



WHZ Westsächsische
Hochschule Zwickau
Hochschule für Mobilität

Diplomarbeit

Untersuchungen zum Fehlbetätigungsverhalten von Fahrzeugpedalen in einem Fahrzeug mit manuellem Schaltgetriebe in konkreter Ausparksituation

eingereicht an der
Fakultät Kraftfahrzeugtechnik der
Westsächsischen Hochschule Zwickau
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Diplomingenieurs (FH)

vorgelegt von: cand. ing. **M u n z e r t , S i l a s** geb. am: 14.02.2003

Studiengang Kraftfahrzeugtechnik
Studienschwerpunkt Karosserieentwicklung und -konstruktion

Ausgegeben von:	Prof. Dr. Klaus-Dieter Brösdorf
Erstbetreuer:	Prof. Dr. Klaus-Dieter Brösdorf
Zweitbetreuer:	Prof. Dr.-Ing. Lutz Nagel

Autorenreferat

Die vorliegende Diplomarbeit untersucht das Fehlbetätigungsverhalten von Fahrzeugpedalen in einem Pkw mit manuellem Schaltgetriebe während einer konkret definierten Ausparksituation. Untersuchungsgrundlage bildet die Fragestellung, ob durch ein Abrutschen der Füße vom Kupplungspedal Schäden an benachbarten Fahrzeugen entstehen und welchen Umfang diese haben können.

Dafür findet zunächst eine Auswertung von Fachliteratur und Normen statt. Beleuchtet werden hierbei Grundlagen der Pedalerie, Zeitverläufe von Reaktion und Ansprechverhalten, Parkvorgänge, die menschliche Wahrnehmung, der Einfluss des Schuhwerks auf das Fahren sowie eine Zusammenfassung vorangegangener Untersuchungen.

Im Anschluss daran wird eine Probandenversuchsreihe unter Verwendung verschiedener Messeinrichtungen konzipiert. Das anknüpfende Kapitel beschreibt die Durchführung und anschließende Auswertung. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse sollen eine Folgerung auf reale Schadenfälle zulassen, bei denen ein Abrutschen der Pedalerie als Unfallursache angeführt wird. Den Abschluss der Arbeit bildet ein zusammenfassender Ausblick für weiterführende Untersuchungsansätze.

Erklärung zur selbstständigen Anfertigung der Arbeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit in allen Teilen selbstständig angefertigt und keine anderen als die in der Arbeit angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form in noch keiner anderen Prüfung vorgelegen hat. Mir ist bewusst, dass ich Autor der vorliegenden Arbeit bin und volle Verantwortung für den Text trage. ☒

Ich erkläre, dass ich wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken – dazu gehören auch Internetquellen – übernommene Inhalte als solche kenntlich gemacht und die entsprechenden Quellen angegeben habe. ☒

Mir ist bewusst, dass meine Arbeit auf Plagiate überprüft werden kann. Mir ist bekannt, dass es sich bei der Abgabe eines Plagiats um ein schweres akademisches Fehlverhalten handelt und dass Täuschungen nach der für mich gültigen Prüfungsordnung geahndet werden. ☒

Zusätzlich versichere ich, dass ich auf künstlicher Intelligenz (KI) basierende Werkzeuge nur in Absprache mit den Prüfern verwendet habe. Dabei stand meine eigene geistige Leistung im Vordergrund, und ich habe jederzeit den Prozess steuernd bearbeitet. ☒

Diese Werkzeuge habe ich im Quellenverzeichnis in der Rubrik „Übersicht verwendeter Hilfsmittel“ bzw. im „Literatur- und Quellenverzeichnis“ mit ihren Produktnamen und einer Übersicht des im Rahmen dieser Diplomarbeit genutzten Funktionsumfangs unter Angabe der Textstelle in der Arbeit vollständig aufgeführt. ☒

Ich versichere, dass ich keine KI-basierten Tools verwendet habe, deren Nutzung die Prüfer explizit schriftlich ausgeschlossen haben. Ich bin mir bewusst, dass die Verwendung von Texten oder anderen Inhalten und Produkten, die durch KI-basierte Tools generiert wurden, keine Garantie für deren Qualität darstellt. ☒

Ich verantworte die Übernahme jeglicher von mir verwendeter maschinell generierter Passagen vollumfänglich selbst und trage die Verantwortung für eventuell durch die KI generierte fehlerhafte oder verzerrte Inhalte, fehlerhafte Referenzen, Verstöße gegen das Datenschutz- und Urheberrecht oder Plagiate. ☒

Zwickau, 11. August 2026

Ort, Datum



Unterschrift

Danksagung

Mein Dank gebührt allen, die zum Gelingen der vorliegenden Diplomarbeit beigetragen haben.

Insbesondere bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. Klaus-Dieter Brösdorf für die Bereitstellung des Themas und die Betreuung während des gesamten Entstehungsprozesses sowie das Zurverfügungstellen von Fachliteratur, aller Kameras für den Praxisversuch sowie des Zugangs für die Programme PC-Rect und PC-Crash. Für die Bereitschaft zur Übernahme der Zweitbetreuung bedanke ich mich ferner bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Lutz Nagel.

Des Weiteren gilt mein besonderer Dank Herrn Dipl.-Ing. (FH) Guido Bau für die tatkräftige Unterstützung am Versuchstag und bei den vorbereitenden Maßnahmen sowie für das Bereitstellen der notwendigen Technik.

Für die Hilfe beim Einrichten der VBox 3i bedanke ich mich außerdem bei Herrn M.Sc. Marco Riedel.

Weiter danke ich Herrn Leon Höntsch für die Bereitstellung und Bedienung der Kameradrohne sowie Herrn Paul Krämer für die ganztägige Hilfe.

Zusätzlich bedanke ich mich bei folgenden Personen für die Bereitschaft, als Probanden sowie teilweise als temporäre Helfer zur Verfügung gestanden zu haben: Julius Brehmer, Sebastian ‚Keule‘ Buckenmayer, Laura Götze, Alexander Päßler, Eric Pfeifer, Alina Pleschke, Richard Sabaczuk, Kurt Sachse, Dominik Spreer, Maximilian Stephan, Justus Temme, Tim Winkler sowie Marco Zschaler.

Überdies danke ich dem Studentenclub KIK/Collage e.V. für das Ausleihen des Pavillons.

Neben den direkten Beteiligten möchte ich mich auch bei allen weiteren Freunden und Bekannten sowie meiner Familie, insbesondere meinen Eltern, für die kontinuierliche Unterstützung während des Diplomprozesses und des gesamten Studiums bedanken.

Inhaltsverzeichnis

I	Verzeichnis der Bilder	VI
II	Verzeichnis der Tabellen	VIII
III	Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen und Einheiten	IX
IV	Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen	X
V	Verzeichnis der Anlagen	XII
1	Einleitung	1
2	Auswertung fachlicher und normativer Literatur sowie vorangegangener Arbeiten	3
2.1	Pedalerie	3
2.2	Reaktions- und Ansprechzeiten	10
2.3	Parkvorgänge und -unfälle	11
2.4	Menschliche Wahrnehmung	15
2.5	Beschaffenheit des Schuhwerks	19
2.6	Auswertung bisheriger Untersuchungen	22
2.6.1	SOMMER (2020)	22
2.6.2	RUMMEL (2021)	25
2.6.3	REINL (2022)	26
3	Konzeption einer Probandentestreihe	29
3.1	Versuchsszenario	29
3.2	Versuchsumgebung	31
3.3	Versuchsfahrzeug	32
3.4	Probanden	33
3.5	Messsysteme und Aufnahmegeräte	34
3.5.1	Fahrdatenmessgerät VBox 3i	34
3.5.2	Fahrdatenmessgerät Performance Box Touch	35
3.5.3	Eye-Tracking-Brille Tobii Glasses 2	36
3.5.4	Kameras	38
3.5.5	Kameradrohne DJI Mavic Air 2	39
3.6	Versuchsverlauf	40
4	Untersuchungsprozess der Testreihe	41
4.1	Vorbereitungen	41
4.1.1	Versuchsumgebung	42

4.2	Durchführung	44
4.3	Analyse der Versuchsergebnisse	45
4.3.1	Daten der VBox 3i	45
4.3.2	Daten der Performance Box Touch	48
4.3.3	Fotogrammetrische Auswertung der gefahrenen Distanzen	50
4.3.4	Vergleich der Resultate der Fahrdatenmessgeräte	54
4.3.5	Analyse der Übertretungen der Begrenzungslinie	55
4.3.6	Auswertung der Ergebnisse der Probandenfragebögen	58
4.3.7	Auswertung des Schuhwerks und des Abrutschverhaltens	62
4.3.8	Blickverhalten der Probanden	66
4.3.9	Vergleich mit vorangegangenen Untersuchungen	70
4.3.10	Fehlerbetrachtung	72
4.4	Resümee der Versuchsreihe	74
5	Konklusion der Untersuchungen für reale Schadenereignisse	76
6	Zusammenfassung und Ausblick	80
	Literatur- und Quellenverzeichnis	82
	Anlagen	87

I Verzeichnis der Bilder

<u>Bild</u>	<u>Bildunterschrift</u>	<u>Seite</u>
Bild 1:	Maßvorgaben der Pedalanordnung nach ECE-R 35	4
Bild 2:	Bezugspunkte und Maße des Fahrerarbeitsplatzes.....	5
Bild 3:	Fahrzeugkoordinatensystem	6
Bild 4:	Bezugspunkte Pedalerie nach ECE-R 35.....	7
Bild 5:	Bewegungsrichtungen und prinzipielle Anordnung von hängenden und stehenden Pedalen	8
Bild 6:	Kraft-Weg-Verlauf eines Bremspedals	9
Bild 7:	Zeitanteile Bremsvorgang am Beispiel einer Notbremsung	11
Bild 8:	Von REINL untersuchte Abrutschbewegung	27
Bild 9:	Abrutsch- und Reaktionsbewegungen des Realversuchs.....	30
Bild 10:	Versuchsumgebung	31
Bild 11:	Rückfahrkamera des Audi A5.....	32
Bild 12:	Versuchsfahrzeug Audi A5.....	33
Bild 13:	VBox 3i RTK	35
Bild 14:	Performance Box Touch.....	36
Bild 15:	Tobii Pro Glasses 2.....	36
Bild 16:	Bestandteile des Brillen-Moduls	37
Bild 17:	DJI Osmo Action 5 Pro.....	38
Bild 18:	Position der Actioncam.....	38
Bild 19:	Canon EOS 6D	39
Bild 20:	Panasonic Lumix DMC-TZ81	39
Bild 21:	DJI Mavic Air 2.....	40
Bild 22:	Versuchsschema in Ausgangsstellung	41
Bild 23:	Übersicht Versuchsumgebung	43
Bild 24:	Luftbild Übersicht Versuchsumgebung	43
Bild 25:	Kalibrierung des Eye-Trackers aus Sicht von Proband 12.....	44
Bild 26:	Überlagerung Ausgangs-, Maximal- und Endlage von 11.C	51
Bild 27:	Entzerrbereich und definierte Fläche von 11.C.....	52
Bild 28:	Vergleich der Werte der zurückgelegten Distanzen.....	53
Bild 29:	Grafischer Vergleich der Ergebnisse von VBox 3i und PBT bei 12.B	55
Bild 30:	Endlage 14.A aus Sicht der vorderen Kamera.....	56

Bild 31: Endlage 14.A aus Sicht der hinteren Kamera	56
Bild 32: Endlage 14.A aus Sicht der Kameradrohne	57
Bild 33: Alter und Fahrerfahrung der Probanden	60
Bild 34: Genutzte Assistenzsysteme beim Parken	62
Bild 35: Schuhwerk von Proband 9	62
Bild 36: Sohle von Proband 9	62
Bild 37: Blickfeld der Probanden	68
Bild 38: Diagramm Verteilung Fixationsobjekte	69
Bild 39: Beschädigter Mercedes-Benz CL 500	76
Bild 40: Berührung des Nachbarfahrzeugs nach Werten von 01.D	77
Bild 41: Streifschaden	78

II Verzeichnis der Tabellen

<u>Tabelle</u>	<u>Tabellenbezeichnung</u>	<u>Seite</u>
Tabelle 1:	Abmessungen von Parkständen nach Aufstellungsart	13
Tabelle 2:	Aufmerksamkeitsebenen	15
Tabelle 3:	Haftreibwerte von Schuhen nach SOMMER.....	21
Tabelle 4:	Von SOMMER entworfene Abrutschvorgänge.....	23
Tabelle 5:	Von RUMMEL gewählte Abrutschvorgänge.....	25
Tabelle 6:	Messergebnisse der VBox 3i	46
Tabelle 7:	Messergebnisse der Performance Box Touch	48
Tabelle 8:	Ergebnisse Stichprobe gefahrener Distanzen nach fotogrammetrischer Auswertung.....	52
Tabelle 9:	Eintrittstrecken des Testfahrzeugs in die Nachbarlücke.....	57
Tabelle 10:	Überblick Eigenschaften Probandenschar	59
Tabelle 11:	Schuhwerk der Probanden am Versuchstag.....	63
Tabelle 12:	Fußbewegungsverhalten der Probanden.....	64
Tabelle 13:	Fixationsobjekte während der Testfahrten	66
Tabelle 14:	Häufigkeit Fixationsobjekte.....	69
Tabelle 15:	Vergleich der gefahrenen Distanzen der Versuchsreihen	71
Tabelle 16:	Vergleich der Fahrdauern der Versuchsreihen	71
Tabelle 17:	Vergleich der Maximalgeschwindigkeiten der Versuchsreihen.....	71

III Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen und Einheiten

<u>Formelzeichen</u>	<u>Einheit</u>	<u>Bedeutung</u>
f	Hz	Frequenz in Hertz
F	N	Kraft in Newton
L	dB (A)	Schalldruckpegel (Frequenzbewertungskurve A)
M	Nm	Drehmoment in Newtonmeter
P	kW, PS	Leistung in Kilowatt, Pferdestärken
s	mm, cm, dm, m,“	Strecke in Millimeter, Zentimeter, Dezimeter, Meter, Zoll
t	ms, s, a	Zeit in Millisekunden, Sekunden, Jahren
θ	°C	Temperatur in Grad Celsius
V	cm ³	Volumen in Kubikzentimeter
v	km/h	Geschwindigkeit in Kilometer pro Stunde
μ _H	-	Haftreibwert (dimensionslos)

IV Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

<u>Abkürzung</u>	<u>Bedeutung</u>
AHP	Accelerator Heel Point (Fahrpedalfersenpunkt)
BoF	Ball of Foot (Fußballenpunkt)
ca.	circa
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
DIN	Deutsches Institut für Normung
ECE	Economic Commission for Europe (Wirtschaftskommission für Europa)
EXIF	Exchangeable Image File Format (Austauschbares Bilddateiformat)
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
GPS	Global Positioning System (Globales Positionsbestimmungssystem)
H-Punkt	Hüftpunkt
HD	High Definition (Hochauflösung)
HDMI	High Definition Media Interface (digitale Medienübertragungsschnittstelle)
Insg.	insgesamt
ISA	International Federation of the National Standardizing Associations (Internationale Föderation der nationalen Normungsinstitute)
KBA	Kraftfahrtbundesamt
Kfz	Kraftfahrzeug
Lfd.	laufend
MFA	Multifunktionsanzeige
Mio.	Millionen
MP4	Videoformat
Nr.	Nummer
OEM	Original Equipment Manufacturer (Fahrzeughersteller)

PBT	Performance Box Touch
PDC	Park Distance Control (Parkdistanzkontrolle)
Pkw	Personenkraftwagen
SAE	Society of Automotive Engineers (Verband der Automobilingenieure)
SD-Karte	Secure Digital Memory Card (sichere digitale Speicherkarte)
SgRP	Seating Reference Point (Sitzreferenzpunkt)
StVO	Straßenverkehrsordnung
UN	United Nations (Vereinte Nationen)
USA	United States of America (Vereinigte Staaten von Amerika)
USB	Universal Serial Bus
WHZ	Westsächsische Hochschule Zwickau
z. B.	zum Beispiel

V Verzeichnis der Anlagen

Anlage 1: Technische Daten Audi A5 [Typ 8T] 3.0 TDI	87
Anlage 2: Auszug Datenblatten VBox 3i RTK.....	88
Anlage 3: Auszug Datenblatt Performance Box Touch.....	89
Anlage 4: Auszug Datenblatt Tobii Glasses 2	90
Anlage 5: Auszug Datenblatt DJI Osmo Action 5 Pro.....	91
Anlage 6: Auszug Datenblatt Canon EOS 6D	92
Anlage 7: Auszug Datenblatt Panasonic Lumix DMC-TZ81	93
Anlage 8: Auszug Datenblatt DJI Mavic Air 2.....	94
Anlage 9: Grafischer Vergleich der erreichten Höchstgeschwindigkeiten zwischen VBox 3i und PBT	95
Anlage 10: Grafischer Vergleich der Fahrdauern zwischen VBox 3i und PBT.....	96
Anlage 11: Grafischer Vergleich der zurückgelegten Distanzen zwischen VBox 3i und PBT.....	97
Anlage 12: Probandenfragebogen	98
Anlage 13: Zusammenfassung Resultate Probandenfragebögen	100

1 Einleitung

In der heutigen Zeit ist die Mobilität per Automobil für einen bedeutenden Teil der Bevölkerung nicht mehr wegzudenken oder sogar nahezu alternativlos. Dies führt zu einem Anstieg des Pkw-Bestands in der Bundesrepublik Deutschland, welche dort die mit Abstand größte Fahrzeuggruppe bilden. So sind nach den aktuellen Zahlen des KBA zum Stichtag 1. Juli 2025 etwa 49,53 Mio. Pkw zugelassen [1], während es zum selben Tag im Vorjahr knapp 49,39 Mio. [2] und 2020 sogar nur etwa 47,88 Mio. [3] gewesen sind. Mit dieser großen Zahl einhergehend sind aufgrund von vorrangig menschlichem Versagen eine Anzahl an Schadenereignissen. So wurden im Jahr 2024 insgesamt über 2,51 Mio. Straßenverkehrsunfälle gemeldet, wovon bei circa 291.000 ein Personenschaden entstand [4]. Auch wenn diese Fälle nennenswerter erscheinen, liegen alltägliche Kollisionsszenarien beim Parken und Rangieren bei etwa einem Drittel der Schadenabwicklungen der Versicherer im gesamten Kraftfahrtunfallbereich [5] S. 8. Die Dunkelziffer solcher Zwischenfälle liegt bei weitem höher, denn nur etwa jeder vierte Fall wird angezeigt. Untersuchungen zufolge erscheinen ca. 4,8 Mio. dieser Fälle nicht in der Statistik [11] S. 1. Beim Ausparken bzw. Rangieren geschehen 90 % bis 100 % dieser Berührungen beim Rückwärtsfahren [5] S. 15.

Diese Umstände werden mitunter von Personen ausgenutzt, welche mit einem abgesprochenen Schadenereignis einen Versicherungsbetrug begehen wollen. So möchten sie eine möglichst großflächige Beschädigung mit geringer Tiefe herbeiführen, um nach einer nicht fachgerechten Instandsetzung die Differenz zwischen dieser und einer qualifizierten Reparatur vereinnahmen zu können [54] S. 518. Als ein Grund eines solchen angeblichen Unfalls wird dabei in einigen Fällen angegeben, dass ein Abrutschen von der Pedalerie Auslöser des Malheurs gewesen sein soll. Auf dieser Grundlage beschäftigten sich bereits SOMMER [23], RUMMEL [27] und REINL [28] in ihren jeweiligen Diplomarbeiten mit der Thematik, ob und in welchem Ausmaß ausreichende Wege und Geschwindigkeiten für größere Schäden entstehen und ob damit solche Szenarien möglich sein können. Darauf aufbauend soll mit der vorliegenden Arbeit eine Vertiefung, Adaption und somit Erweiterung der vorangegangenen Erkenntnisse stattfinden. Augenmerk soll auf eine konkrete Ausparksituation mit einem Fahrzeug mit manuellem Getriebe gelegt werden.

Anfänglich werden dafür einschlägige Fachliteratur sowie Normen, Statistiken und die vorangegangenen Diplomschriften ausgewertet und deren wesentliche

Erkenntnisse dargelegt. Im Anschluss daran findet die Konzeption einer Probandenversuchsreihe unter Verwendung verschiedener Messgeräte statt, bevor diese im vierten Kapitel durchgeführt und ausgewertet wird. Die so gewonnenen Erkenntnisse sollen Schlussfolgerungen für die Rekonstruktion solcher Schadenfälle geben. Abschließend folgt eine Zusammenfassung mit einem Ausblick auf mögliche weitere Untersuchungsansätze.

Zur einfacheren Lesbarkeit wird an den betreffenden Stellen einheitlich das geschlechterübergreifende generische Maskulinum verwendet.

2 Auswertung fachlicher und normativer Literatur sowie vorangegangener Arbeiten

Im folgenden Kapitel soll zunächst auf grundlegende Informationen in Bezug auf Normen, den aktuellen Stand der Technik sowie Grundlagen zu Pedalerie, Beschleunigungs- und Bremsvorgängen, Reaktionszeiten und dem Parkvorgang an sich eingegangen werden. Des Weiteren erfolgt eine Betrachtung der menschlichen Wahrnehmung, des Einflusses des Schuhwerks sowie eine Aus- und Bewertung der Erkenntnisse von SOMMER [23], RUMMEL [27] und REINL [28].

2.1 Pedalerie

Die etablierte Anordnung der Fahrzeugpedale ist in Deutschland durch die DIN 73001 definiert, welche in der aktuellen Version bereits seit Oktober 1953 ihre Gültigkeit besitzt. Diese Norm besagt, dass in Fahrtrichtung links der Lenksäule das Kupplungspedal montiert sein soll, welches beim Bedienen das Entkuppeln zur Aufgabe hat. Auf der rechten Seite der Lenksäule befindet sich zunächst das Bremspedal, welches dem Namen nach zur Betätigung der Betriebsbremsanlage zu nutzen ist. Wiederum rechts davon ist das Fahrpedal lokalisiert, das zur Steuerung der Kraftstoffzufuhr und damit zur Regulierung der Motorleistung verwendet wird. Bei Fahrzeugen mit einem Automatikgetriebe entfällt das Kupplungspedal [7], sodass der linke Fuß keine Aufgabe während der Fahrt zu erfüllen hat. Fahr- und Bremspedal werden in jedem Konzept vom rechten Fuß gesteuert und zählen damit zu den fußbedienten Stellteilen, während das Kupplungspedal aufgrund der Notwendigkeit der Bewegung der gesamten linken Extremität zur Beinbedienung zählt [8] S. 292. Da diese DIN-Norm auf den Empfehlungen der einstigen internationalen Normungsorganisation ISA aus dem April 1930 beruht [7], ist die Anordnung in nahezu jedem Fahrzeug der Welt vorhanden; auch in Rechtslenker-Fahrzeugen.

Mit dieser Norm wird ausschließlich die prinzipielle Anordnung der Pedale im Fußraum beschrieben. Bestimmte Abstände der Pedale untereinander und zu den umliegenden Begrenzungen müssen eingehalten werden. Eine zu große Distanz kann die Bedienung vor allem in speziellen Fahrsituationen verlängern, eine zu geringe eine unbeabsichtigte Mehrfachbedienung zur Folge haben. Somit hat sich ein Spektrum zwischen Mindest- und Maximalmaßen herauskristallisiert, welches in der europäischen UN/ECE-Richtlinie Nr. 35 festgeschrieben wurde [9] und in Bild 1 visualisiert wird. Die darin aufgeführten Maße sind in Millimetern angegeben.

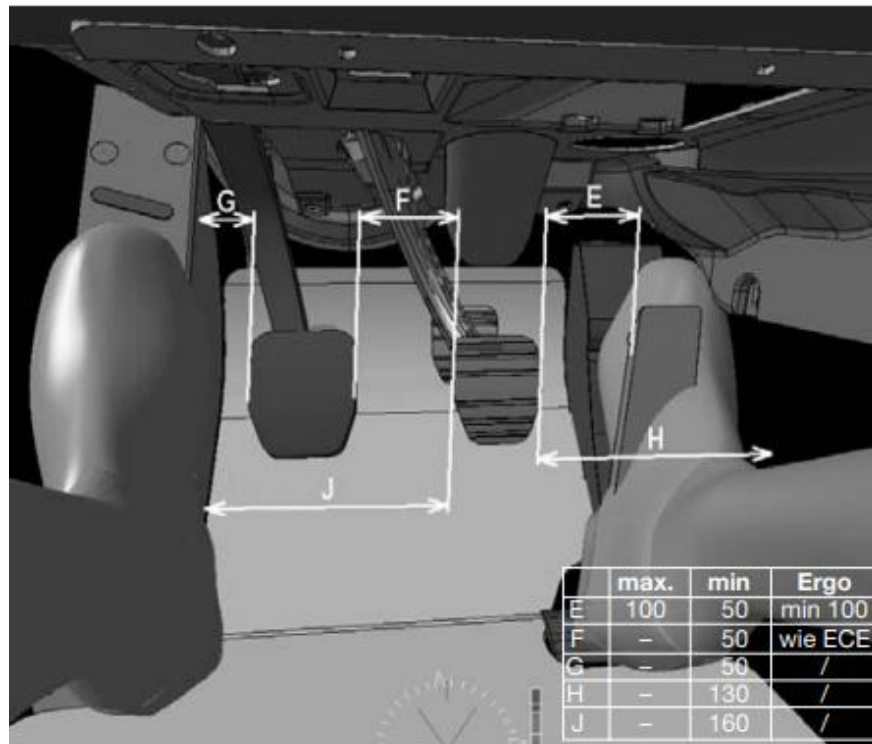


Bild 1: Maßvorgaben der Pedalanordnung nach ECE-R 35 [10] S. 31

Um eine angenehme und sichere Bedienung des Kfz durchführen zu können, muss bei der Entwicklung der Fahrzeuge eine Reihe ergonomischer Punkte beachtet werden. Da die Pedalerie einen festen Platz hat und im Gegensatz zu z. B. dem Sitz oder der Lenksäule nicht verstellbar ist, gilt sie als Ausgangspunkt für die persönlichen Fahrerarbeitsplatzeinstellungen und muss im Zusammenspiel mit justierbaren Elementen für alle Perzentile erreichbar und sicher zu betätigen sein. Dies hat in Korrelation mit weiteren ergonomischen Maßen zu erfolgen, wodurch am Ende im Einzelfall ein Kompromiss abgeleitet werden muss.

Als Basis dieser Abmessungen gilt der Sitzreferenzpunkt SgRP, von dem aus eine Maßkette zur Pedalebene und ihren Größen ausgeht. Die für den Fahrerarbeitsplatz wesentlichen Maße sind in Bild 2 dargestellt und basieren auf den Festlegungen der nordamerikanischen Norm SAE J1100. Diese findet auch in Europa Anwendung.

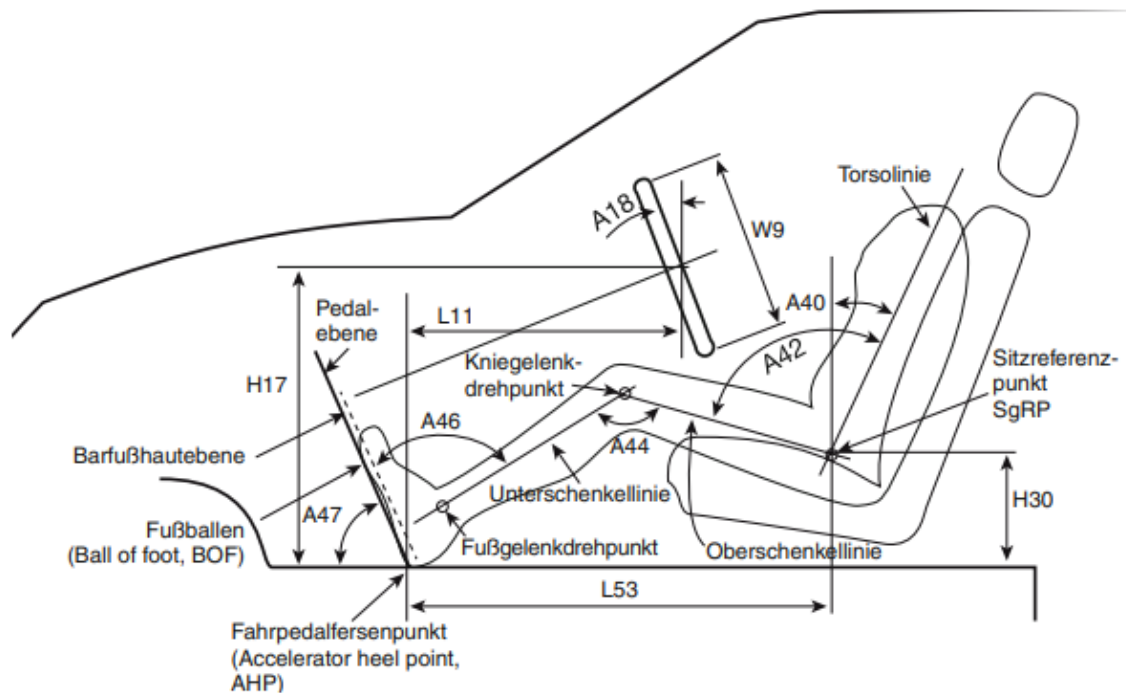


Bild 2: Bezugspunkte und Maße des Fahrerarbeitsplatzes [8] S. 353

Die Abmaße stützen sich nach wie vor auf US-amerikanische Untersuchungen aus den 1950er Jahren, werden jedoch weiterhin in der Fahrzeugentwicklung angewendet. SgRP bzw. H-Punkt werden dabei über eine spezielle Messmaschine ermittelt, die auf Spezifikationen des 95. Perzentil-Mannes ausgelegt ist bzw. bei der Masse auf das 50. Perzentil [8] S. 351. Der Abstand zwischen dem SgRP und der Pedalebene bzw. dem Fahrpedalfersenpunkt AHP wird zum einen durch das Maß H30 in der z-Ebene und zum anderen durch die Länge L53 in der x-Ebene bestimmt. Die Ausrichtung der Koordinaten ist in Bild 3 dargestellt.

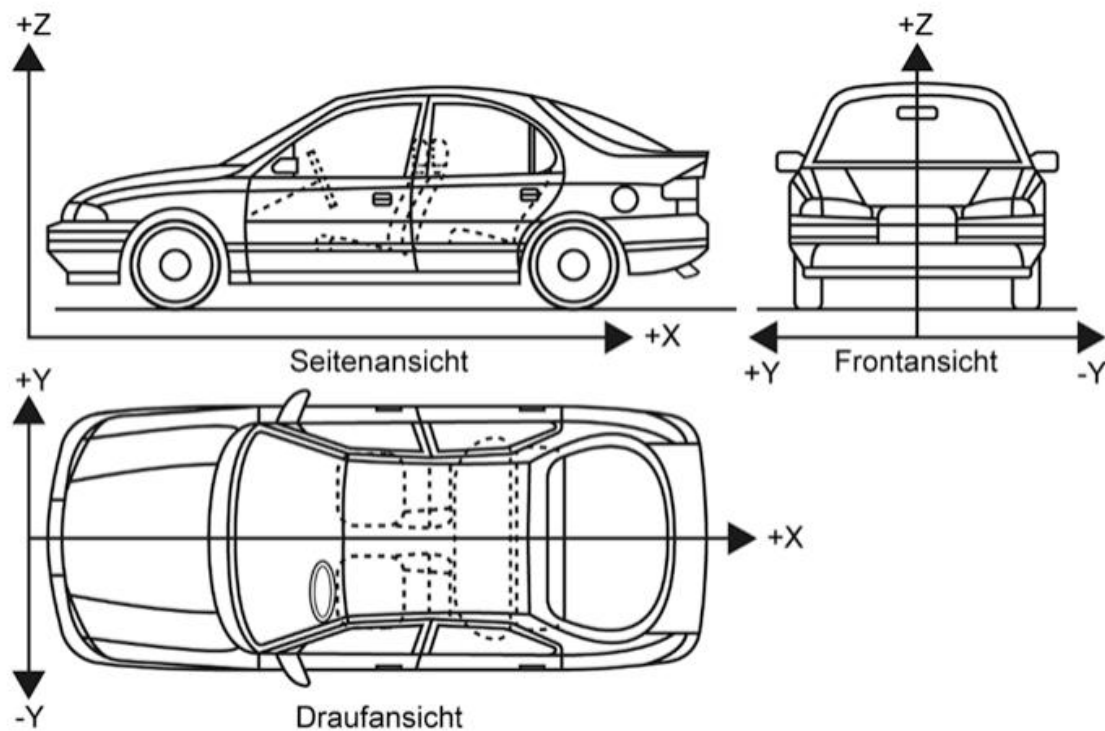


Bild 3: Fahrzeugkoordinatensystem [17] S. 33

H30 beschreibt die Höhendifferenz vom Fahrzeugfußboden zum SgRP und ist für jede Fahrzeugklasse charakteristisch. Während der Wert in einem Sportwagen niedrig ist, ist er in einem Kleinbus aufgrund der aufrechteren Sitzposition wesentlich höher [8] S. 352. Bedingt durch die unveränderliche Länge der Extremitäten ist dementsprechend das L53-Maß davon abhängig und somit in einem Sportwagen höher als in einem Van [8] S. 353. Für die Pedalebene werden in der SAE-Norm J1516 Maße für ihre Referenzpunkte, BoF und AHP, in Abhängigkeit von der Sitzhöhe definiert [12].

Teile jener SAE-Maße wurden auch für die Platzierungsdefinition in der ECE-R 35 zugrunde gelegt bzw. übernommen, wie Bild 4 zeigt.

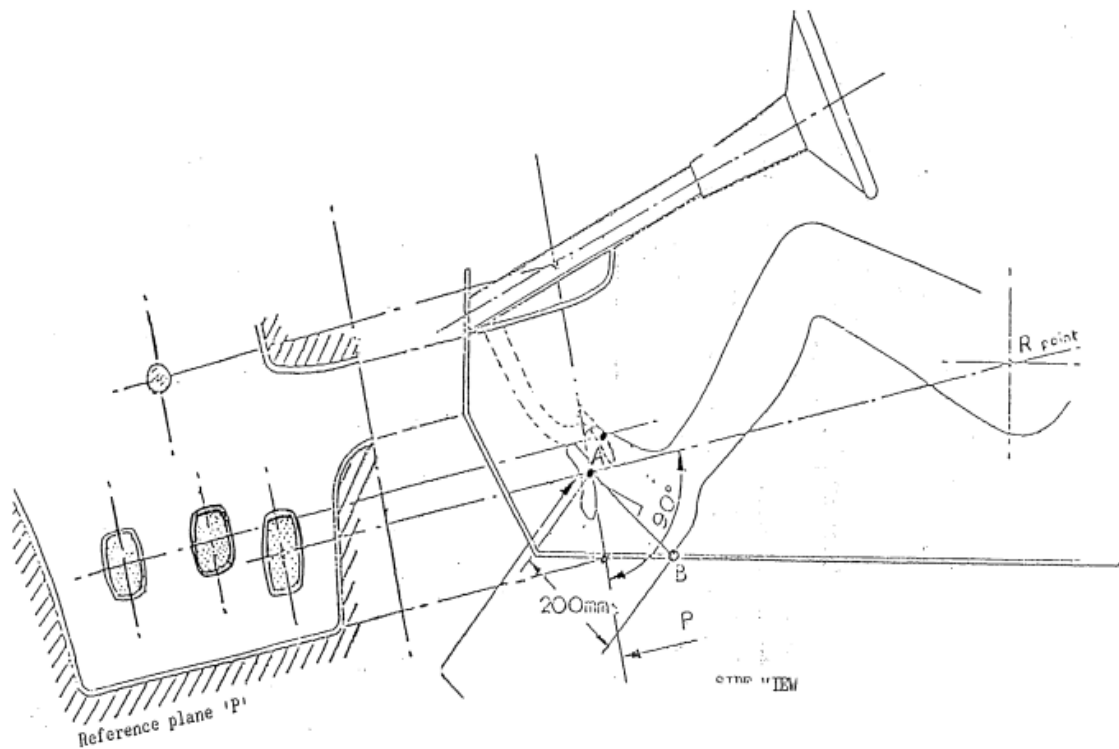


Bild 4: Bezugspunkte Pedalerie nach ECE-R 35 [9]

Bei der Ausführung gibt es zwei Varianten. Am verbreitetsten ist bei handelsüblichen Pkw das hängende Pedal, bei dem der Drehpunkt wesentlich oberhalb der Fußspitze positioniert ist [8] S. 294. Von dort ragt über einen Hebel die zumeist leicht konvexe Tretfläche in den Fußraum [14] S. 7. Ein Abrutschen nach oben ist hier unwahrscheinlich. Auf diese Fläche wird die Pedalkraft durch den Fahrer ausgeübt und an das System, also Kupplung, Bremse oder Motor, weitergeleitet. Das erfolgt entweder mechanisch oder beim Drive-by-Wire elektronisch. Die zweite Art der Lagerung ist das stehende Pedal, bei dem der Drehpunkt nah bzw. am Fahrzeugfußboden und somit am Fahrpedalfersenpunkt zu finden ist. Dies ist weniger weit verbreitet und findet vorrangig bei Herstellern im Sport- und Premiumsegment beim Fahrpedal Anwendung. Dieses weist eine in der Regel gerade Tretfläche auf, welche größer und somit zum einen für kleinere Füße besser bedienbar ist und zum anderen ein Abrutschen in die Vertikale unterbindet [14] S. 7.

Die Bewegungsrichtungen unterscheiden sich je nach Art der Lagerung, wie Bild 5 zeigt.

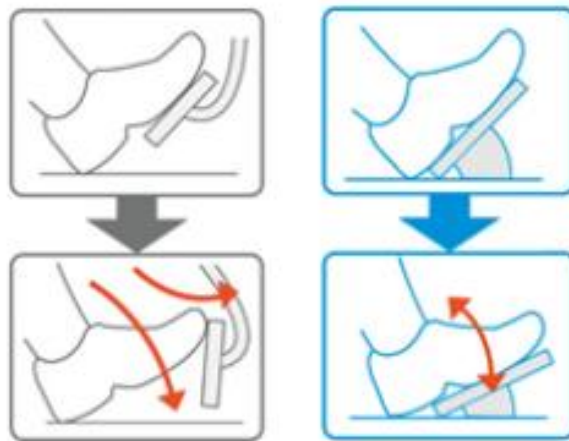


Bild 5: Bewegungsrichtungen und prinzipielle Anordnung von hängenden (links) und stehenden Pedalen (rechts) [14] S. 8

Eine optische Möglichkeit der Prüfung, welches Pedal in welcher Stellung bedient wird, existiert nicht [13] S. 1194. Damit der Fahrer weiß, welches Pedal er mit dem Fuß gerade berührt und um eine ungewollte Beschleunigung zu verhindern, ist in vielen Fahrzeugen ein Pedalsprung von 20 bis 30 mm zwischen Brems- und Fahrpedal realisiert [8] S. 378.

Neben den Aspekten der Positionierung spielt bei der Bedienung auch die Charakteristik der Pedale eine wichtige Rolle. Sie ist in ihrer Feinabstimmung abhängig von Hersteller, Modell und Motor. Das Pedalgefühl steht in Verknüpfung von Pedalweg und -kraft sowie dem Ansprechverhalten und Verzögerungsvermögen. Des Weiteren spielen auch Leerwege, Hysterese oder Rückwirkungen durch das Eingreifen von Regelungseinrichtungen eine Rolle [52] S. 280. Bei jedem Pedal erwartet der Fahrer eine Rückmeldung des Fahrzeuges über seine Tätigkeit in Form der Änderung der Bewegung, also Beschleunigung oder Verzögerung. Allgemein gilt dabei eine Systemreaktion von 50 bis 150 ms als sofort [8] S. 329 f. Vor allem der Charakter des Bremspedals ist ein besonderes Thema, da hier von geringen Geschwindigkeitsanpassungen bis hin zu Vollverzögerungen ein weites und empfindliches Spektrum abgedeckt werden muss. Die Bremspedalcharakteristik ist abhängig von der Fahraufgabe. Beim Rangieren wird mit Feingefühl und Pedalweg gearbeitet. Bei einer Notbremsung ist die Pedalkraft höher und abrupt [52] S. 280. Somit ergeben sich jeweils verschiedene Verläufe der Kraft-Weg-Linie am Bremspedal, wie exemplarisch anhand des Verhaltens eines zeitgenössischen Pkw mit servounterstützter Bremse in Bild 6 verdeutlicht wird.

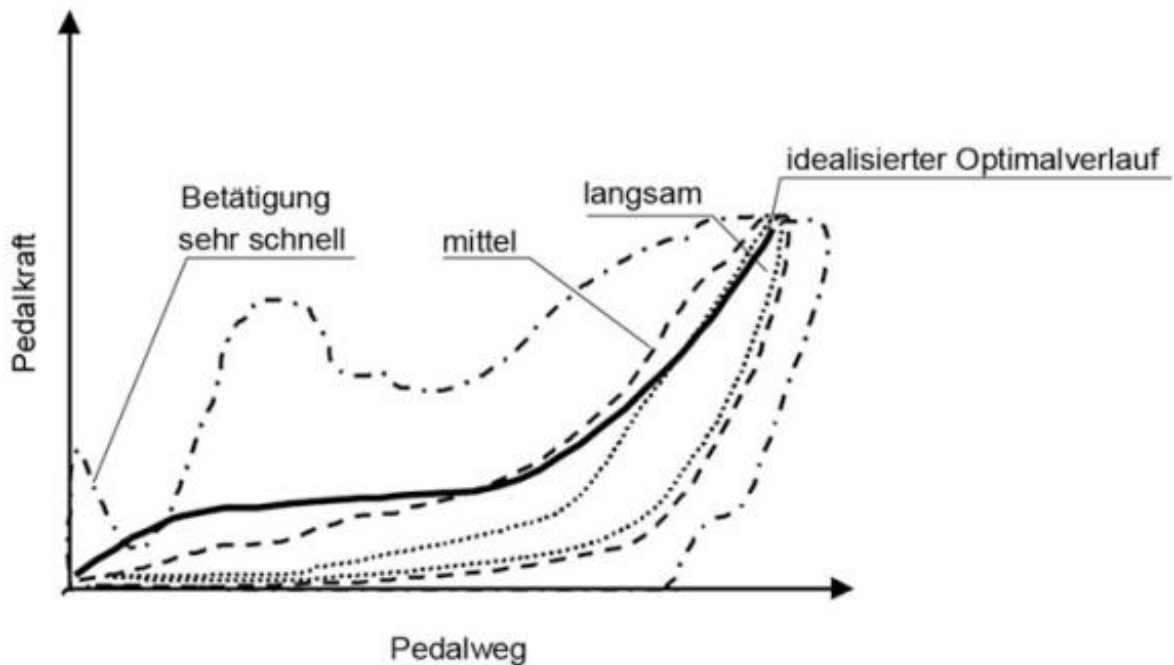


Bild 6: Kraft-Weg-Verlauf eines Bremspedals [8] S. 333

Aufgrund der kurzfristigen Nutzungsdauer ist ein Wert der Betätigungskraft von etwa 40 bis 50 N anzunehmen. Unabhängig von der Betätigungsart kommt es bei konventionellen mechanischen Einrichtungen zu einer relativ großen Hysterese, was bei neueren Fahrzeugen durch elektronische Regelungen entschärft wird [13] S. 1195.

Letztlich unterliegt die Pedalcharakteristik keiner einheitlichen Norm und ist unter den OEM unterschiedlich definiert sowie stets ein Kompromiss zwischen Haptik und Technik. Das Betätigungsgefühl ist subjektiv [52] S. 280.

Bei dem Fahrpedal kommt es in Bezug auf die Rückstellkräfte darauf an, dass ein Mittelweg aus Diskomfort bei Dauerbedienung und einer ausreichenden Rückmeldung umgesetzt ist [13] S. 1195. Dabei hat sich bei einer Pedalstellung von zwei Dritteln eine Kraft von etwa 27 N herauskristallisiert. Das stellt die Summe aus der durchschnittlichen Ruhekraft des Fußes von 20 N und der für eine Dauerbetätigung zumutbaren ca. 7,2 N nach der Borg-Skala dar [8] S. 329. Die Kraft fällt damit deutlich geringer aus als beim Bremspedal. Auch bei dem Kupplungspedal ist die Charakteristik durch eine starke Hysterese geprägt [53] S. 736. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Reibungs- und Wegverluste bei der Übersetzung zwischen Pedal, Schalthebel, Hydraulik und anderen Baugruppen entstehen. Im Dosierbereich ist die Rückstellkraft nahezu unabhängig vom Pedalweg, um eine bestmögliche und sichere Bedienung zu gewährleisten [13] S. 1196.

2.2 Reaktions- und Ansprechzeiten

Der Mensch unterliegt gewissen zeitlichen Verzügen, welche als Reaktionszeiten bezeichnet werden. Diese sind je nach Alter, physischer und psychischer Verfassung unterschiedlich. Oberstes Ziel sollte stets sein, durch das eigene Verhalten diese so kurz wie möglich zu halten, da während der Reaktionszeit das Fahrzeug mit vorerst gleichbleibender Geschwindigkeit gewisse Distanzen zurücklegt [15] S. 184 f. Junge Menschen haben in der Regel eine schnellere Auffassungs- und Umsetzungsgabe als ältere Personen. Aus Untersuchungen sind statistische Werte berechenbar, um die Größenordnungen solcher Zeiten zu definieren. Neben der menschlichen Komponente hat auch das Bremssystem an sich einen technisch bedingten Anteil am Zeitverzug.

Im Folgenden werden die Zeiten nach BECKE, BURG und MOSER [55] anhand eines Notbremsvorgangs beschrieben. Bevor die eigentliche Reaktionsphase beginnt, folgt die Blickzuwendungszeit. Von der ersten peripheren Aufnahme bis zur Fixierung des Gegenstandes verstreichen 0,48 s; nur 2 % sind dabei schneller als 0,32 s. Sollte nicht das Objekt selbst, sondern dessen Bewegungsänderung das Problem darstellen, muss dies extra berücksichtigt werden. Nach der Erkennung der Gefahr beginnt die eigentliche Reaktionsdauer, welche insgesamt 0,69 s dauert. In einer Grundzeit von 0,45 s müssen die Situation interpretiert und passende Maßnahmen eingeleitet werden. Diese werden dann in der zweiten Phase in 0,19 s Umsetzzeit realisiert. In der letzten Etappe, der Ansprechzeit, muss nach Betätigung des Bremspedals das System in einer Zeit von bis zu 0,05 s reagieren [55] S. 153 f. Der Ansprechverzug beruht auf Verlusten durch das Spiel oder die Elastizität in den Bauteilen der Bremsanlage bzw. auf der Trägheit der Strömung der Bremsflüssigkeit. Nun folgt die Schwellzeit, in der die Bremsverzögerung ansteigt, jedoch spürbar erst ab der Hälfte dieser Phase eintritt [15] S. 185 ff. Die Schwelldauer kann bis 0,3 s betragen [56] S. 289. Wenn im Falle einer Notbremsung die Maximalverzögerung erreicht, das Fahrzeug aber noch nicht zum Stehen gekommen ist, setzt die Vollbremszeit bis zum endgültigen Stillstand ein [16] S. 57 f. Der gesamte Verlauf des Bremsvorgangs ist in Bild 7 dargestellt.

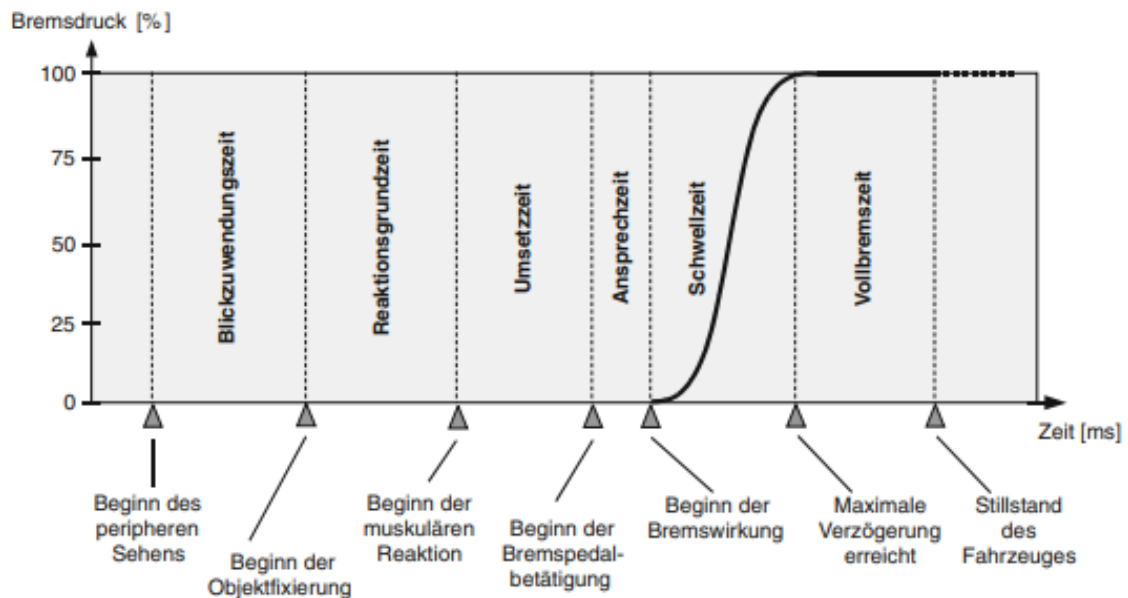


Bild 7: Zeitanteile Bremsvorgang am Beispiel einer Notbremsung [16] S. 58

Bei unaufmerksamen Personen am Steuer kann die Reaktionszeit insgesamt bis zu 3 s dauern, im Gegensatz dazu bei äußerst reaktionsfähigen Fahrern nur 0,7 s. Um bei einer Gefahrenlage schnellstmöglich den Bremsvorgang einleiten zu können und eine geringe Reaktionszeit zu erreichen, sind auch für diese Thematik diverse unterstützende Systeme und dazugehörige Anzeigen entwickelt worden. Warnsymbole im Kombiinstrument oder im Head-up-Display sowie akustische oder haptische Warnsignale, teils in Kombination miteinander, sollen den Fahrer rechtzeitig auf die Gefahr aufmerksam machen und damit die Zeitspannen verringern [19] S. 234 f.

2.3 Parkvorgänge und -unfälle

Das Parken ist Bestandteil der primären Fahraufgabe, das notwendigerweise zu Beginn und Ende jeder Fahrt ausgeführt werden muss. Zu diesem gesamten Stillstandsmanagement [8] S. 550 gehören die Wahl des Parkstandes, das Einparken an sich mit dem verkehrssicheren Abstellen sowie zu Beginn der nächsten Fahrt das Ausparken bis zum Einordnen in das fließende Verkehrsgeschehen [18] S. 9. Gemäß der prinzipiellen Einteilung der primären Fahraufgabe [8] S. 550 lässt sich auch der Parkvorgang in folgende Phasen einteilen:

- Navigation: Suchen eines geeigneten Parkplatzes oder Festlegung des Ziels
- Führung: Bestimmung des Weges in bzw. aus der Lücke
- Stabilisierung: Umsetzung des Kurses

Dabei wird in jedem Fall die Strecke und Geschwindigkeit an die Situation angepasst, damit unter keinen Umständen ein in der Umgebung der Parkposition

befindliches Objekt berührt wird. Um dies zu erreichen, muss der Fahrer einen passenden Fahrverlauf bestimmen und diesen durch die Betätigung von Pedalerie und Lenkung sowie unter Zuhilfenahme der Spiegel und eventueller Assistenzsysteme unfallfrei umsetzen.

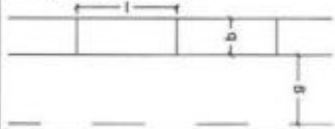
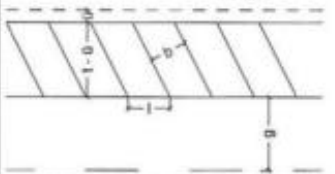
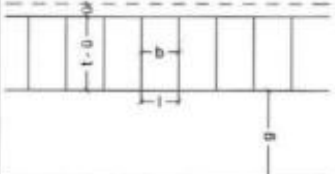
Bei der Art der Parkstände lassen sich drei verschiedene Typen unterscheiden. Die erste Variante, welche quantitativ den meisten Pkw Raum gibt, ist das Senkrecht- oder auch Querparken. Dabei stehen die Fahrzeuge parallel zueinander orthogonal zur Fahrbahn. Vorrangig ist dies auf Parkplätzen von Supermärkten und Einkaufszentren zu finden, aber auch an anderen Orten im Stadtbild. Der zweite Typ, der primär aufgrund von begrenzten Breiten der Straßen in Städten anzutreffen ist, ist das Längsparken. Dabei stehen die Fahrzeuge hintereinander parallel zum Fahrbahnrand. Die dritte Version von Parkständen ist die Schrägaufstellung, in der die Autos in einem bestimmten Winkel zur Fahrbahn angeordnet stehen. Oftmals ist dies in Einbahnstraßen zu finden [18] S. 9 ff.

Für eine adäquate Dimensionierung von Parkflächen wird zumeist nach den EMPFEHLUNGEN FÜR ANLAGEN DES RUHENDEN VERKEHRS [21] der Arbeitsgruppe Straßenentwurf von der FGSV gehandelt. Dieses Werk gilt als Grundlage für die Planung von Parkflächen und wird ca. alle 15 bis 20 Jahre überarbeitet. Vor allem die Maße werden an die aktueller Kfz angepasst. Somit ist bei älteren Parkeinrichtungen offensichtlich, dass diese stellenweise weniger passend für zeitgenössische Fahrzeuge konzipiert sind.

Für die Auslegung von Parkplätzen wird ein Bemessungsfahrzeug definiert, welches in seinen Abmessungen 85 % der handelsüblichen Fahrzeuge abdecken soll, so dass ein möglichst großer Teil die Parkstände nutzen kann. Dabei wird nach der aktuellen Ausgabe aus dem Jahr 2023 von einer Gesamtfahrzeuglänge inklusive aller Überhänge von 4,88 m mit einer Breite von 1,89 m ohne Außenspiegel bei einem äußeren Wendekreisradius von 5,85 m ausgegangen. Die festgesetzte Höhe von 2 m ist ausschließlich bei der Planung von Parkbauten von Bedeutung. Anbauteile wie Außenspiegel oder Anhängerkupplungen werden über Bewegungs- und Begegnungszuschläge berücksichtigt, welche bei einem Pkw mindestens 0,25 m bzw. bei Kurvenfahrten 0,50 m betragen sollen. Abhängig von Aufstellwinkel, Stellplatzbreite und Fahrtrichtung hat die Auslegung der Fahrgasse für einen komfortablen und sicheren Ein- bzw. Ausparkvorgang zu erfolgen. Der seitliche Abstand hat, unabhängig von Aufstellungsart und ob ein Fahrzeug oder Bauwerk benachbart liegt,

insgesamt mindestens 0,75 m zu betragen [21] S. 26 ff. Aus diesen Grundlagen ergeben sich die in Tabelle 1 aufgeführten Abmessungen, nach denen neue Parkeinrichtungen ausgelegt werden sollen.

Tabelle 1: Abmessungen von Parkständen nach Aufstellungsart [21] S. 37

	Aufstellwinkel	Tiefe ab Fahrgassenrand	Breite des Überhangstreifens ¹⁾	Breite des Parkstands	Straßenfrontlänge l [m] beim Einparken		Fahrgassenbreite g [m] beim Einparken	
	α [gon]/[°]	t - ü [m]	ü [m]	b [m]	vorwärts	rückwärts	vorwärts	rückwärts
Längsaufstellung 	0/0			$\geq 2,00^{2)}$		5,80 5,50 ³⁾	3,25	3,80
Schrägaufstellung $l = \frac{b}{\sin \alpha}$ 	50/45	4,35	0,70	2,65	3,75		3,50	
	60/54	4,65	0,70	2,65	3,27		3,50	
	70/63	4,80	0,70	2,65	2,98		4,00	
	80/72	4,85	0,70	2,65	2,79		5,00	
	90/81	4,75	0,70	2,65	2,68		5,50	
Senkrechtaufstellung 	100/90	4,50	0,70	2,65	2,65	2,65	6,00	5,60
¹⁾ Trotz der sich in der Praxis bei kleineren Aufstellwinkeln einstellenden geringeren Fahrzeugüberhänge in den Seitenraum, wird die Breite des Überhangstreifens unabhängig vom Aufstellwinkel einheitlich auf $\bar{u} = 0,70$ m festgelegt. Darin ist immer auch ein Schutzabstand von mindestens 0,20 m enthalten (siehe Abschnitt 3.4.2). ²⁾ Bei ausreichender Flächenverfügbarkeit kann die Breite des Parkstands auf 2,15 m erhöht werden. ³⁾ Durchschnittswert ohne Markierung								

Für den Parkenden ist es mit Stress verbunden, in stärker frequentierten Straßen sicher einzuparken, unabhängig ob längs oder quer. Denn hinterherfahrende oder entgegenkommende Fahrzeuge möchten nicht bzw. kaum behindert werden oder fahren zu dicht auf. Beim Längsparken kommt noch die Problematik des Abschätzens der Länge von Auto und Lücke dazu.

Um daher zumindest beim Querparken möglichst schnell und einfach eine Abstellposition zu erreichen, wird oft vorwärts eingeparkt [18] S. 10 f.

Auch wenn viele modernere und zeitgenössische Pkw mit einer Reihe von Parkassistenzsystemen ausgestattet sind, kommt es vor allem beim rückwärtigen Ausparken oft zu Parkschäden. Die Anzahl solcher Helfer ist von Alter und Ausstattungsumfang des Autos abhängig und ältere Fahrzeuge und Vertreter niederer

Fahrzeugklassen prägen nach wie vor das Straßenbild. Oft passieren Parkunfälle aus Unkenntnis der Dimensionen des eigenen Kfz oder der Umgebung, die durch mangelnde Erfahrung, schlechte Rundumsicht, physische und psychische Einschränkungen oder durch Selbstüberschätzung bedingt sind. Dabei werden Lenkbewegungen zu unvorsichtig ausgeführt, was ein Touchieren von beispielsweise der Seite eines benachbarten Pkw und dessen Beschädigung über eine teils große Fläche zur Folge hat. Ein weiterer Grund bei Zwischenfällen während des Stillstandsmanagements ist eine Fehlbedienung von Stellteilen, wie eine falsche Stellung des Gangwahlhebels oder das Verwechseln oder Abrutschen von Pedalen. Fehlbedienungen können ebenfalls in Fahrzeugen mit Assistenzsystemen passieren. Auch eine Störung, ein Ausfall oder eine Fehlfunktion des elektronischen Helfers kann zu solchen Beschädigungen führen.

Parkschäden finden trotz einer großen jährlichen Anzahl kaum Beachtung in der Unfallstatistik, da die meisten Fälle nicht angezeigt werden. Untersuchungen ergaben, dass nur jeder vierte Parkschaden überhaupt aufgenommen wird. Eine Dunkelziffer von etwa 4,8 Mio. Fällen taucht nicht in den offiziellen Daten auf [11] S. 1. Als Unfall wird ein Vorfall bezeichnet, bei welchem durch eine unzulässig große Abweichung der eigentlichen Fahraufgabe ein Schaden in bestimmtem Umfang auftritt. Dabei ist ein Schaden als Benachteiligung durch eine Zuwiderhandlung gegen Rechtsgüter definiert, welche durch eine bestimmte Handlung oder einen Zustand bedingt wird [51] S. 2.

Bei der Aufnahme eines Schadenfalls werden durch die Polizeibeamten nach einem Ursachenverzeichnis die jeweils vorliegenden Unfallursachen bestimmt. Diese können zum einen allgemeiner Natur sein, wie etwa Straßen- und Witterungsumstände, oder auch personenbezogene Gründe haben, so zum Beispiel das Missachten der Vorfahrt, mangelnde Verkehrstüchtigkeit oder Fehlbedienungen des Fahrzeugs. Auch ein nicht ausreichend verkehrstüchtiges Fahrzeug kann einen Grund darstellen. Nach der Ursache lässt sich auch der Unfalltyp anhand eines Kataloges bestimmen, je nach Art von Ort und Umstand. Parkkollisionen zählen dabei zur siebten und letzten Kategorie «Sonstiger Unfall», die neben dem Parken weitere Rangierunfälle, technikbedingte Ausfälle oder auch Tierkollisionen beinhaltet. Darüber hinaus werden die Unfallart, die beteiligten und eventuell geschädigten Personen sowie deren Fahrzeugklassen dokumentiert [20] S. 3 ff.

2.4 Menschliche Wahrnehmung

Das Verhalten des Menschen ist auch im Straßenverkehr nicht fehlerfrei oder stets gut berechenbar. So sind 95 % der Schadenereignisse auf mangelhafte Tätigkeiten des Fahrers zurückzuführen, auch wenn diese unweigerlich in Korrelation mit weiteren Faktoren der Umwelt stehen. So werden durch unzureichende Aufmerksamkeit Gefahren zu spät oder nicht erkannt, falsch interpretiert oder durch versehentliche Fehlbedienungen sogar erst herbeigeführt oder verstärkt. Auch eine Überforderung durch die Dichte der Informationen kann zum Auslöser werden [6] S. 269 ff. Die Wahrnehmung kann als Informationsstrom vom Sinnesorgan zum Gehirn, der dortigen Interpretation und dem Strom zurück zu den ausführenden Extremitäten verstanden werden. Junge Fahrer können zwar wesentlich schneller reagieren, ältere haben aber zumeist den höheren Erfahrungswert, um die Situation effizienter aufzufassen und danach pragmatischer zu handeln. Ab einem gewissen Alter nimmt diese Fähigkeit wieder ab, sodass nicht nur das kognitive, sondern auch das physische Vermögen stellenweise unzureichend werden kann und mit einem höheren Gefährdungsrisiko einhergeht. Vor allem eine abnehmende Sehfähigkeit und eingeschränkte Orientierung über das gesamte Blickfeld werden dabei zu Problemen [6] S. 270 ff.

Das Wahrnehmen von Reizen setzt zunächst die Aufmerksamkeit voraus. Diese lässt sich auf verschiedenen Ebenen, die auch ineinander übergehen können, differenzieren. Diese Ebenen sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Aufmerksamkeitsebenen [Eigene Darstellung nach [32] S. 41 ff.]

Aufmerksamkeit	Charakterisierung
Aktiv	bewusste Konzentration auf Tätigkeit (z. B. Fahraufgabe)
Passiv	kurze, abwendende Blicke
Verteilt	große Aufnahmespanne, zu viele Reize zum Verarbeiten, schnellere Ablenkung
Fokussiert	kleine Aufnahmespanne, Konzentration
Selektiv	aktive Informationssuche oder durch plötzliche Reize ausgelöst
Unspezifisch (Wachheitsgrad)	allgemeine Reaktionsfähigkeit, Verzerrung durch Müdigkeit oder Betäubungsmittel

Die Aufnahme der Verkehrssituation, der Umgebung sowie des Verhaltens des eigenen Fortbewegungsmittels erfolgt neben der Sehfähigkeit der Augen über das

Hören mit den Ohren sowie das Fühlen mit den Mechanorezeptoren und dem Gleichgewichtsapparat. Sämtliche Reize werden durch die jeweils zuständigen Organe erst ab einer bestimmten Stärke und Wirkzeit registriert. Die jeweiligen Signale müssen so aufgenommen werden, dass sie dem Fahrer auffallen und in das Bewusstsein dringen, damit dieser sie identifizieren, einordnen und nach seinen Erfahrungen bzw. seinem Wissen handeln kann [26] S. 296 ff. Diese Signale müssen die Wahrnehmungsschwelle passieren. Sie beschreibt die Reizintensität, an der der Mensch das jeweilige Signal gerade noch wahrnehmen kann. Diese ist subjektiv und schwer zu verallgemeinern, da Tests und Praxisversuche unter Laborbedingungen stattfanden und so nicht auf alle Personen und Situationen im Alltag anwendbar sind. Vor allem der Unterschied zwischen der Absolutschwelle und der Unterschiedsschwelle, also der Differenz zwischen Reiz- und Umgebungspegel, ist zu beachten [32] S. 46 ff.

Die visuelle Wahrnehmung ist der wichtigste Sinn im Straßenverkehr. Sämtliche Lichtreize des Sichtfeldes treten durch die Pupille in das menschliche Auge ein, werden durch die Linse auf der Netzhaut gebündelt und erzeugen dort über Empfängerzellen Reize. Diese Zellen sind zum einen die Zapfen, die das scharfe Farbsehen gewährleisten, und zum anderen die Stäbchen, welche ein weniger scharfes Sehen von Kontrasten in der Dunkelheit ermöglichen. Jene Reize werden schlussendlich im Gehirn zu Bildern zusammengesetzt und erschlossen. Die gesamte Phase dauert normalerweise etwa 0,1 s. Das Vermögen des visuellen Sinnes ist personenbedingt und hängt von der Ausprägung der Bestandteile des Auges ab, je nach Genetik und Alter. Beim Verlauf oder dem Wechsel von Helligkeiten kann es zu subjektiven Schwierigkeiten kommen, da das Auge vom Zapfen- auf das Stäbchensehen umstellen muss. Dies findet in der Dämmerung, aber auch bei der Fahrt in einen oder aus einem Tunnel am Tage statt. Neben den biologischen Voraussetzungen wird das visuelle Potenzial vom Sichtraum bestimmt. Dieser besteht zum einen aus dem Sichtfeld, welches fest durch die Konstruktion der Säulen des Greenhouses und den Winkel von Front- und Heckklappe sowie der Positionierung und Art der Spiegel bestimmt ist. Diese Umstände sind stationär zum Fahrzeug und relativ zum Fahrer, der das Blickfeld durch den Schulterblick erweitern kann. Zum anderen gibt es relativ zum Fahrzeug Objekte, welche einen veränderlichen Sichtraum erzeugen und eventuelle Vorgänge verdecken, wie zum Beispiel parkende Autos,

Bäume oder auch Senken und Kuppen bei Höhendifferenzen im Straßenverlauf [26] S. 310 ff.

Ein weiterer Sinn, welcher im Straßenverkehr eine Rolle bezüglich der Aufnahme äußerer Reize zum sicheren Fahren spielt, ist die auditive Wahrnehmung. Über die Ohren und den anschließenden Gehörgang werden Töne aufgenommen, je nach ihrer Art, Intensität und Frequenz. Auch das Hörvermögen ist gemäß geistiger und körperlicher Verfassung personenbedingt und nimmt ebenfalls mit zunehmendem Alter ab. Ein akustisches Signal muss auch eine Wahrnehmbarkeitsschwelle überschreiten, welche durch Geräusche wie Gespräche, Radiomusik oder sonstige Umgebungsgeräusche heraufgesetzt wird. Dennoch ist je nach Ausprägung von Frequenz, Lautstärke und Zeitmuster eine Unterscheidung zu Tönen der Umwelt möglich [26] S. 301 ff.

Der letzte beim Führen eines Fahrzeugs bedeutende Sinn ist die taktile Wahrnehmung. Dabei werden über Mechanorezeptoren an den Stellen, an denen der Körper Teile des Fahrzeugs wie beispielsweise den Sitz berührt, Informationen aufgenommen. Auch hier muss eine Schwelle der Wahrnehmbarkeit überschritten werden, die auf die jeweilige Bewegung aufmerksam macht.

Ferner werden Bewegungen wie Beschleunigungen und Verzögerungen des Fahrzeuges über den Vestibulärapparat, den Gleichgewichtssinn im Inneren der Ohren, registriert [26] S. 301 ff.

Die Kombination der Fähigkeiten dieser Sinnesorgane soll ein sicheres Führen des Fahrzeuges gewährleisten. Beim Eintreten von Gefahrenlagen nach Überschreiten der jeweiligen Wahrnehmungsschwellen muss es in die Unterbindung eines Schadenereignisses münden. Sollte es jedoch zu Kollisionen kommen, müssen diese vom Fahrer zur Kenntnis genommen werden, um keine Fahrerflucht zu begehen. Bei vielen Streifkollisionen ist nicht eindeutig nachweisbar, ob dies wahrnehmbar gewesen sein muss. Ein rein optisches Übersehen ist zumeist unwahrscheinlich. Problematischer ist das Unterschätzen von minimalen Bewegungen um die Fahrzeugachsen oder das Nicht-Sehen der Stellen außerhalb des Sichtbereiches [26] S. 305 f. Kontakte dieser Art sollen in modernen Fahrzeugen durch Parkhilfen wie Ultraschallsensoren in den Stoßfängern oder Kamerasysteme unterbunden werden. Aufgrund guter akustischer Dämmung moderner Pkw und der Überlagerung der stellenweise leisen Geräusche solcher Kollisionen mit den Tönen der Umgebung ist eine Wahrnehmung über den Hörsinn selten möglich und kaum bis nicht

nachweisbar. Zwar ist bei einem akustischen Signal anders als beim Sehen keine direkte Zuwendung nötig, jedoch muss es die Hörschwelle merklich überschreiten. Die Geräusche der Kollision müssen eine Lautstärke von 1 bis 2 dB über den Umgebungsgeräuschen aufweisen, um wahrnehmbar zu sein [31] S. 1075 ff. Am wahrscheinlichsten ist die Aufnahme solcher Berührungen durch die taktilen und vestibulären Reizeempfänger, auch wenn dennoch die Gefahr einer Überdeckung mit der Umwelt bestehen kann [29] S. 164 f. Die durch die Kollision hervorgerufene negative Beschleunigung des eigenen Fahrzeugs wird so vom Körper registriert. Die Stärke dieser hängt von der tatsächlichen Wahrnehmbarkeit ab, sodass minimale Berührungen nicht zwangsläufig registriert werden müssen. Die unter realen Bedingungen auftretenden Ablenkungen in Form von Geräuschen und Geschehnissen innerhalb und außerhalb des Fahrzeugs können die Wahrnehmungsgrenzen verschieben. Diese ist ferner nicht allein von der Intensität der Kollision, sondern auch von deren Zeitverlauf abhängig. Nach Untersuchungen von WOLFF [30] und dem von ihm aufgestellten Beschleunigungs-Ruck-Kriterium lässt sich eine Grenzkurve ermitteln, nach der Kollisionen als sicher und unsicher wahrnehmbar differenzierbar sind. Dazwischen liegt ein Grenzbereich, in dem theoretisch beides, abhängig von der jeweiligen Situation, möglich wäre. Weiterhin ist auch die Stelle, an der das geschädigte Fahrzeug touchiert wird, bei der Wahrnehmbarkeit von Bedeutung. Während an Teilen mit geringer Struktursteifigkeit wie der Türaußenhaut oder Kunststoffteilen spät oder nichts wahrgenommen wird, sind Kollisionen an Strukturteilen wie A- oder B-Säule wahrscheinlicher wahrnehmbar. Da an modernen Fahrzeugen Kunststoffstoßfänger Standard sind, werden durch diese viele Kontakte stark gedämpft, sodass sie kaum bis nicht mehr erkannt werden können [30] S. 128 f. Wenn sich an der Stelle bereits ein vorangegangener Schaden befindet, kann der Schallpegel bis zu 10 dB(A) niedriger und so akustisch kaum oder nicht mehr wahrnehmbar sein [31] S. 1080.

Als weitere Erklärungen eines möglichen Nichtwahrnehmens kann die Verarbeitungsleistung des Gehirns genannt werden. Die bewusst aufgenommene Menge an Informationen ist ein äußerst geringer Bruchteil dessen, was insgesamt zur Verfügung steht. So kann es durch das Zusammenspiel der Sinne bei der Reizverarbeitung zu einer Überlastung kommen, sodass gewisse Impulse nicht mehr verarbeitet werden. Diese fahrerspezifische Fähigkeit der reduzierten Informationsverarbeitung hängt vom Lern- bzw. Erfahrungsvermögen sowie Reflexen und Motorik ab. Dies

kann neben physischen Faktoren und Betäubungsmitteln durch psychische Probleme, zu wenig Schlaf oder sogar Verdauungsprobleme beeinträchtigt werden. Des Weiteren wirken sich subjektive, teils unbewusste Erfahrungswerte in Bezug auf die Wahrnehmung, den Prozess der Unfallaufnahme sowie die Handlung und Kenntnisnahme bei einem kleinen Schadenereignis aus. Im Einzelfall muss eine medizinische Untersuchung des Verursachers erfolgen [29] S. 32 ff.

2.5 Beschaffenheit des Schuhwerks

Der Schuh stellt den Übertragungspunkt zwischen Mensch und Maschine dar und hat somit einen bedeutenden Einfluss auf die sichere Bedienung der Fußstellteile. Daher folgt der gesellschaftliche Konsens, dass festes, aber bequemes Schuhwerk beim Autofahren getragen werden soll, um eine sichere Handhabung garantieren zu können. Badeschuhe, High Heels oder massive Sohlen wie bei Wander- oder gar Skischuhen sind ungeeignet, wenn auch nicht durch die StVO explizit verboten. Dennoch wird im Schadenfall eine Teilschuld zugesprochen und es kommt zu eventuellen Leistungskürzungen der Versicherung [22].

Wie bei den sonstigen Maßen des menschlichen Körpers und seiner Extremitäten muss auch bei denen der Füße und damit einhergehend bei deren Bekleidung, den Schuhen, eine Nutzung der jeweiligen Perzentile abgedeckt sein. Neben der nicht vorhandenen Verstellmöglichkeit der Pedalerie ist auch deren Aufstandsfläche fest determiniert und muss vom kleinen Damenschuh bis zum großen Herrenschuh sicher bedienbar sein. Auch wenn die Abmessungen des Fußes individuell sind, können sie aufgrund eines unter der Bevölkerung normalverteilten ähnlichen Vorkommens in verschiedenen Größenstufen gestaffelt werden. Dabei ist zu beachten, dass ein Maßzuschlag im Schuh vorhanden ist, damit ein Gleiten des Fußes beim Abrollen während der Laufbewegung gewährleistet werden kann.

Die Schuhgröße bezeichnet grundlegend die Urform des Fußes, das Innenmaß die Fußlänge zuzüglich des Schubzuschlags und das Außenmaß die externen Abmessungen, bedingt durch Art des Schuhs und der Sohle. Gesonderte Breitenmaße werden normalerweise nicht verwendet und sind durch die Länge mitbedingt. Neben den Größendimensionen sind Bewegungszuschläge für den Fuß auf dem Pedal zu bedenken. Außerdem muss die Fußablage die Länge abdecken und für einen sicheren Halt mindestens zwei Drittel der Breite gewährleisten [8] S. 194 f.

Die Freigängigkeit aller Größen muss garantiert sein, ohne dass mehrere Pedale gleichzeitig betätigt oder die Wege zu lang werden.

Die Beschaffenheit der Schuhsohle als Kontaktfläche zwischen Fuß und Pedal hängt von der Art des Schuhs, dem Material und dem Profil ab. So gibt es von leichten, wenig profilierten Turnschuhen bis hin zu Wanderschuhen mit stark ausgeprägtem Profil diverse Ausführungen, welche ein unterschiedlich gutes Pedalgefühl ermöglichen. Als weitere Variable gelten dabei zusätzlich Witterungseinflüsse, welche durch Verschmutzung oder Feuchtigkeit eine weitere Wirkung auf die Sohle und die Bedienung haben.

Unter diesen Gesichtspunkten führte SOMMER [23] in seiner Diplomarbeit Versuche bezüglich der Bestimmung von Reibwerten jener Sohlentypen durch. Dabei galt ein handelsüblicher leichter Turnschuh mit einer glatten Sohle als typischer Sommerschuh und ein Stiefel mit einem abgesetzten, groben Profil als Vertreter eines typischen Winterschuhs. Diese wurden in drei Verschmutzungsgraden untersucht. Als Referenz galt eine trockene Lauffläche auf trockenem Pedal. Regen oder Tau sollten mit einer nassen Sohle auf nassem Pedal simuliert werden. Als weiterer typischer Fall wurde eine verschmutzte Sohle auf nassem Pedal untersucht. Um dies im Experiment auf die Umstände eines Kfz übertragen zu können, wurden für die Versuchszone zehn originale Pedalgummis von Volkswagen Golf V, typische und noch weitverbreitete Mittelklassefahrzeuge, verwendet. Die Gummiflächen wurden in Zweierreihen auf einem Brett montiert und dieses mit einer Auslaufzone an die Wand gelegt, um ein Verrutschen der Versuchsfläche zu vermeiden und die Messwerte nicht zu verfälschen. Die Schuhe wurden während der jeweiligen Versuchsdurchführungen auf der Gummifläche positioniert, ohne zusätzliche Kräfte aufzuwenden, die nicht durch Eigengewicht des Schuhs oder der Reibung bedingt wären. Am hinteren Ende der Sohlen wurde ein Federkraftmesser befestigt, welcher das Messgerät für den Versuch darstellte. Ferner wurden zunächst die jeweiligen Massen der Fußbekleidungen mit einer Haushaltswaage bestimmt. Aus den Messreihen der jeweiligen Versuche ergaben sich die in Tabelle 3 aufgeführten Werte.

Tabelle 3: Haftreibwerte von Schuhen nach SOMMER [23] S. 41

Haftreibwert μH	Sommerschuh	Winterschuh
Trockene Sohle	0,982	0,777
Nasse Sohle	0,748	0,677
Verschmutzte Sohle	0,301	0,349

Der trockene Sommerschuh weist den höchsten Reibwert auf, im verschmutzten Zustand den niedrigsten. Dazwischen liegen die Resultate des Winterschuhs, welcher trocken einen nur geringfügig höheren Wert als ein nasser Turnschuh aufweist, dafür im verschmutzten Zustand einen höheren Kennwert als der Turnschuh. Mit dem Versuch wurde abgeleitet, dass die Art des Schuhs, dessen Sohle sowie dessen witterungsbedingter Zustand einen Einfluss auf die sichere Betätigung der Pedalerie haben und unter gewissen Umständen ein Risiko darstellen können [23] S. 35 f.

In einer Studie haben BACKHAUS und MÜLLER [24] den Einfluss der getragenen Schuhe auf die Bediensicherheit von Fahrzeugpedalen untersucht. Vierzig Personen mit einem Durchschnittsalter von 22,7 Jahren und einer mittleren Fahrerfahrung von 4,3 Jahren haben jeweils 84 Bremsversuche sowohl mit festem Schuhwerk als auch mit Flip-Flops unternommen. Das Experiment wurde im Fahrsimulator der Leuphana Universität in Lüneburg durchgeführt, dessen Sitzkiste auf der eines Volkswagen Golf der vierten Generation basiert und somit auch ein typischer, noch heute oft im Straßenbild anzutreffender Vertreter der Mittelklasse ist. Die Probanden sollten den Aufforderungen eines virtuellen Kurses folgen und, mit der jeweiligen Schuhart bekleidet, Bremsvorgänge aufgrund von verschiedenen Signalen durchführen. Um den Versuch möglichst realitätsnah zu gestalten und nicht die gesamte Aufmerksamkeit allein auf die Bremsmanöver zu lenken, wurde eine Nebenaufgabe in Form der Bewältigung des vom System vorgegebenen Kurses gestellt. Mit jedem Schuhwerk wurde die Strecke zweimal befahren und dabei 42 Bremsungen vorgenommen. So wurde herausgefunden, dass bei Flip-Flops die Reaktionszeit zumeist und die Umsetzzeit durchgehend höher gewesen ist als bei festem Schuhwerk. Damit stellt ein besonders leichtes, nicht festes Schuhwerk ein Sicherheitsrisiko dar, welches zu schweren Verkehrsunfällen führen kann. Ziel der Studie war das Belegen der Unfallverhütungsvorschrift für Berufskraftfahrer, dass diese festes Schuhwerk tragen müssen [24].

Aufgrund der geringen Forschungsdichte auf dem Gebiet des Einflusses von Schuhen auf die Fahrzeugpedalbetätigung untersuchte auch ZYTOON [25] von der König-Abdulaziz-Universität in Dschidda, Saudi-Arabien, den Einfluss von unterschiedlichem Schuhwerk auf die Fahrsicherheit. Dabei erforschte er zum einen in Fahrversuchen mit Probanden das jeweilige Verhalten bei der Pedalnutzung mit 15 verschiedenen Schuhtypen. Diese reichten von unterschiedlichen Turnschuhen und Sneakern über Badeschuhe bis zu Anzugschuhen, jeweils mit unterschiedlichen Sohlendicken und aus verschiedenen Materialien. Resultat der Versuchsreihe war, dass die festen Schuhe mit einer relativ geraden Sohle die besten und sichersten Ergebnisse erzielten. Im Gegensatz dazu ist von rundlichen Sohlen, hohen Absätzen, offenem Schuhwerk oder gar barfuß kein gefahrloses Gefühl zu erwarten [25]. Abschließend kann daraus trotz des relativ geringen Forschungsstandes der Schluss gezogen werden, dass die Art und der Zustand des Schuhwerks und der dazugehörigen Sohle einen zentralen Einfluss auf die Bediensicherheit der Pedalerie haben.

2.6 Auswertung bisheriger Untersuchungen

Als Grundlage für die im Anschluss an dieses Kapitel folgenden Betrachtungen und Konzipierungen sollen die im Rahmen von Diplomarbeiten an der Westsächsischen Hochschule Zwickau bereits erfolgten Untersuchungen zur Thematik des Abrutschens von Fahrzeugpedalen vorgestellt werden. Dabei wird auf die durchgeführten Versuche, deren Resultate und Fazite eingegangen.

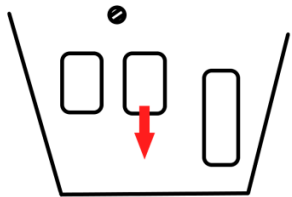
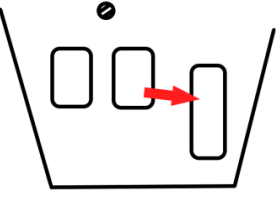
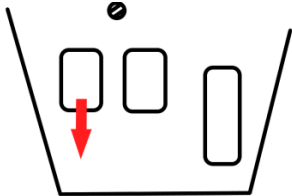
Die Motivation dieser Schriften sowie der vorliegenden Arbeit ist, herauszufinden, inwiefern das bloße Abrutschen von Fußstellteilen zu einer Verkehrsgefährdung und zu größeren Schäden am eigenen oder benachbarten Pkw beim Ausparken führen kann. Als Testgelände für die Realversuche fungierte dabei in allen Fällen der Platz vor den Fahrzeughallen 1 und 2 des August-Horch-Baus.

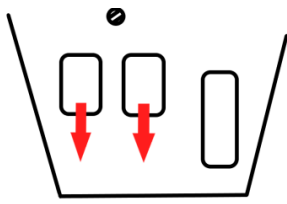
2.6.1 SOMMER (2020)

Erstmalig mit der Thematik hat sich SOMMER [23] beschäftigt. Im Zuge dessen führte er nach Auswertung von Fachliteratur zuerst die im Kapitel 2.5 bereits beschriebene Versuchsreihe zur Bestimmung der Haftreibwerte von Turn- und Winterschuhen durch.

Im Anschluss daran kam es zur Konzeption von Realversuchen möglicher Abrutschszenarien, wie sie in einem Pkw mit manuellem Schaltgetriebe vorkommen könnten. Ausgangspunkt war dabei entweder ein stehendes oder langsam rollendes Kfz. Als Versuchsfahrzeug diente dabei ein handgeschalteter Audi A5. In Tabelle 4 werden die von ihm überlegten Versuche aufgeführt.

Tabelle 4: Von SOMMER entworfene Abrutschvorgänge [Eigene Darstellung nach [23] S. 44 ff.]

Versuch	Stehendes Fahrzeug	Rollendes Fahrzeug
<u>Versuch A:</u> Abrutschen vom Bremspedal 	Rechter Fuß rutscht nach unten vom Bremspedal, Kupplung wird am Schleifpunkt gehalten	Kupplung wird vor dem Abrutschen an den Schleifpunkt herausgelassen bis Pkw rollt, dann erfolgt Abrutschen
<u>Versuch B:</u> Abrutschen von Brems- auf Fahrpedal 	Rechter Fuß rutscht von Brems- auf Fahrpedal, Kupplung wird am Schleifpunkt gehalten	Kupplung wird vor dem Abrutschen an den Schleifpunkt herausgelassen bis Pkw rollt, dann erfolgt Abrutschen
<u>Versuch C:</u> Abrutschen vom Kupplungspedal 	Am Schleifpunkt rutscht linker Fuß vom Kupplungspedal, Bremse gelöst, rechter Fuß betätigt Fahrpedal	Kupplung bis Schleifpunkt herauslassen bis Pkw rollt, dann ab-rutschen und rechten Fuß auf Fahrpedal umsetzen

<u>Versuch D:</u> Gleichzeitiges Abrutschen von Brems- und Kupplungspedal 	Gleichzeitiges Abrutschen von Brems- und Kupplungspedal am Schleifpunkt	Gleichzeitiges Abrutschen von Brems- und Kupplungspedal nachdem Fahrzeug in Bewegung
--	--	---

Aus diesen Varianten und dem Einfluss des witterungsbedingten Zustandes der Sohlen ergaben sich am Ende zwanzig mögliche Versuche, von denen SOMMER [23] fünf für seine Versuchsreihen auswählte. Diese waren die vier in Tabelle 4 genannten Fahrten jeweils ohne aktivierte Feststellbremse sowie beim Abrutschen des Kupplungspedals zusätzlich mit angezogener Parkbremse. Um nahe an eine Ausparksituation zu kommen, wurden die Versuche im Rückwärtsgang absolviert, jedoch wurde eine Geradeausfahrt erforscht. Die gefahrenen Distanzen wurden mit einer Messlatte über eine am vorderen linken Kotflügel angebrachte Kamera gemessen. Ferner erfassten eine im Fußraum montierte Kamera die Fuß- und Beinbewegungen der Probanden sowie eine weitere frontal das Gesamtgeschehen um das Fahrzeug. Die Versuche wurden in zwei Versuchsreihen durchgeführt. Bei jeder Reihe wurden jeweils die zurückgelegten Distanzen, die Abrutschrichtungen, der Einfluss des Schuhwerks auf den Fahrweg sowie die Zeit zwischen Beginn und Ende der Fahrt untersucht. Ferner kam es in der zweiten Gruppe zur Erhebung von Daten bezüglich Person, Fahrerfahrung und Empfindungen beim Versuch durch einen Fragebogen und danach zu dessen Auswertungen. Bei dem Durchgang wurden mit dem Fahrdynamikerfassungsgerät PicDAQ5 außerdem Daten erfasst, welche im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht ausgewertet worden sind.

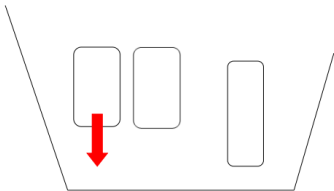
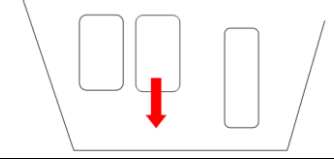
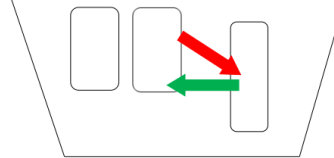
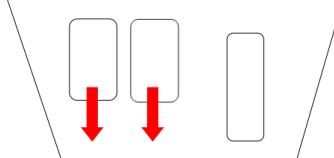
Ergebnis der Versuchsreihen und der Auswertungen von SOMMER [23] war, dass es nicht wahrscheinlich ist, einen entsprechend großen Schaden durch das bloße unbeabsichtigte Abrutschen von Pedalen an einem benachbarten Auto zu verursachen. Die Distanzen sind zu gering und es gibt keine Zeit für ausreichende Beschleunigung, insofern der Fahrzeugführer seine notwendige Fahrtauglichkeit besitzt, die ihm auch in unerwarteten Situationen eine sichere Handhabung des Automobils ermöglicht.

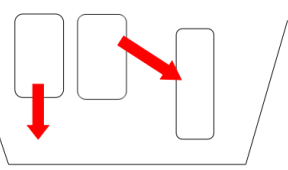
2.6.2 RUMMEL (2021)

Als Weiterführung der Arbeit von SOMMER [23] untersuchte RUMMEL [27] das Abrutschverhalten in einem Pkw mit Schaltgetriebe bei rückwärtiger Geradeausfahrt. Nach einer ebenfalls vorgenommenen Literaturrecherche sowie der Auswertung der bisherigen Untersuchung erweiterte er die Versuche seines Vorgängers, indem jeder Proband die jeweiligen Versuche dreimal durchführte und er ein fünftes Szenario hinzufügte. Tabelle 5 gibt einen Überblick über die gewählten Szenarien.

Ausgangspunkt aller dieser Fahrten war eine gelöste Feststellbremse, getretene Kupplung und ein eingelegter Rückwärtsgang. Nach dem Abrutschen sollte sofort ein sicheres Anhalten durch Bremsen erreicht werden und durch Betätigung des Kupplungspedals das Abwürgen des Motors vermieden werden.

Tabelle 5: Von RUMMEL gewählte Abrutschvorgänge [Eigene Darstellung nach [27] S. 19 ff.]

Versuch	Abrutschvorgang
Versuch R1: Abrutschen vom Kupplungspedal 	Abrutschen des linken Fußes bei Erreichen des Schleifpunktes
Versuch R2: Abrutschen vom Bremspedal 	Erreichen des Schleifpunktes mit links, rechter Fuß zunächst auf Bremse, rutscht danach davon ab, als Reaktion wieder Betätigung der Bremse zum Stoppen
Versuch R3: Abrutschen von Brems- auf Gaspedal, anschließend Bremsung 	Erreichen des Schleifpunkts mit links, Betätigung Bremse mit rechts, abrutschen auf Gaspedal, zurückkehren auf Bremspedal zum Stillstand
Versuch R4: Gleichzeitiges Abrutschen von Brems- und Kupplungspedal 	Beim Erreichen des Schleifpunkts gleichzeitiges Abrutschen von Kupplung und Bremse; Rückkehr beider Füße auf jeweilige Pedale für sicheren Stillstand

<u>Versuch R5</u>: Gleichzeitiges Abrutschen von Kupplungs- und Brems- auf Gaspedal 	Beim Erreichen des Schleifpunktes Abrutschen vom Kupplungspedal, rechter Fuß rutscht von Brems- auf Gaspedal und zurück auf Bremse
--	---

Als Versuchsfahrzeug wurde zum direkten Vergleich der Audi A5 aus dem Versuch von SOMMER [23] genutzt. Die Aufnahme der Daten erfolgte zum einen über Kameras in der Draufsicht des Wagens, im Fußraum sowie zur Messung der Distanz am vorderen linken Kotflügel mit Blick auf eine am Boden befindliche Messlatte. Weitere Werte wurden mit dem Fahrdatenmessgerät PicDAQ5 aufgezeichnet, welches im Innenraum an der Windschutzscheibe montiert war. Begleitend zum Praxisversuch wurden auch hier die zehn Probanden mit einem Fragebogen über Daten der Person, der Fahrerfahrung und des Versuches befragt.

In der Auswertung der Resultate seiner Forschung kam auch RUMMEL [27] zu der Erkenntnis, dass es nicht wahrscheinlich ist, ausreichende Distanzen und Geschwindigkeiten zu erreichen, welche zu großflächigen Schadenbildern führen können. Im Ausblick verweist er auf Ansätze bezüglich der Untersuchung des Verhaltens in einem Fahrzeug mit Automatikgetriebe oder bei einer Bogenfahrt mit eingeschlagenem Lenkrad.

2.6.3 REINL (2022)

Als weitere Fortführung von SOMMER [23] und damit anknüpfend an RUMMEL [27] untersuchte REINL [28] das Abrutschverhalten bei der Fahrzeugpedalerie. Dafür nahm er die Vorschläge auf, die Untersuchung in einem Fahrzeug mit Automatikgetriebe durchzuführen und dies auf einem Kurs mit eingeschlagenem Lenkrad, um eine typische Ausparksituation zu simulieren.

Zunächst fand eine Auswertung von Fachliteratur sowie der vorangegangenen Arbeiten statt. Im Anschluss wurde die Konzipierung eines Realversuchs vorgenommen, welcher eine auf ein Automatikfahrzeug angepasste Adaption vorangegangener Versuche darstellt. Bei dem Testfahrzeug handelte es sich um einen Porsche 718 Boxster, welcher bei den Testfahrten ebenfalls im Rückwärtsmodus verwendet wurde. Als einziges Testszenario sollte dabei das Abrutschen vom Brems- auf das

Gaspedal erfolgen, da hierbei der längste Weg und die höchste Geschwindigkeit zu erwarten wären und es eine Situation darstellt, die bei einem typischen Ausparkvorgang in einem Automatikfahrzeug denkbar ist. Dabei sollte am Anfang das Bremspedal möglichst weit rechts bedient werden. Nach dem Wahrnehmen der Betätigung des Fahrpedals sollte sofort über das Bremspedal der Stillstand erreicht werden. Die schematische Darstellung ist in Bild 8 abgebildet.

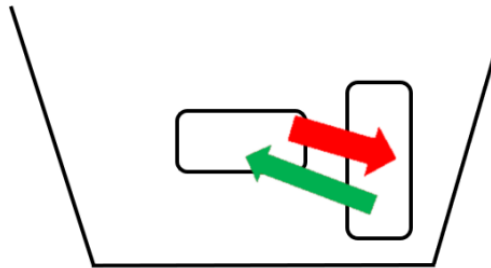


Bild 8: Von REINL untersuchte Abrutschbewegung [28] S. 30

Im Rahmen dieser Versuchsreihe nahmen 15 Probanden teil. Nach dem jeweiligen Durchlauf füllte die Testperson einen Fragebogen aus. Die Aufnahme der Versuchsdaten erfolgte zum einen mit einer VBox 3i, die Geschwindigkeits- und Distanzparameter aufnahm. Für diese wurde ein GPS-Empfänger am vorderen rechten Teil des Stoßfängers befestigt. Die Box lag während des Versuchs auf dem Beifahrersitz und wurde über eine angeschlossene Fernbedienung gesteuert. Als weiteres Messgerät wurde die Performance Box Touch verwendet. Die Steuerung erfolgte über einen eingebauten Touchscreen. Auch hier war ein GPS-Empfänger angeschlossen, welcher sich nah am Fahrzeugschwerpunkt befand. Darüber hinaus wurde eine externe Wegmessung vorgenommen, für welche ein Kanister mit Quarzsand ebenfalls an der rechten Seite des vorderen Stoßfängers befestigt wurde. Bei Beginn der jeweiligen Testfahrt wurde von dessen Ausguss ein Stöpsel entfernt, und die dann während der Fahrt entstandene Sandspur fotografisch festgehalten und im Anschluss fotogrammetrisch ausgewertet. Der Versuch wurde von je einer Kamera vor und hinter dem Porsche aufgezeichnet sowie mit einer weiteren im Fußraum, welche wieder die jeweiligen Fußbewegungen erfasste.

In der darauffolgenden Auswertung aller Ergebnisse sowie dem Vergleich der Resultate der vorangegangenen Untersuchungen kam REINL [28] zu dem Schluss, dass es unter normalen Bedingungen auch bei einer konkreten Ausparksituation, zumindest bei einem Pkw mit Automatikgetriebe, nicht zu ausreichenden Wegen und Geschwindigkeiten für ein großes Schadenbild kommen kann. Im Ausblick

nannte er weitere Untersuchungsansätze wie den potenziellen Einfluss von der Auto-Hold-Funktion oder dem Verhalten eines Fahrzeugs mit manuellem Getriebe in jener Versuchskonfiguration.

3 Konzeption einer Probandentestreihe

Im folgenden Kapitel wird, aufbauend auf den vorangegangenen Versuchsreihen, ein Realversuch konzipiert, welcher durch Kameras und messtechnische Einrichtungen erfasst werden soll. Ferner werden weitere Umstände der Testreihe erörtert. Grundlage soll eine Adaption der Fahrsituation von REINL [28] auf einen Pkw mit Schaltgetriebe sein, welche eine konkrete Ausparksituation darstellt. Dazu wird die Rückwärtsfahrt des Testfahrzeugs mit vollständig nach links eingeschlagenen Rädern aus einer definierten Parklücke stattfinden. Zusätzlich zu den auch bei den vorangegangenen Reihen erhobenen Daten soll das Blickverhalten der Probanden durch ein Eye-Tracking-System erfasst werden.

Ziel soll es sein, Schäden an benachbarten Fahrzeugen infolge der gefahrenen Distanzen und Geschwindigkeiten einer solchen Situation zu untersuchen und nachvollziehen zu können.

3.1 Versuchsszenario

Im Zuge der Studie soll der Fokus auf ein realitätsnahes Szenario gelegt werden. Diverse Variationen wurden bereits von SOMMER [23] und RUMMEL [27] erörtert und in Testreihen untersucht. Daraus soll, ähnlich wie bei REINL [28] bzgl. eines Automatik-Ausparkvorgangs, eine möglichst alltägliche Konstellation gewählt werden.

Bei einem konventionellen Ausparkmanöver in einem Fahrzeug mit Schaltgetriebe laufen folgende Schritte ab. Nicht alle sind notwendigerweise in dieser Reihenfolge fest determiniert, können also auch an anderer Stelle bzw. parallel ablaufen:

- Durchtreten des Kupplungspedals
- Starten des Verbrennungsmotors
- Treten des Betriebsbremspedals
- Lösen der Feststellbremse
- Betriebsbremspedal nicht mehr betätigen
- Erreichen des Schleifpunktes
- Vorsichtiges Betätigen des Fahrpedals (vorrangig bei Benzin-Fahrzeugen)
- Sicheres Ausparken mit Einordnen in den Straßenverkehr

In der konkret gewählten Situation soll vom Probanden der Motor gestartet, der Rückwärtsgang eingelegt, die Parkbremse gelöst und das Fahrzeug mit dem

Bremspedal zunächst an der Stelle gehalten werden. Nun soll auch die Betriebsbremse gelöst und mit dem Erreichen des Schleifpunktes vom Kupplungspedal abgerutscht werden. Im Anschluss muss das Fahrzeug sofort mit dem linken Fuß in seiner Ausgangslage und dem rechten Fuß auf dem Bremspedal sicher zum Stillstand gebracht werden. Schematisch wird die Bewegungsserie in Bild 9 dargestellt.

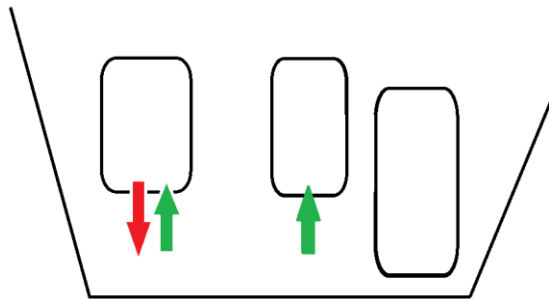


Bild 9: Abrutsch- (rot) und Reaktionsbewegungen (grün) des Realversuchs
[Eigene Darstellung]

Das Testfahrzeug ist zunächst vorwärts mittig in der definierten und markierten Parklücke geparkt. Aus dieser soll es mit vollständig nach links eingeschlagenen Vorderrädern vom Probanden in Richtung Fahrgasse rückwärts hinausmanövriert werden, was jedoch durch das Abrutschen unterbrochen wird. Aufgrund der Untersuchung einer Ausparksituation sind keine großen Geschwindigkeiten zu erwarten. Der starke Lenkeinschlag in der Ausgangsstellung ist, wie bereits REINL [28] anmerkte, unkonventionell bei einem Ausparkvorgang, aber zum einen für eine vergleichbare Ausgangssituation der jeweiligen Durchläufe unerlässlich. Zum anderen kann darüber die früheste Übertretung der Parkstandsmarkierung provoziert werden. Die Ergebnisse der Überschreitung können aber auch auf Fälle in hinteren Teilen einer Parklücke übertragen werden.

Die Untersuchung der rechten vorderen Seite des Testfahrzeugs liegt in der Häufigkeit von Beschädigungen an diesen Stellen des stoßenden, also verursachenden Fahrzeugs bzw. an der linken Seite des angestoßenen, also geschädigten Pkw begründet [29] S. 7 ff.

3.2 Versuchsumgebung

Um einen ungestörten Ablauf der Fahrten garantieren zu können und keine Gefahr für Passanten darzustellen, wird der Versuch in einem abgesperrten Bereich auf dem Gelände der Westsächsischen Hochschule Zwickau durchgeführt. Dazu wird, entsprechend den aktuellen Maßen von Parkständen nach den EAR 23 [21], eine Parkfläche mit Sprühkreide markiert, in welcher das Testfahrzeug zunächst geparkt sein soll. Nach diesen Maßen wird auch eine Nachbarlücke gekennzeichnet. Die aktuellen Abmessungen betragen 2,65 m in der Breite und 5,20 m inklusive Überhang in der Länge. Da kein vollständiger Ausparkvorgang untersucht wird, kann auf eine Markierung der Fahrgasse verzichtet werden. Um eine mögliche Störung der GPS-Signale für die Messtechnik durch umliegende Gebäude oder Bäume, wie REINL [28] sie beobachtet hat, zu vermeiden oder zumindest zu minimieren, werden als Ort die Stellflächen hinter dem August-Horch-Bau gegenüber der Hallen 8 und 9, wie in Abbildung 10 dargestellt, als Testzone gewählt. Diese bieten darüber hinaus den Probanden aufgrund ihrer baulichen Natur und durch in sicherer Entfernung geparkten Pkw einen typischen Parkplatzcharakter.



Bild 10: Versuchsumgebung [Eigene Darstellung]

3.3 Versuchsfahrzeug

Um die Ergebnisse des Versuchs mit denen von SOMMER [23] und RUMMEL [27] besser in Kontext setzen zu können, wird als Versuchsfahrzeug erneut das Audi A5 Coupé der WHZ verwendet. Des Weiteren bietet sich der Wagen aufgrund der rahmenlosen Türen für eine sichere Verkabelung der externen Messinstrumente und eine barrierefreie Kommunikation mit dem Probanden und dem Helfer an.

Das Fahrzeug vom Typ 8T verfügt über das Sportpaket S line und ist eine Nullserie der Facelift-Version aus dem Jahr 2012. Der vorderradgetriebene Wagen besitzt ein 6-Gang-Schaltgetriebe und wird von einem V6-Diesellaggregat mit 204 PS bzw. 150 kW betrieben. Der Pedalsprung zwischen Brems- und Fahrpedal beträgt 20 mm. Alle Pedale sind hängend gelagert.

An dem Pkw sind Räder mit Sommerreifen der Marke Continental in der Dimension 225/50 R 17 und 17-Zoll-Leichtmetallfelgen mit zehn Speichen von Platin Wheels montiert. Zum Ausstattungsumfang gehören ferner die in Bild 11 dargestellte Rückfahrkamera sowie Parksensoren an Front und Heck.

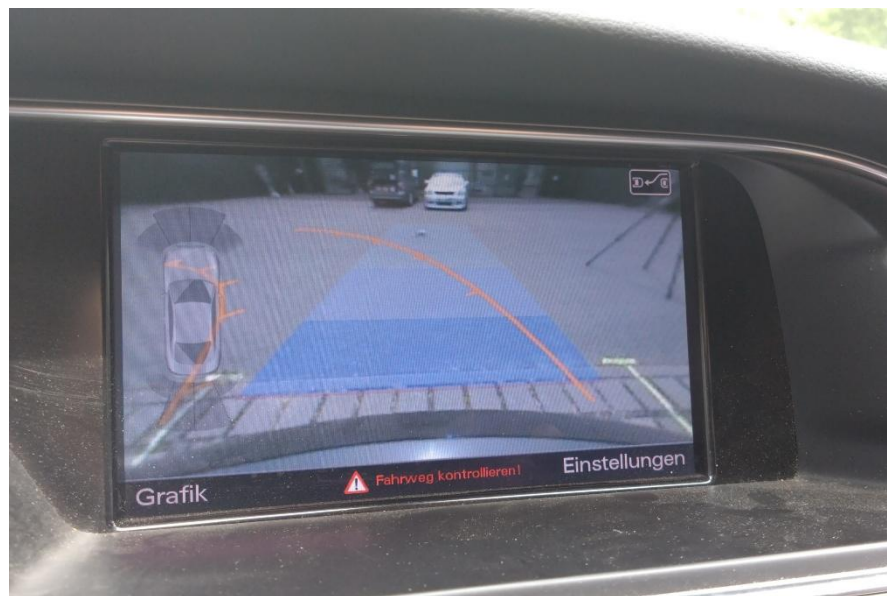


Bild 11: Rückfahrkamera des Audi A5 [Eigene Darstellung]

Trotz eines Alters von bereits über 14 Jahren kann der Pkw als zeitgenössisches Testfahrzeug angesehen werden. Für die Testreihe bietet es einen von Ausstattung und Interieur-Design guten Mittelweg zwischen Neuwagen und Youngtimern. Mit einer Breite von 1854 mm, bzw. 2020 mm mit Außenspiegeln, und einer Länge von 4626 mm [33] S. 126 ist es ein weitgehend durchschnittliches Automobil im

Straßenbild der Gegenwart. Weitere Daten sind im Anhang 1 angegeben. Die Fahrwiderstände werden aufgrund der geringen Geschwindigkeiten und der geraden Testfläche nicht berücksichtigt. Die Resultate sollen aufgrund der niedrigen Geschwindigkeiten auf andere Pkw zu verallgemeinern sein.

Das Versuchsfahrzeug, in Bild 12 dargestellt, wird mit den notwendigen Mess- und Aufnahmeinstrumenten ausgestattet, wie sie im Folgenden beschrieben werden. Da das Fahrzeug in der Hochschule für verschiedene Test- und Demonstrationszwecke eingesetzt wird, sind neben den für diese Versuchsreihe nötigen Geräten auch noch weitere Module, Kabel und Halterungen installiert, denen jedoch keine weitere Betrachtung geschenkt werden soll. Außerdem ist der Lenkradairbag demontiert.



Bild 12: Versuchsfahrzeug Audi A5 [Eigene Darstellung]

3.4 Probanden

Die Probandengruppe besteht aus zeitökonomischen Gründen aus 15 Personen eines Milieus ähnlichen Alters und stellt damit eine nicht für die Gesamtbevölkerung repräsentative Stichprobe dar. Dennoch wird bei der Auswahl der Probanden darauf geachtet, Personen mit möglichst unterschiedlichen Eigenschaften und Erfahrungen auszusuchen. Voraussetzungen zur Teilnahme an der Versuchsreihe sind die theoretische Kenntnis des Bedienens eines Pkw mit manuellem Schaltgetriebe und

das physische Vermögen, den Versuch zu absolvieren. Zusätzlich darf der Proband aufgrund der Untersuchungen mit dem vorhandenen Eye-Tracking-System kein Brillenträger sein. Die Fahrten werden pro Testperson dreimal wiederholt. Jeder Proband erhält eine laufende Nummer, die Durchläufe Buchstaben. Nach diesem Schema ist der erste Durchlauf des ersten Probanden mit 01.A kodiert.

Zunächst werden Fahrzeug und Testablauf der Person erklärt. Danach werden die Testfahrten durchgeführt. Anschließend werden Daten zur Person, Fahrerfahrung und ein subjektives Fazit über den Versuch erhoben. Dies geschieht über einen einheitlichen Fragebogen, welcher in Anlage 12 dargestellt ist.

3.5 Messsysteme und Aufnahmegeräte

Für eine umfangreiche Erfassung des Versuchsgeschehens innerhalb und außerhalb des Fahrzeugs sowie den Probanden betreffend werden folgende Aufnahmegeräte verwendet, auf deren Daten die Auswertungen basieren. Die Fahrdatenmessgeräte VBox 3i und Performance Box Touch waren bereits bei REINL [28] im Einsatz und sollen aufgrund bewährter Einsatzmöglichkeit erneut Verwendung finden, jedoch in abgewandelter Konfiguration. Deren GPS-Sensoren werden auf Höhe des Fahrzeugschwerpunktes auf dem Dach befestigt.

3.5.1 Fahrdatenmessgerät VBox 3i

Für die Messung von zurückgelegter Distanz und gefahrener Zeit wird die VBox 3i RTK des britischen Herstellers Racelogic verwendet. Die Datenerfassung erfolgt über die auf dem Dach installierte GPS-Antenne, welche per Kabel mit der VBox im Inneren des Versuchsfahrzeugs verbunden ist. Gesteuert werden die Aufnahmen von einem Helfer, der auf dem Beifahrersitz Platz nimmt, über einen Laptop mit der Software VBox Test Suite. Über diese erfolgt auch die Auswertung der Daten. Das Notebook ist per USB-Kabel mit der VBox verbunden. Die Stromversorgung beider Geräte erfolgt über eine auf der Rückbank befindliche Powerstation. Die Versorgung der VBox über das Bordnetz führt beim Abschalten des Autos zum Ausgehen des Gerätes und könnte die Messungen unterbrechen.

Die Daten werden zunächst auf einer eingelegten Compact-Flash-Speicherkarte abgelegt und im Anschluss direkt auf dem Notebook gespeichert.

Das Gerät bietet mit einer Frequenz von 100 Hz eine hohe Auflösung der Daten. Neben den genannten, für die Testreihe wesentlichen Kennwerten, sind noch eine

weitere Zahl an Parametern verfügbar. Weitere Daten des verwendeten Gerätes, welches in Bild 13 zu sehen ist, sind in Anlage 2 aufgeführt.



Bild 13: VBox 3i RTK [Eigene Darstellung]

3.5.2 Fahrdatenmessgerät Performance Box Touch

Als Referenz- bzw. Ersatzwerte, sollte es zu einem Ausfall der VBox 3i kommen, werden dieselben Größen von der Performance Box Touch gemessen. Diese stammt ebenfalls aus dem Portfolio der Firma Racelogic. Die Bedienung ist über den eingebauten, 4,3 Zoll großen Touchscreen vorzunehmen. Über diesen sind die Fahrdaten in Echtzeit sowie der Status des Akkustandes, der Satellitenverbindung, der SD-Karte und des verwendeten Modus ablesbar. Die Stromversorgung erfolgt über einen integrierten Akku. Das in Bild 14 dargestellte Gerät wird per Saugnapfhalterung an der Windschutzscheibe befestigt und mit dem Sensor, welcher ebenfalls auf dem Dach vor dem Empfänger der VBox 3i positioniert wird, verbunden. Der Sensor ist eine GPS-Antenne mit einer Frequenz von 10 Hz. Die Aufnahme der Messwerte erfolgt über eine eingelegte SD-Karte. Diese wird zum manuellen Abspeichern der Daten nach jedem Durchgang temporär entfernt und vor Beginn des nächsten Durchgangs wieder eingelegt. Das Starten des Aufnahmeprozesses erfolgt mit der Erkennung einer Bewegung des Fahrzeugs automatisch. Die Auswertung jener Daten geschieht ebenfalls über die VBox Test Suite. Für den Versuch wird der Aufnahmemodus ACCEL mit einem benutzerdefinierten Test, welcher von 0 bis 5 km/h definiert ist, verwendet.

Weiterführende Daten sind dem Auszug des Datenblatts in Anlage 3 zu entnehmen.



Bild 14: Performance Box Touch [Eigene Darstellung]

3.5.3 Eye-Tracking-Brille Tobii Glasses 2

Im Rahmen der Testreihe soll zusätzlich zur Bewegung des Fahrzeugs und den Füßen der Probanden auch die Okulomotorik erfasst werden. Dafür wird von der WHZ das in Bild 15 abgebildete Eye-Tracking-System Glasses 2 des schwedischen Herstellers Tobii bereitgestellt. Dieses wird von den jeweiligen Probanden während des Versuchs getragen, um anschließend die Blickrichtungen und Fixationspunkte während des Fahrversuches nachvollziehen zu können.



Bild 15: Tobii Pro Glasses 2 [Eigene Darstellung]

Die gesamte Einheit besteht aus dem Aufnahmemodul, welches über ein HDMI-A-zu-HDMI-D-Kabel mit der Eye-Tracking-Brille verbunden ist.

Diese Brille umfasst eine Reihe komplexer messtechnischer Einrichtungen und weitere Teile, wie sie in der folgenden Abbildung dargestellt sind:

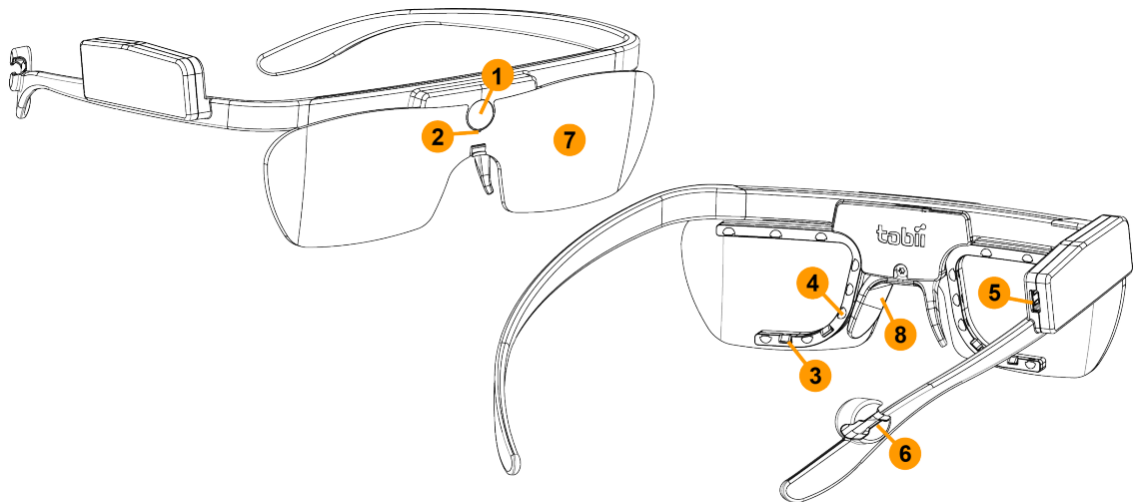


Bild 16: Bestandteile des Brillen-Moduls [39] S. 12 f.

1. HD-Kamera: Nimmt auf, was sich vor dem Probanden befindet
2. Mikrofon: Nimmt Umgebungsgeräusche auf
3. Eye-Tracking-Sensoren: Verfolgen die Augenbewegungen
4. Infrarot-Illuminatoren: Beleuchten das Auge für die Sensoren
5. Micro-HDMI-Anschluss: Verbindung via Kabel zum Aufnahmemodul
6. Kabelhalterung: Verhindert Herausrutschen des Anschlusses bei Bewegung
7. Schutzgläser: Transparent oder getönt
8. Nasensteg: Anpassungsmöglichkeit für verschiedene Größen

Über das Aufnahmemodul, welches den extern zu ladenden Akku, Anschlüsse und eine SD-Karte zum Speichern der Daten enthält, wird die Einheit angeschaltet. Außerdem kann darüber der Status von Akkustand, SD-Karte und Verbindung zu einem Laptop erkannt werden. Das Modul wird im seitlichen Ablagefach des Fondsitzplatzes hinter dem Fahrersitz verstaut. Konfigurationen, wie das Starten der Aufnahme, Kalibrierung und Zuordnung zu einem Projekt und dem jeweiligen Probanden werden über die mitgelieferte Software Tobii Pro Glasses Controller vorgenommen. Wenn über die Anwendung eine neue Aufnahme begonnen wird, muss zunächst eine Kalibrierung stattfinden. Dafür fixiert der Proband mit aufgesetzter Brille die mitgelieferte Kalibrierungskarte, auf welcher ein schwarzer Kreis mit einem schwarzen Punkt in der Mitte zu sehen ist. Anschließend kann der Versuch

aufgenommen werden. Danach ist die Aufnahme über die Software zu beenden. Ein Auszug aus dem Datenblatt ist in Anlage 4 dargestellt.

3.5.4 Kameras

Drei Videokameras werden zum Aufzeichnen des Geschehens verwendet. Weitere Fotografien während der Dokumentation werden mit einem Smartphone von Sony, Modell Xperia 10 IV, aufgenommen.

Eine Actioncam der Marke DJI, das in Bild 17 abgebildete Modell Osmo Action 5 Pro, ist an der Lenksäule des Testfahrzeugs mit Blick auf die Pedalerie installiert, wie in Bild 18 ersichtlich. Damit werden die Bewegungen und Abrutschrichtungen der Füße der Probanden dokumentiert. Für eine zusätzliche Beleuchtung wird auf einer Querstrebe unter dem Fahrersitz eine handelsübliche Taschenlampe befestigt. Die Aufnahme soll jeweils von den Testpersonen selbst ausgelöst und beendet werden. Technische Daten können dem Anhang 5 entnommen werden.



Bild 17: DJI Osmo Action 5 Pro
[Eigene Darstellung]

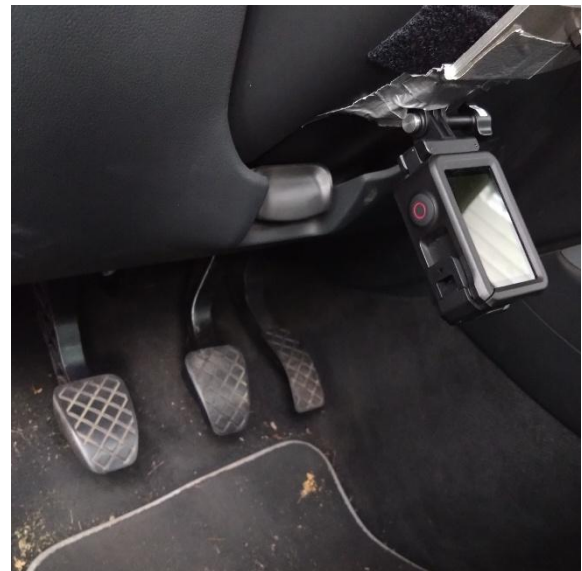


Bild 18: Position der Actioncam
[Eigene Darstellung]

Des Weiteren ist eine Kamera außerhalb des Fahrzeugs vor dem Versuchsfeld auf einem Stativ installiert, die frontal die Fahrten und eine eventuelle Übertretung der Parkstandbegrenzungslinie durch das Testfahrzeug aufnimmt. Dabei handelt es sich um das Modell EOS 6D des Herstellers Canon. Technische Spezifikationen dieses Modells sind in Anhang 6 aufgeführt. Zusätzlich wird mit einer Kamera von Panasonic, Modell Lumix DMC-TZ81, die Bewegung von schräg hinter dem Wagen mit Blick ebenfalls auf die Seite und Parkstandsmarkierung aufgezeichnet. Daten

zu diesem Modell sind in Anhang 7 zu finden. Diese Kameras werden auf Kommando des Testleiters von je einem Helfer ausgelöst bzw. beendet.



Bild 19: Canon EOS 6D
[Eigene Darstellung]



Bild 20: Panasonic Lumix DMC-TZ81
[Eigene Darstellung]

3.5.5 Kameradrohne DJI Mavic Air 2

Zusätzlich werden mit Hilfe einer Kameradrohne Aufnahmen während der jeweiligen Testfahrt aus der Luft, so orthogonal wie möglich über dem Versuchsgeschehen, gemacht.

Über diese Videos können die Fahrten aus einem zusätzlichen Blickwinkel bzgl. Verlauf und Begrenzungslinienübertretung analysiert werden.

Bei der Kameradrohne handelt es sich um das in Bild 21 abgebildete Modell Mavic Air 2 der Marke DJI. Diese wird von einem weiteren Helfer gesteuert.

Spezifikationen der Kameradrohne können der Anlage 8 entnommen werden.



Bild 21: DJI Mavic Air 2 [Eigene Darstellung]

3.6 Versuchsverlauf

Zunächst findet die Präparation des Versuchsfahrzeugs und des Versuchsgeländes statt. Im Anschluss werden die Probanden begrüßt und die Versuchsreihe durchgeführt. Jede Testperson bekommt ohne weitere Separierung eine laufende Nummer zugeteilt. Der Fahrerarbeitsplatz wird durch den Probanden je nach dessen Bedürfnissen eingestellt, der Versuch durch den Testleiter erklärt und die Eye-Tracking-Brille ausgehändigt und eingerichtet. Im Anschluss werden die Mess- und Aufnahmegeräte durch den Versuchsleiter und dessen Helfer sowie das Fahrzeug und die Fußraumkamera durch den Probanden gestartet und die Testfahrt durchgeführt. Danach werden die Aufnahmen gestoppt, das Versuchsfahrzeug wird wieder in die Ausgangssituation gefahren und dies zweimal wiederholt. Ist das abgeschlossen, füllt der Proband den Fragebogen aus.

Im Anschluss wird so mit der nächsten Testperson verfahren. Nach dem letzten Durchlauf wird der Testwagen zurückgerüstet, alle Aufnahmedaten gesichert und die Auswertung vorbereitet.

4 Untersuchungsprozess der Testreihe

Im folgenden Kapitel wird der gesamte Verlauf der praktischen Untersuchungen dargestellt, von den Vorbereitungen über die Umsetzung bis hin zur Auswertung aller vorliegenden Daten.

4.1 Vorbereitungen

Damit die Probandentestreihe, wie im vorangegangenen Kapitel konzipiert, problemlos stattfinden kann, muss der gesamte Versuchsaufbau inklusive der Einrichtung der Messtechnik abgeschlossen sein. Dafür wurde mit der Präparation bereits in der Woche vor der Testserie begonnen.

Der prinzipielle Aufbau aller benötigten und damit vorzubereitenden Komponenten des Experiments ist im Schema in Bild 22 dargestellt.

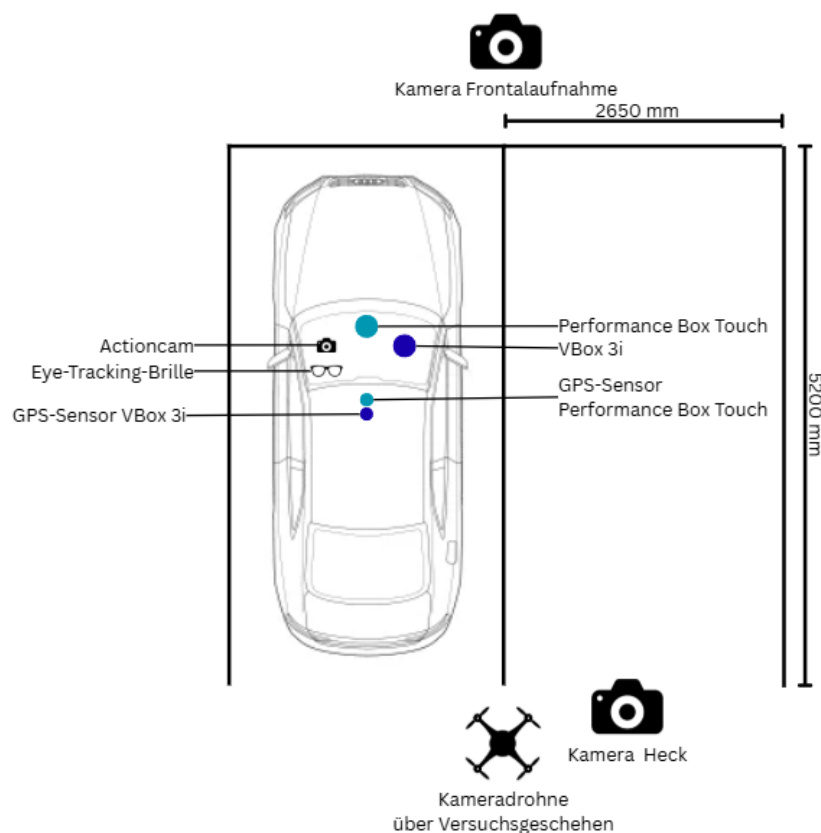


Bild 22: Versuchsschema in Ausgangsstellung [eigene Darstellung mit [34] unter Verwendung eines Ausschnitts von [35]]

Das Versuchsfahrzeug wurde entsprechend der Konzipierung mit den jeweiligen Geräten ausgestattet.

4.1.1 Versuchsumgebung

Die für die Versuchsreihe notwendigen zwei Parkflächen wurden nach den aktuellen Maßen der EAR 23 [21] S. 37 mit Sprühkreide markiert. Dies geschah zum einen, da die Breite der verwendeten Stellplätze nach den EAR 91 auf 2,5 m [47] ausgelegt worden und zum anderen, weil die vorhandene Markierung zu verwittert ist. Auf der linken Stellfläche steht das Testfahrzeug, die rechte ist frei und soll als Platzhalter für ein benachbart stehendes Fahrzeug verstanden werden. Im Rahmen dieser Versuchsreihe wird darauf verzichtet, einen Pkw danebenzuparken, da es nicht zu wirklichen Beschädigungen kommen darf, falls ein Durchlauf doch zu großen Distanzen führt und das Dokumentieren der eventuellen Markierungsübertretung ausreichend ist.

Des Weiteren wurden mit einer digitalen Wasserwaage der Marke Vogel die Neigungswinkel der Testfläche bestimmt. Ein potenzieller Einfluss der geringen Werte wird für das Versuchsgeschehen vernachlässigt.

Eine Videokamera auf einem Stativ ist so installiert, dass diese auf Höhe der Begrenzungslinie das Geschehen frontal dokumentiert. Eine andere Kamera wurde, wie beschrieben, schräg hinter dem Fahrzeug, ebenfalls auf einem Stativ, positioniert.

Ferner wurden zwei Tische aufgestellt. Der eine dient den Probanden zur Bearbeitung des Fragebogens, der andere dem Versuchsleiter zur Datenaufnahme am Notebook. Diese sind zudem mit einem Pavillon witterungsgeschützt. Außerdem wurde über eine Kabeltrommel aus dem benachbarten Gebäude die Stromversorgung zum Laden der Geräte gewährleistet. Hinter den markierten Flächen ist Platz für Start und Landung der Kameradrohne. Ein Überblick der gesamten Versuchsumgebung ist in den folgenden Bildern dargestellt.



Bild 23: Übersicht Versuchsumgebung [Eigene Darstellung]

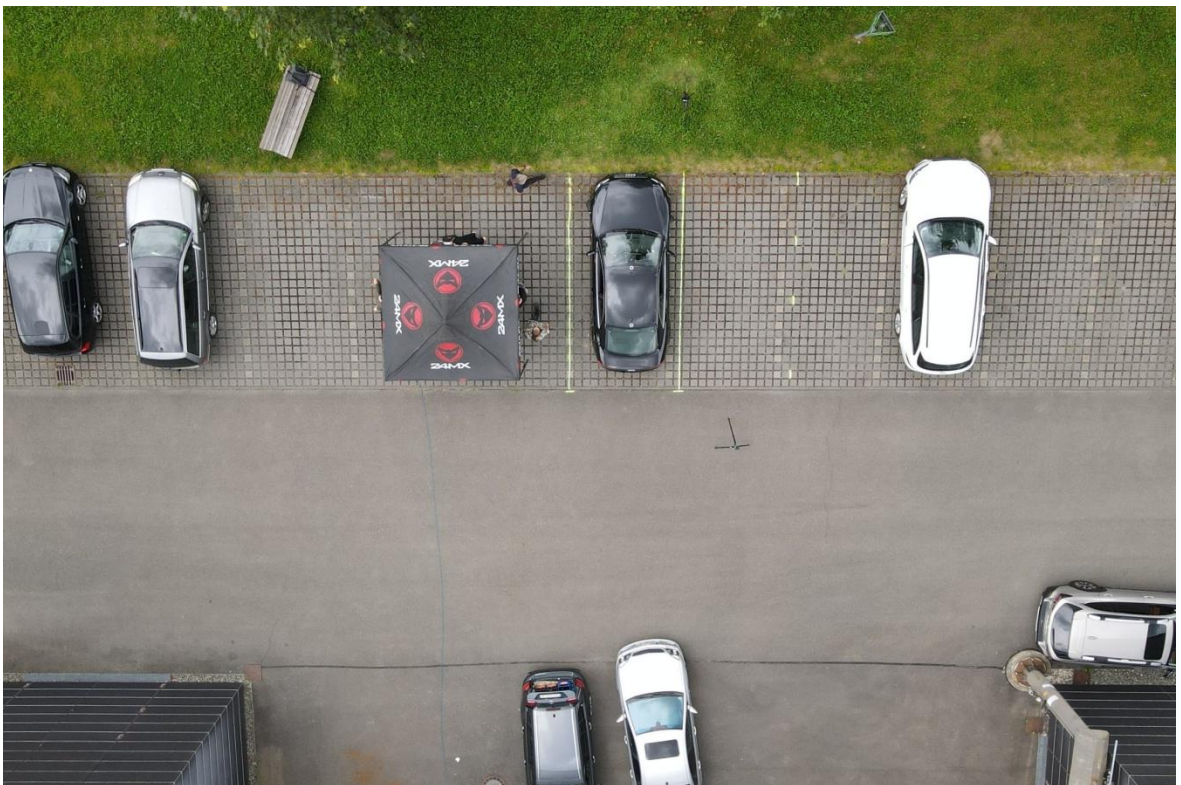


Bild 24: Luftbild Übersicht Versuchsumgebung [44]

4.2 Durchführung

Das Wetter am Versuchstag war teils leicht bewölkt, aber trocken und weitgehend sonnig bei Höchsttemperaturen von bis zu 25 °C.

Bevor die Probanden eintrafen, fand der Aufbau der Versuchsumgebung sowie eine letzte Überprüfung der technischen Einrichtungen statt. Im Anschluss wurde der erste Teilnehmer begrüßt und ihm die Erklärung gegeben, welche Aufgaben er im Folgenden zu erfüllen hat sowie die Besonderheiten der Bedienung des Versuchsfahrzeugs erläutert. Ferner ist sein Schuhwerk fotografisch dokumentiert worden.

Danach nahm die Person im Versuchsfahrzeug Platz und stellte den Fahrerarbeitsplatz nach den persönlichen Bedürfnissen ein. Wenn dies zur Zufriedenheit des Probanden erledigt war, wurde die Eye-Tracking-Brille vom Versuchsleiter ausgehängt und anschließend kalibriert. Die Kalibrierkarte wurde dafür von einem Helfer in die Ecke zwischen Tür und A-Säule gehalten, um den notwendigen Abstand von etwa 50 cm zu gewährleisten. Dies ist in Bild 25 visualisiert.

Parallel startete ein weiterer Helfer die Kameradrohne und brachte diese in Position.



Bild 25: Kalibrierung des Eye-Trackers aus Sicht von Proband 12 [Eigene Darstellung]

Wenn alle Helfer bereit waren, ihre jeweiligen Geräte auszulösen, gab der Testleiter ein Startsignal, woraufhin alle Aufnahmen gestartet wurden und der Proband losfuhr. Die VBox 3i und die Performance Box Touch wurden durch den Helfer auf dem Beifahrersitz bedient, die Brille durch den Versuchsleiter und die zwei Kameras von je einem Helfer sowie die Fußraumkamera vom Probanden selbst.

Danach wurde die Aufnahme bei allen Geräten beendet und das Versuchsfahrzeug wieder in die Ausgangsposition gefahren. Wenn die drei Fahrten von der Testperson absolviert waren, konnte der Proband das Versuchsfahrzeug wieder verlassen. Bei offensichtlichen Problemen mit einem Messgerätes wurde bei insgesamt fünf Teilnehmern ein zusätzlicher, vierter Versuch durchgeführt. Von denen mussten jedoch nur drei in die Auswertung einbezogen werden. Dem Probanden wurde schließlich der Fragebogen zur Bearbeitung ausgehändigt und danach wieder eingesammelt. Anschließend wurde nach der selben Vorgehensweise mit allen weiteren Testpersonen verfahren. Nachdem der letzte Durchgang abgeschlossen war, wurden alle Messdaten und Aufnahmen gesichert und mehrere Sicherungskopien angefertigt. Abschließend wurde das Versuchsfahrzeug zurückgerüstet und alle Aufnahmegegeräte wieder in ihren jeweiligen Aufbewahrungsboxen verstaut.

4.3 Analyse der Versuchsergebnisse

Im folgenden Kapitel werden alle aus der Versuchsreihe gewonnenen Daten und Aufnahmen analysiert und an den gegebenen Stellen sowohl untereinander als auch mit den Resultaten vorangegangener Arbeiten in Kontext gesetzt.

Aufgrund von Ausfällen und Problemen einzelner Messgeräte, die bereits während der Versuchsreihe auftraten, wurden folgende Durchläufe durch den jeweiligen Zusatzdurchgang D ersetzt: 01.A, 02.A und 03.B.

Versuchsfahrt 05.A fand irrtümlicherweise im ersten Vorwärtsgang statt, wird jedoch in der Auswertung betragsmäßig mitberücksichtigt.

4.3.1 Daten der VBox 3i

Die VBox 3i konnte während der gesamten Versuchsreihe durchgängig den Kontakt zu 15 Satelliten halten und zu jedem Durchlauf Werte liefern. Damit kann von einer zuverlässigen Qualität der Messwerte ausgegangen werden.

Im Kontext der vorliegenden Arbeit werden die maximal erreichte Geschwindigkeit, der insgesamt zurückgelegte Weg sowie die dafür benötigte Zeit betrachtet. Die mit Hilfe der VBox Test Suite [36] ermittelten Ergebnisse aus der Probandentestreihe sind in Tabelle 6 aufgeführt:

Tabelle 6: Messergebnisse der VBox 3i [Eigene Darstellung]

Lfd. Nummer Probanden	Durchlauf-Nr.	v_max [km/h]	t [s]	s [m]
1	01.B	3,20	2,59	1,27
	01.C	4,22	3,01	0,98
	01.D	4,40	2,14	1,17
2	02.B	3,29	2,16	0,63
	02.C	2,91	2,52	0,90
	02.D	2,02	0,79	0,21
3	03.A	3,09	2,19	0,57
	03.C	3,32	2,30	0,72
	03.D	4,33	3,13	1,06
4	04.A	2,56	1,25	0,34
	04.B	1,94	1,68	0,47
	04.C	3,93	1,05	0,39
5	05.A	2,98	1,39	0,54
	05.B	1,61	1,11	0,26
	05.C	2,63	1,28	0,34
6	06.A	2,97	1,65	0,56
	06.B	1,73	0,95	0,26
	06.C	2,39	0,84	0,28
7	07.A	2,96	1,41	0,46
	07.B	4,00	2,04	0,80
	07.C	4,52	2,20	1,06
8	08.A	4,23	1,98	0,79
	08.B	4,48	2,11	0,89
	08.C	5,00	2,40	0,88
9	09.A	3,37	2,16	0,55
	09.B	3,31	1,19	0,47
	09.C	3,00	1,59	0,63
10	10.A	2,76	1,29	0,45
	10.B	4,43	2,48	0,98
	10.C	2,98	1,02	0,41
11	11.A	4,35	1,29	0,47
	11.B	3,78	1,26	0,51
	11.C	2,87	1,34	0,45

12	12.A	1,61	0,91	0,26
	12.B	1,33	0,84	0,17
	12.C	1,61	0,67	0,16
13	13.A	2,74	1,43	0,49
	13.B	4,31	1,54	0,67
	13.C	3,41	1,54	0,50
14	14.A	4,62	2,20	0,95
	14.B	3,94	1,77	0,74
	14.C	4,53	1,85	0,77
15	15.A	4,54	1,50	0,76
	15.B	4,57	1,41	0,69
	15.C	4,06	1,60	0,60
	Maximum	5,00	3,13	1,27
	Minimum	1,33	0,67	0,16
	Median	3,31	1,54	0,56
	Mittelwert	3,35	1,67	0,61
	Standard-abweichung	0,99	0,60	0,28

Aus diesen Daten ergibt sich, dass Geschwindigkeiten im niedrigen Bereich erreicht worden sind. Die niedrigste Geschwindigkeit von 1,33 km/h erreichte Proband 12 im zweiten Durchlauf; die höchste Geschwindigkeit von 5 km/h fuhr Proband 8 in seinem dritten Versuch. Der Durchschnitt aller Durchläufe liegt bei 3,35 km/h. Die niedrigste Zeit von 0,67 s erreichte ebenfalls Proband 12, jedoch im dritten Versuch. Am längsten benötigte Proband 3 bei seinem dritten gewerteten Durchgang. Dieser dauerte 3,13 s. Der Durchschnittswert liegt bei 1,67 s. Die niedrigste Distanz mit 0,16 m legte ebenfalls Proband 12 im dritten Versuch zurück, Proband 1 im ersten gewerteten Durchlauf mit 1,27 m die mit Abstand längste. Im Mittel fuhren die Probanden 0,611 m während der Versuchsfahrten.

4.3.2 Daten der Performance Box Touch

Zusätzlich zu den Daten der VBox 3i wurden ebenfalls die maximale Geschwindigkeit, die zurückgelegte Distanz sowie die dafür benötigte Zeit erhoben. Für die Auswertung wurde gleichfalls die VBox Test Suite [36] verwendet. Die daraus gewonnenen Ergebnisse sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Tabelle 7: Messergebnisse der Performance Box Touch [Eigene Darstellung]

Lfd. Nummer Probanden	Durchlauf-Nr.	v_max [km/h]	t [s]	s [m]
1	01.B	3,76	2,18	1,18
	01.C	3,82	2,09	0,85
	01.D	4,18	1,83	1,00
2	02.B	2,28	1,17	0,42
	02.C	2,68	1,42	0,60
	02.D	1,62	0,51	0,14
3	03.A	1,65	1,63	0,36
	03.C	2,37	1,49	0,39
	03.D	2,48	2,49	0,71
4	04.A	2,24	0,78	0,28
	04.B	1,74	1,28	0,41
	04.C	2,60	0,87	0,34
5	05.A	2,89	0,94	0,36
	05.B	1,41	0,56	0,15
	05.C	1,38	0,89	0,21
6	06.A	2,52	0,71	0,37
	06.B	1,25	0,57	0,13
	06.C	1,49	0,69	0,17
7	07.A	2,54	0,94	0,27
	07.B	3,58	1,97	0,72
	07.C	3,47	1,51	0,87
8	08.A	2,90	1,87	0,63
	08.B	4,37	1,75	0,81
	08.C	3,82	1,63	0,72
9	09.A	3,15	1,19	0,43
	09.B	2,63	1,05	0,40
	09.C	3,01	1,29	0,54

10	10.A	2,28	0,83	0,31
	10.B	3,86	2,24	0,80
	10.C	1,71	0,97	0,28
11	11.A	3,00	0,95	0,29
	11.B	2,43	0,93	0,30
	11.C	1,93	0,97	0,27
12	12.A	1,55	0,60	0,16
	12.B	1,29	0,76	0,18
	12.C	1,47	0,75	0,19
13	13.A	1,88	1,18	0,22
	13.B	3,01	1,66	0,57
	13.C	2,64	1,29	0,38
14	14.A	4,17	1,40	0,72
	14.B	3,34	1,32	0,47
	14.C	3,24	1,29	0,59
15	15.A	4,05	1,07	0,59
	15.B	3,98	1,01	0,58
	15.C	2,96	1,26	0,50
	Maximum	4,37	2,49	1,18
	Minimum	1,25	0,51	0,13
	Median	2,63	1,18	0,40
	Mittelwert	2,68	1,24	0,46
	Standard-abweichung	0,91	0,49	0,25

Trotz Abweichungen zwischen den Daten der verschiedenen Geräte ergibt sich ebenfalls, dass niedrige Geschwindigkeiten erreicht wurden. Die niedrigste Geschwindigkeit von 1,25 km/h erreichte Proband 6 im zweiten Durchlauf; die höchste mit 4,37 km/h fuhr ebenfalls Proband 8, jedoch in seinem zweiten Versuch. Der Mittelwert der Durchläufe liegt bei 2,68 km/h. Die niedrigste Zeit von 0,51 s erreichte Proband 2 im dritten gewerteten Durchgang. Am längsten benötigte auch hier Proband 3 bei seinem dritten gewerteten Versuch mit einer Zeit von 2,49 s. Der

Durchschnitt liegt bei 1,24 s. Den niedrigsten Weg mit 0,13 m legte Proband 6 im zweiten Versuch zurück. Die höchste Distanz fuhr erneut Proband 1 im ersten gewerteten Durchlauf mit 1,18 m. Im Mittel legten die Probanden 0,46 m während der Versuchsfahrten zurück.

Ein Vergleich der Daten bzw. Abweichungen erfolgt im Kapitel 4.3.4 Vergleich der Daten der Fahrdatenmessgeräte.

Während der Testreihe konnte die Performance Box Touch eine Verbindung zu neun bis elf Satelliten herstellen.

4.3.3 Fotogrammetrische Auswertung der gefahrenen Distanzen

Für eine Validierung, welches Messgerät die zutreffenderen Distanzen erfasst hat, wurden stichprobenartig auf Basis der Drohnenaufnahmen fotogrammetrische Untersuchungen angefertigt. Dabei sind 15 markante Durchläufe aus den 45 vorliegenden Fahrvorgängen analysiert worden.

Auch wenn die Grundlage nahezu orthogonale Drohnenaufnahmen bilden, muss dennoch eine fotogrammetrische Entzerrung der Aufnahmen erfolgen. Zunächst wurden aus den vorliegenden Videoaufnahmen Standbilder sowohl der Ausgangslage als auch der Endlage der jeweiligen Fahrt extrahiert. Bei den Durchläufen, bei denen das Fahrzeug wieder ein Stück nach vorn gerollt war, wurde zudem am Maximum ein Bild angefertigt. Diese Bilder wurden anschließend mit unterschiedlicher Transparenz übereinandergelegt und anhand des Pflasters und anderer markanter Punkte exakt ausgerichtet. Der aufgrund des Einlenkens von oben gut sichtbare Rand der Lauffläche des vorderen rechten Reifens wurde als Referenzobjekt farblich markiert. Die Ausgangslage ist mit Blau, die Endlage mit Magenta und das eventuelle zusätzliche Maximum mit Gelb kodiert.

Daraus ergab sich die in Bild 26 dargestellte Grundlage für die weiteren Untersuchungen.



Bild 26: Überlagerung Ausgangs-, Maximal- und Endlage von 11.C [Eigene Darstellung]

Im Anschluss erfolgte an den vorbereiteten Bildern die zweidimensionale Entzerrung im Programm PC-Rect [45]. Dafür wurde zunächst der Entzerrbereich nahe der gekennzeichneten Parklücke markiert. Danach kam es zur Definierung der Parkfläche, deren Maße im Anschluss eingegeben worden sind. Diese Werte weichen aufgrund der händischen Kennzeichnung der Kreidemarkierungen geringfügig von den Maßen nach den EAR 23 [21] ab:

- Strecke 1: 5,19 m
- Strecke 2: 2,65 m
- Strecke 3: 5,18 m
- Strecke 4: 2,64 m
- Strecke 5: 5,83 m

Aufgrund unzureichender EXIF-Daten der originalen Drohnenvideodateien konnte bei der Entzerrung ein möglichst geringer Fehler nur über die automatische Optimierung des Programmes erreicht werden.

In Bild 27 sind der Entzerrbereich in Grün sowie die vermessene Parkfläche und deren Werte in Rot dargestellt.

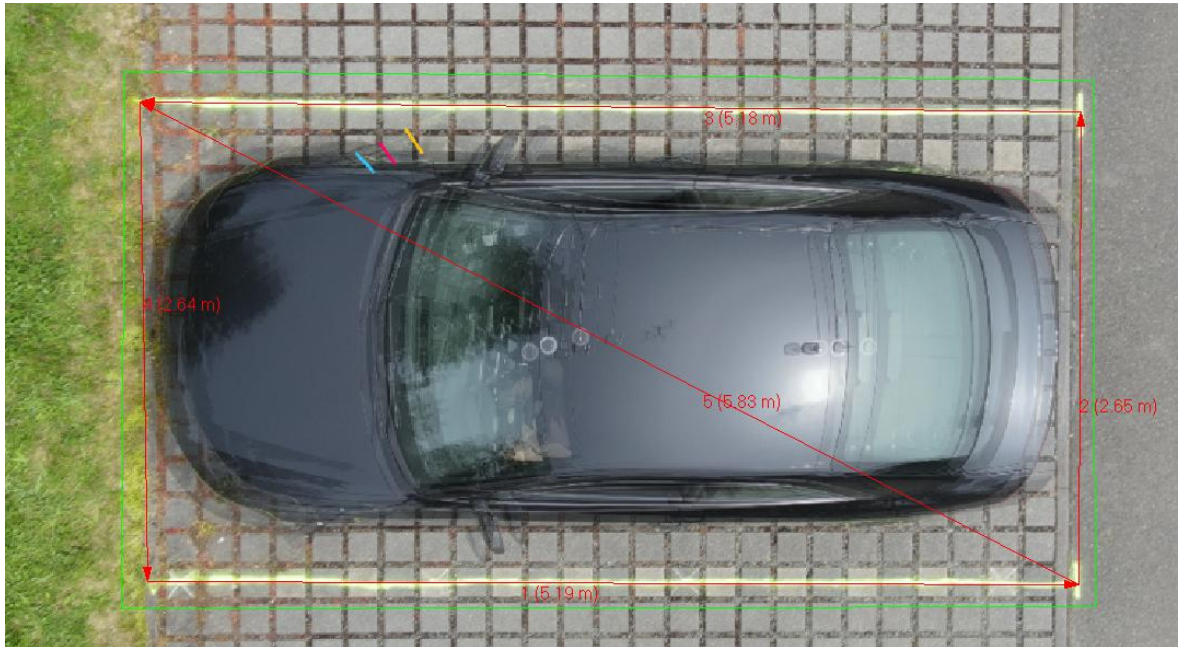


Bild 27: Entzerrbereich und definierte Fläche von 11.C [Eigene Darstellung]

Die entzerrte Datei wurde anschließend als Bitmap in das Programm PC-Crash [46] geladen, in welchem die Distanzen zwischen Start-, End- und eventuellem Maximalpunkt vermessen wurden. Der gefahrene Bogen ist aufgrund der geringen Distanzen vernachlässigt und als gerade Linie idealisiert worden. In Tabelle 8 sind die Ergebnisse der Stichprobenuntersuchung der zurückgelegten Distanzen aufgeführt. Bei den Fahrten, bei denen der Endstandpunkt nicht das Maximum darstellt, sind zunächst die Gesamtstrecke und in Klammern die Werte für die Teilstrecken Ausgang bis Maximum und Maximum bis Endlage angegeben.

Tabelle 8: Ergebnisse Stichprobe gefahrener Distanzen nach fotogrammetrischer Auswertung [Eigene Darstellung]

Durchlauf-Nr.	s [m]	Anmerkung
01.B	1,677	Maxima bei VBox 3i und PBT, Übertritt Linie
01.D	1,567	Übertritt Linie
02.C	1,291	Übertritt Linie
03.D	1,169 (1,039 + 0,130)	Übertritt Linie, wieder vorgerollt
05.A	0,416 (0,262 + 0,154)	Vorwärtsfahrt, wieder zurückgerollt
06.A	0,612	nah am Mittelwert der VBox 3i
06.B	0,198	Minimum PBT
07.B	0,798	nah an Linie
09.B	0,608	nah an Linie

10.A	0,519	leichtes Gegenlenken
11.C	0,415 (0,294 + 0,157)	wieder vorgerollt
12.C	0,287	Minimum VBox 3i
13.A	0,575 (0,319 + 0,256)	wieder vorgerollt
14.B	0,884	Übertritt Linie, nah am Mittelwert der PBT
15.C	0,746	Übertritt Linie

Die Resultate aus Tabelle 8 wurden mit den Ergebnissen von sowohl der VBox 3i als auch mit denen der Performance Box Touch der jeweiligen Versuchsdurchläufe verglichen, was Bild 28 darstellt.

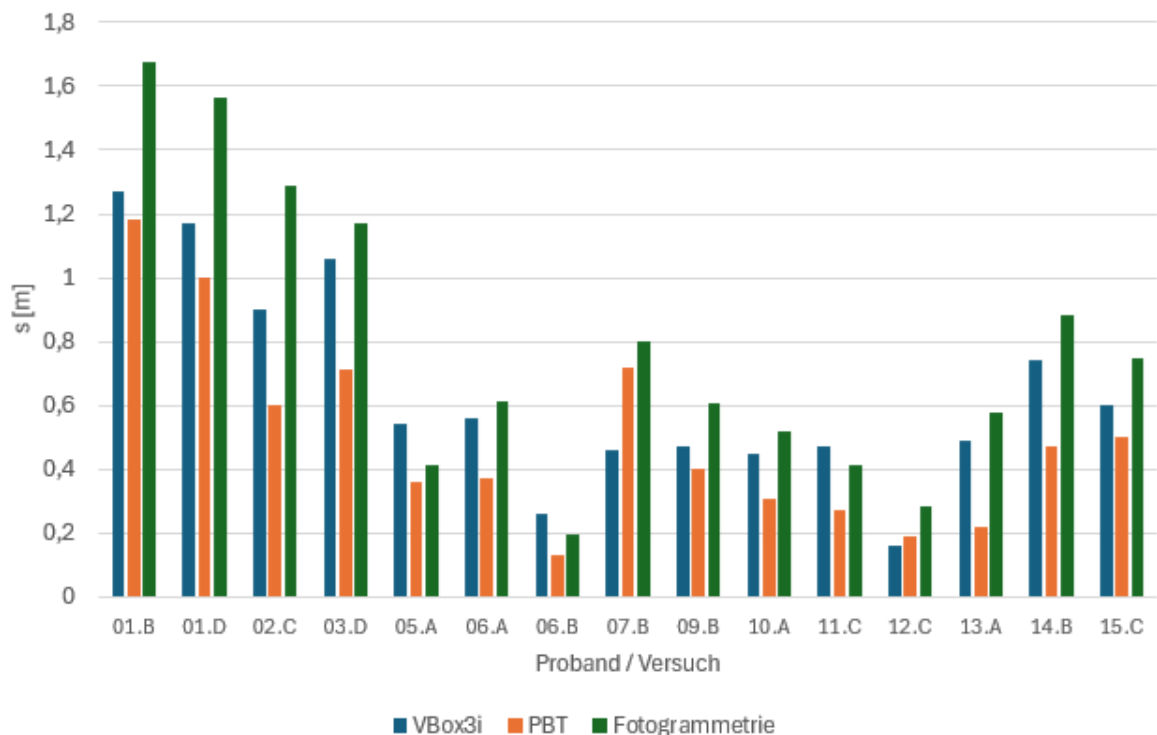


Bild 28: Vergleich der Werte der zurückgelegten Distanzen [Eigene Darstellung]

Es ergibt sich, dass die mittlere Abweichung der Werte zwischen der Fotogrammetrie und der VBox 3i bei 21,95 % liegt, während zur Performance Box Touch eine mittlere Abweichung von 63,04 % besteht. In 12 der 15 Fälle sind die Referenzdaten der VBox 3i näher an den idealisierten Stichprobenwerten als die Werte der Performance Box Touch, sodass die Werte der VBox 3i insgesamt als authentischer angesehen werden.

4.3.4 Vergleich der Resultate der Fahrdatenmessgeräte

Die Auswertung führte zu ähnlichen, aber dennoch abweichenden Messergebnissen von VBox 3i und Performance Box Touch.

Die VBox 3i lieferte dabei nahezu durchgehend höhere Werte bei den erfassten Daten. Nur in jeweils zwei Fällen, sowohl bei Geschwindigkeit, Zeit als auch bei Distanz, lieferte die PBT höhere Werte. In sechs Fahrten bei der Geschwindigkeit, in drei bei der Zeit und in zwei bei der Distanz liegen die Messdaten deutlich beieinander. Für alle drei Größen ist dies bei den Durchgängen 12.B und 12.C der Fall. Der direkte grafische Vergleich der jeweiligen Größen ist in den Anlagen 9 bis 11 abgebildet. Die geringste Abweichung mit einem Mittelwert von 21 % lieferten die Geschwindigkeitsdaten. Jeweils etwa 39 % im Mittel waren die Fahrzeiten und Distanzen der VBox 3i höher als die der PBT. Diese Abweichungen liegen in den technischen Voraussetzungen der Geräte begründet. Die VBox 3i liefert aufgrund der zehnmal so hohen Frequenz und des höheren Leistungs- und Konfigurationsumfangs mehr Daten und eine höhere Genauigkeit. Auch konnte sie, trotz der nahezu identischen Positionierung der GPS-Empfänger, kontinuierlicher die Verbindung zu mehr Satelliten halten. Da alle drei untersuchten Größen in einer geringen Größenordnung liegen, wirken sich diese Unterschiede stärker auf die Resultate aus. Auch im Hinblick darauf, dass die idealisierten Fahrstrecken aus der fotogrammetrischen Analyse näher an der VBox 3i liegen, können den Daten von diesem Fahrdatenmessgerät die höhere Verlässlichkeit zugesprochen werden.

Der Verlauf der Werte beider Geräte ist zu den entsprechenden Zeitpunkten ähnlich. In der Bild 29 ist ein solcher Vergleich am Beispiel des Durchgangs 12.B veranschaulicht. Der rote Graph stellt die Ergebnisse der VBox 3i dar, der blaue den der PBT. Aufgrund des Umstandes, dass die VBox 3i manuell von einem Helfer und die PBT automatisch durch das Losfahren gestartet wurde, ist ein gewisser Vorlauf der VBox vorhanden. Aus den Graphen wird weiterhin ersichtlich, dass die VBox 3i wesentlich mehr Werte aufgrund der höheren Frequenz liefert. Dies führt zu vereinzelten Sprüngen, welche jedoch an den Extrema und dem Trend des Verlaufs keinen nennenswerten Einfluss haben.

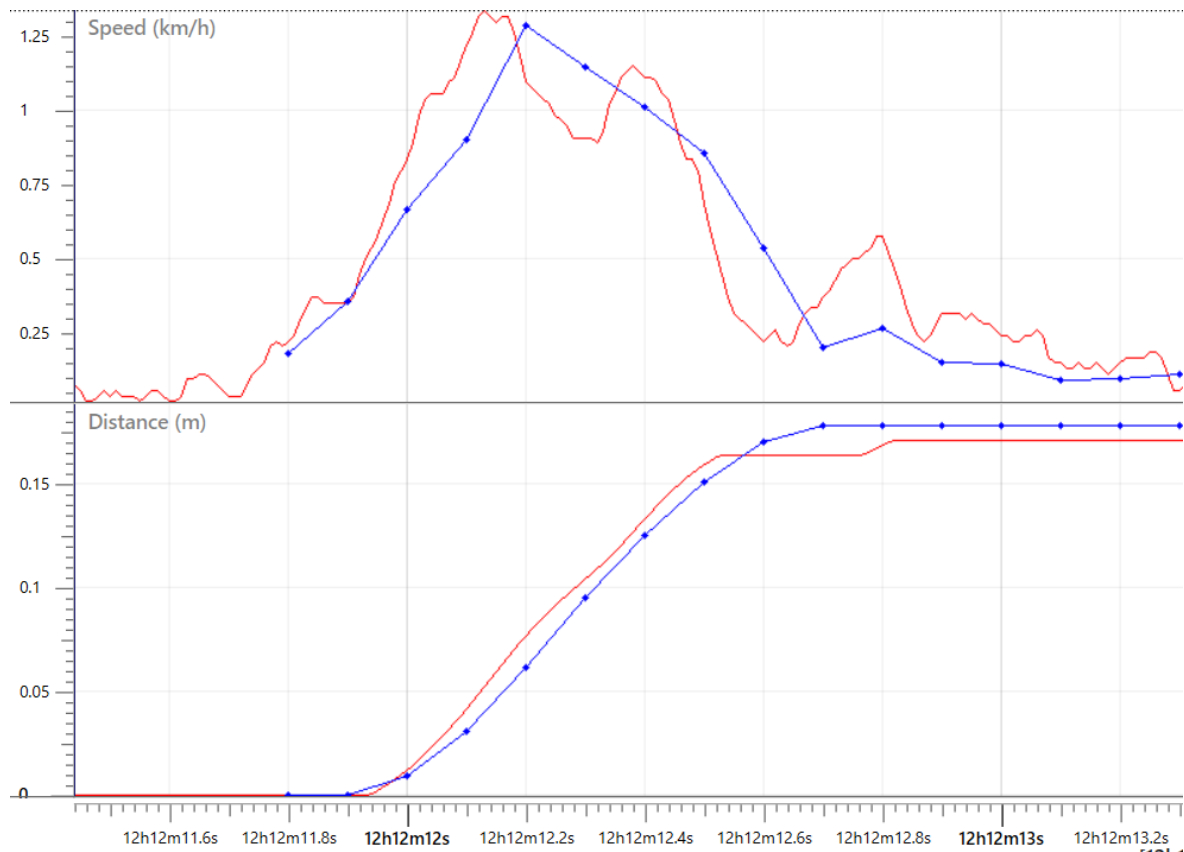


Bild 29: Grafischer Vergleich der Ergebnisse von VBox 3i und PBT bei 12.B [36]

4.3.5 Analyse der Übertretungen der Begrenzungslinie

In der durchgeführten Versuchsreihe kam es bei den 45 ausgewerteten Durchgängen bei insgesamt 17 Versuchen (37,78 %) zu einer Übertretung der Begrenzung. Dies reichte von einem knappen Befahren der Linie bis hin zu einem deutlichen Eintritt in die Nachbarkampfläche. Das Überfahren wurde anhand der Videoaufzeichnungen von vorn, hinten und oben analysiert. Daraus ergeben sich verschiedene Blickwinkel, die die Situation unterschiedlich abbilden. Das ist auf die entsprechenden Kamerapositionen zurückzuführen, welche durch die jeweiligen Perspektiven die Überschreitungen verzerren können. Exemplarisch ist das in den Bildern 30 bis 32 an der Endlage des Durchgangs 14.A veranschaulicht.



Bild 30: Endlage 14.A aus Sicht der vorderen Kamera [Eigene Darstellung]



Bild 31: Endlage 14.A aus Sicht der hinteren Kamera [Eigene Darstellung]

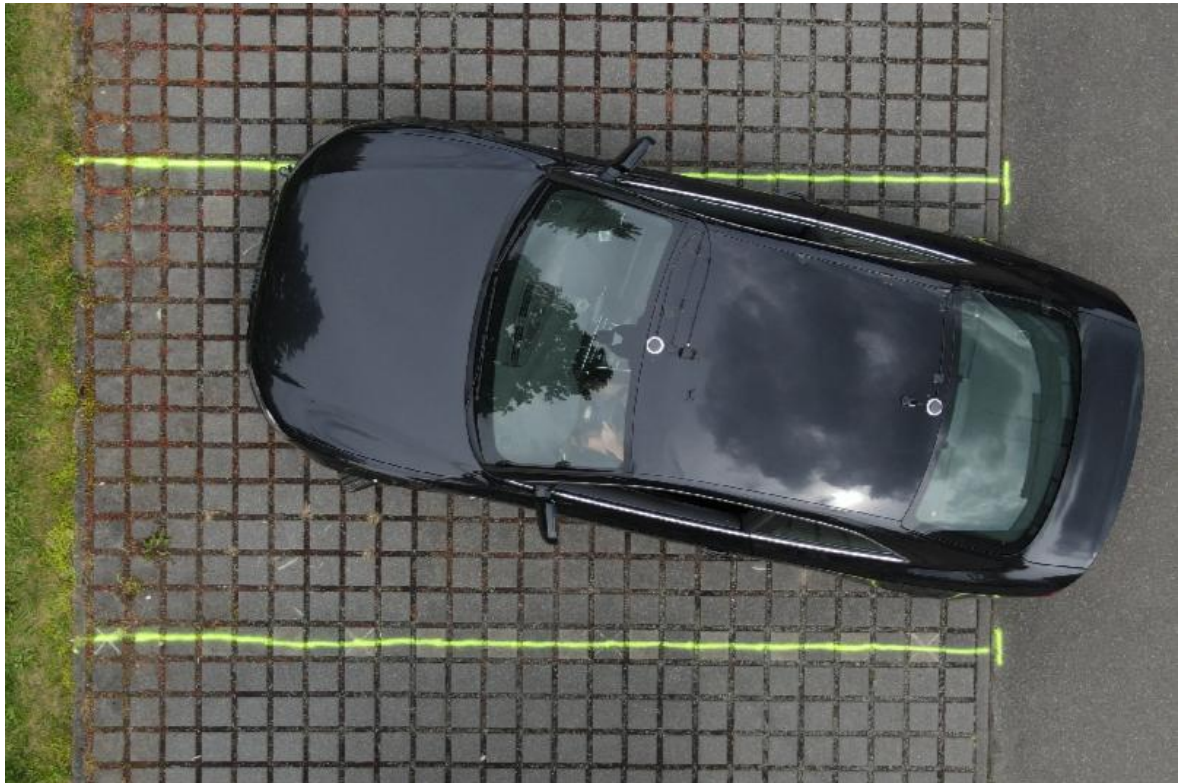


Bild 32: Endlage 14.A aus Sicht der Kameradrohne [44]

Die beim Testfahrzeug stets äußerste Stelle des Eintritts stellt die nach oben hin leicht ausgestellte Radlaufkante dar. Dies ist vorrangig aus der hinteren, aber auch aus der frontalen Perspektive kaum eindeutig ersichtlich. Um die maximal in die Nachbarklücke eingetretene Strecke des Fahrzeugs bestimmen zu können, erfolgten fotogrammetrische Untersuchungen. Bei den betreffenden Fahrten wurden erneut aus den Drohnenaufnahmen Standbilder extrahiert, die zunächst in PC-Rect [45] entzerrt und anschließend in PC-Crash [46] vermessen wurden. Daraus ergaben sich die in Tabelle 9 dargestellten Werte.

Tabelle 9: Eintrittstrecken des Testfahrzeugs in die Nachbarklücke [Eigene Darstellung]

Durchlauf-Nr.	s [m]	Durchlauf-Nr.	s [m]
01.B	0,285	10.B	0,234
01.C	0,328	13.B	0,163
01.D	0,449	14.A	0,290
02.B	0,103	14.B	0,128
02.C	0,365	14.C	0,246
03.D	0,206	15.A	0,162
07.C	0,153	15.B	0,174
08.B	0,113	15.C	0,123

08.C	0,112		
Maximum:	0,449	Minimum:	0,103
Median:	0,174	Mittelwert:	0,214
Standardabweichung:	0,098		

Die größte Übertretung erreichte Proband 01 im dritten gewerteten Versuch, auch wenn in dessen erstem gewerteten Versuch die größte zurückgelegte Distanz gefahren worden ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass trotz des Bestrebens nach gleichen Ausgangsbedingungen kein exakt identischer Beginn erreicht werden konnte. Auf die weiteren Fälle erweitert bedeutet das, dass es nicht notwendigerweise bei den aufgeführten Fällen zu einem Übertritt hätte kommen müssen, wenn die Probanden exakt mittig gestanden hätten bzw. dass andere Fahrten zu einem Überfahren hätten führen können, wenn der Durchlauf mittig oder rechts in der Lücke begonnen hätte. Ein solch unstetes Bild der Ausgangslagen ist jedoch repräsentativ für das Parkverhalten in realen Situationen. Für die Untersuchung des Übertretens an sich ist es nicht von Bedeutung, dass das Einlenken während der Versuchsreihe bereits zu Beginn erfolgte. Die Werte können auf jeden Ort innerhalb der Parklücke adaptiert werden und stellen die Eintrittsdistanzen ab dem Einlenken dar.

4.3.6 Auswertung der Ergebnisse der Probandenfragebögen

Nach den jeweiligen Fahrdurchläufen füllte jeder Proband einen zweiseitigen Fragebogen aus, der Angaben zur Person und dessen Fahrerfahrung sowie über die vorausgegangene Versuchsteilnahme erhob. Die Vorlage jenes Fragebogens ist in Anlage 12 dargestellt, die ausgefüllten Exemplare sind auf dem der Arbeit beigelegten Datenträger gespeichert. Eine erweiterte tabellarische Zusammenfassung aller Ergebnisse ist in Anlage 13 aufgeführt. Sinngemäße Aussagen werden trotz anderen Wortlauts vereint. Am Versuchstag wurde der Fragenkatalog vom Versuchsleiter mündlich um die Feststellung der Kraftstoffart des eigenen Fahrzeuges erweitert, sodass diese Angabe auf dem Fragebogen beim Baujahr ergänzt wurde. Einzelne Informationen, welche nicht auf dem Blatt angegeben worden sind, wurden im Nachgang bei der jeweiligen Person erfragt und auf dem Fragebogen hinzugefügt. Bei einigen Fragen wurden von den Probanden mehrere Antworten gegeben,

sodass die Summe der Erhebungen von den sonst 15 Resultaten abweicht. Aus der Angabe von Jahreszahlen wurde das jeweilige Alter bzw. die jeweilige Dauer abgeleitet.

Somit ergibt sich aus den Daten ein Bild über die Probandengruppe, welches Tabelle 10 zusammenfasst.

Tabelle 10: Überblick Eigenschaften Probandenschar [Eigene Darstellung]

Geschlecht	Männlich: 13 (86,67 %) Weiblich: 2 (13,33 %)
Alter	Durchschnitt: 23,6 Jahre Mindestalter: 21 Jahre Maximalalter: 26 Jahre
Dauer seit Erwerb der Fahrerlaubnis	Durchschnitt: 6,73 Jahre Mindestdauer: 4 Jahre Maximaldauer: 10 Jahre
Erworbene Fahrerlaubnisklassen	B (inkl. AM, L): 13 (86,67 %) B197 (inkl. AM, L): 2 (13,33 %) Mehr als eine Klasse: 4 (26,68 %)
Probanden mit eigenem Pkw	Ja: 11 (73,33 %) Nein: 4 (26,67 %)
Getriebeart, wenn eigener Pkw	Manuelles Schaltgetriebe: 9 (81,82 %) Automatikgetriebe: 2 (18,18 %)
Kraftstoffart, wenn eigener Pkw	Benzin: 8 (72,72 %) Diesel: 2 (18,18 %) Autogas: 1 (9,09 %)
Alter des eigenen Pkw	Durchschnitt: 14,73 Jahre Mindestalter: 7 Jahre Maximalalter: 27 Jahre
Wenn nicht in Besitz, regelmäßige Fahrt in fremdem Pkw?	Ja, mit Schaltgetriebe: 1 (25 %) Ja, mit Automatikgetriebe: 1 (25 %) Nein: 2 (50 %)
Jährliche Fahrleistung	Durchschnitt: 11829 km Mindestfahrleistung: 100 km Maximalfahrleistung: 35.000 km

Bild 33 zeigt die Fahrerfahrung der Probanden. Proband 5 ist zwar am längsten im Besitz der Fahrerlaubnis, fährt jedoch nicht mit einem Auto. Die niedrigste Fahrleistung liegt bei 100 km im Jahr, die höchste bei 35.000 km.

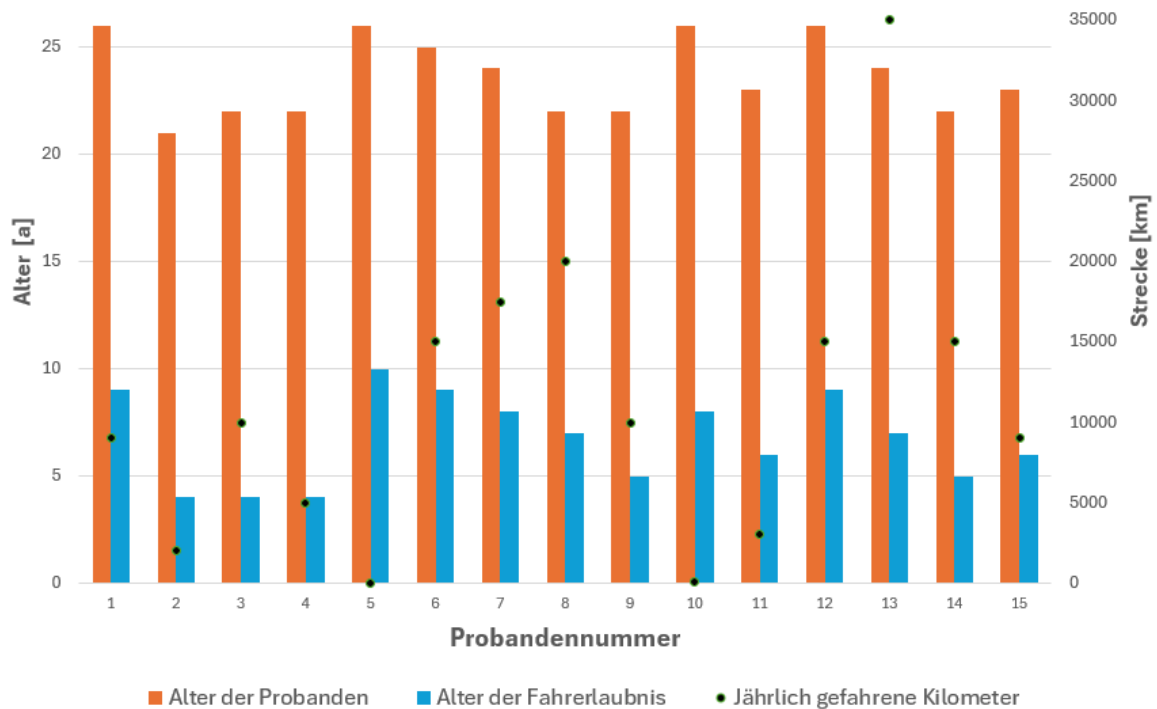


Bild 33: Alter und Fahrerfahrung der Probanden [Eigene Darstellung]

Zwei Drittel der Testpersonen sind bereits von mindestens einem Pedal während der Fahraufgabe abgerutscht, wobei durchweg ohne Beschädigungen in kurzer Zeit reagiert werden konnte. Da Proband 8 mehrere Szenarien angab, resultieren daraus zwölf Situationen von den zehn Probanden, welche bereits eine Abrutscherfahrung gemacht hatten. Jeweils 40 % rutschten vom Kupplungs- bzw. vom Fahrpedal ab, eine Person von beiden gleichzeitig und drei weitere vom Bremspedal. Dies geschah im Großen und Ganzen bei niedrigen Geschwindigkeiten wie dem Parken oder Anfahren. Einzig Proband 15 beschrieb eine Situation bei etwa 150 km/h auf der Autobahn, was auf Absatzschuhe zurückzuführen war. Acht Personen trugen bei ihren Vorfällen Turnschuhe oder ähnliches Schuhwerk, eine Person Arbeitsschuhe, eine Absatzschuhe und eine weitere gab keine Angaben.

Als letzte Frage im personenbezogenen Teil wurde erhoben, welche Ausparksituation die Probanden am unangenehmsten empfinden. Über 60 % gaben dabei ein rückwärtiges Ausparken an. Ein Drittel empfindet das quere, über ein Viertel das längsseitige Ausparken als unangenehm. Für eine Person ist das Vorwärtsausparken stressig.

Abschließend zu den persönlichen Angaben lässt sich sagen, dass die Personen-
gruppe für die Testreihe geeignet gewesen ist. Ein Großteil war mit einem Fahrzeug
jener Art, dem Fahren an sich und dem plötzlichen Abrutschen vertraut.

Im zweiten Teil des Fragebogens wurden aus den Versuchsfahrten resultierende
Erfahrungswerte erhoben. 80 % der Teilnehmer beurteilen den Versuch als reali-
tätstnah, 20 % als zu abstrakt. Ebenfalls 80 % hatten bei der Durchführung keine
Probleme, 20 % fanden das Provozieren schwierig und unnatürlich. Dabei gab es
jedoch nur eine Überschneidung von zwei der je drei Personen, welche den Versuch
als realitätsfern und schwierig bezeichneten.

13 Testpersonen gaben an, dass eine Beschädigung bei einem solchen Vorfall
denkbar ist, insbesondere bei einem zu geringen Abstand zum Nachbarfahrzeug.
Die zwei verbleibenden gaben an, dass es nicht möglich ist. Fünf Probanden halten
das Abrutschen des Bremspedals während einer Gefahren- oder Notfallsituation für
gefährlicher, eine Person das der Kupplung beim Anfahren am Berg. Bezüglich des
Parkens können sich zwei Personen vorstellen, dass es beim Abgleiten von der
Bremse auf das Fahrpedal zu größeren Problemen kommen kann. Je ein Proband
hält das Rutschen von der Bremse und das Rutschen unter das Kupplungspedal für
gefährlicher. Ohne weitere Beschreibung halten drei Personen pauschal für mög-
lich, dass es gefährlichere Konstellationen als das Untersuchungsszenario gibt,
zwei für unwahrscheinlich.

Als Auslöser eines Abrutschens von Pedalen nannten die Testpersonen viele ver-
schiedene Ursachen, wobei über 53 % Nässe und etwa die Hälfte das Schuhwerk
verantwortlich machen. Ein ungewohntes Fahrzeug nannten über 13 % als Grund.
Die im Fragebogen erhobenen Daten bezüglich Schuhwerk und Blickverhalten wer-
den an den entsprechenden Stellen in den folgenden Kapiteln betrachtet.

Inwiefern und welche Fahrerassistenzsysteme den Probanden bei Park- und Ran-
giervorgängen von Nutzen sind, ist in Bild 34 zusammengefasst.

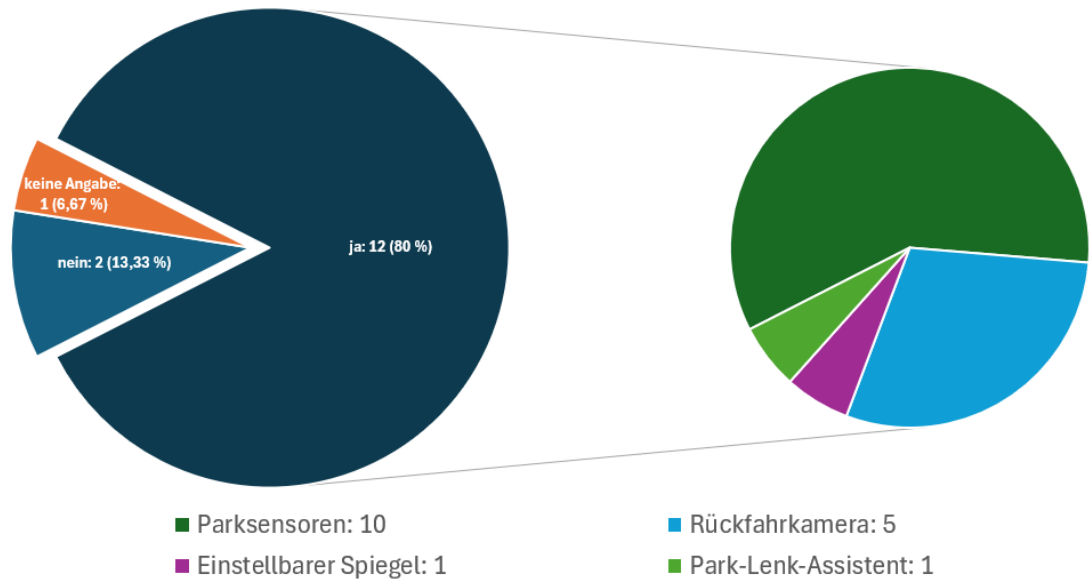


Bild 34: Genutzte Assistenzsysteme beim Parken [Eigene Darstellung]

4.3.7 Auswertung des Schuhwerks und des Abrutschverhaltens

Um auffällige Resultate und bestimmtes Verhalten der Probanden, das auf deren getragenes Schuhwerk zurückzuführen sein könnte, damit in Verbindung zu bringen, wurde dieses fotografisch festgehalten. Dies geschah nach dem in den Bildern 35 und 36 dargestellten Schema, bei dem sowohl die Schuhe als auch deren Sohle und damit auch der gesamte Zustand dokumentiert wurden.



Bild 35: Schuhwerk von Proband 9
[Eigene Darstellung]



Bild 36: Sohle von Proband 9
[Eigene Darstellung]

Darüber hinaus wurde über den im vorangegangenen Unterkapitel ausgewerteten Fragebogen die Schuhgröße sowie, zum Vergleich mit den Bildern des Schuhwerks, der Zustand der Schuhe erhoben.

Tabelle 11 fasst die Informationen des getragenen Schuhwerks der Testpersonen zusammen.

Tabelle 11: Schuhwerk der Probanden am Versuchstag [Eigene Darstellung]

Lfd. Nummer Probanden	Art des Schuhs	Profilierung	Zustand der Sohle	Schuhgröße
1	Turnschuhe	wenig	leicht verschmutzt	39/40
2	Sneaker	wenig	sauber	41
3	Turnschuhe	nahezu keine	sauber, fast vollständig abgelaufen	43
4	Turnschuhe	wenig	sauber	46
5	Turnschuhe	wenig	sauber	42
6	Knöchelschuhe	mittel	leicht verschmutzt	46
7	Turnschuhe	wenig	sauber	45
8	Sneaker	wenig	sauber	45
9	Sneaker	wenig	sauber	43
10	Sneaker	wenig	sauber	47
11	Turnschuhe	wenig	sauber	42/43
12	Sneaker	mittel	sauber	50 (51)
13	Sneaker	wenig	sauber	43
14	Sneaker	wenig	sauber	46
15	Sneaker	wenig	Sauber, abgelaufene Ferse	40

Da die Versuchsreihe an einem sommerlichen Tag stattfand, trugen die Probanden fast durchgängig Turnschuhe bzw. Sneaker und hatten trockene Sohlen. Einzig Proband 6 wich davon ab und trug Knöchelschuhe. Bis auf dieser und Proband 12, welche ein mittelstark ausgeprägtes Profil aufwiesen, hatten alle ein geringes und weitgehend gleichmäßiges Profil. Einige Schuhe waren nahezu neu, die meisten wiesen normale bis stärkere Gebrauchsspuren auf; das Profil von Proband 3 war komplett abgelaufen und damit äußerst glatt. Die Probanden 1 und 6 hatten leicht verschmutzte Sohlen in Form von anhaftenden Kieseln. Die Probanden 3, 5, 12 und 13 hatten laut eigener Einschätzung im Fragebogen schmutzige Schuhe, was jedoch anhand der Fotos im Vergleich als sauber gewertet wird. Im Gegensatz dazu meinte Proband 1, sauberes Schuhwerk zu tragen, welches jedoch als schmutzig angesehen wird. Das während des Versuchs getragene Schuhmodell von Proband

12 ist, wie im dazugehörigen Bild ersichtlich, in Größe 51; im Gegensatz zur Angabe im Fragebogen, laut der der Proband sonst Größe 50 trägt. Die Probanden 1 und 11 gaben jeweils zwei getragene Größen an.

Obwohl allen Probanden vom Versuchsleiter in der gleichen Weise das auszuführende Szenario erklärt worden ist, gibt es signifikante Unterschiede in der Umsetzung. Aus der Analyse der Videoaufnahmen der Kamera im Fahrerfußraum ergaben sich die in Tabelle 12 aufgeführten Abrutschrichtungen und Auffälligkeiten. Für Versuch 04.A steht keine Aufnahme zur Verfügung, sodass nur 44 der 45 Durchläufe auswertbar waren.

Tabelle 12: Fußbewegungsverhalten der Probanden [Eigene Darstellung]

Lfd. Nummer Probanden	Durchlauf-Nr.	Abrutschrichtung	Auffälligkeiten
1	01.B	schräg nach unten links	-
	01.C	nach links oben	am Pedal hängen geblieben
	01.D	nach links oben	Pedal erneut durchgetreten, dann erneut links weg
2	02.B, 02.C, 02.D	leicht abgehoben	-
3	03.A, 03.C, 03.D	links unten	-
4	04.A	<i>kein Video vorhanden</i>	
	04.B	kein Abrutschen	Pedal mehrfach durchgedrückt
	04.C	leicht abgehoben	-
5	05.A	kein Abrutschen	Pedal stark schnippen gelassen, 1. Gang eingelegt
	05.B	nach links unten abrupt abgehoben	-
	05.C	leicht abgehoben	-
6	06.A, 06.B, 06.C	kein Abrutschen	-
7	07.A, 07.B, 07.C	abgehoben	-

8	08.A	links unten	-
	08.B	links unten	kein vollständiges Abrutschen vom Pedal
	08.C	links unten	schnell
9	09.A, 09.B, 09.C	kein Abrutschen	am Schleifpunkt wieder durchgedrückt
10	10.A, 10.B, 10.C	kein Abrutschen	am Schleifpunkt wieder durchgedrückt
11	11.A, 11.B	links	zunächst abgehoben, an Pedalrand hängen geblieben, dann ganz abgerutscht
	11.C	links	bis Ecke Pedal, dann gänzlich abgerutscht
12	12.A, 12.B, 12.C	kein Abrutschen	am Schleifpunkt wieder durchgedrückt
13	13.A, 13.B, 13.C	abgehoben	-
14	14.A	leicht abgehoben	-
	14.B, 14.C	kein Abrutschen	am Schleifpunkt wieder durchgedrückt
15	15.A	links	bis Kante gerutscht, dann abgehoben und Pedal schnippen lassen, Fuß auf Fußablage
	15.B	links	Fuß bis auf Fußablage
	15.C	links unten	Pedal schnippen lassen, an linker unterer Pedalecke hängen geblieben, dann abgehoben

Aus der Auswertung ergibt sich, dass in 16 Durchläufen (36,36 %) tatsächlich vom Pedal abgerutscht worden ist. In all jenen Fällen fand dies nach links statt; davon neunmal nach unten und zweimal nach oben.

In 12 Durchgängen (27,27 %) wurde der Fuß leicht bis eindeutig vom Pedal abgehoben. In weiteren 16 Fällen wurde der Fuß nicht sichtbar vom Pedal bewegt. Dies führte dazu, dass in sechs Durchläufen kein Abwürgen des Motors stattfand oder provoziert werden konnte. Als Gründe können bei den Probanden 4 und 5 die mangelnde Fahrerfahrung und bei den Testpersonen 6, 10 und 12 die Probleme bei der Durchführung aufgrund der ungewohnten Situation angebracht werden.

Acht Probanden (53,3 %) führten alle drei Durchläufe gleichermaßen aus, bei den verbleibenden kam es zu unterschiedlichem Verhalten.

4.3.8 Blickverhalten der Probanden

Die mit dem Eye-Tracking-System aufgenommenen Videos wurden zunächst aus dem Tobii Pro Glasses Controller als MP4-Dateien exportiert.

Anschließend kam es zur Analyse dieser, bei der das Blickverhalten der Testpersonen und die fixierten Objekte während der Versuchsfahrten untersucht wurden.

Für die Durchläufe 06.B, 06.C, 07.B und 09.A liegen aufgrund von fehlerhaften Aufnahmen keine Resultate vor.

In Tabelle 13 sind die Ergebnisse der einzelnen Testfahrten dargestellt.

Tabelle 13: Fixationsobjekte während der Testfahrten [Eigene Darstellung]

Lfd. Nummer Probanden	Durchlauf-Nr.	Fixierte Objekte	Auffälligkeiten
1	01.B	Tacho, Drehzahlmesser, Lenkrad, linker Spiegel	Pendelblick
	01.C	MFA, linker Spiegel	Pendelblick
	01.D	linker Spiegel	-
2	02.B	Rückfahrkamera	Blick kurz vor rechte Seite der Front
	02.C	Drehzahlmesser, nach vorn, PBT, Rückspiegel	-
	02.D	Lenkrad, MFA, Rückfahrkamera	Pendelblick
3	03.A	nach vorn, Lenkrad	-
	03.C	Lenkrad, MFA	-
	03.D	gerade nach vorn, linker Spiegel	-
4	04.A	MFA, Lenkrad, nach vorn, Rückfahrkamera, Fußraum	Pendelblick, kontrollierend
	04.B		
	04.C	MFA, Drehzahlmesser, Lenkrad, Fußraum	weniger pendelnd
5	05.A	MFA, Drehzahlmesser, nach vorn	-
	05.B	Drehzahlmesser	-
	05.C	nach vorn	-

6	06.A	Lenkrad, MFA, Drehzahlmesser	-
	06.B	<i>keine Aufnahmen vorhanden</i>	-
	06.C		-
7	07.A	Drehzahlmesser	-
	07.B	<i>keine Aufnahme vorhanden</i>	-
	07.C	Drehzahlmesser	-
8	08.A, 08.B, 08.C	gerade nach vorn	-
9	09.A	<i>keine Aufnahmen vorhanden</i>	-
	09.B, 09.C	nach vorn	-
10	10.A	linker Spiegel	bei versehentlichem Lenken kurz auf Lenkrad geschaut
	10.B		nach Abwürgen Blick auf Lenkrad und Rückfahrkamera
	10.C		nach Abwürgen Blick auf Lenkrad
11	11.A	MFA	-
	11.B		nach Abwürgen Blick auf Rückfahrkamera
	11.C		-
12	12.A	Lenkrad	-
	12.B	Fußraum, Drehzahlmesser	-
	12.C	nach vorn	-
13	13.A	nach vorn	-
	13.B	Drehzahlmesser	-
	13.C	linker Spiegel	-
14	14.A	nach vorn, Lenkrad	-
	14.B		-
	14.C	nach vorn	-
15	15.A	Rückfahrkamera, MFA	kurz vorm Abrutschen Blick zur MFA
	15.B	MFA	-
	15.C		-

Aufgrund des Umstandes, dass es sich um eine kurze konkrete Untersuchungssituation handelt, gibt es wenige potenziell fixierbare Objekte innerhalb des möglichen

Blickfeldes der Probanden. Dieses umfasst ohne nennenswerte Drehung des Kopfes oder des Rumpfes den in Bild 37 dargestellten Ausschnitt und damit die darin enthaltenen Objekte.



Bild 37: Blickfeld der Probanden [Eigene Darstellung]

Die 41 verwertbaren Durchläufe führten zu insgesamt 73 eindeutigen Objektfixationen. Bei 16 Fahrten kam es zu mehr als einem anvisierten Gegenstand. Dies ist mehrheitlich auf einen Pendelblick zurückzuführen, welcher stellenweise kontrollierend über die Instrumente schweifte. Dennoch bewegte kein Proband während der Versuchsdurchgänge seinen Kopf oder gar Körper nennenswert nach rechts, links oder nach hinten. Somit kam es in keinem Durchgang zu dem erwartbaren Blickverhalten für das sichere Durchführen dieser konkreten Ausparksituation. Dieses hätte das Blicken in den rechten Außenspiegel, in Richtung der rechten vorderen Fahrzeughecke, das intensive Schauen in die Rückfahrkamera oder einen Schulterblick verlangt. Das stattgefundene Verhalten ist darauf zurückzuführen, dass es sich um eine wissenschaftliche Testreihe handelte. Die Probanden wussten sowohl, was passieren wird und dass es nicht zu einem Schadenereignis kommen kann, wie es in einem realen Manöver möglich wäre. Ausschließlich Proband 2 schaute kurz zur vorderen rechten Seite des Testfahrzeugs und ansonsten in die Rückfahrkamera. Zusätzlich wurde viermal kurz in ebendiese geschaut.

Tabelle 14 und Bild 38 führen die Häufigkeiten der fixierten Objekte auf.

Tabelle 14: Häufigkeit Fixationsobjekte [Eigene Darstellung]

Fixationsobjekt	Absolute Häufigkeit	Häufigkeit [%]
Drehzahlmesser	10	13,70
Fußraum	4	5,48
Innenspiegel	1	1,37
Lenkrad	10	13,70
linker Außenspiegel	8	10,96
MFA	15	20,55
nach vorne	18	24,66
PBT	1	1,37
Rückfahrkamera	5	6,85
Tachometer	1	1,37

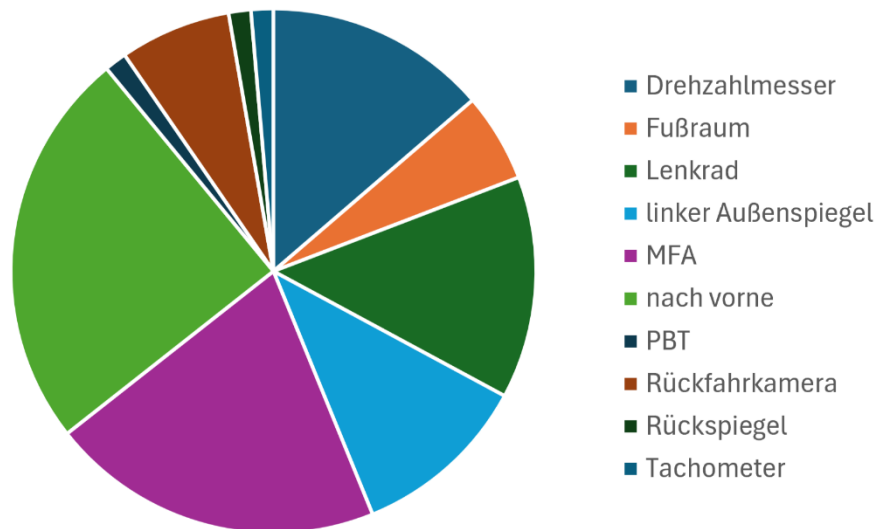


Bild 38: Diagramm Verteilung Fixationsobjekte [Eigene Darstellung]

Am häufigsten wurde nach vorne geschaut. Der Blick nach vorn kann in drei weitere Unterkategorien separiert werden, welche annähernd im gleichen Maße fixiert wurden. Dazu gehören die Motorhaube, die vor dem Wagen platzierte Kamera sowie die gegenüber dem Testgeschehen befindliche Botanik. Eine aus dem Szenario sowohl im Versuch als auch in einer realen Situation begründete Notwendigkeit dafür besteht nicht. Wahrscheinlich ist, dass aufgrund des Sachverhaltes keine explizite Fixation durch den Probanden für erforderlich erachtet worden ist.

Aufgrund des Lenkeinschlags konnte der Tachometer nahezu von keinem Probanden gesehen werden, sodass am zweithäufigsten stattdessen die Geschwindigkeit in der Multifunktionsanzeige abgelesen werden wollte. In Erwartung, dass es sich

bei der linken sichtbaren Anzeige, um den Tachometer handelte, wurde der Drehzahlmesser am dritthäufigsten anvisiert. Dies kann auch darauf zurückzuführen sein, dass damit eine eindeutige Rückmeldung über das Losfahren des Versuchsfahrzeugs stattfinden sollte oder weil aufgrund des ausgebauten Lenkradairbags die zugehörige Warnleuchte dort aktiv gewesen ist. Ebenfalls häufig fiel der Blick auf das Lenkrad, womit sichergestellt werden sollte, dass der vorgeschriebene Lenkeinschlag eingehalten wurde.

Im Probandenfragebogen wurde ferner erhoben, wohin die Probanden der eigenen Meinung nach am längsten bzw. intensivsten geschaut haben. Dabei ergab sich, dass jeweils genau ein Drittel der Teilnehmer eine richtige, eine teilweise richtige und eine nicht aus den Aufnahmen nachvollziehbare Selbsteinschätzung abgab.

4.3.9 Vergleich mit vorangegangenen Untersuchungen

Die Resultate aus der Probandentestreihe sollen in diesem Unterkapitel mit denen der vorausgegangenen Versuchsreihen zum Abrutschen von Fahrzeugpedalen verglichen werden. Dafür werden die folgenden Szenarien herangezogen:

- Ergebnisse Versuch 2 der zweiten Versuchsreihe von SOMMER [23], bezeichnet als S20
- Ergebnisse Versuch 1 von RUMMEL [27], bezeichnet als R21
- Ergebnisse der Versuchsreihe von REINL [28], bezeichnet als R22
- Ergebnisse der vorliegenden Arbeit, bezeichnet als M26

Die Versuche von SOMMER [23] und RUMMEL [27] stellen das exakte Pendant der behandelten Konstellation als Geradeausfahrt dar, bei der bei gelöster Feststellbremse am Schleifpunkt abgerutscht worden ist. Die Situation von REINL [28] gilt als Referenz eines Automatikfahrzeugs in typischer Anfahrssituation in derselben Ausgangskonfiguration.

In den Tabellen 15 bis 17 werden die zurückgelegten Distanzen, dafür benötigte Zeiten sowie die erreichten Höchstgeschwindigkeiten gegenübergestellt. Bei S20 und R21 werden die Strecken, die über den Messstab festgestellt worden sind, herangezogen, bei R22 die vermessenen Sandspuren. Die Zeiten bei S20, R21 und R22 sind per Einzelbildauszählung aus Videoaufnahmen ermittelt worden. Die Geschwindigkeitsdaten wurden bei S20 und R21 mit dem Fahrdatenmessgerät PicDAQ5 erfasst, flossen jedoch bei S20 nicht mit in die Auswertung ein und können an dieser Stelle nicht herangezogen werden. R22 bestimmte die Geschwindigkeit

nahe des Fahrzeugschwerpunktes mit der PBT. Bei M26 werden alle Messergebnisse der VBox 3i verwendet.

Tabelle 15: Vergleich der gefahrenen Distanzen der Versuchsreihen [Eigene Darstellung]

Versuchsreihe	Mittelwert [m]	Minimalwert [m]	Maximalwert [m]
S20	0,03	0,00	0,16
R21	0,30	0,17	0,71
R22	0,349	0,08	0,93
M26	0,611	0,16	1,27

Tabelle 16: Vergleich der Fahrdauern der Versuchsreihen [Eigene Darstellung]

Versuchsreihe	Mittelwert [s]	Minimalwert [s]	Maximalwert [s]
S20	0,88	0,52	1,68
R21	1,94	0,72	4,96
R22	0,811	0,43	1,12
M26	1,668	0,67	3,13

Tabelle 17: Vergleich der Maximalgeschwindigkeiten der Versuchsreihen [Eigene Darstellung]

Versuchsreihe	Mittelwert [km/h]	Minimalwert [km/h]	Maximalwert [km/h]
S20	-	-	-
R21	2,58	1,73	4,14
R22	1,709	0,11	4,78
M26	3,352	1,33	5,00

Aus diesen Werten ergibt sich, dass die höchsten Distanzen bei den Fahrten der in dieser Arbeit durchgeführten Versuchsreihe zurückgelegt worden sind. Der Mittelwert entspricht nahezu dem Doppelten von R21 und R22. Der Minimalwert ist sogar um einen Zentimeter geringer als bei R21, jedoch doppelt so groß wie bei R22. Die Geradeausfahrt in S20 ergab äußerst niedrige Strecken, während die Ergebnisse der anderen Reihen in ähnlichen Größenordnungen liegen.

Trotz der komplexesten Aufgabe in M26 erreichten die Probanden bei R21 die längsten Zeiten zur Ausführung der Aufgabe. Die relativ nah beieinander liegenden Zeiten von S20 und R22 stellen im Mittel jedoch nur etwa die Hälfte von M26 dar. Die im Durchschnitt höchsten Geschwindigkeiten wurden wieder in dieser Testreihe erreicht, auch wenn der höchste Minimalwert bei R21 lag.

Dass während der Versuchsfahrten der vorliegenden Arbeit die höchsten Geschwindigkeiten erreicht werden konnten, steht in Korrelation mit den größeren gefahrenen Distanzen. Dies kann auf die umfassendere Aufgabe für die Probanden zurückzuführen sein. Die Umstände der leichten Bogenfahrt führen ebenfalls zu größeren Strecken. Gründe für die Variationen im zeitlichen Verlauf können das unterschiedliche Verhalten bzgl. des subjektiven Pedalgefühls sowie das Reaktionsvermögen zum Zeitpunkt des Abrutschens und des Anhaltens der verschiedenen Probanden sein. Innerhalb und zwischen den jeweiligen Versuchsreihen ist keine eindeutige Aussage darüber zu treffen, welchen Einfluss persönliche Voraussetzungen auf die Situation haben. Dies ist auf die geringe Probandenzahl und deren eindeutige Erwartungshaltung in Bezug auf die Laborbedingungen zurückzuführen. Letztere sowie Art und Inhalt der Versuchserklärung durch den Testleiter beeinflussen weiterhin die jeweiligen Durchläufe und deren Ergebnisse.

Auch wenn die Testreihen S20 und R21 mit demselben Audi A5 wie M26 durchgeführt worden sind, gibt es zusätzlich aufgrund der Geradeausfahrt und der abstrakteren Umgebung bzgl. eines Ausparkmanövers deutliche Unterschiede. Jene Szenarien bilden, abgesehen von der Nutzung des Rückwärtsgangs, eher Anfahrtsituationen an Ampeln, Kreuzungen oder im Stop-and-Go-Verkehr ab. Das ähnliche, aber dennoch unterschiedliche Verhalten bei R22 kann neben den persönlichen Voraussetzungen der Probanden auf das verschiedenartige Testfahrzeug zurückzuführen sein. Die unterschiedlichen Arten der Messgeräte bzw. Datenerhebung führen ebenfalls zu Abweichungen.

4.3.10 Fehlerbetrachtung

Jede Messung eines bestimmten Vorgangs unterliegt trotz größtmöglicher Sorgfalt in Planung und Durchführung gewissen Abweichungen. Dies ist auf eine Vielzahl zeitgleich auf die Umgebung, den aufzunehmenden Vorgang und das jeweilige Messgerät einwirkender Einflüsse zurückzuführen. Dabei lassen sich drei Arten von Fehlern unterscheiden. Grobe Fehler folgen aus einem mangelhaften Verhalten des Durchführenden, wie das Verwenden eines defekten Messgerätes oder einer ungeeigneten Methode sowie durch falsche Datenerhebung. Diese Fehler sind zwar gut vermeidbar, können aber auftreten. Systematische Abweichungen sind durch inkorrekte Messgeräte oder ungenaue Messmethoden bedingt. Diese beeinflussen alle erhobenen Werte gleichermaßen und sollten bei guten Ausgangsbedingungen

möglichst gering ausfallen. Bei zufälligen Fehlern kommt es zu nicht beeinflussbaren Abweichungen, die das Messergebnis ohne festes Muster aufgrund willkürlicher Einflüsse verfälschen. Trotz gründlicher Planung und Absolvierung der Versuchsreihe können diese nicht vermieden werden [48] S. 654 f.

Als grobe Fehler können bei der untersuchten Testserie angesehen werden, dass der Lenkeinschlag trotz Anweisung bei einigen Fahrten leicht abgeändert wurde, was zu geringen Abweichungen der Werte geführt haben könnte. Des Weiteren hätte die Vorwärtsfahrt bei Durchgang 05.A vermieden werden können. Eine stellenweise mehrere Dezimeter umfassende Abweichung der Ausgangslage des Testfahrzeugs führte zu Einflüssen auf die Resultate, vor allem bzgl. der Linienübertretung. Ein weiterer grober Fehler ist, dass einige Aufnahmegeräte bei manchen Durchgängen nicht vom Verantwortlichen gestartet worden sind, sodass im jeweiligen Fall keine auswertbaren Daten verfügbar waren.

Das den Laborbedingungen geschuldete, nicht dem Erwartungsbild einer tatsächlichen Ausparksituation entsprechende Verhalten der Probanden ist ein weiterer grober Einfluss auf das Versuchsgeschehen und die Resultate.

Zu den systematischen Fehlern zählen zum einen die Genauigkeiten der Messgeräte. Wie Anlage 2 zu entnehmen ist, ergibt sich für die VBox 3i eine Genauigkeit von 0,05 % bei der Strecke, 0,1 km/h bei der Geschwindigkeit sowie 0,01 s bei der Zeit. Nennenswerte Abweichungen sind daher nur bei der erreichten Höchstgeschwindigkeit wahrscheinlich, während bei den anderen Werten die Fehler nicht wesentlich abweichen. Die Performance Box Touch weist nach dem in Anlage 3 aufgeführten Datenblattauszug eine ebenso große Auflösung auf. Im konkreten Fall wurde davon abweichend eine GPS-Antenne mit einer niedrigeren Frequenz von 10 Hz statt 25 Hz verwendet. Dies führte zu noch höheren abweichenden Schwankungen. Auch die Genauigkeit der absoluten Positionierung durch den GPS-Empfänger der PBT ist geringer als die der VBox 3i. Des Weiteren ist die Konfigurierung der VBox 3i in einem ausführlicheren Maße möglich und vorgenommen worden. Die Standardabweichung der jeweiligen Werte ist jedoch bei den beiden Fahrdatenmessgeräten sehr ähnlich.

Aufgrund unzureichender EXIF-Daten der Drohnenvideos konnten essenzielle Angaben nicht bei der Entzerrung in PC-Rect mitberücksichtigt werden. Das System

hat eine eigene Näherung dieser Werte vorgenommen, um einen möglichst geringen Fehler zu erreichen. Dadurch kann es ebenfalls zu Abweichungen gekommen sein.

Unter die zufälligen Abweichungen fallen einerseits die nicht nachvollziehbaren Schwankungen innerhalb des Aufnahmevermögens der Messgeräte, welche von den idealisierten Angaben der Datenblätter abweichen können. Auch die willkürliche Änderung der verbundenen Satelliten der PBT führt zu Differenzen.

Nuancen im Reaktionsvermögen der Probanden innerhalb der drei Testfahrten werden ebenfalls als zufällig angesehen. Genauso können sich Verzögerungen im gesamten System des Versuchsfahrzeugs ergeben. Ebenso willkürlich traten Verzerrungen der Aufnahmen des Eye-Tracking-Systems auf, bei denen es zu keiner Aufnahme der augenblicklichen Fixation des Probanden gekommen ist.

Bei allen Kameras kann es zu Rauschen sowie zu einer Abweichung der Beleuchtung aufgrund der Veränderung des Sonnenstandes kommen.

Trotz festgelegter Punkte von z. B. der Referenzmasche kann es bei den fotogrammetrischen Analysen aufgrund der händischen Selektion zu zufälligen minimalen Abweichungen gekommen sein.

4.4 Resümee der Versuchsreihe

Aus der Analyse der vorliegenden Daten der Probandentestreihe folgt, dass sich kein sicherer Zusammenhang der erreichten Werten mit Fahrerfahrung und Alter eindeutig benennen lässt. Probanden mit wenig Fahrerfahrung erreichten nicht zwangsläufig die höchsten Werte. Geringe Werte wurden vorrangig von den Probanden erzielt, welche Probleme bei der Umsetzung hatten und daher kein Abrutschen simulierten, sondern nur ein Abheben umsetzten. Vor allem erfahrene Fahrer von Schaltwagen hatten Probleme, da der untersuchte Fall das Provozieren einer unüblichen Situation erforderte. So kam es auch zu Durchläufen, bei denen der Motor nicht abgewürgt worden ist und verhältnismäßig geringe Distanzen erreicht wurden. Dies ist auch bei unerfahrenen Teilnehmern zu beobachten gewesen. Unabhängig, ob und welches Fahrzeug von den Probanden privat gefahren wird, konnten alle die Versuche mit dem Testwagen bewältigen.

Große gefahrene Distanzen sprechen nicht zwangsläufig für große Eintritte in die Nachbarkparklücke. Diese sind vorrangig vom Ausgangsstandpunkt innerhalb der

Parklücke des Verursacherfahrzeugs abhängig. Diesem Umstand stimmt der Großteil der Versuchsteilnehmer zu.

Im Rahmen der Testreihe konnte kein eindeutiger Einfluss des Schuhwerks festgestellt werden, da alle Teilnehmer trockene Sommerschuhe mit wenig Profil trugen. Unterschiede der Schuhgrößen hatten keinen nachweisbaren zu verallgemeinern Effekt. Werte kleiner, durchschnittlicher und großer Füße schwanken gleichermaßen in denselben Bereichen.

Ein erwartbares Blickverhalten wurde nicht erreicht, da die überschaubare Aufgabe unter Laborbedingungen bei keinem Probanden zu einem konventionellen Schauen führen konnte. Fast alle von den Teilnehmern genannten Parkassistenzsysteme sind im Ausstattungsumfang des verwendeten Versuchsfahrzeugs enthalten, wurden jedoch nicht im Rahmen der jeweiligen Fahrten nachweislich verwendet. Die PDC konnte in der konkreten Testsituation nicht genutzt werden, ein Park-Lenk-Assistent war nicht verbaut.

Trotz Sorgfalt in Umsetzung und Planung konnten neben systematischen und zufälligen Abweichungen auch grobe Fehler nicht vermieden werden.

Im Großen und Ganzen sind die Resultate mit denen vorangegangener Untersuchungen vergleichbar und bewegen sich in einem ähnlichen Bereich. Es lässt sich feststellen, dass bei der Bogenfahrt mit einem Schaltwagen größere Distanzen zurückgelegt worden sind als mit einem Automatikfahrzeug. Eine noch größere Differenz besteht zu den Versuchsfahrten mit demselben Testfahrzeug, jedoch ohne Lenkeinschlag.

Das Aufnahmevermögen der Fahrdatenmessgeräte führte aufgrund des niedrigen Bereichs der Messwerte zu Schwankungen. Für diese Art der Aufnahmen sind die GPS-Sensoren nicht gut geeignet.

Eine Anwendung der Ergebnisse auf reale Schadenfälle ist möglich.

5 Konklusion der Untersuchungen für reale Schadenereignisse

Sollte es durch ein Manöver wie dem untersuchten zu einer Beschädigung des nebenstehenden Fahrzeugs kommen, so muss der Verursacher nennenswert über die Parkstandsbegrenzungslinie fahren. Dies gilt für reguläre Fälle, bei denen beide Pkw in den Grenzen ihrer jeweiligen Stellflächen stehen, wenn auch nicht notwendigerweise ideal mittig positioniert. Bei Fällen oder Parkanlagen, bei welchen keine Parkflächentrennung vorhanden ist, müssen die Ausgangsabstände zwischen den Fahrzeugen berücksichtigt werden.

Motivation der Versuchsreihe war, das mögliche Ausmaß durch eine Pedalfehlbetätigung beim rückwärtigen Ausparken mit vollständig eingeschlagenen Vorderrädern zu erörtern. Eine solche Konstellation wird zuweilen von Versicherungsnehmern als Ursache großflächiger Beschädigungen an benachbart geparkten Fahrzeugen genannt. Ist dies ein hochwertiger älterer Pkw und weist stark ausgeprägte Kollisionsspuren auf, steht möglicherweise der Verdacht eines manipulierten Schadenereignisses im Raum.

Wie der Verursacher schilderte, soll das in Bild 39 abgebildete Schadenbild durch ein versehentliches Abrutschen der Pedalerie entstanden sein. Ersichtlich ist, dass die Streifspuren über einen großen Teil der Fahrzeugseite reichen. Bei dem geschädigten Pkw handelt es sich um einen Mercedes-Benz CL 500. Das Oberklasse-Coupé der Baureihe C 215 wurde von 1999 bis 2006 gebaut [49].



Bild 39: Beschädigter Mercedes-Benz CL 500 [50]

Anhand der im Versuch ermittelten Werte soll an diesem Fall exemplarisch die technische Nachvollziehbarkeit aufgezeigt werden. Wenn davon ausgegangen wird, dass sich das geschädigte Fahrzeug mittig in seiner Parklücke befunden hat, so liegt eine Differenz von etwa 0,395 m zwischen Begrenzung und Fahrerseite. Diesen Wert überschreitet in der Versuchsreihe nur Durchlauf 01.D, um 5 cm, und würde somit zu einer Berührung der beiden Fahrzeuge führen, wie in Bild 40 dargestellt. Der Ausgangspunkt des Versuchsfahrzeugs war dabei nicht mittig, sondern tendierte nach rechts oben innerhalb seiner Lücke.

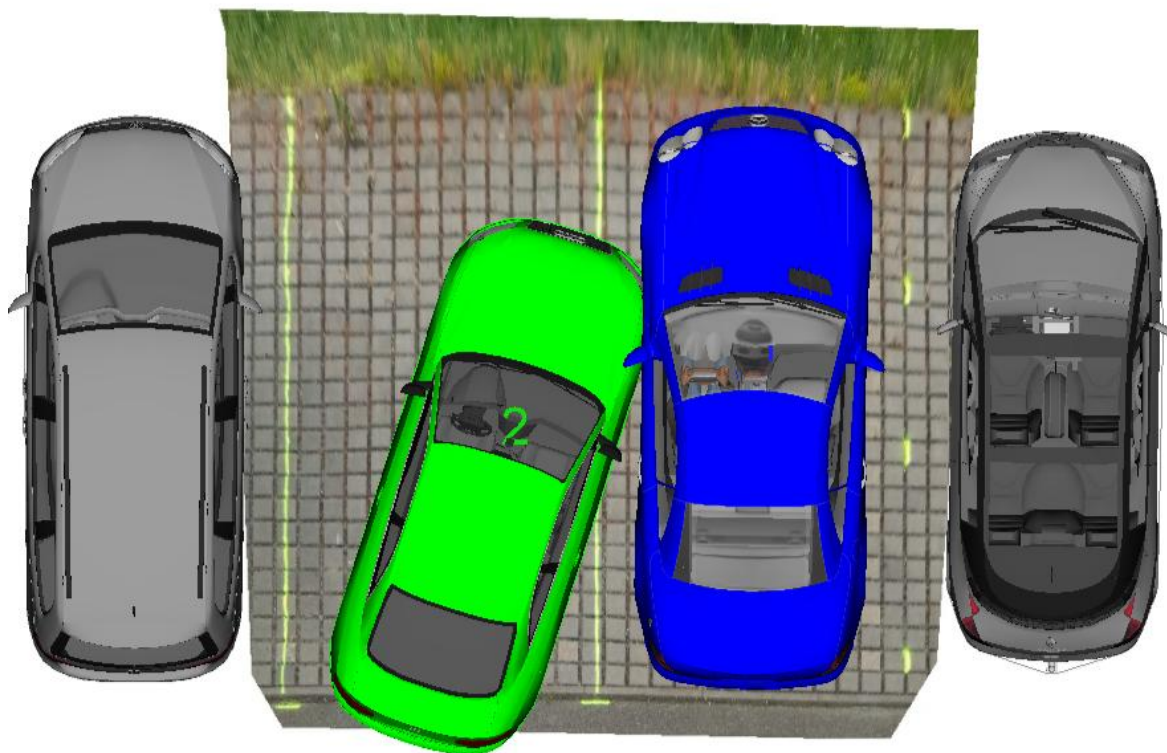


Bild 40: Berührung des Nachbarfahrzeugs nach Werten von 01.D [46]

Wenn die Parklücke statt nach den EAR 23 [21] nach den EAR 91 [47] ausgelegt ist, ergibt sich eine Differenz von etwa 0,32 m zwischen Begrenzung und Mercedes. Nach den Ergebnissen der Versuchsreihe käme es zu insgesamt drei Kollisionen, weitere Werte liegen nah an diesem Grenzwert.

Die insgesamt zurückgelegten Distanzen aus der Testreihe ergeben, dass es unwahrscheinlich ist, eine großflächige Beschädigung zu verursachen, wie sie bei dem genannten Fall stattgefunden haben soll. Bei den nach der fotogrammetrischen Analyse maximal erreichten 1,68 m kann es nach Überwindung der Strecke zwischen Ausgangsstellung des Verursachers und dem geschädigten Pkw unter Berücksichtigung des Einlenkens zu keinem Schadenbild kommen, welches sich über

die nahezu gesamte Fahrzeugseite erstreckt. Die meisten Fälle führten zu niedrigen Distanzen, die selten in eine Linienübertretung mündeten, unabhängig vom Ausgangsstandpunkt. Wenn sich an der Breite des Bemessungsfahrzeugs nach EAR 23 [21] von 1,89 m für ein durchschnittliches Automobil orientiert wird, ist bei mittigem Stand eine Distanz von 0,76 m zwischen zwei benachbart abgestellten Pkw vorhanden. Der Mittelwert der VBox 3i von 0,61 m und die Mehrheit der Werte liegen unterhalb dieses Referenzwertes und würden selbst bei einer geraden Fahrt zu keiner Berührung führen. Auch eine große Geschwindigkeit kann nicht erreicht werden. Die maximal erreichten 5 km/h stellen einen äußerst geringen Wert dar, welcher noch unter der Schrittgeschwindigkeit von etwa 7 km/h zu verorten ist. Der Mittelwert von 3,35 km/h liegt bei ca. der Hälfte der Schrittgeschwindigkeit. Aus dieser Kombination ist abzuleiten, dass, selbst wenn es zu einer Kollision kommt, aufgrund der geringen Geschwindigkeiten der verursachende Pkw sofort vom geschädigten Fahrzeug gestoppt wird.



Bild 41: Streifschaden [50]

Der Streifschaden des expliziten Falls entspricht keinem erwartbaren Schadenbild, auch wenn dieser unter abweichenden Ausgangsbedingungen mit einem anderen Verursacherfahrzeug entstanden ist. Die Länge, wie in Bild 41 ersichtlich, erstreckt sich über nahezu den gesamten Radstand, welcher bei diesem Modell über 2,8 m beträgt [46]. Das ist nahezu als das Doppelte des Gesamtbetrags der maximal erreichten Distanz von 1,68 m in der Testreihe. Wenn es zu einem Kontakt kommen sollte, kann aufgrund der geringen Geschwindigkeiten und kurzen Zeitspannen durch das sofortige Eingreifen des Fahrers kein größerer Schaden entstehen.

Die Abweichung der geplanten Fahraufgabe führt zu einer Handlungsaufforderung, welche aus der Wahrnehmung der verschiedenen Sinnesorgane folgt.

Die vorhandene Beschädigung spricht gegen die Erkenntnisse der Untersuchung und für eine Manipulation. Um ein solches Schadenbild zu erreichen, ist eine längere Zeit für die größere Strecke notwendig, welche ein gezieltes Steuern und Beschleunigen erfordert.

Es lässt sich Folgendes aus den Versuchen verallgemeinern:

- Beschädigungen sind möglich.
- Wesentlich ist der Abstand der beteiligten Fahrzeuge zueinander.
- Das Reaktions- und Handlungsvermögen des Fahrers ist entscheidend.
- Es treten keine hohen Geschwindigkeiten auf.
- Die erreichten Distanzen umfassen wenige Zenti- bis Dezimeter.

Des Weiteren sind das Wanken, Nicken und Gieren des Verursacherfahrzeugs zu beachten, welche beim abrupten Abrutschen und Bremsen entstehen. Wie die Versuche gezeigt haben, kann die Endlage des Fahrzeugs vom Maximum des gefahrenen Übertritts abweichen.

Bedingungen zur Anwendung auf reale Schadenfälle sind folgende Umstände:

- Der Vorfall muss sich beim rückwärtigen Ausparken durch ein Abrutschen des Kupplungspedals ereignet haben.
- Die Parkflächen weisen kein nennenswertes Gefälle auf.
- Der Fahrer trug trockenes, weitgehend sauberes und wenig profiliertes Schuhwerk.
- Er unterliegt keinen körperlichen oder geistigen Einschränkungen, die seine Wahrnehmung und Reaktionsfähigkeit beeinträchtigen.

Eine Adaption der Resultate auf Vorfälle, die sich im hinteren Teil einer Parklücke oder in der Schrägaufstellung ereignet haben, ist möglich.

Unter regulären Umständen ist eine Beschädigung aufgrund der Situation nicht wahrscheinlich. Voraussetzung dafür ist, dass die beteiligten Fahrzeuge den gängigen Abmessungen entsprechen, möglichst mittig in der Parklücke stehen, der Fahrer eine gesunde psychische und physische Verfassung aufweist und einen sicheren Kurs für das Ausparken wählt.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Dieses Diplomprojekt befasste sich mit dem Fehlbetätigungsverhalten in einem Pkw mit manuellem Schaltgetriebe. Dabei lag der Fokus auf einer definierten Ausparksituation. Ziel der Untersuchungen war es, zu klären, ob und in welchem Umfang diese Faktoren zu einem Schadenbild an benachbarten Fahrzeugen führen können. Zunächst fand eine Literaturrecherche statt, bei der auf grundlegende Informationen in Bezug auf Pedalerie, Zeitverläufe, Parkprozesse, menschliches Verhalten sowie Einflüsse des Schuhwerks eingegangen worden ist. Ferner sind verwandte Untersuchungen bzgl. der Thematik zusammengefasst worden.

In Anlehnung an jene Studien wurde eine weitere Probandentestreihe konzipiert. Dabei sind die Umstände des genauen Szenarios und die dafür notwendigen technischen und personellen Kapazitäten erörtert worden. Im Anschluss kam es zur Umsetzung der Versuche und deren Auswertung. Es wurden gefahrene Distanzen, erreichte Maximalgeschwindigkeiten und die für die Fahrten benötigten Zeiten mit zwei verschiedenen Fahrdatenmessgeräten erfasst. Zusätzlich wurden die Distanzen stichprobenartig fotogrammetrisch untersucht. Ferner wurden die Handlungen der Probanden bzgl. Blickverhalten und Fußbewegungen registriert. Informationen über Person, Fahrerfahrung, Versuchsdurchführung und -szenario sind durch einen Fragebogen erhoben worden. Kamera- und Videoaufnahmen erfassten das Schuhwerk der Teilnehmer und die Verläufe der Fahrten.

Aus der Studie ergab sich, dass Beschädigungen aufgrund der untersuchten Situation möglich sind. Es ist nicht erreichbar, große Schadenbilder zu verursachen. Unter regulären Umständen gehen diese Vorfälle ohne Kontakt zum Nachbarfahrzeug aus.

Da die Untersuchungsgrundlage eine Vielzahl an komplexen Konfigurationen der Ausgangssituation zulässt, wurde die vorliegende Arbeit auf ein Szenario beschränkt. Es wurde das Abrutschen des Kupplungspedals am Schleifpunkt beim rückwärtigen Ausparken mit vollständig nach links eingeschlagenen Vorderrädern untersucht. Die Probandenschar war zwischen 20 und 30 Jahren alt und trug durchgängig weitgehend sauberes, wenig profiliertes und trockenes Schuhwerk.

Somit sind für fortführende Untersuchungen eine Reihe von Elementen zur Abwandlung des Versuchs zu nennen, die potenziell einen Einfluss auf das Resultat ergeben können. Zum einen führt ein größeres Probandenkollektiv, vor allem aus einer

umfassenderen Altersgruppe, zu verlässlicheren Daten. Auch könnte eine Langzeituntersuchung Situationen im realen Straßenverkehr erfassen, um die Einflüsse der Laborbedingungen weitestgehend zu beseitigen. Zusätzlich könnten Wirkungen weiterer unterschiedlicher persönlicher Voraussetzungen, wie etwa Einschränkungen der Wahrnehmung durch Medikamente oder Alkohol, erörtert werden.

Ferner sind auch das unterschiedliche Verhalten in Bezug auf das Ausparken am Berg untersuchbar.

Die Fahrdatenaufnahme könnte statt mit externen Messeinheiten über ein Auslesen der On-Board-Diagnosedaten erfolgen.

Des Weiteren sollten verschiedene Sohlentypen in unterschiedlichen Zuständen bzgl. Profil, Verschmutzung und Feuchtigkeit untersucht werden. Auch der Einfluss des Zustands der Pedale oder von nachrüstbaren Pedalaufsätzen, etwa im Alu-Stil, könnte geprüft werden.

Eine Variation des Abrutschens der verschiedenen Fußstellteile könnte außerdem in fortführenden Versuchsreihen getestet werden.

Als weitere Adaption ist das Szenario in unterschiedlichen Fahrzeugmodellen und mit verschiedenen Motorisierungen denkbar. Vor allem der vordere Überhang oder der Wendekreisradius könnten einen abweichenden Einfluss haben. Für einen genauen Vergleich zwischen manueller Schaltung und Automatikgetriebe sollte dasselbe Modell mit gleichem Motor, jedoch anderer Getriebeart gegenübergestellt werden.

Um auch unter Laborbedingungen ein wirklichkeitsnahes Szenario zu schaffen und so den Probanden eine höhere und realere Aufmerksamkeit abzuverlangen, könnte statt einer benachbarten leeren Parkfläche ein Fahrzeug oder zumindest eine Fahrzeugattrappe positioniert werden. Für tatsächliche Fahrzeug-Fahrzeug-Berührungen aufgrund einer Fehlbetätigung der Pedalerie könnten zusätzlich akustische Untersuchungen vorgenommen oder der entstandene Ruck durch die Verzögerung gemessen werden. Ein solcher Versuch würde ferner ein tatsächliches Schadenausmaß einer solchen Situation erzeugen.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] KRAFTFAHRT-BUNDESAMT: Fahrzeugzulassungen (FZ). Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Bundesländern, Fahrzeugklassen und ausgewählten Merkmalen. Stand 1. Juli 2025. FZ 27. Flensburg: Kraftfahrt-Bundesamt, 29. August 2025.
- [2] KRAFTFAHRT-BUNDESAMT: Fahrzeugzulassungen (FZ). Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Bundesländern, Fahrzeugklassen und ausgewählten Merkmalen. Stand 1. Juli 2024. FZ 27. Flensburg: Kraftfahrt-Bundesamt, August 2024.
- [3] KRAFTFAHRT-BUNDESAMT: Fahrzeugzulassungen (FZ). Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Bundesländern, Fahrzeugklassen und ausgewählten Merkmalen. Stand 1. Juli 2020. FZ 27. Flensburg: Kraftfahrt-Bundesamt, August 2020.
- [4] DESTATIS: Statistischer Bericht Verkehrsunfälle 2024. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2025.
- [5] UNFALLFORSCHUNG DER VERSICHERER: Park- und Rangierunfälle. Unfallforschung kompakt. Berlin: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft, September 2016.
- [6] COHEN, AMOS S.: Informationsaufnahme beim Kraftfahrer. Wahrnehmung und Sicherheitsverhalten. In: BURG, HEINZ; MOSER, ANDREAS (Hrsg.): Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion. Unfallaufnahme, Fahrdynamik, Simulation. 3. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017.
- [7] DIN 73001. Bedienung von Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Berlin: Beuth-Vertrieb GmbH, Oktober 1953.
- [8] BUBB, HEINER; BENGLER, KLAUS; GRÜNEN, RAINER; VOLLRATH, MARK: Automobilergonomie. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015.
- [9] UNITED NATIONS: Addendum 34: UN Regulation No. 35. Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the arrangement of foot controls. Februar 2024.
- [10] GRABNER, JÖRG; NOTHHAFT, RICHARD: Konstruieren von Pkw-Karosserien. Grundlagen, Elemente, Baugruppen, Vorschriftenübersicht, Beispiele mit CATIA V4 und V5. 3. Auflage. Berlin: Springer, 2006.
- [11] GSCHWENDTNER, KLAUS; KISS, MIKLÓS; FEIG, PHILIP; LIENKAMP, MARKUS: Prospective Estimation of the Effectiveness of Driver Assistance Systems in Property Damage Accidents. Tagungsbericht. 24th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles. Göteborg (S), Juni 2015.
- [12] SAE: J1516. Accommodation Tool Reference Point. Warrendale, PA (US): Society of Automotive Engineers, Inc., Dezember 1998.

- [13] LEMMER, KARSTEN et al.: Mensch-Technik-Kooperation und Fahrzeuginnenraum. In: PISCHINGER, STEFAN; SEIFFERT, ULRICH (Hrsg.): Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik. 9. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2021.
- [14] GAO, YANLONG: Untersuchung von ergonomischen Haltungen der unteren Extremitäten hinsichtlich Pedalbetätigungen im Pkw. Dissertation. Darmstadt: Technische Universität Darmstadt, 2023.
- [15] HERRMANN, SIEGFRIED: Neue Kraftfahrzeugkunde. 7. Auflage. Leipzig: VEB Fachbuchverlag Leipzig, 1976.
- [16] ABENDROTH, BETTINA; LANDAU, KURT; WEISSE, JOCHEN: Menschliche Anforderungen. In: BREUER, BERT; BILL, KARLHEINZ H. (Hrsg.): Bremsenhandbuch. Grundlagen, Komponenten, Systeme, Fahrdynamik. 5. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017.
- [17] FANG, XIANGFAN: Karosserieentwicklung und -Leichtbau. Berlin: Springer Vieweg, 2023.
- [18] DOISL, CHRISTIAN: Systemergonomische Analyse von Anzeige- und Bedienkonzepten zur Unterstützung des Parkvorgangs. Dissertation. München: Technische Universität München, 2007.
- [19] ZLOCKI, ADRIAN; ECKSTEIN, LUTZ: Unfallvermeidung und -schwereverminderung. In: SCHÖNEBURG, RODOLFO (Hrsg.): Integrale Sicherheit von Kraftfahrzeugen. Biomechanik, Unfallvermeidung, Insassenschutz, Sensorik, Sicherheit im Entwicklungsprozess. 5. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2024.
- [20] DESTATIS: Verkehrsunfälle. Grundbegriffe der Verkehrsunfallstatistik. Fachserie 8, Reihe 7. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2022.
- [21] FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESSEN: EAR 23. Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs. Ausgabe 2023. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., 2023.
- [22] GERSMANN, HANNA: Die Sommerfrage: Darf ich mit Flip-Flops ans Steuer? In: Sächsische Zeitung, 8. Juli 2024, S. 18.
- [23] SOMMER, SEBASTIAN: Untersuchung zum Betätigungsverhalten von Fahrzeugpedalen. Diplomarbeit. Zwickau: Westsächsische Hochschule Zwickau, 2020.
- [24] BACKHAUS, CLAUS; MÜLLER, FRIEDRICH: Bediensicherheit von Pedalen in Abhängigkeit des getragenen Schuhwerks. Berlin: Springer, 2016.
- [25] ZYTOON, MOHAMED: The Effect of Footwear Characteristics on Driving Safety: A Mixed Method Study. In: International Journal of Engineering Research & Technology, Volume 13, Issue 12, Dezember 2024.

- [26] DANNER, MAX; HALM, JOHANNES: Technische Analyse von Verkehrsunfällen. 2. Auflage. Pfäffikon (CH): Eurotax, 1994.
- [27] RUMMEL, TOM: Untersuchungen zum Betätigungsverhalten von Fahrzeugpedalen. Diplomarbeit. Zwickau: Westsächsische Hochschule Zwickau, 2021.
- [28] REINL, ALEXANDER: Untersuchungen zum Betätigungsverhalten von Fahrzeugpedalen in einem Fahrzeug mit Automatikgetriebe. Diplomarbeit. Zwickau: Westsächsische Hochschule Zwickau, 2022.
- [29] WELTHER, INGO: Wahrnehmbarkeit leichter Fahrzeugkollisionen. München: J. Schweitzer Verlag, 1983.
- [30] WOLFF, HARTMUTH: Möglichkeiten und Grenzen der Wahrnehmbarkeit leichter Pkw-Kollisionen. Pfäffikon (CH): Eurotax, 1992.
- [31] FÜRBETH, VOLKER; NAKAS, VIKTOR; STEINACKER, TOBIAS: Wahrnehmbarkeit von Kleinkollisionen. In: HUGEMANN, WOLFGANG (Hrsg.): Unfallrekonstruktion. Münster: Verlag autorenteam, 2007.
- [32] ZÖLLER, HENRIK: Wahrnehmung. In: HUGEMANN, WOLFGANG (Hrsg.): Unfallrekonstruktion. 2. Auflage. Bonn: Kirschbaum Verlag, 2026.
- [33] AUDI: A5 S5 Coupé | Cabriolet. Katalog. Ingolstadt: AUDI AG, 2011.
- [34] CANVA – Software-Plattform für Grafikdesign. Unter: www.canva.com (Zugriff am 11.06.2026).
- [35] OUTLINES: 2007 Audi A5 Typ 8T3 Coupe blueprint. Verfügbar unter: <https://getoutlines.com/vectors/car/audi/preview/audi-a5-coupe-typ-8t3-2007.png> (Zugriff am 11.06.2026).
- [36] VBOX Automotive: VBOX Test Suite. Version 2.3.12. Unter: <https://www.vboxautomotive.co.uk/index.php/en/customer-area/downloads#sw> (Zugriff am 28.05.2026).
- [37] RACELOGIC: Datasheet VBOX 3i RTK (VB3iDR-V5). Verfügbar unter: https://www.vboxautomotive.co.uk/downloads/datasheets/Data_Loggers/RLVB3iDR_Data.pdf (Zugriff am 24.06.2026).
- [38] RACELOGIC: Datasheet Performance Box Touch (RLPBT-V2). Verfügbar unter: https://www.vboxmotorsport.co.uk/downloads/datasheets/RLPBT-V2_DATA.pdf (Zugriff am 24.06.2026).
- [39] TOBII: Tobii Glasses 2 Eye Tracker. User's Manual. Danderyd (S): Tobii Technology AB, 2014.
- [40] SOLECTRIC: DJI Osmo Action 5 Pro. Datenblatt. Verfügbar unter: <https://d.otto.de/files/40389ed3-b426-56eb-a19b-e542e6f77167.pdf> (Zugriff am 25.06.2026).

- [41] CANON: EOS 6D. Bedienungsanleitung Deutsch. Verfügbar unter: https://gdlp01.c-wss.com/gds/6/0300009626/01/EOS_6D_Instruction_Manual_DE.pdf (Zugriff am 28.06.2026).
- [42] PANASONIC: DMC-TZ81. Verfügbar unter: <https://d.otto.de/files/15835281.pdf> (Zugriff am 28.06.2026).
- [43] DJI: Mavic Air 2. Benutzerhandbuch. Verfügbar unter: https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_Air_2/multi/Mavic_Air_2_User_Manual_v1.0_de.pdf (Zugriff am 28.06.2026).
- [44] HÖNTSCH, LEON: Drohnenaufnahmen der Versuchsreihe vom 02.06.2026.
- [45] DSD: PC-Rect. Programm zur Rektifizierung von Abbildungen. Version 5.0.0.10. Linz (A): Dr. Steffan Datentechnik, Januar 2025.
- [46] DSD: PC-Crash. Programm zur Simulation von Verkehrsunfällen. Version 16.0.0.8a. Linz (A): Dr. Steffan Datentechnik, Juni 2026.
- [47] STEIERWALD, GERD; KÜHNE, HANS-DIETER (Hrsg.): Stadtverkehrsplanung. Berlin: Springer-Verlag, 1994.
- [48] PAPULA, LOTHAR: Mathematik für Ingenieure und Naturwissenschaftler Band 3. 8. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2024.
- [49] MERCEDES-FANS: Mercedes-Benz Baureihen: C 215 (1999 bis 2006). Das große Mercedes Coupé mit dem Vieraugen-Gesicht. Verfügbar unter: <https://www.mercedes-fans.de/magazin/classic/mercedes-benz-baureihen-c-215-1999-bis-2006-das-grosse-mercedes-coupe-mit-dem-vieraugen-gesicht.2409> (Zugriff am 18.07.2026).
- [50] BRÖSDORF, KLAUS-DIETER: Bildmaterial eines Schadenfalls vom 27.02.2016.
- [51] SCHÖNEBURG, RODOLFO; KRAMER, FLORIAN: Die integrale Sicherheit. In: SCHÖNEBURG, RODOLFO (Hrsg.): Integrale Sicherheit von Kraftfahrzeugen. Biomechanik, Unfallvermeidung, Insassenschutz, Sensorik, Sicherheit im Entwicklungsprozess. 5. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2024.
- [52] PAULY, AXEL et al.: Fahrwerk. In: PISCHINGER, STEFAN; SEIFFERT, ULRICH (Hrsg.): Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik. 9. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2021.
- [53] BAUMGARTEN, HENNING et al.: Antriebe. In: PISCHINGER, STEFAN; SEIFFERT, ULRICH (Hrsg.): Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik. 9. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2021.
- [54] BRÖSDORF, KLAUS-DIETER; DEPRÉ, KLAUS; GÖRITZ, JÖRG. Schadenaufklärung. In: BURG, HEINZ; MOSER, ANDREAS (Hrsg.): Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion. Unfallaufnahme, Fahrdynamik, Simulation. 3. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017.

- [55] BECKE, MANFRED; BURG, HEINZ; MOSER, ANDREAS: Kinematik. In: BURG, HEINZ; MOSER, ANDREAS (Hrsg.): Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion. Unfallaufnahme, Fahrdynamik, Simulation. 3. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017.
- [56] BURG, HEINZ: Vermeidbarkeitsbetrachtungen. In: BURG, HEINZ; MOSER, ANDREAS (Hrsg.): Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion. Unfallaufnahme, Fahrdynamik, Simulation. 3. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017.

Für eine abschließende Grammatikprüfung wurde ferner ein Korrekturprotokoll mit dem Künstliche-Intelligenz-Tool ChatGPT erstellt (Zugriff am 11.08.2026).

Anlagen

Anlage 1: Technische Daten Audi A5 [Typ 8T] 3.0 TDI [Eigene Darstellung nach [33] S. 121 ff.]

Motorbauart	V6-Dieselmotor mit Common-Rail-Einspritzsystem & Abgasturboaufladung
Hubraum [cm³]	2967
Leistung [kW]	150
Maximales Drehmoment [Nm]	400
Antriebsart	Vorderradantrieb
Leergewicht [kg]	1640
Höchstgeschwindigkeit [km/h]	235
Länge [mm]	4626
Breite / Breite mit Außenspiegeln [mm]	1854 / 2020
Höhe [mm]	1383
Radstand [mm]	2751
Wendekreis [m]	11,4
Maximaler Kopfraum [mm]	1015
Breite Ellbogenraum [mm]	1458
Breite Schulterraum [mm]	1378
Anzahl Sitzplätze	4
Räder	7,5 J x 17
Reifen	225 / 50 R 17

Anlage 2: Auszug Datenblatte VBox 3i RTK [37]

GPS Specifications

Velocity		Distance	
Accuracy	0.1 km/h (averaged over 4 samples)	Accuracy	0.05 % (<50 cm per km)
Units	km/h or mph	Units	m / ft
Update rate	100 Hz	Update rate	100 Hz
Maximum velocity	1000 mph	Resolution	1 cm
Minimum velocity	0.1 km/h		
Resolution	0.01 km/h		
Latency	20 ms		

Absolute Positioning (RMS)		Time	
Accuracy* (Standalone)	V: 1.8 m; H: 1.2 m	Accel/Brake Test (MFD/VBOX Test Suite)	
Accuracy* with SBAS	V: 1.2 m; H: 0.8 m	Resolution	0.01 s
Accuracy* with DGPS	V: 0.5 m; H: 0.3 m	Accuracy	0.01 s
Accuracy* with RTK	V: 10 mm; H: 5 mm		
		Lap Timing (OLED/VBOX Test Suite)	
Update rate	100 Hz	Resolution	0.01 s
Resolution	1.8 mm	Accuracy	0.01 s**

Acceleration		Environmental and physical	
Accuracy	0.50 %	Weight	Approx. 900 g
Maximum	20 g	Size	170 x 121 x 41 mm
Resolution	0.01 g	Operating temperature	-20°C to +70°C
Update rate	100 Hz	Storage temperature	-30°C to +80°C

Heading		Brake stop accuracy	
Resolution	0.01°	Accuracy	+/- 1.8 cm
Accuracy	0.1°		

Memory		Power	
Compact Flash	Type I	Input Voltage Range	7 – 30 V DC
Recording time	Dependent on flash card capacity***	Power	Max. 5.5 Watts

Antenna Separation	Slip Angle (RMS)	Pitch / Roll Angle (RMS)
0.5 m	<0.2°	<0.14°
1.0 m	<0.1°	<0.07°
1.5 m	<0.067°	<0.047°
2.0 m	<0.05°	<0.035°
2.5 m	<0.04°	<0.028°

Outputs

CAN Bus	
Bit rate	125 Kbits, 250 Kbits, 500 Kbits & 1 Mbit selectable baud rate
Identifier type	Standard 11-bit 2.0 A
Data available	Satellites in View, Latitude, Longitude, Velocity, Heading, Altitude, Vertical Velocity, Distance, Longitudinal Acceleration & Lateral Acceleration, Distance from Trigger, Trigger, Time, Trigger Velocity

Analogue		Digital	
Voltage range	0 – 5 V DC	Frequency range	DC to 44.4 KHz
Default setting (The range settings can be adjusted by the user in VBOX Test Suite Software.)	Velocity 0.0125 Volts per km/h (0 to 400 km/h)	Default setting (The range settings can be adjusted by the user in VBOX Test Suite Software.)	Velocity 25 Hz per km/h (0 to 400 km/h) 90 pulses per metre
Accuracy	0.1 km/h	Accuracy	0.1 km/h
Update rate	100 Hz	Update rate	100 Hz

Inputs

CAN Bus	
RACELOGIC modules	Up to 32 channels from any combination of ADC02, ADC03, FIM02, TC8, YAW03 or CAN01
External CAN Bus	16 channels of user definable CAN signal from external bus, e.g., Vehicle CAN bus Can load signal data from industry standard DBC database file

Analogue		Digital	
Number of channels	4	Brake event trigger	25 ns resolution
Input range	±50 V	On/Off logging control Remote log control from hand-held switch	
Channel sample order	Synchronous		
DC accuracy	± 2 mV (calibrated at 23°C)		

Anlage 3: Auszug Datenblatt Performance Box Touch [38]

Environmental and Physical

Environmental & Physical	
Input Voltage	5 V (USB compliant 4.4 V – 5.3 V)
Power consumption (Connected to external power supply)	
With Battery	< 7 W using 1.5 A or greater USB supply via micro-B
Without Battery	< 3 W Using 0.9 A or greater USB supply via micro-B
Operating Temperature	-20°C to +50°C
Storage Temperature	-30°C to +80°C
Size	
With battery attached	136.3 x 90.4 x 38.3 mm
Without battery	136.3 x 90.4 x 36.3 mm
Weight	
With battery	336 g
Without battery	226 g
Battery	
Capacity	11 Wh
Run time	6 hrs normal use from full charge
Time to charge	95% charge at 3.5 hrs, dependant on unit power demands and power supply.
Touch Screen	
Size	4.3" TFT Capacitive Touch
Resolution	480*800 pixels
TFT LCD Display Colours	262K colours (18 Bit)
Mounting	
Mount Type	Suction cup windscreen mount
Data Storage	
Type	SD card (8 GB supplied)
Recording Time	120 hours on supplied SD card.

GPS Specifications

Velocity		Distance	
Accuracy	0.1 km/h	Accuracy	0.05% (<50 cm per km)
Units	km/h or mph	Units	Metres / Feet
Update rate	25 Hz	Update rate	25 Hz
Resolution	0.01 km/h	Resolution	1 cm

Absolute Positioning		Time	
Accuracy	±2 m 95% CEP*	Accuracy	0.01 s
Resolution	1 cm	Resolution	0.01 s
Update rate	25 Hz		

Acceleration		Heading	
Accuracy	1%	Accuracy	0.3°
Resolution	0.01 g	Resolution	0.01°
Maximum	4 g		
Update rate	25 Hz		

Anlage 4: Auszug Datenblatt Tobii Glasses 2 [39] S. 38

A1 Eye Tracking

Eye tracking technique	Corneal reflection, dark pupil
Binocular eye tracking	Yes
Sampling rate	30 Hz
Calibration procedure	1 point
Parallax compensation tool	Automatic
Slippage compensation	Yes, 3D eye tracking model
Pupil measurement	Yes, absolute measure

A2 Glasses Head Unit

Material	Grilamid plastic, stainless steel, aluminum
Protective lens	Plastic, in 2 versions: clear and tinted
Interchangeable lenses	Yes
Nose pad	Grilamid plastic, interchangeable
Scene camera, video resolution	1920 × 1080 at 25 fps
Scene camera, video format	H.264
Scene camera, field of view	90 deg. 16:9 format
Scene camera Horizontal and vertical FOV (approx.)	82 deg. horizontal / 48 deg. vertical
Weight	45 grams including protective lens
Frame dimensions (width × depth × height)	179 × 159 × 57 mm
Cable length	1200 mm
Visual field of view (frame obstruction)	More than 160 deg. horizontally, 70 deg. vertically
Audio	Integrated microphone
Design characteristics	Light weight and discreet
Number of eye tracking sensors	4 sensors
Fixed geometry	Yes
Sensors	Gyroscope and accelerometer (available in future firmware releases)

A3 Recording Unit

Battery recording time	120 min.
Battery type	Rechargeable 18650 Li-ion, Capacity: 3 400 mAh
Storage Media	SD (SDXC, SDHC) card
Connectors	HDMI, Micro USB, 3.5 mm jack
Dimensions (height x width x depth)	130 x 85 x 27 mm
Weight	312 grams

Anlage 5: Auszug Datenblatt DJI Osmo Action 5 Pro [40]

Allgemein		Kamera	
Abmessungen	70,5 × 44,2 × 32,8 mm (L×B×H)	Sensor	1/1,3" CMOS
Gewicht	146 g	Objektiv	Sichtfeld: 155° Blende: f/2.8 Fokusbereich: 0,35 m bis ∞
Wasserdicht	20 m ohne das wasserfeste Gehäuse, 60 m mit dem wasserfesten Gehäuse ¹	ISO-Bereich	Foto: 100 bis 25600 Video: 100 bis 51200
Anzahl der Mikrofone	3	Elektronischer Verschluss	Foto: 1/8000 bis 30 s Video: 1/8000 s bis zum Einzelbil- der-pro-Sekunde-Limit
Touchscreens	Display (vorne): 1,46 Zoll, 331 ppi, 342 × 342 800 cd/m² maximale Helligkeit (normal) Display (hinten): 2,5 Zoll, 326 ppi, 400 × 712 800 cd/m² maximale Helligkeit (normal), 1000 cd/m² Spitzenhelligkeit	Max. Fotoauflösung	7296 x 5472
Kompatible SD-Speicherkarten	microSD (bis zu 1 TB)	Zoom	Digitalzoom Foto: Max. 2× Video: Max. 2× Zeitlupe/Zeitraffer: Nicht verfügbar
Akku		Fotomod	
Typ	Li-Ion 1S	Standardaufzeichnung	4K (4:3): 3840×2880 bei 100/120fps 4K (4:3): 3840×2880 bei 24/25/30/48/50/60fps 4K (16:9): 3840×2160 bei 100/120fps 4K (16:9): 3840×2160 bei 24/25/30/48/50/60fp 2,7K (4:3): 2688×2016 bei 100/120fps 2,7K (4:3): 2688×2016 bei 24/25/30/48/50/60fps 2,7K (16:9): 2688×1512 bei 100/120fps 2,7K (16:9): 2688×1512 bei 24/25/30/48/50/60fps 1080p (16:9): 1920×1080 bei 100/120/200/240fps 1080p (16:9): 1920×1080 bei 24/25/30/48/50/60fps
Kapazität	1950 mAh	SuperNight	4K (16:9): 3840×2160 bei 24/25/30fps 2,7K (16:9): 2688×1512 bei 24/25/30fps 1080p (16:9): 1920×1080 bei 24/25/30fps
Energie	7,5 Wh	Motivverfolgung	2,7K (16:9): 2688×1512 bei 24/25/30/48/50/60fps 2,7K (9:16): 2688×1512 bei 24/25/30/48/50/60fps 1080p (16:9): 1920×1080 bei 24/25/30/48/50/60fps 1080p (9:16): 1920×1080 bei 24/25/30/48/50/60fps
Spannung	3,87 V	Zeitlupe	4K: 4x (120fps) 2,7K: 4x (120fps) 1080p: 8x (240fps), 4x (120fps)
Betriebstemperatur	-20 °C bis 45 °C	Hyperlapse	4K/2,7K/1080p bei 25/30fps: Auto/×2/×5/×10/×15/×30
Ladetemperatur	5 °C bis 40 °C	Zeitraffer	4K/2,7K/1080p bei 25/30fps Intervalle: 0.5/1/2/3/4/5/6/8/10/15/20/25 /30/40 s, 1/2/5/30/60 min Dauer: 5/10/20/30 Min., 1/2/3/5 Std., ∞
Akkulaufzeit	240 Min.	Stabilisierung	EIS: RockSteady 3.0 RockSteady 3.0+ HorizonBalancing HorizonSteady ²
Verbindung		Pre-Rec	Voraufzeichnung Dauer: 5/10/15/30/60 s
Wi-Fi-Betriebsfrequenz	2,400 bis 2,4835 GHz 5,150 bis 5,250 GHz 5,725 bis 5,850 GHz	Max. Video-Bitrate	100 MBit/s
Wi-Fi-Protokoll	Wi-Fi 6,0 802.11 a/b/g/n/ac/ax	Unterstützte Dateisysteme	exFAT
Wi-Fi-Strahlungsleistung (EIRP)	2,4 GHz: < 23 dBm (FCC), < 20 dBm (CE/ SRRC/MIC) 5,1 GHz: < 23 dBm (FCC/CE/SRRC/MIC) 5,8 GHz: < 23 dBm (FCC/SRRC), < 14 dBm (CE)	Fotoformat	JPEG/RAW
Bluetooth-Betriebsfrequenz	2,400 bis 2,4835 GHz	Videoformat	MP4 (HEVC)
Bluetooth-Strahlungsleistung (EIRP)	< 13 dBm	Integrierte Speicherkapazität	Die Kamera verfügt über 64 GB integrierten Speicherplatz, von dem 47 GB zur Verfügung stehen. Die Speicherkapazität kann durch Einsetzen einer microSD-Karte erweitert werden
Bluetooth-Protokoll	BLE 5,1	Audio-Aufzeichnung	48 kHz 16-bit; AAC

Anlage 6: Auszug Datenblatt Canon EOS 6D [41] S. 371 ff.

• Typ		• Belichtungssteuerung	
Typ:	Digitale Autofokus/AE-Spiegelreflexkamera	Messmethoden:	TTL-Offenblendenmessung mit 63 Messsektoren
Speichermedien:	SD-Speicherkarte, SDHC-Speicherkarte*, SDXC-Speicherkarte*		• Mehrfeldmessung (mit jedem AF-Messfelder verknüpft)
	* Kompatibel mit Fernbedienung UHS-I		• Selektivmessung (ca. 8,0 % des Sucherfelds in der Mitte)
Größe des Bildsensors:	Ca. 35,8 x 23,9 mm		• Spotmessung (ca. 3,5 % des Sucherfelds in der Mitte)
Geeignete Objektive:	Canon EF-Objektive (außer EF-S- und EF-M-Objektive) (die dem 35-mm-Format entsprechende Brennweite ist auf dem Objektiv angegeben)	Messbereich:	EV 1 - 20 (bei Zimmertemperatur mit EF 50 mm 1:1,8 II Objektiv, ISO 100)
Kamerabajonett:	Canon EF-Bajonett	Belichtungssteuerung:	Programmautomatik (Automatische Motiverkennung, Kreativ-Automatik, Besondere Szene (Porträt, Landschaft, Nahaufnahme, Sport, Nachtporträt, Nachtaufnahmen ohne Stativ, HDR-Gegenlicht), Programm), Blendenautomatik, Verschlusszeitautomatik, manuelle Belichtung, Langzeitbelichtung
• Bildsensor		ISO-Empfindlichkeit:	Motivbereich-Modi*: ISO 100 - 12800 automatisch festgelegt
Typ:	CMOS-Sensor	(Empfohlener	* Landschaft: ISO 100 - 1600 automatisch festgelegt, Nachtaufnahmen ohne Stativ: ISO 100 - 25600 automatisch festgelegt
Effektive Pixel:	Ca. 20,20 Megapixel	Belichtungsindex)	P, Tv, Av, M, B: Auto ISO, ISO 100 - 25600 (in Drittelstufen oder ganzstufig), oder ISO-Erweiterung auf L (entspricht ISO 50), H1 (entspricht ISO 51200), H2 (entspricht ISO 102400)
Seitenverhältnis:	3:2		ISO-Bereich, Auto ISO-Bereich und minimale Auto ISO-Verschlusszeit einstellbar
Staublöschfunktion:	Automatisch, Manuell, Anfügen von Staublöschungsdaten	Belichtungskorrektur:	Manuell: ±5 Stufen in Drittel- oder halben Stufen
• Aufnahmesystem		AEB:	±3 Stufen in Drittel- oder halben Stufen (kann mit manueller Belichtungskorrektur kombiniert werden)
Aufnahmeformat:	Design rule for Camera File System 2.0	AE-Speicherung:	Automatisch: Im One-Shot AF-Modus mit Mehrfeldmessung, wenn Scharfeinstellung erzielt wird
Bildtyp:	JPEG, RAW (14-Bit Canon Original), gleichzeitige RAW+JPEG-Aufnahmen aktiviert	Manuell:	Mit Taste für AE-Speicherung
Aufgenommene Pixelanzahl:	L (Groß) : Ca. 20,00 Megapixel (5472 x 3648) M (Mittel) : Ca. 8,90 Megapixel (3648 x 2432) S1 (Klein 1) : Ca. 5,00 Megapixel (2736 x 1824) S2 (Klein 2) : Ca. 2,50 Megapixel (1920 x 1280) S3 (Klein 3) : Ca. 350.000 Pixel (720 x 480) RAW : Ca. 20,00 Megapixel (5472 x 3648) M-RAW : Ca. 11,00 Megapixel (4104 x 2736) S-RAW : Ca. 5,00 Megapixel (2736 x 1824)	Einstellung der ISO-Empfindlichkeit:	
Datei-Nummer:	Reihenauf., Auto reset, Man. reset		
• Bildbearbeitung während der Aufnahme		• Movie-Aufnahme	
Bildstil:	Auto, Standard, Porträt, Landschaft, Neutral, Natürlich, Monochrom, Anw. Def. 1 - 3	Aufnahmeformat:	MOV
Weißabgleich:	Automatisch, voreingestellt (Tageslicht, Schatten, Wolkig, Kunstlicht, Leuchtstoff, Blitz), Manuell, Farbtemperatur (ca. 2500 bis 10000 K), Funktionen zur Weißabgleichkorrektur und Weißabgleich-Bracketing vorhanden * Übertragung der Farbtemperaturdaten für Bildaufnahmen aktiviert	Movie	MPEG-4 AVC/H.264
		Audio	Variable Bitrate (Durchschnitt)
Rauschreduzierung:	Für Aufnahmen mit langer Belichtungszeit und bei hoher ISO-Empfindlichkeit	Aufnahmegröße und Bildrate:	1920 x 1080 (Full HD): 30p/25p/24p 1280 x 720 (HD) : 60p/50p 640 x 480 (SD) : 30p/25p * 30p: 29,97 Aufn./Sek., 25p: 25,00 Aufn./Sek., 24p: 23,976 Aufn./Sek., 60p: 59,94 Aufn./Sek., 50p: 50,00 Aufn./Sek.
Automatische Bildhelligkeitskorrektur:	Auto Lighting Optimizer (Automatische Belichtungsoptimierung)	Kompressionsmethode:	IPB, ALL-I (I-only)
Tonwert Priorität:	Möglich	Dateigröße:	1920 x 1080 (30p/25p/24p) / IPB : Ca. 235 MB/Min. 1920 x 1080 (30p/25p/24p) / ALL-I: Ca. 685 MB/Min. 1280 x 720 (60p/50p) / IPB : Ca. 205 MB/Min. 1280 x 720 (60p/50p) / ALL-I : Ca. 610 MB/Min. 640 x 480 (30p/25p) / IPB : Ca. 78 MB/Min. * Erforderliche Lese-/Schreibgeschwindigkeit der Karte für Movie-Aufnahmen: IPB: mindestens 6 MB/Sek./ALL-I: mindestens 20 MB/Sek.
Objektivaberrationskorrektur:	Vignettierungs-Korrektur, Chromatische Aberrationskorrektur	Fokussierung:	Entspricht der Fokussierung bei Livebild-Aufnahmen
• Sucher		Messmethoden:	Mittenbetonte Messung und Mehrfeldmessung mit dem Bildsensor
Typ:	Dachkant-Spiegelprismensucher		* Im Fokussierungsmodus automatisch eingestellt.
Bildabdeckung:	Vertikal/horizontal ca. 97 % (mit Augenpunkt ca. 21 mm)	Messbereich:	LW 0 - 20 (bei Zimmertemperatur mit EF 50 mm 1:1,4 USM Objektiv, ISO 100)
Vergrößerung:	Ca. 0,71-fach (-1 m ⁻¹ mit 50-mm-Objektiv in Unendlich-Einstellung)	Belichtungssteuerung:	Programmautomatik für Movies und manuelle Belichtung
Augenpunkt:	Ca. 21 mm (von der Mitte des Okulars bei -1 m ⁻¹)	Belichtungskorrektur:	±3 Stufen in 1/3-Stufen (±5 Stufen bei Standbildern)
Dioptrieneinstellung:	Ca. -3,0 bis +1,0 m ⁻¹ (dpt)	ISO-Empfindlichkeit:	Mit automatischer Belichtung: Auto ISO (automatisch festgelegt in
Mattscheibe:	Eg-A II im Lieferumfang, austauschbar	(Empfohlener	ISO 100 - ISO 12800), Maximale und minimale
Elektronische Wasserwaage:	Horizontal: 1°-Schritte, ±9°	Belichtungsindex)	ISO-Empfindlichkeit kann in Kreativ-Programmen geändert werden
Spiegel:	Schnellrücklaufspiegel		Mit manueller Belichtung: Auto ISO (automatisch festgelegt in ISO 100 - ISO 12800), ISO 100 - ISO 12800 manuell festgelegt (in Drittelstufen oder ganzstufig), erweiterbar auf H (entspricht ISO 16000/20000/25600)
Schärfentiefeprüfung:	Möglich	Timecode:	Unterstützt
• Autofokus		Drop Frames:	Kompatibel mit 60p/30p
Typ:	TTL-sekundäre Bildregistrierung, Phasenerkennung	Video-Schnappschüsse:	Einstellbar auf 2 Sek./4 Sek./8 Sek.
AF-Messfelder:	11 AF-Messfelder Mitte: AF-Kreuzsensorpunkt bei 1:5,6 Mitte: AF-Kreuzsensorpunkt, der auf vertikale Linien reagiert bei 1:2,8	Tonaufnahme:	Integriertes Mono-Mikrofon, Anschluss für externes Stereo-Mikrofon vorhanden Lautstärke der Aufnahme anpassbar, Windfilter vorhanden, Dämpfung vorhanden
Fokussierungshelligkeitsbereich:	EV -3 - 18 (bei zentralem AF-Messfeld [reagiert auf 1:2,8 und 1:5,6], Zimmertemperatur, ISO 100)	Gitteranzeige:	Drei Typen
Fokusbetrieb:	One-Shot AF, AI Servo AF, AI Focus AF, Manuelle Scharfeinstellung (MF)	Standbilddaufnahme:	Möglich
AI Servo AF Eigenschaften:	AI Servo Reaktion, Nachführung Beschleunigung/Verzögerung		
AF Feinabstimmung:	AF Feinabstimmung (alle Objektive um gleichen Wert oder Abstimmung pro Objektiv)		
AF-Hilfslicht:	Aktiviert durch das Speedlite-Blitzgerät für EOS		

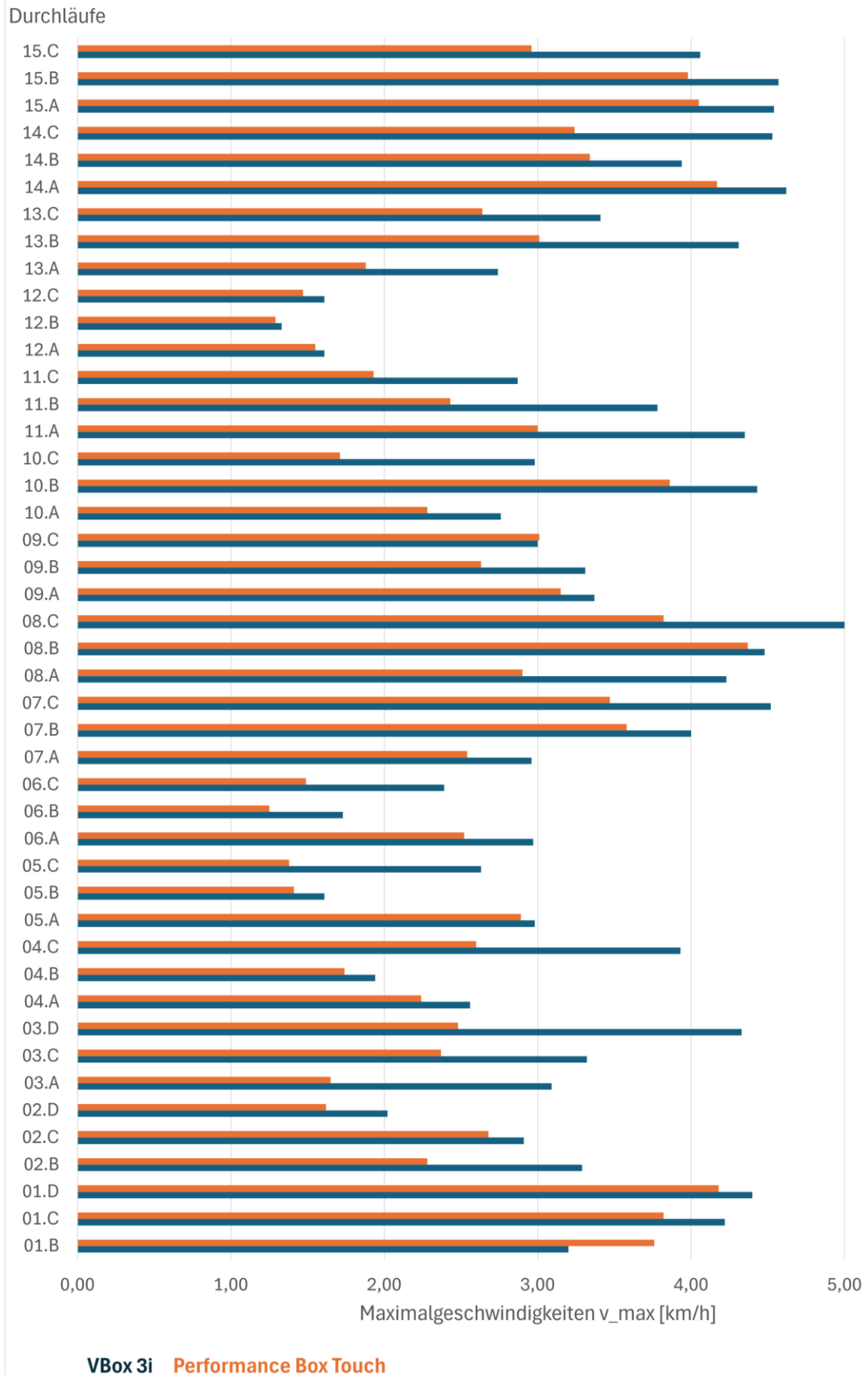
Anlage 7: Auszug Datenblatt Panasonic Lumix DMC-TZ81 [42]

OBJEKTIV UND SENSOR	
Objektiv und Lichtstärke	LEICA DC VARIO-ELMAR / F3.3-6.4
Optischer Zoom / intelligenter Zoom	30x / 60x
Brennweite [KB]	24-720mm
Blende	F3.3 - 8.0 (W), F6.4 - 8.0 (T)
Schärfebereich Normal	Weitwinkel: 50 cm - ∞ / Tele: 200 cm - ∞
Schärfebereich Makro	Weitwinkel: 5 cm - ∞ / Tele: 200 cm - ∞
Bildsensor	1/2.33-Zoll MOS-Sensor / 18,9 Megapixel
FOTO	
Fotauflösung (max.)	max. 4896x3672 (18M), [4:3]
Seitenverhältnisse	4:3 / 3:2 / 16:9 / 1:1
Bildformate	JPEG (DCF/Exif2.3) / RAW, DPOF
Eingebauter Blitz	• 0,6 - 5,6m (Weit / ISO Auto), 2,0 - 2,9m (Tele / ISO Auto)
Selbstauslöser	2 Sek. / 10 Sek. / 10 Sek. (3 Bilder)
Serienbildgeschwindigkeit (volle Auflösung)	10 B/s, AF Tracking: 5 B/s
4K Foto (8MP Serienbilder)	30 B/s, max. 15 Min., 4K Pre-Burst
4K Post Fokus	• (nachträgliche Verschiebung des Fokuspunktes)
VIDEO	
4K Video	max. 3840 x 2160 Pixel, 25p (100 Mbps / MP4)
Full HD Video 1920 x 1080 Pixel	1920 x 1080 Pixel, 50p (28 Mbps / AVCHD o. MP4)
Video-Zoom / eingebautes Mikrofon	• / •
EINSTELLUNGEN	
Fokussierung	AF (6 Modi) / MF / Fokus Peaking
Messarten	Gesichts-/Augenerkennung / Verfolgung / 49-Feld / 1-Feld
Belichtung	Programm AE; Zeit- und Blendenselbstautomatik, Manuell
Belichtungsmessung	Intelligente Mehrfeld-/Mittenbetonte Integral-/Spotmessung
Belichtungszeit	4 - 1/2.000 Sek. (mech.) / 1 - 1/16.000 Sek. (elektr.) / Nachtlandschaft (ca. 60 Sek.)
Lichtempfindlichkeit [ISO]	ISO 80 - 6.400
Weißabgleich	Auto / Tageslicht / Bewölkt / Schattig / Glühlampe / Blitz / manuell 1, 2 / Farbtemperatur
Kreative Filter-Effekte	22 Filter, u.a. S/W, Impulsiv, Hohe Dynamik, Miniatureffekt, Sternfilter, Selektiv-Farbe
Schwenk-Panorama	•
AUSSTATTUNG	
Autofokus	Hybrid-Kontrast-Autofokus
Bildstabilisator	5-achsiger HYBRID O.I.S.+
Sucher	0,20-Zoll Farbsucher, 1.166.000 Pixel, 100% Bildfeld, Augensensor
LC-Display	7,5cm TFT-LC-Display, 1.040.000 Pixel, Touch-Funktion
WiFi	IEEE 802.11 b/g/n/WPA / WPA2/Infrastruktur-Modus / WPS
Objektivring / Wahlrad	• (Multi-Funktions-Ring) / -
Blitzschuh	-
INTELLIGENTE AUTOMATIK	
Gesichtserkennung	•
Motiverkennung	•
Bewegungserkennung (Intelligent-ISO)	•
Kontrastausgleich (Intelligent-Exposure)	•
Rotaugenkorrektur	•
ALLGEMEINES	
Speichermedium	SD / SDHC / SDXC Speicherkarte
eingebauter Speicher	-
HDMI / USB Anschluss	micro HDMI typeD / USB 2.0 Micro-B (mit Lade-Funktion)
Mikrofon- / Kopfhörer-Anschluss	- / -
Akkulaufzeit (CIPA)	320 Bilder
Abmessungen in cm ([B x H x T])	11,2 x 6,4 x 3,8
Gewicht (mit Akku)	282 g
Menü-Sprachen	Japanisch, Englisch, Deutsch, Französisch, Italienisch, Spanisch, Polnisch, Tschechisch, Ungarisch, Rumänisch, Niederländisch, Türkisch, Portugiesisch, Finnisch, Dänisch, Schwedisch, Griechisch
Mitgeliefertes Zubehör	Li-Ionen-Akku (1025mAh), AC-Adapter, USB-Kabel, Handschlaufe

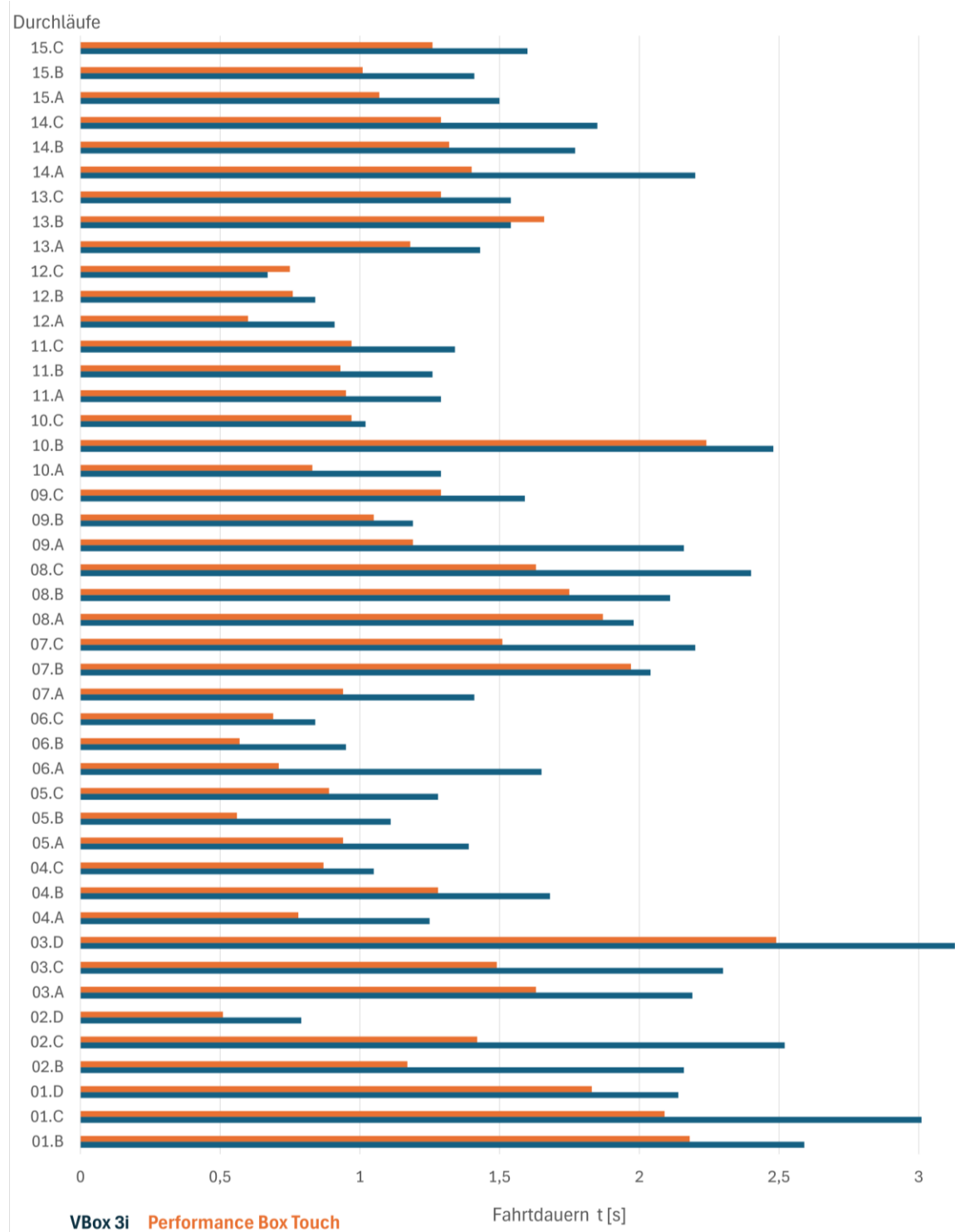
Anlage 8: Auszug Datenblatt DJI Mavic Air 2 [43] S. 47 ff.

Fluggerät		Fernsteuerung	
Startgewicht	570 g	Betriebsfrequenz	2,400-2,4835 GHz, 5,725-5,850 GHz
Abmessungen (L x B x H)	Gefaltet: 180 x 97 x 84 mm Ausgefaltet: 183 x 253 x 77 mm	Max. Übertragungsreichweite (ohne Hindernisse, störungsfrei)	10 km (FCC) 6 km (CE) 6 km (SRRC) 6 km (MIC)
Diagonaler Abstand	302 mm	Betriebstemperaturbereich	-10 °C bis 40 °C
Max. Steiggeschwindigkeit	4 m/s (Modus „S“) 4 m/s (Modus „N“)	Strahlungsleistung (EIRP)	2,400 – 2,4835 GHz: ≤26 dBm (FCC), ≤20 dBm (CE), ≤20 dBm (SRRC) 5,725 – 5,850 GHz: ≤26 dBm (FCC), ≤14 dBm (CE), ≤26 dBm (SRRC)
Max. Sinkgeschwindigkeit	3 m/s (Modus „S“) 3 m/s (Modus „N“)	Akkuspeicherkapazität	5,200 mAh
Max. Fluggeschwindigkeit (nahe dem Meeresspiegel, ohne Wind)	19 m/s (Modus „S“) 12 m/s (Modus „N“) 5 m/s (Modus „T“)	Betriebsstrom/Betriebsspannung	1,200 mA@3,7 V (mit Android-Gerät) 700 mA@3,7 V (mit iOS-Gerät)
Max. Flughöhe	5,000 m	Unterstützte Größen für Mobilgeräte (H x B x T)	180 x 86 x 10 mm
Max. Flugzeit	34 Minuten (gemessen bei einer Fluggeschwindigkeit von 18 km/h ohne Wind)	Unterstützte USB-Anschlusstypen	Lightning, Micro-USB (Typ B), USB-C
Max. Schwebzeit (ohne Wind)	33 Minuten	Videoübertragungssystem	OcuSync 2.0
Max. Flugentfernung	18,5 km	Qualität der Liveübertragung	720p bei 30 FPS, 1080p bei 30 FPS
Max. Windwiderstand	10 m/s (Windstärke 5)	Video-Codingformat	H.265
Max. Neigungswinkel	35° (Modus „S“) 20° (Modus „N“)	Max. Bitrate	12 MB/s
Max. Winkelgeschwindigkeit	250°/s (Modus „S“) 250°/s (Modus „N“)	Latenz (abhängig von Umweltfaktoren und dem verwendeten Mobilgerät)	120 bis 130 ms
Betriebstemperatur	-10 °C bis 40 °C	Ladegerät	
GNSS	GPS + GLONASS	Eingang	100 V bis 240 V, 50/60 Hz, 1,3 A
Betriebsfrequenz	2,400-2,4835 GHz, 5,725-5,850 GHz	Ausgang	Akku: 13,2 V = 2,82 A USB: 5 V / 2 A
Strahlungsleistung (EIRP)	2,400 – 2,4835 GHz: ≤26 dBm (FCC), ≤20 dBm (CE), ≤20 dBm (SRRC), ≤20 dBm (MIC) 5,725 – 5,850 GHz: ≤26 dBm (FCC), ≤14 dBm (CE), ≤26 dBm (SRRC)	Nennleistung	38 W
Schwebefluggenauigkeit	Vertikal: ± 0,1 m (bei Sichtpositionierung); ± 0,5 m (bei GPS-Positionierung) Horizontal: ± 0,1 m (bei Sichtpositionierung); ± 1,5 m (bei GPS-Positionierung)	Intelligent Flight Battery	
Interner Speicher	8 GB	Akkuspeicherkapazität	3,500 mAh
Gimbal		Spannung	11,55 V
Mechanischer Bereich	Neigen: -135° bis +45° Rollen: -45° bis +45° Schwenken: -100° bis +100°	Max. Ladespannung	13,2 V
Steuerbarer Bereich	Neigen: -90° bis +0° (Standardeinstellung); -90° bis +24° (erweiterte Einstellung) Schwenken: -80° bis +80°	Akkutyp	LiPo 3S
Stabilisierung	3-achsrig (Neigen, Rollen, Schwenken)	Energie	40,42 Wh
Max. Steuergeschwindigkeit (Neigung)	100°/s	Gewicht	198 g
Bereich der Winkelgenauigkeit	± 0,01°	Ladetemperatur	5 °C bis 40 °C
		Max. Ladeleistung	38 W
Sensorsystem		App	
Vorwärts	Präzisionsmessbereich: 0,35 bis 22 m Erfassungsbereich: 0,35 bis 44 m Effektive Erkennungsgeschwindigkeit: ≤ 12 m/s Sichtfeld (FOV): 71° (horizontal), 56° (vertikal)	App	DJI Fly
Rückwärts	Präzisionsmessbereich: 0,5 bis 20 m Erfassungsbereich: 0,37 bis 47,2 m Effektive Erkennungsgeschwindigkeit: ≤ 12 m/s Sichtfeld (FOV): 44° (horizontal), 57° (vertikal)	Benötigtes Betriebssystem	iOS v10.0.2 oder höher; Android v6.0 oder höher
Abwärts	Infrarotsensor-Messbereich: 0,1 bis 8 m Schwebereich: 0,5 bis 30 m Sichtsenorenreichweite für Schwebeflug: 0,5 bis 60 m	SD-Speicherkarten	
Betriebsumgebung	Nicht reflektierende, erkennbare Oberflächen mit einer diffusen Remission von > 20 %; angemessene Beleuchtung von >15 Lux	Unterstützte SD-Speicherkarten	microSD-Speicherkarte mit der UHS-I Geschwindigkeitsklasse 3
Kamera			
Sensor	1/2-Zoll-CMOS Effektive Pixel: 12 / 48 Megapixel		
Objektiv	Sichtfeld (FOV): 84° Entspricht im 35 mm Format: 24 mm Blende: f/2.8 Fokusbereich: 1 m bis ∞		
ISO	Video: 100 bis 6.400 Foto (12 MP): 100 bis 3.200 (Auto); 100 bis 6.400 (Manuell) Foto (48 MP): 100 bis 1.600 (Auto); 100 bis 3.200 (Manuell)		
Elektronischer Verschluss	8 bis 1/8.000 s		
Max. Bildgröße	48 MP: 8.000 x 6.000 12 MP: 4.000 x 3.000		
Fotomodul	Einzelaufnahme: 12 MP / 48 MP Serienaufnahme: 12 MP; 3/5/7 Rahmen Automatische Belichtungsreihe (AEB): 12 MP; 3/5 Rahmen bei 0,7EV-Schritt Zeitgesteuert: 12 MP 2/3/5/7/10/15/20/30/60 Sekunden SmartPhoto: 12 MP HDR-Panorama: Vertikal (3 x 1): 3.328x8.000 Pixel (B x H) Breit (3 x 3): 8.000x6.144 Pixel (B x H) 180° Panorama (3 x 7): 8.192 x 3.500 Pixel (B x H) Sphäre (3 x 8+1): 8.192 x 4.096 Pixel (B x H)		
Videoauflösung	4K Ultra HD: 3.840 x 2.160 24/25/30/48/50/60 FPS 2,7K: 2.688 x 1.512 24/25/30/48/50/60 FPS Full HD: 1.920 x 1.080 24/25/30/48/50/60/120/240p 4K Ultra HD HDR: 3.840 x 2.160 24/25/30 FPS 2,7K HDR: 2.688 x 1.512 24/25/30 FPS FHD HDR: 1.920 x 1.080 24/25/30 FPS		
Max. Videodatenrate	120 MB/s		
Unterstützte Dateisysteme	FAT32 exFAT (empfohlen)		
Dateiformate	JPEG / DNG (RAW)		
Videoformat	MP4 / MOV (H.264/MPEG-4 AVC, H.265/HEVC)		

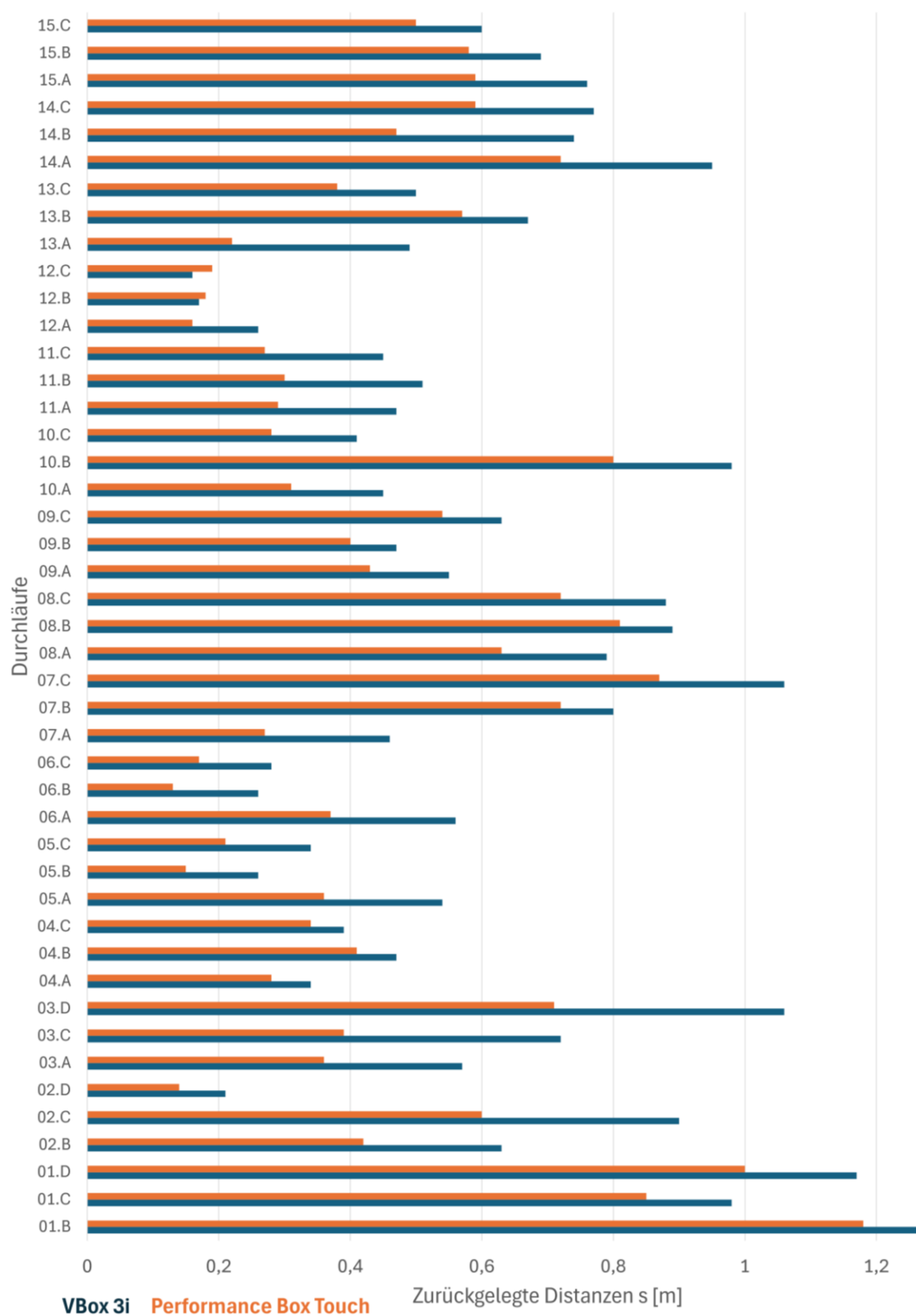
Anlage 9: Grafischer Vergleich der erreichten Höchstgeschwindigkeiten zwischen VBox 3i und PBT [Eigene Darstellung]



Anlage 10: Grafischer Vergleich der Fahrtauern zwischen VBox 3i und PBT
[Eigene Darstellung]



Anlage 11: Grafischer Vergleich der zurückgelegten Distanzen zwischen VBox 3i und PBT
[Eigene Darstellung]



Anlage 12: Probandenfragebogen [Eigene Darstellung]

Probandenfragebogen

Probandennummer:

Datum: 02. Juni 2026

Personenbezogene Fragen	
1. Geschlecht	☐ Männlich ☐ Weiblich ☐ Divers
2. Alter	
3. Jahr des Erwerbs der Fahrerlaubnis	
4. Erworbene Fahrerlaubnisklassen	
5. Besitzen Sie einen eigenen Personenkraftwagen?	☐ Ja ☐ Nein
5.1 Wenn ja, mit welcher Getriebeart?	☐ Manuelles Schaltgetriebe ☐ Automatikgetriebe
5.2 Wenn ja, welches Baujahr ist Ihr Pkw?	
5.3 Wenn nein, fahren Sie regelmäßig einen Pkw?	☐ Ja, mit Schaltgetriebe ☐ Ja, mit Automatikgetriebe ☐ Nein
5.3.1 Wenn ja, welches Baujahr ist dieses Kfz?	
6. Wie hoch ist etwa Ihre jährliche Fahrleistung in km?	
7. Sind Sie schon einmal von einem Pedal abgerutscht?	
7.1 Wenn ja, von welchem?	☐ Kupplungspedal ☐ Bremspedal ☐ Fahrpedal ☐ Kombination aus:
7.2 Wenn ja, in welcher Situation?	
7.3 Wenn ja, wie schnell konnten Sie etwa reagieren?	
7.4 Wenn ja, kam es zu einer Beschädigung?	
7.5 Wenn ja, welches Schuhwerk trugen Sie dabei?	
7.6 Wenn ja, in welche Richtung sind Sie abgerutscht?	
7.7 Wenn ja, bei welcher Geschwindigkeit?	
8. Welche Ausparksituation empfinden Sie als besonders stressig bzw. unangenehm? (z. B. quer/längs, vorwärts/rückwärts, ...)	

Versuchsbezogene Fragen	
9. Fanden Sie den Versuch realitätsnah?	☐ ja ☐ nein, weil
10. Welche Art des Schuhwerks trugen Sie?	☐ Turnschuh ☐ Winter-/Wanderschuh ☐ <i>anderes</i>
11. Welche Schuhgröße haben Sie?	
12. Welchen Zustand hatten Ihre Sohlen?	☐ Sauber + Trocken ☐ Schmutzig + Trocken ☐ Sauber + Nass ☐ Schmutzig + Nass
13. Hatten Sie Probleme bei der Durchführung?	
14. Halten Sie es für wahrscheinlich, dass durch diese Situation ein Schaden am Nachbarfahrzeug entstehen könnte?	
15. Halten Sie eine andere Konstellation des Abrutschens für gefährlicher?	
16. Wohin haben Sie Ihrer Meinung nach während des Versuchs am längsten/intensivsten geschaut?	
17. Helfen Ihnen Fahrerassistenzsysteme beim Parken/Rangieren?	
17.1 Wenn ja, welche?	
18. Welche Auslöser könnte das Abrutschen von Fahrzeugpedalen Ihrer Meinung nach haben?	

Weitere Anregungen oder Kritik:

Anlage 13: Zusammenfassung Resultate Probandenfragebögen [Eigene Darstellung]

Personenbezogene Fragen		Resultate
1.	Geschlecht	Männlich: 13 (86,67 %) Weiblich: 2 (13,33 %) Divers: 0 (0 %)
2.	Alter	Durchschnitt: 23,6 Jahre Mindestalter: 21 Jahre Maximalalter: 26 Jahre
3.	Dauer seit Erwerb der Fahrerlaubnis	Durchschnitt: 6,73 Jahre Mindestdauer: 4 Jahre Maximaldauer: 10 Jahre
4.	Erworbene Fahrerlaubnisklassen	B (inkl. AM, L): 13 (86,67 %) B197 (inkl. AM, L): 2 (13,33 %) Davon mehr als eine Klasse: 4 (26,68 %) Davon mehr als zwei Klassen: 1 (6,67 %) A: 1 (6,67 %) A1: 3 (20,01 %) A2: 1 (6,67 %)
5.	Besitzen Sie einen eigenen Personenkraftwagen?	Ja: 11 (73,33 %) Nein: 4 (26,67 %)
5.1	Wenn ja, mit welcher Getriebart?	Manuelles Schaltgetriebe: 9 (81,82 %) Automatikgetriebe: 2 (18,18 %)
5.1.1	Welcher Kraftstoffart ist dieser Pkw?	Benzin: 8 (72,72 %) Diesel: 2 (18,18 %) Autogas: 1 (9,09 %)
5.2	Wenn ja, wie alt ist Ihr Pkw?	Durchschnitt: 14,73 Jahre Mindestalter: 7 Jahre Maximalalter: 27 Jahre
5.3	Wenn nein, fahren Sie regelmäßig einen Pkw?	Ja, mit Schaltgetriebe: 1 (25 %) Ja, mit Automatikgetriebe: 1 (25 %) Nein: 2 (50 %)
5.3.1	Wenn ja, wie alt ist dieses Kfz?	Durchschnitt: 5 Jahre Mindestalter: 2 Jahre Maximalalter: 8 Jahre
6.	Wie hoch ist etwa Ihre jährliche Fahrleistung?	Durchschnitt: 11040 km Mindestfahrleistung: 0 km Maximalfahrleistung: 35000 km
7.	Sind Sie schon einmal von einem Pedal abgerutscht?	Ja: 10 (66,7 %) Nein: 5 (33,3 %)
7.1	Wenn ja, von welchem?	<i>Insg. 12 Nennungen von 10 Probanden</i> Bremspedal: 3 (30 %) Fahrpedal: 4 (40 %) Kupplungspedal: 4 (40 %) Kombination aus Kupplung und Fahrpedal: 1 (10 %)

7.2	Wenn ja, in welcher Situation?	<i>Insg. 12 Nennungen von 10 Probanden</i> Anfahren: 4 (40 %) Anhalten: 1 (10 %) Ausparken: 1 (10 %) Autobahn: 1 (10 %) Beschleunigen: 1 (10 %) Bremsen: 1 (10 %) Parken: 1 (10 %) Rangieren: 1 (10 %) Rückwärtiges Ausparken: 1 (10 %)
7.3	Wenn ja, wie schnell konnten Sie etwa reagieren?	Schnell; wenige Millisekunden bis Sekunden
7.4	Wenn ja, kam es zu einer Beschädigung?	Nein: 10 (100 %)
7.5	Wenn ja, welches Schuhwerk trugen Sie dabei?	<i>Insg. 11 Nennungen von 10 Probanden</i> Absatzschuhe: 1 (10 %) Arbeitsschuhe: 1 (10 %) Turnschuhe/Sneaker: 8 (80 %) Keine Angabe: 1 (10 %)
7.6	Wenn ja, in welche Richtung sind Sie abgerutscht?	<i>Insg. 11 Nennungen von 10 Probanden</i> Links: 5 (50 %) Rechts: 3 (30 %) Unten: 2 (20 %) Keine Angabe: 1 (10 %)
7.7	Wenn ja, bei welcher Geschwindigkeit?	Durchschnitt: 24,1 km/h Minimalwert: 2,5 km/h Maximalwert: 150 km/h
8	Welche Ausparksituation empfinden Sie als besonders stressig bzw. unangenehm?	<i>Insg. 19 Nennungen von 15 Probanden</i> Längs: 4 (26,68 %) Quer: 5 (33,35 %) Rückwärts: 9 (60,03 %) Vorwärts: 1 (6,67 %)
Versuchsbezogene Fragen		Resultate
9.	Fanden Sie den Versuch realitätsnah?	Ja: 12 (80 %) Nein: 3 (20 %)
10.	Welche Art des Schuhwerks trugen Sie?	Turnschuh: 14 (93,33 %) Winter-/Wanderschuh: 1 (6,67 %)
11.	Welche Schuhgröße haben Sie?	Durchschnitt: 44 Minimalgröße: 39,5 Maximalgröße: 50
12.	Welchen Zustand hatten Ihre Sohlen?	Sauber + Trocken: 10 (66,7 %) Schmutzig + Trocken: 5 (33,3 %)
13.	Hatten Sie Probleme bei der Durchführung?	Ja: 3 (20 %) Nein: 12 (80 %)
14.	Halten Sie es für wahrscheinlich, dass durch diese Situation ein Schaden am Nachbarfahrzeug entstehen könnte?	Ja: 13 (86,67 %) Nein: 2 (13,33 %)

15.	Halten Sie eine andere Konstellation des Abrutschens für gefährlicher?	von Bremse: 1 (6,67 %) Bremse auf Gas: 2 (13,34 %) Bremse in Notfallsituation: 3 (20 %) Fuß unter Kupplungspedal: 1 (6,67 %) bei Gefahrenbremsung: 2 (13,34 %) Kupplung am Berg: 1 (6,67 %) Ja (ohne weitere Beschreibung): 3 (20 %) Nein: 2
16.	Wohin haben Sie Ihrer Meinung nach während des Versuchs am längsten / intensivsten geschaut?	<i>Insg. 20 Nennungen von 15 Probanden</i> Armaturenbrett: 1 (6,67 %) Drehzahlmesser: 2 (13,33 %) Frontkamera: 1 (6,67 %) Füße: 2 (13,33 %) Lenkrad: 1 (6,67 %) Rückfahrkamera: 1 (6,67 %) Rückspiegel: 2 (13,33 %) Seitenspiegel: 4 (26,67 %) Spiegel (ohne weitere Beschreibung): 2 (13,33 %) Tachometer: 1 (6,67 %) Vorne: 3 (20 %)
17.	Helfen Ihnen Fahrerassistenzsysteme beim Parken/Rangieren?	Ja: 12 (80 %) Nein: 2 (13,33 %) Keine Angabe: 1 (6,67 %)
17.1	Wenn ja, welche?	<i>Insg. 20 Nennungen von 15 Probanden</i> Park-Lenk-Assistent: 1 (6,67 %) Parksensoren: 10 (66,67 %) Rückfahrkamera: 5 (33,3 %) Einstellbarer Spiegel: 1 (6,67 %) Keine Angabe: 3 (20 %)
18.	Welche Auslöser könnte das Abrutschen von Fahrzeugpedalen Ihrer Meinung nach haben?	<i>Insg. 25 Nennungen von 15 Probanden</i> Aufregung: 1 (6,67 %) Behinderung anderer Verkehrsteilnehmer: 1 (6,67 %) Breite Schuhe: 1 (6,67 %) Daneben treten: 1 (6,67 %) Defekt am Fahrzeug: 1 (6,67 %) Falsche Sitzeinstellung: 1 (6,67 %) Fehlendes Pedalgummi: 1 (6,67 %) Kein Profil: 1 (6,67 %) Kleine Füße: 1 (6,67 %) Masse der Schuhe: 1 (6,67 %) Nässe: 8 (53,33 %) Ungeeignetes Schuhwerk: 3 (20 %) Schuhwerk (ohne weitere Beschreibung): 1 (6,67 %) Ungewohntes Fahrzeug: 2 (13,33 %) Keine Angabe: 1 (6,67 %)