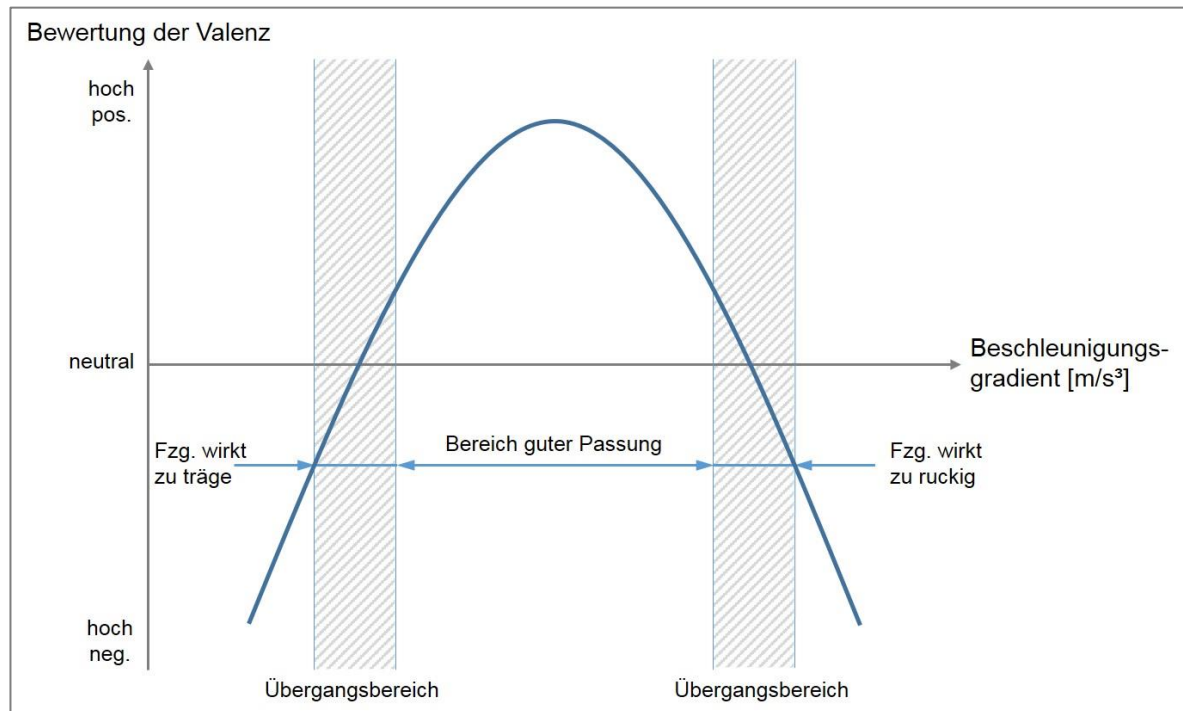


Abbildung 6-7: Erwarteter Verlauf von Valenz bei steigendem Beschleunigungsgradient und hoher Maximalbeschleunigung

Bei der Erhöhung der Maximalbeschleunigung ist eine Sättigung noch nicht erkennbar. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Ausführungen von Müller (2015), in welcher als Bewertungsgröße der subjektive Gefallen untersucht wurde.

Ein wie oben beschriebener Verlauf wird sich bei der Bewertung der Anregung nicht einstellen; es ist vielmehr davon auszugehen, dass die Anregung jeweils weiter steigen wird. Durch die zunehmend negative emotionale Bewertung des Beschleunigungsgradienten, gepaart mit einer sehr hohen Anregung, stellen sich dann Stress und negative Emotionen, wie zum Beispiel Angst, ein.

In Summe ist deswegen die Nullhypothese beizubehalten. Die beiden untersuchten Variablen interagieren trotz der genannten Indizien nicht nachweisbar miteinander. Jedoch haben die beiden abhängigen Variablen, wie oben beschrieben, verschiedene Auswirkungen auf die Bewertung der Sportlichkeit und Anregung sowie auf die Valenz. Verläufe mit Kombinationen aus mittleren und hohen Variationen an Maximalbeschleunigung und Beschleunigungsgradient sowie die hohe Abstimmung beider Variablen wirken sich positiv auf die Bewertung von Valenz, Anregung und Sportlichkeit aus. Darüber hinaus können keine validen Aussagen über besonders präferierte Beschleunigungsverläufe innerhalb der neun untersuchten Verläufe festgestellt werden.

Der nächste Versuch wird, genau wie dieser, auf einer definierten Versuchsstrecke und nicht im normalen Straßenverkehr durchgeführt; außerdem wird abermals ein einzelnes Beschleunigungsmanöver untersucht. Der Versuch beschäftigt sich mit der zweiten identifizierten Erlebnisgröße, der Antriebsakustik in Form eines Motorgeräuschs. Ein solches Geräusch wird nun in einem Elektrofahrzeug inszeniert und die Auswirkung auf das Erleben der Fahrer untersucht.

7. Einfluss von inszeniertem Motorsound auf das Antriebserleben

Im ersten Versuch, der mit Realfahrzeugen durchgeführt wurde (Kapitel 5) zeigte sich auf Seiten des sportlichen Ottomotors eine starke emotionale und anregende Wirkung des Motorsounds. Es stellt sich deswegen nun die Frage, ob ein künstlich erzeugter Motorsound, der im Innenraum der ansonsten eher leisen Elektrofahrzeuge angeboten wird, das emotionale Erleben zusätzlich positiv beeinflussen kann.

7.1. Hypothesen

Die für diesen Versuch grundlegende Hypothese wird einseitig auf einem α -Fehlerniveau von 5% getestet. Sie lautet:

H_0 : Ein Elektrofahrzeug, das während der Beschleunigung einen dynamischen Motorsound einspielt, hat im Vergleich zu einem Elektrofahrzeug, das auf einen dynamischen Motorsound verzichtet, keinen nachweisbaren und positiven Einfluss auf die emotionale Wahrnehmung des Fahrers.

H_1 : Ein Elektrofahrzeug, das während der Beschleunigung einen dynamischen Motorsound einspielt, hat im Vergleich zu einem Elektrofahrzeug, das auf einen dynamischen Motorsound verzichtet, einen nachweisbaren und positiven Einfluss auf die emotionale Wahrnehmung des Fahrers.

Um diese zugrundeliegende Hypothese verlässlich beantworten zu können, werden folgende Teilhypothesen formuliert. Auch diese werden auf einem α -Fehlerniveau von 5% getestet.

H_{10} : Ein Elektrofahrzeug, das während der Beschleunigung einen dynamischen Motorsound einspielt, wird im Vergleich zu einem Elektrofahrzeug, das auf einen dynamischen Motorsound verzichtet, emotional nicht positiver erlebt.

H_{11} : Ein Elektrofahrzeug, das während der Beschleunigung einen dynamischen Motorsound einspielt, wird im Vergleich zu einem Elektrofahrzeug, das auf einen dynamischen Motorsound verzichtet, emotional positiver erlebt.

H_{20} : Ein Elektrofahrzeug, das während der Beschleunigung einen dynamischen Motorsound einspielt, wird im Vergleich zu einem Elektrofahrzeug, das auf einen dynamischen Motorsound verzichtet, als nicht anregender erlebt.

H2₁: Ein Elektrofahrzeug, das während der Beschleunigung einen dynamischen Motorsound einspielt, wird im Vergleich zu einem Elektrofahrzeug, das auf einen dynamischen Motorsound verzichtet, als anregender erlebt.

H3₀: Ein Elektrofahrzeug, das während der Beschleunigung einen dynamischen Motorsound einspielt, wird im Vergleich zu einem Elektrofahrzeug, das auf einen dynamischen Motorsound verzichtet, als nicht sportlicher erlebt.

H3₁: Ein Elektrofahrzeug, das während der Beschleunigung einen dynamischen Motorsound einspielt, wird im Vergleich zu einem Elektrofahrzeug, das auf einen dynamischen Motorsound verzichtet, als sportlicher erlebt.

7.2. Versuchsplanung und Methodik

Nachfolgend wird die Vorgehensweise, die zur Überprüfung der Hypothesen gewählt wird, beschrieben und auf das verwendete Versuchsfahrzeug und das eingespielte Motorengeräusch genauer eingegangen. Danach werden der Versuchsablauf und die Befragungsmethoden besprochen. Anschließend wird auf das Probandenkollektiv eingegangen.

7.2.1. Vorgehensweise

Zur Beantwortung der Hypothesen wurde ein Versuchsdesign gewählt, das auf einem einzelnen, oftmals durchfahrenen Beschleunigungsmanöver basiert. Die Beschleunigung soll ausreichend lang und konstant sein, sodass sich die Probanden ein unverzerrtes Bild vom Innengeräusch machen können. Es wurde darauf geachtet, dass der Ladezustand des verwendeten Elektrofahrzeugs nicht unter einen gewissen Wert fällt, ab dem Degradationseffekte die Beschleunigungsleistung negativ beeinträchtigen. Aufgrund der immer wieder notwendigen applikativen Eingriffe am Fahrzeug und da die Manöver jeweils aus dem Stillstand absolviert wurden, bietet sich das BMW Messgelände in Aschheim an. Diese Örtlichkeit gewährleistet darüber hinaus die Sicherheit der Probanden. Da im Rahmen des Versuchs nur ein Manöver untersucht wurde, werden nachfolgend nur die Auswirkungen auf die momentane emotionale Wahrnehmung des Fahrers präsentiert.

Das Versuchsfahrzeug ist ein MiniE und verfügt über einen Elektromotor, der über der Vorderachse sitzt. Er erhält den nötigen Strom aus einem Li-Ionen Speicher, der nahezu den gesamten Hinterwagen einnimmt, vergleiche Abbildung 7-1. Die Elektromaschine erzeugt beim Beschleunigen des Fahrzeugs einen linear ansteigenden hochfrequenten Ton. Mithilfe der Software Cycling74 (2013) kann dem charakteristischen Ton des Versuchsfahrzeuges ein eigenes Geräusch überlagert werden, das als Eingangsgröße die Drehzahl des Elektromotors und die Fahrpedalstellung verwendet. Eingespielt wird dieses Geräusch über drei im Fahrzeug fest verbaute Lautsprecher: einen Tieftöner und zwei Hochtöner, die von einem eigenen Verstärker gespeist werden.

Im Versuch werden drei verschieden starke Beschleunigungen jeweils mit Original- und dynamischem Sound durchfahren. Diese werden gemäß Müller et al. (2013) so gewählt, dass sie vom Fahrer eindeutig als unterschiedlich wahrgenommen werden. Zur Vergleichbarkeit werden die einzelnen Beschleunigungsmanöver jeweils mit und ohne

Sound absolviert und das emotionale Erleben mit den unten aufgeführten Methoden und kurzen Fragebögen untersucht.

7.2.2. Versuchsfahrzeug

Als Versuchsfahrzeug kommt ein Mini E zum Einsatz. Beim Mini E handelt es sich um ein Versuchsfahrzeug, das in kleiner Stückzahl produziert wurde und in Elektromobilitätsfeldversuchen in den urbanen Räumen von Berlin, München, London und den USA getestet wurde. Aufgrund des großen Speichers, der sich bis zu den Rücksitzen erstreckt, verfügt der Mini E über zwei nutzbare Sitze.



Abbildung 7-1: Versuchsfahrzeug – Mini E; Grafik heruntergeladen von BMW.de (2014b)

Der elektrische Antrieb des Mini E verfügt über eine maximal abrufbare Leistung von 150 kW und 220 Nm Drehmoment, siehe Tabelle 7-1. Die maximale Leistung liegt vom Stillstand bis zur Eckdrehzahl von circa 3.300 U/min an. Die Höchstgeschwindigkeit ist auf 160 km/h begrenzt. Durch den elektrischen Speicher wiegt das Fahrzeug circa 300 kg mehr als ein vergleichbarer Mini mit Verbrennungsmotor.

Tabelle 7-1: Technische Daten des Mini E nach BMW.de (2014b)

Technische Größe	Beschreibung
Motor	Asynchron-Elektromotor
Leistung	150 kW (204 PS)
Drehmoment	220 Nm
Höchstgeschwindigkeit	160 km/h (elektronisch begrenzt)
Beschleunigung 0-100km/h	8,5 s
Gewicht	1465 kg
Antrieb	Vorderradantrieb
Getriebe	Einganggetriebe

Speicher	35 kWh, Li-Ionen
----------	------------------

Beschreibung des Klangs des Versuchsfahrzeugs im Innenraum

Als Geräusch zur Untermalung der Beschleunigung wurde der abstrahierte Klang eines V8-Sportwagenmotors gewählt. Dabei wurde auf die Darbietung von Schaltsprüngen verzichtet. Der Klang kann als sonor, kraftvoll und laut beschrieben werden. Die so absolvierten Manöver werden nachfolgend als Fahrten mit „dynamischem Sound“ oder „dynamischer Soundinszenierung“ beschrieben. Bei den Fahrten mit Soundinszenierung wird der rein elektrische Grundton durch den eingespielten Sound vollständig überlagert. Dementsprechend kann das jeweilige Innenraumgeräusch wie in Tabelle 7-2 aufgeführt, beschrieben werden.

Tabelle 7-2: Kurzbeschreibung der im Versuch verwendeten Innenraumgeräusche

Versuchsfahrzeug	Lautheit	Ton-schärfe	Rauig-keit	Schwank-ungsstärke	Tonalität	Einfluss von Stör-geräuschen
Mini E	niedrig	niedrig	niedrig	niedrig	hoch	mittel
Mini E mit Sound	hoch	mittel	hoch	mittel	niedrig	niedrig

7.2.3. Versuchsablauf und Befragungsmethoden

Der Versuch dauert insgesamt circa eine Stunde. Nach einer Vorbefragung, bei der demografische Daten und FahrROUTINEN abgefragt werden, wird der fahrpraktische Teil absolviert.

Das zugrundeliegende Manöver ist eine Vollastbeschleunigung aus dem Stillstand bis 70 km/h. Das Manöver wird auf einem geraden und ebenen Streckenabschnitt absolviert. Die Probanden führen wiederholt Beschleunigungen durch und bekommen jeweils drei unterschiedlich starke Motormomente (167 Nm, 196 Nm und 225 Nm)¹⁴ und somit drei unterschiedlich starke maximale Beschleunigungen (2,3 m/s², 3,0 m/s² und 3,7 m/s²)¹⁵ dargeboten, siehe Abbildung 7-2 und Abbildung 7-3. Der Beschleunigungsgradient wird annähernd konstant gehalten und nimmt Werte von 5,5-7,2 m/s³ an. Die modifizierten Beschleunigungen werden vom Versuchsleiter durch applikative Eingriffe am Motorsteuergerät eingestellt, mit und ohne eingespielten Motorsound absolviert und jeweils mit einer Referenzbeschleunigung verglichen. Die Referenzbeschleunigung (Referenzreiz) ist dabei die Abstimmung mit mittlerer Leistung (196 Nm) und ohne Soundinszenierung. Somit ergeben sich sechs mögliche unterschiedliche Durchgänge (modifizierte Reize), siehe Tabelle 7-3. Die Reihenfolge der einzelnen Durchgänge wird permutiert, um Reihenfolgeneffekten vorzubeugen.

¹⁴ Die genannten Motormomente entsprechen einer Leistung von 57, 67 und 77 kW.

¹⁵ Die genannten Werte beruhen auf der Mittelung des erreichten Beschleunigungsplateaus, nachdem sich die Beschleunigung eingeschwungen hat, bis hin zum Erreichen der Eckdrehzahl bei circa 3200 U/min.

Tabelle 7-3: Versuchsplan mit Darstellung der sechs möglichen Durchgänge (D1-D6)

		D1	D2	D3	D4	D5	D6
Moment / Leistung	167 Nm / 57 kW		x				
	196 Nm / 67 kW	x		x	x	x	x
	225 Nm / 77 kW						x
Sound-inszenierung	Ohne	x	x	x	x	x	x
	Dynamisch			x			x

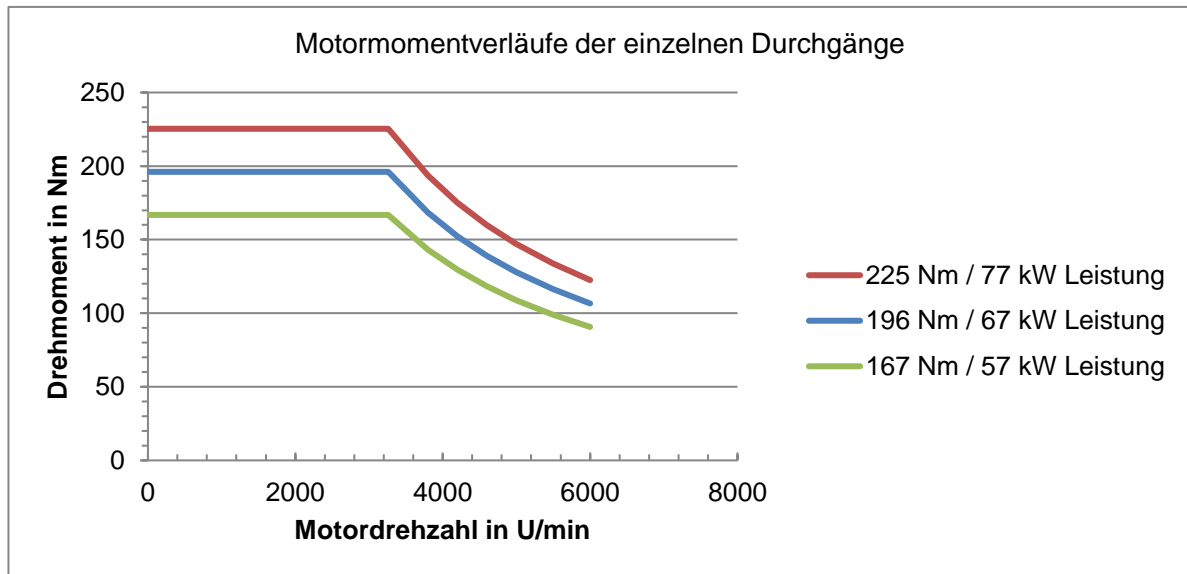


Abbildung 7-2: Motormomentverläufe der einzelnen Durchgänge im Versuch

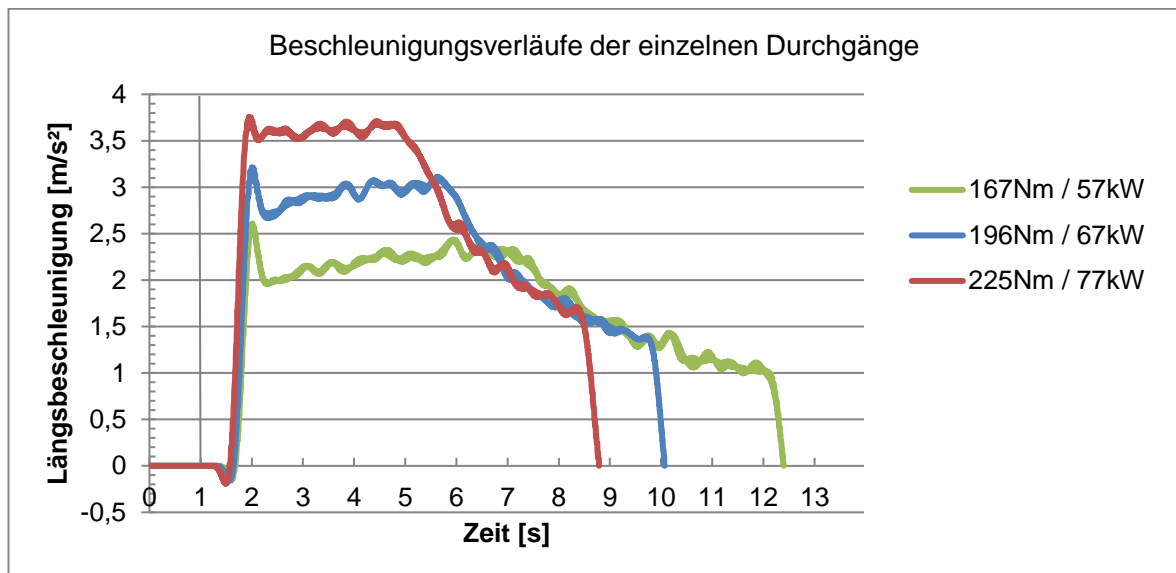


Abbildung 7-3: Beschleunigungsverläufe der Durchgänge im Versuch (Fahrpedaleingabe bei 1,0s)

Messtechnisch ergeben sich Beschleunigungsverläufe, wie sie Abbildung 7-3 zeigt. Diese wurden mit einem Beschleunigungssensor und 100Hz Abtastrate, sowie dem Programm Concerto von AVL (2014) und Export in Excel (Microsoft, 2010) erstellt.

Befragungsmethoden

Vor dem Beginn des fahraktiven Teils findet eine Vorbefragung der Probanden statt. Nach Durchfahren von Referenzreiz und modifiziertem Reiz wird das subjektive Erleben der Probanden erfasst. Im Rahmen der Vorbefragung wird neben den demografischen Daten der Teilnehmer auch die subjektive Selbsteinschätzung hinsichtlich des Wunsches nach einem künstlichen Motorsound bei Elektrofahrzeugen erhoben. Der zweite Teil der Befragung findet während des fahraktiven Teils statt, unmittelbar nach dem Absolvieren eines Beschleunigungsmanövers. Dabei wird zunächst die Leistung und Sportlichkeit des Fahrzeugs im Vergleich zum kurz davor absolvierten Referenzdurchgang geschätzt. Die Änderung der Leistung wird dabei je nach Wunsch des Probanden in Kilowatt oder Pferdestärken im Vergleich zur Referenzbeschleunigung von 67 kW bzw. 91 PS geschätzt. Die Leistung des Fahrzeugs während der Referenzbeschleunigung ist zur besseren Einschätzung der Probanden auf dem Fragebogen angeführt. Die Erhebung der subjektiv empfundenen Sportlichkeit des Fahrzeugs erfolgt unmittelbar danach, ebenfalls im Vergleich zur Referenzbeschleunigung ohne Sound. Diese wird auf einer fünfstufigen Skala mit Mittelwert erfasst. Als nächstes wird das aus den anderen Versuchen bekannte semantische Differential nach Hamm & Vaitl (1993), siehe Tabelle 5-4 auf Seite 74 in leicht abgewandelter Form verwendet. Ein weiterer Teil der Befragung behandelt den empfundenen Antriebscharakter. Dieser wird im Rahmen dieser Arbeit nicht detailliert beschrieben, da zur Wahrnehmung der Beschleunigung ein eigener Versuch durchgeführt wurde, siehe Kapitel 6 ab Seite 99. Der wahrgenommene Antriebscharakter wird ebenfalls in den anderen Versuchen behandelt und dort über einen längeren fahraktiven Teil mit mehreren und unterschiedlichen Manövern im realen Straßenverkehr genauer erhoben. Weitere Informationen bezüglich der beiden hier nicht diskutierten Größen, finden sich jedoch in der nicht veröffentlichten Diplomarbeit von Annegret Franzl (Franzl, 2013) und in Hajek et al. (2013).

7.2.4. Probandenkollektiv

Am Versuch nahmen insgesamt 27 Personen teil. Aufgrund versicherungstechnischer Rahmenbedingungen und der Wahl der abgesperrten Versuchsstrecke als Versuchsort konnten nur Probanden ausgewählt werden, die Mitarbeiter der BMW Group sind. Das durchschnittliche Alter der Probanden beträgt 29 Jahre. Die Teilnehmer waren zwischen neunzehn und 42 Jahre alt. Siebzehn Teilnehmer arbeiten zum Versuchszeitpunkt in einem technischen Umfeld und haben Erfahrung im Bereich der Elektromobilität. Zehn Teilnehmer hatten keinerlei Erfahrung mit Elektromobilität. Anhand der Äußerungen von Probanden lassen sich zwei ungefähr gleich große Gruppen bilden, die später auf gruppenspezifische Unterschiede in den Bewertungen hin untersucht werden. Diese sind:

Gruppen mit und ohne Präferenz für Motorsound: Im Rahmen der Vorbefragung werden die Probanden hinsichtlich ihrer Präferenz für einen künstlich erzeugten Motorsound in Elektrofahrzeugen befragt. Dabei wünscht sich eine Gruppe von dreizehn Personen keine Veränderung der Geräusche, die aktuelle Elektrofahrzeuge zeigen. Eine zweite Gruppe von vierzehn Personen wünscht sich ein eigenständiges charakteristisches Geräusch für Elektrofahrzeuge, das dann während der Fahrt eingespielt werden soll.

Gruppen mit und ohne Präferenz für den eingespielten Motorsound: Im Rahmen der Nachbefragung werden die Probanden gefragt, während welcher Manöver sie sich wohler gefühlt haben. Dabei gibt eine Gruppe von dreizehn Personen an, dass sie sich in den Manövern ohne Soundinszenierung wohler fühlen und die restliche Gruppe von vierzehn Teilnehmern fühlt sich während der Manöver mit Soundinszenierung wohler. Die auf Basis dieses Ergebnisses sich ergebenden Gruppen werden ebenfalls genauer untersucht.

7.3. Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse in Bezug auf die Befragung direkt nach dem Absolvieren der Manöver dargestellt. Die Ergebnisse werden hinsichtlich Emotionen und Anregung während des jeweiligen Manövers, nach der Leistungsschätzung und der subjektiv empfundenen Sportlichkeit des Antriebs beschrieben. Weiterführende Ergebnisse zur Vor- und Nachbefragung der Probanden sind in der Diplomarbeit von Annegret Franzl enthalten, siehe Franzl (2013).

7.3.1. Emotionen und Anregung während den Versuchsdurchgängen

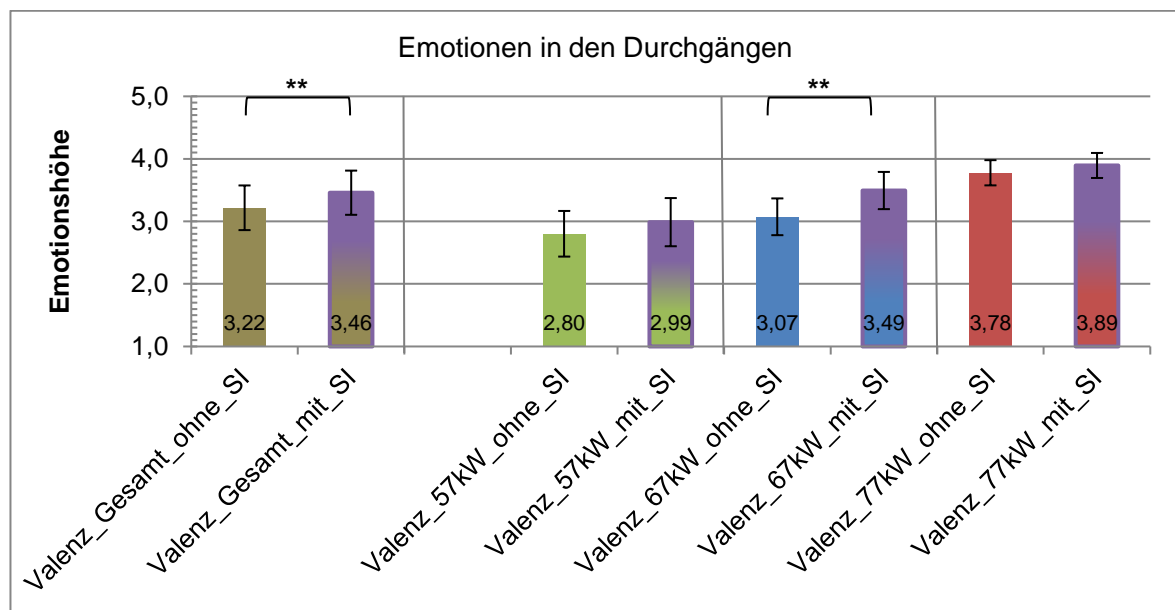


Abbildung 7-4: Emotionen in den einzelnen Durchgängen; (N=26); (Signifikanzniveaus: * p < .05 ** p < .01 * p < .001); SI...Soundinszenierung; Ordinate – Valenz: 1...sehr / 2...eher –unzufrieden, –unglücklich, –genervt; 3...weder noch; 4...eher / 5...sehr –zufrieden, –glücklich, –erfreut;**

Die Emotionen wurden nach dem oben beschriebenen semantischen Differenzial abgefragt, siehe Beschreibung der Abbildung 7-4. Über alle drei Leistungsstufen besteht ein signifikanter Unterschied im t-Test mit verbundenen Stichproben zwischen den Fahrten ohne und mit Soundinszenierung (Valenz gesamt: $t(80)=2,706$; $p=0,008$). In der Fahrt mit mittlerer Leistungsstufe steigen die Emotionen der Fahrer ebenfalls signifikant an (Valenz bei 67kW: $t(26)=2,954$; $p=0,007$). In den anderen beiden Leistungsstufen steigen die positiven Emotionen im Mittel ebenfalls, aber nicht signifikant. Das Auftreten positiver Emotion steigt allgemein betrachtet hin zu mehr Leistung: von emotionslos bei

der niedrigen Leistungsstufe und der mittleren Leistungsstufe ohne Soundinszenierung, hin zu erhöhten positiven Emotionen bei der mittleren Leistungsstufe sowie deutlich positiven Emotionen bei der hohen Leistungsstufe mit und ohne Soundinszenierung. Bei gleicher Leistung des Versuchsfahrzeugs steigen ebenfalls die Emotionen der Fahrer in positive Richtung bei den Fahrten mit Soundinszenierung, im Vergleich zu denen mit Originalmotorsound.

Ein ähnliches Bild zeigt sich für die Auswertung der Anregung in den Versuchsdurchgängen, siehe Abbildung 7-5. Die Anregung unterscheidet sich, über alle Durchgänge gesehen, signifikant im t-Test mit verbundenen Stichproben zwischen den Fahrten ohne und mit Soundinszenierung (Anregung gesamt: $t(80)=5,672$; $p<0,0001$).

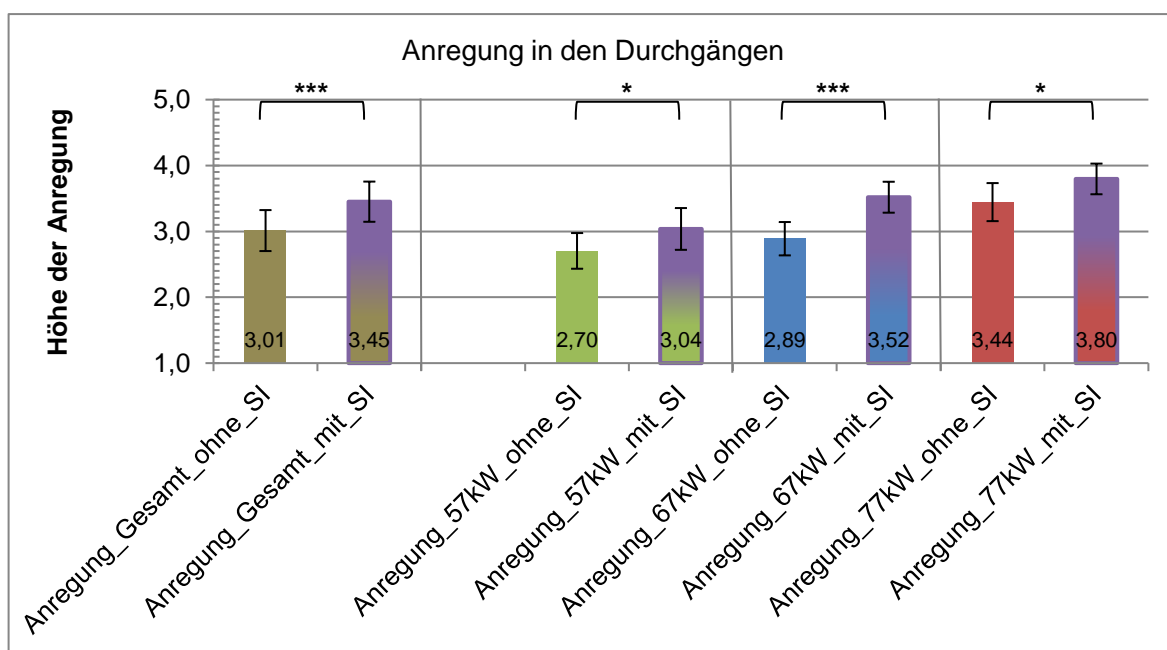


Abbildung 7-5: Anregung in den einzelnen Durchgängen; (N=26); (Signifikanzniveaus: * $p < .05$ ** $p < .01$ *** $p < .001$); SI...Soundinszenierung

In allen drei Leistungsstufen steigt die Anregung hin zu den Fahrten mit Soundinszenierung (Anregung 57 kW: $t(26)=2,604$; $p=0,015$; Anregung 67 kW: $t(26)=4,757$; $p<0,0001$; Anregung 77 kW: $t(26)=2,546$; $p=0,017$). Auch hier steigt, allgemein gesehen, das Ausmaß an Anregung zum einen bezogen auf die Leistung des Fahrzeugs und zum anderen bei den Fahrten mit Soundinszenierung im Vergleich zu denen ohne Soundinszenierung deutlich an.

7.3.2. Schätzung der Leistung in den einzelnen Durchgängen

Die Schätzung der Leistung der Fahrzeuge wird ebenfalls direkt nach dem Absolvieren des Manövers vorgenommen. Die Ergebnisse hierfür sind in Abbildung 7-6 enthalten. Im Vergleich zu den jeweiligen Fahrten ohne Soundinszenierung wird die Leistung bei den inszenierten Manövern im Mittel höher eingeschätzt. Trotz einer erhöhten Standardabweichung (siehe Tabelle 7-4) des Durchgangs mit 67 kW Leistung, sind die Mittelwertunterschiede im Wilcoxon-Vorzeichenrangtest bei verbundenen Stichproben signifikant unterschiedlich (67 kW: $T(27)=-2,836$; $p=0,005$). Bei einer Leistung von 77 kW

sind die Unterschiede gerade nicht mehr signifikant, es kann jedoch von einer Tendenz gesprochen werden, da die Fehlerwahrscheinlichkeit kleiner 10% ist ($T(27)=-1,828$; $p=0,068$).

Tabelle 7-4: Standardabweichungen (SD) in den Durchgängen; (N=27); (SI...Soundinszenierung)

Durchgang	57 kW ohne SI	57 kW mit SI	67 kW ohne SI	67 kW mit SI	77 kW ohne SI	77 kW mit SI
SD [kW]	7,30	12,54	8,52	8,87	5,94	8,36

Es fällt auf, dass die Standardabweichung bei den Fahrten mit Soundinszenierung höher ausfällt, als bei den Fahrten ohne. Dieses Ergebnis wird nachfolgend genauer diskutiert werden.

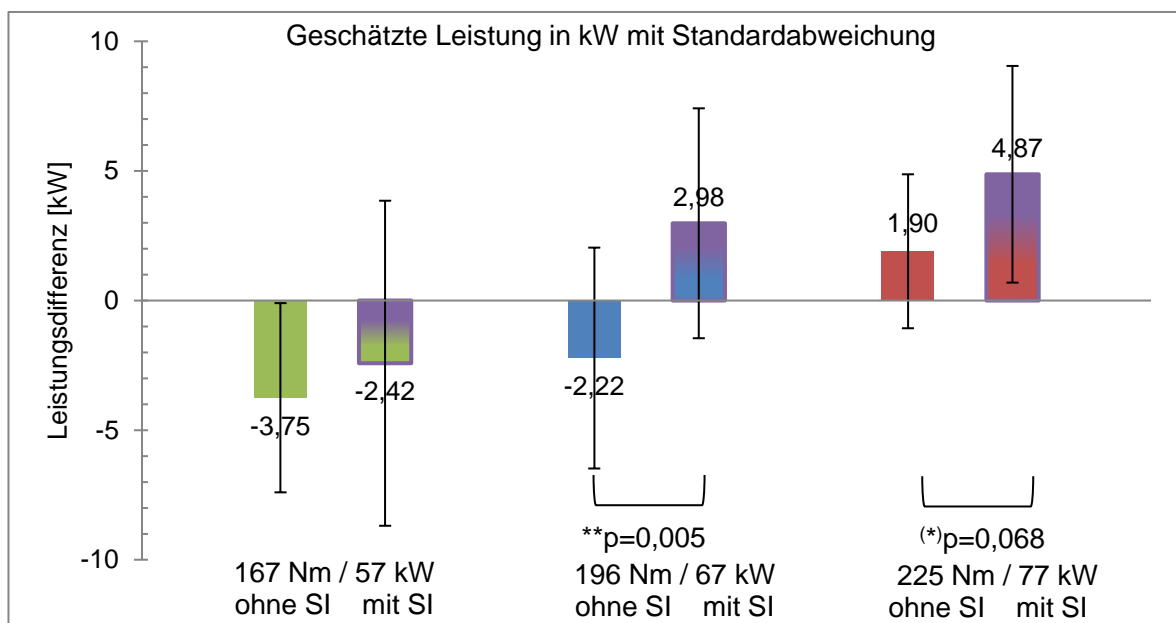


Abbildung 7-6: Ergebnisse zur Leistungsschätzung der einzelnen Durchgänge; (N=26); Angabe der Mittelwerte aller Probanden mit Signifikanzniveaus; (SI...Soundinszenierung)

7.3.3. Wahrgenommene Sportlichkeit

Die Befragung zur subjektiv wahrgenommenen Sportlichkeit zeigt ein ähnliches Bild, wie die zuvor vorgestellten Ergebnisse, siehe Abbildung 7-7. Wieder steigt diese mit steigender Leistung des Fahrzeugs. Allerdings sind alle drei Fahrten im Vergleich mit und ohne Soundinszenierung signifikant im t-Test mit verbundenen Stichproben (167 Nm / 57 kW: $t(26)=2,691$; $p=0,012$; 196 Nm / 67 kW: $t(26)=7,126$; $p<0,0001$; 225 Nm / 77 kW: $t(26)=1,887$; $p=0,004$).

Dieses Ergebnis wird auch durch eine detailliertere Betrachtung der Bewertungen, siehe Abbildung 7-8 deutlich. So treten bei der Fahrt mit niedriger Leistung und Soundinszenierungen acht Wechsel in der Wahrnehmung hin zu einer sportlicheren Einschätzung auf, wohingegen 22 Probanden die Fahrt mit niedriger Leistung und ohne Soundinszenierung als weniger sportlich als die Referenz mit mittlerer Leistungsstufe beurteilen. Noch beachtenswerter sind die Ergebnisse der mittleren Leistungsstufe. Im

Vergleich zur Referenzbeschleunigung mit gleicher Leistung, also rein durch das Hinzufügen der Soundinszenierung, schätzen neunzehn Probanden das Fahrzeug nun als sportlicher ein – also siebzehn mehr als zuvor. Ein ähnliches Ergebnis zeigt sich für die hohe Leistungsstufe. Hier gibt es bei der Fahrt mit Soundinszenierung keinen Probanden, der mit „weder noch“ bewertet – alle Probanden sind der Meinung, dass dieser Durchgang eher bis deutlich sportlicher als die Referenz ist. Dabei wechseln acht Probanden in Ihrer Beurteilung von „eher sportlicher“ hin zu „deutlich sportlicher“.

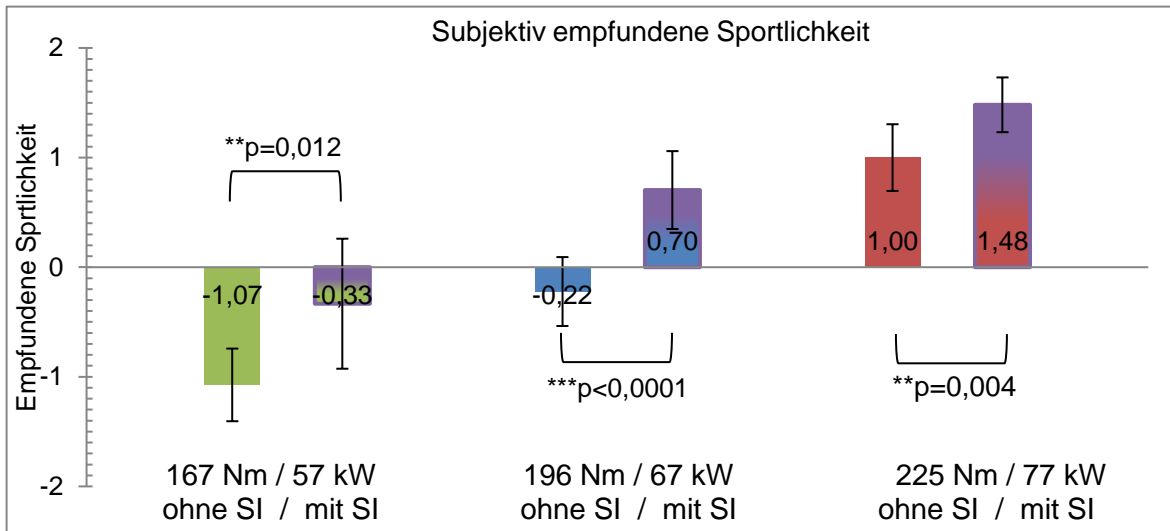


Abbildung 7-7: Mittelwerte, Standardabweichung und Angabe des Signifikanzniveaus der subjektiv empfundenen Sportlichkeit der einzelnen Durchgänge; (N=27); (Ordinate: -2...deutlich weniger sportlich; -1...eher weniger sportlich; 0...weder noch; 1...eher sportlicher; 2...deutlich sportlicher)

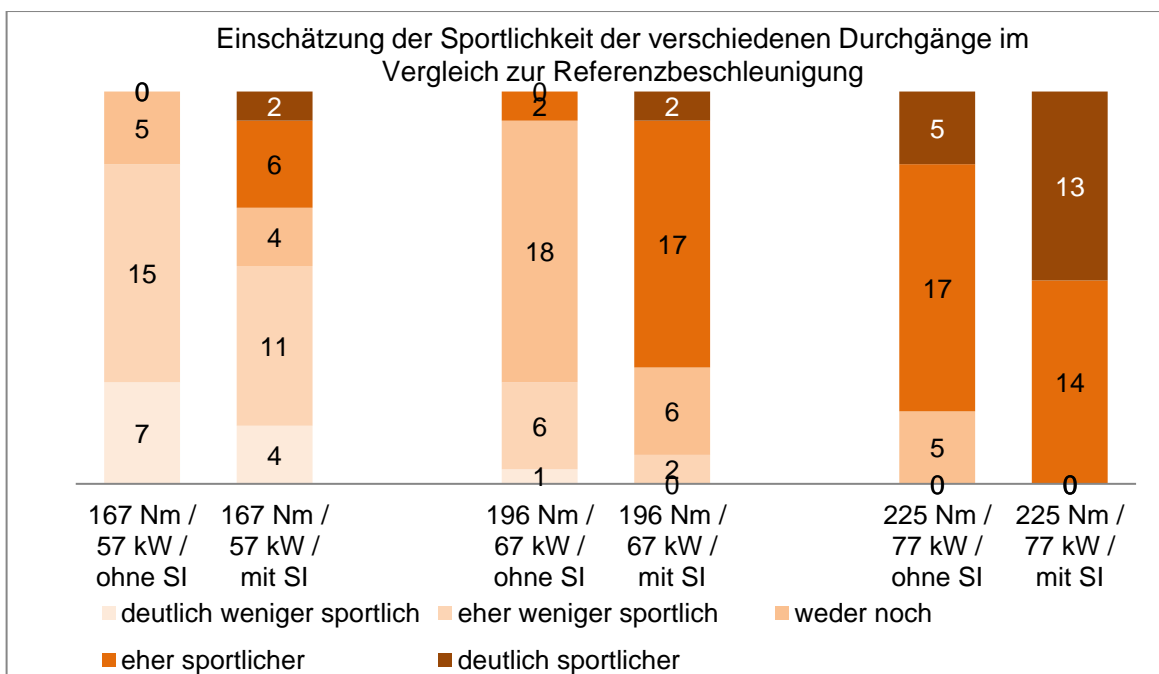


Abbildung 7-8: Einschätzung der subjektiv wahrgenommenen Sportlichkeit der Durchgänge; Angabe der Nennungen aller Probanden; (N=27); (SI...Soundinszenierung)

7.3.4. Gruppenspezifische Auswertung

Gemäß den eingangs erwähnten Gruppen, wurden alle dargestellten Ergebnisse auf Unterschiede innerhalb der Gruppen untersucht. Aufgrund der geringen Anzahl an Probanden in den Gruppen zeigt sich nur ein einzelner signifikanter Unterschied mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit unter fünf Prozent und ansonsten lediglich Tendenzen mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit kleiner zehn Prozent.

Bei den beiden Gruppen, die sich im Wunsch nach einem eigenen charakteristischen Geräusch bei Elektrofahrzeugen unterscheiden, treten in der Bewertung der Durchgänge mit Soundinszenierung drei Tendenzen auf, siehe Tabelle 7-5. So wird in der 77 kW Leistungsstufe in der Gruppe, die sich ein Geräusch wünscht, die subjektiv empfundene Leistung des Fahrzeugs deutlich höher eingeschätzt und damit einhergehend auch die Sportlichkeit des Fahrzeugs intensiver erlebt als in der anderen Gruppe. In der niedrigen Leistungsstufe steigt die Anregung der Probanden, die sich ein Geräusch wünschen, stärker als in der anderen Gruppe.

Tabelle 7-5: Ergebnisse der Diskriminanzanalyse mit Gruppen mit und ohne Wunsch nach einem eigenen charakteristischen Geräusch; (N=27)

Bewertung	Statistiken			keine Veränd. des charakt. Geräuschs		eigenes charakt. Geräusch		Gesamt	
	Wilks- λ	F	Sig.	MW	SD	MW	SD	MW	SD
Leistung 77 kW mit SI	0,88	3,46	0,075	1,90	5,80	7,63	9,59	4,87	8,37
Sportlichk. 77 kW mit SI	0,89	3,16	0,087	4,31	0,48	4,64	0,50	4,48	0,51
Anregung 57 kW mit SI	0,87	3,61	0,069	2,81	0,48	3,25	0,70	3,04	0,63

Die beiden anderen untersuchten Gruppen unterscheiden sich in der Bewertung des dargebotenen Sounds. Die eine Gruppe fühlt sich mit der Soundinszenierung wohler, die andere präferiert die originale Soundkulisse. Auch hier zeigen sich Unterschiede, wobei ein signifikanter, zwei annähernd signifikante Unterschiede und eine Tendenz enthalten sind, siehe Tabelle 7-6. Bei der Bewertung der Valenz in der niedrigen Leistungsstufe mit Soundinszenierung fühlt sich die Gruppe, die den Sound präferiert, auch wohler.

Tabelle 7-6: Ergebnisse der Diskriminanzanalyse mit Gruppen, die sich mit und ohne Soundinszenierung wohler fühlen; (N=27)

Bewertung	Statistiken			wohler ohne SI		wohler mit SI		Gesamt	
	Wilks- λ	F	Sig.	MW	SD	MW	SD	MW	SD
Valenz 57 kW mit SI	0,86	4,13	0,053	2,69	0,83	3,26	0,62	2,99	0,77
Sportlichk. 77 kW ohne SI	0,87	3,85	0,061	4,23	0,44	3,79	0,70	4,00	0,62
Valenz 77 kW mit SI	0,90	2,64	0,117	3,77	0,46	4,01	0,31	3,89	0,40
Anregung 77kW mit SI	0,85	4,27	0,049	3,62	0,46	3,96	0,41	3,80	0,47

Die deutlichsten Unterschiede zeigen sich in der Bewertung der hohen Leistungsstufe von 77 kW. In der Gruppe, der die Soundinszenierung gefällt, steigen sowohl die positiven Emotionen, wie auch die Anregung tendenziell, beziehungsweise signifikant an – anders als bei der anderen Gruppe. Dahingegen bewertet die Gruppe, die sich ohne Soundinszenierung wohler fühlt, die Sportlichkeit höher als die andere Gruppe.

7.4. Diskussion und Hypothesenüberprüfung

Um die grundlegende Hypothese „die emotionale Wahrnehmung ändert sich durch den inszenierten Motorsound“ beantworten zu können, werden zunächst die Teilhypothesen überprüft und diskutiert.

Die **erste Teilhypothese** beschäftigt sich mit der Auswirkung von hinzugefügtem Motorsound auf die emotionale Wahrnehmung der Beschleunigung. Während der Fahrt steigen die positiven Emotionen mit der Zunahme an Leistung. Außerdem steigen die Mittelwerte aller drei Durchgänge mit Soundinszenierung im Vergleich zu den Durchgängen mit Originalsound. Signifikant steigen jedoch nur die mittlere Leistungsstufe und die Mittelung aller drei Durchgänge, siehe Abbildung 7-4. Bei der Auswertung der Valenz der beiden anderen Durchgänge zeigen sich gruppenspezifische Effekte, siehe Tabelle 7-6. Diese zeigen, dass bei Probanden, die die Soundinszenierung bevorzugen, das Auftreten positiver Emotionen stärker steigt, als bei den Probanden, die den Originalsound bevorzugen.

Bei den Durchgängen mit niedriger Leistungsstufe berichten einige Probanden von einer gefühlten Diskrepanz zwischen dargebotener Leistung und dem eingespielten sportlichen Sound. Diese Unausgeglichenheit lässt einige Probanden verwundert zurück, sodass auch die emotionale Bewertung weniger eindeutig ausfällt. Auch bei der hohen Leistungsstufe fällt der Anstieg an positiven Emotionen nicht signifikant aus. Hier ist davon auszugehen, dass der Anstieg an Leistung und somit auch der wahrgenommenen Beschleunigung einen höheren Einfluss hat, als das Hinzufügen der Soundinszenierung. Bei niedriger und hoher Leistungsstufe tritt offensichtlich der von Genuit (2010) beschriebene Effekt auf, dass der dargebotene Motorsound zum restlichen Fahrzeugverhalten passen muss. Bei der niedrigen Leistungsstufe trat hier offensichtlich eine Diskrepanz auf.

Ausgehend vom erweiterten Emotionsmodell nach Plutchik, wird davon ausgegangen, dass die Probanden die einzelnen Beschleunigungen ähnlich wahrnehmen. Im Abgleich mit dem Kurzzeitgedächtnis und der anschließenden Bewertung stellt sich eine Nichterfüllung der Erwartungen an die mit sportlichem Motorsound assoziierte Beschleunigung ein. Dies führt bei einigen Probanden zu einer Ablehnung und Negativbewertung. Insgesamt wird festgestellt, dass der positive Einfluss des Motorsounds mit einer ausreichend hohen Gesamtbeschleunigung einhergehen muss, sodass eine positive emotionale Bewertung entsteht. Es zeigt sich, dass in den Bewertungen der Probanden die Kognitionen eine entscheidende Rolle einnehmen und darüber entscheiden, ob die wahrgenommene Beschleunigung in Verbindung mit dem dargebotenen Motorsound als positiv oder negativ evaluiert wird. Dabei liefert das erweiterte Emotionsmodell einen wesentlichen Beitrag zur Erklärung der Ergebnisse. Die Hypothese 1 kann also nicht allgemeingültig bejaht werden. Deswegen wird die Nullhypothese beibehalten.

Die **zweite Teilhypothese** betrifft die in den Durchgängen erlebte Anregung bei Hinzufügen eines Motorsounds. Bei der Auswertung der Anregung zeigt sich zum einen, dass die Anregung mit steigender Leistung ebenfalls ansteigt. Dieses Ergebnis deckt sich ebenso mit den Ergebnissen der anderen Versuche. Zum anderen unterscheiden sich alle drei Leistungsabstufungen mit Soundinszenierungen signifikant von denen ohne, siehe Abbildung 7-5. Trotz gleichbleibender Leistung steigt die Anregung in den Verläufen mit Soundinszenierung signifikant an.

Es zeigen sich aber auch gruppenspezifische Unterschiede, siehe Tabelle 7-5 und Tabelle 7-6. In der niedrigen Leistungsstufe steigt die Anregung der Gruppe, die sich ein charakteristisches Geräusch für Elektrofahrzeuge wünscht nochmals stärker, als in der Vergleichsgruppe. In der hohen Leistungsstufe steigt die Anregung in der Gruppe derer, die den Sound als positiv empfinden nochmals deutlicher, als in der Vergleichsgruppe.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Soundinszenierung immer einen Effekt auf die Anregung der Probanden hat und diese erhöht. Der Effekt fällt nochmals deutlicher aus, wenn der gewählte Motorsound den Erwartungen der Probanden entspricht. Die Alternativhypothese wird angenommen.

Die **dritte Teilhypothese** untersucht die wahrgenommene Sportlichkeit der Durchgänge mit Soundinszenierung im Vergleich zu denen ohne. Zur Beantwortung dieser Hypothese werden die Ergebnisse hinsichtlich Leistungsschätzung und Sportlichkeit herangezogen. Bei der Leistungsschätzung zeigen sich ein signifikanter Unterschied in der mittleren Leistungsstufe und eine Tendenz in der hohen, siehe Abbildung 7-6. In der gruppenspezifischen Auswertung findet sich eine Tendenz bei der hohen Leistungsstufe. Hier überschätzen die Probanden die Leistung des Fahrzeugs, die sich eine Soundinszenierung wünschen, stärker als die andere Gruppe. Allerdings vermag die gruppenspezifische Auswertung die hohen Standardabweichungen bei der Leistungsschätzung nicht zu erklären. Eine mögliche Begründung stellt abermals die oben angeführte Diskrepanz zwischen gebotener Leistung und Soundkulisse dar.

Die Bewertung der subjektiv empfundenen Sportlichkeit zeigt, dass diese in jeder Leistungsstufe signifikant bei den Fahrten mit Soundinszenierung steigt, siehe Abbildung 7-7. Die Detailauswertung in Abbildung 7-8 zeigt ebenfalls eindrucksvoll und deutlich die Veränderung der Einschätzung hin zu einer höheren Sportlichkeit. In der gruppenspezifischen Auswertung zeigt sich zusätzlich eine Abhängigkeit der beiden Gruppen in der hohen Leistungsstufe, siehe Tabelle 7-5 und Tabelle 7-6. So fühlt sich die Gruppe, die sich ein Geräusch im E-Fahrzeug wünscht, sportlicher als die Vergleichsgruppe. Auf der anderen Seite empfindet die Gruppe, die sich ohne Soundinszenierung wohler fühlt, im Durchgang mit unveränderter Motorakustik, sportlicher als die andere Gruppe.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass das Hinzufügen des dynamischen Motorsounds einen deutlichen Einfluss auf die wahrgenommene Sportlichkeit hat und dieser Einfluss die subjektiv eingeschätzte Sportlichkeit erhöht. Die Alternativhypothese wird angenommen.

In **Zusammenschau** der Diskussion **der einzelnen Teilhypothesen** lässt sich eine klare Auswirkung von dynamischem Motorsound auf die emotionale Wahrnehmung des Fahrers ableiten, wie ihn die grundlegende Alternativhypothese des Versuchs postuliert. Dieser Einfluss wirkt sich in einer Steigerung von Anregung und Sportlichkeit aus. Ein Effekt für das Auftreten positiver Emotionen konnte, wie in der ersten Teilhypothese formuliert, nicht gefunden werden. Allerdings zeigen die Ergebnisse und die Diskussion, dass je nach Wahrnehmung, Bewertung und dem daraus folgenden Erlebnis, Motorsound immer emotional eingeschätzt wird. Diese Bewertung fällt je nach dem, was der Proband in der Vergangenheit erlebt hat und somit erwartet, positiv oder negativ aus.

Anhand der Ergebnisse der Diskriminanzanalyse kann diese Interpretation ebenfalls nachvollzogen werden. Die Gruppe, die den Sound präferiert, zeigt dies anhand ihrer Bewertungen. Gleiches gilt für die Gruppe, die keinen Sound bevorzugt. Dies wirkt sich nicht nur auf die Bewertung der Valenz, sondern auch der Sportlichkeit und Anregung in der hohen Leistungsstufe aus. In Summe wird deswegen die Alternativhypothese des Versuchs angenommen und festgehalten, dass ein im Elektrofahrzeug eingespielter inszenierter Motorsound immer eine Auswirkung auf das emotionale Erleben des Fahrers hat.

8. Erleben von Elektroantrieben und Fahrerintention

Die bisherigen Versuche der Kapitel 5, 6 und 7, die im Realfahrzeug durchgeführt wurden, zeigen den Einfluss längsdynamischer Veränderungen und eines inszenierten Motorsounds auf das emotionale Erleben eines Elektrofahrzeuges. Eine bestimmte Intention einer Person kann das momentane Erleben stark beeinflussen. Dies war insbesondere beim Card-Sorting Versuch in Kapitel 4 ersichtlich, bei dem sich einige Ergebnisse mit Hilfe der jeweils präferierten Erlebniszustände und der Reversal Theorie erklären ließen. Bislang wurde eine mögliche Intention des Fahrers beim Fahren im Realfahrzeugversuch jedoch nicht genauer untersucht. So stellt sich nun die Frage, ob die gesammelten Ergebnisse auch unter bestimmten Fahrintentionen ihre Wirkung entfalten. Eine solche Intention könnte beispielsweise sein: „Heute möchte ich während der Fahrt entspannen.“ Hierfür werden, ausgehend von der in Kapitel 4 gefundenen Aktivierungsachse, eine betont komfortorientierte Auslegung eines E-Antriebs und eine dynamisch-agile untersucht. Zur Definition der relevanten Erlebnissituationen wird auf die Storytelling-Methode zurückgegriffen. Außerdem werden die Probanden vor Absolvierung der Fahrten unter Zuhilfenahme von Priming in die jeweilige Fahrintention versetzt. Es wird jeweils eine Baseline-Abstimmung mit den beiden Erlebnis-Abstimmungen verglichen. In die längsdynamische und akustische Gestaltung der beiden Erlebnisabstimmungen fließen die Ergebnisse der bisherigen Studien mit ein.

8.1. Hypothesen

Die zugrundeliegende Hypothese des Versuchs wird einseitig auf einem α -Fehlerniveau von 5% getestet. Sie lautet:

H_0 : Eine entspannte oder angeregte Intention des Fahrers beeinflusst die auftretende Valenz, Anregung und Erlebnisse der Fahrer in einem entsprechend längsdynamisch und soundtechnisch abgestimmten Elektrofahrzeug im Vergleich zu einem nicht gezielt abgestimmten Elektrofahrzeug nicht positiv und zielgerichtet.

H_1 : Eine entspannte oder angeregte Intention des Fahrers beeinflusst die auftretende Valenz, Anregung und Erlebnisse der Fahrer in einem entsprechend längsdynamisch und soundtechnisch abgestimmten Elektrofahrzeug im Vergleich zu einem nicht gezielt abgestimmten Elektrofahrzeug positiv und zielgerichtet.

Da sich der Versuch in zwei Teilversuche mit jeweils unterschiedlicher Fahrerintention aufteilt, kann die zugrundeliegende Hypothese in weitere Teilhypothesen unterteilt werden, welche ebenfalls auf einem α -Fehlerniveau von 5% getestet werden.

Die vorangegangenen Versuche haben außerdem gezeigt, dass entspanntes Fahren nicht von hohen positiven Emotionen, sondern vielmehr von einer geringen Anregung und einer sehr niedrigen negativen Aktivierung geprägt ist. Deswegen wird in dieser Teilhypothese nicht auf die Valenz, sondern nur auf die subjektiv erlebte Entspannung eingegangen. Die **Teilhypothese für den komfortorientiert abgestimmten Antriebsstrang** lautet:

H1₀: Beim komfortorientiert abgestimmten E-Antrieb tritt im Vergleich zum Serienstand kein Unterschied in der subjektiv empfundenen Entspannung in Form von niedriger Anregung und niedriger negativer Aktivierung der Fahrer bei der Fahrt auf.

H1₁: Beim komfortorientiert abgestimmten E-Antrieb tritt im Vergleich zum Serienstand eine höhere subjektiv empfundene Entspannung in Form von niedriger Anregung und niedriger negativer Aktivierung der Fahrer bei der Fahrt auf.

Die Versuche aus Kapitel 5 und 6 zeigen, dass bei einem dynamischen Antrieb mehrheitlich eine hohe Valenz und eine hohe Anregung erlebt werden will. Diese hängt vom Beschleunigungsverhalten und dem Motorsound ab. Die **Teilhypothese für den dynamisch-agil abgestimmten Antriebsstrang** lautet folglich:

H2₀: Ein dynamisch-agil abgestimmter E-Antrieb hat keinen zielgerichteten Einfluss auf die Fahrer hinsichtlich Anregung und Valenz im Vergleich zur Baselinefahrt.

H2₁: Ein dynamisch-agil abgestimmter E-Antrieb hat einen zielgerichteten Einfluss auf die Fahrer durch Erhöhung der Anregung und Auftreten von positiverer Valenz im Vergleich zur Baselinefahrt. Die Erhöhung der Anregung und positiver Valenz der Fahrer im Vergleich zum Serienstand ist auf den inszenierten Motorsound und die direktere Anbindung des Antriebs zurückzuführen.

8.2. Methodik

Ziel des Versuchs ist es, zu untersuchen, wie sich bei einem E-Fahrzeug durch eine gezielte längsdynamische und soundtechnische Variation die emotionale Wahrnehmung eines Probanden verändert, der sich in einer bestimmten Fahr-Intention befindet. Hierfür werden zwei Szenarien gewählt und entwickelt, die dann im Versuch geprüft wurden. In Szenario 1 ist es die Intention des Fahrers, möglichst entspannt ans Ziel zu kommen. In Szenario 2 ist die Intention des Fahrers, möglichst dynamisch zu fahren, um Spaß zu haben. Hierfür wurden Methoden des Primings verwendet und mittels der Storytelling-Methode nach Michailidou, Saucken und Lindemann (2013) die beiden Szenarien entwickelt, welche jeweils in einer Erlebnisgeschichte beschrieben werden.

8.2.1. Priming, Storytelling Methode und verwendete Storys

Den Fahrern wird vor Beginn des Versuchs die Intention durch das Zeigen eines kurzen, zur Stimmung passenden, Imagefilms vorgeführt und das Motiv genannt („Mein i3 bringt mich entspannt ans Ziel“ oder „Mit meinem i3 komme ich dynamisch-agil ans Ziel“). Dieses Vorgehen berücksichtigt das psychologische Konzept des „**Priming**“, vergleiche Kahneman (2011). Priming (Bahnung) beschreibt „die Beeinflussung oder Veränderung eines Einstellungssets und global des Denkens, Fühlens und Handelns (...) durch eine

bestimmte Induktion. Ein Reiz oder Ereignis A hat eine Wirkung auf die Verarbeitung der nachfolgenden Ereignisse B oder den Umgang damit“ (Wirtz & Strohmmer, 2013, S. 1216). Priming, als psychologisches Konzept, gilt allgemein als anerkannt und ist anhand verschiedener Versuche belegt, vergleiche zum Beispiel Bargh, Chen und Burrows (1996), Vohs, Mead und Goode (2006) oder Lee und Schwarz (2010).

Im Rahmen dieses Versuchs geschieht das Priming der Probanden vor der Fahrt durch Zeigen eines kurzen circa 30 Sekunden langem Videos¹⁶, das zur gewählten Intention passt; zusätzlich wird der oben angeführte Motivsatz genannt. So wird der Proband auf eine anregende oder entspannende Fahrweise „geprimt“. Das Priming der Probanden schärft ihre Wahrnehmung zusätzlich, um herauszufinden, ob die gewählten Fahrzeugveränderungen zur gewählten Intention passen. Außerdem ist davon auszugehen, dass das Priming einen Einfluss auf die Sensomotorik hat, was sich in einer Änderung der Fahrweise in Richtung dynamischer oder komfortabler äußern müsste. Verschiedene Priming-Versuche zeigen zum Beispiel, dass auf „Seniorenalter“ geprimte Probanden eine bestimmte Strecke signifikant langsamer liefen als die nicht geprimte Kontrollgruppe, siehe Mussweiler (2006). Die einzelnen Substories der erstellten Story wurden den Probanden nicht gezeigt, um später einen Abgleich zwischen im Versuch tatsächlich erlebten Situationen und den Substories zu finden.

Der Begriff „**Storytelling**“ umfasst verschiedene Methoden und Ansätze, welche in diversen Forschungsrichtungen eingesetzt werden, vergleiche Thier (2006), um einen Überblick zu erhalten. Häufig werden Storytelling Methoden im Bereich der User Experience eingesetzt, wie es Quesenbery und Brooks (2010) beschreiben. Im Rahmen dieses Versuchs wird die oben genannte Methode verwendet und nachfolgend kurz beschrieben.

Michailidou et al. (2013) zeigen anhand von zehn Schritten wie eine Erlebnisgeschichte erstellt werden kann. Am Anfang steht dabei die Definition des Hauptmotivs als Grund zur Nutzung des Produkts. Dann werden bis zu zwei psychologische Bedürfnisse gemäß Sheldon et al. (2001) ausgewählt, die das Produkt befriedigen soll. Darauffolgend werden die Hauptcharaktere und das System beeinflussende Komponenten definiert. Als nächstes werden Erlebnisbausteine gesammelt und ein Schlüsselerlebnis definiert. Zu jedem Erlebnisbaustein wird eine „Substory“ als Fließtext beschrieben. Alle Substories bilden gemeinsam die Erlebnisgeschichte. Als letzter Schritt wird empfohlen, die Story zu visualisieren. Die Storytelling Methode hilft im Experience Design Prozess dabei, die Qualität der vorgestellten Konzepte zu erhöhen und neue Ideen zu finden. Nachfolgend werden die für den Versuch entwickelten Erlebnisgeschichten vorgestellt, die als Motiv „entspanntes Fahren“, beziehungsweise „dynamisch-agiles Fahren“ haben.

Story für die Fahrten mit entspannter Intention (Baselinefahrt und komfortorientierte Abstimmung):

Motiv: „Mein i3 bringt mich entspannt ans Ziel.“

¹⁶ Bei der entspannt-beruhigenden Fahrt beinhaltete das Video eine langsame Fahrt eines BMW i3 durch naturbelassene Landschaften. Bei der dynamisch-agilen Fahrt bestand das Video aus einer kurzen Sequenz eines BMW i3, der eine dynamische Stadtfahrt zeigt und immer wieder lächelnde Fahrer einblendet.

Tabelle 8-1: Story zu den Fahrten mit entspannter Intention¹⁷

„Fahrtbeginn“

Nach einem anstrengenden Arbeitstag verlässt Thomas das Büro. Als Projektmanager ist er viel beschäftigt und heute musste er früher los, da Thomas noch Freunde trifft.

Auf dem Weg vom Büro zum Parkplatz stellt Thomas mit seiner BMW-App das Navi auf den Zielort und wählt als Fahrmodus „relaxed control“ aus. Als er in seinen i3 einsteigt und den Start-Stop-Knopf drückt, bekommt er einen angenehm ruhigen Ton als Rückmeldung. Nach kurzer Zeit verstummt der Ton und angenehme Ruhe macht sich im Fahrzeug breit.



„Trotz viel Verkehr beruhigt mich mein i3“

Thomas rollt vom Parkplatz Richtung Straße. Auf den Hauptverkehrsadern der Stadt reiht sich Fahrzeug an Fahrzeug. Im „Stop and Go“-Verkehr kommt Thomas allein durch Betätigung des Fahrpedals vorwärts. Im „relaxed control“ Modus sind das Fahrpedal und die Rekuperation so gefühlvoll bedienbar, dass nervige Pedalwechsel der Vergangenheit angehören. Die Wechsel zwischen Beschleunigen und Rekuperieren erfolgen dabei weich verschliffen und ohne spitze Übergänge. Trotz des umtriebigen und lärmenden Verkehrs um ihn herum, wirken die gute Dämmung und das Fehlen eines konventionellen Motorsounds sehr entspannend auf Thomas.



Das Wissen darum, dass sein i3 nur Energie verbraucht, wenn er sich bewegt und die Tatsache, dass durch die Rekuperation Energie zurückgewonnen wird, tragen zu Thomas' langsam einsetzender Gelassenheit wesentlich bei.

„Die Ruhe im i3 erfreut mich“

Nach dem lästigen Stück auf dem Innenstadtring fährt Thomas noch kurz auf die Autobahn, bevor er bei seinen Freunden ankommt. Der Verkehr lichtet sich langsam und Thomas kann nun schneller fahren. Allerdings möchte er gar nicht in hohe Geschwindigkeitsregionen vordringen, da das Navi anzeigt, dass er noch genügend Zeit hat. Deswegen fährt Thomas mit circa 100 km/h auf der rechten Spur. Die weiche Abstimmung des Fahrpedals hilft ihm, die Geschwindigkeit zu halten und vermeidet ruckelnde Beschleunigungsspitzen. Thomas vergisst mehr und mehr die Mühen dieses Tages und entspannt sich.



¹⁷ Die Bilder entstammen der Homepage von BMW.de (2014a) und Infomaterialien zum BMW i3. Sie wurden für die Story passend zugeschnitten und geeignet bearbeitet, um den Story-Charakter zu verstärken.

„Entspannt Ankommen“

Kurze Zeit darauf kommt Thomas bei seinen Freunden an. Er drückt den Start-Stopp Knopf erneut und der i3 schläft sanft ein. Als er das Auto verlässt, wundert sich Thomas, dass er sich so entspannt fühlt, da er doch gestresst und aufgewühlt vom Arbeitsalltag gestartet ist. Umso mehr freut er sich nun auf die gemeinsame Zeit mit seinen Freunden und weiß, dass aufgrund seiner entspannten Fahrweise noch genügend Energiereserve für den Rückweg vorhanden ist.



Story für die Fahrten mit angeregter Intention (Baselinefahrt und dynamisch-agile Abstimmung):

Motiv: „Mit meinem i3 komme ich dynamisch-agil ans Ziel.“

Tabelle 8-2: Story zur Fahrt mit angeregter Intention¹⁸

„Los geht's!“

Als Michael sein Büro verlässt und auf den Parkplatz hinaustritt, freut er sich auf seine Fahrt nach Hause. Als Architekt hat er gerade den Auftrag für die Neugestaltung eines Kulturzentrums erhalten.

Vor Fahrtbeginn hat er per App seinen BMW i3 vorkonditioniert und als Fahrmodus „dynamic control“ vorgewählt. Er steigt ein und drückt den Startknopf seines i3. Sofort hört er den gewohnten Gong. Es kann losgehen! Vorfreude macht sich in ihm breit.

„Beschleunigen von der Ampel“

Als er vom Firmengelände wegfährt, hat er freie Straßen vor sich, die im gelborangen Schein der Straßenbeleuchtung schimmern. Michael denkt noch kurz über den gerade errungenen Erfolg nach und reiht sich an der Ampel in die linke der beiden Spuren ein. Jedoch muss er 300 m später rechts abbiegen. Neben ihm steht ein breites benzinschluckendes Coupé. Als die Ampel grün wird gibt der andere Fahrer stark Gas und prescht davon. Michael beschleunigt auch stark. Aufgrund des schnellen Beschleunigungsaufbau und des sofort verfügbaren Drehmoments schießt Michaels i3 schneller weg, als das höher motorisierte Coupé. Michael drückt es in den Sitz und der neuartige Motorsound seines i3 begeistert ihn. Auch weil er nicht schalten muss, schafft er es mit Leichtigkeit, den Wagen neben sich zu



¹⁸ Die Grafiken entstammen der Homepage von BMW.de (2014a) und Infomaterialien zum BMW i3. Sie wurden für die Story passend zugeschnitten und geeignet bearbeitet, um den Story-Charakter zu verstärken.

überholen. Michael hat die Situation richtig eingeschätzt und die Leistung seines i3 hat ihn wieder einmal beeindruckt. Er biegt an der nächsten Kreuzung rechts ab.

„Agiler Spurwechsel im Tunnel“

Kurz darauf fährt Michael in einen Innenstadt-Tunnel und hängt hinter einem Lastwagen fest. Ein kurzer Blick in den Rückspiegel genügt und er weiß, dass genügend Platz zum nächsten Fahrzeug hinter ihm ist. Er setzt den Blinker und gibt Strom. Bevor er sich versieht, ist er schon am Lkw vorbei. Wieder hat ihn die spontane Reaktion auf die Fahrpedaleingabe und das akustische Feedback fasziniert. Nach dem Lkw kommt kurze Zeit später auch schon die Ausfahrt und Michael fährt Richtung Landstraße.



„Auf der kurvigen Landstraße“

Auf den letzten Kilometern vor seiner Wohnung fährt Michael über eine enge Landstraße und genießt die Kurven. Das Ansprechen, die Beschleunigung und der stimmige Sound stimulieren ihn. Vor den Kurven nutzt er zur Verzögerung die etwas schärfer als normal abgestimmte Rekuperation und schafft es jeweils genau, die Geschwindigkeit einzustellen, die er wünscht. Er genießt es, dass er seinen i3 auf diese Weise perfekt kontrollieren kann und fast keine Pedalwechsel nötig sind. Durch die Rekuperation gewinnt er sogar noch Energie zurück.



„Ankommen“

Kurze Zeit später rollt Michael Zuhause in die Einfahrt und öffnet die Garage. Beim Druck auf den Start-Stopp-Knopf erlischt sein i3 und Michael erinnert sich nochmal an die aufregenden Momente dieser Fahrt.



8.2.2. Versuchsfahrzeug

Als Versuchsfahrzeug wurde ein Prototyp eines elektrifizierten Fahrzeuges der BMW Group ausgewählt. Es wird darauf hingewiesen, dass die später dargestellten Messwerte und grafischen Verläufe (zum Beispiel von Beschleunigung, Rekuperationsfähigkeit, Ladestand des HochvoltSpeichers) nicht mit aktuellen elektrifizierten Serienfahrzeugen der BMW Group vergleichbar sind. Am Versuchsfahrzeug selbst wurde ein Applikationsmotorsteuergerät und umfangreiche Messtechnik verbaut, damit die Längsdynamik verändert und ein künstlicher Motorsound generiert werden kann.

Längsdynamische Veränderungen

Das Beschleunigungsverhalten der frühen Applikationsstufe des Prototyps kann, basierend auf den bisherigen Ergebnissen der Arbeit, als durchaus dynamisch beschrieben werden. Dazu tragen der relativ steile Gradient und auch die hohe Maximalbeschleunigung bei, siehe Spalte „Baseline“ in Tabelle 8-3.

Tabelle 8-3: Längsdynamische Veränderungen am Versuchsfahrzeug der einzelnen Abstimmungen (die farbliche Codierung spiegelt sich in den folgenden drei Abbildungen zum Beschleunigungsverhalten wider)

	Baseline-Abstimmung	Dynamisch-Agile Abstimmung	Komfortorientierte Abstimmung
Beschleunigungsgradient Volllastbeschl. aus 20 km/h	~10-11 m/s ³	23,0 m/s ³	3,4 m/s ³
Maximalbeschleunigung	~ 4,0 m/s ²	4,0 m/s ²	4,0 m/s ²
Überhöhung der Maximalbeschleunigung	-	0,6 m/s ² für 0,06 s bei Volllastbeschl. ab Stillstand	-
Rekuperationsniveau	~ -1,7 m/s ²	-1,7 m/s ²	-0,9 m/s ² bei 60km/h -1,0 m/s ² bei 30km/h -1,1 m/s ² bei 10km/h
Rekuperationsgradient	~-2,2 m/s ³	-3,5 m/s ³	-1,0 m/s ³

Durch applikative Eingriffe an der elektrischen digitalen Motorelektronik, mithilfe der Software INCA (ETAS, 2013), wurde das Beschleunigungs- und Rekuperationsverhalten des Versuchsfahrzeuges verändert, siehe Tabelle 8-3. Für die **dynamisch-agile Abstimmung** wurde der Beschleunigungsgradient erhöht und basierend auf den Ergebnissen der Studie aus Kapitel 6 eingestellt. Dieser beträgt nun sehr dynamische 23,0 m/s², siehe Abbildung 8-1, was sich auch in spontanen Beschleunigungsabrufen aus Konstantfahrt oder dem Stand, siehe Abbildung 8-2 durch eine Überhöhung der Maximalbeschleunigung bemerkbar macht, die der Fahrer als kurzen Ruck spürt. Bei einer Volllastbeschleunigung aus dem Stand beträgt die Überhöhung 0,6 m/s², siehe Abbildung 8-2. Das Rekuperationsniveau beträgt wie schon in der Baselineabstimmung maximal -1,7 m/s², siehe Abbildung 8-3. Aufgrund funktionaler und sicherheitstechnischer Anforderungen konnte dieses Niveau nicht unterschritten werden. Allerdings baut sich die Rekuperation in der dynamisch-agilen Fahrt schneller auf, als in den anderen beiden Fahrten. Als Maß dafür wird der Rekuperationsgradient¹⁹ eingeführt, der bei der dynamischen Fahrt -3,5 m/s³ beträgt. Verändert wurde auch das Fahrpedalkennfeld des Fahrzeugs. Dieses beschreibt die Reaktion des Fahrzeugs auf Fahrpedaleingaben und hängt von der Geschwindigkeit und dem momentanen Fahrpedalwinkel ab. Im Rahmen der dynamisch-agilen Fahrt wurde dieses Kennfeld so verändert, dass im Vergleich zur Baselinefahrt bestimmte Fahrpedalwinkel ein größeres Moment freisetzen. Die beschriebenen Änderungen tragen dazu bei, dass das Fahrzeug direkter am Fahrpedal und der Antrieb somit härter angebunden wirkt.

¹⁹ Der Rekuperationsgradient wird definiert als der Gradient des linear interpolierten Längsbeschleunigungsabfalls, der sich einstellt, wenn aus einer Konstantfahrt von 60 km/h das Fahrpedal spontan und möglichst rasch losgelassen wird. Gemessen wird er zwischen dem ersten annähernd linearen Abfall nach der Längsbeschleunigung, bis kurz vor den Übergang in eine konstante Verzögerung, dem sich einstellenden Rekuperationsniveau. Prinzipiell bildet er somit den weiter oben definierten Beschleunigungsgradienten für eine Rekuperation ab.

In der **komfortorientierten Abstimmung** besteht die Intention des Fahrers darin, das Versuchsfahrzeug möglichst entspannend zu bewegen. Dies wird vor allem dadurch erreicht, dass die Kontrollierbarkeit und dadurch das Komfortempfinden erhöht werden. Deswegen wurden die längsdynamischen Veränderungen so vorgenommen, dass sich der Antrieb weicher angebunden verhält, jedoch weiterhin gut kontrollierbar sein soll. Der Beschleunigungsgradient ist wesentlich flacher auf $3,4 \text{ m/s}^3$ eingestellt, siehe Abbildung 8-1. Wie bei den anderen beiden Abstimmungen, blieb die Maximalbeschleunigung unangetastet. Dies vermittelt dem Fahrer Sicherheit beim Beschleunigen, zum Beispiel bei Überholmanövern. Die Rekuperation wurde abhängig von der Geschwindigkeit verändert. Bei Geschwindigkeiten über 60 km/h ist die Rekuperation deutlich reduziert. Somit machen sich bei Landstraßen- und Autobahnfahrten größere Änderungen der Fahrpedalwinkel nicht so stark bemerkbar, was eine Beruhigung des Beschleunigungsverlaufs zur Folge hat. Bei niedrigen Geschwindigkeiten unter 60 km/h wird die Rekuperation wieder leicht erhöht. Somit hat der Fahrer die Möglichkeit, durch vorausschauendes Fahren, Bremsen in der Stadt nahezu komplett vermeiden zu können. Diese Strategie, das Fahrzeug nur mit dem Fahrpedal bewegen zu können, wird als OnePedal-Fahren bezeichnet. Der Rekuperationsgradient ist ebenfalls flacher gestellt und beträgt $-1,0 \text{ m/s}^3$.

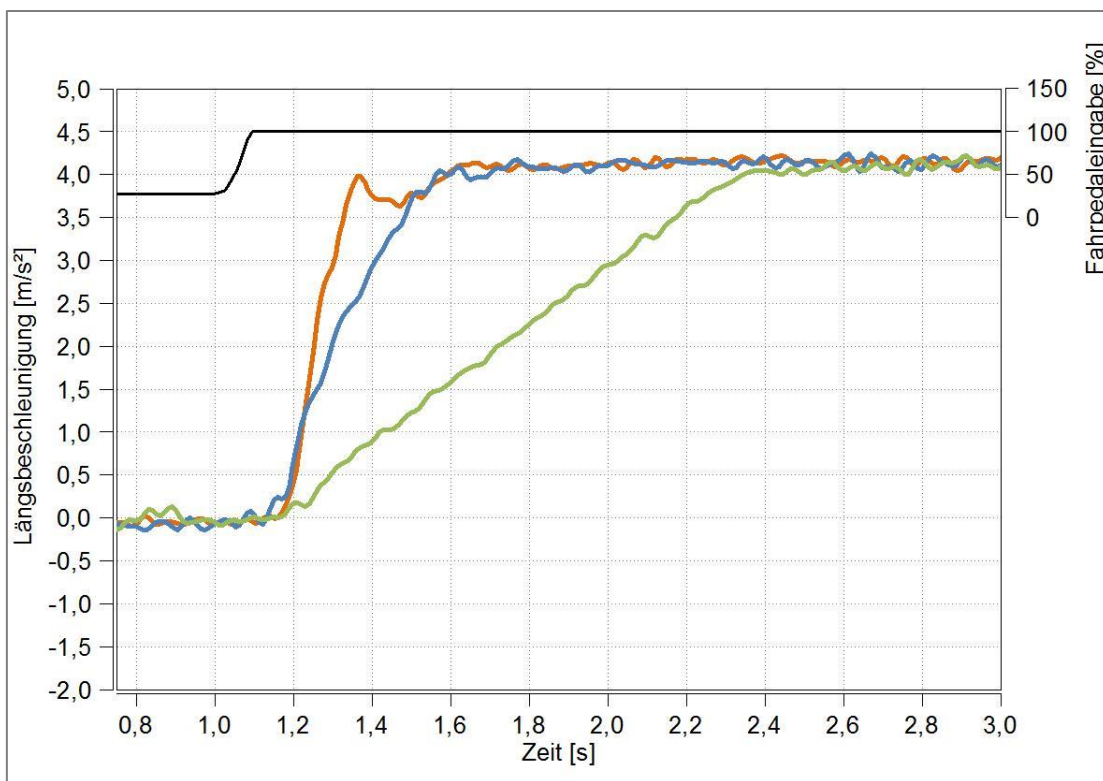


Abbildung 8-1: Reaktion des Antriebs in den drei Versuchsausprägungen bei einer Vollastbeschleunigung ab 20 km/h ; Fahrpedaleingabe bei $1,0 \text{ s}$; Blaue Linie...Baseline-Abstimmung; Orange Linie...Dynamisch-Agile Abstimmung; Grüne Linie...Komfortorientierte Abstimmung; FPW = Wert des Fahrpedalwinkels.

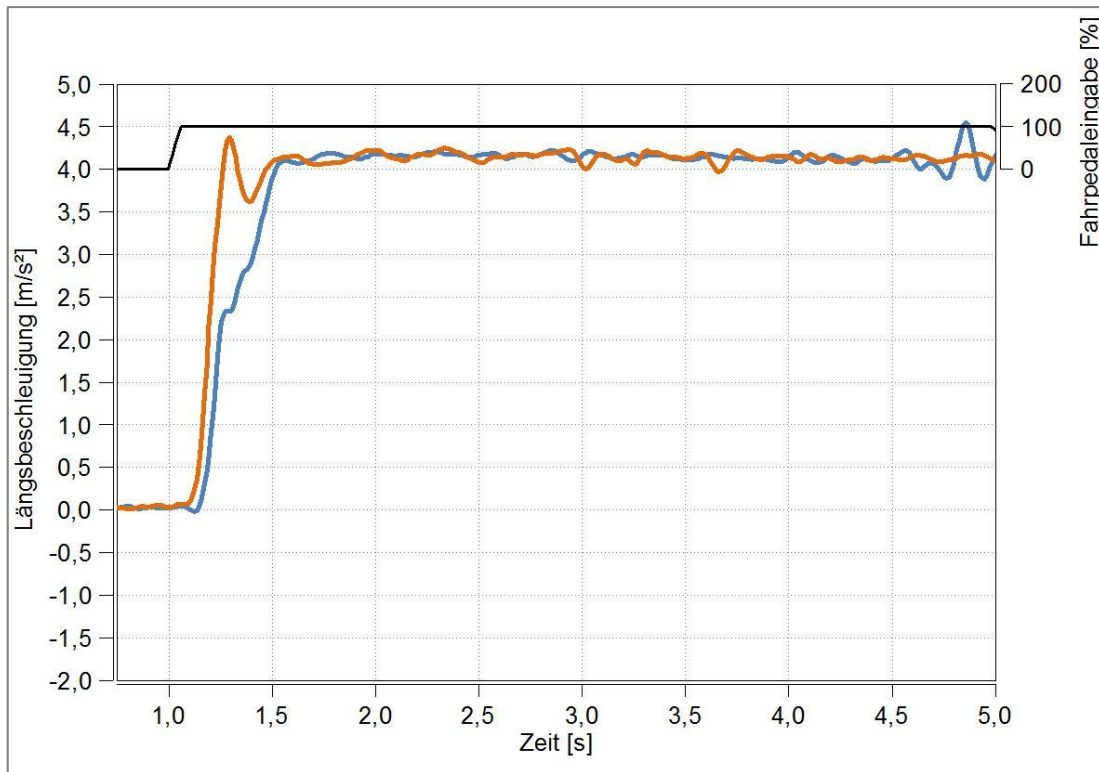


Abbildung 8-2: Reaktion des Antriebs bei der dynamisch-agilen Abstimmung (Orange Linie) und bei der Baseline-Abstimmung (Blaue Linie) auf eine Vollastbeschleunigung vom Stillstand beginnend; FPW = Wert des Fahrpedalwinkels

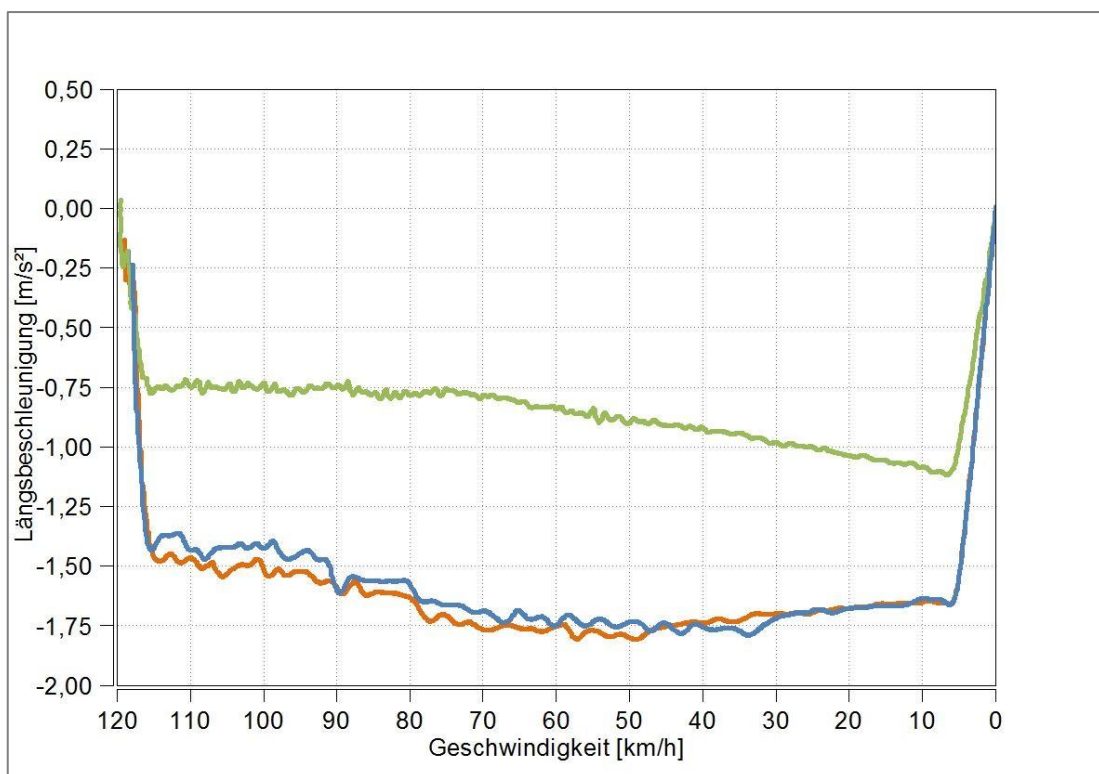


Abbildung 8-3: Rekuperationsverhalten der drei Antriebsabstimmungen über der Zeit. Manöver: Spontanes Loslassen des Fahrpedals nach Konstantfahrt bei 120 km/h. Blaue Linie...Baseline-Abstimmung; Orange Linie...Dynamisch-Agile Abstimmung; Grüne Linie...Komfortorientierte Abstimmung

Beschreibung des neuartigen Motorsounds der dynamisch-agilen Erlebnis-Fahrt

Der im Versuch eingesetzte Motorsound wurde mithilfe des Softwareprogramms MAX (Cycling74, 2013) und einer auf Basis von MAX 6.1 programmierten Prototypensoftware generiert. Die Software wurde von Mitarbeitern des Sound Design Teams bei der BMW Group zur Verfügung gestellt und von Emar Vegt sowie Daan Pothoven entwickelt und implementiert. Als Eingangsgrößen werden folgende Variablen verarbeitet: die Geschwindigkeit an den angetriebenen Rädern, das momentan anliegende Abtriebsmoment, der Fahrpedalwinkel und die Motordrehzahl. Diese Daten werden mithilfe einer CAN-to-USB Schnittstelle von IXXAT in Echtzeit auf einen speziellen Messrechner übertragen (IXXAT, 2012). Der generierte Motorsound sollte sehr dynamisch klingen, weswegen er hauptsächlich vom Fahrpedalwinkel und vom momentan anliegenden Moment abhängt, da sich diese beiden Größen während der Fahrt häufiger und schneller verändern, als die beiden anderen Eingangsgrößen Geschwindigkeit und Motordrehzahl. Um einen neuartigen Motorsound zu gestalten, wurden zwei Grundgeräusche gewählt, die sich während der Fahrt überlagern. Ein hochfrequentes Geräusch, das dem typischen Klang einer Elektromaschine nachempfunden ist und ein tieffrequentes Geräusch, das Stärke und Souveränität ausdrücken soll. Das hochfrequente Grundgeräusch bewegt sich zwischen 2 und 3,5 kHz, das tieffrequente zwischen 100 und 300 Hz, vergleiche Abbildung 8-4.

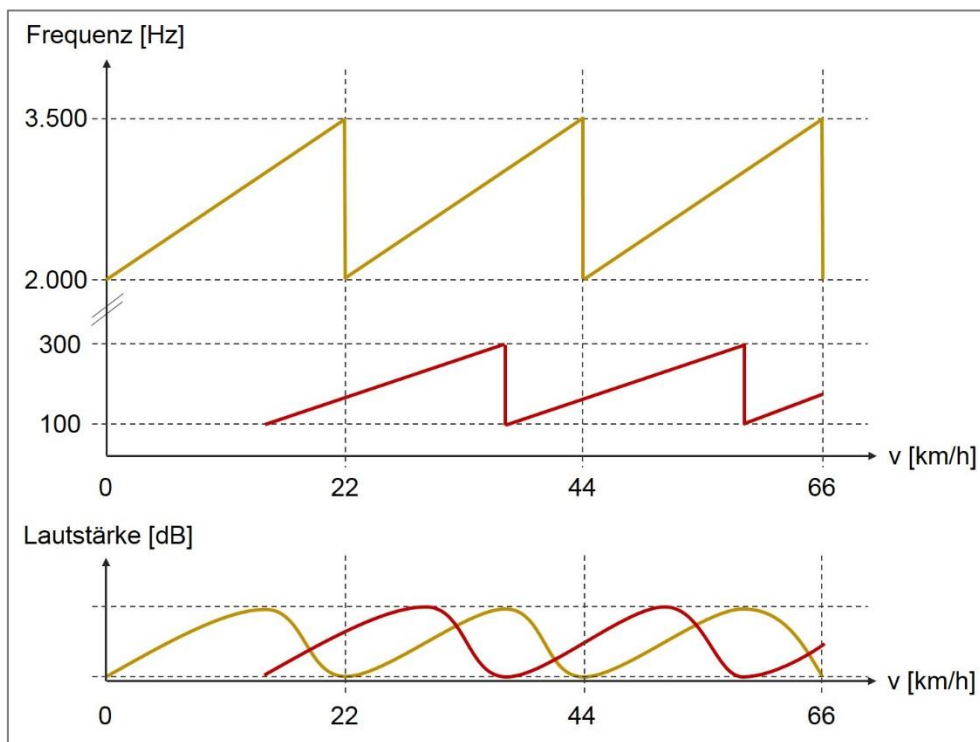


Abbildung 8-4: Schematische Darstellung der Frequenzentwicklung und der Lautstärke der beiden Grundgeräusche (gelbe und rote Linien) über der Fahrzeuggeschwindigkeit

Die beiden Geräusche steigen jeweils mit der Geschwindigkeit an, wobei zunächst das hochfrequente Grundgeräusch dominiert. Ab circa 15 km/h wird dieser Ton stetig ausgeblendet und durch das nun an Frequenz und Amplitude ansteigende tieffrequente Grundgeräusch überlagert. Bei einer Geschwindigkeit von 22 km/h ist das hochfrequente

Grundgeräusch vollständig ausgeblendet, siehe Abbildung 8-4. In der Folge wird das hochfrequente Grundgeräusch erneut bei niedriger Lautstärke eingespielt. Sobald das weiterhin ansteigende tieffrequente Grundgeräusch seine volle Amplitude erreicht hat (bei circa 30 km/h), wird in selber Intensität wie beim hochfrequenten Grundgeräusch dieses wieder ausgeblendet und anschließend erneut eingespielt.

Durch dieses Vorgehen hat der Fahrer den Eindruck, dass der generierte Klang stetig, und ohne unangenehm schrill zu werden, ansteigt und fortlaufend – sozusagen wellenartig – generiert wird. Die oktavenweise Erneuerung des Motorsounds geschieht dabei alle 22 km/h. Die Wellenform des tieffrequenten Grundgeräuschs ist quadratisch und hängt vom Fahrpedalwinkel ab. Die Wellenform des hochfrequenten Grundgeräuschs ist sinusförmig und hängt in gleichen Teilen von der Geschwindigkeit, dem Fahrpedalwinkel und dem anliegenden Moment ab.

In den im Kapitel 2.3.4 genannten psychoakustischen Größen, kann der Motorsound wie folgt beschrieben werden:

Die **Lautheit** und auch die **Schwankungsstärke** des Sounds hängen stark vom momentanen Fahrpedalwinkel und dem abgerufenen Moment ab. Je stärker das Fahrpedal durchgetreten wird und somit das Moment steigt, desto lauter wird der Ton. Dabei steigt die Amplitude progressiv an. Durch die Abhängigkeit vom Moment wird der Motorsound bei höheren Geschwindigkeiten ab circa 90 km/h kontinuierlich leiser, da das maximale abrufbare Moment des Elektroantriebs abfällt. Bei Konstantfahrt und dem damit verbundenen geringem Momentenabrufes ist fast kein Motorgeräusch zu hören.

Die **Schärfe** und **Rauigkeit** des generierten Geräusches wird für den tieffrequenten Teil als „eher scharf“ und „eher metallisch“ sowie „eher rau“ beschrieben und für den hochfrequenten Teil als „weniger scharf“ aber dafür „glatt“.

Die **Tonalität** des eingesetzten Geräuschs wird durch den oben beschriebenen hochfrequenten Bereich unterstützt und als „mittel“ bezeichnet.

8.3. Durchführung

Die Dauer des Versuchs beträgt insgesamt zwischen 120 und 150 min. Die Probanden fahren insgesamt vier Fahrten mit unterschiedlichen Applikationen auf immer derselben Strecke. Dabei werden je zwei Fahrten (Baselinefahrt und komfortorientierte Abstimmung) mit entspannter Fahrerintention und zwei Fahrten (Baselinefahrt und dynamisch-agile Abstimmung) mit angeregter Fahrerintention absolviert. Der Ladestand des Hochvoltspeichers beträgt immer mindestens 40% oder mehr der Gesamtkapazität, um Degradationseffekten vorzubeugen.

8.3.1. Versuchsablauf und Befragungsmethoden

Nach der Begrüßung der Probanden wurden eine Einverständniserklärung zur Teilnahme und ein kurzer demografischer Fragebogen ausgefüllt. Danach wurde den Probanden das Vorgehen erklärt und besprochen, wie viele Fahrten absolviert und welche Befragungsmethoden verwendet werden. Die Fahrten mit einer bestimmten Intention

wurden jeweils paarweise durchgeführt, wobei die Reihenfolge permutiert wurde, siehe Abbildung 8-5. Die beiden intentionsspezifischen Fahrten (Baseline und Erlebnisfahrt) wurden ebenfalls permutiert. Jeweils vor den Fahrten wurde den Probanden die Intention mitgeteilt („Das Ziel der Fahrt ist nun möglichst viel Spaß zu haben und dynamisch zu fahren!“ – „Diese Fahrt soll möglichst entspannt und beruhigend wirken“) und ein kurzes, zur Intention passendes Video auf einem Tablet gezeigt. Während der vier Fahrten wurde nach jedem Manöver das bekannte semantische Differenzial nach Hamm und Vaitl (1993) eingesetzt, siehe Tabelle 5-4 auf Seite 74. Nach Beantwortung des semantischen Differenzials wurde nach Besonderheiten gefragt und um eine Einschätzung des jeweiligen Manövers gebeten. Im Anschluss an jede der vier Fahrten wurde noch die PANAS Kurzversion nach Mackinnon et al. (1999) in der deutschen Version von Krohne et al. (1996) erhoben²⁰.

Zuletzt wurde noch ein teilstrukturiertes Interview mit den Probanden durchgeführt. Die beiden Fahrten eines Blockes wurden durch einen Vergleichsfragebogen zwischen den beiden Fahrten abgeschlossen. Die Ergebnisse dieses Fragebogens sind im Anhang aufgeführt. Außerdem wurde noch gefragt, welche der gefahrenen Streckenabschnitte zu den Erlebnisausprägungen besonders gut passen.

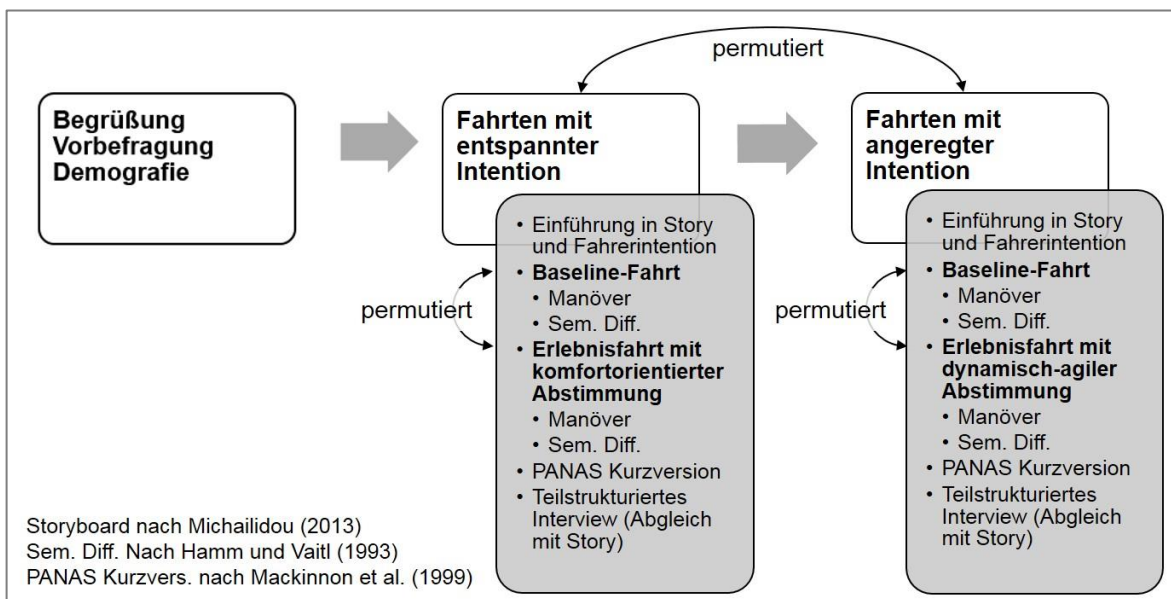


Abbildung 8-5: Versuchsablauf und verwendete Methoden

8.3.2. Versuchsstrecke

Als Versuchsstrecke kam die gleiche Strecke zum Einsatz, auf der schon die beiden Versuche zum Vergleich der durchschnittlich und hoch motorisierten Fahrzeuge durchgeführt wurden, Beschreibung siehe Kapitel 5.3.2 auf Seite 75.

²⁰ Die deutsche Version von Krohne, Egloff, Kohlmann und Tausch (1996) übersetzt alle 20 PANAS Adjektive auf Deutsch. Die PANAS Kurzversion von Mackinnon, Christensen, Korten, Jacomb, und Rodgers (1999) verwendet eine Auswahl an zehn PANAS Adjektiven aus den ursprünglich 20 Adjektiven. Somit erklärt sich der scheinbare Widerspruch in der Zeitangabe der Quellen.

8.3.3. Manöver

Die Manöver stützten sich ebenfalls auf die Manöver der vorherigen Versuche. Allerdings wurden diese an die jeweilige Fahrerintention angepasst. Einige Manöver waren in allen vier Fahrten vertreten, siehe Tabelle 8-4. Den Fahrer wurde genügend Zeit zum Kennenlernen der verschiedenen Antriebsapplikationen gewährt, bevor mit dem Durchfahren der Manöver begonnen wurde. Dabei wurden diese nicht in einer festgelegten Reihenfolge absolviert, sondern jeweils zur Verkehrssituation und dem Fahrerwunsch passend.

Tabelle 8-4: Überblick über die Manöver der verschiedenen Fahrten (Kurzbeschreibung für nachfolgende Diagramme in Klammern)

Manöver der Fahrten mit entspannter Intention	Manöver der Fahrten mit dynamisch agiler Intention
Ansprechverhalten bei circa 50 km/h (<i>Ansprechverhalten</i>)	Ansprechverhalten bei circa 50 km/h (<i>Ansprechverhalten</i>)
Teillastbeschleunigung von 30-60 km/h (<i>TL_30-60</i>)	Teillastbeschleunigung von 30-60 km/h (<i>TL_30-60</i>)
Rekuperation bei circa 50 km/h (<i>Reku</i>)	Rekuperation bei circa 50 km/h (<i>Reku</i>)
Ampel-Beschleunigung von 0-50 km/h in Teillast (<i>TL_0-50</i>)	Beschleunigung von 0-100 km/h in Volllast (<i>VL_0-100</i>)
Konstantfahrt mit 100 km/h (<i>Gleiten_100</i>)	Beschleunigung von 80-120 km/h in Volllast (<i>VL_80-120</i>)
	Beschleunigung von 30-60 km/h in Volllast (<i>VL_30-60</i>)

8.3.4. Probandenkollektiv

Am Versuch nahmen 32 Personen (darunter drei Frauen) teil. Alle Probanden waren Mitarbeiter der BMW Group, da zum Führen des Versuchsfahrzeugs eine spezielle interne Fahrausbildung nötig war. Das Durchschnittsalter betrug 32,8 Jahre (Standardabweichung (SD) 6,1 Jahre) der älteste Proband war 46 Jahre, der jüngste 23 Jahre alt. Die durchschnittliche Fahrerfahrung der Probanden betrug 15.400 km/Jahr (SD 9.000 km/Jahr). Die Probanden fuhren durchschnittlich 14,5-mal ein elektrifiziertes Fahrzeug (SD 14,7) und insgesamt circa 300 km elektrisch (SD 380 km). Bei der Auswahl der Probanden wurde darauf geachtet, dass versierte Fahrer von Elektrofahrzeugen mit viel Erfahrung, aber auch solche mit wenig Erfahrung teilnahmen. So konnten aufgrund der Fragen im demografischen Fragebogen folgende Gruppen gebildet werden, die später spezifisch ausgewertet werden (*Bezeichnung der Gruppe im Ergebnisteil jeweils in Klammern hinter der Beschreibung*):

Gruppen mit und ohne Kenntnisse im Fahrverhalten von E-Fahrzeugen

- 19 Fahrer fuhren öfter als 10mal oder insgesamt mehr als insgesamt 200 km elektrisch. (*E-Experten*)
- 13 Fahrer haben weniger als 10 Fahrten rein elektrisch und/oder weniger als 200 km elektrisch zurückgelegt. Von den 13 Fahrern haben zwei das erste Mal ein elektrifiziertes Fahrzeug bewegt. (*Grundlegende bis keine E-Erfahrung*)

Gruppen zum Fahrstil

- 19 Fahrer gaben an, dass sie, alles in allem, einen sportlichen Fahrstil haben (*sportlicher Fahrstil*)
- 13 Fahrer gaben an, dass sie, alles in allem, einen ausgeglichenen Fahrstil haben (*ausgeglichener Fahrstil*)

8.4. Ergebnisse

Die Ergebnisse werden statistisch ausgewertet und dargestellt. **Mittelwertvergleiche** kommen zur Untersuchung der verschiedenen Manöver mit einer bestimmten Intention und der PANAS Kurzversion zum Einsatz. Als Methode wird der t-Test mit verbundenen Stichproben eingesetzt, siehe Bortz und Schuster (2010). Zur Auswertung der drei Manöver, die in allen vier Fahrten vertreten sind (vergleiche Tabelle 8-4), eignet sich die Untersuchung mit dem ANOVA-Verfahren. Als Post-Hoc-Test wurde der nach Bonferroni angewandt, siehe Bortz und Schuster (2010).

Die **gruppenspezifische Auswertung** und der Test auf signifikante Unterschiede wurde mit Hilfe einer Diskriminanzanalyse ermittelt, siehe Backhaus (2011) oder Bortz und Schuster (2010). Es werden die in Kapitel 8.3.4 im Probandenkollektiv vorgestellten Gruppen untersucht und daneben auf den Einfluss der Reihenfolge der Fahrten eingegangen.

Die Beschreibung der **subjektiven Ergebnisse** beruht auf den Angaben, die Probanden im Rahmen der Interviews gemacht haben und ihren Rückmeldungen, während der Fahrt und den einzelnen Manövern. Zur Erläuterung dieser Ergebnisse werden auch die Mittelwertvergleiche und die gruppenspezifische Auswertung herangezogen.

Alle statistischen Tests wurden mit Hilfe der Software SPSS Version 19 (IBM, 2012) durchgeführt. Als Signifikanzniveau wurde, wie in der Literatur weit verbreitet, ein Fehlerniveau von 5% angenommen; aufgrund der Größe der Stichprobe werden auch Fehlerniveaus bis 10% diskutiert, wobei diese als Tendenz bezeichnet werden.

8.4.1. Deskriptive Auswertung und Mittelwertvergleiche

Die deskriptive Auswertung der Valenz und Anregung wird, wie in den anderen Versuchen beschrieben, durchgeführt. Die Abbildung 8-6 und Abbildung 8-7 zeigen die Auswertung der einzelnen Manöver in der Bewertung der Valenz und Anregung der Fahrten mit

entspannter Intention. Die Abbildung 8-8 und Abbildung 8-9 zeigen die jeweiligen Auswertungen der Fahrten mit dynamischer Intention²¹.

Bei der Auswertung der **Valenz** in den **Fahrten mit entspannter Intention**, siehe Abbildung 8-6 ergeben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Bewertung über die Gesamtstichprobe. Einzig die Teillastbeschleunigung vom Stand bis Stadtgeschwindigkeit zeigt auf Seiten der Baselinefahrt eine Tendenz zu höherer Valenz im Vergleich zur Erlebnisfahrt (EB-EE_TL-0-50_Valenz: $t(31)=1,763$; $p=0,088$).

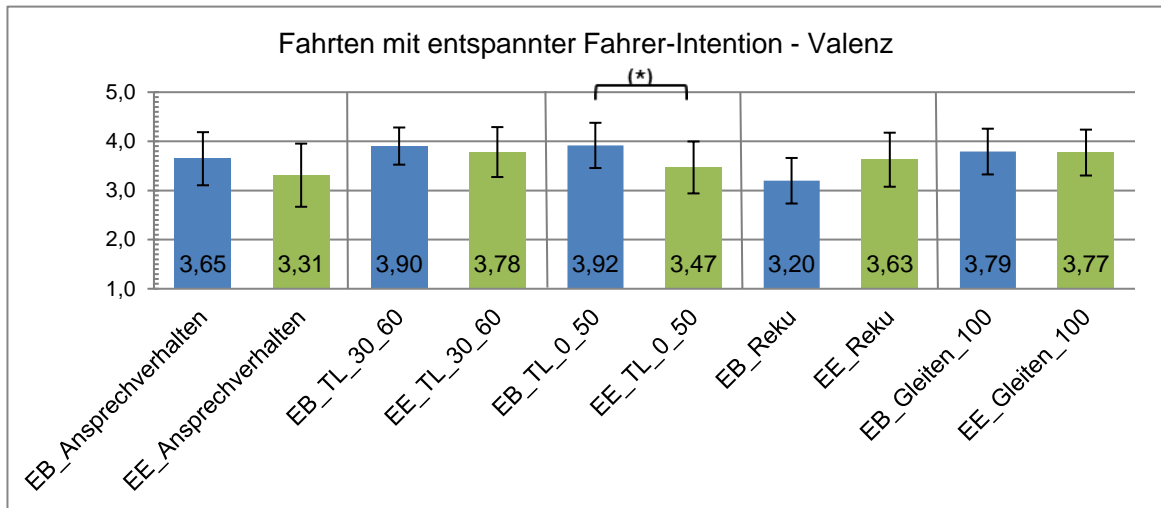


Abbildung 8-6: Ergebnisse der Valenzbewertung der Fahrer der einzelnen Manöver der Fahrten mit entspannter Intention mit Angabe der Standardabweichung; (N=32); (Ordinate: 1...hoch negativ; 3...emotionslos; 5...hoch positiv); EB...Entspannte Baseline; EE...Entspannte Erlebnisabstimmung (komfortorientierte Abstimmung)

Ein wesentlich eindeutigeres und statistisch signifikantes Ergebnis zeigt der Vergleich der Mittelwerte der Bewertung der **Anregung** in den einzelnen Manövern, siehe Abbildung 8-7. Jedes Manöver der Baselinefahrt wird als wesentlich und signifikant anregender empfunden, als dieselben Manöver bei der komfortorientierten Abstimmung. Alle Beschleunigungs- und das Rekuperationsmanöver unterscheiden sich signifikant voneinander: Signifikante Unterschiede im Vergleich der Fahrten EB-EE: Ansprechverhalten: $t(30)=4,916$; $p<0,0001$; TL_30_60: $t(30)=5,572$; $p<0,0001$; TL_0_50: $t(31)=5,421$; $p<0,0001$; TL_Reku: $t(31)=5,520$; $p<0,0001$. Auch das Fahren mit konstanten 100km/h wird bei der komfortorientierten Fahrt als signifikant weniger anregend empfunden: TL_Gleiten_100: $t(31)=2,193$; $p=0,036$.

²¹ Auf diesen Abbildungen werden die Bewertungen der Manöver „Starten des Fahrzeugs“ und „Deaktivieren des Fahrzeugs“ nicht dargestellt, da diese Manöver nur einmal über alle vier Fahrten erhoben wurde. Das Manöver „Starten“ erreichte eine positiv erhöhte Valenz 3,76 (SD: 0,80), die Anregung während des Startens wird als weder „anregend“ noch „nicht anregend“ mit 3,05 (SD: 0,63) bewertet. Ähnlich verhält es sich mit dem „Deaktivieren“ des Fahrzeugs: Valenz 3,35 (SD: 1,08); Anregung 2,74 (SD: 0,67).

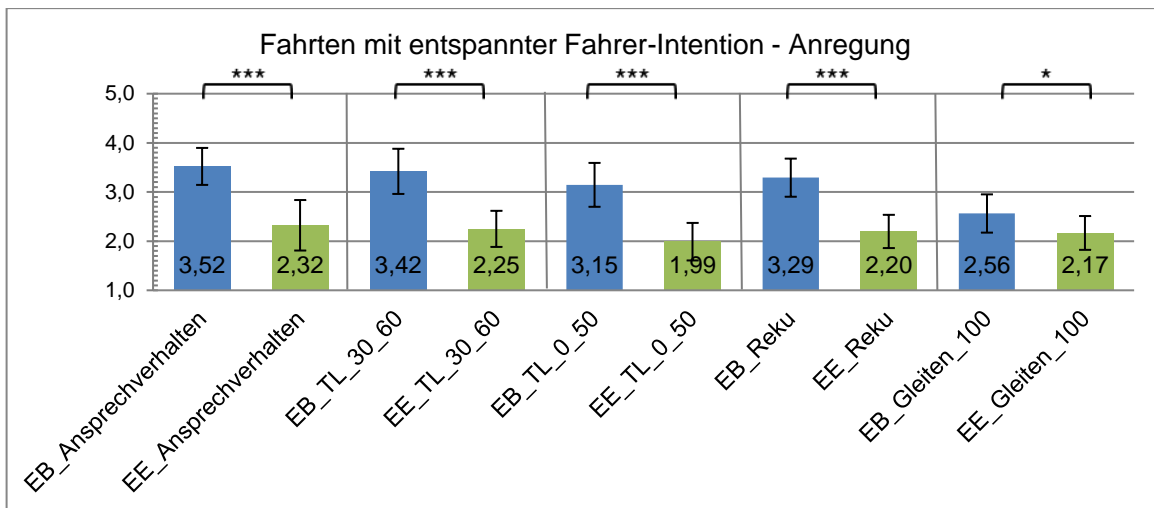


Abbildung 8-7: Ergebnisse der Bewertung der Anregung der Fahrer in den einzelnen Manövern der Fahrten mit entspannter Intention mit Angabe der Standardabweichung; (N=32); Ordinate: 1...sehr beruhigend; 3...weder beruhigend noch anregend; 5...sehr anregend; EB...Entspannte Baseline; EE...Entspannte Erlebnisabstimmung (komfortorientierte Abstimmung)

Bei dem Vergleich der beiden **Fahrten mit angeregter Intention** werden ein signifikanter Unterschied und eine Tendenz in der Bewertung der **Valenz** in den Fahrmanövern festgestellt, siehe Abbildung 8-8. Das Ansprechverhalten wird bei der Fahrt mit dynamisch-agiler Abstimmung tendenziell positiver erlebt ($t(30)=1,678$; $p=0,102$), wohingegen die Vollastbeschleunigung von 30 bis 60 km/h bei der Baselinefahrt als emotional positiver erlebt wird (VL_{30-60} : $t(30)=2,194$; $p=0,036$).

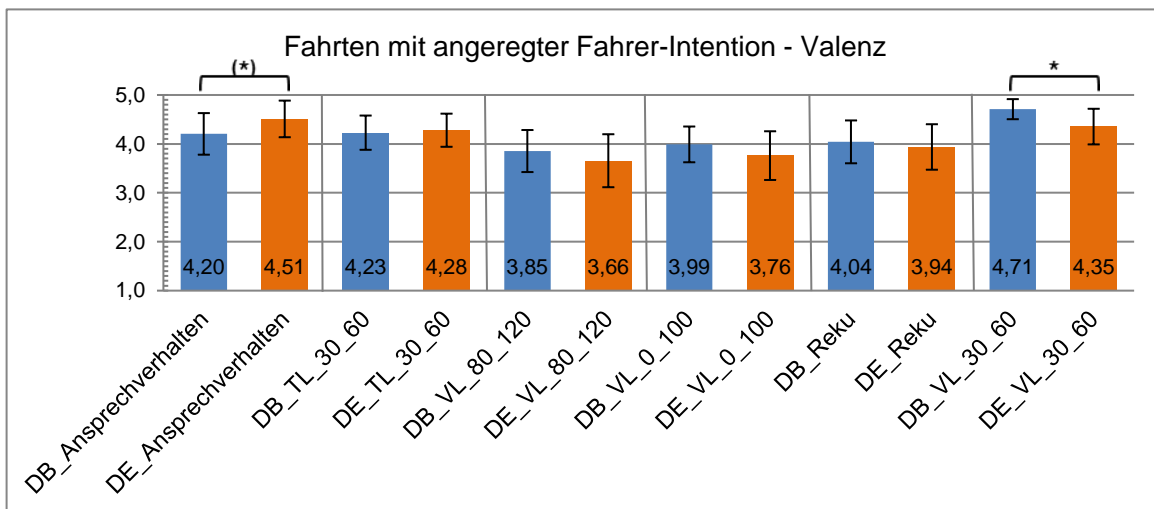


Abbildung 8-8: Ergebnisse der Valenzbewertung der Fahrer der einzelnen Manöver der Fahrten mit angeregter Intention mit Angabe der Standardabweichung; (N=32); Ordinate: 1...hoch negativ; 3...emotionslos; 5...hoch positiv; DB...Dynamische Baseline; DE...Dynamische Erlebnisabstimmung (dynamisch-agile Abstimmung)

Die Bewertung der **Anregung** zeigt im Vergleich zur vorher besprochenen Bewertung der Valenz eindeutigere Ergebnisse, siehe Abbildung 8-9. Über alle Manöver steigt die Anregung bei der Erlebnisfahrt mit dynamisch-agiler Abstimmung im Vergleich zur

Baselinefahrt über den Mittelwert an. Im Speziellen steigt die Anregung während des Manövers „Ansprechverhalten“ signifikant (Ansprechverhalten: $t(30)=-2,965$; $p=0,006$) im Vergleich zur Baselinefahrt; die beiden Vollastbeschleunigungen steigen im Vergleich ebenfalls signifikant an (DB_VL_0-100: $t(31)=2,390$; $p=0,023$ und DB_VL_30-60: $t(30)=2,437$; $p=0,021$).

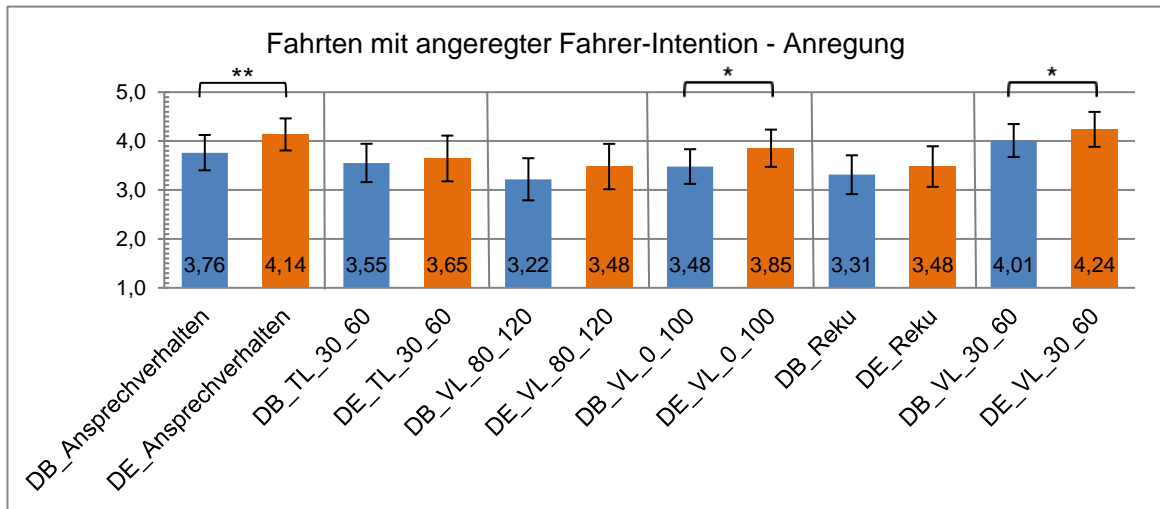


Abbildung 8-9: Ergebnisse der Bewertung der Anregung der Fahrer in den einzelnen Manövern der Fahrten mit angeregter Intention mit Angabe der Standardabweichung; (N=32); Ordinate: 1...sehr beruhigend; 3...weder beruhigend noch anregend; 5...sehr anregend DB...Dynamische Baseline; DE...Dynamische Erlebnisabstimmung (dynamisch-agile Abstimmung)

Die Ergebnisse der **PANAS-Kurzskalen**, siehe Abbildung 8-10, welche nach den jeweiligen Fahrten ausgefüllt wurden, zeigen, dass die Positive Aktivierung bei den Fahrten mit angeregter Intention höher, als bei den Fahrten mit entspannter Intention ausfällt; dabei unterscheidet sich die Baselinefahrt mit entspannter Intention signifikant von der Erlebnisfahrt mit komfortorientierter Abstimmung (EB-EE: PA: $t(31)=3,363$; $p=0,002$). Die Negative Aktivierung wird während allen vier Fahrten als sehr niedrig bewertet und es gibt keine statistisch nachweisbaren Unterschiede im Mittelwertvergleich.

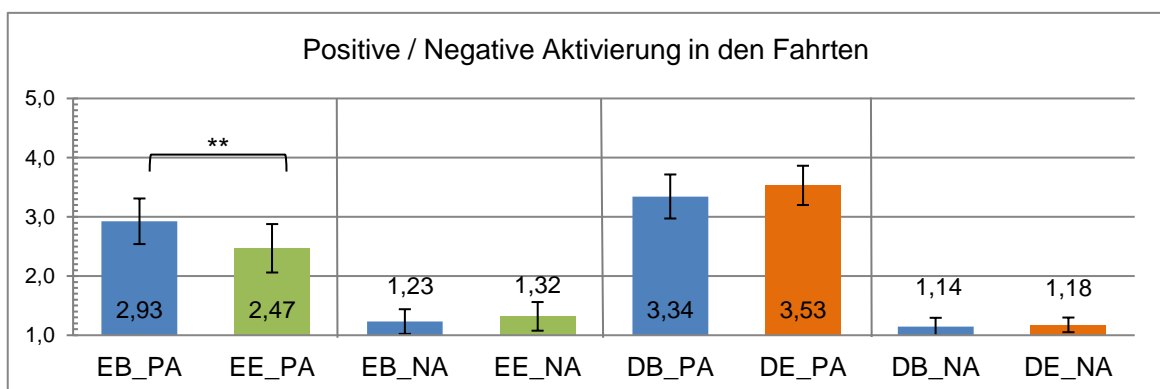


Abbildung 8-10: Ergebnisse der PANAS Bewertung der einzelnen Fahrten (PA: Positive Aktivierung; NA: Negative Aktivierung); (N=32); (Ordinate: 1...ganz wenig oder gar nicht; 3...einigermaßen; 5...äußerst); Ex...Entspannt, Dx...Dynamisch, xB...Baseline, xE...Erlebnisfahrt mit jeweiliger Intention

8.4.2. Gruppenspezifische Auswertung

Bei der gruppenspezifischen Auswertung werden die weiter oben gebildeten Gruppen mit Hilfe einer Diskriminanzanalyse auf Unterschiede in der Bewertung der Manöver und des PANAS-Fragebogens hin untersucht.

Gruppen mit und ohne Kenntnisse im Fahrverhalten von E-Fahrzeugen

Fahrer mit wenig Erfahrung im Fahrverhalten von E-Fahrzeugen empfinden die beiden Vollastmanöver der dynamisch-agilen Abstimmung als weniger anregend^(*)²² als die mit viel Erfahrung, wie es der Tabelle 10-5 im Anhang zu entnehmen ist. Bei der Teillastbeschleunigung von 30-60 km/h verhält es sich genau umgekehrt und signifikant. Bei der Baselinefahrt mit angeregter Intention fühlen sich Erfahrene, im Vergleich zur anderen Gruppe, nicht nervös^(*). Die erfahrene Gruppe empfindet die dynamisch-agile Abstimmung als anregender* und ist weniger bekümmert^(*), nervös* und gesamthaft negativ aktiviert* als die Fahrer mit wenig Erfahrung im Fahrverhalten von E-Fahrzeugen.

Bei den Fahrten mit entspannter Intention zeigen sich auch Unterschiede zwischen den Gruppen. Die positiven Emotionen während des Rekuperierens sind bei den erfahrenen Fahrern in der Baselinefahrt ausgeprägter^(*), als bei den Fahrern mit wenig Erfahrung. Ebenfalls in der Baselinefahrt sind die erfahrenen Fahrer weniger erschrocken^(*), nervös* und negativ aktiviert^(*). Bei der komfortorientierten Abstimmung empfinden die Erfahrenen die beiden Teillastbeschleunigungen in der Stadt als weniger anregend^(*); Die positiven Emotionen sind dafür bei den Experten beim Konstantfahren mit 100 km/h im Rahmen der komfortorientierten Abstimmung wesentlich ausgeprägter*. Die PANAS Bewertung zeigt hier, dass die erfahrene Gruppe weniger ängstlich*, nervös* und negativ aktiviert ist.

Gruppen zum übergeordneten Fahrstil

Auch in den Gruppen zur Selbsteinschätzung der Fahrer hinsichtlich ihres Fahrstils zeigen sich Unterschiede, siehe Tabelle 10-6, die im Anhang zu finden ist. Im Manöver Teillastbeschleunigung von 30-60 km/h wird von den Fahrern, die sich selbst als sportlich eingeschätzt hatten, bei der Baselinefahrt mit entspannter Intention eine höhere Valenz erreicht. Bei der Anregung des gleichen Manövers tritt bei der dynamisch-agilen Abstimmung bei den sportlich selbsteingeschätzten Fahrern ein höherer Wert auf.

8.4.3. Einfluss der Reihenfolge der Fahrten

Mit Hilfe der Diskriminanzanalyse wurde ebenfalls der Einfluss von Reihenfolgeeffekten beim Absolvieren der einzelnen Durchgänge im Versuch untersucht. Dieser ergab Unterschiede in der Bewertung einzelner Manöver, die auf die Reihenfolge der Fahrten zurückzuführen sind. Die Ergebnisse der Manöverbewertungen und des PANAS-Fragebogens sind in Tabelle 10-7 aufgeführt, die im Anhang zu finden ist. In der Bewertung der Baselinefahrt mit **entspannter Intention** steigt die Valenz im Manöver Teillastbeschleunigung 30 bis 60 km/h signifikant an, wenn die erste Fahrt die mit komfortorientierter Abstimmung war. Der gleiche Effekt ist in der Bewertung der Konstantfahrt mit 100 km/h zu sehen. Umgekehrt verhält es sich im Manöver

²² Ergebnisse des t-Tests mit verbundenen Stichproben (N=32); Signifikanzniveaus: (*) $p < .1$ * $p < .05$ ** $p < .01$ *** $p < .001$

Teillastbeschleunigung aus dem Stand bis 50 km/h und der Konstantfahrt: Hier fällt die Bewertung der Anregung der Gruppe, die zuerst die mit komfortorientierter Abstimmung absolvierten, signifikant gegenüber der Gruppe, die zuerst Baseline fuhr. Bei dem Manöver Konstantfahrt ist dieser Effekt signifikant auf einem Alphaniveau kleiner fünf Prozent, beim Rekuperieren ist eine Tendenz festzustellen (Alphaniveau kleiner zehn Prozent). Probanden, die zuerst die komfortorientierte Abstimmung fuhren, bewerten die Baselinefahrt anschließend tendenziell weniger bekümmert.

Bei den Fahrten mit **dynamischer Intention** zeigen sich zwei statistisch nachweisbare Unterschiede. Bei der Bewertung des Teillastbeschleunigungs von 30 bis 60 km/h der Baselinefahrt ist die Valenz höher, wenn die erste Fahrt die mit dynamisch-agiler Abstimmung war. Bei der Bewertung desselben Manövers in Vollast während der dynamisch-agilen Abstimmung, steigen die positiven Emotionen, wenn zuerst die Baselinefahrt absolviert wurde.

8.4.4. Auswertung der subjektiven Daten

Die erhobenen subjektiven Daten bestehen zum einen aus den Auffälligkeiten, die Probanden nach dem Absolvieren der Manöver angegeben haben und zum anderen aus den teilstrukturierten Interviews, die nach jeder Fahrt erhoben wurden. Zu den Ergebnissen der Manöverbefragung wird eine tabellarische Übersicht in Tabelle 8-5 und Tabelle 8-6 gegeben und im Anhang ab Seite 172 eine detaillierte Auswertung aufgeführt. Die Interviews bestanden aus Fragen zu Motorsound und ob der Antriebscharakter zu den Streckenelementen passt. Dies wurde mit den Substorys abgeglichen.

Tabelle 8-5: Subjektive Äußerungen zu den Manövern der Fahrten mit entspannter Intention; ähnliche Manöverbewertungen wurden zusammengefasst betrachtet (Anzahl der Nennungen in Klammern)

Manöver der Fahrten mit entspannter Intention	Baseline	Komfortorientierte Abstimmung
Ansprechverhalten bei 50 km/h, Teillastbeschleunigung 30-60 km/h	zu direkt (8) schwer zu kontrollieren (7) ruckig (4)	passend für entspanntes Fahren (16) gemütlich (9)
Teillastbeschleunigung 0-50 km/h	„angenehm“ (10)	"eher zäh" (10) richtig gut (7)
Konstantfahrt	zu dynamische Anbindung des Antriebs (7)	gut zum Mitfließen im Verkehr (7)
Rekuperation	zu hoch, stark, bissig (13)	genau richtig, komfortabel, angenehm (18)

Tabelle 8-6: Subjektive Äußerungen zu den Manövern der Fahrten mit angeregter Intention; ähnliche Manöverbewertungen wurden zusammengefasst betrachtet (Anzahl der Nennungen in Klammern)

Manöver der Fahrten mit angeregter Intention	Baseline	Dynamisch-agile Abstimmung
Ansprechverhalten, Teillastbeschleunigung 30-60 km/h	sehr gut, direkt (15)	beeindruckend, grandios (17)
Volllast 30-60 km/h	sehr gut, stimulierend (8)	dynamisch (7) Sound begeistert (6)
Volllast 80-120 km/h	Wunsch nach höherer Beschleunigung (13)	angenehm, zügig, agil (10) Wunsch nach höherer Beschleunigung (9)
Volllast 0-100 km/h	sehr kraftvoll (8) absinkende Beschleunigung ab 80 km/h erlebt (8)	gleichmäßigere Beschleunigung (4) Nachlassen der Beschleunigung ab 90 km/h erlebt (3)
Rekuperation	gutes Niveau (11)	Gutes Niveau (11), Soundunterstützung aufdringlich (6)

Der Teil der Befragung, der sich damit beschäftigt, welche längsdynamischen Veränderungen von den Probanden aufgelöst werden konnten, befindet sich im Anhang, ab Seite 174.

Die Ergebnisse zur Befragung, welcher **Antriebscharakter** erlebt wurde, zeigen, dass die Probanden den Antriebscharakter der Baselineabstimmung als „dynamisch“ einschätzen. Dieses Ergebnis bleibt unabhängig von den unterschiedlichen Fahrerintentionen in beiden Baselinefahrten erhalten. Der Antriebscharakter der dynamisch-agilen Abstimmung wird ebenfalls als „dynamisch“ mit deutlicher Tendenz hin zu „sportlich“ eingeschätzt. Der Antriebscharakter der komfortorientierten Abstimmung wird überwiegend als „souverän“, „komfortabel“ oder „entspannt“ beschrieben. Eine detaillierte Beschreibung der Aussagen der Probanden findet sich im Anhang ab Seite 174.

Subjektive Äußerungen zum eingesetzten Motorsound

Weitere Fragen im Interview beschäftigen sich mit dem Erleben des Motorsounds. Aufgrund der hohen Subjektivität der Wahrnehmung des Motorsounds, gab es sehr viele unterschiedliche Meinungen, die nachfolgend zusammenfassend wiedergegeben werden. Grundsätzlich gesehen, gaben dreizehn Probanden explizit positive Äußerungen wie zum Beispiel „gut“, „stimmig“, „unterstützend“, „gut gemacht“, „präsent“, oder „nicht aufdringlich“ ab. Bei einigen Probanden mischten sich positive und negative Eindrücke (siehe Gruppenbeschreibung weiter oben). Acht Probanden sahen den Sound summa summarum negativ: „aufdringlich“, „nervig“, „irritierend“, „künstlich“, „unpassend“, „komisch“, „zu laut“. Vier Probanden assoziieren den Sound mit einem „Computerspiel“.

Drei Probanden beschrieben den Sound als eine Mischung aus E-Fahrzeug und Verbrenner, indem sie meinten, es erinnere sie an ein „Mittelding zwischen Straßenbahn und Verbrenner“, „ein Verbrenner mit etwas Neuem“, „unten rum elektrisch, oben Verbrenner“. Weitere drei Probanden betonten die Vielfältigkeit des applizierten Sounds: „unterschiedliche Klangwelten, an denen man vorbeikommt“, „hat etwas Bekanntes und gleichzeitig etwas Neues“ und „der Ton erneuert sich [über der Geschwindigkeit]“. Weitere drei Probanden finden folgende Assoziationen zur Beschreibung des Sounds: „wie ein Flugzeug“, „erinnert an Mini“, oder „5-Zylinder“.

Auf die Frage, ob der Sound bei der Wahrnehmung der Beschleunigung unterstütze, gaben die deutliche Mehrheit von 21 Probanden an, dass dieser unterstützend wirke und untermalten dies mit Beschreibungen wie „wird intensiver“, „noch emotionaler“, „Sound ist notwendig“, betonen die „Feedbackfunktion“ des Geräuschs oder sagen, dass der „Sound die Beschleunigungszeit ausfüllt“.

Zum Antriebscharakter passende Streckenelemente

Den Probanden wurden nach den Fahrten mit komfortorientierter sowie dynamisch-agiler Abstimmung jeweils Straßenkarten ausgehändigt, die die gefahrene Strecke wiedergaben. Anschließend wurde gefragt, auf welchen Streckenabschnitten der Antriebscharakter am besten zum Vorschein kam. Bei der Fahrt mit **komfortorientierter Abstimmung** äußerten sich 21 Fahrer dazu, dass gerade Strecken auf der Landstraße oder Autobahn sich besonders eigneten und dass man auf diesen Strecken besonders gut „Mitschwimmen“ oder „dahingleiten“ kann. Außerdem passe die Applikation „besser, wenn man entspannt fahren will“. Siebzehn Personen nannten die Stadt als gutes Einsatzgebiet und begründeten dies vorwiegend mit der beruhigenden Wirkung des Fahrzeugs. Mehrmals wurden auch explizit „Stop and Go“ Situationen und „dichter Verkehr“ als beruhigendes Einsatzgebiet für die Applikation genannt.

Bei der Fahrt mit **dynamisch-agiler Abstimmung** markierte die Mehrheit von achtzehn Probanden einen landstraßenähnlichen Streckenabschnitt auf der Karte. Dieser bestand aus einer leichten Steigung mit S-Kurve, gefolgt von einer 400 Meter langen Geraden. Daran schloss sich eine Kehre an, die leicht aufwärtsführt. Bei der folgenden Links-rechts-links- Kombination wechseln sich eine Steigung mit einem leichten Gefälle ab. Auf diesem Streckenabschnitt erlebten die Probanden „Beschleunigung“, „Dynamik“, „Wie kleiner Bergpass“, „Quirlig, Kurven, Lastwechsel“, „One-Pedal-Feeling“, „Erinnert an Schwarzwald“, „Agilität“ oder erfreuten sich am „aus den Kurven beschleunigen“ und der „Geräuschkulisse“. Weitere elf Personen gaben die Stadt als charakteristischen Einsatzort an und betonten die „vielen Dynamikwechsel“, die „höhere Rückmeldung“ sowie ebenfalls „Agilität“ und „Flinkheit“.

8.5. Diskussion und Hypothesenüberprüfung

Nachfolgend werden die Ergebnisse zunächst anhand der Fahrten mit entspannter und dann mit angeregter Intention diskutiert. Dabei werden auch die Teilhypothesen des Versuchs betrachtet. Abschließend werden die Versuchsteile vergleichend diskutiert. Bei

der vergleichenden Diskussion werden die Ergebnisse der Gruppenunterschiede und die grundlegende Hypothese des Versuchs diskutiert.

8.5.1. Diskussion der Fahrten mit entspannter Intention

Im Rahmen der Interviews, die nach der Fahrt stattfanden, wird der Baselineabstimmung ein dynamischer **Antriebscharakter** zugesprochen, wobei die Probanden der komfortorientierten Abstimmung einen entspannt-komfortablen oder souveränen Charakter beimessen. Dies spiegelt sich, beginnend bei den untersuchten Manövern hinsichtlich der auftretenden Emotionen, bis hin zum Vergleichsfragebogen wider. Eine Ausnahme stellt die Teillastbeschleunigung aus dem Stand bis 50 km/h dar. Hier wurde das Fahrempfinden während der Baselineabstimmung als tendenziell glücklicher und erfreuender, als das der komfortorientierten Abstimmung bewertet. Anhand der subjektiven Äußerungen erklärt sich dies dadurch, dass der komfortorientierten Abstimmung eine Anfahrschwäche attestiert wurde. Durch einen applikativen Eingriff am Motorsteuergerät kann diese Anfahrschwäche jedoch behoben werden, indem aus dem Stillstand bei niedrigen eingegebenen Fahrpedalwinkeln ein höheres Moment des Elektromotors freigegeben wird. Bei den anderen Manövern unterscheidet sich die auftretende Valenz der Probanden, wie erwartet, nicht signifikant voneinander.

Eindeutig und statistisch nachgewiesen werden kann jedoch das Absinken der erlebten Anregung aufgrund der **geänderten Elektromotorapplikation** der komfortorientierten Abstimmung. Dies wird zum einen durch die ermittelten Werte an Anregung bei der Manöverbefragung und zum anderen durch die subjektiven Äußerungen der Fahrer zu den Manövern ersichtlich. So wird die Baselinefahrt häufig in den Beschleunigungsmanövern als schwer zu kontrollieren oder zu direkt für eine Fahrt mit entspannter Fahrerintention beschrieben. Die komfortorientierte Abstimmung wird hingegen mehrheitlich als passend und entspannend beurteilt. Diese Einschätzung der Probanden wird auch bei der Manöverbefragung der Rekuperation ersichtlich. Diese wurde bei der Baseline-Abstimmung als zu hoch und bei der komfortorientierten Abstimmung mehrheitlich als sehr gut und passend beschrieben, weil die sich einstellende Verzögerung beim Loslassen des Fahrpedals eine geringere Verzögerung auslöst, als bei der Baselineabstimmung. Dies spricht für eine applikative Kopplung der Rekuperationshöhe zum Beispiel an einen Fahrererlebnisschalter oder eine manuelle Einstellbarkeit der Rekuperation, wie sie auch Eberl (2014) fordert. Die im Versuch erlebte, positive Aktivierung bei der komfortorientierten Abstimmung sinkt im Vergleich zur Baselineabstimmung der Fahrten mit entspannter Intention signifikant. Trotzdem wird im Vergleichsfragebogen die komfortorientierte Abstimmung als wesentlich komfortabler und entspannender beschrieben. Wie in den vorangegangenen Versuchen, zeigt dies abermals den starken Wunsch nach einer niedrigen Anregung beim komfortablen Fahren.

Beiträge zum entspannten Fahrerlebnis sind anhand der Rückmeldung der Probanden die entspannt eingestellte Rekuperation, das gedämpfte Ansprechverhalten und das ruhige Innenraumgeräuschniveau. Diese Eigenschaften tragen zur subjektiv erlebten Entkopplung des Fahrers bei und senken somit auch die auftretende Beanspruchung. Diese Entkopplung kommt dadurch zustande, dass die wahrgenommenen sensorischen Reize und Stimuli bei Fahrpedaleingabe gedämpfter und von niedrigerer Intensität sind als

bei der Baselineabstimmung. Eine geringere Beanspruchung des sensorischen Systems trägt maßgeblich zur Entspannung der Probanden bei, da sich das kognitive System stärker auf andere Prozesse²³ fokussieren kann, als bei einer Abstimmung mit hoher Reizintensität. Aufgrund der gedämpften Auslegung des Antriebs „verzeiht“ die komfortorientierte Abstimmung darüber hinaus leichte Fehleingaben des Fahrers am Fahrpedal.

In Hinblick auf die **zur Story passenden Streckenabschnitte** zeigt sich, dass gerade die beiden, mit Hilfe der Story, entwickelten Situationen „Die Ruhe im i3 erfreut mich“ und „Trotz viel Verkehr beruhigt mich mein i3“ von einer Mehrzahl der Probanden im Versuch erlebt wurde. Dies wird anhand der Markierung von Streckenelementen, die besonders mit positiven Erlebnissen verbunden werden und der Befragung dazu deutlich. So markierten 21 Probanden die geraden Elemente der Autobahn- und Landstraße mit derselben Begründung, wie in der Story beschrieben. Auch die Stadtsituation wird von siebzehn Probanden explizit erwähnt.

Dementsprechend wird die **Alternativhypothese angenommen**. Beim komfortorientiert abgestimmten E-Antrieb tritt im Vergleich zum Serienstand eine höhere, subjektiv empfundene Entspannung in Form von niedriger Anregung und niedriger, negativer Aktivierung der Fahrer bei der Fahrt auf.

8.5.2. Diskussion der Fahrten mit angeregter Intention

Auch bei den beiden Fahrten mit angeregter Intention wird der Baselineabstimmung ein überwiegend dynamischer **Antriebscharakter** zugesprochen. Bei der dynamisch-agilen Abstimmung wird der dynamische Charakter vergleichbar oft erwähnt. Einige Probanden empfinden den Antriebscharakter nun sogar als sportlich. Hier zeigt sich also eine Verschiebung der subjektiven Einschätzung in Richtung zunehmender Dynamisierung. Dies bestätigt sich auch in der Bewertung der meisten Manöver der dynamisch-agilen Abstimmung. Sie wirken im Mittelwert anregender auf die Probanden im Vergleich zur Baselineabstimmung. Beim Manöver Ansprechverhalten sowie bei zwei Volllastbeschleunigungen (von 0-100 km/h und von 30-60 km/h) wird jeweils eine signifikante Erhöhung der Anregung festgestellt. Auch in den subjektiven Äußerungen zu den Manövern spiegelt sich dieses Bild wider.

Auffallend sind die Beurteilungen des Volllastmanövers von 80 bis 120 km/h. Bei der Baselineabstimmung gibt es dreizehn negative Rückmeldungen zur erlebten Beschleunigung. Dies wird darauf zurückgeführt, dass die Probanden ein Nachlassen der Beschleunigung ab circa 100 km/h wahrnehmen. Bei der dynamisch-agilen Abstimmung mit Motorsound hingegen, wird die Beschleunigung zehnmal als „angenehm“ oder „besser“ beschrieben, neben nur noch neun negativen Rückmeldungen. Dies lässt sich besonders auf den Einfluss des Motorsounds zurückführen, der die nachlassende Beschleunigung durch ausgeprägte Motorakustik kaschiert. Es fällt ebenfalls auf, dass die genannten Geschwindigkeiten, bei denen die Beschleunigung subjektiv nachlässt, in der Fahrt mit Sound erst bei höheren Zahlenwerten einsetzen. Dieses Ergebnis wird als

²³ Solche Prozesse können zum Beispiel sein: Planung der optimalen Route an den Zielort, Gespräche mit Beifahrern oder die Verarbeitung von gerade erlebten Situationen.

Bekräftigung der Ergebnisse des Versuchs aus Kapitel 7 angesehen, bei dem die Leistung des Fahrzeugs bei Fahrten mit Motorsoundinszenierung signifikant höher geschätzt wurde, als sie tatsächlich war.

Die Tendenz, dass der **Motorsound** die Beschleunigung untermalt und bekräftigt, zeigt sich auch in den Beiträgen des Fahrzeugs zum agilen Fahren. Dabei wird bei der dynamisch-agilen Abstimmung der Motorsound 24-mal genannt, wohingegen bei der Baselinefahrt dreizehnmal ein Motorsound vermisst wurde. Von den Probanden wird der künstliche Motorsound 21-mal als Unterstützung bei der Beschleunigungswahrnehmung angeführt. Allerdings gibt es neben vielen positiven auch negative Rückmeldungen. Hier wird von einigen Probanden der Motorsound als ein Mix aus konventionellem Verbrennergeräusch und einem E-Fahrzeug genannt und auch konkrete Assoziationen in diese Richtung geäußert. Daraus wird geschlossen, dass der inszenierte Sound in Summe zu polarisierend ausgeführt wurde. Die signifikant niedrigere Bewertung der Valenz in der Vollastbeschleunigung von 30 bis 60 km/h kann durch fünf negative Rückmeldungen zum eingesetzten Motorsound der dynamisch-agilen Abstimmung erklärt werden. Es zeigt sich, dass eine starke Fixierung auf den Motorsound stattfindet. Dies wird beispielweise auch bei der Frage nach den Beiträgen zum dynamischen Fahren deutlich. Bei der dynamisch-agilen Abstimmung wird der Motorsound als prägendster Faktor überdurchschnittlich häufig genannt.

Neben den Einflüssen des inszenierten Motorsounds fallen einigen Probanden auch die applizierten **längsdynamischen Veränderungen** gegenüber der Baselineabstimmung auf. Dieses Ergebnis erscheint vor dem Hintergrund bemerkenswert, dass die Baselineabstimmung ebenfalls als recht dynamisch von den Probanden erlebt wurde und es keine Unterschiede in der maximalen Beschleunigung gab. Die dynamisch-agile Abstimmung wird von den Probanden als insgesamt „dynamischer“, „agiler“, „innovativer“, aber auch „beanspruchender“ erlebt. Die leicht höhere Beanspruchung ist auf die größere Anzahl und der erhöhten Intensität der zu verarbeitenden sensorischen Reize zurückzuführen. Diese höhere Reizintensität entsteht aufgrund des inszenierten Sounds und der direkteren Anbindung des Antriebs.

Die Befragung zu den zur Abstimmung des Fahrzeugs **passenden Streckenteilen** und der auftretenden Erlebnisse zeigt eine sehr gute Passung von Story und positiv erlebten Situationen. Der kurvige Streckenabschnitt wurde vom Großteil der Probanden als besonders erlebnisreich ausgewählt und passt hervorragend zur Story-Situation „Auf der kurvigen Landstraße“. Aber auch die Stadt wird häufig ausgewählt. Die genannten Erlebnisse passen zu den Story-Situationen „Beschleunigen von der Ampel“ und „Agiler Spurwechsel im Tunnel“.

In Zusammenschau dieser Ergebnisse wird die **Alternativhypothese angenommen**. Ein dynamisch-agil abgestimmter E-Antrieb hat einen zielgerichteten Einfluss auf die Fahrer. Dieser äußert sich durch eine Erhöhung der Anregung und dem Auftreten von positiverer Valenz im Vergleich zur Baselinefahrt.

8.5.3. Vergleichende Diskussion der beiden Versuchsteile

Vor Betrachtung der grundlegenden Hypothese des Versuchs zur Fahrerintention, wird der Einfluss der unterschiedlichen Gruppen und der Fahrerintention sowie des Primings diskutiert. Ausgehend von den bisherigen Ergebnissen und dem Emotionsmodell, können viele der ermittelten Ergebnisse interpretiert werden.

Der **Einfluss der unterschiedlichen Gruppen** auf die Versuchsergebnisse zeigt sich anhand der durchgeführten Diskriminanzanalysen. Einige beachtenswerte Ergebnisse zeigen sich in der **Gruppe mit viel Fahrerfahrung mit Elektrofahrzeugen**. Sie kommt den täglichen Nutzern von Elektrofahrzeugen am nächsten. Diese Gruppe ist insgesamt während der Fahrt weniger nervös und negativ aktiviert. Es zeigen sich auch in Manövern Unterschiede. Die erfahrene Gruppe fühlt sich während der Fahrt mit dynamisch-agiler Abstimmung angeregt und weniger negativ aktiviert. In der Baselinefahrt mit entspannter Intention sind die positiven Emotionen beim Rekuperieren ausgeprägter, was für einen Wunsch nach One-Pedal-Fahren spricht. Während der Fahrt mit komfortorientierter Abstimmung werden die Teillastbeschleunigungen als weniger anregend empfunden und die positiven Emotionen bei der Konstantfahrt sind ausgeprägter.

Die hier ermittelten Unterschiede sprechen somit zum einen für den Einsatz eines geeigneten Motorsounds bei gewünschter dynamischer Fahrt, da dieser eine positiv anregende Wirkung besitzt. Zum anderen zeigt sich darüber hinaus das Funktionieren der komfortorientierten Abstimmung, was sich vor allem in den Äußerungen zur geringeren Rekuperation widerspiegelt.

Bei den **Gruppen zum übergeordneten Fahrstil** zeigt sich, dass sich die sportlich ambitionierten Fahrer in der Baselinefahrt mit dynamisch-agiler Intention höher positiv aktivieren lassen. Außerdem tritt in der Teillastbeschleunigung von 30 bis 60 km/h ebenfalls eine höhere Valenz bei den sportlich ambitionierten Fahrern auf. Dies ist eine Folge der grundsätzlich dynamischeren Fahrweise dieser Gruppe, da sie bei Teillastbeschleunigungen im Vergleich zu der Gruppe, die nicht sportlich fährt, mehr Antriebsmoment abrufft. Dies wird durch die Eindrücke des Versuchsleiters belegt, konnte aber nicht objektiv nachgewiesen werden, da keine Messtechnik im Fahrzeug verbaut war.

Auch die **Reihenfolge der Fahrten** hat einen gruppenspezifischen Einfluss, vor allem bei den Fahrten mit entspannter Intention. Hier zeigt sich die positive Wirkung der komfortorientierten Abstimmung darin, dass Probanden, die zuerst Baseline fahren, die beiden Teillastmanöver der komfortorientierten Abstimmung positiver bewerten als die andere Gruppe. Diese Einschätzung der Fahrer kommt aufgrund des möglichen direkten Vergleichs der Manöver mit der vorher gefahrenen Baselinefahrt zustande. Außerdem fühlen sich diese Probanden weniger verärgert und erschrocken.

Der **Einfluss der Fahrerintention und des Priming-Effekts** kann anhand der zugesprochenen Antriebscharaktere und der Unterschiede in den Manövern dargelegt werden. Bei Betrachtung der beiden Baseline-Versuchsfahrten, bei der keinerlei applikativen Unterschiede vorgenommen wurden, zeigt sich, dass der von den Probanden benannte Antriebscharakter des Fahrzeugs gleich bleibt. Hier hat die unterschiedliche Intention der Fahrer keinen Einfluss auf die Bewertung des Antriebscharakters als

dynamisch. Dieses Ergebnis wird dadurch bekräftigt, dass die Probanden das Fahrzeug im Rahmen ihrer Möglichkeiten sehr gut kontrollieren konnten, da sonst höhere Unterschiede in den Bewertungen der Beschleunigungsmanöver zu erwarten gewesen wären. Die subjektiven Äußerungen zu den beiden veränderten Fahrzeugabstimmungen bezeugen jedoch klar, dass eine für verschiedene Intentionen angepasste applikative Einstellung der Fahrzeuge einer einzelnen Grundeinstellung vorgezogen wird. Dies wird auch anhand der Aussagen der Reversaltheorie bekräftigt. Je nach momentanem Wunsch nach telischen oder paratelischen Zustand wird zwischen den Anregung-suchenden und Anregung-vermeidenden Zuständen hin- und hergesprungen, vergleiche (Apter, 1989) und Kapitel 2.4.2. Eine praktische Umsetzung dessen kann beispielsweise durch Einsatz eines Fahrerlebnisschalters erfolgen.

Es zeigen sich Unterschiede in der Bewertung von Manövern der beiden Baselinefahrten und der PANAS-Adjektive. Die Valenz während der Rekuperation wird bei der Baselinefahrt mit dynamischer Intention signifikant positiver eingeschätzt ($F(3,124)=4,97$, $p=0,004$, $\eta^2=0,120$)²⁴ als bei der komfortorientierten Fahrt. Die Anregung während des Rekuperierens wird annähernd gleich eingeschätzt. Dieses Ergebnis spricht für die Wirkung der Fahrerintention und des Primings während des Rekuperierens, da sich die Fahrer beim Fahren mit entspannter Intention ein geringeres Rekuperationsniveau wünschen. Dies zeigt ebenfalls die Befragung nach der Fahrt. Außerdem fühlen sich die Probanden in der Baselinefahrt mit angeregter Intention tendenziell freudig erregter ($F(3,123)=9,4125$, $p=0,096$, $\eta^2=0,230$) und tatsächlich angeregter ($F(3,124)=29,72$, $p=0,061$, $\eta^2=0,719$)²⁵. Diese Unterschiede zeigen die Wirkung der Fahrerintention zusätzlich. Die Probanden konnten sich auf die unterschiedlichen Motive einstellen.

Die eingesetzte Story-Telling-Methode von Michailidou et al. (2013) eignet sich sehr gut, um den Versuch methodisch zu planen und Schlüsselerlebnisse zu gestalten. Auch das erweiterte Emotionsmodell nach Plutchik eignet sich abermals gut, um die Ergebnisse zu Valenz, Anregung und PANAS anhand der Äußerungen der Probanden zu erklären.

In Zusammenschau dieser Ergebnisse und der Diskussion wird die **Alternativhypothese des Versuchs angenommen**. Eine entspannte oder angeregte Intention des Fahrers beeinflusst die auftretende Valenz, Anregung und Erlebnisse der Fahrer in einem entsprechend längsdynamisch und soundtechnisch abgestimmten Elektrofahrzeug im Vergleich zu einem nicht gezielt abgestimmten Elektrofahrzeug. Dieser Einfluss ist positiv und zielgerichtet.

²⁴ Berechnet wurde eine ANOVA mit dem Post-Hoc Signifikanztest nach Bonferroni

²⁵ Berechnet wurde eine ANOVA mit dem Post-Hoc Signifikanztest nach Bonferroni

9. Diskussion

Im abschließenden Kapitel werden die Ergebnisse und eingesetzten Methoden der Arbeit in Bezug auf die Forschungsfragen versuchsübergreifend diskutiert. Außerdem wird, wo möglich, Praxisbezug hergestellt und der weitere Forschungsbedarf angesprochen.

Die Diskussion orientiert sich an den maßgeblichen Einflussgrößen, die sich aus den in Kapitel 3.2 benannten Forschungsfragen ergeben, wie es Abbildung 9-1 zeigt. Die Einflussgrößen betreffen dabei die übergreifende Erlebnisstruktur, die im Card-Sorting Versuch in Kapitel 4 ermittelt wurde und Schlüsselerlebnisse, die im ersten Realfahrzeugversuch in Kapitel 5 auftraten. Darüber hinaus wird der Einfluss der Längsdynamik (Kapitel 6, 5 und 8), des Motorsounds (Kapitel 7, 5 und 8) und einer bestimmten Fahrerintention sowie des Antriebscharakters (Kapitel 8) diskutiert. Abschließend werden die in den Versuchen verwendeten Methoden erörtert und die Eignung des um den sensomotorischen Aspekt erweiterten Emotionsmodells besprochen.

	Kapitel	Forschungsfragen	Diskussion anhand
konventionelle und elektrifizierte Antriebe: Analyse des emotionalen Erlebens	4	1. Lässt sich im Vergleich von Fahrzeug- und Freizeiterlebnissen eine gemeinsame Erlebnisstruktur ableiten?	Einfluss der Erlebnisstruktur
	5	2. Welche Höhe an Emotionen und Anregung lösen typische konventionelle und elektrifizierte Antriebe aus?	Einfluss von Schlüsselerlebnissen
elektrifizierte Antriebe: Gestaltung des emotionalen Erlebens	6	3. Welchen Einfluss haben längsdynamische Änderungen auf das Erleben eines Elektrofahrzeugs?	Einfluss der Längsdynamik
	7	4. Wie wirkt ein inszenierter Motorsound auf das Erleben eines Elektrofahrzeugs?	Einfluss des Motorsounds
	8	5. Wie beeinflussen die gefundenen Wirkketten das Fahrerleben bei Fahrten mit einer bestimmten Intention?	Einfluss der Fahrerintention und des Antriebscharakters
Methodik	9	6. Welche der Methoden eignen sich besonders gut zur Untersuchung des Erlebens während der Fahrt?	Einfluss der Methoden Erweiterung Emotionsmodell

Abbildung 9-1: Struktur der übergreifenden Diskussion

Einfluss der Erlebnisstruktur

Im ersten Versuch dieser Arbeit wurden Freizeit- und Fahrzeugerlebnisse verglichen. Dabei zeigten sich über die Gesamtstichprobe hinweg zwei Achsen der Erlebniskonfiguration und abgrenzbare Erlebniscluster. Für die weiteren Versuche wurde die Achse „Aktivierung“ ausgewählt, die zwischen entspannt und anregend erlebten Erlebnissen verläuft. Die nachfolgenden Studien zeigen, dass sich die Aktivierungs-Achse sehr gut eignet, um die ausgewählten Fahrzeuge und deren Antriebseigenschaften an dieser auszurichten und eine Einteilung in dynamisch-anregende und komfortabel-beruhigende Antriebscharaktere vorzunehmen. Darüber hinaus zeigte sich anhand der Rangreihenfolge der beliebtesten Erlebnisse und den Interviews zu den Erlebnisclustern, dass bestimmte Probandengruppen ihre persönlichen Präferenzen in bestimmten Clustern und damit assoziierten Erlebnissen haben. Dieses Ergebnis deckt sich mit der Reversal-Theorie von Apter (1989), die von individuellen, persönlich präferierten Zuständen ausgeht, innerhalb derer erlebt werden will. Diese sind Anregung-suchende und Anregung-vermeidende Erlebnissituationen.

Außerdem zeigt sich, dass die Stichprobe der Antriebsentwickler der BMW Group stark anregende Erlebnisse und Erlebniscluster den eher entspannten Erlebnissen vorzog. Dieses Ergebnis ist insofern beachtenswert, da bei allen darauffolgenden Studien aufgrund versicherungstechnischer Einschränkungen nur mehr interne Mitarbeiter der BMW Group teilnehmen durften. Deswegen ist es sinnvoll, ähnliche Versuche mit einer Stichprobe an Personen durchzuführen, die nicht ausschließlich in der Automobilbranche beschäftigt sind, jedoch trotzdem erste Erfahrung im Führen von Elektrofahrzeugen haben. Eine geeignete Stichprobe ist zum Beispiel die der Erstnutzerstudie von Frenzel et al. (2015). Die gefundene Erlebnisstruktur war darüber hinaus bei der Gestaltung der Erlebnisgeschichten nach Michailidou et al. (2013), des letzten Versuchs überaus hilfreich, um zum einen die übergreifenden Motive zu bestimmen und zum anderen passende Substories zu generieren.

Einfluss von Schlüsselerlebnissen, die durch Fahrzeugantriebe ausgelöst werden

Im ersten Realfahrzeugversuch in Kapitel 5 wurden die Probanden beim Vergleich hochmotorisierter Fahrzeuge nach mehreren Wochen zu besonders prägnanten Erlebnissen befragt. Die von den Probanden benannten Schlüsselerlebnisse bezogen sich hauptsächlich auf eine hohe, wahrgenommene Maximalbeschleunigung, den sportlichen Motorsound beim Verbrenner und dem enorm schnellen Beschleunigungsaufbau beim Elektrofahrzeug. Dabei handelt es sich um Erlebnisse, die mit einem besonders hohen sensorischen Input einhergehen. Es fiel während diesen Erlebnissituationen ebenfalls auf, dass Probanden eine starke Aufmerksamkeitsfokussierung auf den besonders intensiv wahrgenommenen Reiz beschrieben. Dabei fand häufig eine Ausblendung anderer Reize, wie zum Beispiel Störgeräusche oder das Wahrnehmen von Verkehrsschildern, statt.

Schlüsselerlebnisse zeigten sich jedoch auch dadurch, dass einige Probanden nach dem fahrpraktischen Teil mehrmals oder sehr detailreich von einzelnen Fahrsituationen berichteten. Als negatives Schlüsselerlebnis aus dem Vergleich durchschnittlich motorisierter Antriebe ist die Diskrepanz zwischen wahrgenommenen Motorsound und Beschleunigungseindruck des E82 120iA zu nennen. In den Interviews nach den Versuchen

wurde dies immer wieder als ausschlaggebend für negative Bewertungen angeführt. Im letzten Versuch in Kapitel 8 wurde deutlich, dass auch die gewählten Rahmenbedingungen zur Entstehung von Schlüsselerlebnissen beitragen. Auf die Frage, an welchen Streckenabschnitten das hochmotorisierte Fahrzeug am positivsten erlebt wurde, nannte eine deutliche Mehrheit den kurvigen Abschnitt auf der Landstraße. Auch dieses Element war explizit als Schlüsselerlebnis in einer Substory festgehalten und weist auf die gute Eignung der Storytelling Methode hin.

Es zeigt sich, dass Schlüsselerlebnisse durch das Auftreten eines starken oder außergewöhnlichen, sensorischen Inputs und/oder einer besonders bedeutsamen, kognitiven Interpretation erklärt werden können. Hierfür eignet sich das erweiterte kognitive Emotionsmodell von Plutchik (1980) sehr gut. Gerade die Erweiterung des Emotionsmodells um den sensomotorischen Aspekt erklärt, warum sich Probanden immer wieder bewusst in dieselben Reizsituationen begeben, um ein Schlüsselerlebnis erneut zu durchleben. Durch motorisch ausgelöste Handlungen nimmt der Fahrer direkt Einfluss auf das Entstehen von sensorischen Reizen und begibt sich somit bewusst in bestimmte Erlebnissituationen.

Einfluss der Längsdynamik

Im Rahmen dieser Arbeit werden hauptsächlich der **Beschleunigungsgradient** und die **Maximalbeschleunigung** untersucht. Dabei zeigt sich, dass hohe Maximalbeschleunigungen und hohe Gradienten ebenfalls hohe positive Emotionen und eine hohe Anregung auslösen können. Der Antrieb des Fahrzeugs wird dann als spontan oder agil beschrieben. Im ersten Realfahrzeugversuch wird im Abschlussfragebogen die Maximalbeschleunigung des Elektrofahrzeugs höher als die des konventionellen Fahrzeugs eingeschätzt, wohingegen die eingesetzte Messtechnik beiden Fahrzeugen ein annähernd gleich hohes maximales Beschleunigungsvermögen attestiert. Der messbare Unterschied besteht im wesentlich höheren Beschleunigungsgradienten des Elektrofahrzeuges. Dieser Sachverhalt konnte im Einzelversuch zum Erleben von Beschleunigungen ebenfalls erahnt, allerdings nicht statistisch signifikant nachgewiesen werden. Hier zeigte sich nur die Tendenz, dass die Durchgänge mit hohem Ansprechverhalten besser bewertet werden. Diese Ergebnisse bekräftigen ebenfalls die Kopplung von maximal erreichbarer Beschleunigung und Beschleunigungsgradient. Weitere psychophysikalische Einzelversuche sollten durchgeführt werden, um zum Fahrzeugcharakter passende Wertepaare zu ermitteln.

Der Vergleich der dynamisch-anregenden Fahrzeuge in Kapitel 5 und der Einzelversuch zur Längsdynamik aus Kapitel 6 lassen jedoch darauf schließen, dass sich bei weiterer Erhöhung des Beschleunigungsgradienten auf Werte von deutlich über 40 m/s^3 die Zunahme der Valenz verlangsamt und dann möglicherweise umkehrt. Dieser Effekt lässt sich aus einzelnen Probandenrückmeldungen erschließen, die den enorm schnellen Beschleunigungsaufbau des Tesla Roadster (Beschleunigungsgradient 46 m/s^3) als „zu aggressiv“ beschrieben haben. Hier sollten weitere psychophysikalische Einzelversuche durchgeführt werden, um diese Theorie zu bestätigen.

Gerade in der Stadt wird das agile Fahrverhalten von Elektrofahrzeugen durchweg gelobt. Hin zu höheren Geschwindigkeiten über 80 km/h wird die Beschleunigungsfähigkeit von Elektrofahrzeugen dann vermehrt kritisiert. Dies liegt daran, dass bei hohen Geschwindigkeiten beim Elektromotor Prinzip bedingt ein abnehmendes Motormoment gegeben ist. Die sich dann einstellende, absinkende Beschleunigung wird von den Probanden nicht mehr als ausreichend beurteilt. Hier zeigte sich, dass durch Einsatz eines inszenierten Motorsounds dieses negative, subjektive Empfinden hinausgezögert werden kann. Darüber hinaus sollte über den Einsatz eines **Mehrganggetriebes** nachgedacht werden, um stärkere Beschleunigungen bei hohen Geschwindigkeiten zu ermöglichen.

Die Höhe der **Rekuperation** hat ebenfalls einen nachweisbaren Einfluss auf die erlebte Längsdynamik. Diese sollte sich ähnlich wie der Beschleunigungsgradient im Stadtbetrieb schnell aufbauen und nach Möglichkeit in ihrer Höhe **einstellbar** oder an einen Fahrerlebnisschalter gekoppelt sein, wie es auch von Eberl (2014) vorgeschlagen wird. Außerdem sollte sie in Ihrer Ausprägung den gewünschten Antriebscharakter widerspiegeln, wie es weiter unten beim Einfluss des Antriebscharakters diskutiert wird.

In den Versuchsteilen der Kapitel 5 und 8, in denen die Fahrer durchschnittlich motorisierte Fahrzeuge fuhren oder eine entspannte Intention hatten, bewährte sich ein niedriger Beschleunigungsgradient, gekoppelt mit einer ausreichend hohen Maximalbeschleunigung. Gerade die applikativ vorgenommene Dämpfung des Fahrpedals, die verhindert, dass das Fahrzeug zu spontan auf Fahrpedaleingaben reagiert, trägt wesentlich dazu bei, die kognitive Beanspruchung des Fahrers zu verringern. Dies wiederum führt zu einer subjektiv erlebten Entspannung, die sich in niedriger Anregung und niedriger negativer Aktivierung widerspiegelt.

Einfluss des Motorsounds

Beim Einfluss des Motorsounds für Elektrofahrzeuge muss zwischen komfortabel und dynamisch ausgelegten Elektrofahrzeugen unterschieden werden. Über alle Versuche der vorliegenden Arbeit zeigt sich, dass dem Motorsound eine bedeutende emotionale und vor allem **anregende Komponente** beim Fahren zukommt. Bei konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor kann der Fahrer auf ein breites Spektrum an gehörten und gespeicherten Sounds zurückgreifen, wenn er mit neuen Motorgeräuschen konfrontiert wird. So kann ein neues Geräusch gut zugeordnet und kategorisiert werden.

Allerdings zeigt sich ein Dilemma, wenn es um Motorsounds für Elektrofahrzeuge geht. Die Probanden wünschen sich mehrheitlich ein **neuartiges Antriebsgeräusch für dynamische ausgelegte Elektrofahrzeuge**, wie der erste Realfahrzeugversuch in Kapitel 5 zeigt. Sie haben jedoch keine Vorstellung davon, wie sich dieses anhören sollte und deswegen fällt es ihnen schwer, ihre Erwartung an den neuartigen Motorsound zu beschreiben.

Bezugnehmend auf die drei Zielgeräuschszenarien, die Genuit und Fiebig (2011) beschreiben („Authentizität“, „Erfüllung gewohnter Erwartungen“ und „neue Kompositionen“), lässt sich folgendes ableiten: Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass als Zielgeräusch nicht das Geräusch eines konventionellen Ottomotors in Frage kommt („Erfüllung gewohnter Erwartungen“). Die dem E-Fahrzeug eigenen Geräusche werden

teilweise aufgrund von „Straßenbahn“-Assoziationen oder weil sie als hochfrequent-störend wahrgenommen werden abgelehnt. Sie erfüllen auch aufgrund Ihrer Klang-Charakteristik nicht die vom Verbrennermotor gewohnte Rückmeldefunktion für den Fahrer. Somit sollten neuartige Geräusche für dynamisches Fahren gefunden werden! Gerade beim Einsatz neuartiger Geräusche bietet sich eine bedeutende Gestaltungsmöglichkeit, um einen zum jeweiligen Markenimage passenden, elektrischen Motorsound zu generieren.

Im Rahmen der Versuche zeigt sich, dass **raue, schwankungsstarke und laute Antriebsgeräusche** den größten Einfluss auf das emotionale Erleben der Probanden haben und stark anregend wirken. Da die individuelle Beurteilung des Fahrers maßgeblich für das Erleben des Motorgeräuschs ist, wirkt ein solches Geräusch auch immer **polarisierend** auf die Probanden. Hier sollten weitere Versuche durchgeführt werden, die neuartige Geräusche unterschiedlicher Intensität untersuchen. Um die Zielgeräuschfindung zu vereinfachen, sollten ebenfalls psychoakustische Messungen eingesetzt werden und die Geräusche in Versuchen im Straßenverkehr und nicht in Hörlaboren oder Simulatoren getestet werden. Zur Generierung neuartiger Motorgeräusche für Elektrofahrzeuge kann der Blick hin zur Science-Fiction Filmbranche helfen. Einige beachtenswerte Veröffentlichungen legen dar, wie besonders erfolgreiche und aufwendig produzierte Science Fiction Filme das Denken und innere Bild, das viele Menschen von zukünftigen Technologien haben, beeinflussen und formen, vergleiche zum Beispiel Currie (1995), King und Krzywinska (2000) oder Hamilton (2003). So besteht eine Möglichkeit zur passenden Geräuschgestaltung darin, die Geräusche von Hollywoods Elektroautos, E-Bikes, Raumschiffen und anderen Gefährten psychoakustisch zu analysieren, strukturieren und in angepasster Form für weitere Versuche am Realfahrzeug zu untersuchen.

Für **entspannend ausgelegte Elektrofahrzeuge** wird von mehr als der Hälfte der Probanden **kein inszenierter Motorsound** gewünscht. Bezogen auf das erweiterte Emotionsmodell bietet es sich aus Sicht des Autors jedoch an, ein leises, gerade noch wahrnehmbares Geräusch einzuspielen, welches ebenfalls von Motormoment und Geschwindigkeit abhängt, um dem Fahrer eine bessere Rückmeldung zum aktuellen Fahrzustand zu geben und auftretende Störgeräusche zu maskieren. Dieses leise Geräusch trägt dazu bei, die Kontrollierbarkeit und das subjektive Komfortempfinden beim Fahren durch Absenken der erlebten Belastung zu steigern. Diese Maßnahmen helfen darüber hinaus, die negative Aktivierung beim komfortablen Fahren auf einem sehr niedrigen Niveau zu halten, was einen positiven Einfluss auf die übergeordnete Evaluation des Empfindens hat.

Bei den untersuchten Fahrzeugen mit konventionellem Antrieb zeigt sich, dass bei den meisten Probanden eine große Erfahrung mit verschiedensten Antriebsgeräuschen besteht. Dementsprechend haben Probanden höhere Erwartungen an den Motorsound. Dies zeigt sich bei der Beurteilung von Motorsound in Verbindung mit der wahrgenommenen Höhe der Beschleunigung. Bei zu großer Diskrepanz zwischen der erwarteten Höhe der Beschleunigung aufgrund eines dynamischen Motorsound und der sich dann einstellenden tatsächlichen Beschleunigungsleistung des Fahrzeugs, zeigt sich eine Verringerung der Bewertungen bis hin zur deutlichen Abwertung. Dies wurde zum Beispiel beim Starten des Fahrzeugs im ersten Versuch mit dem BMW E82 120iA deutlich. Die beim Starten des Motors positive Bewertung des Motorgeräuschs wird bei Beschleunigungsmanövern nicht

wieder erreicht und führt zu einer negativen Evaluation. Das Prinzip der **Passung von Motorsound zu den restlichen relevanten Antriebseigenschaften** wird ebenfalls bei Genuit (2010) und Müller (2015) beschrieben. Dies bedeutet auch, dass die starke und sich schnell aufbauende Beschleunigung eines leisen Elektrofahrzeugs als besonderes Erlebnis wahrgenommen wird, da die meisten Erstnutzer automatisch einen rauen und vor allem lauten Motorsound, wie den eines Sportwagens, erwarten würden.

Einfluss der Erwartung an Fahrzeugantriebe

Anhand der vielfältigen, subjektiven Äußerungen, die in den Versuchen genannt werden, zeigt sich der große Einfluss der Erwartung, die Fahrer an Antriebe stellen. So wird beispielsweise auf Nachfragen, warum ein Fahrzeug eine negative Bewertung vom Probanden erhalten hat, sehr oft „Ich hätte ich mir mehr erwartet!“ genannt. Dieses Verhalten lässt sich sehr gut anhand der eingesetzten kognitiven Emotionstheorie durch den **Abgleich** der momentanen Fahrsituation **im Kurzzeitgedächtnis** begründen. Dadurch erklärt sich auch, warum beispielsweise geübte Fahrer weniger stark zu begeistern sind, als wenig erfahrene Fahrer, vergleiche Kapitel 8.4.2 „Gruppenspezifische Auswertung“. Geübte Fahrer haben mehr vergleichbare Situationen als Code im Kurzzeitgedächtnis gespeichert und können aus einer breiten Sammlung an ähnlichen Erfahrungen schöpfen. Gleichzeitig steigt die Wahrscheinlichkeit, dass ähnliche oder subjektiv „bessere“ Erfahrungen ebenfalls gespeichert sind, was zu einer geringeren Begeisterung, Anregung und Valenz führen kann.

Dies bedeutet jedoch auch, dass viele Fahrer momentan noch gar nicht genau wissen, was sie von elektrifizierten Antrieben erwarten sollen, da sie noch nie mit einem Elektrofahrzeug gefahren sind. Deswegen ist nach einer anfänglichen Euphorie mit einem **Gewöhnungseffekt** zu rechnen. Auch dieses Verhalten sollte weiter untersucht werden. Ansätze dessen, dass sich Lern- und Gewöhnungseffekte beim elektrischen Fahren einstellen, finden sich bei Helmbrecht, Bengler und Vilimek (2013) und Helmbrecht, Olaverri-Monreal, Bengler, Vilimek und Keinath (2014).

Einfluss des wahrgenommenen Antriebscharakters

Über alle Versuche hinweg zeigt sich, dass von den Probanden verschiedene Antriebscharaktere unterschieden werden können. Der wahrgenommene Antriebscharakter hängt dabei nicht von einer bestimmten Fahrer-Intention ab, wie der letzte Versuch zeigte. Egal, ob die Fahr-Intention der Probanden entspannt oder agil war, der wahrgenommene Antriebscharakter veränderte sich nicht. Anhand der gefundenen Aktivierungsachse des Card-Sorting Versuchs, lassen sich grundsätzlich **zwei Antriebscharaktere** unterscheiden: **ein dynamisch-anregender und ein beruhigend-entspannender**. Diese Charaktere zeigen sich auch in der von Müller et al. (2012) gefundenen Erlebnisachse beim Vergleich von fünf Fahrzeugen mit konventionellem Antrieb. Diese Arbeit zeigt, dass das Prinzip der Antriebscharaktere auch für Elektroantriebe gilt. Wie die beiden genannten Antriebscharaktere aussehen können, wird nachfolgend beschrieben. Eine Übersicht, welche längsdynamischen Größen empfohlen werden, zeigt Abbildung 9-2.

Bei einem **dynamisch-anregenden Antriebscharakter** für ein Elektrofahrzeug wird eine hohe Anregung der Fahrer positiv erlebt. Die Versuche dieser Arbeit zeigen, dass diese durch eine hohe erreichbare **Maximalbeschleunigung** ab circa $4,0 \text{ m/s}^2$ entsteht. Dieser Wert kann anhand der Bewertungen der Vollastmanöver der unterschiedlichen Studien mit Beteiligung von Elektrofahrzeugen abgeleitet werden. Die Maximalbeschleunigung sollte dabei bis in höhere Geschwindigkeitsbereiche nicht signifikant abfallen, was in den Versuchen immer wieder anhand der Probanden-Rückmeldungen deutlich wurde.

Außerdem muss für eine hohe Anregung der **Beschleunigungsgradient** hinreichend hoch sein. Aus den Ergebnissen der unterschiedlichen Versuche kann als grobe Abschätzung festgehalten werden, dass der Beschleunigungsgradient zwischen circa 15 und bis zu 40 m/s^3 liegen sollte. Der obere Wert liegt noch unterhalb des Gradienten des Tesla Roadster (46 m/s^3), welcher von einigen Probanden als zu steil eingeschätzt wurde. Weitere Versuche sollten die genannten Werte bestätigen.

Einen weiteren stark anregenden Einfluss auf den wahrgenommenen Antriebscharakter hat der eingesetzte **Motorsound**. Alle im Versuch eingesetzten Motorsounds führten zu erhöhten Anregungswerten – auch im direkten Vergleich mit einem Fahrzeug ohne Sound und vergleichbarer Antriebseigenschaften, wie es in den Kapiteln 7 und 8 untersucht wurde. Allerdings ist jeder Motorsound stark von den individuellen, persönlichen Präferenzen und Erwartungen abhängig und birgt das Potenzial, negativ evaluiert zu werden.

Die Höhe der **Rekuperation** sollte einstellbar sowie in der Grundausführung eher hoch sein (bis circa $-2,5 \text{ m/s}^2$) und sich schnell aufbauen.

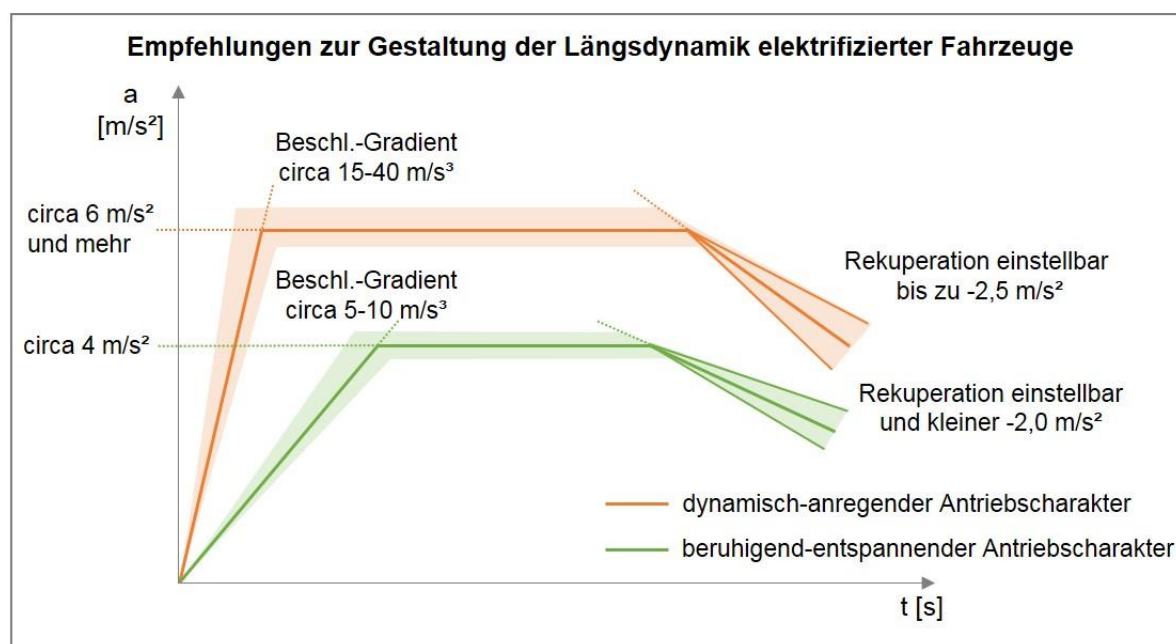


Abbildung 9-2: Empfehlungen zur Gestaltung der Längsdynamik von elektrifizierten Fahrzeugen anhand der gefundenen Antriebscharaktere am Beispiel eines schematischen Vollast-Beschleunigungsvorgangs

Bei einem **beruhigend-entspannenden Antriebscharakter** für ein Elektrofahrzeug wird ein geringes Maß an Anregung präferiert. Über alle Versuche mit entspannenden Antrieben zeigt sich, dass die wahrgenommene Valenz einen geringen Einfluss hat. Vielmehr weisen

die Ergebnisse darauf hin, dass die negative Aktivierung im PANAS Fragebogen nach (Watson et al., 1988) und die Anregung einen sehr geringen Wert einnehmen sollte. Dies ist als ein wichtiges Auslegungskriterium für komfortable Antriebscharaktere anzusehen und wird durch einen beruhigend ausgelegten Antrieb erreicht, der ein hohes Maß an Kontrollierbarkeit vermittelt. Ein solcher Antrieb sollte, wie nachfolgend beschrieben, ausgelegt werden.

Hinsichtlich der Längsdynamik sollten mittlere Werte des Beschleunigungsgradienten und der Maximalbeschleunigung gewählt werden. Dabei sollte die **Maximalbeschleunigung** Werte von circa 4 m/s^2 erreichen und bis in höhere Geschwindigkeiten gehalten werden können. Die genannten Werte sollten in weiteren Versuchen bestätigt werden. Die sich aufbauende Beschleunigung muss beim Übergang aus Konstantfahrt sowie von Schub in Zug und umgekehrt ineinander verschliffen sein – das heißt: sie darf keine Spitzen oder Unstetigkeiten im Beschleunigungsverlauf enthalten, um den sensorischen Input möglichst gering zu halten.

Aus den Versuchen lässt sich als Richtwert für den **Beschleunigungsgradienten** circa $5\text{-}10 \text{ m/s}^3$ ableiten. Dieser muss über dem des entspannt abgestimmten BMW i3 ($3,4 \text{ m/s}^3$) aus Kapitel 8 liegen, da dessen Beschleunigungsaufbau von einigen Probanden als träge bezeichnet wurde und zu einer leicht erhöhten negativen Aktivierung führte.

Einen weiteren wichtigen Beitrag stellt ein ruhiges **Innenraumgeräusch** dar, welches Störgeräusche maskieren sollte. Die **Rekuperationshöhe** sollte einstellbar und geringer sein, als bei einer dynamischen Abstimmung. Als Richtwert eignet sich eine Rekuperationshöhe bis $2,0 \text{ m/s}^2$. Einige Probanden wünschen sich einen Modus sehr geringer Rekuperation bei hohen Geschwindigkeiten, vergleichbar dem sogenannten Leerlaufsegeln konventioneller Antriebe.

In weiteren Untersuchungen sollte ausgehend von den beschriebenen Antriebscharakteren weitere Wahrnehmungskanäle und deren Einfluss auf das Erleben von Antrieben untersucht werden. Neben den hier untersuchten Kanälen betrifft dies vor allem die visuelle (Ablesen der Anzeigeelemente und optischer Fluss) und die haptische Wahrnehmung. Durch deren Einbeziehung kann unter Verwendung des erweiterten Emotionsmodells das Erleben der Probanden noch genauer beschrieben werden. Neben der erweiterten Betrachtung um zusätzliche Wahrnehmungskanäle empfiehlt es sich, den Blickwinkel auch in Richtung Hybridantriebe und hoch- sowie vollautomatisiertes fahren zu richten. Hierbei stellt sich die Frage, ob die gefundenen Wirkmechanismen und Antriebscharaktere ebenso gelten.

Einfluss der verwendeten Methoden

Das semantische Differential nach Hamm und Vaitl (1993) zur Erfassung von Valenz und Anregung, das nach den jeweiligen Manövern eingesetzt wurde, eignet sich sehr gut, um das subjektive, emotionale Erleben zu erfassen. Nach ausreichendem Training kann dieses schnell und ohne große Ablenkung von den Probanden beantwortet werden. Aufgrund der guten Passung und der homogenen Ergebnisse, die damit im Rahmen dieser Arbeit erzielt wurden, besteht die Möglichkeit, dieses weiter zu vereinfachen (beispielsweise dadurch, dass auf Seiten der Valenz nur noch die Adjektivpaare „unglücklich – glücklich“ und bei der

Anregung nur „entspannt – stimuliert“ erhoben werden). Damit würde es dem Self Assessment Manikin (SAM) von Bradley und Lang (1994) relativ nahe kommen. Der Vorteil des hier verwendeten semantischen Differentials gegenüber SAM besteht allerdings darin, dass der Versuchsleiter direkt während der Fahrt des Probanden die Befragung durchführen kann und somit der Proband nicht durch Ankreuzen der SAM-Bilder abgelenkt wird.

Die eingesetzte Kurzversion des PANAS Fragebogens von Watson et al. (1988) eignet sich ebenfalls gut, um die Aktivierung über die gesamte Fahrt aufzunehmen. Aufgrund der Herkunft des Fragebogens aus der klinischen Psychologie können einige Probanden gerade mit den Adjektiven zur Negativen Aktivierung nur schlecht umgehen. Hier ist eine spezifisch für Mensch-Maschine-Interaktionen konzipierte Form des PANAS wünschenswert.

Das bewusste Durchfahren von Manövern während des Versuchs und die vorherige Fahrzeugvermessung ist ein essenzieller Bestandteil, der zum Verständnis der auftretenden Emotionen und dem subjektiven Erleben notwendig ist. Dadurch wird ein direkter Abgleich von auftretenden Emotionen und messtechnischen Daten des Fahrzeugs möglich. Da jedoch auch häufig Teillastmanöver gefahren werden, ist in zukünftigen Versuchen die Aufzeichnung von Messdaten über die gesamte Fahrt sinnvoll. So können die, je nach Antriebscharakter und Situation, präferierten Werte der Längsdynamik mit den erfassten Emotionen verglichen werden. Dasselbe gilt für eine psychoakustische Vermessung der Situationen und Innenraumgeräusche. Leider konnte auf solche Messtechnik nicht zurückgegriffen werden. Durch den Einsatz einer solchen umfassenden Messtechnik wird es in Zukunft möglich, die objektiven Kennwerte der Fahrzeuge mit den subjektiven Daten der Probanden noch tiefergehend zu vergleichen und das Erleben der Probanden dadurch gezielter zu gestalten.

Diskussion der Erweiterung des um den kognitiven Emotionsmodells von Plutchik (1980) um den sensomotorischen Aspekt

In den Versuchen im realen Straßenverkehr wurde festgestellt, dass Probanden unabhängig von den vorgegebenen Manövern immer wieder bestimmte Beschleunigungszustände suchten und sich in bestimmte Fahrsituationen begaben, um den Antrieb erleben und beurteilen zu können. Die Probanden versuchen regelrecht, bestimmte Erlebnissituationen herzustellen. Dieses Verhalten wird im Emotionsmodell von Plutchik (1980) jedoch nicht abgebildet. Deswegen wurde es durch den Autor um den sensomotorischen Aspekt erweitert, vergleiche Abbildung 9-3.

Durch die Einbindung der Sensomotorik können weitere Reaktionsmuster und ausgelöste Emotionen (und dadurch Erlebnisse) eingehender bewertet werden. Zur Beschreibung der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion stellt die Sensomotorik eine notwendige Einflussgröße dar. So kann beispielsweise die Reaktion eines Fahrers in einem leistungsstarken Elektro-Fahrzeug mit hoher Maximalbeschleunigung und hohem Beschleunigungsgradienten besser interpretiert werden. Beim Herantasten an die volle Beschleunigung kann die Situation auftreten, dass der Fahrer nach einigen Teillastbeschleunigungen das Fahrpedal schnell voll durchdrückt und der sich einstellende Beschleunigungsanstieg im Rahmen der Bewertung als „zu extrem“ eingeschätzt wird und sich eine negative Emotion wie Angst einstellt. Als

DISKUSSION

Reaktion auf diese Emotion wird der Fahrer eine Reduktion der Beschleunigung durchführen, die sensomotorisch durch eine Rücknahme des Fahrpedalwinkels durch das Bein ausgeführt wird. Auf Seiten des positiven, emotionalen Erlebens kann sich der Fahrer immer wieder in die gleiche, positiv erlebte Situation begeben und dieselben motorischen Handlungen dafür ausführen, um abermals positiv bewertete Reize wahrzunehmen.

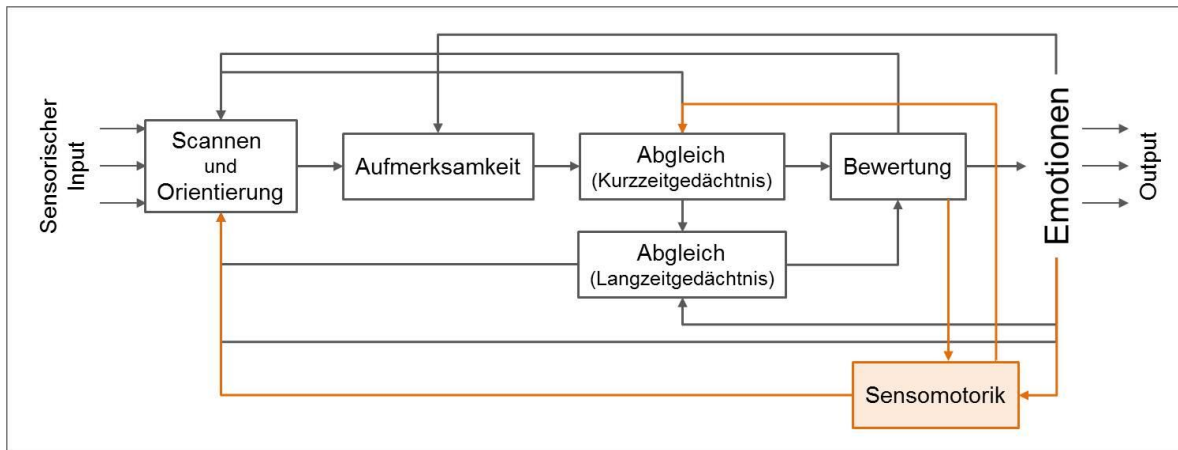


Abbildung 9-3: Erweitertes Emotionsmodell nach Plutchik (1980)

Die Sensomotorik der Probanden zeigte sich darüber hinaus als wichtige Einflussgröße zur Bewertung des Antriebscharakters, siehe oben. Gerade beim Wunsch nach entspanntem Fahren tragen sensomotorische Inputs erheblich dazu bei, ob ein Antrieb als leicht zu kontrollieren und vorhersehbar eingeschätzt wird und somit zur Entspannung des Fahrers beitragen kann.

Schlussbemerkungen

Insgesamt betrachtet trägt diese Arbeit zum Verständnis der emotionalen Wirkungsweise längsdynamischer und auditiver Empfindungen bei, die von dynamisch-agilen und entspannt-beruhigend ausgelegten Antrieben, sowohl konventioneller, wie elektrischer Art ausgelöst werden. Dieses Verständnis entsteht besonders durch den Einsatz realitätsnaher Fahrmanöver, die in den fünf im Fahrzeug durchgeführten Studien verwendet werden. Dabei wird jedes Manöver hinsichtlich der bei den Probanden auftretenden Emotionen untersucht. Anhand einer vorherigen messtechnischen Fahrzeugvermessung können die auftretenden Emotionen mit dem Beschleunigungsverhalten und der Antriebsakustik verglichen werden. Somit werden wichtige längsdynamische und akustische Größen der Fahrzeuge identifiziert, die maßgeblich zum Antriebs-Erleben von Elektrofahrzeugen beitragen. Durch diesen Vergleich werden die objektiv im Fahrzeug herrschenden Bedingungen mit den vielfältigen, emotionalen Äußerungen der Probanden in Einklang gebracht und anhand des verwendeten kognitiven Emotionsmodells interpretiert. Zur tiefergehenden Interpretation der Ergebnisse wird das verwendete Emotionsmodell um den sensomotorischen Aspekt erweitert. Die Arbeit belegt, dass sich dieser neue Ansatz sehr gut dazu eignet, die Interaktion des Fahrers mit einem Elektrofahrzeug zu beschreiben. Durch die Beschreibung des emotionalen Erlebens können darüber hinaus Richtlinien gegeben werden, wie die elektrische Fahrt erlebnisreich und elektrisierend gestaltet werden kann.

10. Anhang

10.1. Weitere Daten und Ergebnisse der Versuche

Kapitel 4.2.1 Card-Sorting Methode: Auflistung aller Erlebnisse

Freizeiterlebnisse	
1	Startendes Flugzeug
2	Verkehrsflug in Reiseflughöhe
3	Segelfliegen
4	Hubschrauberflug
5	Paragliden
6	Drachenfliegen
7	Skifahren im Tiefschnee neben der Piste
8	Skifahren auf der Piste
9	Carving Ski Fahren
10	Skifahren - Abfahrt
11	Skitour Aufstieg
12	Skitour Abfahrt
13	Langlaufen
14	Klettersteig
15	Wandern
16	Klettern am Seil
17	Snowboarden im Tiefschnee
18	Snowboarden auf der Piste
19	Achterbahnfahren
20	Bungee Jumping
21	Musik hören
22	Zeitgenössisches Konzert
23	Klassisches Konzert
24	Opernbesuch
25	Fischen Fisch am Hacken
26	Fischen ruhig und entspannend
27	Rudern
28	Golf spielen
29	Mountainbike Downhill
30	Mountainbike ebenerdig
31	Sportmassenveranstaltung
32	Ballon Fliegen
33	Tauchen
34	Musik machen
35	Karaoke
36	Rennrad fahren
37	Schnorcheln
38	Windsurfen
39	Wellenreiten / Surfen
40	Wasserski

ANHANG

41	Wasserrutsche
42	Kanu fahren
43	Wildwasserraften
44	Schlittenfahren
45	Fallschirmspringen
46	Kino Spannung
47	Kino Animation
48	Kino Action
49	Museumsbesuch
50	Zoobesuch
51	Gesellschaftsspiele
52	Gutes Essen
53	Prüfung bestehen / nach Bewerbungsgespräch Zusage erhalten
54	Gehaltserhöhung bekommen

Fahrzeugerlebnisse	
A1	sehr starkes Beschleunigen aus dem Stillstand
A2	auf einer Autobahn dahingleiten
A3	auf Autobahnauffahrt stark beschleunigen
A4	sportlich auf einer kurvigen Straße fahren
A5	Mitfahren / Gefahren werden und entspannen
A6	sportlichen Motor starten, Geräusche und Vibrationen wahrnehmen
A7	Vollgas im Tunnel
A8	Souveränes und sicheres Überholmanöver
A9	Hohe Geschwindigkeit auf leerer Autobahn
A10	ESP / DSC Eingriff in unvorhersehbaren oder kritischen Situationen
A11	verbrauchorientiert fahren / Reichweite sammeln
A12	Elektrisch fahren ohne Motorgeräusch
A13	bei niedrigen Drehzahlen mit viel Durchzugsvermögen beschleunigen
A14	Schnelles Hochdrehen und immer stärkere Beschleunigung
A15	ACC Regelung auf Autobahn
A16	Direktes Ansprechen des Motors nach Gas geben in der Stadt
A17	Mitfahren mit einem Fahrer, der das Fahrzeug in jeder Situation beherrscht
A18	Fahrt mit Familie / Freunde auf ein schönes Ziel (Ausflug oder Urlaub)
A19	Neues Auto Probe fahren
A20	Alleine Fahren
A21	Durch schöne Landschaft fahren (z.B. im Sommer mit Cabrio)
A22	Mit Allradantrieb sicher im Schnee unterwegs sein
A23	In der Nacht in verkehrleerer Stadt unterwegs sein (Panorama)
A24	Im Fahrzeug gute Musik hören

Kapitel 5.4.1 Erwartungen der Probanden und Ergebnisse des Abschlussfragebogens

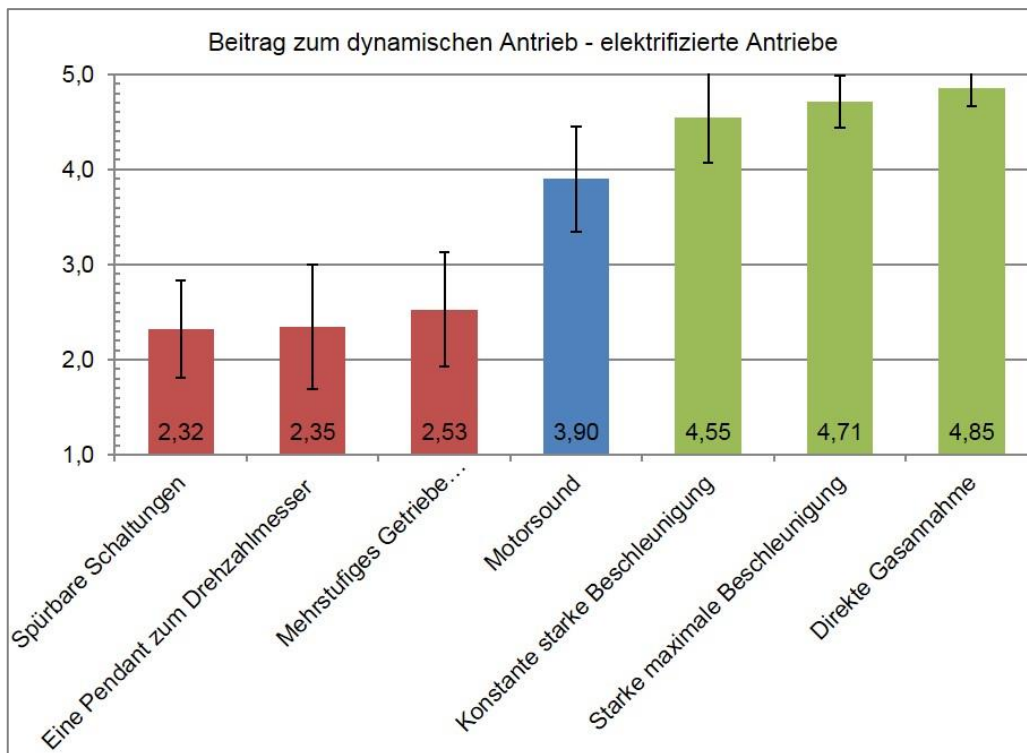


Abbildung 10-1: Beiträge zum dynamischen Antrieb bei Elektrofahrzeugen (Ordinate: 1...kein Beitrag zu einem sportlichen Antrieb bis 5...sehr starker Beitrag zu einem sportlichen Antrieb); (N=26)

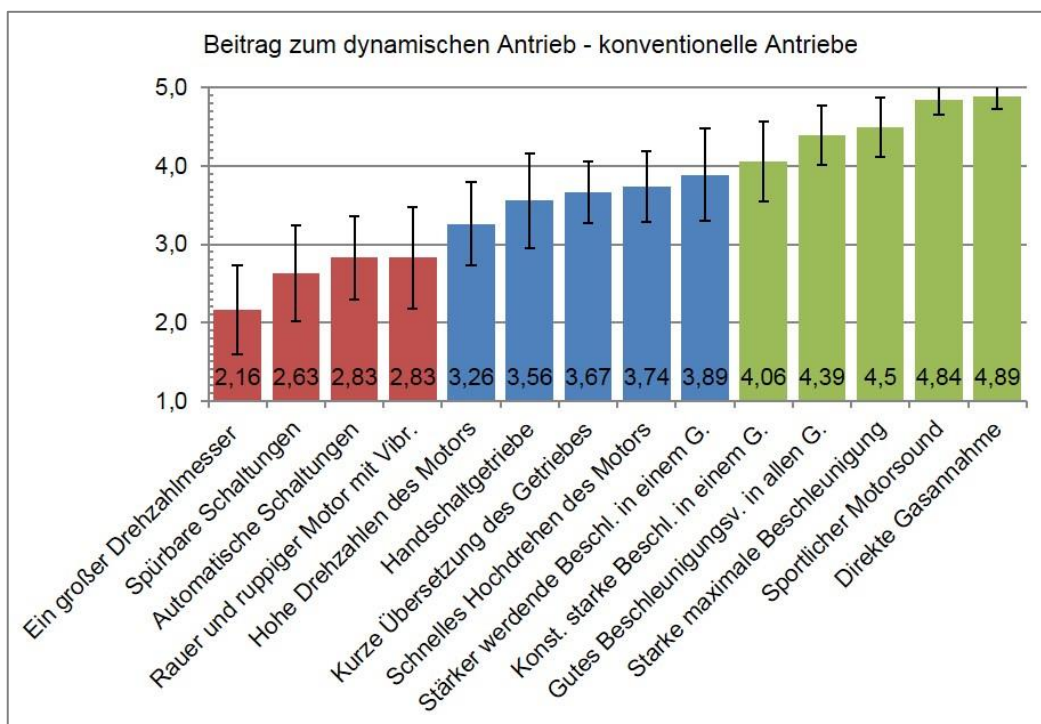


Abbildung 10-2: Beiträge zum dynamischen Antrieb bei konventionellen Antrieben (Ordinate: 1...kein Beitrag zu einem sportlichen Antrieb bis 5...sehr starker Beitrag zu einem sportlichen Antrieb); (N=26)

Kapitel 5.4.2 Deskriptive Auswertung und Mittelwertvergleich

Tabelle 10-1: Kurzübersicht zu signifikanten Unterschieden und Tendenzen in den Fahrmanövern; (N=26); (Sterne bzw. Zahlen in den Zellen geben das Signifikanzniveau an, die farbliche Codierung zeigt den höheren Mittelwert an – eine blaue Zelle bedeutet, dass der Tesla einen höheren Mittelwert hat – eine rote Zelle bedeutet, dass das E 92 Coupé einen höheren Mittelwert hat)

	unzufrieden - zufrieden	unglücklich - glücklich	genervt - erfreut	träge - rasend	nicht angeregt - angeregt	entspannt - stimuliert	Valenz	Anregung
Starten des Fahrzeugs	***	***	***	**	***	*	***	***
Ansprechverhalten bei circa 50 km/h	*	**	0,1	*			*	
Teillastbeschl. 30-60km/h		0,14						
Teillastbeschl. 0-50km/h				0,13				
Konstantfahrt mit 100km/h	*		0,09		0,15	**	0,08	
Volllastbeschl. 80-120km/h				**	*	0,05		*
Volllastbeschl. 0-100km/h								

Kapitel 5.4.4 Ergebnisse der subjektiven Äußerungen und der erinnerten Erlebnisse

Es werden jeweils alle Nennungen beschrieben, die mindestens zweimal von unterschiedlichen Probanden geäußert wurden. Zum besseren Verständnis werden teilweise Anmerkungen des Autors in eckigen Klammern hinzugefügt. Diese ergeben sich aus dem Zusammenhang.

Beim **Manöver Starten des Fahrzeugs** geben neun Probanden kritisch zu bedenken, dass beim Tesla Roadster eine [akustische] Rückmeldung über die Fahrbereitschaft fehlt; vier Probanden wünschen sich explizit eine akustische Rückmeldung. Es gibt keine positive Rückmeldung zu diesem Manöver beim Elektrofahrzeug. Auf Seiten des E92 Coupés wird elfmal der sportliche Klang des startenden Verbrennungsmotors gelobt. Drei Personen empfinden einen Ruck beim Einlegen der Fahrstufe D des Automatikgetriebes und zwei Probanden merken an, dass es sich um eine gewohnte Situation handelt.

Nach dem Manöver **Ansprechverhalten bei circa 50 km/h** beurteilen neun Personen die Reaktion auf das Fahrpedal des Tesla als „extrem gut“, fünf als „sehr direkt“ und vier loben das sich anschließende, sehr hohe Beschleunigungsvermögen des Fahrzeugs. Zwei Personen empfinden dieses Manöver als „gut dosierbar“. Jedoch merken vier Personen negativ an, dass die Reaktion des Fahrzeuges „zu grob“, „sehr unruhig“, „sehr sensibel“ und „ruckartig“ sei. Auch in den Gesprächen nach dem Versuch wird der extrem direkte Beschleunigungsaufbau von einem Probanden als „digital“ und einem anderen als „Gefahr für die Nackenmuskeln des Beifahrers“ eingeschätzt. Beim Verbrenner wird je zweimal der „gute Sound“ und das Ansprechverhalten gelobt. Allerdings gibt es insgesamt zehn negative Rückmeldungen zum Manöver. Drei Probanden empfinden eine „leichte Verzögerung“, ebenfalls drei eine „deutliche Verzögerung“, zweimal wird die Fahrzeugreaktion „verzögert wegen des Automatikgetriebes“ beschrieben und zwei Personen empfinden das Fahrzeugverhalten als „eher träge / verzögert“.

Dementsprechend merken noch je zwei Versuchsteilnehmer an, dass das Verhalten „eher schwer dosierbar“ sei und „Unruhe und Unsicherheit vermittelt“.

Bei der **Teillastbeschleunigung von 30 auf 60 km/h** merken vier Fahrer des Tesla Roadster S an, dass das Fahrzeug „toll beschleunigt“. Je drei Personen loben die „durchgängige Beschleunigung ohne Getriebe“ und das „gute Ansprechverhalten“. Zwei Personen nennen wieder die „gute Dosierbarkeit“. Negativ werden zweimal die „störenden Antriebsgeräusche [der E-Maschine]“ genannt. Beim E92 Coupé gibt es drei Personen, die die „Gangwechsel trotz Automatikgetriebe deutlich spüren“ und je zwei Personen die das Fahrzeugverhalten als „sehr gut“, die Beschleunigung als „gut“ und den Motorsound positiv hervorheben. Zwei negative Nennungen werden in Bezug auf das Getriebe genannt. Dieses sei langsam und die Rückschaltung störend.

Bei der **Teillastbeschleunigung aus dem Stand auf 50 km/h** wird das Elektrofahrzeug zweimal als „flink“ bezeichnet und ebenfalls zweimal auf das „zügige Anfahren in Teillast“ hingewiesen. Ebenfalls je zwei Probanden machen „keine besonderen Erfahrungen“, empfinden den „Sound unangenehm“ und sehen es als komisch an, dass „keine Schaltungen [des Getriebes] spürbar“ sind. Beim Verbrenner wird die Beschleunigung fünfmal als „sehr angenehm“ bewertet und zweimal der Motorsound als „sehr gut“ bezeichnet. Negativ werden dreimal das „verzögerte Ansprechen [des Motors]“ und zweimal die Schaltungen benannt.

Die **Konstantfahrt mit 100 km/h** wird beim Tesla wie folgt beschrieben: drei Probanden finden, dass das „Konstanthalten der Geschwindigkeit gut möglich“ ist; zwei verspüren „positive Emotionen wegen dem fehlenden [Motor-]Geräusch“; ebenso viele finden das Manöver „emotionslos“. Fünf Personen empfinden den „Einfluss der Rekuperation störend beim Geschwindigkeitshalten“, zwei bezeichnen das Motorgeräusch als „nervend“ und zwei bezeichnen die „Nebengeräusche“ nervend. Beim E92 Coupé wird fünfmal das Konstantfahren als „angenehm, ruhig oder komfortabel“ bezeichnet. Je zwei Personen empfinden keinen Unterschied zu einem normalen Fahrzeug, hören „fast keinen Motorsound“ oder empfinden den Motorsound „störend“.

Die **Vollastbeschleunigung von 80 auf 120 km/h** wird bei der Fahrt im Elektrosportwagen fünfzehn Mal positiv erwähnt: sechs empfinden einen „guten Durchzug“, ebenfalls sechs Probanden loben das „gute Ansprechverhalten“ und drei freuen sich über „positive Emotionen“ während des Manövers. Allerdings empfinden fünf Personen, dass die „Beschleunigung abfällt“ und dreien fehlt der Motorsound. Beim Verbrenner wird das Motorgeräusch siebenmal als „toll“ bezeichnet. Fünf Personen bezeichnen den Durchzug als „gut“. Allerdings merken sechs Personen an, dass die „Rückschaltung verzögert“ nach Fahrpedaleingabe kommt und das Ansprechverhalten „schlecht“ sei. Drei Personen „nervt“ der „Ruck beim Zurückschalten“ und zwei Teilnehmern ist die „Geräuschkulisse zu dominant“.

Bei der **Vollastbeschleunigung aus dem Stand auf 100 km/h** wird der Tesla Roadster S sechsmal für seine „tolle Performance“ und die „starke Beschleunigung“ gelobt. Drei Personen empfinden einen „starken Punch beim Anfahren“. Allerdings merken drei Fahrer an, dass „ohne akustische Komponente die Beschleunigung nicht so stark erlebt wird“. Ebenfalls drei Probanden erleben eine „nachlassende Leistung mit steigender

Geschwindigkeit“ und sind vom „E-Surren genervt“. Beim E92 Coupé wird fünfmal der „tolle Sound“, viermal die „starke Beschleunigung“ und ganz allgemein ebenfalls viermal die „positiven Emotionen“ während dem Manöver gelobt. Zwei Probanden erleben die „Schaltungen spürbar“ und ebenfalls je zwei finden den „Motorsound unangenehm“, den „DSC-Eingriff negativ“, die „Schaltungen störend beim Geschwindigkeitsempfinden“ und die Beschleunigung „unruhig“.

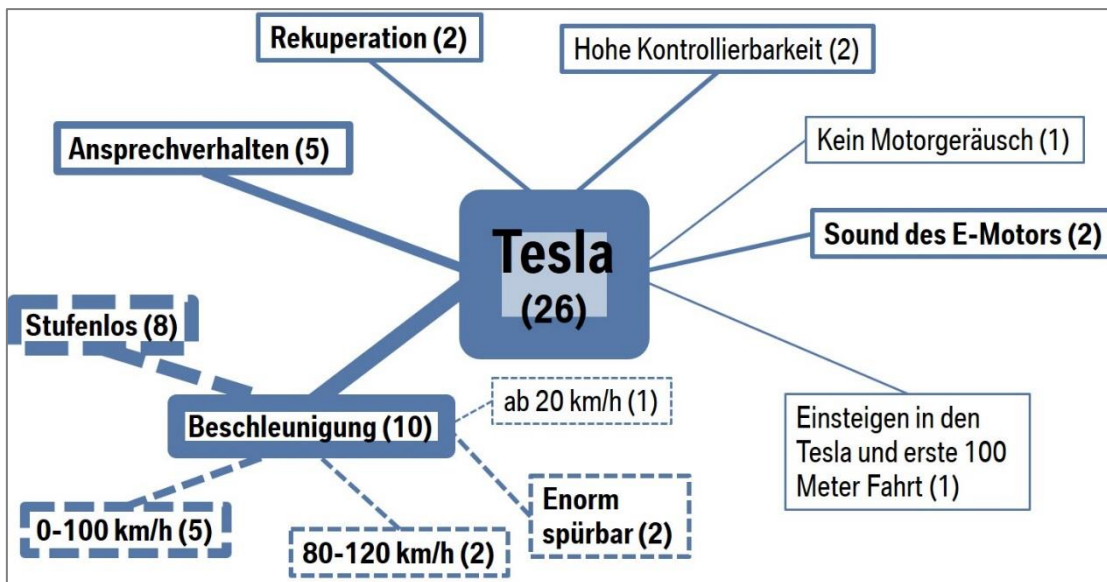


Abbildung 10-3: Erinnernte Erlebnisse der Fahrt mit dem Tesla Roadster S; (N=24); Zahlen in Klammern geben Anzahl der Nennungen des jeweiligen Oberbegriffs an.

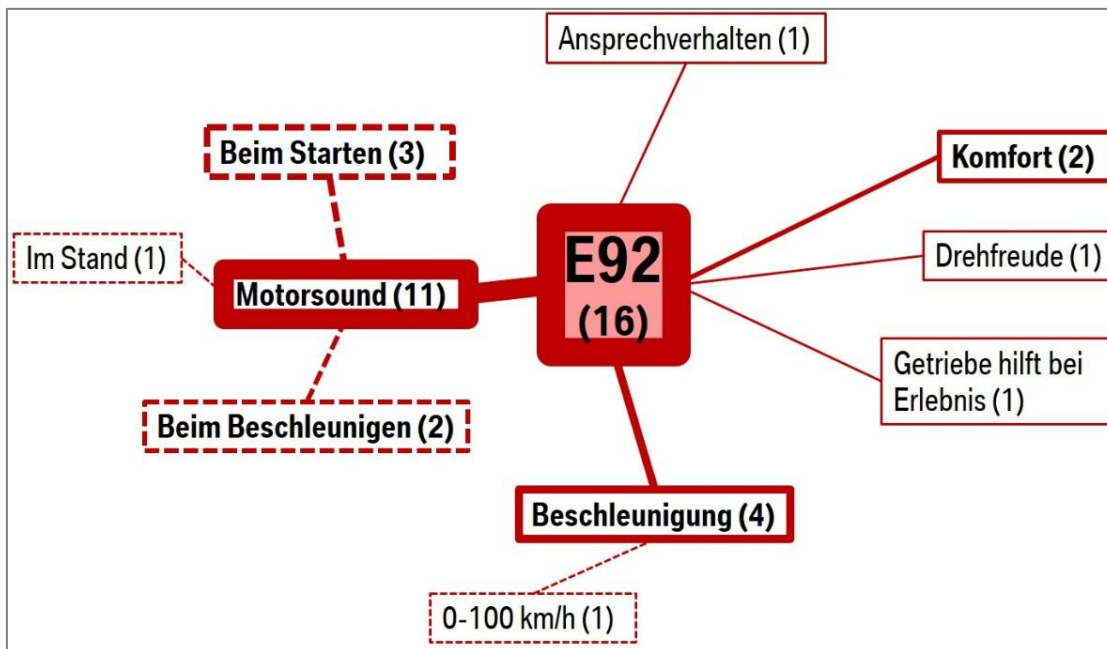


Abbildung 10-4: Erinnernte Erlebnisse der Fahrt mit dem BMW E92 Sport; (N=24); Zahlen in Klammern geben Anzahl der Nennungen des jeweiligen Oberbegriffs an

Kapitel 5.5.1 Erwartungen an Antriebe und Ergebnisse des Abschlussfragebogens

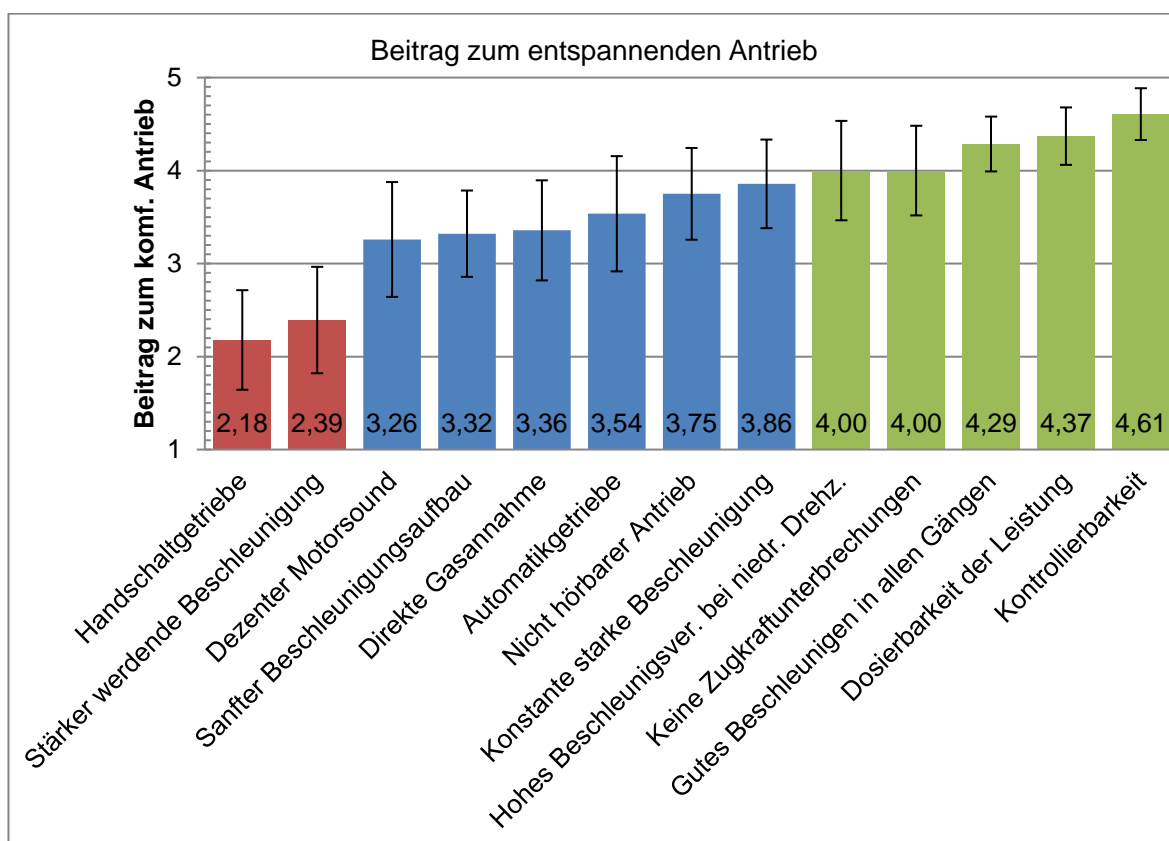


Abbildung 10-5: Beiträge zum komfortablen Antrieb; (N=30); (Ordinate: 1...trägt gar nicht; 2...trägt kaum; 3...weder noch; 4...trägt eher; 5...trägt sehr zu einem komfortablen Antrieb bei); (N=30)

Kapitel 5.5.2 Deskriptive Auswertung und Mittelwertvergleich

Tabelle 10-2: Kurzübersicht zu signifikanten Unterschieden und Tendenzen in den Fahrmanövern; (N=29); (Sterne bzw. Zahlen in den Zellen geben das Signifikanzniveau an, die farbliche Codierung zeigt den höheren Mittelwert an – eine graue Zelle bedeutet, dass das BMW E82 120iA Coupé einen höheren Mittelwert hat – eine hellgraue Zelle bedeutet, dass der BMW ActiveE einen höheren Mittelwert hat)

	unzufrieden - zufrieden	unglücklich - glücklich	genervt - erfreut	träge - rasend	nicht angeregt - angeregt	entspannt - stimuliert	Valenz	Anregung
Starten des Fahrzeugs								
Ansprechverhalten bei circa 50 km/h	***	***	***	***	***	**	***	***
Teillastbeschl. 30-60km/h	***	***	**	**	***		***	**
Teillastbeschl. 0-50km/h	***	***	***	***	**		***	**
Konstantfahrt mit 100km/h			**		**		*	*
Volllastbeschl. 80-120km/h	***	***	***		0,085	*	***	
Volllastbeschl. 0-100km/h	***	***	***	0,051	**		***	**

Kapitel 5.5.3 Ergebnisse der subjektiven Äußerungen

Es werden jeweils alle Nennungen beschrieben, die mindestens zweimal von unterschiedlichen Probanden geäußert wurden. Zum besseren Verständnis werden teilweise Anmerkungen des Autors in eckigen Klammern hinzugefügt. Diese ergeben sich aus dem Zusammenhang.

Beim **Starten des Fahrzeugs** bemerken acht Fahrer des ActiveE, dass ein akustisches Feedback fehlt und die Erfahrung somit „neuartig“ sei. Fünf Probanden merken an, dass „zu wenig Rückmeldung“ über die Fahrbereitschaft herrscht. Je drei sind „überrascht“ oder wünschen sich explizit eine „akustische Rückmeldung“. Jeweils zwei empfinden die „Ready Anzeige“ im Instrumentenkombi gut, sind „irritiert“ oder empfinden „gar kein Erlebnis“. Das Starten des 120iA Coupés wird von sechs Teilnehmern als „angenehm“ beschrieben. Je vier merken an, dass alles „bekannt“ und „gewohnt“ abgelaufen sei oder freuen sich über die „deutliche Rückmeldung“. Je zwei Probanden merken an, dass „der Sound und die Vibration Vorfreude auslösen“, empfinden das Geräusch „angenehm“ oder hätten „weniger erwartet“.

Das **Ansprechverhalten bei circa 50 km/h** wird im Elektrofahrzeug dreizehnmal als „super“, „angenehm“ oder „gut“ beschrieben. Zwölf Probanden merken an, dass das Fahrzeug „sehr direkt“ oder „sofort“ reagiert, drei finden, dass das Fahrpedal „weich zu dosieren“ ist. Weitere zwei Personen fühlen sich zum „Spiel mit dem Gas“ ermutigt. Beim Verbrenner empfinden dreizehn Personen die Fahrzeugreaktion als „träge“ oder empfinden, dass „zu wenig Leistung“ vorhanden ist. Acht Fahrer stört die häufig auftretende Rückschaltung und sie bezeichnen dies als „nervig“ oder „zu lange“ dauernd. Vier Personen äußern, dass das Fahrzeug aufgrund der Rückschaltungen „indirekter“ wirkt und ebenfalls vier finden das Verhalten des Fahrzeugs generell als „verzögert“ oder „indirekt“. Drei Personen empfinden die Soundkulisse des Motors beim Beschleunigen als „Lärm“ oder „zu laut“.

Die **Teillastbeschleunigung von 30-60 km/h** wird im ActiveE fünfmal als „gut“, viermal als „kräftig“ und dreimal als „voll ok“ bezeichnet. Ebenfalls drei Probanden meinen, dass die „Erwartungen erfüllt“ werden. Weitere drei äußern sich positiv darüber, dass „keine Schaltungen nötig“ sind. Je zwei finden die Fahrzeugreaktion „gut dosierbar“ oder sehen das Manöver als „neutral“. Beim 120iA Coupé merken sechs Teilnehmer an, dass das Fahrzeug „träge“, „zäh“ oder „lahm“ reagiere. Fünf fühlen sich durch eine „Rückschaltung [ge]nervt“, und zwei finden den ActiveE „besser“, beziehungsweise „fließender“.

Die **Teillastbeschleunigung aus dem Stand bis 50 km/h** erleben fünf Personen im Elektrofahrzeug als „angenehm“, weitere fünf als „kraftvoll“ oder „souverän“. Ebenfalls fünf Teilnehmer merken positiv an, dass „keine Schaltungen“ notwendig waren. Vier Probanden empfinden die Fahrzeugreaktion als „direkt“ und anderen vier macht das Manöver „Spaß“. Drei empfinden den ActiveE als gut zu dosieren und zwei Personen sind vom „Sound [der E-Maschine] genervt“. Im Verbrenner sind sechs Fahrer der Meinung, dass sie mit dem übrigen Verkehr „gut mitschwimmen“ konnten, je vier äußern, dass das Manöver „nichts Besonderes“ oder „wie erwartet“ erlebt wurde. Ebenfalls vier empfinden den Motor als „zu laut“, und zwei empfinden das Manöver entweder als „träge“, „zäh“, „lahm“ oder die „Drehzahl zu hoch“ und fühlen sich „unkomfortabel“.

Bei der **Vollastbeschleunigung von 80 bis 120 km/h** äußern fünf Fahrer des ActiveE, dass sie sich mehr „Beschleunigung gewünscht“ hätten oder die „Erwartungen nicht erfüllt“ wurden. Sieben Probanden empfinden ein „Nachlassen der Beschleunigung“ und fünf fühlen sich durch das hochfrequente „Pfeifen“ des Elektromotors „genervt“. Immerhin drei Personen empfinden die Beschleunigung „gleichmäßig“ und bei zweien handelt es sich bei der Fahrzeugreaktion um „Zweckerfüllung“. Im 120iA Coupé wird achtmal in unterschiedlicher Form auf das Nichtzusammenpassen von Motorsound und erlebter Beschleunigung hingewiesen. Dies äußert sich durch Anmerkungen wie „der Sound hat mehr versprochen, als die Leistung hergab“, „da passt der Sound nicht zur Beschleunigung“ oder „viel Lärm um nichts“. Dementsprechend empfinden sieben Probanden das Fahrzeug als „angestrengt“, fünf „hätten mehr erwartet“, vier war der Motor „zu laut“ oder „jammernd“. Ebenfalls vier sind der Meinung, dass der Motor „zu wenig Leistung“ hat. Je zweien dauert entweder die „Rückschaltung zu lang“ oder empfinden das Fahrzeugverhalten „unangenehm“. Dennoch hat zwei Probanden das Manöver „Spaß gemacht“.

Bei der **Vollastbeschleunigung aus dem Stand bis 100 km/h** sind im Elektrofahrzeug sieben Personen der Meinung, dass sie im Bereich von „70 bis 100 km/h“ mehr erwartet hätten. Sechs Personen haben „von Null bis 30 km/h“ mehr Leistung erwartet und vier Personen empfanden den Beschleunigungsbereich von „30-70 km/h gut“. Generell „mehr erwartet“ haben sechs Fahrer und drei stellen ein „Nachlassen der Beschleunigung bei hohen Geschwindigkeiten“ fest. Jedoch finden vier Teilnehmer die Beschleunigung als „dynamisch“ oder „kraftvoll“. Im Verbrenner wird erneut achtmal angemerkt, dass die Motorakustik nicht zur Beschleunigung passt. Sieben Personen finden, das Fahrzeug sei im Manöver „angestrengt“, „unangenehm“ oder „enttäuschend“, fünf finden es generell „zu laut“, vier hätten „mehr erwartet“ und je drei finden die „Schaltungen unkomfortabel“, beziehungsweise die Beschleunigung „nachlassend“. Zwei Personen finden die Leistung „anfangs gut“ und weiteren zwei war die „Leistung zu wenig“.

Während der **Konstantfahrt mit 100 km/h** wird im Elektrofahrzeug neunmal die „Ruhe“ beziehungsweise die „gute Akustik“ gelobt. Sechs Fahrer fühlen sich „entspannt“ und drei finden das Fahrpedal „gut dosierbar“. Auch den Verbrenner finden sechs Personen „leise“ oder „ruhig“. Fünf empfinden das Manöver als „gleichwertig zum ActiveE“ und vier fühlen sich „entspannt“.

Die **Rekuperation** beim Elektrofahrzeug wird von den Probanden neunmal mit der Anmerkung, dass die „Gewohnheit fehlt“ bewertet. Vier empfinden das „One-Pedal“-Fahren als „gut“ oder „angenehm“. Vier wünschen sich „mehr Rekuperation“ und drei „weniger“.

Kapitel 8.4.1 Deskriptive Auswertung und Mittelwertvergleiche

Tabelle 10-3: Kurzübersicht zu signifikanten Unterschieden und Tendenzen in den Fahrmanövern; (N=32); (Sterne bzw. Zahlen in den Zellen geben das Signifikanzniveau an, die farbliche Codierung zeigt den höheren Mittelwert an – eine grüne Zelle bedeutet, dass bei der Erlebnisabstimmung einen höheren Mittelwert erzielt wurde – eine blaue Zelle bedeutet, dass bei der Baselinefahrt ein höherer Mittelwert erzielt wurde; eine graue Zeile deutet an, dass es keine signifikanten Unterschiede in der Bewertung gab)

	unzufrieden - zufrieden	unglücklich - glücklich	genervt - erfreut	träge - rasend	nicht angeregt - angeregt	entspannt - stimuliert	Valenz	Anregung
Ansprechverhalten bei circa 50 km/h				***	***	***		***
Teillastbeschl. 30-60km/h				***	***	***		***
Teillastbeschl. 0-50km/h		*	0,09	***	***	***	0,09	***
Rekuperation				**	**	***		***
Konstantfahrt mit 100km/h				0,09	0,10	0,06		*

Tabelle 10-4: Kurzübersicht zu signifikanten Unterschieden und Tendenzen in den Fahrmanövern; (N=32); (Sterne bzw. Zahlen in den Zellen geben das Signifikanzniveau an, die farbliche Codierung zeigt den höheren Mittelwert an – eine orange Zelle bedeutet, dass bei der Erlebnisabstimmung einen höheren Mittelwert erzielt wurde – eine blaue Zelle bedeutet, dass bei der Baselinefahrt einen höheren Mittelwert erzielt wurde; eine graue Zeile deutet an, dass es keine signifikanten Unterschiede in der Bewertung gab)

	unzufrieden - zufrieden	unglücklich - glücklich	genervt - erfreut	träge - rasend	nicht angeregt - angeregt	entspannt - stimuliert	Valenz	Anregung
Ansprechverhalten bei circa 50 km/h	0,09	0,09		*	*	*	0,10	**
Teillastbeschl. 30-60km/h				*				
Volllastbeschl. 80-120km/h		0,08			*			
Volllastbeschl. 0-100km/h				*		**		*
Rekuperation								
Volllastbeschl. 30-60km/h		0,07	*	0,10		*	*	*

Kapitel 8.4.2 Gruppenspezifische Auswertung

Tabelle 10-5: Signifikante Unterschiede und Tendenzen in der Gruppe mit und ohne Kenntnisse im Fahrverhalten von E-Fahrzeugen; (N=32)

Manöver / PANAS-Item	Statistiken			Wenig Erfahrung		Viel Erfahrung		Gesamt	
	Wilks-λ	F	Sig.	MW	SD	MW	SD	MW	SD
DB_TL_30_60_Anregung	,80	4,70	,043	3,85	,90	3,11	,67	3,43	,84
DB_Nervoes	,86	3,10	,094	1,22	,44	1,00	,00	1,10	,30
DE_VL_80_120_Anregung	,83	3,84	,065	3,22	1,01	3,95	,68	3,64	,89
DE_VL_0_100_Anregung	,84	3,56	,075	3,56	,88	4,19	,67	3,92	,82
DE_Angeregt	,80	4,83	,041	3,11	,93	3,83	,58	3,52	,81
DE_Bekuemmert	,86	3,10	,094	1,22	,44	1,00	,00	1,10	,30

DE_Nervoes	,78	5,43	,031	1,33	,50	1,00	,00	1,14	,36
DE_Negative_Aktivierung	,77	5,78	,027	1,29	,25	1,07	,18	1,16	,23
EB_Reku_Valenz	,84	3,74	,068	2,78	1,09	3,61	,89	3,25	1,04
EB_Erschrocken	,85	3,26	,087	1,78	1,30	1,08	,29	1,38	,92
EB_Nervoes	,71	7,77	,012	1,89	,78	1,17	,39	1,48	,68
EB_Negative_Aktivierung	,86	3,17	,091	1,51	,63	1,15	,28	1,30	,48
EE_TL_30_60_Anregung	,82	4,11	,057	2,70	,97	2,03	,56	2,32	,81
EE_TL_0_50_Anregung	,84	3,51	,076	2,44	1,12	1,75	,55	2,05	,89
EE_Gleiten_100_Valenz	,79	5,06	,037	3,41	,64	4,14	,80	3,83	,81
EE_Ängstlich	,78	5,43	,031	1,33	,50	1,00	,00	1,14	,36
EE_Nervoes	,73	6,94	,016	2,11	1,05	1,17	,58	1,57	,93
EE_Negative_Aktivierung	,87	2,92	,104	1,60	,57	1,22	,46	1,38	,53

Tabelle 10-6: Signifikante Unterschiede und Tendenzen in den Gruppen zum übergeordneten selbsteingeschätzten Fahrstil; (N=32)

Manöver / PANAS-Item	Statistiken			Sportlich		Ausgeglichen		Gesamt	
	Wilks- λ	F	Sig.	MW	SD	MW	SD	MW	SD
EB_TL_30_60_Valenz	,85	3,30	,085	4,13	,65	3,50	,94	3,89	,81
EB_Ängstlich	,83	3,92	,062	1,00	,00	1,25	,46	1,10	,30
EB_Erschrocken	,81	4,34	,051	1,08	,28	1,88	1,36	1,38	,92
DB_TL_30_60_Valenz	,83	3,95	,062	4,33	,56	3,79	,69	4,13	,65
DB_Freudig_erregt	,86	3,12	,093	3,54	,52	2,75	1,49	3,24	1,04
DB_Verärgert	,85	3,41	,080	1,00	,00	1,38	,74	1,14	,48
DB_Begeistert	,75	6,18	,022	3,77	,93	2,75	,89	3,38	1,02
DB_Erschrocken	,77	5,57	,029	1,00	,00	1,75	1,16	1,29	,78
DB_Negativer_Affekt	,79	5,08	,036	1,03	,08	1,35	,51	1,15	,35
DE_TL_30_60_Anregung	,85	3,41	,081	4,00	,77	3,29	,98	3,73	,90

Kapitel 8.4.3 Einfluss der Reihenfolge der Fahrten

Tabelle 10-7: Signifikante Unterschiede und Tendenzen, die auf Reihenfolgeeffekte der absolvierten Fahrten zurückzuführen sind; (N=32)

Manöver / PANAS-Item	Statistiken			1. Fahrt Baseline		1. Fahrt Erlebnisfahrt		Gesamt	
	Wilks- λ	F	Sig.	MW	SD	MW	SD	MW	SD
EB_TL_30_60_Valenz	,75	6,65	,018	3,54	,79	4,33	,58	3,86	,80
EB_TL_0_50_Anregung	,73	7,33	,014	3,51	,70	2,63	,82	3,15	,86
EB_Reku_Anregung	,85	3,42	,079	3,51	,56	2,89	1,03	3,26	,82
EB_Gleiten_100_Valenz	,86	3,15	,091	3,28	,91	3,92	,70	3,55	,88
EB_Gleiten_100_Anregung	,66	10,25	,004	2,87	,71	2,00	,47	2,52	,75
EB_Bekuemmert	,87	3,10	,094	1,38	,65	1,00	,00	1,23	,53
EE_TL_30_60_Valenz	,70	8,40	,009	4,10	,81	3,00	,97	3,65	1,02
EE_TL_0_50_Valenz	,81	4,74	,042	3,64	,88	2,74	1,05	3,27	1,03
EE_Wach	,77	5,89	,025	3,54	,66	2,56	1,24	3,14	1,04
EE_Verärgert	,87	3,03	,097	1,23	,60	1,89	1,17	1,50	,91
EE_Erschrocken	,86	3,23	,088	1,23	,60	1,78	,83	1,45	,74
DB_TL_30_60_Valenz	,89	3,28	,081	3,98	,78	4,43	,53	4,20	,70

DE_VL_30_60_Valenz	,82	5,95	,022	4,64	,39	4,02	,90	4,34	,74
--------------------	-----	------	------	------	-----	------	-----	------	-----

Kapitel 8.4.4 Auswertung der subjektiven Daten

Auswertung der Manöverbefragung während der vier Fahrten

Zunächst werden die Ergebnisse der **Fahrten mit komfortorientierter Intention** besprochen, wobei jeweils direkt die Äußerungen zu den verschiedenen Manövern im Vergleich betrachtet werden. Beim Manöver **Ansprechverhalten bei circa 50 km/h** merken in der **Baselinefahrt** acht Personen an, dass man „gefühlvoll beschleunigen und sich konzentrieren muss“, damit sich das Fahrzeug nicht „aggressiv“ verhält oder es „einen Schlag“ gibt oder es sich „schüttelt“. Dementsprechend beurteilen vier Probanden die Dosierbarkeit als schlecht. Ebenso viele empfinden den Lastwechsel aus der Konstantfahrt ins Beschleunigen als zu „direkt“ und ebenfalls vier empfinden die Reaktion des Fahrzeugs als „nicht entspannt, sondern dynamisch“. Drei Personen ist die Fahrpedalprogression zu hoch. Vier Personen sind mit der Reaktion des Fahrzeugs im Manöver zufrieden. In der **Erlebnissfahrt mit komfortorientierter Intention** empfinden sechzehn Probanden die Fahrzeugreaktion als „passend für entspanntes Fahren“, „gemütlich“ und „in Ordnung“. Acht Personen empfinden die Reaktion als „träge“, „schlapp“ oder sprechen dem Fahrzeug „Leichtigkeit“ ab. Fünf Probanden stellen eine „verzögerte Fahrzeugreaktion“ fest.

Während der **Teillastbeschleunigung von 30 bis 60 km/h** empfinden vier Probanden während der **Baselinefahrt** einen „zu starken Ruck beim Übergang aus der Konstantfahrt ins Beschleunigen“ und beschreiben diesen teilweise als „ruppig“. Drei Probanden erleben die Beschleunigung „zu stark“ oder „zu zügig“. Bei der Fahrt mit **komfortorientierter Intention** gefällt neun Probanden die Fahrzeugreaktion sehr gut. Sie wird beschrieben als „passend“, „angenehm“, „komfortabel“, „nicht zu träge“, „super für entspanntes Fahren“. Allerdings hätten fünf Probanden „mehr [Beschleunigung]²⁶ erwartet“ und empfinden die Fahrzeugreaktion als zu „träge“ und „schwerfällig“. Vier Probanden merken an, dass „viel Fahrpedal[winkel] notwendig“ ist, um das Manöver durchzuführen. Allerdings geben auch drei Probanden an, dass das Fahrzeug „gut dosierbar“ sei.

Die zweite gefahrene **Teillastbeschleunigung von 0 bis 50 km/h** wurde – wenn möglich – an einer roten Ampel, die auf Grün springt, durchgeführt. Die Probanden hatten den Auftrag mit dem Verkehr mit zu schwimmen und die Fahrzeugreaktion zu beurteilen. Im Rahmen der **Baselinefahrt** wird die Beschleunigung zehnmal als „angenehm“, „zufriedenstellend“, „smooth“ oder „harmonisch“ beschrieben. Vier Personen empfinden den sich einstellenden „Initialruck“ aus dem Stillstand als unangenehm und drei den Beschleunigungsaufbau als „zu steil“ und „schwer dosierbar“. Im Rahmen der **Erlebnissfahrt** wird dem Fahrzeug beim Beschleunigen von zehn Personen „weniger Power als erhofft“ und eine „zähe“, „langweilige“ Beschleunigung attestiert. Auf der anderen Seite empfinden sieben Personen die Fahrzeugreaktion „sehr entspannt“,

²⁶ Die Anmerkungen in eckigen Klammern wurden von den Probanden nicht explizit erwähnt, konnten aber durch Nachfragen während dem Interview oder aus dem Kontext der Äußerungen der Probanden erschlossen werden. Sie wurden vom Autor zum besseren Verständnis der subjektiven Äußerungen hinzugefügt.

„gemütlich“, „richtig gut“, „super“ und „top“. Fünf Personen stellen eine „Anfahrtschwäche“ fest, die zunächst überwunden werden muss.

Die **Konstantfahrt mit 100 km/h** wird bei der **Baselinefahrt** von sieben Probanden als „nicht gut dosierbar“, „zu direkt“ und „zu dynamisch angebunden“ erlebt. Vier Probanden sind mit dem Konstantfahren zufrieden und beurteilen es als „gut“ und „angenehm“. Während der **Erlebnisfahrt** empfinden sieben Probanden die Konstantfahrt als „gut zum Mitfließen“, „angenehm“ und meinen, die Geschwindigkeit lässt sich „leicht halten“. Vier Probanden merken explizit an, dass das Fahrzeug „gut zu dosieren“ sei. Drei Probanden empfinden die Fahrpedalreaktion als zu träge.

Die **Rekuperation** wird bei der **Baselinefahrt** dreizehnmal als „zu hoch“, „stark“, „fremdbestimmt“, „bissig“ und „hektisch“ beschrieben. Sieben Probanden empfinden den Lastwechselübergang in die Verzögerung als „zu scharf“ oder „zu hart“ und wünschen sich einen „flacheren Übergang“ oder dass dieser „weicher einphast“. Vier Probanden merken an, dass die Rekuperation in niedrigen Geschwindigkeiten zu hoch ist. Bei der **Erlebnisfahrt** empfinden die Mehrzahl der Probanden nämlich achtzehn Probanden die Rekuperation als „sehr gut“, „angenehm“, „genau richtig“, „viel besser“, „komfortabler“. Acht Probanden erwarten „ein bisschen mehr Rekuperation[sniveau]“ oder merken an, dass „höher angenehmer sei“. Vier Probanden mahnen, dass so das „One-Pedal-Fahren verloren gehe“.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Manöverbefragung während der Fahrten mit **dynamisch-agiler Fahrerintention** wiedergegeben. Im Manöver **Ansprechverhalten bei 50 km/h** waren während der **Baselinefahrt** fünfzehn Probanden sehr zufrieden und drückten dies unter anderem wie folgt aus: „sehr gut“, „hängt gut am Gas“, „sehr direkt“. Drei Fahrer empfanden ein „subjektives Turboloch“ beziehungsweise eine „Schwelle, die überbrückt werden muss“, bevor sich eine starke Beschleunigung einstellt. Bei der **Erlebnisfahrt** war die Mehrheit von siebzehn Probanden „beeindruckt“ und nannte das Verhalten des Fahrzeugs „grandios“, „hängt direkt am Gas“, „dynamisch“, „sportlich“ und attestiertem „[Leistungs]-Reserven“. Vier Personen bezeichneten den applizierten Motorsound „passend“, er mache „Spaß“ und die Beschleunigung wirke „intensiver“.

In der **Teillastbeschleunigung von 30-60 km/h** berichteten zehn Probanden während der **Baselinefahrt**, dass diese „gut gefalle“, „perfekt zu den Erwartungen passt“ und „herausragend“ sei. Bei der **dynamisch-agilen Fahrt** merkten vier Probanden an, dass das Fahrzeug „direkt am Gas hängt“ und ebenso viele empfanden den Motorsound „unangenehm“ beziehungsweise „verzögert“.

Bei der **Vollastbeschleunigung von 30-60 km/h** sprachen acht Fahrer der **Baselinefahrt** von einer „sehr guten“ und „stimulierenden“ Beschleunigung. Drei Fahrer betonten die „Leichtigkeit“, die das Fahrzeug während des Manövers vermittele. Auf Seiten der **Erlebnisfahrt** empfanden sieben Probanden die Beschleunigung als „flott“, „dynamisch“, „super“; sechs Fahrer waren vom Sound „begeistert“. Allerdings empfanden weitere fünf Fahrer den Sound als „unangenehm“ oder „künstlich“.

Das Manöver **Vollastbeschleunigung 80-120 km/h** wurde in der **Baselinefahrt** von dreizehn Personen negativ bewertet. Diese wünschten sich „mehr Beschleunigungsleistung“ und empfanden die gebotene Beschleunigung als „unspektakulär“. Sieben Personen erhofften sich ab 100 km/h mehr Beschleunigung. Positiv hoben vier Probanden hervor, dass die „Leistung sofort da“ sei. Auf Seiten der **dynamisch-agilen Fahrt** beschrieben zehn Fahrer das Manöver als „angenehm“, „zügig“, „super“, „agil“ und bescheinigen eine bessere Beschleunigung („schnürt kaum ein“, „zieht besser“). Jedoch hätten neun Probanden „mehr [Beschleunigungsleistung] vom Fahrzeug erwartet“ und drei meinten, dass sie das „Geräusch nicht bräuchten“.

Bei der **Vollastbeschleunigung aus dem Stand auf 100 km/h** empfinden acht Fahrer der **Baselinefahrt** die Beschleunigung als „sehr kraftvoll“, „raketenartig“ und bescheinigten dem E-Fahrzeug, dass es „gut anschiebt“. Ebenso viele Probanden erleben ab 70-80 km/h einen Knick in der Beschleunigung hin zu einem „dann trägeren Vortrieb“. Sechs Probanden merken an, dass die Beschleunigung bis 30 km/h zunehme und dann auf einem Plateau verharrt („richtig los geht's ab 30 km/h“, „wie wenn man ein riesiges Gewicht in Bewegung bringen muss“). Drei Probanden vermissen den Initialruck, der bei der Erlebnisfahrt vorhanden ist. Vier Fahrer der **Erlebnisfahrt** merken an, dass die Beschleunigung „gleichmäßiger“ sei, beziehungsweise „nicht einknickt“. Drei Probanden erleben ein Nachlassen der Beschleunigung, jedoch erst bei höheren Geschwindigkeiten als bei der Baselinefahrt („geht bis 90 km/h gut“). Drei Probanden finden den Sound „komisch“ oder sind damit „überfordert“.

Als letztes Manöver wird die **Rekuperation** bei der **Baselinefahrt** von elf Probanden als „genial“ oder „super“ bezeichnet und explizit das „gutes Niveau [an Verzögerung]“ und das „gut mögliche One-Pedal Fahren“ gelobt. Bei der **Erlebnisfahrt** sind elf Probanden mit der Stärke der Rekuperation „zufrieden“, allerdings empfinden sechs Probanden die Soundunterstützung als „aufdringlich“, „laut“ oder „demotivierend“. Vier Probanden glauben, dass die Rekuperation nun „stärker als vorher“ sei und drei Probanden meinen, dass der Sound während des Rekuperierens zu einer „besseren Kontrollierbarkeit“ beitrage.

Auswertung der teilstrukturierten Interviews nach den Fahrten mit komfortorientierter Intention

Bei den teilstrukturierten Interviews wurde ein Vorgehen gewählt, das vom Groben ins Feine immer detaillierter fragt, um zu ermitteln, welche der längsdynamischen Variationen die Probanden ohne Hinweise des Versuchsleiters auflösen konnten. Angeführt werden jeweils Nennungen, die zu einem Themencluster passen und von drei oder mehr verschiedenen Probanden genannt werden. Genannt werden, wie zuvor, Äußerungen, die von mindestens drei verschiedenen Probanden geäußert wurden.

Nach der Fahrt in **Baseline-Abstimmung** wurde als erstes gefragt, welcher **Antriebscharakter** zum Verhalten des Fahrzeugs passt. Dies beantworteten zehn Probanden mit der Aussage, dass das Fahrzeug sich „dynamisch“ verhalte, acht nannten den Antriebscharakter „halb dynamisch – halb souverän“, sieben Personen „souverän“, vier Personen sprachen dem Fahrzeug entspannende Eigenschaften wie „relaxed“, „Wellnessmobil“, „ruhig“, „komfortabel“ zu und drei empfanden das Fahrzeug als

„anstrengend“, „unentspannt“ oder „hektisch“. In der **Erlebnisabstimmung** empfanden dreizehn Personen das Fahrzeug als „souverän“, fünf beschrieben den Antriebscharakter als „Komfort“, ebenso viele als „träge“ bzw. „untermotorisiert“. Jeweils vier Personen sahen in der Abstimmung ein gutes „Stadtauto“, beziehungsweise beschrieben das Fahrzeug als „entspannt“. Ebenfalls vier Personen betonten die entspannende Wirkung der Applikation, indem sie diese als „gemütlich“ oder „ausgeglichen“ beschrieben, beziehungsweise das Fahrgefühl mit einer „Wohlfühloase“ oder einem „Segelflieger“ verglichen.

Danach wurde abgefragt, welche **Fahrzeugeigenschaften zu einem möglichen entspannten Fahrgefühl beigetragen** haben. Auf Seiten der **Baselinefahrt** nannten neun Probanden das „geräuschlose Fahren“, ebenso viele die „Gleichmäßigkeit“ des Fahrens „ohne Schaltungen“ und „Wippbewegungen“. Fünf Probanden empfanden das „spontane Ansprechen“ als entspannend, ebenso viele nannten den „Durchzug“ oder das „Rekuperation[sniveau]“. Drei Personen beschrieben das Fahrpedal als „gut dosierbar“ und ebenso viele das Lastwechselverhalten als „weich“. Nach der **Erlebnissfahrt** benannte eine deutliche Mehrheit von zwanzig Probanden, dass das Rekuperationsniveau zum entspannten Fahrgefühl maßgeblich beigetragen habe. Dieses wurde als „angenehm“, „passend“, „sanft“, „Segelgefühl“, „genau treffend“ und „perfekt“ beschrieben; außerdem lasse sich das Rekuperationsniveau „super einstellen“. Dreizehn Personen empfinden das „Ansprechverhalten“, beziehungsweise den „flachen Gradient“, „den weichen Übergang ins Beschleunigen“ sowie das Lastwechselverhalten“ als besonders entspannend. Elf Personen benennen die Eigenschaft des Fahrzeugs, dass es „nicht mehr so sehr am Gas hängt“ und „das Fahrpedal nicht zu direkt“ sei, als entspannend. Neun Personen äußerten die „Ruhe“, „kein Sound“, „wenig akustische Einflüsse“. Sieben Personen empfanden die Applikation als „gut beherrschbar“ oder „gut dosierbar“. Dazu passt die Äußerung von weiteren drei Probanden, die das Beschleunigungsvermögen als „entschärft“ oder „sanft“ einschätzen und angaben, dass „man nicht so sensibel mit dem Gasfuß sein muss“.

Die dritte Interviewfrage lautete: **Haben Sie etwas vermisst, das zum entspannten Fahren notwendig gewesen wäre?** Während der **Baselinefahrt** wünschten sich zehn Fahrer „weniger Rekuperationsniveau“, fünf eine „bessere Dämpfung beim Beschleunigen“ und drei ein „flacheres“ oder „besser dosierbares Fahrpedal“. Nach der **Erlebnissfahrt** wünschten sich vier Personen ein höheres „Rekuperationsniveau“ und drei Personen, dass der „[Beschleunigungs-]Gradient ein bisschen steiler“ sei.

Der **zweite große Interviewblock** beschäftigte sich mit der Fragestellung, welche der **längsdynamischen Änderungen der Erlebnissfahrt im Vergleich zur Baselinefahrt von den Probanden aufgelöst werden konnten**. Hierfür wurde ein Vorgehen gewählt, das vom Groben ins Feine immer genauer nachgefragt, welche Änderungen wahrgenommen wurden. So wurde zunächst recht allgemein nach Änderungen im Beschleunigungsverhalten gefragt. Je nach den Antworten der Probanden wurde dann immer weiter ins Detail gefragt, zum Beispiel ob sich die maximale Beschleunigung verändert habe oder ob der Beschleunigungsaufbau anders war. So äußerten sich jeweils sieben Probanden, dass „das Fahrpedal nicht so direkt oder flacher“ sei, als sie auf Änderungen im Beschleunigungsverhalten angesprochen wurden. Ebenso viele empfanden die „Übergänge gedämpfter“ beziehungsweise „weniger hektisch“, sechs Fahrer glaubten „weniger Beschleunigung“ oder eine „trägere Beschleunigung“ zu

empfinden. Die Mehrheit von siebzehn Personen erlebten die Rekuperation als „weniger stark“. Davon konnten weitere sechs Probanden die Rekuperation in unterschiedlichen Geschwindigkeiten charakterisieren und beschrieben sie als „segeln bei hohen Geschwindigkeiten und moderat [ansteigend] bei niedrigen Geschwindigkeiten“. Die Mehrheit von zwanzig Probanden hat Motorsound nicht vermisst.

Auswertung der teilstrukturierten Interviews nach den Fahrten mit dynamisch-agiler Intention

Nachfolgend werden die Ergebnisse zu denselben Fragen bei den Fahrten mit dynamisch-agiler Intention besprochen. Bei der **Baselinefahrt** empfanden siebzehn Probanden den **Antriebscharakter** als „dynamisch“, jeweils drei Probanden nannten ihn „sportlich“ beziehungsweise „Stadtfahrzeug“. Drei Personen nannten Attribute wie „jung, hipp, agil“. Auf Seiten der **Erlebnissfahrt** wurde sechszehn Mal ein „dynamischer“ Antriebscharakter erlebt, sowie acht Mal das Fahrzeug als „sportlich“ charakterisiert. Fünf Personen bezeichneten das Fahrzeug als „Stadtfliker“, drei als „E-Roadster“ und ebenso viele als „souverän“. Weitere zusammenhängende Einzeläußerungen waren „laut“, „jung“, „stimulierend“, „agil, flink, schnell“, „Spaß haben“, „knackig“, „Raumschiff“.

Auf die Frage, welche **Fahrzeugeigenschaften zum agilen Fahrgefühl beitragen**, nannten bei der **Baselinefahrt** die Mehrheit von achtzehn Personen das „direkte Ansprechen“. Dreizehn Probanden nannten die hohe „maximale Beschleunigung unter 80 km/h“, acht Personen die „[steile] Fahrpedalprogression“, sechs die „starke Rekuperation“ und vier empfanden den „Lastwechsel“, beziehungsweise die „direkte Anbindung“ als agil. Bei der **Erlebnissfahrt** nannten zwei Drittel der Probanden, nämlich 24 Personen, den applizierten „Motorsound“ agil, weitere dreizehn nannten das „direkte Fahrpedal“, beziehungsweise das „direkte Ansprechverhalten“ als agil. Sieben Probanden nannten den „harten“, „direkten“, „sportlichen“ Lastwechsel. Weitere vier Probanden bezeichneten das Fahrzeug als „gierig, direkt, agil“ und „durchzugsstark“.

Gefragt nach Eigenschaften, die die Probanden beim **agilen Fahren vermisst** haben, gaben bei der **Baselinefahrt** dreizehn Personen an, „Motorsound“ vermisst zu haben. Fünf Probanden wünschten sich „mehr Agilität unter 30 km/h“. Drei Personen empfanden das Beschleunigungsvermögen von „80 bis 120 km/h zu träge“. Auf Seiten der **Erlebnissfahrt** wünschten sich sechs Probanden ebenfalls „mehr Beschleunigung von 80 – 120 km/h“.

Auch bei der dynamisch-agilen Erlebnissfahrt wurden die Probanden gefragt, welche **Änderungen** unabhängig vom applizierten Motorsound sie **längsdynamisch im Vergleich zur Baselinefahrt** wahrgenommen haben. Dabei gaben fünf Probanden an, dass das „Ansprechverhalten direkter“ sei und machten dies teilweise auch an einem „Ruck“ nach Fahrpedaleingabe fest. Vier Personen glaubten, dass bei der Baselinefahrt ein „bisschen bessere Beschleunigung“ gewesen sei. Drei Personen glaubten jedoch, dass die Beschleunigung bei der Erlebnissfahrt besser gewesen sei. Ebenso viele empfanden einen „Ruck beim Anfahren“ im Vergleich zur Baselinefahrt. Die Rekuperation wurde von sechs Probanden als „stärker“ oder „intensiver“ beschrieben und drei Personen empfanden, dass sich das Rekuerationsniveau schneller aufbaue. Ebenfalls drei Probanden glauben, dass die Rekuperation „schwächer“ sei.

Ergebnisse des Fragebogens zum Vergleich der einzelnen Applikationen

Nach den beiden Fahrten mit bestimmter Intention, wurde ein Fragebogen zum Vergleich der gefahrenen Applikationen beantwortet. Einen Überblick über die Ergebnisse geben die Abbildung 10-6 und Abbildung 10-7. Bei den Fahrten mit **entspannter Intention** wird die Baseline-Abstimmung als dynamischer, agiler, höher in der Maximalbeschleunigung, aber auch beanspruchender empfunden. Die Erlebnisfahrt wird hingegen als energieeffizienter, passender beim Rekuperieren, entspannender und komfortabler beschrieben. Die Bewertungen der „passenderen Reaktion auf das Fahrpedal“ und der Kontrollierbarkeit liegen so nahe am Mittelpunkt, dass keine Aussage über die Tendenz gemacht werden kann. Auf Seite der beiden Fahrten mit **dynamischer Intention** zeigen sich ebenfalls teils deutliche Unterschiede. So wird die dynamische Baseline-Fahrt als komfortabler, höher in der Maximalbeschleunigung und energieeffizienter beschrieben. Die dynamische Erlebnisfahrt wird hingegen als innovativer, beanspruchender, agiler und dynamischer beschrieben. Keine Aussagen sind über die Entspannung, Kontrollierbarkeit und das passendere Rekuperieren möglich, da diese Bewertungen nah am Mittelwert liegen.

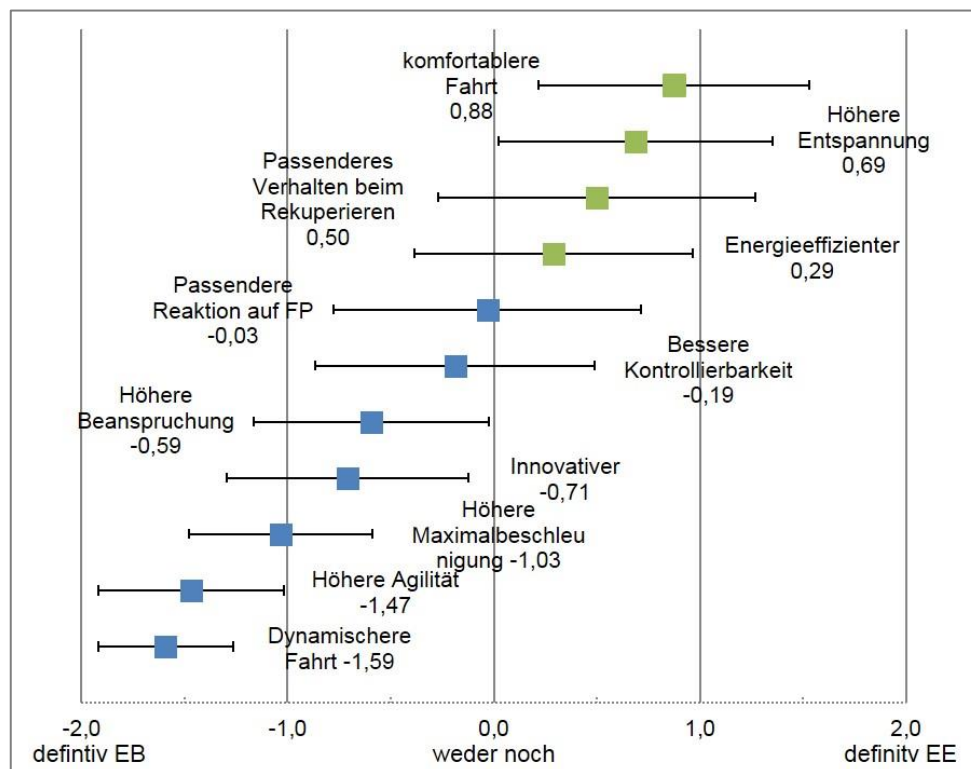


Abbildung 10-6: Visualisierung der Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Items des Vergleichsfragebogens für die Fahrten mit komfortorientierter Intention; (N=32); EB...Entspannte Baseline, EE...Entspannte Erlebnisfahrt

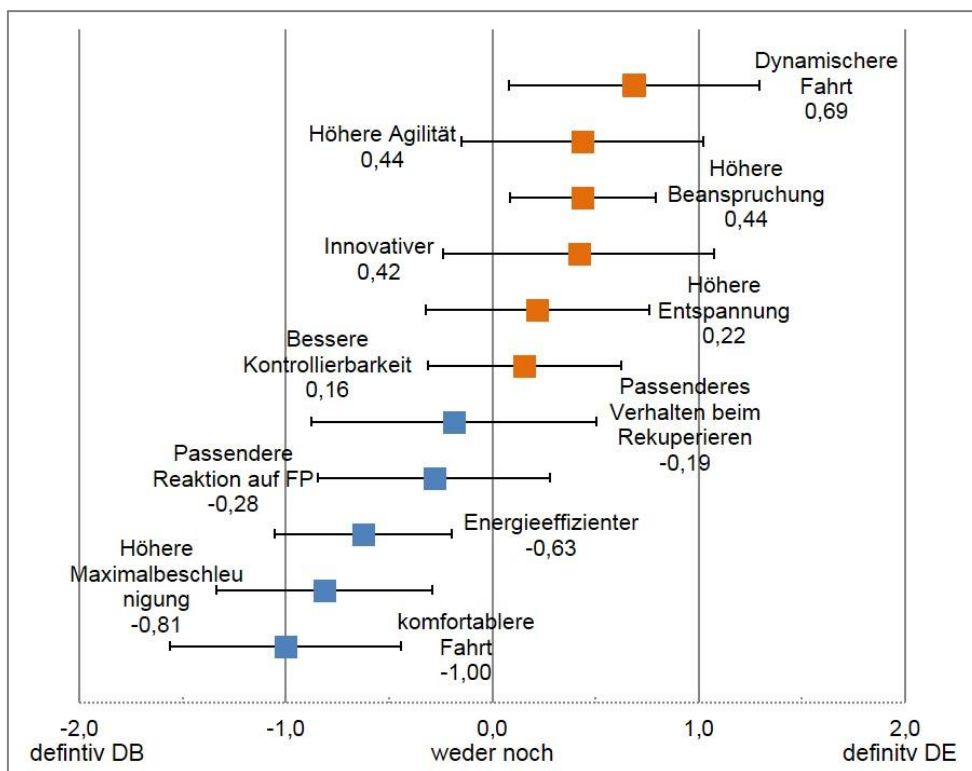


Abbildung 10-7: Visualisierung der Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Items des Vergleichsfragebogens für die Fahrten mit dynamisch-agiler Intention; (N=32); DB...Dynamische Baseline, DE...Dynamische Erlebnisfahrt

10.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Zeitgenössische Darstellung eines Künstlers zur Präsentation des Trouvé Tricycle in Paris aus dem Jahr 1881; Die Grafik wurde ursprünglich in Clerc (1881-1883) gezeigt und aus Desmond und Devitt (2015) übernommen 1

Abbildung 1-2: Somatosensorisches Feedback von Emotionen im Körper (die Skala rechts beschreibt die subjektive Höhe der selbsteingeschätzten Aktivität im Körper); Grafik entnommen aus Nummenmaa, Glerean, Hari und Hietanen (2013) 4

Abbildung 1-3: Benz 200 PS „Blitzenbenz“ (links) von 1909 und die Statue der Nike von Samothrake (rechts). Abbildung des Rennwagens von Mercedes-Benz Classic (2015), Abbildung der Statue von Uni Köln (2016)..... 5

Abbildung 1-4: Struktur der Arbeit..... 7

Abbildung 2-1: Blockschaltbild zum Elektroantrieb eines Batterie-Elektrofahrzeugs in Anlehnung an Reupold (2014, S. 7) und Bauer (1999, S. 576) 11

Abbildung 2-2: Schematische Darstellung des Vestibularorgans gemäß Schmidt (2001) 17

Abbildung 2-3: Beschleunigungsdektektion im Vestibularorgan; leicht abgewandelt aus Schmidt (2001)..... 17

Abbildung 2-4: Phasen einer Vollastbeschleunigung beim Verbrennungsmotor; volle Fahrpedaleingabe bei 1s; entnommen und abgewandelt aus Müller et al. (2013)	19
Abbildung 2-5: Phasen einer Vollastbeschleunigung beim Elektrofahrzeug; volle Fahrpedaleingabe bei 1s; eigene Vermessung eines Elektrofahrzeugs	19
Abbildung 2-6: Aufbau des menschlichen Gehörs; Grafik entnommen aus Goldstein und Ritter (1997).....	21
Abbildung 2-7: Illustration zur Schallübertragung; entnommen und leicht abgewandelt aus Schmidt (2001)	22
Abbildung 2-8: Zusammenhang zwischen positiver / negativer Aktivierung und Valenz / Anregung. Eigene Darstellung in Anlehnung an Coan und Allen (2007) und Krohne und Hock (2007)	27
Abbildung 2-9: Die Reversal Theorie nach Apter. Eigene Übersetzung. Grafik angepasst übernommen aus Apter (1989)	28
Abbildung 2-10: Verschiedene Ansätze in der Emotionsforschung; eigene Darstellung nach LeDoux (1998)	29
Abbildung 2-11: Kognitive Abläufe bei der Entstehung von Emotionen; Eigene Darstellung nach Plutchik (1980)	30
Abbildung 3-1: Hauptdimensionen des Fahrerlebens als Empfinden von Raum und Zeit; entnommen aus Dick (2001)	36
Abbildung 3-2: Modellvorstellung zu „Joy and Convinience in Activities“ entnommen aus Engelbrecht et al. (2009).....	36
Abbildung 3-3: Modellvorstellung zum Erleben der Fahrzeuglängsführung; entnommen aus Eberl (2014)	37
Abbildung 3-4: Zuordnung von Forschungsfragen zu den einzelnen Kapiteln der Arbeit	45
Abbildung 4-1: Beispiele zu den Erlebniskarten	48
Abbildung 4-2: Schematische Darstellung der Ergebnisse der MDS-Modellierung der Gesamtstichprobe mit Clusterzugehörigkeit; (N=30); Clusterbenennung im Uhrzeigersinn, Abgrenzung der Clusterstruktur durch gestrichelte Linien	52
Abbildung 4-3: Ableitung der Erlebnisachsen „Aktivierung“ (Anregung ... Entspannung) und „menschliches Umfeld“ (Ego ... Gesellschaft) der MDS-Konfiguration; (N=30)	52
Abbildung 4-4: Fahrer-Fahrzeug Regelkreis nach Bubb (2001); IA...Informationsaufnahme; IV... Informationsverarbeitung, IU...Informationsumsetzung	63
Abbildung 4-5: Kognitive Abläufe bei der Entstehung von Emotionen nach Plutchik (1980) in eigener Darstellung und Erweiterung um den sensomotorischen Aspekt	63
Abbildung 5-1: Beschleunigungsvermögen der Versuchsfahrzeuge unter Vollast; Die blaue Linie kennzeichnet den Tesla Roadster S mit Einganggetriebe und die roten Linien die acht einzelnen Gänge des E92 Coupé	69

Abbildung 5-2: Reaktion der Versuchsfahrzeuge nach voller Fahrpedaleingabe (bei 1,0 sec) aus Konstantfahrt mit 20 km/h (2. Gang im Verbrenner) 70

Abbildung 5-3: Beschleunigungsvermögen der beiden Versuchsfahrzeuge des Vergleichs aus dem Stand bis 100 km/h; Beim 120iA sind die zunächst die Wandlerüberhöhung und dann später zwei Schaltungen zu sehen 72

Abbildung 5-4: Reaktion der Versuchsfahrzeuge nach voller Fahrpedaleingabe (bei 1sec) aus Konstantfahrt mit 20 km/h (2. Gang im Verbrenner)..... 73

Abbildung 5-5: Beurteilung des Dynamikempfinden der Versuchsfahrzeuge; (N=26) 78

Abbildung 5-6: Beurteilung des Beschleunigungsvermögens der Versuchsfahrzeuge; (N=26) 79

Abbildung 5-7: Beurteilung des Ansprechverhaltens der Versuchsfahrzeuge; (N=26) ... 79

Abbildung 5-8: Auswertung der Valenz nach Fahrmanövern mit Angabe der Standardabweichung; (N=26); Ordinate: 1...sehr / 2...eher –unzufrieden, –unglücklich, –genervt; 3...weder noch; 4...eher / 5...sehr –zufrieden, –glücklich, –erfreut; Signifikanzniveaus: (*) $p < .1$ * $p < .05$ ** $p < .01$ *** $p < .001$ 81

Abbildung 5-9: Auswertung der Anregung in den Fahrmanövern mit Angabe der Standardabweichung; (N=26); (Ordinate: 1...sehr / 2...eher –träge, –nicht angeregt, –entspannt; 3...weder noch; 4...eher / 5...sehr –rasend, –angeregt, –stimuliert) 81

Abbildung 5-10: Auswertung der PANAS-Items; (N=26); (Bedeutungen der Zahlenwerte der Ordinate: 1...gar nicht oder ganz wenig; 2...ein bisschen; 3...einigermaßen; 4...erheblich; 5...äußerst); Signifikanzniveaus: * $p < .05$ ** $p < .01$ *** $p < .001$ 82

Abbildung 5-11: Wunsch nach Motorsound bei dynamischen E-Fahrzeugen; (N=26).... 84

Abbildung 5-12: Beurteilung des Entspannungspotenzials der beiden Fahrzeuge; (N=30) 86

Abbildung 5-13: Beurteilung des Beschleunigungsvermögens der beiden Fahrzeuge; (N=30) 86

Abbildung 5-14: Beurteilung des Ansprechverhaltens der beiden Fahrzeuge; (N=30) ... 86

Abbildung 5-15: Wunsch nach Soundinszenierung in durchschnittlich motorisierten Elektrofahrzeugen; (N=30) 87

Abbildung 5-16: Ergebnisse der Bewertung der Valenz in den verschiedenen Fahrmanövern beider Versuchsfahrzeuge; (N=29); Ordinate: 1...sehr / 2...eher –unzufrieden, –unglücklich, –genervt; 3...weder noch; 4...eher / 5...sehr –zufrieden, –glücklich, –erfreut; Signifikanzniveaus: * $p < .05$ ** $p < .01$ *** $p < .001$ 88

Abbildung 5-17: Ergebnisse der Bewertung der Anregung in den verschiedenen Fahrmanövern der beiden Versuchsfahrzeuge; (N=29); (Ordinate: 1...sehr / 2...eher –träge, –nicht angeregt, –entspannt; 3...weder noch; 4...eher / 5...sehr –rasend, –angeregt, –stimuliert); Signifikanzniveaus: * $p < .05$ ** $p < .01$ *** $p < 0.001$; 88

Abbildung 5-18: Auswertung der PANAS-Items; (N=29); (Bedeutungen der Zahlenwerte der Ordinate: 1...gar nicht oder ganz wenig; 2...ein bisschen; 3...einigermaßen; 4...erheblich; 5...äußerst) Signifikanzniveaus: * p < .05 ** p < .01 *** p < .001	89
Abbildung 5-19: Übersicht über die Bewertungen der verschiedenen Manöver des Vergleichs durchschnittlich und hoch motorisierter Antriebe (N=26-30).....	95
Abbildung 5-20: Übersicht über die Bewertungen der Beschleunigungsmanöver des Vergleichs durchschnittlich und hoch motorisierter Antriebe mit Angabe signifikanter Unterschiede.....	96
Abbildung 5-21: Vergleichende Betrachtung von positiver und negativer Aktivierung der Versuchsfahrzeuge (N=26-30); Achsenbeschriftung: 1...gar nicht oder ganz wenig; 2...ein bisschen; 3...einigermaßen; 4...erheblich; 5...äußerst; Werte von NA als Zahlenwert angegeben.....	97
Abbildung 6-1: Leistungsschaubild des Versuchsfahrzeuges aus den offiziellen technischen Daten entnommen (BMW.de, 2011)	100
Abbildung 6-2: Überblick über die neun verschiedenen Verläufe; in den vier Abbildungen ist zur besseren Vergleichbarkeit immer der Verlauf mit 100% Gradient und 100% Maximalbeschleunigung eingezeichnet [$a (100/100)$].....	102
Abbildung 6-3: Deskriptive Auswertung des subjektiven Gefallens mit Angabe der Standardabweichung (N=21); (Ordinate: Ordinate: 1...sehr / 2...eher –unzufrieden, – unglücklich, –genervt; 3...weder noch; 4...eher / 5...sehr –zufrieden, –glücklich, –erfreut); Referenzbeschleunigung (70/70) mit schwarzem Rahmen	104
Abbildung 6-4: Deskriptive Auswertung der auftretenden Anregung mit Angabe der Standardabweichung (N=21); (Ordinate: 1...sehr / 2...eher –träge, –nicht angeregt, – entspannt; 3...weder noch; 4...eher / 5...sehr –rasend, –angeregt, –stimuliert); Referenzbeschleunigung (70/70) mit schwarzem Rahmen	105
Abbildung 6-5: Deskriptive Auswertung der Sportlichkeit mit Angabe der Standardabweichung (N=21); Ordinate: -3...definitiv – / -2...deutlich – / -1...eher –weniger sportlich / 0...gleich sportlich / 1...eher – / 2...deutlich – / 3...definitiv –sportlicher; Referenzbeschleunigung (70/70) mit schwarzem Rahmen	106
Abbildung 6-6: Wechselwirkungsdiagramm der Haupteffekte „Maximalbeschleunigung“ und „Beschleunigungsgradient“ für die untersuchten Faktoren; (N=21).....	107
Abbildung 6-7: Erwarteter Verlauf von Valenz bei steigendem Beschleunigungsgradient und hoher Maximalbeschleunigung.....	109
Abbildung 7-1: Versuchsfahrzeug – Mini E; Grafik heruntergeladen von BMW.de (2014b)	113
Abbildung 7-2: Motormomentverläufe der einzelnen Durchgänge im Versuch	115
Abbildung 7-3: Beschleunigungsverläufe der Durchgänge im Versuch (Fahrpedaleingabe bei 1,0s).....	115

Abbildung 7-4: Emotionen in den einzelnen Durchgängen; (N=26); (Signifikanzniveaus: * p < .05 ** p < .01 *** p < .001); SI...Soundinszenierung; Ordinate – Valenz: 1...sehr / 2...eher –unzufrieden, –unglücklich, –genervt; 3...weder noch; 4...eher / 5...sehr – zufrieden, –glücklich, –erfreut;..... 117

Abbildung 7-5: Anregung in den einzelnen Durchgängen; (N=26); (Signifikanzniveaus: * p < .05 ** p < .01 *** p < .001); SI...Soundinszenierung 118

Abbildung 7-6: Ergebnisse zur Leistungsschätzung der einzelnen Durchgänge; (N=26); Angabe der Mittelwerte aller Probanden mit Signifikanzniveaus; (SI...Soundinszenierung) 119

Abbildung 7-7: Mittelwerte, Standardabweichung und Angabe des Signifikanzniveaus der subjektiv empfundenen Sportlichkeit der einzelnen Durchgänge; (N=27); (Ordinate: - 2...deutlich weniger sportlich; -1...eher weniger sportlich; 0...weder noch; 1...eher sportlicher; 2...deutlich sportlicher)..... 120

Abbildung 7-8: Einschätzung der subjektiv wahrgenommenen Sportlichkeit der Durchgänge; Angabe der Nennungen aller Probanden; (N=27); (SI...Soundinszenierung) 120

Abbildung 8-1: Reaktion des Antriebs in den drei Versuchsausprägungen bei einer Vollastbeschleunigung ab 20 km/h; Fahrpedaleingabe bei 1,0 s; Blaue Linie...Baseline-Abstimmung; Orange Linie...Dynamisch-Agile Abstimmung; Grüne Linie...Komfortorientierte Abstimmung; FPW = Wert des Fahrpedalwinkels. 132

Abbildung 8-2: Reaktion des Antriebs bei der dynamisch-agilen Abstimmung (Orange Linie) und bei der Baseline-Abstimmung (Blaue Linie) auf eine Vollastbeschleunigung vom Stillstand beginnend; FPW = Wert des Fahrpedalwinkels 133

Abbildung 8-3: Rekuperationsverhalten der drei Antriebsabstimmungen über der Zeit. Manöver: Spontanes Loslassen des Fahrpedals nach Konstantfahrt bei 120 km/h. Blaue Linie...Baseline-Abstimmung; Orange Linie...Dynamisch-Agile Abstimmung; Grüne Linie...Komfortorientierte Abstimmung 133

Abbildung 8-4: Schematische Darstellung der Frequenzentwicklung und der Lautstärke der beiden Grundgeräusche (gelbe und rote Linien) über der Fahrzeuggeschwindigkeit 134

Abbildung 8-5: Versuchsablauf und verwendete Methoden 136

Abbildung 8-6: Ergebnisse der Valenzbewertung der Fahrer der einzelnen Manöver der Fahrten mit entspannter Intention mit Angabe der Standardabweichung; (N=32); (Ordinate: 1...hoch negativ; 3...emotionslos; 5...hoch positiv); EB...Entspannte Baseline; EE...Entspannte Erlebnisabstimmung (komfortorientierte Abstimmung)..... 139

Abbildung 8-7: Ergebnisse der Bewertung der Anregung der Fahrer in den einzelnen Manövern der Fahrten mit entspannter Intention mit Angabe der Standardabweichung; (N=32); Ordinate: 1...sehr beruhigend; 3...weder beruhigend noch anregend; 5...sehr anregend; EB...Entspannte Baseline; EE...Entspannte Erlebnisabstimmung (komfortorientierte Abstimmung)..... 140

Abbildung 8-8: Ergebnisse der Valenzbewertung der Fahrer der einzelnen Manöver der Fahrten mit angeregter Intention mit Angabe der Standardabweichung; (N=32); Ordinate: 1...hoch negativ; 3...emotionslos; 5...hoch positiv; DB...Dynamische Baseline; DE...Dynamische Erlebnisabstimmung (dynamisch-agile Abstimmung)	140
Abbildung 8-9: Ergebnisse der Bewertung der Anregung der Fahrer in den einzelnen Manövern der Fahrten mit angeregter Intention mit Angabe der Standardabweichung; (N=32); Ordinate: 1...sehr beruhigend; 3...weder beruhigend noch anregend; 5...sehr anregend DB...Dynamische Baseline; DE...Dynamische Erlebnisabstimmung (dynamisch-agile Abstimmung)	141
Abbildung 8-10: Ergebnisse der PANAS Bewertung der einzelnen Fahrten (PA: Positive Aktivierung; NA: Negative Aktivierung); (N=32); (Ordinate: 1...ganz wenig oder gar nicht; 3...einigermaßen; 5...äußerst); Ex_...Entspannt, Dx_...Dynamisch, xB_...Baseline, xE_...Erlebnisfahrt mit jeweiliger Intention	141
Abbildung 9-1: Struktur der übergreifenden Diskussion.....	151
Abbildung 9-2: Empfehlungen zur Gestaltung der Längsdynamik von elektrifizierten Fahrzeugen anhand der gefundenen Antriebscharaktere am Beispiel eines schematischen Volllast-Beschleunigungsvorgangs	157
Abbildung 9-3: Erweitertes Emotionsmodell nach Plutchik (1980).....	160
Abbildung 10-1: Beiträge zum dynamischen Antrieb bei Elektrofahrzeugen (Ordinate: 1...kein Beitrag zu einem sportlichen Antrieb bis 5...sehr starker Beitrag zu einem sportlichen Antrieb); (N=26)	163
Abbildung 10-2: Beiträge zum dynamischen Antrieb bei konventionellen Antrieben (Ordinate: 1...kein Beitrag zu einem sportlichen Antrieb bis 5...sehr starker Beitrag zu einem sportlichen Antrieb); (N=26).....	163
Abbildung 10-3: Erinnernte Erlebnisse der Fahrt mit dem Tesla Roadster S; (N=24); Zahlen in Klammern geben Anzahl der Nennungen des jeweiligen Oberbegriffs an.	166
Abbildung 10-4: Erinnernte Erlebnisse der Fahrt mit dem BMW E92 Sport; (N=24); Zahlen in Klammern geben Anzahl der Nennungen des jeweiligen Oberbegriffs an	166
Abbildung 10-5: Beiträge zum komfortablen Antrieb; (N=30); (Ordinate: 1...trägt gar nicht; 2...trägt kaum; 3...weder noch; 4...trägt eher; 5...trägt sehr zu einem komfortablen Antrieb bei); (N=30).....	167
Abbildung 10-6: Visualisierung der Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Items des Vergleichsfragebogens für die Fahrten mit komfortorientierter Intention; (N=32); EB...Entspannte Baseline, EE...Entspannte Erlebnisfahrt	177
Abbildung 10-7: Visualisierung der Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Items des Vergleichsfragebogens für die Fahrten mit dynamisch-agiler Intention; (N=32); DB...Dynamische Baseline, DE...Dynamische Erlebnisfahrt	178

10.3. Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Beispiel zur Entstehung von Emotionen unter Beteiligung kognitiver Abläufe nach Plutchik (1980).....	32
Tabelle 4-1: Ergebnisse der Rangreihenfolge von Erlebnissen in allen drei Stichproben; Mittelwerte der Bewertung in Klammern.	54
Tabelle 4-2: Werte der PANAS-Skalen für Fahrerlebnisse; Stichprobengröße = 30; farbliche Codierung gemäß besonders niedriger oder hoher Bewertungen	55
Tabelle 4-3: Vergleichende Beschreibung der Motorgeräusche, welche im Rahmen der Arbeit im Innenraum der Versuchsfahrzeuge wahrnehmbar sind.....	61
Tabelle 5-1: Vergleich eines komfortablen und eines sportlichen Fahrzeugs; Bilder und technische Daten entstammen der Homepage von BMW.de (2015).....	66
Tabelle 5-2: Antriebsrelevante Daten der beiden Versuchsfahrzeuge	68
Tabelle 5-3: Antriebsrelevante Daten der beiden Versuchsfahrzeuge für den Vergleich durchschnittlich motorisierter Antriebe; Die Daten entstammen den offiziellen technischen Daten	72
Tabelle 5-4: Erhebung der Valenz und Anregung anhand des semantischen Differenzials von Hamm und Vaitl (1993).....	74
Tabelle 5-5: Ergebnisse der Diskriminanzanalyse; (N=26)	83
Tabelle 5-6: Subjektive Äußerungen zu den Manövern der Fahrten mit hochmotorisiertem Antrieb (Anzahl der Nennungen in Klammern).....	84
Tabelle 5-7: Subjektive Äußerungen zu den Manövern der Fahrten mit durchschnittlich motorisiertem Antrieb (Anzahl der Nennungen in Klammern)	89
Tabelle 6-1: Leistungsdaten des Versuchsfahrzeuges, den offiziellen technischen Daten entnommen (BMW Group, 2011).....	101
Tabelle 6-2: Messwerte zu den variierten Größen	101
Tabelle 6-3: Ergebnis der zweifaktoriellen Varianzanalyse zur Untersuchung der Valenz der beiden Haupteffekte (N=21)	104
Tabelle 6-4: Ergebnis der zweifaktoriellen Varianzanalyse zur Untersuchung der Anregung der beiden Haupteffekte (N=21)	105
Tabelle 6-5: Ergebnis der zweifaktoriellen Varianzanalyse zur Untersuchung der Sportlichkeit der beiden Haupteffekte (N=21)	106
Tabelle 7-1: Technische Daten des Mini E nach BMW.de (2014b)	113
Tabelle 7-2: Kurzbeschreibung der im Versuch verwendeten Innenraumgeräusche....	114
Tabelle 7-3: Versuchsplan mit Darstellung der sechs möglichen Durchgänge (D1-D6)	115
Tabelle 7-4: Standardabweichungen (SD) in den Durchgängen; (N=27); (SI...Soundinszenierung)	119

Tabelle 7-5: Ergebnisse der Diskriminanzanalyse mit Gruppen mit und ohne Wunsch nach einem eigenen charakteristischen Geräusch; (N=27).....	121
Tabelle 7-6: Ergebnisse der Diskriminanzanalyse mit Gruppen, die sich mit und ohne Soundinszenierung wohler fühlen; (N=27)	121
Tabelle 8-1: Story zu den Fahrten mit entspannter Intention	128
Tabelle 8-2: Story zur Fahrt mit angeregter Intention	129
Tabelle 8-3: Längsdynamische Veränderungen am Versuchsfahrzeug der einzelnen Abstimmungen (die farbliche Codierung spiegelt sich in den folgenden drei Abbildungen zum Beschleunigungsverhalten wider).....	131
Tabelle 8-4: Überblick über die Manöver der verschiedenen Fahrten (Kurzbeschreibung für nachfolgende Diagramme in Klammern)	137
Tabelle 8-5: Subjektive Äußerungen zu den Manövern der Fahrten mit entspannter Intention; ähnliche Manöverbewertungen wurden zusammengefasst betrachtet (Anzahl der Nennungen in Klammern)	143
Tabelle 8-6: Subjektive Äußerungen zu den Manövern der Fahrten mit angeregter Intention; ähnliche Manöverbewertungen wurden zusammengefasst betrachtet (Anzahl der Nennungen in Klammern)	144
Tabelle 10-1: Kurzübersicht zu signifikanten Unterschieden und Tendenzen in den Fahrmanövern; (N=26); (Sterne bzw. Zahlen in den Zellen geben das Signifikanzniveau an, die farbliche Codierung zeigt den höheren Mittelwert an – eine blaue Zelle bedeutet, dass der Tesla einen höheren Mittelwert hat – eine rote Zelle bedeutet, dass das E 92 Coupé einen höheren Mittelwert hat)	164
Tabelle 10-2: Kurzübersicht zu signifikanten Unterschieden und Tendenzen in den Fahrmanövern; (N=29); (Sterne bzw. Zahlen in den Zellen geben das Signifikanzniveau an, die farbliche Codierung zeigt den höheren Mittelwert an – eine graue Zelle bedeutet, dass das BMW E82 120iA Coupé einen höheren Mittelwert hat – eine hellgraue Zelle bedeutet, dass der BMW ActiveE einen höheren Mittelwert hat)	167
Tabelle 10-3: Kurzübersicht zu signifikanten Unterschieden und Tendenzen in den Fahrmanövern; (N=32); (Sterne bzw. Zahlen in den Zellen geben das Signifikanzniveau an, die farbliche Codierung zeigt den höheren Mittelwert an – eine grüne Zelle bedeutet, dass bei der Erlebnisabstimmung einen höheren Mittelwert erzielt wurde – eine blaue Zelle bedeutet, dass bei der Baselinefahrt ein höherer Mittelwert erzielt wurde; eine graue Zeile deutet an, dass es keine signifikanten Unterschiede in der Bewertung gab)	170
Tabelle 10-4: Kurzübersicht zu signifikanten Unterschieden und Tendenzen in den Fahrmanövern; (N=32); (Sterne bzw. Zahlen in den Zellen geben das Signifikanzniveau an, die farbliche Codierung zeigt den höheren Mittelwert an – eine orange Zelle bedeutet, dass bei der Erlebnisabstimmung einen höheren Mittelwert erzielt wurde – eine blaue Zelle bedeutet, dass bei der Baselinefahrt einen höheren Mittelwert erzielt wurde; eine graue Zeile deutet an, dass es keine signifikanten Unterschiede in der Bewertung gab)	170

ANHANG

Tabelle 10-5: Signifikante Unterschiede und Tendenzen in der Gruppe mit und ohne Kenntnisse im Fahrverhalten von E-Fahrzeugen; (N=32)	170
Tabelle 10-6: Signifikante Unterschiede und Tendenzen in den Gruppen zum übergeordneten selbsteingeschätzten Fahrstil; (N=32).....	171
Tabelle 10-7: Signifikante Unterschiede und Tendenzen, die auf Reihenfolgeeffekte der	

11. Literaturverzeichnis

- Altinsoy, E. (2011). The Role of Expectation on the Judgment of Vehicle Sound Quality. In Danish Acoustical Society (Hrsg.), *Proceedings of Forum Acusticum 2011, 27 June-01 July, Aalborg, Denmark*. European Acoustics Association, 2011. Verfügbar unter http://www.ias.et.tu-dresden.de/ias/fileadmin/user_upload/akustik/Forschung/altinsoy_neu/05_The_Role_of_Expectation.pdf
- Altinsoy, E. (2012a). Audiotaktile Interaktion bei der Sportlichkeitswahrnehmung des Fahrzeugs. In H. Hanselka (Hrsg.), *Fortschritte der Akustik DAGA* (Bd. 2012).
- Altinsoy, E. (2012b). The Semantic Space of Vehicle Sounds: Developing a Semantic Differential with Regard to Customer Perception. *Journal of the Audio Engineering Society*, 2012 (Vol. 60, No 1/2), 13–20. Zugriff am 03.01.2014. Verfügbar unter http://www.ias.et.tu-dresden.de/ias/fileadmin/user_upload/akustik/Forschung/altinsoy_neu/18_JAES_Semantic_Space_Vehicle_Sounds_Final_Version_web.pdf
- Apter, M. J. (1989). Reversal theory: A new approach to motivation, emotion and personality. *Anuario de Psicología*, 42 (3), 17–29.
- Apter, M. J. (2001). An introduction to reversal theory. In M. J. Apter (Hrsg.), *Motivational styles in everyday life: A guide to reversal theory* (S. 3–35). Washington, DC, US: American Psychological Association.
- AVL. (2014) CONCERTO [Computer software]: AVL. Verfügbar unter <https://www.avl.com/concerto>
- Backhaus, K. (2011). *Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung* (Springer-Lehrbuch, 13., überarb. Aufl). Berlin [u.a.]: Springer.
- Bargh, J. A., Chen, M. & Burrows, L. (1996). Automaticity of social behavior: Direct effects of trait construct and stereotype activation on action. *Journal of Personality and Social Psychology*, 71 (2), 230–244.
- Basshuysen, R. & Schäfer, F. (Hrsg.). (2014). *Handbuch Verbrennungsmotor. Grundlagen, Komponenten, Systeme, Perspektiven* (ATZ/MTZ-Fachbuch, 7., vollst. überarb. u. erw. Aufl. 2014). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- Bauer, H. (1999). *Kraftfahrtechnisches Taschenbuch* (Kraftfahrtechnisches Taschenbuch, Aufl. 23, 23., aktualisierte und erw. Aufl.). Braunschweig [u.a.]: Vieweg.
- Becker, J. (2010, 13. Dezember). Geschichte der Elektroautos. Lange Leitung. *Süddeutsche Zeitung*. Verfügbar unter <http://www.sueddeutsche.de/auto/geschichte-der-elektroautos-lange-leitung-1.1034697>
- BMUB. (2010). *Bis 2020 eine Million Elektroautos von deutschen Herstellern*, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Stuttgart. Verfügbar unter www.bmub.bund.de/N45888/

LITERATURVERZEICHNIS

- BMW Group. (2011). *Die BMW 3er Limousine*, BMW Group. Verfügbar unter <http://www.bmw.de/de/neufahrzeuge/3er/limousine/2011/fakten.html#katalog>
- BMW.de. (2011). *BMW TwinPower Turbo Reihen-6-Zylinder Benzinmotor*, BMW Group. Verfügbar unter <http://www.bmw.de/de/neufahrzeuge/3er/limousine/2011/motoren.html>
- BMW.de. (2014a). *Der BMW i3*. Zugriff am 31.05.2014. Verfügbar unter <https://www.bmw.de/de/neufahrzeuge/bmw-i/i3/2013/bilder-videos.html>
- BMW.de. (2014b). *MiniE. Das Prinzip Minimalism*. Zugriff am 24.05.2014. Verfügbar unter http://www.mini.de/minimalism/product/mini_e/index.html
- BMW.de (BMW Group, Hrsg.). (2015). *Der neue BMW 7er / Das BMW M4 Coupé*. Zugriff am 27.07.2015. Verfügbar unter <http://www.bmw.de/de/neufahrzeuge/7er/limousine/2015/auf-einen-blick.html> / <http://www.bmw.de/de/neufahrzeuge/M/m4coupe/2014/start.html>
- Borg, I. (2000). Explorative Multidimensionale Skalierung. *OSTERREICHISCHE ZEITSCHRIFT FÜR SOZIOLOGIE*, 25 (4), 42–62.
- Borg, I., Groenen, P. & Mair, P. (2010). *Multidimensionale Skalierung* (Sozialwissenschaftliche Forschungsmethoden, Bd. 1, 1. Aufl.). München: Hampp.
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik. Für Human- und Sozialwissenschaftler : mit 163 Tabellen* (7., vollst. überarb. und erw. Aufl.). Berlin: Springer.
- Bosch, C., Schiel, S. & Winder, T. (2006). *Emotionen im Marketing. Verstehen -- Messen -- Nutzen* (Gabler Edition Wissenschaft). Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden.
- Bradley, M. M. & Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: the self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of behavior therapy and experimental psychiatry*, 25 (1), 49–59.
- Bubb, H. (1977). Analyse der Geschwindigkeitswahrnehmung im Kraftfahrzeug. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* (31).
- Bubb, H. (2001). Haptik im Kraftfahrzeug. In *Jürgensohn, Timpe (Hg.) 2001 – Kraftfahrzeugführung* (S. 155–175).
- Bubb, H., Bengler, K., Grünen, R. E. & Vollrath, M. (2015). *Automobilergonomie* (SpringerLink : Bücher). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Buchert, M. & Dittrich, S. (2011). *Ressourceneffizienz und ressourcenpolitische Aspekte des Systems Elektromobilität* (Arbeitspaket 7 des Forschungsvorhabens OPTUM: Optimierung) (S. 665–677). Zugriff am 09.04.2015. Verfügbar unter http://www.vivis.de/phocadownload/2012_rur/2012_RuR_665_678_Buchert.pdf
- Cannon, W. B. (1927). *The James-Lange theory of emotions. A critical examination and an alternative theory*. Ithaca, N.Y: American journal of psychology.
- Clerc, A. (1881-1883). *Physique et chimie populaires. T. 2 / par Alexis Clerc* (3 Bände). Zugriff am 01.01.2016. Verfügbar unter <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k2027516>

- Coan, J. A. & Allen, J. J. B. (2007). *Handbook of emotion elicitation and assessment* (Series in affective science). Oxford: Oxford University Press.
- Cocron, P., Bühler, F., Franke, T., Neumann, I. & Krems, J. F. (Hrsg.). (2011). *The silence of electric vehicles—blessing or curse*.
- Currie, G. (1995). *Image and mind. Film, philosophy and cognitive science*. Cambridge [England]: Cambridge University Press.
- Cycling74. (2013) Max [Computer software]: Cycling74. Verfügbar unter <http://cycling74.com/products/max/>
- Denjean, S., Velay, J.-L., Kronland-Martinet, R., Roussarie, V., Sciabica, J.-F. & Ystad, S. (2013). Are electric and hybrid vehicles too quiet for drivers? In C. Kirisits (Hrsg.), *Proceedings of the 42nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering*.
- Desmond, K. & Devitt, J. (2015). *Gustave Trouvé. French electrical genius (1839-1902)*.
- Dick, M. (2001). Die Situation des Fahrens: phänomenologische und ökologische Perspektiven der Psychologie.
- Diefenbach, S. & Hassenzahl, M. (2011). *Handbuch zur Fun-ni Toolbox. User Experience Evaluation auf drei Ebenen*, Folkwang. Zugriff am 02.01.2014. Verfügbar unter http://fun-ni.org/wp-content/uploads/Diefenbach+Hassenzahl_2010_HandbuchFun-niToolbox.pdf
- Dieterich, M. (1992). *Handbuch Psychologie und Seelsorge*. Wuppertal: Brockhaus.
- Dietrich, G. & Walter, H. (1972). *Grundbegriffe der psychologischen Fachsprache* (Grundbegriffe der Fachsprachen, 2. Aufl). München.
- DIN, 45 631 (1991). *Berechnung des Lautstärkepegels aus dem Geräuschspektrum; Verfahren nach E. Zwicker*. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN, 45692 (2009). *Messtechnische Simulation der Hörempfindung Schärfe*. Berlin: Beuth Verlag.
- Dorsch, F., Häcker, H., Stapf, H.-H. & Ries, H. (1987). *Psychologisches Wörterbuch* (11., erg. Aufl.). Bern: H. Huber.
- Dorsch, Wirtz et al. (2014). Valenz. In F. Dorsch, M. A. Wirtz & J. Strohmmer (Hrsg.), *Dorsch - Lexikon der Psychologie* (17., vollst. überarb. Aufl, Bd. 17, S. 1609). Bern: Huber.
- Eberl, T. (2014). *Charakterisierung und Gestaltung des Fahr-Erlebens der Längsführung von Elektrofahrzeugen*. Dissertation, Technische Universität München. München.
- Eckoldt, K. & Schulz, B. (2009). Das Auto als Musikinstrument: gemeinsames Trommeln als positives Erlebnis. *i-com*, 8 (1), 83–85.
- Eichinger, A. & Pellkofer, J. (2012). Entwicklung eines Konzepts zur Modellierung der Präferenzen von Motorgeräuschen auf Grundlage von affektiven Polaritätsprofilen. In *Mensch - Maschine - Interaktion* (VDI-Berichte, Bd. 2179, S. 121–128). Düsseldorf: VDI-Verl.

LITERATURVERZEICHNIS

- Engelbrecht, A., Engeln, A. & Arndt, S. (2009). Unterstützung von Fahrkomfort und Fahrspaß durch Fahrerassistenzsysteme. *Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme. Fortschritt-Berichte VDI Reihe, 22*, 451–456.
- Engeln, A., Engelbrecht, A. & Kieninger, C. (Hrsg.). (2008). *Joy and convenience of driving* (Bd. 31).
- Ertel, S. (1965). Neue soziometrische Perspektiven. *Psychologische Forschung, 28* (4), 329–362.
- ETAS. (2013) INCA-Basisprodukt [Computer software]: ETAS. Verfügbar unter <http://www.etas.com/de/products/inca.php>
- Euler, H. A. & Mandl, H. (2000). *Emotionspsychologie. Ein Handbuch in Schlüsselbegriffen*. Weinheim: Beltz.
- Fastl, H. (1997). The psychoacoustics of sound-quality evaluation. *Acta Acustica united with Acustica, 1997* (83 Nr. 5), 754–764.
- Fastl, H. (Hrsg.). (2006). *Psychoacoustic basis of sound quality evaluation and sound engineering*.
- Fehr, B. & Russell, J. A. (1984). Concept of emotion viewed from a prototype perspective. *Journal of Experimental Psychology: General, 113* (3), 464–486.
- Forlizzi, J. & Battarbee, K. (2004). Understanding experience in interactive systems. In D. Benyon, P. Moody, D. Gruen & I. McAra-McWilliam (Hrsg.), *the 2004 conference* (S. 261).
- Frank, M., Sontacchi, A., Brandl, S. & Höldrich, R. (2014). SOUND DESIGN FOR ELECTRIC CARS: WHAT CAN WE LEARN FROM COMBUSTION ENGINES? *6th Congress of the Alps Adria Acoustics Association, October 16th and 17th 2014, Graz, October 16th and 17th 2014*.
- Franzl, A. (2013, 10. April). *Untersuchung der Auswirkung von Motorengeräusch bei Elektrofahrzeugen auf die Emotionen und das Beschleunigungsempfinden des Fahrers*. Diplomarbeit, Hochschule Zittau/Görlitz, Technische Universität München. Görlitz/München.
- Frenzel, I., Jarass, J., Trommer, S. & Lenz, B. (2015). *Erstnutzer von Elektrofahrzeugen in Deutschland. Nutzerprofile, Anschaffung, Fahrzeugnutzung*. Berlin-Adlershof: Institut für Verkehrsforschung. Zugriff am 25.08.2015. Verfügbar unter http://www.dlr.de/vf/Portaldata/12/Resources/dokumente/projekte/pakt2/Ergebnisbericht_E-Nutzer_2015.pdf
- Fromm, T. (2015, 16. Juni). Sozialfall der Autoindustrie. Elektromobilität. *Süddeutsche Zeitung*. Zugriff am 25.08.2015. Verfügbar unter <http://www.sueddeutsche.de/auto/elektromobilitaet-sozialfall-der-autoindustrie-1.2521778>
- Genuit, K. & Fiebig, A. (2010). Application of automotive driving simulators for sound and vibration research. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 224* (10), 1279–1288.

- Genuit, K. (2010). *Sound-Engineering im Automobilbereich. Methoden zur Messung und Auswertung von Geräuschen und Schwingungen*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Genuit, K. (2013). What will be the influence of e-mobility on soundscape? In Acoustical Society of America (Hrsg.), *ICA 2013 Montreal* (Proceedings of Meetings on Acoustics, S. 040053). ASA.
- Genuit, K. & Fiebig, A. (Hrsg.). (2014). *Sound design of electric vehicles-Challenges and risks* (Bd. 249): Institute of Noise Control Engineering.
- Genuit, K. & Fiebig, A. (2011). Fahrzeugakustik und Sound design im Wandel der Zeit. *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift*, 113 (7-8), 530–535.
- Goldstein, E. B. & Ritter, M. (1997). *Wahrnehmungspsychologie. Eine Einführung* (Spektrum-Lehrbuch). Heidelberg [u.a.]: Spektrum, Akad. Verl.
- Goldstein, E. B., Ritter, M. & Herbst, G. (2002). *Wahrnehmungspsychologie* (Spektrum Lehrbuch, 2. dt. Aufl.). Heidelberg [u.a.]: Spektrum, Akad. Verl.
- Hajek, H., Franzl, A., Hristov, K. & Rolshoven, C. (2013). Das subjektive Erleben von elektrischen Fahrzeugantrieben – Auswahl interessanter Ergebnisse aus verschiedenen Studienin. *Ergonomie aktuell*, 2013, 15–21.
- Hajek, H., Popiv, D., Just, M. & Bengler, K. (2011). Influence of a Multimodal Assistance Supporting Anticipatory Driving on the Driving Behavior and Driver's Acceptance. In M. Kurosu (Hrsg.), *Human centered design. Second international conference, HCD 2011, held as part of HCI International 2011, Orlando, FL, USA, July 9-14, 2011 : proceedings* (LNCS sublibrary. SL 3, Information systems and applications, incl. internet/web, and HCI, Bd. 6776). Heidelberg: Springer.
- Hamilton, S. N. (2003). Traces of the Future: Biotechnology, Science Fiction, and the Media. *Science Fiction Studies*, 2003 (30), 267–282.
- Hamm, A. O. & Vaitl, D. (1993). Emotionsinduktion durch visuelle Reize: Validierung einer Stimulationsmethode auf drei Reaktionsebenen. *Psychologische Rundschau* (44(3)), 143–161.
- Hamm, A. (2006). Psychologie der Emotionen. In H.-O. Karnath & P. Thier (Hrsg.), *Neuropsychologie* (Springer-Lehrbuch, 2., aktualisierte und erw. Aufl.). Heidelberg: Springer.
- Hanselka, H. (Hrsg.). (2012). *Fortschritte der Akustik DAGA* (Bd. 2012).
- Harloff, J. (2005). Multiple Level Weighted Card Sorting. *Methodology: European Journal of Research Methods for the Behavioral and Social Sciences*, 1 (4), 119–128.
- Hassenzahl, M., Burmester, M. & Koller, F. (Usability Professionals, Hrsg.). (2008). *Der User Experience (UX) auf der Spur: Zum Einsatz von www. attrakdiff. de*. Zugriff am 02.01.2014. Verfügbar unter http://attrakdiff.de/files/up08_ux_auf_der_spur.pdf
- Hassenzahl, M. (2010). Experience design: Technology for all the right reasons. *Synthesis Lectures on Human-Centered Informatics*, 3 (1), 1–95.

LITERATURVERZEICHNIS

- Heißing, B., Kudritzki, D., Schindlmaister, R. & Mauter, G. (2000). Menschgerechte Auslegung des dynamischen Verhaltens von Pkw. In H. Bubb (Hrsg.), *Ergonomie und Verkehrssicherheit. GfA-Konferenzbeiträge der Herbstkonferenz 2000, 12.-13. Oktober 2000 an der Technischen Universität München* (S. 1–31). München: Utz.
- Helmbrecht, M., Bengler, K. & Vilimek, R. (2013). Adaptations in Driving Efficiency with Electric Vehicles. In D. Hutchison, T. Kanade, J. Kittler, J. M. Kleinberg, F. Mattern, J. C. Mitchell et al. (Hrsg.), *Human-Computer Interaction. Applications and Services* (Lecture Notes in Computer Science, Bd. 8005, S. 578–585). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Helmbrecht, M., Olaverri-Monreal, C., Bengler, K., Vilimek, R. & Keinath, A. (2014). How Electric Vehicles Affect Driving Behavioral Patterns. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 6 (3), 22–32.
- Hinkle, V. (2008). Card-sorting: what you need to know about analyzing and interpreting card sorting results. *Usability News* (10(2)).
- Hristov, K. (2012). *Autofahren als emotionales Erlebnis. Eine Card-Sorting-Studie*. unveröffentlichte Bachelorarbeit, Ludwig-Maximilians-Universität. München. Verfügbar unter Arbeit mit Sperrvermerk; weiterführende Informationen durch E-mail an: Hermann.Hajek@gmail.com
- IBM. (2012) SPSS [Computer software]: IBM. Verfügbar unter <http://www-01.ibm.com/software/de/analytics/spss/>
- ISO, 532 B (1975). *Acoustics - Method for calculating loudness level*.
- DIN EN, ISO 9241-11 (1998). *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten–Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit; Leitsätze (ISO 9241-11: 1998)*. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN, ISO 9241-210 (2010). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme (ISO 9241-210:2010); Deutsche Fassung FprEN ISO 9241-210:2010*. Berlin: Beuth Verlag.
- IXXAT. (2012) USB-to-CAN V2 [Computer software]: IXXAT. Verfügbar unter http://www.ixxat.de/usb-to-can-v2_de.html
- Izard, C. E. (1971). *The face of emotion* (The Richard M. Elliott memorial award, Bd. 1969). New York NY: Appleton-Century-Crofts.
- James, W. (1890). *The principles of psychology. American Science Series-Advanced Course. In two volumes*. New-York: Henry Holt and Comp.
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow* (1st ed). New York: Farrar, Straus and Giroux.
- Kallianpur, G. & Karandikar, R. L. (1988). *White noise theory of prediction, filtering, and smoothing* (Stochastics monographs, v. 3). New York: Gordon and Breach Science Publishers.

- Kampker, A. (2014). Grundlagen der Elektromobilproduktion. In A. Kampker (Hrsg.), *Elektromobilproduktion* (S. 3–41). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Kerkmann, J., Schulte-Fortkamp, B., Fiebig, A. & Genuit, K. (Hrsg.). (2014). *Acceptance of synthetic driving noises in electric vehicles*.
- King, G. & Krzywinska, T. (2000). *Science fiction cinema. From outerspace to cyberspace* (Short cuts : introduction to film studies, Bd. 03). London: Wallflower.
- Knobel, M. (2013, 28. August). *Experience design in the automotive context*, Ludwig-Maximilians-Universität München. München.
- Knobel, M., Hassenzahl, M., Lamara, M., Sattler, T., Schumann, J., Eckoldt, K. et al. (2012). Clique Trip. In ACM (Hrsg.), *Proceedings of the Designing Interactive Systems Conference* (S. 29–37). New York, NY, USA.
- Knobel, M., Hassenzahl, M., Schumann, J., Lamara, M., Eckoldt, K. & Butz, A. (2013). A trip into the countryside. In W. E. Mackay, S. Brewster & S. Bødker (Hrsg.), *CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (S. 565).
- Kockläuner, G. (2000). *Multivariate Datenanalyse. Am Beispiel des statistischen Programmpakets SPSS* (1. Aufl). Braunschweig: Vieweg.
- König, J. G. (2010). *Die Geschichte des Automobils*: Reclam.
- Krohne, H. W., Egloff, B., Kohlmann, C.-W. & Tausch, A. (1996). Untersuchungen mit einer deutschen Version der "Positive and Negative Affect Schedule" (PANAS). *Diagnostica* (Vol 42(2)), 139–156.
- Krohne, H. W. & Hock, M. (2007). *Psychologische Diagnostik. Grundlagen und Anwendungsfelder* (Kohlhammer Standards Psychologie, 1. Aufl). Stuttgart: Kohlhammer.
- Krüger, H.-P. (2012, Oktober). *Alles im Blick und immer konzentriert? Grundlagen der Wahrnehmung und Aufmerksamkeit im Straßenverkehr*. Presseseminar DVR „Abgelenkt?“, Dipperz. Zugriff am 27.07.2015. Verfügbar unter https://www.dvr.de/download/ps_2012-05-10_krueger.pdf
- Lange, C. (1887). *Über Gemüthsbewegungen. Eine psycho-physiologische Studie*. Leipzig: Thomas.
- Lange, C. (2008, 01. Januar). *Wirkung von Fahrerassistenz auf der Führungsebene in Abhängigkeit der Modalität und des Automatisierungsgrades*. Dissertation, Technische Universität München. Zugriff am 25.08.2015. Verfügbar unter <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn:nbn:de:bvb:91-diss-20071127-633326-1-4>
- Laube, W. (2009). *Sensomotorisches System. Physiologisches Detailwissen für Physiotherapeuten*. Stuttgart: Thieme.
- Law, E. L.-C., Roto, V., Hassenzahl, M., Vermeeren, A. P. & Kort, J. (2009). Understanding, scoping and defining user experience. In D. R. Olsen, R. B. Arthur, K. Hinckley, M. R. Morris, S. Hudson & S. Greenberg (Hrsg.), *the SIGCHI Conference* (S. 719–728).

- LeDoux, J. E. (1996). *The emotional brain. The mysterious underpinnings of emotional life*. New York: Simon & Schuster.
- LeDoux, J. E. (1998). *The emotional brain. The mysterious underpinnings of emotional life* (A Touchstone book, 1st. Touchstone ed.). New York, NY: Simon & Schuster.
- Lee, S. W. S. & Schwarz, N. (2010). Dirty hands and dirty mouths: embodiment of the moral-purity metaphor is specific to the motor modality involved in moral transgression. *Psychological Science*, 21 (10), 1423–1425.
- Lennström, D., Ågren, A. & Nykänen, A. (Hrsg.). (2011). *Sound Quality Evaluation of Electric Cars—Preferences and Influence of the Test Environment*.
- Leszczynski, C. (Hrsg.). (1995). *Lexikon der Psychologie* (Autoris. Sonderausg.).
- Lienkamp, M. (2012). *Elektromobilität. Hype oder Revolution?* (VDI-Buch). Berlin: Springer Vieweg.
- Lienkamp, M. (2014). *STATUS ELEKTROMOBILITÄT 2014*.
- Loehmann, S., Knobel, M., Lamara, M. & Butz, A. (2013). Culturally Independent Gestures for In-Car Interactions. In D. Hutchison, T. Kanade, J. Kittler, J. M. Kleinberg, F. Mattern, J. C. Mitchell et al. (Hrsg.), *Human-Computer Interaction – INTERACT 2013* (Lecture Notes in Computer Science, Bd. 8119, S. 538–545). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Mackinnon, A., Christensen, H., Korten, A. E., Jacomb,, P. A. & Rodgers, B. (1999). A short form of the Positive and Negative Affect Schedule: evaluation of factorial validity and invariance across demographic variables in a community sample. *Personality and Individual Difference* (Volume 27, Issue 3), 405–416.
- Marinetti, F. T. Manifest des Futurismus. *Le Figaro*, S. Titelseite, Spalte 1-3.
- MathWorks. (2012) MATLAB [Computer software]: MathWorks. Verfügbar unter <http://www.mathworks.de/products/matlab/>
- Mees, U. (2006). Zum Forschungsstand der Emotionspsychologie – eine Skizze. In R. Schützeichel (Hrsg.), *Emotionen und Sozialtheorie. Disziplinäre Ansätze* (S. 104–124). Frankfurt am Main u.a: Campus-Verl.
- Mehrabian, A. & Russell, J. A. (1974). *An approach to environmental psychology*. Cambridge: M.I.T. Press.
- Mercedes-Benz Classic (Mercedes-Benz Classic, Hrsg.). (2015). *Benz 200 PS („BlitzenBenz“), 1909 bis 1911*. Verfügbar unter <https://www.mercedes-benz.com/de/mercedes-benz/classic/historie/mercedes-benz-fahrzeuge/>
- Meyer, W.-U., Reisenzein, R. & Schützwohl, A. (2003). *Evolutionspsychologische Emotionstheorien* (Aus dem Programm Huber: Psychologie-Lehrbuch, Bd. 2, 3., korrigierte Aufl.). Bern [u.a.]: Huber.
- Meyer, W.-U., Schützwohl, A. & Reisenzein, R. (1993). *Einführung in die Emotionspsychologie* (Aus dem Programm Huber: Psychologie-Lehrbuch). Bern u.a: Huber.

- Meyer, W.-U., Schützwohl, A. & Reisenzein, R. (2001). *Die Emotionstheorien von Watson, James und Schachter* (Einführung in die Emotionspsychologie / Wulf-Uwe Meyer, Achim Schützwohl, Rainer Reisenzein, Bd. 1, 2., überarb. Aufl.). Bern [etc.]: H. Huber.
- Michailidou, I., Saucke, C. & Lindemann, U. (2013). How to Create a User Experience Story. In D. Hutchison, T. Kanade, J. Kittler, J. M. Kleinberg, F. Mattern, J. C. Mitchell et al. (Hrsg.), *Design, User Experience, and Usability. Design Philosophy, Methods, and Tools* (Lecture Notes in Computer Science, Bd. 8012, S. 554–563). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Microsoft. (2010) Excel [Computer software]. USA: Microsoft Corporation. Verfügbar unter <http://office.microsoft.com/de-de/excel/>
- Miller, G. A. (1969). A psychological method to investigate verbal concepts. *Journal of Mathematical Psychology* (Volume 6, Issue 2), 169–191.
- Müller, T., Hajek, H., Frank, T. & Bengler, K. (2014). *Das menschliche Auflösungsvermögen von Dynamikveränderungen im Fahrzeug Conference on Future Automotive Technology, Garching b: München.*
- Müller, T., Hajek, H., Radic-Weissenfeld, L. & Bengler, K. (2013). Can You Feel The Difference? The Just Noticeable Difference of Longitudinal Acceleration. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 57 (1), 1219–1223.
- Müller, T. (2015). *Ermittlung vestibulärer Wahrnehmungsschwellen zur zielgerichteten Gestaltung der Fahrzeug-Längsdynamik*. Dissertation, Technische Universität München. München.
- Müller, T., Gold, C., Eichinger, A. & Bengler, K. (2012). Identifying customer-oriented key aspects of perception with focus on longitudinal vehicle dynamics. In N. A. Stanton (Hrsg.), *Advances in human aspects of road and rail transportation* (Advances in human factors and ergonomics series, S. 205–215). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Mussweiler, T. (2006). Doing is for thinking! Stereotype activation by stereotypic movements. *Psychological Science*, 17 (1), 17–21.
- Niedenthal, P. M. (2007). Embodying emotion. *Science (New York, N.Y.)*, 316 (5827), 1002–1005.
- Nielsen, J. (1999). *Designing web usability. [the practice of simplicity]*. Indianapolis: New Riders.
- Norman, D. A. (2004). *Why we love (or hate) everyday things*. New York: Perseus Books Group.
- Norman, D. A. (2005). *Emotional design. Why we love (or hate) everyday things* (Pbk.ed). New York: Basic Books.
- Nummenmaa, L., Glerean, E., Hari, R. & Hietanen, J. K. (2013). Bodily maps of emotions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.

LITERATURVERZEICHNIS

- Nyeste, P. & Wogalter, M. S. (2008). On adding sound to quiet vehicles. In Nyeste, P., & Wogalter, M. S. (Hrsg.), *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Bd. 21, Bd. 21, S. 1747–1750). Sage Publications.
- Oatley, K. & Jenkins, J. M. (1996). *Understanding emotions* (1. publ.). Cambridge Mass. u.a: Blackwell.
- Osgood, C. E., Suci, G. J. & Tannenbaum, P. H. (1957). *The measurement of meaning* (Illini books, 5. print). Urbana Ill. u.a: Univ. of Illinois Press.
- Otto, J., Euler, H. A. & Mandl, H. (2000). Begriffsbestimmungen. In J. Otto, H. A. Euler & H. Mandl (Hrsg.), *Handbuch Emotionspsychologie* (S. 11–18). Weinheim: Beltz: PsychologieVerlagsUnion.
- Patsouras, C. (2002). Semantisches Differential versus psychoakustische Empfindungsgrößen bei Außenstandgeräuschen von Fahrzeugen der oberen Mittelklasse. *Fortschritte der Akustik DAGA, 2002* (2), 154–155. Zugriff am 22.04.2014. Verfügbar unter <http://www.mmk.e-technik.tu-muenchen.de/publ/pdf/02/02pat2.pdf>
- Plutchik, R. (1962). *The emotions: facts, theories, and a new model* (Studies in psychology, PP24). New York: Random House.
- Plutchik, R. (1980). *Emotion. A Psychoevolutionary Synthesis*: Longman Higher Education.
- Popiv, D. (2012). *Enhancement of driver anticipation and its implications on efficiency and safety*: Technische Universität München.
- Prechtel, P. & Burkard, F.-P. (1999). *Metzler Philosophie Lexikon. Begriffe und Definitionen* (2., erw. und aktualisierte Aufl). Stuttgart: Verlag J.B. Metzler.
- Pritzel, M., Brand, M. & Markowitsch, H. J. (2003). *Gehirn und Verhalten. Ein Grundkurs der physiologischen Psychologie*.
- Quesenbery, W. & Brooks, K. (2010). *Storytelling for user experience. Crafting stories for better design*.
- Ramsbrock, J., Vilimek, R. & Weber, J. (2013). Exploring Electric Driving Pleasure – The BMW EV Pilot Projects. In D. Hutchison, T. Kanade, J. Kittler, J. M. Kleinberg, F. Mattern, J. C. Mitchell et al. (Hrsg.), *Human-Computer Interaction. Applications and Services* (Lecture Notes in Computer Science, Bd. 8005, S. 621–630). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Reisenzein, R., Meyer, W.-U. & Schützwohl, A. (2003). *Kognitive Emotionstheorien* (Einführung in die Emotionspsychologie / Wulf-Uwe Meyer, Achim Schützwohl, Rainer Reisenzein, Bd. 3, 1. Aufl.). Bern [etc.]: H. Huber.
- Reithofer, N. (2013). Interview mit der Zeitschrift Wirtschaftswoche. *Wirtschaftswoche, 2013* (01/02). Zugriff am 09.01.2017. Verfügbar unter: <http://www.wiwo.de/unternehmen/auto/norbert-reithofer-im-interview-e-autos-muessen-erfolgreich-werden/7585912.html>

- Remmert, J. (2015, 23. Februar). Kurzschluss in der E-Mobilität. Kaum Ladestationen. *Frankfurter Allgemeine Zeitung*. Zugriff am 25.08.2015. Verfügbar unter http://www.faz.net/aktuell/rhein-main/rhein-main-kurzschluss-in-der-e-mobilitaet-13436868-p2.html?printPagedArticle=true#pageIndex_2
- Reupold, P. *Lösungsraumanalyse für Hauptantriebsstränge in batterieelektrischen Straßenfahrzeugen*. Dissertation, Technische Universität München. München. Zugriff am 09.04.2015. Verfügbar unter <http://mediatum.ub.tum.de?id=1120693>
- Rheinberg, F., Manig, Y., Kliegl, R., Engeser, S. & Vollmeyer, R. (2007). Flow bei der Arbeit, doch Glück in der Freizeit. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie A&O*, 51 (3), 105–115.
- Rockwell, T. & Snider, J. (1965). An investigation of variability in driving performance on the highway. *Final Report RF 1450B, 65-1, Systems Research Group, The Ohio State University, Columbus, Ohio*.
- Rolshoven, C. (2012). *Motive und Bedürfnisse beim Autofahren. Eine qualitative Untersuchung zu ausgewählten Fahrerlebnissen*. Nicht veröffentlichte Bachelorarbeit, Ludwig-Maximilians-Universität. München. Verfügbar unter Arbeit mit Sperrvermerk; weiterführende Informationen durch E-mail an: Hermann.Hajek@gmail.com
- Roto, V., Law, E., Vermeeren, A. & Hoonhout, J. (Report from the Dagstuhl Seminar on Demarcating User Experience, Hrsg.). (2010). *User experience white paper*. Zugriff am 02.01.2014. Verfügbar unter <http://www.allaboutux.org/files/UX-WhitePaper.pdf>
- Russell, J. A. (1979). Affective space is bipolar. *Journal of Personality and Social Psychology*, 37 (3), 345–356.
- Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39 (6), 1161–1178.
- Russell, J. A. & Mehrabian, A. (1977). Evidence for a three-factor theory of emotions. *Journal of Research in Personality*, 11 (3), 273–294. Verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/009265667790037X>
- Sandmann, A. (2014). Lautes Denken - die Analyse von Denk-, Lern- und Problemlöseprozessen. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (SpringerLink : Bücher, S. 179–188). Berlin, Heidelberg: Imprint: Springer Spektrum.
- Schachter, S. (1962). *Cognitive, social and physiological determinants of emotional state* (Minnesota. University. Laboratory for Research in Social Relations. Reprint series, no. 53). Minneapolis: University of Minnesota.
- Schallberger, U. (2005). *Kurzskalen zur Erfassung der Positiven Aktivierung, Negativen Aktivierung und Valenz in Experience Sampling Studien (PANAVA-KS). Theoretische und methodische Grundlagen, Konstruktvalidität und psychometrische Eigenschaften bei der Beschreibung intra- und interindividueller Unterschiede*. Forschungsberichte aus dem Projekt: «Qualität des Erlebens in Arbeit und Freizeit», Nr. 6. Zürich: Fachrichtung Angewandte Psychologie des Psychologischen Instituts der Universität. : Fachrichtung Angewandte Psychologie des Psychologischen Instituts der Universität

LITERATURVERZEICHNIS

Zürich. Zugriff am 03.01.2014. Verfügbar unter
http://www.psychologie.uzh.ch/institut/angehoerige/emeriti/schallberger/schallberger-pub/PANAVA_05.pdf

- Schallberger, U. (2000). *Untersuchungen mit der Experience Sampling Method. Eine Zwischenbilanz*. Forschungsberichte aus dem Projekt: «Qualität des Erlebens in Arbeit und Freizeit», Nr. 6. Zürich: Fachrichtung Angewandte Psychologie des Psychologischen Instituts der Universität. (Nr. 31). : Fachrichtung Angewandte Psychologie des Psychologischen Instituts der Universität Zürich.
- Schandry, R. (2006). *Biologische Psychologie. Ein Lehrbuch* (Beltz PVU, 2. überarb. Aufl.). Weinheim: Beltz, BeltzPVU.
- Schenz, A. (2006). *Erlebnis und Bildung. Die Bedeutung des Erlebens und des Erlebnisses in Unterrichts- und Erziehungsprozessen ; eine problemgeschichtlich-systematische Untersuchung*. Karlsruhe: Univ.-Verl. Karlsruhe.
- Schmidt, R. F. (2001). *Physiologie kompakt* (Springer-Lehrbuch, 4., korr. und aktualisierte Aufl.). Berlin [u.a.]: Springer.
- Schmidt-Atzert, L. (1996). *Lehrbuch der Emotionspsychologie*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Schott, T. (2003). *Kritik der Erlebnispädagogik* (Systematische Pädagogik, Bd. 5). Würzburg: Ergon.
- Sheldon, K. M., Elliot, A. J., Kim, Y. & Kasser, T. (2001). What is satisfying about satisfying events? Testing 10 candidate psychological needs. *Journal of Personality and Social Psychology*, 80 (2), 325–339.
- Simon, D.-I. D. (2011). Entwicklung eines effizienten Verfahrens zur Bewertung des Anfahrverhaltens von Fahrzeugen.
- Skinner, B. F. (1953). *Science and human behavior*. New York: Macmillan.
- Skoda, S., Steffens, J. & Becker-Schweitzer, J. (2012). Einfluss von Fahrzeuginnengeräuschen auf die subjektive Bewertung von Beschleunigung. *DAGA 2012 Darmstadt*, 409–410.
- Steffens, J., Küppers, T. & Skoda, S. (Hrsg.). (2011). *Psychologische Einflussgrößen bei der Beurteilung des Innengeräusches von Elektrofahrzeugen*.
- Steffens, J., Schulte-Fortkamp, B. & Becker-Schweitzer, J. (2012). Mensch-Maschine-Interaktion als Einflussgröße bei der Geräuschbewertung im akustischen Produkt-Design.
- Stockburger, C. (Spiegel Online, Hrsg.). (2013). *Deutscher PS-Durchschnitt. Die Mär vom Mehr*. Zugriff am 31.10.2016. Verfügbar unter
<http://www.spiegel.de/auto/aktuell/durchschnittliche-ps-zahl-der-neuwagen-in-deutschland-gesunken-a-931262.html>
- Storm, C. & Storm, T. (1987). A taxonomic study of the vocabulary of emotions. *Journal of Personality and Social Psychology*, 53 (4), 805–816.

- Tellegen, A., Watson, D. & Clark, L. A. (1999). On the Dimensional and Hierarchical Structure of Affect. *Psychological Science*, 10 (4), 297–303.
- TESLA Motors. (2013). *Features & technische Daten. Tesla Roadster Sport* (TESLA Motors, Hrsg.). Zugriff am 05.01.2014. Verfügbar unter http://www.teslamotors.com/de_DE/roadster/specs
- Thier, K. (2006). *Storytelling. Eine narrative Managementmethode* (Arbeits- und organisationspsychologische Techniken). Berlin, Heidelberg: Springer Medizin Verlag Heidelberg.
- Tischler, M. A. & Renner, G. (2007). Ansatz zur Messung von positivem Fahrerleben Die Messung von Fahrspaß und Ableitungen für die Fahrzeuggestaltung. *VDI BERICHTE*, 2015, 105.
- Tischler, M. A. (2013). *Entwicklungsziel Fahrspaß: Gestaltungsempfehlungen für die Auslegung von Kraftfahrzeugen zur Optimierung des subjektiven Erlebens der Fahrzeugführung*. Dissertation, Humboldt-Universität. Berlin.
- Tomaske, W. (1983). *Einfluß der Bewegungsinformation auf das Lenkverhalten des Fahrers sowie Folgerungen für die Auslegung von Fahrsimulatoren*. Dissertation, Hochschule der Bundeswehr. Hamburg.
- Traxel, W. & Heide, H. J. (1961). Dimensionen der Gefühle. *Psychologische Forschung*, 26 (3), 179–204.
- Trueb, L. F. & Rüetschi, P. (1998). *Batterien und Akkumulatoren. Mobile Energiequellen für heute und morgen*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Tullis, T. & Albert, B. (2013). *Measuring the user experience. Collecting, analyzing, and presenting usability metrics*. Amsterdam: Elsevier.
- Uni Köln. (2016). *Statue der Nike. Lutetia, Musée du Louvre*. Zugriff am 01.01.2016. Verfügbar unter <http://arachne.uni-koeln.de/item/marbilder/4089984>
- Valins, S. (1966). Cognitive Effects of False Heart-Rate Feedback. *Journal of Personality and Social Psychology* 4, 400–408.
- Vilimek, R., Keinath, A. & Schwalm, M. (2012). The MINI E field study. Similarities and differences in international everyday EV driving. *Advances in human aspects of road and rail transport*, 363–372.
- Vohs, K. D., Mead, N. L. & Goode, M. R. (2006). The psychological consequences of money. *Science (New York, N.Y.)*, 314 (5802), 1154–1156.
- Watson, D., Clark, L. A. & Tellegen, A. (1988). Development and validation of brief measures of positive and negative affect: The PANAS scales. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54 (6), 1063–1070.
- Watson, D. & Tellegen, A. (1985). Toward a consensual structure of mood. *Psychological Bulletin*, 98 (2), 219–235.
- Watson, J. B. (1930). *Behaviorism* (Rev. ed., 1. printing). New York: Norton.

LITERATURVERZEICHNIS

- Weidauer, J. (2013). *Elektrische Antriebstechnik. Grundlagen, Auslegung, Anwendungen, Lösungen* (3., überarb. Aufl.). Erlangen: Publicis Publ.
- Westbrook, M. H. (2001). *The Electric Car: Development and Future of Battery, Hybrid and Fuel-cell Cars*: Institution of Electrical Engineers.
- Wirtz, M. A. & Strohmer, J. (2013). *Dorsch. Lexikon der Psychologie* (16. vollst. überarb. Aufl.). Bern: H. Huber.
- Wright, P., McCarthy, J. & Meekison, L. (2005). Making Sense of Experience. In M. A. Blythe, K. Overbeeke, A. F. Monk & P. C. Wright (Hrsg.), *Funology* (HUMAN-COMPUTER INTERACTION SERIES, Bd. 3, S. 43–53). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Wundt, W. M. (1896). *Grundriss der Psychologie*. Leipzig: Engelmann.
- Wüst, C. (2015). Festgefahren. Warum das Elektroauto nicht vorankommt. *Der Spiegel*, 2015 (26). Kommentar. Zugriff am 25.08.2015. Verfügbar unter <http://www.spiegel.de/spiegel/print/d-135558913.html>
- Yay, M. (2011). *Elektromobilität. Theoretische Grundlagen, Herausforderungen sowie Chancen und Risiken der Elektromobilität, diskutiert an den Umsetzungsmöglichkeiten in die Praxis* (2., Aufl.). Frankfurt am Main: Lang, Peter Frankfurt.
- Zeller, P. (2009). *Handbuch Fahrzeugakustik. Grundlagen, Auslegung, Berechnung, Versuch* (ATZ-MTZ Fachbuch, 1. Aufl.). Wiesbaden: Vieweg + Teubner in GWV Fachverlage.