

Bewertung von Parkassistenten

Berthold Färber
Brigitte Färber
Annika Johnsen
Michael Popp
Thomas Hummel

Bewertung von Parkassistenten

Prof. Dr. Berthold Färber
Dr. Brigitte Färber
Annika Johnsen
Prof. Dr. Michael Popp
Dipl.-Ing. Thomas Hummel

Impressum

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. Unfallforschung der Versicherer

Wilhelmstraße 43/43G, 10117 Berlin

Postfach 08 02 64, 10002 Berlin

E-Mail: unfallforschung@gdv.de

Internet: www.udv.de

Facebook: www.facebook.com/unfallforschung

Twitter: [@unfallforschung](https://twitter.com/unfallforschung)

YouTube: www.youtube.com/unfallforschung

ISBN-Nr.: 978-3-939163-78-7

Redaktion: Dipl.-Ing. Thomas Hummel

Bildnachweis: UDV und siehe Quellenangaben

Erschienen: 11/2017

Im Auftrag der Unfallforschung der Versicherer (UDV)

Bewertung von Parkassistenten

Bearbeitet durch:

Institut für Arbeitswissenschaft, UniBW München

Prof. Dr. Berthold Färber

Dr. Brigitte Färber

Annika Johnsen

Prof. Dr. Michael Popp



Bei der UDV betreut von:

Dipl.-Ing. Thomas Hummel



Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung / Abstract	04
1. Ausgangssituation, Fragestellung und Vorgehensweise	06
Ausgangssituation	06
Einparkhilfen – Sinn und Zweck	06
Entwicklung einer Methode	07
2. Fahrersicht und Sichtbewertung	08
2.1. Gesetzliche Regelwerke zum Sichtfeld des Fahrers	08
2.2. Verfahren zur Sichtbewertung	08
2.2.1. Realverfahren	08
Beurteilungsmethode	08
2D-Schnitte	08
Schattenwurfmethode	09
Photometrisches Verfahren	09
2.2.2. Virtuelle Methoden	09
2D-Schnitte	09
3D-Menschenmodelle	09
3. Methode zur Bewertung der Übersichtlichkeit beim Einparken	11
3.1. Anforderungen an die Methode	11
Geringer Aufwand bei der Umsetzung	11
Hohes Maß an Realitätstreue	11
Spezifische Eignung zur Sichtbewertung bei Parkvorgängen	11
Replizierbarkeit	11
Geringer Kosten- und Personalaufwand	11
3.2. Beschreibung der Methode	11
Umsetzung mit Blender	11
Augpunkt des Fahrers	12
Fahrzeuge	12
Hindernis	13
3.3. Durchführung	14
3.3.1. Monokulare Sicht	14
3.3.2. Binokulare Sicht	16
3.4. Einteilung der Sichtbereiche und Gewichtung	18
3.4.1. Einteilung der Sichtbereiche	18
3.4.2. Gewichtung der Sichtbereiche	20
3.5. Folgerungen und Ausblick	21
4. Der Einfluss der Übersichtlichkeit – Ein- und Ausparkversuch	22
4.1. Fragestellung und Vorgehensweise	22
Generelle Fragestellung	22
Spezifische Fragen	22
4.2. Konzeption und Realisierung des Feldversuchs	23
4.2.1. Überblick und Vorgehensweise	23
4.2.2. Versuchsträger und ihre Einparkhilfen	24
Fahrzeug 1	24
Fahrzeug 2	24
Automatisches Einparken mit Fahrzeug 1 + 2	25
Fahrzeug 3	25
Automatisches Einparken mit Fahrzeug 3	26

4.2.3.	Sichtverschlechterung und Assistenz bei den einzelnen Versuchsbedingungen	27
4.2.4.	Ein- und Auspark-Szenarien	29
	Manöver 1	29
	Manöver 2	29
	Manöver 3 und 4	30
	Manöver 5	30
	Manöver 6	31
4.2.5.	Abfolge der Manöver	31
4.2.6.	Versuchsdurchführung	32
4.2.7.	Datenerhebung	32
4.2.8.	Versuchsteilnehmer	33
5.	Objektive Ergebnisse	35
5.1.	Zeit zur Ausführung der Aufgabe	35
	Wieviel bringt die Assistenz bezüglich Zeit?	36
	Gleiche Sichtbedingungen, gleiche Ausstattung – Zeit	36
	Vorteile des automatischen Einparkens – Zeit	37
	Betrachtung der Gesamt-Mittelwerte – Zeit	37
5.2.	Kollisionen bei den Parkmanövern	38
	Wieviel bringt die Assistenz bezüglich Kollisionen?	38
	Gleiche Sichtbedingungen, gleiche Ausstattung – Kollisionen	39
	Vorteile des automatischen Einparkens – Kollisionen	39
	Vergleich zwischen automatischem Ein- und Ausparken – Kollisionen	40
	Was bringt die Rückfahrkamera? Kollisionen, sortiert nach Fahrzeugen	40
	Betrachtung der Kollisionen insgesamt	41
5.3.	Anzahl der Züge bei den Parkmanövern	42
	Wieviel bringt die Assistenz bezüglich der Anzahl der Züge?	42
	Schrittweise Verschlechterung der Sichtverhältnisse – Anzahl der Züge	42
	Gleiche Sichtbedingungen, gleiche Ausstattung – Anzahl der Züge	43
	Vorteile des automatischen Einparkens – Anzahl der Züge	44
	Betrachtung der Anzahl der Züge insgesamt	44
5.4.	Abstände zum seitlichen Fahrbahnrand	45
	Kategorisierung der Abstände zum seitlichen Fahrbahnrand	45
	Qualität der Einparkassistenten	47
5.5.	Abstände zu den anderen Parkenden	48
6.	Subjektive Ergebnisse	50
6.1.	Mediane – Bewertung des Systems	50
6.1.1.	Vergleich: Normale Sichtbedingungen	51
	Anmerkungen	51
	Vergleich N-0 und N-A	51
	Normale Sicht + Assistenz (N-A) und automatisches Einparken	51
	Zusammenfassung der Vergleiche bei normaler Sicht	52
6.1.2.	Vergleich: Veränderung der Sichtbedingungen	52
6.1.3.	Vergleich: Rückfahrkamera versus Top View	53
6.2.	Ordnung der Versuchsbedingungen nach Schwierigkeit	54
7.	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	56
7.1.	Tabellarische Ergebnis-Darstellung nach Fragestellungen sortiert	56
7.2.	Schlussfolgerungen	59
8.	Literatur	61
	Dank an alle Beteiligten	62

Zusammenfassung

Parkassistenten unterscheiden sich auf vielfältige Weise – sie reichen von einfachen akustischen oder optisch-akustischen Anzeigen über verschiedene Kamerasysteme (Rückfahrkamera bzw. Top-View) bis zu halb- oder vollautomatischen Einparksystemen. Die Bewertung der Wirksamkeit zur Verhinderung von Schäden muss sowohl die Systemauslegung als auch die Ergonomie und die Übersichtlichkeit des Fahrzeugs berücksichtigen. Zur Bewertung von Parkassistenten werden zwei methodische Ansätze vorgestellt und erprobt.

Als virtuelle Methode wird die virtuelle Schattenwurfmethode unter Verwendung des Werkzeugs „Blender“ näher erläutert. Mit einem Augpunkt von 77,5 cm über dem unbelasteten Fahrersitz und einer Höhe des Hindernisses von 70 cm (Kleinkind auf Rutschauto) werden Fahrzeuge vom Kleinstwagen bis zum SUV vermessen.

Hierzu werden drei Sichtbereiche definiert.

- Frontsicht: Länge der vorderen Blindzone (ab Motorhaube) + die Breite der beiden A-Säulen > 6,5 cm.
- Seitensicht: Blindzone ab Karosserie auf Fahrer- und Beifahrerseite + gemittelte Breite der Säulen > 6,5 cm.
- Hecksicht: Länge der hinteren Blindzone (ab Heck) + Breite der Hecksäulen.

Der Vergleich der verschiedenen Fahrzeuge bringt eine eindeutige und nachvollziehbare Rangreihe bezüglich der Übersichtlichkeit für Park- und Rangiermanöver.

Für den experimentellen Vergleich werden Fahrzeuge bezüglich Assistenz und Übersichtlichkeit systematisch variiert. Konkret wird ein Fahrzeug der Kompaktklasse mit Sichtblenden systematisch so verändert, dass es einem SUV bezüglich der Übersichtlichkeit entspricht und ein SUV mit schlechter Übersichtlichkeit wird in ein Fahrzeug mit sehr schlechter Übersichtlichkeit verändert. Verglichen werden Systeme mit generischer Rundumsicht, Rückfahrkamera, Top-View, sowie halb- und vollautomatische Systeme. Als Parkmanöver werden diejenigen realisiert, die gemäß Schadenhäufigkeit die größte Bedeutung haben. Die Studie wird mit 60 Personen auf einem Testgelände durchgeführt.

Wesentliche Erkenntnisse:

Parkassistenten führen zu einer gewissen Reduktion von Kollisionen, wenn sie über die Minimalconfiguration mit generischer Rundumsicht verfügen. Ein entscheidendes Merkmal stellt eine Rückraumüberwachung mit Bremsengriff dar, um speziell beim Ausparken Schäden zu verhindern.

Kameras unterstützen zwar das Rangieren und Einparken in enge Lücken, verhindern aber Parkrempler nicht. Top-View ermöglicht eine Rundumsicht, lässt Hindernisse leichter erkennen und ist einfacher zu verstehen. Der Vergleich von halbautomatischen Systemen (nur Querführung) mit vollautomatischen Systemen (Längs- und Querführung) zeigt klare Vorteile des vollautomatischen Systems. Nur beim vollautomatischen System traten beim rückwärts Einparken keine Kollisionen auf.

Bei Fahrzeugen mit schlechter Rundumsicht sind technisch einfachere Systeme nicht ausreichend. So lange der Fahrer Teil des Regelkreises ist (assistiert oder teil-automatisch) sollte nicht nur der Abstand zum Hindernis, sondern auch die Geschwindigkeit für Warnung oder Eingriff im Algorithmus berücksichtigt werden. Nur so lassen sich Parkrempler und Unfälle deutlich reduzieren oder ganz vermeiden.

Abstract

Parking assistants differ in many ways, ranging from simple acoustical or optical / acoustical displays over camera driven systems (rear-view and top view) to semi- or fully automated systems. The evaluation of the potential of these systems to avoid damages or accidents must take into account aspects of system performance as well as ergonomic aspects and surround viewing conditions of cars. For the evaluation of parking assistants two methodological approaches are presented and tested.

As virtual technique a virtual shadow print method using the tool "BLENDER" is presented in detail. The eye point is defined 77,5 cm over the unloaded driver seat. As height of potential obstacles 70 cm were chosen (small child on a bobby car). Several cars from subcompact class to SUV and luxury class were analysed.

For the analysis three viewing areas were defined:

- Front view: length of forward blind zone (from engine bonnet) + width of A-column > 6.5 cm.
- Side view: blind zone, measured from body on each side + mean of columns > 6.5 cm.
- Rear view: length of rear blind zone (measured from tail) + width of rear columns.

The comparison of the different cars gives a distinct and comprehensible order with respect to viewing areas for parking and taxiing manoeuvres.

The experimental comparison of different cars varies assistance level and viewing conditions in a systematic manner. On the operational level the sight conditions of a compact car are systematically degraded to a SUV. Further a SUV with poor sight conditions is still more degraded to an (existing) car with very poor surround sight. Systems with generic surround view, rear vision camera, top view camera as well as semi- and fully automatic systems are compared. Parking manoeuvres in the experiment were chosen according to damage frequency of comprehensive insurance and casualty insurance. The study was performed with 60 subjects on a test track.

Essential results:

Parking assistants reduce collisions if they provide as minimal system layout a generic surround view (with optical and acoustical displays). An absolutely necessary feature is rear end surveillance with automatic emergency braking to avoid damages and accidents, especially for reversing out of a parking space.

Cameras support taxiing and parking in small parking slots, but they do not avoid damages. Top view offers optical surround view, helps to detect obstacles and is easier to understand. The comparison of semiautomatic systems (only lateral control) and fully automatic systems (longitudinal and lateral control) show clear advantages of fully automatic systems. Only fully automatic systems showed no collisions when backing into a parking space. For cars with poor surround sight other than these systems are not sufficient.

Whenever the driver is part of the control loop (assisted or semiautomatic) not only the distance to an obstacle but also the driven speed should be part of the algorithm for warning or intervention. This algorithm provides a driver centred warning strategy taking into account the reaction time of humans and can thus avoid or at least reduce parking damages.

Bewertung von Parkassistenten

1. Ausgangssituation, Fragestellung und Vorgehensweise

Ausgangssituation:

Im SV-Projekt „Parkassistenten“ (FÄRBER, FÄRBER, JOHNSEN & RIFFERT, 2015) zeigten sich beim Vergleich verschiedener Parkassistenten-Systeme, die in unterschiedlichen Fahrzeugen und für ausgewählte Manöver getestet wurden, u.a. folgende Erkenntnisse.

Systeme mit automatischer Längs- und Querführung (nur Längsparklücken) zeigen - bei entsprechender ergonomischer Gestaltung - ein hohes Potenzial zur Erleichterung von Parkmanövern. Jedoch konnten auch Systeme mit automatischer Querführung mit generischer Rundumsicht (Längs- und Querparklücken rückwärts) ihr Unterstützungspotenzial nachweisen.

Es zeigte sich aber auch, dass die Art des Fahrzeugs einen wichtigen Faktor bei der System-Bewertung darstellt. Bei kleinen, übersichtlichen Fahrzeugen scheinen auch „einfachere“ Systeme auszureichen, um die Manöver erfolgreich auszuführen.

Eine umfassende Bewertung der Qualität von Parkassistenten muss verschiedene Aspekte berücksichtigen:

- Die Art des Parkmanövers:
 - Einparken (längs/quer) bei „normalen“ Parklücken,
 - Einparken/Rangieren auf sehr engem Raum,
 - Ausparken bei unübersichtlichem Umfeld.
- Usability: Nur wenn die Usability hinreichend ist, werden die Systeme auch genutzt und können einen positiven Einfluss auf die Schadenhäufigkeit nehmen.
- Qualität, d.h. maximal erforderliche Lückengröße für das Parkmanöver und Kollisionsfreiheit auch bei schwierigen Objekten.
- Die Zeit zur Ausführung des Manövers von der Aktivierung bis zur Beendigung: Wenn die Dauer des Manövers mit System die des manuellen Einparkens deutlich überschreitet, wird das System ebenfalls nicht genutzt und hat somit keinen Einfluss auf die Schadenhäufigkeit.

Einparkhilfen – Sinn und Zweck:

Zur Erhöhung der aktiven Sicherheit und des Komforts dienen Fahrerassistenzsysteme, die den Fahrer bei der Fahraufgabe unterstützen bzw. ihm einen Teil der Fahraufgabe abnehmen.

Ein Beispiel für derartige Systeme sind Einparkhilfen. Dabei handelt es sich um Systeme, die sowohl die Sicherheit als auch den Komfort beim Ein- und Ausparken erhöhen können. Einparkhilfen können den Fahrer unterstützen, indem sie seine Wahrnehmung erweitern oder Teile des Parkvorgangs übernehmen. Dabei reicht das Angebot an Parkhilfen von rein informierenden Systemen (Parkpiepser, Kamera) bis hin zu vollautomatischen Einparkhilfen, die sowohl die Quer- als auch die Längsführung übernehmen können.

Es ist zu beobachten, dass der Trend zu Fahrzeugen geht, die immer höher, breiter und länger werden, etwa zu SUVs und Vans - Fahrzeugklassen, die durch eine hochgelegte Karosserie, hohe Gürtellinie und schmale Heckfenster charakterisiert sind.

Eine Studie der ALLIANZ fand heraus, dass Großfahrzeuge dieser Art zu 30 Prozent häufiger in Park- und Rangierunfälle verwickelt sind als Klein- und Kompaktwagen und das, obwohl Großfahrzeuge vom Typus Van und SUV besonders häufig mit Warnsystemen ausgestattet sind (WEISSENBERG, 2015).

Man könnte annehmen, dass Einparkhilfen dafür geeignet seien, die mangelnde Übersichtlichkeit eines Fahrzeuges auszugleichen. Jedoch scheint die Ausrüstung eines Fahrzeugs mit solchen Systemen nicht immer auszureichen, um Unfälle während des Ein- und Ausparkens zu verhindern. Wie lässt sich dies erklären? Oft ist die Auslegung eines Systems so beschaffen, dass seine Nutzung sich mehr oder weniger problematisch gestaltet.

Barrieren bei der Nutzung von Parkassistenzen könnten hierbei durch folgende Faktoren bedingt sein:

- Zu spätes / zu frühes Einsetzen der akustischen bzw. optischen Warnungen,
- Anzeigen zu wenig intuitiv,
- umständliche Bedienung des Systems,
- mangelnde Genauigkeit der Sensoren, d.h. potentielle Parklücken werden nicht als solche erkannt bzw. Systeme funktionieren nur in größeren Lücken,
- eingeschränkter Erfassungsbereich der Sensoren, an bestimmten Stellen des Fahrzeuges werden Hindernisse unter Umständen nicht erkannt,
- eingeschränkte Funktionalität vollautomatischer Assistenzsysteme, wobei nicht alle Einparksituationen vom System beherrscht werden.

Weist eine Einparkhilfe einen oder gar mehrere dieser Mängel auf, so kann davon ausgegangen werden, dass der Fahrer das System abschaltet. Ob und inwieweit aktive Systeme bei den erfassten Parkunfällen eine Rolle spielen, wurde bisher noch nicht untersucht und ist auch schwierig zu erfassen. So ist schwer zu sagen, ob die Unfälle dadurch entstehen, dass Systeme nicht genutzt werden oder ob diese aufgrund ihrer Gestaltung nur mäßig sicherheitsfördernd sind.

Ein Vergleich verschiedener Systeme untereinander gestaltet sich schwierig, da Parkhilfen häufig in einem bestimmten Fahrzeug verbaut sind und aufgrund der Unterschiede der Fahrzeuge untereinander nur begrenzt Rückschlüsse auf die Güte eines Systems gezogen werden können.

So wurde in der Vorläuferstudie festgestellt, dass Fahrzeuge, die sich bezüglich der Übersichtlichkeit unterscheiden auch unterschiedliche Anforderungen an Parkassistenten haben bzw. haben können. Konkret bedeutet dies, ein sehr übersichtliches Fahrzeug benötigt (wahrscheinlich) nur einen einfachen Parkassistenten, während das gleiche System bei einem unübersichtlichen Fahrzeug weitgehend wirkungslos sein kann.

Entwicklung einer Methode:

Entwickelt werden soll eine Methode, mit der Fahrzeuge unterschiedlicher Kategorien (Größe, Übersichtlichkeit) und Parkassistenten gemeinsam bewertet werden können.

Hierzu ist eine Methode erforderlich, mit der sich sichtrelevante Parameter bei Parkvorgängen aus Fahrerperspektive einfach und objektiv nachvollziehbar darstellen lassen.

Um zu verstehen, wie Einparkhilfen sicherer und effizienter gestaltet und an Menschen und Fahrzeuge angepasst werden können, ist es sinnvoll, zunächst deren Eigenschaften näher zu betrachten. Dabei wird die Fahrerperspektive anhand von Standardgrößen (wie Standardreaktionszeiten, anatomische Eigenschaften, etc.) abgebildet, welche für anatomische und kognitive Eigenschaften des Menschen gelten. Dieses Vorgehen soll dabei helfen, einen Einblick in die Fahrerperspektive aus dem Fahrzeug heraus zu gewinnen. Den Unterschieden zwischen den Fahrzeugen soll durch eine übergreifende Beurteilung der Fahrzeuge Rechnung getragen werden. Dazu wurde im Rahmen dieser Studie eine Übersichtlichkeits-Bewertungsmethode entworfen.

Zunächst folgt ein kurzer Überblick über existierende Methoden der Sichtbewertung von Fahrzeugen, ihre Vor- und Nachteile, woraus Anforderungen an eine Methode abgeleitet werden, die sich zur Darstellung des Sichtbereiches bei Parkvorgängen eignet.

2. Fahrersicht und Sichtbewertung

Ehe die existierenden Methoden zur Sichtbewertung von Pkw vorgestellt werden, soll zunächst kurz auf das Thema „Sicht im Fahrzeug“ eingegangen werden. Die Sicht nimmt während des Fahrens eine übergeordnete Rolle ein und ist für die Orientierung und das sichere Lenken des Fahrzeugs essentiell. So liegt der Anteil aller für die Fahraufgabe relevanten Informationen, die der Fahrer über das Auge wahrnimmt, bei 90% (ROCKWELL, 1972). Grundsätzlich wird zwischen direkter und indirekter Sicht unterschieden, wobei die direkte Sicht die Sicht des Fahrers ohne Verwendung von Hilfsmitteln aus dem Fahrzeug heraus beschreibt. Als indirekte Sicht wird die Fahrersicht bezeichnet, welche unter Verwendung von Hilfsmitteln gewonnen wird. Beispiele hierfür sind die Verwendung von Innen- und Rückspiegeln, sowie Anzeigesysteme, die Bereiche um das Auto herum abbilden (WOYNA, 2014).

2.1. Gesetzliche Regelwerke zum Sichtfeld des Fahrers

Neben Methoden zur Sichtbeurteilung existieren Richtlinien, die weltweit die Mindestanforderungen an die Sichtverhältnisse in Fahrzeugen festlegen. Damit Fahrzeuge im öffentlichen Verkehr zugelassen und international vermarktet werden können, müssen sie diesen Rahmenbedingungen entsprechen. Eine Zusammenstellung wesentlicher Gesetze und Normen befindet sich in (WOYNA, 2014, S. 15).

2.2. Verfahren zur Sichtbewertung

Zur Optimierung und Bewertung der Sichtverhältnisse im Pkw sind derzeit einige Methoden bekannt. Sie werden in physikalische Methoden (auch als Realverfahren bezeichnet) und virtuelle Methoden klassifiziert (HUDELMAIER, 2003; WOYNA, 2014). Realverfahren sind durch eine direkte Datenerfassung im bzw. am realen Fahrzeug charakterisiert. Als virtuelle Methoden verstehen sich hingegen Verfahren, bei denen die Ermittlung der Sichtverhältnisse nicht am Fahrzeug selbst erfolgt, sondern in einer CAD-Umgebung.

2.2.1. Realverfahren

Beurteilungsmethode:

In der Kategorie der Realverfahren wird allgemein zwischen objektiven und subjektiven Verfahren unterschieden. Eine subjektive Messmethode ist die sogenannte Beurteilungsmethode, bei der die Außensicht eines Fahrzeugs von mehreren Personen beurteilt wird. Hierfür platzieren sich die Teilnehmer im Fahrzeug und bewerten mithilfe eines Fragenkatalogs verschiedene Aspekte der Sicht (HUDELMAIER, 2003). Die Methode kann sowohl im stehenden als auch im fahrenden Fahrzeug durchgeführt werden. Beim stehenden Fahrzeug kommen u. a. auch Sichtziele zum Einsatz, die im nahen Umfeld des Fahrzeugs positioniert werden können. Je nach Entwicklungsstand eines Fahrzeugs kann die Methode auch in sogenannten Physical Mock Ups (PMUs) durchgeführt werden. Dies sind prototypische Nachbildungen des Innenraums und der Karosserie eines Fahrzeugs, welche die Sichtverhältnisse realitätsgetreu wiedergeben (WOYNA, 2014).

Problematisch ist bei dieser Methode, dass hier in einem unbekannten Ausmaß auch persönliche Vorlieben der Teilnehmer mit einfließen, die nicht von objektiven Problemen bei der Sicht abgegrenzt werden können. Auch die Reproduzierbarkeit der Methode ist umstritten.

2D-Schnitte:

Eine andere Methode der Sichtbeurteilung ist die Laser-Theodoliten-Methode. Dabei wird auf dem angenommenen Augpunkt des imaginären Fahrers ein Laser-Theodolit platziert, welcher sich um

die eigene Achse dreht und dabei die Autoscheiben der Front-, Heck- und Seitenbereiche umfährt. Dabei werden Raumkoordinaten ermittelt und an einen Rechner weitergegeben.

Nach Umfahrung der Scheibenflächen werden vom Computer die Verdeckungswinkel der einzelnen Bauteile ermittelt und Projektionen der Verdeckung auf 12 Meter Entfernung errechnet (HUELMAIER, 2003). Das Ergebnis ist ein 360° Rundumblick, von dem zur übergreifenden Beurteilung der Rundsicht meist ein Gesamtverdeckungswinkel aufsummiert wird.

Diese Methode zielt auf die generelle Rundumsicht und erscheint für eine Bewertung der Fahrersicht beim Parken nur bedingt geeignet. Sie beschränkt sich auf eine Schnittebene und betrachtet Objekte in 12 m Entfernung. Sie gibt keine Informationen bezüglich der Fahrersicht nach unten, die durch die Motorhaube, das Heck bzw. durch die seitliche Karosserie behindert sein kann.

Schattenwurfmethode:

Eine weitere, oft angewandte Methode zur Sichtbeurteilung ist das Schattenwurfverfahren. Hierbei wird das Fahrzeug in einen dunklen Raum gestellt und im Fahrerbereich auf Höhe des angenommenen Fahreraugpunktes eine Lampe platziert. Erfasst wird hierbei der Schattenriss, der von der Lampe aus dem Fahrzeug heraus auf den Boden und an die Wände projiziert wird. Beurteilungskriterien sind die Verhältnisse von verdeckten bzw. unverdeckten Flächen, welche anhand eines an der Messfläche angebrachten Gitters abgebildet und erfasst werden.

Vorteile dieses Verfahrens sind seine Objektivität und die Möglichkeit, der dreidimensionalen Fahrersicht Rechnung zu tragen. Ein Nachteil dieser Methode liegt in der aufwändigen Durchführung. Zudem muss man sich darüber im Klaren sein, dass die Platzierung einer Lichtquelle nicht genau dem entspricht, was der Mensch sieht, wenn er sich umdreht, um den Heckbereich des Fahrzeugs einzusehen.

Photometrisches Verfahren:

Beim photometrischen Verfahren wird anstelle einer Lichtquelle eine Kamera am angenommenen Augpunkt des Fahrers platziert. Dieses Verfahren wird vom ADAC verwendet, um die Rundumsicht des Fahrers abzubilden. Die Kamera, die um ihre Z-Achse rotiert, liefert eine Panoramaaufnahme der Umgebung. Auch hier wird (ähnlich wie bei der Schattenwurfmethode) ein Verdeckungsverhältnis ermittelt, indem Pixelverhältnisse zwischen verdeckten und unverdeckten Flächen erzeugt werden. Der ADAC verwendet zur Gesamtbewertung der Sichtverhältnisse Gewichtungsfaktoren, die nicht näher bekannt sind (WOYNA, 2014). Insgesamt ist jedoch zu bemerken, dass das Potential dieser Methode davon abhängt, wie einzelne Bereiche voneinander abgegrenzt und gewichtet werden. Die Festlegung einer Gewichtung erfordert in diesem Zusammenhang eine fundierte Wissensbasis, die sich an der Prävalenz und den Hintergründen repräsentativer Verkehrsunfälle orientiert. Weiterhin ist der Referenzrahmen, in dem Fahrzeuge miteinander verglichen werden, abhängig von den Eigenschaften der in Betracht gezogenen Fahrzeuge, da derzeit noch kein absoluter Bewertungsrahmen vorliegt.

2.2.2. Virtuelle Methoden

2D-Schnitte:

Hier handelt es sich um die virtuelle Umsetzung der Laser-Theodoliten-Methode. Sie wird an virtuellen Mock-ups durchgeführt, wobei die Durchführung meist einer Einschätzung der Sichtverhältnisse für neu entwickelte Fahrzeuge dient. Für die Beurteilung der Übersichtlichkeit eines Fahrzeuges beim Einparken ist der 2-D-Schnitt nur bedingt geeignet, da Verdeckungen der Sicht nach unten durch Motorhaube, Heck bzw. Fensterhöhe nicht berücksichtigt werden.

3D-Menschenmodelle:

Eine weitere Möglichkeit, die Übersichtlichkeit von Fahrzeugen virtuell abzubilden, sind die sogenannten 3D-Menschenmodelle. Ein Beispiel dafür ist das Tool „RAMSIS“, das in der Automobil-

industrie häufig zur Anwendung kommt. In RAMSIS können verschiedene Körpergrößen bzw. Körperproportionen umgesetzt und deren Einfluss auf die Übersichtlichkeit erhoben werden. Hier kann ein Menschenmodell (Manikin) in einem beliebigen Fahrzeug platziert und aus dessen Perspektive der Blick aus dem Fahrzeug heraus nachvollzogen werden (HUDELMAIER, 2003). Fahrzeug und Menschenmodell sind dabei in einem virtuellen Messraum implementiert, wobei auch Sichtziele angebracht werden.

RAMSIS bietet die Möglichkeit, die Sicht aus dem Fahrzeug heraus nachzuvollziehen und bildet auch Verdeckungen durch die Karosserie bzw. die Inneneinrichtung des Fahrzeuges ab. RAMSIS stellt sicher eine gute Methode dar, um beispielsweise Objekte und ihre Verdeckungen durch die Fahrzeuggeometrie darzustellen. Allerdings ist das Verfahren aufwändig und wird nicht von allen Herstellern verwendet, da es hohe Lizenzgebühren kostet.

3. Methode zur Bewertung der Übersichtlichkeit beim Einparken

3.1. Anforderungen an die Methode

In Kapitel 2 konnte bereits eine Vielzahl an Methoden gezeigt werden, welche die Fahrersicht aus dem Fahrzeug heraus darstellen und bewerten. Da die Umsetzung derartiger Verfahren häufig einen hohen Aufwand erfordert und die virtuellen Verfahren für externe Nutzer nicht zugänglich sind, ist die Entwicklung einer neuartigen, speziell für Parkvorgänge ausgelegten Methode notwendig.

So stellt sich zunächst die Frage, welche Anforderungen eine Methode erfüllen muss, um sich für eine übergreifende Sichtbeurteilung von Fahrzeugen bei Parkvorgängen zu eignen. Dabei wurden mehrere Faktoren berücksichtigt, die im Folgenden kurz beschrieben werden.

Geringer Aufwand bei der Umsetzung:

Die Methode soll mit einfachen Mitteln die Übersichtlichkeit verschiedener Fahrzeuge bei Parkvorgängen beschreiben und bewerten. Der Versuchsaufbau soll möglichst einfach gehalten werden, jedoch soll dies nicht mit Einschränkungen in Güte und Repräsentativität der Ergebnisse verbunden sein. Änderungen im Aufbau sollen einfach und schnell durchführbar sein.

Hohes Maß an Realitätstreue:

Bei Anwendung einer virtuellen Methode sollen die gewählten Parameter im höchstmöglichen Ausmaß die Realität wiedergeben.

Spezifische Eignung zur Sichtbewertung bei Parkvorgängen:

Die Methode soll speziell auf Parkvorgänge und die Spezifität von Ein- und Ausparksituationen ausgelegt sein. Dazu werden zunächst Parameter der Übersichtlichkeit beim Einparken näher betrachtet und in die Auslegung der Methode mit einbezogen. Eine eventuell vorzunehmende Gewichtung einzelner Sichtbereiche soll sich an Schadensfällen orientieren.

Replizierbarkeit:

Die Methode soll so einfach durchführbar sein, dass die hierdurch gewonnenen Ergebnisse replizierbar und auf neu auf den Markt kommende Fahrzeuge anwendbar ist.

Geringer Kosten- und Personalaufwand:

Kosten- und Personalaufwand bei der Durchführung der Methode sollen möglichst gering sein.

3.2. Beschreibung der Methode

Umsetzung mit Blender:

Die Methode ist inhaltlich an die Schattenwurfmethode angelehnt und setzt diese virtuell anhand von 3D-Modellen der entsprechenden Fahrzeuge um. Um Schattenwürfe virtuell zu generieren und angemessen abzubilden, wurde die Software BLENDER genutzt. Blender ist ein freies Open-Source Grafikprogramm, das der GNU General Public License (GPL) unterstellt ist und die Modellierung dreidimensionaler Objekte ermöglicht (BLENDERCOMMUNITY, 2012). Mithilfe der Software können Lichtquellen diverser Art präzise an einem 3D-Objekt platziert werden. Der physikalische Renderer (Cycles Render) berechnet Schattenwürfe, sodass diese realitätsgetreu abgebildet werden können. Die Raytracing-Funktion in Blender stützt sich dabei auf die sogenannte Octree-Methode, die erlaubt, Schnittpunkte zwischen Oberflächen und Strahlen voneinander abzugrenzen (BLENDERCOMMUNITY, 2012).

Die Schattenwurfbilder wurden im Rahmen der vorliegenden Studie mithilfe der Version 2.77a erzeugt. Wie im klassischen Schattenwurfverfahren wurde in Blender virtuell eine Lichtquelle auf dem angenommenen Augpunkt eines imaginären Fahrers positioniert. Die Sicht von oben auf das Fahrzeug und dessen Schattenwurf wurde mithilfe der Rendering-Funktion generiert. Das Ergebnis ist ein virtuelles Foto von oben auf das Fahrzeug und dessen Schatten, welcher sich aus der in Augenhöhe platzierten Lichtquelle ergibt.

Augpunkt des Fahrers:

Die Festlegung des Augpunkts hat weitreichende Auswirkungen auf die Ergebnisse. Die Entscheidung für den Augpunkt geht von verschiedenen Gesichtspunkten aus. Gemäß Straßenverkehrszeichnungsordnung (StVZO §35b) befindet er sich in einer in Sitzmitte lokalisierten Vertikalebene 13 cm vor der Vorderkante der Rückenlehne und 70 cm über dem unbelasteten Fahrersitz in Mittelstellung (BUBB, BENGLER, GRÜNEN und VOLLRATH, 2015).

Ein ähnlicher Referenzpunkt wird auch durch das Konzept der Augenellipse durch die SAE J941 beschrieben. Allerdings wird dieser 63,5 cm über dem sogenannten Seating Reference Point (SgRP) angenommen - dem Sitzbezugspunkt, an dem sich die Konstruktion des Fahrerbereiches orientiert und an dem die Hüfte des Fahrers vermutet wird. Um auch großen Menschen die Platzierung in Fahrzeugen zu ermöglichen, orientiert sich die Konstruktion von Sitzen dabei an den anatomischen Maßen des 95-Perzentil Mannes. Um den Seating Reference Point eines Fahrzeuges zu ermitteln, sollte demnach der nach hinten gefahrene Fahrersitz des entsprechenden Fahrzeuges eine Orientierung bieten.

Ein Blick auf die Perzentile aktueller Körpermaße zeigt, dass die durch die SAE J941 angegebene Augenhöhe von 63,5 cm nicht mehr den aktuellen Maßen eines kleinen Perzentilmenschen entspricht (siehe Tabelle 01) und bei einem nach hinten gefahrenen Sitz (der an die Maße eines 95-Perzentil-Mannes angelehnt ist) als repräsentativer Augpunkt unrealistisch ist.

Die in Tabelle 01 aufgeführten Augenhöhen würden nahelegen, den Augpunkt auf 85,5 cm zu legen, da dann nur wenige Personen eine schlechtere Sicht nach außen hätten. Jedoch sind diese Werte an aufrecht sitzenden Personen erhoben. Die Sitzposition im Fahrzeug ist jedoch nach hinten geneigt, so dass der Augpunkt tiefer liegt.

Aufgrund dieser Überlegungen wurde der Augpunkt auf 77,5 cm, gemessen über dem unbelasteten Fahrersitz, festgelegt. Er kommt sowohl bei der virtuellen Methode als auch bei den Experimenten (Kapitel 4) zur Anwendung. Die Einstellung des Fahrersitzes in Mittelstellung, die in der StVZO 35b festgelegt ist, wird unverändert übernommen.

Tabelle 01:

Augenhöhen im Sitzen nach Geschlecht und Perzentil (LANGE & WINDEL, 2011).

Geschlecht	männlich			weiblich		
Perzentil	05%	50%	95%	05%	50%	95%
Augenhöhe im Sitzen (in cm)	74,0	79,5	85,5	70,5	75,5	80,5

Fahrzeuge:

Die Fahrersicht bei Parkvorgängen soll mithilfe einer Lampe, die im Fahrzeugmodell auf Augenhöhe positioniert ist, abgebildet werden. Gemessen werden verschiedene Sichtbereiche, die in 3.4. genauer beschrieben sind.

Neben der Beschreibung und Validierung der Methode zielt die vorliegende Arbeit unter anderem darauf ab, einen Bewertungsrahmen zu liefern, der erlaubt, die Übersichtlichkeit von Fahrzeugen zu klassifizieren und Fahrzeuge diesbezüglich voneinander abzugrenzen.

Aus diesem Grund soll die Methode an Fahrzeugen mit unterschiedlichem Ausmaß an Übersichtlichkeit umgesetzt werden, sodass nach Durchführung der Methode Aussagen in Form eines Ranking bezüglich der Übersichtlichkeit eines Fahrzeuges beim Parken getroffen werden können. Bei der Auswahl der Fahrzeuge wurde daher Wert darauf gelegt, ein breites Spektrum zwischen „sehr

übersichtlich“ bis „völlig unübersichtlich“ abzudecken. Die Definition bezüglich der Übersichtlichkeit wurde anhand von Expertenschätzungen vorgenommen. Sie dient zunächst nur als Basis für Simulation und Versuch.

Die Wahl fiel dabei auf die in Tabelle 02 dargestellten Fahrzeuge:

Die Fahrzeugmodelle wurden von den Online Plattformen für 3D-Modelle

- „Turbosquid“ (<https://www.turbosquid.com/>) und
- „Flatpyramid“ (<http://www.flatpyramid.com/>) bezogen.

Nach Aussage des Kundenservice kann eine hohe Übereinstimmung zwischen Modell und Original gewährleistet werden.

Tabelle 02:
Fahrzeuge, für die Modelle in Blender erstellt wurden.

Klasse	Produktion seit	Länge (cm)	Breite (cm)	Höhe (cm)
Kleinstwagen	2014	269,5	166,3	155,5
Kleinstwagen	2014	346,6	161,5	146,0
Kleinwagen	1999	382,1	167,3	151,3
Fahrzeug der Kompaktklasse	2012	425,5	179,0	145,2
Fahrzeug der Oberklasse	2009	513,5	194,9	146,0
SUV	2010	413,5	176,5	156,5
SUV	2013	488,6	193,8	176,2

Hindernis:

Die Methode mit Blender ermöglicht, neben der Simulation von Schattenwürfen, auch das indirekte Miteinbeziehen von Hindernissen beliebiger Höhe. Diese können in Form von Flächen umgesetzt werden, was den Vorteil hat, dass sich der Schatten des Fahrzeugs auf der gesamten Fläche abbildet und an jeder beliebigen Stelle die Verdeckung durch die Karosserie des Fahrzeugs problemlos eingesehen werden kann.

Mithilfe des Schattenwurfs ist es so möglich, an beliebigen Stellen des Fahrzeugs zu ermitteln, wie weit ein Hindernis einer bestimmten Höhe vom Auto entfernt sein muss, um von einem Fahrer einer bestimmten Körpergröße (die gemäß Definition einer Augenhöhe von 77,5 cm entspricht) gesehen zu werden.

Die Fläche wurde mit einer Höhe von 70 cm umgesetzt. Diese ist unterhalb der Höhe von niedrigen Parkpollern (ca. 80 cm) angesetzt und orientiert sich an der Höhe eines einjährigen Kleinkindes, das auf einem Rutschauto sitzt.

Die Gesamthöhe dieser Konstellation wurde anhand der Sitzhöhe (ca. 20 cm) eines Standard-Rutschautos und der Rumpflänge eines einjährigen 95%-Kleinkindes bei durchschnittlicher Körpergröße abgeleitet. Bei der Berechnung der Sitzhöhe auf einem Rutschauto wurden die Körpermaße von Kleinkindern in Anlehnung an die Erhebungen von STOLZENBERG, KAHL & BERGMANN (2007) übernommen und die relative Sitzhöhe mithilfe der prozentualen Rumpflänge von Kindern verschiedener Altersstufen nach BROCK (2013) berechnet. So beträgt die Körpergröße in cm bei einjährigen 95%-Jungen 82,9 cm und bei 95%-Mädchen gleichen Alters 81,5 cm. BROCK (2013) beschreibt für einjährige Jungen hier eine prozentuale Scheitel-Rumpflänge von 64%. Für Mädchen gleichen Alters werden hier 62% angegeben. Diese Prozentwerte werden auf die Körpermaße aus der Erhebung von STOLZENBERG, KAHL & BERGMANN (2007) angewendet und so die relative Sitzhöhe einjähriger 95%-Kinder berechnet:

- Junge, (1 J.): mittlere Körpergröße = 82,9 cm; relative Sitzhöhe (im Mittel) 64% → $(82,9/100) \cdot 64 = 53,06$ cm.
- Mädchen (1 J.): mittlere Körpergröße = 81,5 cm; relative Sitzhöhe (im Mittel) 62% → $(81,5/100) \cdot 62 = 50,53$ cm.

Addiert man die Rumpflängen der Kleinkinder mit der Sitzhöhe (20 cm) eines Rutschautos, so erhält man für Mädchen eine Höhe von 70,53 cm und für Jungen eine Höhe von 73,06 cm.

3.3. Durchführung

3.3.1. Monokulare Sicht

Zur Optimierung des Schattenwurfs werden bei den 3D-Modellen zunächst alle Fensterscheiben entfernt. Weiterhin werden die Einzelteile, aus denen das Modell zusammengesetzt ist, miteinander verbunden. Anschließend wird das Fahrzeug so auf dem Blender-Koordinatensystem angeordnet, dass der vorderste Teil der Motorhaube am Nullpunkt der y-Achse und der unterste Punkt der Reifen auf dem Nullpunkt der z-Achse liegt (siehe Abbildungen 01 und 02). Diese Anordnung des Fahrzeuges am Koordinatensystem ist erforderlich, um den angenommenen Augpunkt des Fahrers präzise in das Modell übertragen zu können und dort die Lichtquelle zu platzieren.



Abbildung 01:
Anordnung des Fahrzeugs an der y-Achse und z-Achse im Koordinatensystem von Blender (orthographische Perspektive v. seitlich links).

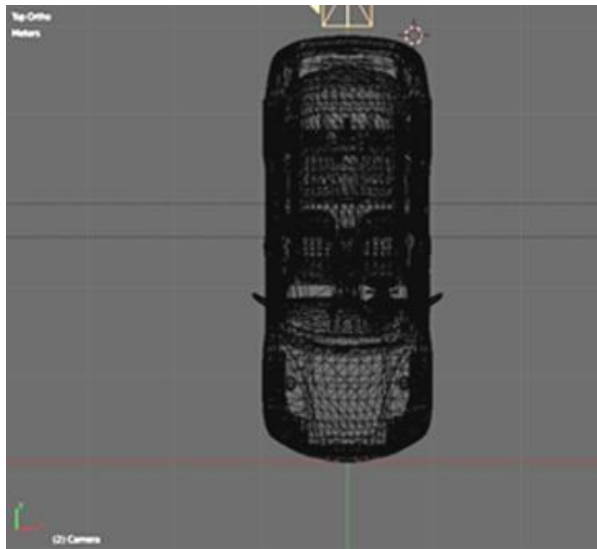


Abbildung 02:
Anordnung des Fahrzeugs mittig auf der y-Achse (orthographische Perspektive v. oben).

Zur Positionierung der Lichtquelle am Augpunkt wurden die technischen Zeichnungen der Herstellerwebseiten zu Hilfe genommen.

Der Augpunkt wurde zunächst in Übereinstimmung mit der Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO §35b) bezüglich der Sitzposition in der technischen Zeichnung des Herstellers umgesetzt. Dazu wurde bei einer Sitzlage in Mittelstellung des Fahrersitzes eine Höhe von 77,5 cm gewählt. Die so ermittelte Position des Augpunktes wurde anschließend in das Koordinatensystem von Blender übertragen (Abbildung 03).

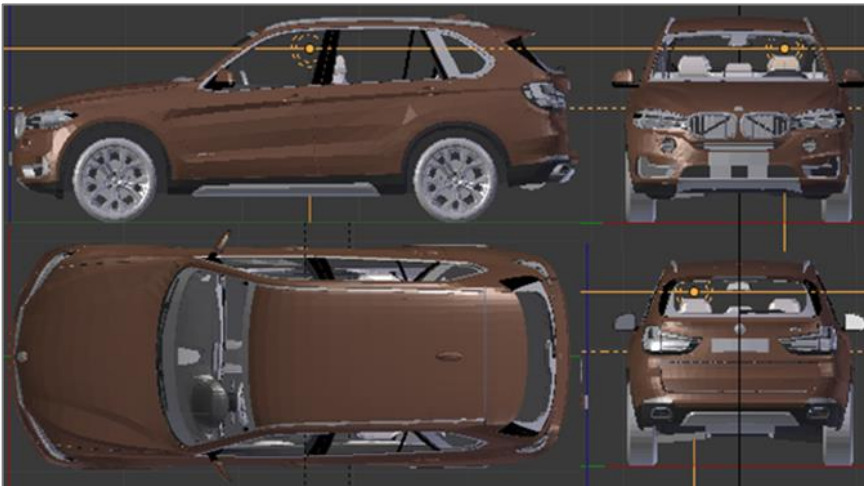


Abbildung 03:
Position der Lichtquelle in Blender.

konstant gestellt (siehe Abbildung 04). Um eine virtuelle Fotografie des Schattenwurfs zu erhalten, wurde über dem Fahrzeug eine Kamera platziert, die je nach Beschaffenheit des Fahrzeugs weiter vorne bzw. weiter hinten anzubringen ist. Wichtig ist dabei, dass der Schatten komplett auf der virtuellen Fotografie zu sehen ist.

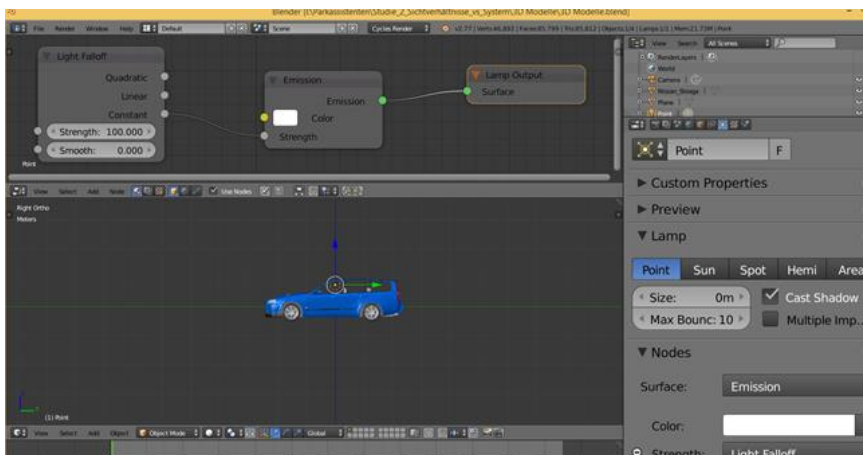


Abbildung 04:
Einstellung des Lichteinfalls über die Node-View in Blender.



Abbildung 05:
Ergebnis der virtuellen Schattenwurfmethode mit Blender am Beispiel eines Fahrzeugs, hier für monokulare Sicht.

Um das in 3.2. beschriebene Hindernis (z.B. Kind auf Rückschauto) darzustellen, wurde eine Fläche in Höhe von 70 cm um das Fahrzeug herum aufgezogen.

Als Lichtquelle diente ein Punktlicht, dessen Größe auf 1 mm reduziert wurde, so dass ein möglichst klarer Schatten erzeugt werden konnte. Um einen höheren Kontrast zwischen Licht und Schatten zu erhalten, wurde über die Node-View in Blender der Lichtfall (Falloff) auf

Das Bild kann dabei beliebig oft gerendert werden, bis das erwünschte Ergebnis erreicht ist. Vor dem Rendern muss sichergestellt werden, dass die Rendering-Einstellungen der obersten Menüleiste auf Cycles Render stehen, da diese Funktion die physikalische Berechnung des Lichtfalls übernimmt.

Ein repräsentatives Ergebnis für das beschriebene Vorgehen ist in Abbildung 05 dargestellt. Es handelt sich dabei um ein fotografisches Gesamtbild über die Rund-sicht des Fahrers bezogen auf eine Objekthöhe von Hindernissen mit 70 cm. Der Schatten um das Fahrzeug herum liefert dabei die durch die Karosserie und die Säulen verdeckten Bereiche, wie sie der Fahrer wahrnehmen würde.

Dies gilt für monokulare Sicht.

3.3.2. Binokulare Sicht

Die Berechnung für monokulare Sicht ist technisch einfacher zu realisieren. Es soll aber noch geprüft werden, ob sich mit binokularer Sicht (beidäugiges Sehen) ein wesentlicher Unterschied ergibt, der die Anwendung des Verfahrens rechtfertigen würde.

Binokulare Sicht ist vor allem für die Fahrzeugsäulen relevant, da diese durch den Augenabstand (=Interpupillardistanz) deutlich schmaler wahrgenommen werden, als bei monokularer (durch eine Glühbirne) Betrachtung.

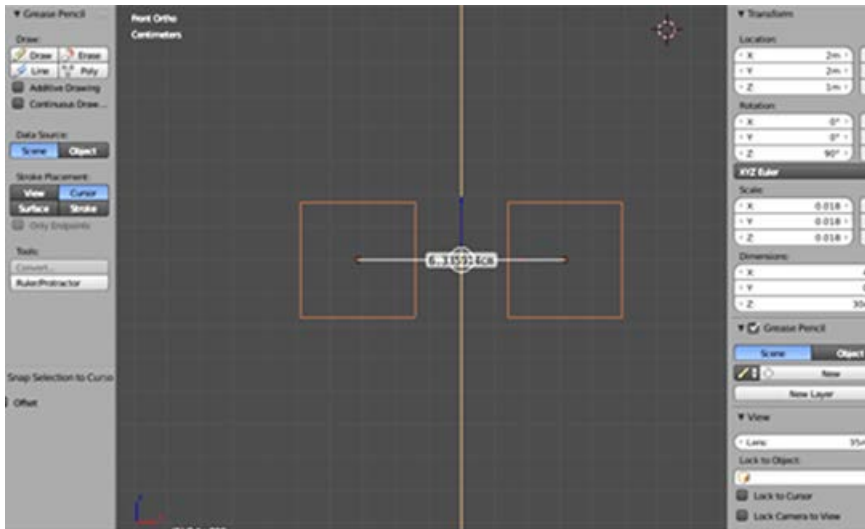


Abbildung 06:
Einstellung für die binokulare Sicht mit konstantem Augenabstand und der Möglichkeit, den Blick auf verschiedene Punkte zu wenden.

Für die Durchführung der Messung mit binokularer Sicht wurde ein Tool erstellt, das erlaubt, den binokularen Blick auf die einzelnen Fahrzeugsäulen nachzuempfinden. Entscheidend ist vor allem die Platzierung der Glühbirnen, da diese die menschlichen Pupillen darstellen. Das erstellte Tool hält den Augenabstand konstant und kann beliebig auf die einzelnen Fahrzeugsäulen gerichtet werden, je nachdem, wohin sich der Blick wendet (siehe Abb. 06).

Das Blickrichtungs-Platzierungstool besteht aus

- einer langgezogenen Fläche und
- 2 Quadraten, deren Mittelpunkt die Pupillenposition darstellen.

Die Objekte wurden in Blender verbunden, so dass deren Position zueinander immer gleich bleibt (um den konstanten Augenabstand darzustellen). Der Abstand von 6,336 cm entspricht der von DODGSON (2004) ermittelten menschlichen Interpupillardistanz (Durchschnittswert).

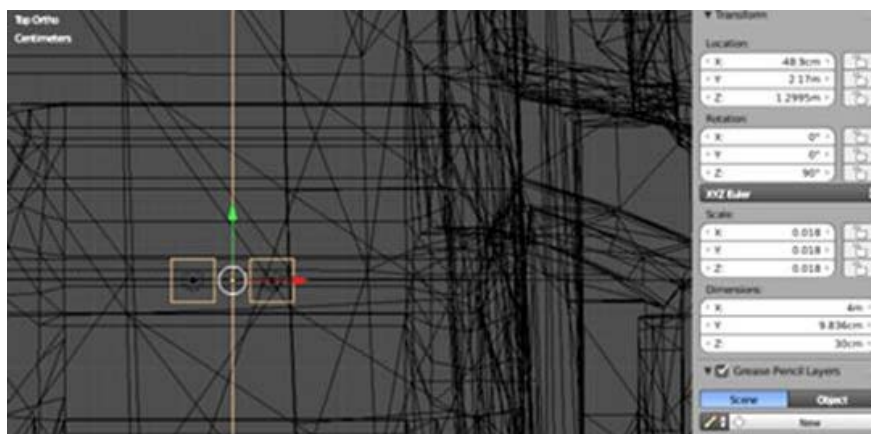


Abbildung 07:
Mittelpunkt des Blickrichtungstools.

Der Mittelpunkt des Blickrichtungstools wird auf dem für das Fahrzeug festgelegten Augpunkt platziert, siehe Abbildung 07. Das Platzierungstool (mit Quadraten) wird um die eigene Z-Achse so rotiert, dass die Quadrate auf die entsprechende Fahrzeugsäule gerichtet sind (in Abbildung 08 ist das Tool auf die A-Säule der Beifahrerseite eines Fahrzeugs gerichtet). Dabei wird die Fläche so

platziert, dass sie die Fahrzeugsäule am unteren Ende (= Blick nach unten) mittig schneidet – dies entspricht dem direkten Fixieren der Säule durch beide Augen. In Abbildung 08 ist die Positionierung des Blickrichtungstools im Verhältnis zur gesamten Säulenbreite gezeigt.

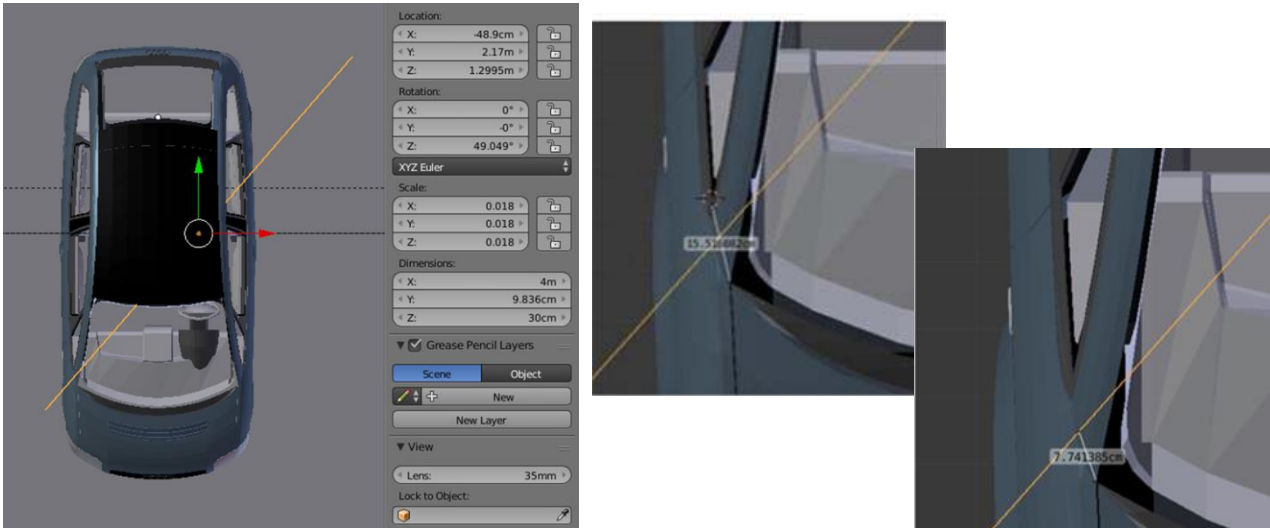


Abbildung 08:
Einstellung für die binokulare Sicht mit konstantem Augenabstand und der Möglichkeit, den Blick auf verschiedene Punkte zu wenden.

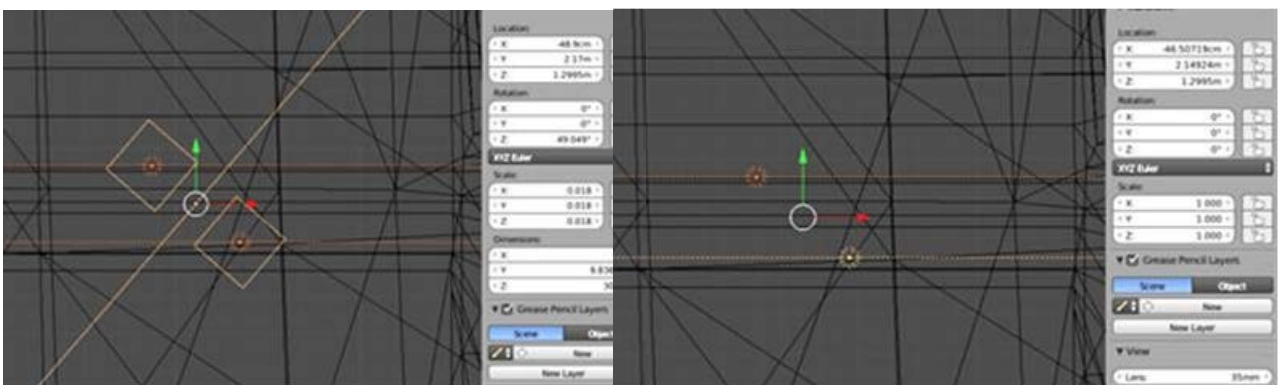


Abbildung 09:
Lichtquellen (links) mit Tool, und nach Entfernung des Tools.

Nachdem das Tool die entsprechende Ausrichtung hat, werden, wie Abbildung 09 links zeigt, in das Zentrum jedes der beiden Quadrate Lichtquellen gezogen, die die Pupillen darstellen.

Anschließend wird das Tool entfernt (siehe Abbildung 09 rechts), sodass nur noch die beiden Lichtquellen in der entsprechenden Ausrichtung vorhanden sind. Nun kann das Bild gerendert werden (bzw. das virtuelle Fotografieren des Schattenwurfs von oben erfolgen). Der Platzierungsvorgang muss für jede Säule einzeln erfolgen, da sich der Schattenwurf, je nachdem, aus welchem Sichtwinkel auf die Säule geblickt wird, ändert.

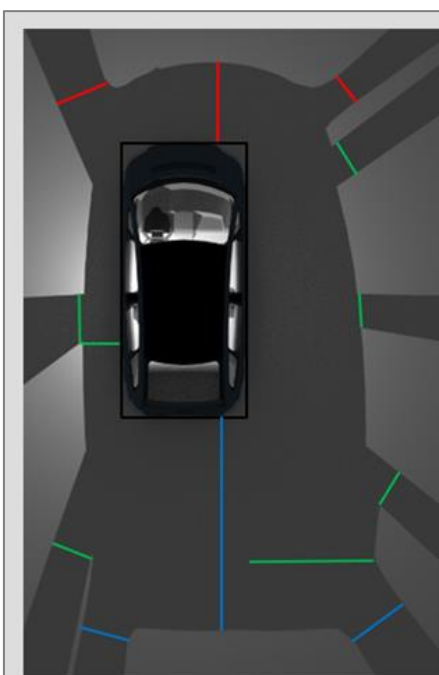


Abbildung 10:
Zusammensetzung aus 10 gerenderten Bildern: Was wird von der Säule tatsächlich wahrgenommen?

Die Ergebnisse der binokularen Sicht auf die einzelnen Säulen sind in Abbildung 10 in einem Bild zusammengefasst. Hier zeigen die Schattenwürfe anhand der überlagerten Bereiche, welche Auswirkungen die monokulare (grau) und binokulare (schwarz) Sicht haben. Obwohl die binokulare Sicht zu geringeren Schattenwürfen – speziell bei dünnen Säulen – führt, wird aufgrund pragmatischer Überlegungen zur Durchführung des Verfahrens die monokulare Betrachtung gewählt. Allerdings werden Säulenbreiten $< 6,5$ cm nicht berücksichtigt, da sie in etwa dem Augenabstand entsprechen und bei binokularer Betrachtung irrelevant sind.

3.4. Einteilung der Sichtbereiche und Gewichtung

3.4.1. Einteilung der Sichtbereiche



Frontsicht:

- Länge der vorderen Blindzone (ab Motorhaube) + Breite der A-Säulen für Säulen $> 6,5$ cm

Seitensicht:

- Fahrerseite: Blindzone (ab fahrerseitiger Karosserie) + gemittelte Breite der Säulen für Säulen $> 6,5$ cm
- Beifahrerseite: Blindzone (ab beifahrerseitiger Karosserie) + gemittelte Breite der Säulen $> 6,5$ cm

Hecksicht:

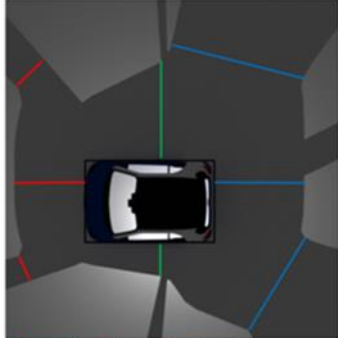
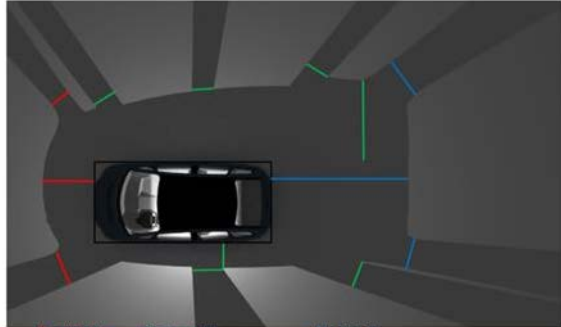
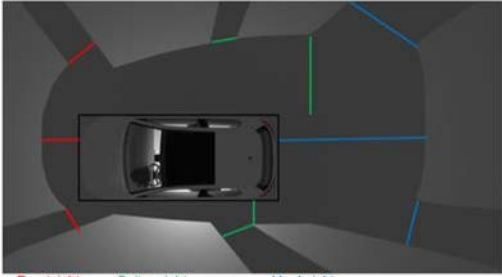
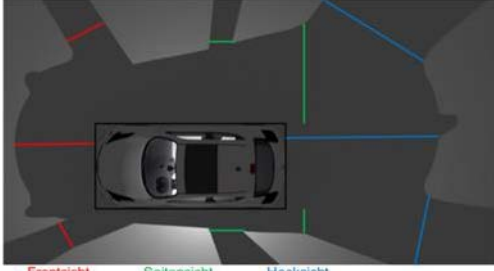
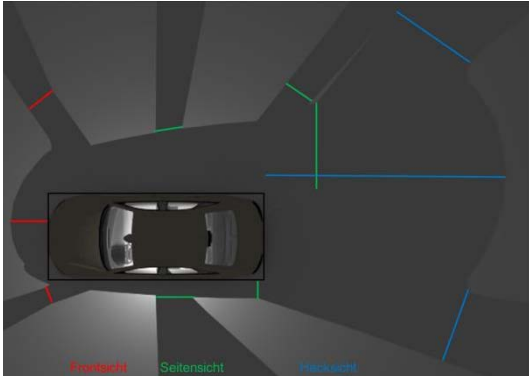
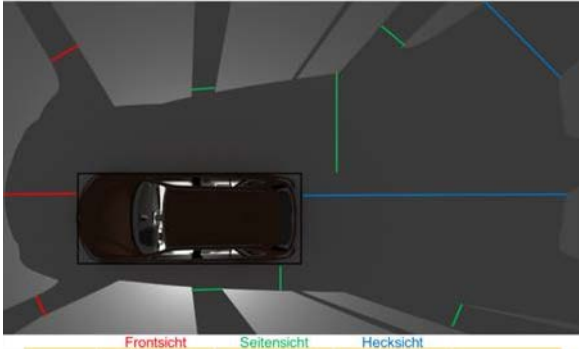
- Länge hintere Blindzone (ab Heck) + Breite der Hecksäulen

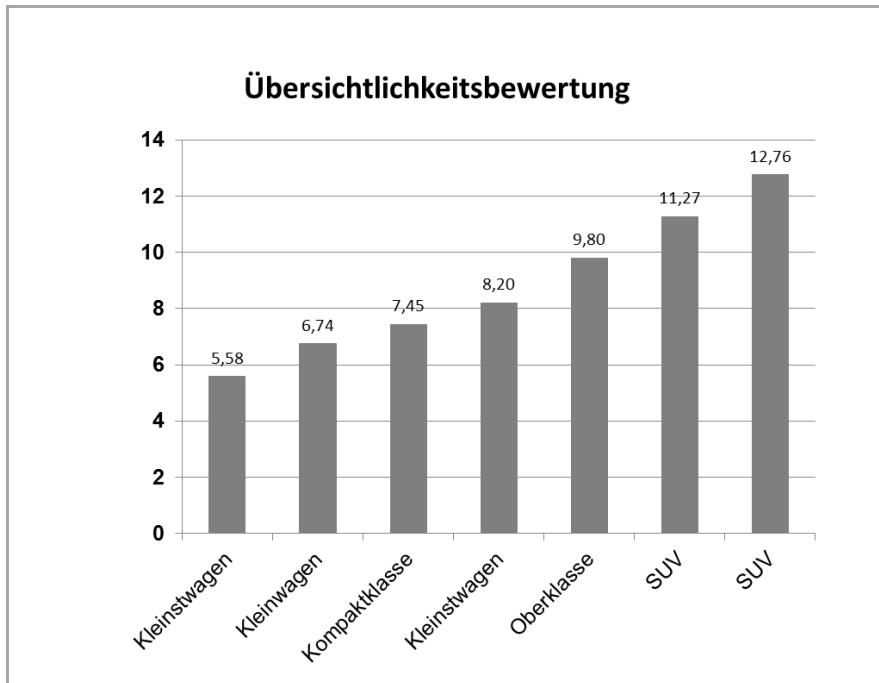
Abbildung 11:
Einteilung der Sichtbereiche.

In Anlehnung an die Fahrtrichtungen sind die Sichtbereiche eingeteilt in Frontsicht, Seiten- und Hecksicht. Die Sicht des Fahrers geradeaus und nach unten wird dabei maßgeblich durch die Länge der Motorhaube, die Länge des Hecks, die seitlichen Wölbungen der Karosserie, sowie die Breite der Säulen des Fahrzeuges bestimmt. Die Frontsicht wird erhoben durch die Länge des vorderen Karosserieschattens (siehe Abbildung 11), inklusive der beiden A-Säulen. Die Seitensicht reicht vom hinteren Ende der A-Säule bis zu der am Heck angrenzenden Säule. Sie umfasst also

in der Regel den seitlichen Karosserieschatten sowie die Breite der Säulen, welche sich zwischen den A-Säulen und den am Heck angrenzenden Säulen befinden. Die Hecksicht setzt sich zusammen aus der Länge der hinteren Blindzone, die ab der hintersten Kante des Hecks bis zum Ende des Heckschattens gemessen wird. Weiterhin fließen hier auch die Breiten der an der Heckscheibe angrenzenden Säulen (je nach Fahrzeugtyp B, C oder D) ein.

Abbildung 12 zeigt die Maße für 6 verschiedene Fahrzeuge für die Frontsicht (rot), die Seitensicht (grün) und die Hecksicht (blau):

Kleinstwagen, Länge 269,5, Breite 166,3, Höhe 155,5 cm  Frontsicht Seitensicht Hecksicht	Kleinwagen, Länge 382,6, Breite 167,3, Höhe 155,3 cm  Frontsicht Seitensicht Hecksicht
Fahrzeug der Kompaktklasse, Länge 425,5, Breite 179,0, Höhe 145,2 cm  Frontsicht Seitensicht Hecksicht	SUV, Länge 413,5, Breite 176,5, Höhe 156,5 cm  Frontsicht Seitensicht Hecksicht
Fahrzeug der Oberklasse, Länge 513,5, Breite 194,9, Höhe 146,0 cm  Frontsicht Seitensicht Hecksicht	SUV, Länge 488,6, Breite 193,8, Höhe 176,2 cm  Frontsicht Seitensicht Hecksicht
Abbildung 12: Maße für 6 Fahrzeugbeispiele: Frontsicht (rot markiert), Seitensicht (grün), Hecksicht (blau).	



Werden die Blindzones wie in Abb. 11 gemessen, so ergeben sich die in Abbildung 13 dargestellten Ergebnisse für einige ausgewählte Fahrzeuge. Die Übersichtlichkeitsbewertung ist dimensionslos.

Abbildung 13:
Ergebnisse der Bewertungsmethode am Beispiel einiger Fahrzeuge (dimensionslos).

3.4.2. Gewichtung der Sichtbereiche

Eine wichtige Anforderung an eine Methode zur Übersichtlichkeitsbewertung ist deren spezifische Eignung zur Beurteilung von Parkvorgängen. Aus diesem Grund ist eine Gewichtung der Sichtbereiche in Anlehnung an repräsentative Versicherungsschäden zu überlegen.

Die Untersuchungen basieren auf insgesamt 564 Unfällen mit Sachschäden aus den Jahren 2004 bis 2006, sowie 2012 (HUMMEL & LINDENAU, 2016). Die Daten waren dabei in Unfälle gruppiert, welche durch die Kfz-Haftpflichtversicherung (KH) des Verursachers getragen wurden und Unfälle, die durch die Vollkasko-Versicherung (VK) getragen wurden. Die untersuchten Park- und Rangierunfälle sind nach Art des Unfallgegners und bezüglich der Fahrtrichtung (vorwärts versus rückwärts) in den Tabellen 03 und 04 aufgelistet.

Tabelle 03: Kfz-Haftpflicht Schäden (n=133), nach HUMMEL & LINDENAU, 2016.

Art des Unfallgegners	Anteil (in %)	Vorwärts (in %)	Rückwärts (in %)
Anderer PKW	92,5	(19%)	(81%)
Anderes Fahrzeug	3,8	(33%)	(67%)
Objekt	3,8	(50%)	(50%)

Tabelle 04: Vollkasko-Versicherungsschäden (n=103), nach HUMMEL & LINDENAU, 2016.

Art des Unfallgegners	Anteil (in %)	Vorwärts (in %)	Rückwärts (in %)
Anderer PKW	28,2	(29%)	(71%)
Kleines Objekt	7,8	(50%)	(50%)
Mittleres Objekt	30,0	(38%)	(62%)
Großes Objekt	34,0	(50%)	(50%)

Wie aus Tabelle 03 entnommen werden kann, entsprechen rund 20% der Haftpflicht-Schäden Unfällen, die dem Vorwärtsfahren zugeordnet werden, die restlichen 80% beziehen sich auf Rückwärtsmanöver.

Bei den Vollkasko-Schäden ereignen sich rund 40% aller Unfälle bei Vorwärts- und 60% bei Rückwärtsmanövern. Bei den Beschädigungen sind je nach Versicherungszweig (Vollkasko bzw. Haftpflicht) unterschiedliche Bereiche betroffen. Beispielsweise Vollkasko rechts: 41 %, Haftpflicht rechts: 13%.

Unter Berücksichtigung der Fahrmanöver weisen Rangieren und Ausparken die häufigsten Schäden auf, wobei auch hier Rückwärtsfahren vor dem Vorwärtseinparken liegt. So ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt eine Gewichtung der Sichtbereiche methodisch schwierig. Die größere Bedeutung der Sicht nach hinten und vorne wird bereits in dem Algorithmus zur Einteilung der Sichtbereiche (siehe oben) berücksichtigt. So gehen die Säulen, die an die Front- bzw. Heckscheibe angrenzen, voll in die Berechnung ein, während bei den seitlichen Säulen nur der Mittelwert über alle Säulen berücksichtigt wird.

Die große Bedeutung der Heckunfälle wird zudem in den Empfehlungen zur Auslegung von Parkassistenten (siehe Kap. 7.2.) aufgegriffen.

3.5. Folgerungen und Ausblick

Im Hinblick auf die Anforderungen an eine Methode zur Bewertung der Sichtverhältnisse beim Parken kann festgestellt werden, dass das vorgestellte Verfahren einige Vorteile bietet. So ist die Vergleichbarkeit verschiedener Fahrzeuge untereinander dadurch gewährleistet, dass Parameter, wie Lichter oder Hindernisse in den 3D-Modellen exakt positioniert werden können, was im Hinblick auf das Realverfahren mit deutlich weniger Aufwand verbunden ist. Auch benötigt man keinen dunklen Raum und keinen aufwändigen Messaufbau. Die Bewertung kann entweder mit käuflich erwerbbaaren 3D-Modellen oder anhand von Daten der Hersteller erfolgen.

Durch einen experimentellen Vergleich von Fahrzeugen mit verschiedenen Werten im virtuellen und realen Schattenwurf, der über die Anbringung von Sichtverdeckungen erzeugt wird, ist in der Folge der Zusammenhang zwischen Übersichtlichkeit und Parkverhalten nachzuweisen.

4. Der Einfluss der Übersichtlichkeit – Ein- und Ausparkversuch

4.1. Fragestellung und Vorgehensweise

In der ersten Studie (FÄRBER, FÄRBER, JOHNSEN & RIFFERT, 2015) wurden unterschiedliche Parkassistenten in jeweils nur einem Fahrzeug untersucht. Bewertet wurde also das Gesamtsystem „Parkassistent + Fahrzeug“. Somit stellt sich die Frage, ob mit dem gleichen Parkassistenten in anderen Fahrzeugen ein ähnlich gutes / schlechtes Ergebnis erzielt wird.

Im Folgeprojekt sollen daher die Fahrzeuge bzw. die Übersichtlichkeit eines Fahrzeuges variiert werden unter Beibehaltung der gut bewerteten Parkassistenten, um eine stabilere Aussage zur Wirksamkeit der Parkassistenten zu bekommen. Die Variation der Fahrzeuge soll durch eine schrittweise und messbare Verschlechterung der Übersichtlichkeit erfolgen.

Es soll daher für sechs verschiedene Ein- bzw. Ausparkmanöver untersucht werden, bei welcher Übersichtlichkeit des Fahrzeugs der Parkassistent (in verschiedenen Ausprägungen) an seine Grenzen stößt und die Unterstützung des Fahrers nicht mehr ausreichend ist.

Durch den Versuch sollen folgende Fragen beantwortet werden:

Generelle Fragestellung:

- Wie viel Assistenz ist bei welcher Übersichtlichkeit erforderlich, um vergleichbare Leistungen zu erbringen?
- Welche Leistung erbringen vollautomatische (am Beispiel von Fahrzeug 3) im Vergleich zu teilautomatischen (am Beispiel von Fahrzeug 1 +2) Systemen, sowie im Vergleich zu Assistenzsystemen und zum rein manuellen Einparken (erforderliche Parklücken, Dauer des Manövers und Bedienbarkeit der Systeme)?

Dies lässt Rückschlüsse auf die Häufigkeit der Nutzung zu, wenn man die Größe der normalen Parklücken und die vom Nutzer akzeptierte Zeit für ein Manöver kennt.

Spezifische Fragen:

Die im Folgenden verwendeten Abkürzungen werden in Kapitel 4.2.3. erläutert.

- Wie wirkt sich Assistenz im Vergleich zum rein manuellen Einparken ohne Assistenz aus? (Vergleich Bedingung N-0, normale Sicht ohne Assistenz, mit Bedingung N-A, normale Sicht mit Assistenz).
- Wie hängt dies von der Übersichtlichkeit des Fahrzeugs ab (Unterschied N-0 zu N-A bei Fahrzeug 1 im Vergleich zu N-0 und N-A bei Fahrzeug 3).
- Welchen Effekt hat die generische Rundumsicht? (Vergleich der Ergebnisse von N-A, normale Sicht mit Assistenz, mit den Sichteinschränkungen S-1, S-2, S-3, bei Fahrzeug 1).
- Welchen Effekt hat eine zusätzliche Rückfahrkamera? Vergleich der Ergebnisse von Fahrzeug 1 zu Fahrzeug 2.
- Welchen Effekt hat eine Top View Kamerasicht bei gleicher Übersichtlichkeit der Fahrzeuge?
- Ab welcher Stufe der Unübersichtlichkeit ist nur noch automatisches Einparken möglich (Verschlechterung der Sicht bei Fahrzeug 3)?
- Welchen Einfluss haben Fahrzeuggeometrie und Handling bei gleicher Übersichtlichkeit der Fahrzeuge (Vergleich Fahrzeug 1 + 2 mit Sichtverschlechterung auf Fahrzeug 3 mit dem „realen“ Fahrzeug 3)?

4.2. Konzeption und Realisierung des Feldversuchs

4.2.1. Überblick und Vorgehensweise

In Fahrversuchen mit 60 Probanden werden die Rundumsicht von Fahrzeugen sowie die Art der Unterstützung variiert. Es kommen nur Fahrzeuge mit Systemen zum Einsatz, deren Usability vorab durch Experten als „hinreichend“ eingeschätzt wurde, d.h. die Usability wird konstant gehalten. Verglichen werden 3 Systeme:

- Akustikanzeige vorne / hinten, mit generischer Rundumsicht,
- Parklenkassistent mit zusätzlichem Kamerabild,
- Vollautomatisches Einparksystem mit zusätzlichem Kamerabild.

Die Systeme sind in zwei verschiedenen Fahrzeugen verbaut, die sich u.a. auch durch ihre Übersichtlichkeit unterscheiden. Eines der Fahrzeuge (Kompaktklasse) kann mit zwei unterschiedlichen Systemen gefahren werden. Damit kann der Parameter „Art des Fahrzeugs“ konstant gehalten werden. Durch die eingesetzten Messverfahren ist der Grad der Übersichtlichkeit / Unübersichtlichkeit quantifizierbar.

Bei den Fahrzeugen wird die Übersichtlichkeit zudem in einer bzw. drei Stufen degradiert, um so die Systemgrenzen bei reduzierter Übersichtlichkeit zu testen.

Mit jedem Fahrzeug wird außerdem eine Baseline-Messung (N-0) durchgeführt, um zu erheben, was Fahrer ohne System können (z.B. welche Parklücken sie wählen und welche Manöver sie ohne Unterstützung noch beherrschen) und wie sich die Leistung mit System verändert.

Als Parkmanöver dienen die Manöver aus Studie 1. Die Manöver werden immer mit einer exakt definierten Unterstützung, die für dieses spezielle Manöver in dem Fahrzeug verfügbar ist, gefahren. Beispielsweise kann das System mit automatischer Längs- und Querführung nur rückwärts einparken (längs und quer), jedoch nicht vorwärts. Ebenso können die Systeme beim Ausparken allenfalls unterstützen, aber das Manöver nicht automatisch ausführen.

Fahrzeug / System		Sichtbedingungen		
Manöver	Baseline	maximal verfügbare Assistenz		
		normale Sicht	Sicht eingeschränkt Stufe 1	Sicht eingeschränkt Stufe 2
einparken längs rückwärts	ohne Assistenz			
einparken quer rückwärts				
einparken quer vorwärts				
ausparken quer rückwärts				
rangieren an Engstelle				

Abbildung 14:
Überblick über den Versuchsplan.

Die genaue Versuchsplanung (Einparkhilfen bzw. zur Verfügung stehende Assistenz, Sichtbedingungen, Auslegung von Sichtwinkeln und Verdeckung, Szenarien, Abfolgen) ist in den folgenden Kapiteln dargestellt.

Abbildung 14 zeigt einen Überblick über den Versuchsplan. Dargestellt sind hier die Fahrzeuge mit der jeweiligen Ausstattung an Einparkhilfen, die Ein- und Ausparkmanöver, die gefahren werden, sowie die Versuchsbedingungen „Baseline“, d.h. Einparken mit normaler Sicht, ohne Assistenz, gefolgt von den verschiedenen Bedingungen mit Assistenz, zunächst bei normaler Sicht, dann mit eingeschränkter Sicht, siehe Kapitel 4.2.3.

Als objektive Maße werden erhoben:

- Zeitbedarf für ein Manöver,
- Anzahl der dafür erforderlichen Züge,
- Anzahl der Kollisionen,
- Abstand nach vorne / hinten bzw. zur Seite.

Weiterhin werden subjektive Maße erfasst: Zur Erhebung der subjektiven Daten bezüglich Annehmlichkeit und anderer Eigenschaften des Einparkassistenten wird mit einem Semantischen

Differential gearbeitet. Außerdem erfolgt eine Einschätzung der Schwierigkeit eines Manövers (Rangreihen).

4.2.2. Versuchsträger und ihre Einparkhilfen

Als Versuchsfahrzeug 1 und 2 dient ein Fahrzeug der Kompaktklasse mit einer Länge von 425,5 cm, einer Breite von 179 cm und einer Höhe von 145,2 cm, siehe Abbildung 15 links. Das Fahrzeug ist als relativ übersichtlich einzustufen.

Das Versuchsfahrzeug 3, ein SUV, ist 488,6 cm lang, 193,6 cm breit und 176,2 cm hoch, siehe Abbildung 15, Mitte. Es dient auch als „Maßstab“ für die Sichtverschlechterung bei Fahrzeug 1 und 2. Das Fahrzeug ist als recht unübersichtlich einzustufen.

Das Vergleichsfahrzeug zur Herstellung der Sichtverschlechterung bei Fahrzeug 3, ebenfalls ein SUV, misst 437 cm in der Länge, 190 cm in der Breite und 163,5 cm in der Höhe, siehe Abbildung 15, rechts. Das Fahrzeug ist noch unübersichtlicher als Fahrzeug 3.



Fahrzeug 1 und 2 (Kompaktklasse), Versuchsfahrzeug hier ohne Sichtverschlechterung



Fahrzeug 3 (SUV), Versuchsfahrzeug und „Maßstab“ zur Sichtverschlechterung von Fahrzeug 1 und 2



Vergleichsfahrzeug als „Maßstab“ zur Sichtverschlechterung von Fahrzeug 3 (SUV)

Abbildung 15: Darstellung der Versuchsfahrzeuge und des Vergleichsfahrzeugs.

Fahrzeug 1 verfügt über das Einparksystem „ParkPilot“ (siehe Abb. 16), das den Fahrer beim Rangieren und Einparken unterstützt. Der „ParkPilot“ ist mit Ultraschallsensoren in den Stoßfängern vorne und hinten ausgerüstet. Ein akustisches Warnsystem zeigt die Position des Hindernisses an: Tiefer Ton = Hindernis vorne, hoher Ton = Hindernis hinten, je näher das Hindernis ist, desto schneller piepst der Ton. Ist das Hindernis ganz nah, so erfolgt ein Dauerton.



Abbildung 16: Optische Anzeige von Fahrzeug 1 (ParkPilot).

Die optische Anzeige von Fahrzeug 1 zeigt grafisch, wie nahe das Hindernis ist: Je näher das Hindernis, desto näher werden die Linien am Fahrzeug angezeigt. Dabei zeigt die Linienfarbe, wie nah das Hindernis ist: rot= Hindernis ganz nah – Kollision! Gelb = Hindernis im Fahrweg, grau = Hindernis nicht im Fahrweg.

Das System schaltet sich automatisch ein, sobald der Rückwärtsgang eingelegt wird, oder wenn das Fahrzeug mit einer Geschwindigkeit unter 10-15 km/h an ein Hindernis heranhfährt. „ParkPilot“ kann jedoch

auch per Tastendruck aktiviert / deaktiviert werden. Die Taste befindet sich im unteren Teil der Mittelkonsole.

Fahrzeug 2 verfügt über eine Rückfahrkamera, das System heißt „Rear Assist“ und zeigt den Bereich hinter dem Fahrzeug. Die Kamera ist in der Heckklappe des Fahrzeugs untergebracht. Das in Abbildung 17 dargestellte System wird automatisch aktiviert, sobald der Rückwärtsgang eingelegt wird (Zündung ein / laufender Motor). Ausgeschaltet wird es, wenn der Rückwärtsgang

heraus genommen wird, dann verschwindet die Anzeige nach 8 Sekunden, oder wenn schneller als 10 km/h gefahren wird.

Eingeparkt wird wie folgt: Fahrzeug vor einer Parklücke positionieren und Rückwärtsgang einlegen; Langsam rückwärtsfahren und dabei so lenken, dass die grünen Orientierungslinien in die Parklücke führen; Fahrzeug in der Parklücke so ausrichten, dass die grünen Orientierungslinien parallel zur Parklücke verlaufen.



Abbildung 17:
Optische Anzeige von Fahrzeug 2, (Rear Assist), Rückfahrkamera.
Rote Linie = 40 cm Sicherheitsabstand; Grüne Linie = Verlängerung des Fahrzeugs nach hinten.

Die rote Linie bedeutet einen Sicherheitsabstand von 40 cm (hinter dem Fahrzeug, auf der Fahrbahn); die grüne Linie = Verlängerung des Fahrzeugs nach hinten (Zwischenstrich: ca. 1 Meter hinter dem Fahrzeug auf der Fahrbahn).

Automatisches Einparken mit Fahrzeug 1 + 2:

Bei Fahrzeug 1 + 2 wird ein Längs-Einpark-Manöver semi-automatisch ausgeführt, bei dem das System „Park Assist“ verwendet wird. Es ist ein Park-Lenk-Assistent, der den Fahrer unterstützt beim Finden geeigneter Parklücken, Einparken in Längs- und Querparklücken und beim Ausparken aus Längsparklücken. Das System übernimmt für die Zeit während

des Ein- und Ausparkens das Lenken, sodass der Fahrer nur noch Gas geben und bremsen muss. Beim „Ausmessen“ der Parklücke darf nicht schneller als 40 km/h gefahren werden, beim Einparken höchstens 7 km/h.

Das Manöver beginnt, wenn der Fahrer die „Park-Assist-Taste“ drückt. Anschließend setzt er den Blinker, damit das Fahrzeug weiß, ob er auf der rechten oder der linken Fahrbahnseite Einparken möchte. Hat das System eine „geeignete“ Parklücke erkannt, so wird dies im Display angezeigt. Nun muss der Fahrer das Fahrzeug anhalten, nach kurzer Zeit (Stillstand) den Rückwärtsgang einlegen (R) und den Anweisungen des Systems folgen. Der Fahrer darf während des Manövers nicht in das Lenkrad greifen, ehe ihn das System dazu auffordert. Der Fahrer muss nun vorsichtig Gas geben (max. 7 km/h), bis ein Dauerton-Signal ertönt. Nun hat er auf die nächste Anweisung zu warten. Eventuell muss er vorwärts fahren, bis der Dauerton ertönt. Das Manöver ist beendet, wenn die Anzeige „Park Assist beendet“ erscheint, oder der Fortschritts-Balken voll ist, oder das Zeichen erlischt.

Sieht der Fahrer seine eigene Sicherheit oder die des Fahrzeugs während des Manövers gefährdet, so muss er den Parkvorgang abbrechen (Drücken der Systemaktivierungstaste).

Fahrzeug 3 verfügt über die sog. „Park Distance Control“, eine Rückfahrkamera, und ein System namens „Top View“.

Wird der Rückwärtsgang eingelegt, schalten sich „Park Distance Control“ und Rückwärtskamera ein. Das System kann auch durch Tastendruck aktiviert werden, z.B. zum Vorwärtsfahren. Die Taste befindet sich im unteren Teil der Mittelkonsole. Ist das System an, so leuchtet eine grüne LED.

Die Park Distance Control verfügt über Ultraschallsensoren in den Stoßfängern vorne und hinten. Sie warnt akustisch, wobei ein hoher Ton ein Hindernis vorne, ein tiefer Ton ein Hindernis hinten bedeutet. Je näher das Hindernis ist, desto schneller piepst der Ton, ist das Hindernis ganz nah, so ertönt ein Dauerton.

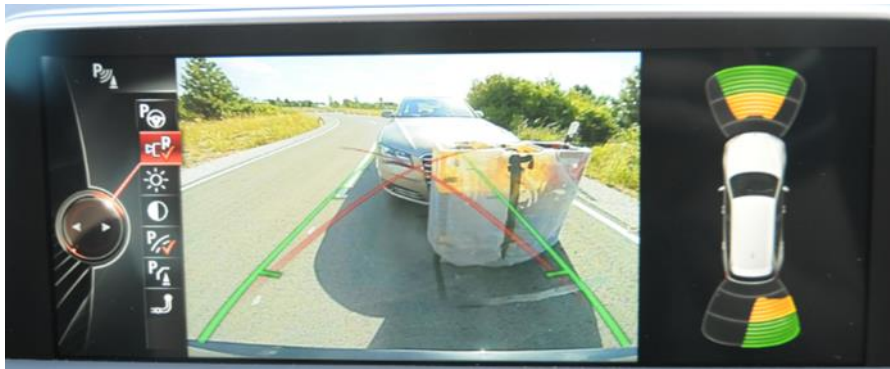


Abbildung 18:

Rückfahrkamera und „Park Distance Control“ bei Fahrzeug 3. Links: Taste zum ein- und ausschalten. Rechts Bild der Rückfahrkamera, daneben Anzeige der Park Distance Control.

Weiterhin verfügt die Park Distance Control über eine optische Anzeige, wie in Abbildung 18 (rechts) dargestellt. Je näher das Hindernis, desto näher werden die Linien am Fahrzeug angezeigt. Die Linienfarbe zeigt, wie nah das

Hindernis ist: Rot = das Hindernis ist ganz nah – Kollision! Gelb = das Hindernis steht im Fahrweg; Grün = das Hindernis befindet sich nicht im Fahrweg.

Die Rückwärtskamera zeigt grüne Linien für die Fahrspur: Hier wird der benötigte Platzbedarf beim Einparken und Rangieren angegeben. Das Fahrzeug muss so positioniert werden, dass die Fahrspur-Linien (grün) zur Begrenzung der Parklücke führen. Die rote Linie soll ans Ende der Parklücke führen.



Abbildung 19:

Anzeige für die „Top View“ (Mitte).

Das zweite System, über das **Fahrzeug 3** verfügt, ist die sog. „Top View“, die in Abbildung 19 dargestellt ist. Zur Erfassung dienen Kameras, deren Reichweite maximal 2 m beträgt. Der Fahrer legt den Rückwärtsgang ein (oder drückt eine manuelle Taste links neben der Schaltung) und wählt mit Hilfe des Dreh-Drück-Stellers die Top View. Die „Top View“ erweckt den Eindruck, das Fahrzeug von oben zu sehen.

Automatisches Einparken mit Fahrzeug 3:

Der Parkassistent von Fahrzeug 3 unterstützt den Fahrer beim seitlichen Einparken parallel zur Fahrbahn. Dabei übernimmt er den Vorwärts- bzw. Rückwärtsgang, die Lenkung, das Beschleunigen und das Bremsen. Am Ende des Manövers legt das System die Fahrstufe „P“ ein.

Der Fahrer muss vor dem Parkvorgang zum Erfassen der geeigneten Parklücke zunächst vorwärts daran vorbei fahren, mit einer Geschwindigkeit von max. 35 km/h, (max. Abstand zur Reihe parkender Fahrzeuge: 1,5 m). Dann wird er aufgefordert, anzuhalten, den Blinker auf der Seite zu setzen, auf der er Einparken möchte und die Park Distance Control (PDC) Taste während des Parkens gedrückt halten (sie befindet sich links von der Gangschaltung). Weiterhin muss der Fahrer das Fahrzeugumfeld beobachten, wobei ihn die automatisch aktivierte Rückfahrkamera unterstützt. Der Parkassistent bricht automatisch ab, wenn das Lenkrad festgehalten, die Taste losgelassen, die Park-Bremse gezogen, gebremst oder Gas gegeben wird, wenn Türen geöffnet, ein Hindernis, z.B. Randstein erfasst wird, der Abstand bei Park Distance Control zu klein ist, ...

4.2.3. Sichtverschlechterung und Assistenz bei den einzelnen Versuchsbedingungen

Der in Kapitel 4.2.1. dargestellte Überblick über den Versuchsplan erlaubt eine erste Orientierung über die doch recht komplexe Vorgehensweise.

Im Prinzip soll zunächst ein übersichtliches Fahrzeug (Fahrzeug 1 bzw. 2) mit und ohne Assistenzsystem erprobt werden.

Fahrzeug 1 und 2 unterscheiden sich in den Assistenzsystemen: Wie in Kapitel 4.2.2. beschrieben verfügt Fahrzeug 1 über das generische System „ParkPilot“, das baugleiche Fahrzeug 2 über eine Rückfahrkamera, das System heißt „Rear Assist“. Das Fahrzeug wurde konstant gehalten, um die Assistenzsysteme vergleichen zu können.

Bei beiden Fahrzeugen wird nun schrittweise die Übersichtlichkeit auf Fahrzeug 3 eingeschränkt. Dies erfolgt in drei Schritten (S-1, S-2, S-3), wie in Tabelle 05 beschrieben. Alle Bedingungen mit Sichteinschränkung werden mit Assistenz (A) gefahren. Die Sichteinschränkung erfolgt über Schablonen, die mit Hilfe von Saugnäpfen am Fahrzeug, jeweils an der Unterkante der Scheibe, angebracht werden.

Abbildung 20 zeigt die Ermittlung der Schablonengröße (Sichtverschlechterung, hier von Fahrzeug 3 auf Vergleichsfahrzeug), Abbildung 21 die Schablonen auf Fahrzeug 1 und 2 in der jeweiligen Bedingung.

Tabelle 05: Sichtbedingungen und Assistenz bei Fahrzeug 1 und 2.

Sichtbedingung / Assistenz	Anbringung einer Sichteinschränkung		
	vorne	hinten	seitlich
N-0: normale Sichtbedingung, ohne Assistenz (Baseline)	-	-	-
N-A: normale Sichtbedingung, mit Assistenz	-	-	-
S1-A: Sichteinschränkung Stufe 1, mit Assistenz	Streifen horizontal	Streifen horizontal	-
S2-A: Sichteinschränkung Stufe 2, mit Assistenz	Streifen horizontal	Streifen U-förmig	-
S3-A: Sichteinschränkung Stufe 3, mit Assistenz	Streifen horizontal	Streifen U-förmig	Streifen vertikal
autom: teilautomatisches Einparken, mit Assistenz	-	-	-



Abbildung 20:

Gezeigt wird hier das Vorgehen, wie mit Hilfe eines 70 cm hohen Hindernisses (Tonne), das in einem Mess-Rechteck aufgestellt und verschoben wird, mit verschiedenen Abdeckungen (Bild rechts) geprüft wird, ob der Fahrer das Hindernis noch sieht oder nicht. Hier am Beispiel von Fahrzeug 3, bei dem die Sicht auf das noch unübersichtlichere Vergleichsfahrzeug (SUV) reduziert wird. Bei Fahrzeug 1 + 2 ist die Vorgehenseise gleich, hier wird die Sicht auf Fahrzeug 3 verschlechtert.



Abbildung 21:
Fahrzeug 1 + 2, Sichteinschränkungen Stufe 1 (S-1) vorne und hinten, Stufe 2 (S-2) vorne und hinten, Stufe 3 (S-3) vorne, hinten und seitlich.

Fahrzeug 3, das an die Sichtbedingungen an ein noch unübersichtliches Fahrzeug (SUV) angepasst wird, erhält in der Bedingung S-R und S-T die gleichen Schablonen. Die Versuchsbedingungen unterscheiden sich in der Art der Einparkassistenten: S-R bedeutet, das Manöver wird mit Rückfahrkamera gefahren, bei S-T hilft die Top View.

Tabelle 06 gibt einen Überblick über die Sichtbedingungen und die Assistenz, Abbildung 22 zeigt die Sichteinschränkungen in den Versuchsbedingungen S-R und S-T.

Tabelle 06: Sichtbedingungen und Assistenz bei Fahrzeug 3.

Sichtbedingung / Assistenz	Anbringung einer Sichteinschränkung		
	vorne	hinten	seitlich
N-0: normale Sichtbedingung, ohne Assistenz (Baseline)	-	-	-
N-A: normale Sichtbedingung, mit Assistenz 1: Piepser + Rückfahrkamera	-	-	-
S-R-A: Sichteinschränkung, mit Assistenz 1: Piepser und Rückfahrkamera	Streifen horizontal	Streifen horizontal	Streifen horizontal an allen Seitenscheiben + an Beifahrerseite vertikal Streifen hinter Tür und am hintersten Eckseitenfenster
S-T-A: Sichteinschränkung, mit Assistenz 2: Piepser + Top View			
autom: automatisches Einparken, mit Assistenz	-	-	-

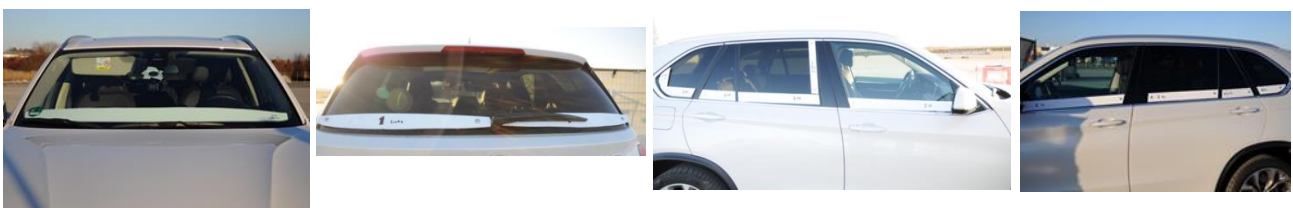


Abbildung 22:
Fahrzeug 3, Sichteinschränkungen bei Versuchsbedingung S-R und S-T, vorne, hinten und seitlich auf der Beifahrer- und der Fahrerseite.

4.2.4. Ein- und Auspark-Szenarien

Pro Person und pro Sichtbedingung werden 6 Manöver, selbstverständlich in unterschiedlicher Reihenfolge gefahren, siehe Versuchsplan in Kapitel 4.2.5..

Manöver 1: Als Prototyp für Einparken längs rückwärts wurde dieses Manöver realisiert und zwar in einer schwierigen Variante, einem konkav gekrümmten Straßenrand. Vor bzw. hinter der Parklücke steht jeweils ein Fahrzeug, zum Schutz dieser Fahrzeuge sind jeweils zwei Schaumstoff-Würfel aufgestellt. Der Fahrer parkt rückwärts am rechten Straßenrand ein, Abbildung 23 zeigt einen Überblick und Details. In der Auswertung wird dieses Manöver mit „längs“ bezeichnet. Die Parklücke hat für Fahrzeug 1 + 2 die Länge von 5,4 m, für Fahrzeug 3 die Länge von 6,1 m.



Abbildung 23:

Manöver (1): Einparken längs rückwärts. Vorder- und Hinterfahrzeug sind durch Schaumstoffwürfel geschützt.

Manöver 2: Bei Manöver 2 werden die Parksysteime beim rückwärts Quereinparken in eine enge Parklücke gegen eine Rückwand getestet (siehe Abb. 24). Dies entspricht dem Unfalltyp 88 des Unfalltypenkatalogs (siehe HUMMEL & LINDENAU, 2016). Besonders interessiert hier, ob der Proband die Parkbegrenzung, die rückwärtige Wand oder die Seitenbegrenzung (Stellwand und Getränkeboxen) beim Einparken mit dem Heck des Fahrzeuges berührt. Bei der Ergebnisdarstellung wird das Manöver mit „rü-ein“ bezeichnet.

Die Parkboxen sind mit Gittern und Getränkeboxen begrenzt und sind 2,7 m breit und 5,1 m lang.

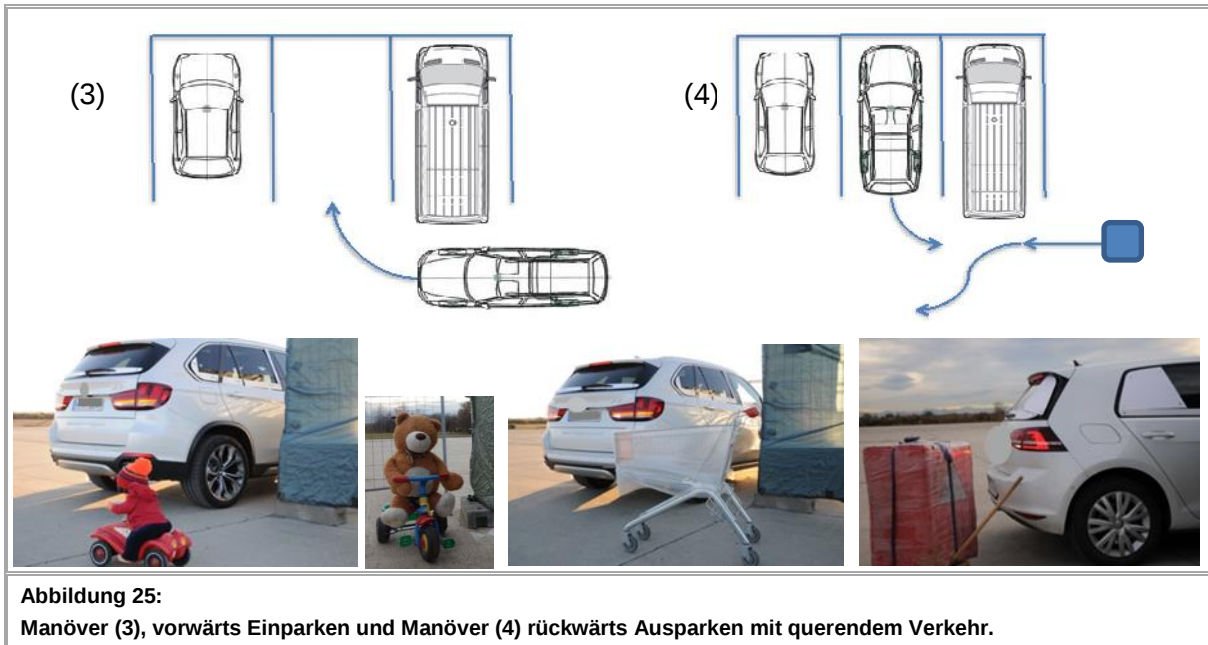


Abbildung 24:

Manöver (2): Einparken quer rückwärts, gegen eine Wand.

Im Realverkehr ist davon auszugehen, dass dem Autofahrer beim Einparken in eine Parklücke teilweise nur die eigene Fahrspur zur Verfügung steht, teilweise ist auch ein Ausholen über den Gegenfahrstreifen möglich. Um die Querparkmanöver bewältigen zu können, wird die Fahrstreifenbreite durch Pylonen auf 5 Meter verengt, gemessen von der inneren weißen Linie der Fahrbahnmarkierung. Dies ist etwas mehr als eine reguläre Straßenbreite und gilt für die Manöver 2 und 3.

Manöver 3 und 4: In Manöver 3 wird vorwärts eingeparkt (3) (= „vor-ein“), gestoppt, und rückwärts wieder ausgeparkt (4) (= „rü-aus“). Beim Ausparken wird die Situation dargestellt, wenn sich das Fahrzeug und ein „Hindernis“ gleichzeitig in Bewegung befinden. Neben dem Versuchsfahrzeug ist als 2. Verkehrspartner ein „Kind“ (Puppe) auf einem Rutschauto (Höhe 0,7 m), ein Bär mit Dreirad (Höhe 0,9 m), ein Einkaufswagen (Höhe 0,85 m) und ein Würfel auf einem Rollbrett (Höhe 0,85 m) beteiligt (siehe Abbildung 25).



Gerade im Moment des Rückwärtsstoßens kommt der andere Verkehrsteilnehmer in der Fahrspur des Ausparkenden daher. Ein Verkehrskonflikt ist somit vorprogrammiert. Wird das System bzw. der Autofahrer das Rutschauto, den Dreirad-Bär, den Einkaufswagen bzw. die Kiste rechtzeitig wahrnehmen und entsprechend reagieren? Wesentlich ist hier, wie gut das jeweilige Parksystem den Autofahrer unterstützt, wie sich der Fahrer bei dieser Unterstützung fühlt und wie sich die Ein- und Ausparkleistung der Systeme voneinander unterscheiden.

Manöver 5: Bei Manöver 5 soll das Ausparken im Zusammenhang mit einem stehenden Hindernis



(Unfalltyp 84) untersucht werden, wie wir es in der Realität häufig in Parkhäusern, auf engen Parkplätzen oder Einfahrten erleben, wenn die Fahrbahn durch Säulen, Poller, oder andere Fahrzeuge

begrenzt ist. Das Hindernis wurde durch eine Reifen-Säule realisiert (siehe Abbildung 26). Herausforderung bei dieser Parklücke ist die Vermeidung einer Kollision mit dem Hindernis.

In der Auswertung wird Manöver 5 als „eng“ bezeichnet.

Der Abstand zwischen Pylonen und Parklücken beträgt 6 m, zwischen Reifensäule und Parklücke 4 m, die Reifensäule ist 1,3 m hoch.

Manöver 6: Bei Fahrzeug 1 + 2 ist dieses Manöver ein semi-automatisches Einparken, wofür die Längsparklücke, die bei Manöver 1 beschrieben wurde, verwendet wird. Fahrzeug 1 + 2 benötigt dazu seine Fahrzeuglänge (4,26 m) + nach Betriebsanleitung mindestens 0,8 m in der Länge, was sich jedoch als zu kurz heraus stellte. Die Länge der Parklücke wurde daher auf 5,4 m festgelegt, womit das Fahrzeug gut zurecht kommt.

Abgekürzt wird das Manöver mit „autom.-ein“ und „autom.-aus“.

Da Fahrzeug 1 + 2 und Fahrzeug 3 unterschiedliche Längen und Breiten sowie einen unterschiedlichen Wendekreis aufweisen und ein fairer Vergleich zwischen den Systemen ermöglicht werden soll, müssen die Parklücken flexibel aufgebaut werden.

Bei Fahrzeug 3 wird vollautomatisch eingeparkt, bei einer Fahrzeuglänge von 4,89 m wird offiziell eine Zugabe von 1,2 m erwartet, hier funktioniert das Einparkmanöver bei einer Länge der Lücke von 6,1 m sehr gut.

4.2.5. Abfolge der Manöver

Fahrzeug 1		Abfolge der Sichtbedingungen																								
Vp 1	N-0	S1-A	S3-A	N-A	S2-A																					
Vp 2	N-A	N-0	S2-A	S3-A	S1-A																					
Vp 3	S1-A	S2-A	N-0	N-A	S3-A																					
Vp 4	S2-A	N-A	S1-A	N-0	S3-A																					
Vp 5	S3-A	N-0	S2-A	S1-A	N-A																					
Vp 6	S1-A	S3-A	N-A	S2-A	N-0																					
Vp 7	N-0	S2-A	S3-A	S1-A	N-A																					
Vp 8	S2-A	N-0	N-A	S3-A	S1-A																					
Vp 9	N-A	S1-A	N-0	S3-A	S2-A																					
Vp 10	S3-A	S2-A	S1-A	N-A	N-0																					
Vp 11	S3-A	N-A	S2-A	N-0	S1-A																					
Vp 12	S2-A	S3-A	S1-A	N-0	N-A																					
Vp 13	N-0	N-A	S3-A	S1-A	S2-A																					
Vp 14	S1-A	N-0	S3-A	S2-A	N-A																					
Vp 15	S2-A	S1-A	N-0	Fzg 1																						
Vp 16	N-A	S2-A	N-0	Vp 1	N-0	1	2	3	5	S1-A	2	5	1	3	S3-A	3	1	5	2	N-A	5					
Vp 17	S3-A	S1-A	N-0	Vp 2	N-A	5	1	2	3	S2-A	1	5	3	2	S2-A	1	5	2	3	S3-A	2					
Vp 18	N-A	S3-A	S1-A	Vp 3	S1-A	5	2	3	1	S2-A	3	1	5	2	N-0	2	3	5	1	N-A	3					
Vp 19	N-0	S3-A	S1-A	Vp 4	S2-A	2	3	1	5	N-A	1	2	5	3	S1-A	3	2	1	5	N-0	3					
Vp 20	S1-A	N-A	N-0	Vp 5	S3-A	3	2	1	5	N-0	5	3	1	2	S2-A	5	2	3	1	S1-A	1					
Vp 6	S1-A					3	5	2	1	S3-A	3	5	2	1	N-A	3	5	2	1	S2-A	5					
Vp 7	N-0					2	1	5	3	S2-A	1	3	5	2	S3-A	2	3	1	5	S1-A	2					
Vp 8	S2-A					1	5	3	2	N-0	2	1	3	5	N-A	1	2	3	5	S3-A	1					
Vp 9	N-A					2	3	5	1	S1-A	5	1	2	3	N-0	5	1	2	3	S3-A	5					
Vp 10	S3-A					5	2	1	3	S2-A	2	3	5	1	S1-A	1	3	2	5	N-A	1					
Vp 11	S3-A					1	2	5	3	N-A	2	3	1	5	S2-A	3	5	1	2	N-0	1					
Vp 12	S2-A					3	2	5	1	S3-A	5	1	3	2	S1-A	2	5	3	1	N-0	5					
Vp 13	N-0					3	5	1	2	N-A	3	2	1	5	S3-A	1	5	3	2	S1-A	3					
Vp 14	S1-A					2	1	3	5	N-0	3	2	5	1	S3-A	5	3	2	1	S2-A	2					
Vp 15	S2-A					5	3	1	2	S1-A	1	2	3	5	N-A	2	5	1	3	S3-A	3					
Vp 16	N-A					3	1	2	5	S2-A	5	3	2	1	N-0	1	2	5	3	S1-A	5					
Vp 17	S3-A					2	5	3	1	S1-A	3	5	1	2	N-A	5	1	3	2	N-0	2					
Vp 18	N-A					1	3	2	5	S3-A	1	3	2	5	S1-A	5	3	1	2	S2-A	1					
Vp 19	N-0					5	3	2	1	S3-A	2	1	5	3	S2-A	2	1	5	3	N-A	1					
Vp 20	S1-A					1	3	5	2	N-A	5	2	1	3	N-0	3	1	2	5	S2-A	3					

USW.

Abbildung 27:

Ausschnitt aus dem Versuchs-Ablaufplan für Fahrzeug 1 mit den verschiedenen Sichtbedingungen, ihren Abfolgen im Versuch und der jeweiligen Abfolge der Manöver. Das hier als (3) bezeichnete Manöver ist im Versuch (3) und (4), Manöver 6, automatisches Ein-/Ausparken kommt immer als letztes und ist daher nicht aufgeführt.

Der Versuchsplan ist komplex, da die Abfolge für jeden der 20 Fahrer pro Fahrzeug verschieden festgelegt wurde (siehe Abbildung 27). Auf diese Weise können Reihenfolgeeffekte vermieden werden. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Manöver möglichst gleich häufig auf jeder Position (als erstes, als zweites, ...) gefahren wurden, und auch die Abfolgen in ihrer Reihenfolge variieren, z.B. nach N-0 einmal S-1, beim nächsten Probanden dann S-2 kommt, usw.. Abbildung 27 zeigt einen Ausschnitt für die Abläufe bei Fahrzeug 1. Manöver 6 ist nicht im Plan enthalten, da das automatische Einparken immer am Ende des Versuchs ausgeführt wurde.

Bei Fahrzeug 3 treten an die Stelle von S-1, S-2 und S-3 die Bedingungen S-R und S-T.

4.2.6. Versuchsdurchführung

Die Versuchsfahrten werden auf der Teststrecke der UniBw durchgeführt, auf der die Parkboxen und die Fahrzeuge für das Längseinparkmanöver aufgebaut sind.

Bei jeder Fahrt fährt ein Versuchsleiter mit. Er sorgt dafür, dass die Spiegel und der Fahrersitz richtig eingestellt sind (Augpunkthöhe bei Fahrzeug 1 + 2: 1,21 m vom Boden gemessen, bei Fahrzeug 3 sind es 1,43 m, vom Boden gemessen).

Zunächst wird der Umgang mit dem Fahrzeug geübt, bis sich der Fahrer sicher fühlt. Folgende Situationen werden dazu mindestens drei mal gefahren: Anfahren, Geschwindigkeit von 50 km/h fahren, Blinker setzen, abbiegen, moderat bremsen, vorwärts durch eine Pylonen-Gasse fahren, rückwärts durch eine Pylonen-Gasse fahren, Einparkmanöver quer. Anschließend werden die jeweiligen Einparksysteme, die in der Versuchsbedingung aktiviert werden sollen, erprobt.

Der Versuchsleiter sorgt für die korrekte Einhaltung der Reihenfolge (siehe Versuchsplan in 4.3.5.), das Ausfüllen der Fragebogen, das Aktivieren der Kamera zur Fahrerbeobachtung etc.

Der Assistent des Versuchsleiters kontrolliert, ob die Einpark-Boxen richtig stehen und korrigiert gegebenenfalls. Bei Manöver (4), rückwärts quer Ausparken mit einem unvermittelt auftauchenden Hindernis (Puppe auf Rutschauto, Bär auf Dreirad, Einkaufswagen, Kiste) steuert er das Hindernis. Weiterhin bringt der Assistent, für die Versuchsbedingungen S-1, S-2, S-3 bzw. S-R und S-T, die erforderlichen Schablonen am Fahrzeug an und entfernt sie nach dem Manöver wieder.

Der Versuchsleiter informiert den Probanden vor Beginn der Manöver: „Wir möchten in diesem Versuch herausfinden, wie gut Sie unter verschiedenen Sichtbedingungen in unterschiedliche Parklücken Einparken. Im Laufe des Versuches werden Sie selbstständig und mit Unterstützung eines Parkassistentensystems Ein- und Ausparken.“ Der Versuchsleiter erklärt vor jedem Manöver anhand einer Skizze, welches Manöver nun auszuführen ist. Um einen gewissen Zeitdruck aufzubauen und die Situation somit realitätsnäher zu gestalten, erfährt der Fahrer, dass Personen, die vor ihm gefahren seien, durchschnittlich x Sekunden benötigt hätten (Zeit variiert, je nach Manöver).

Besteht der Verdacht auf einen „Park-Rempler“, so wird nach dem Ein- oder Ausparkvorgang durch den Versuchsleiter / den Assistenten geprüft, ob es zur Verschiebung der Kisten durch das Fahrzeug gekommen ist. Am Ende einer Bedingung wird der Proband gefragt, was ihm an dem System gut bzw. weniger gut gefallen hat.

4.2.7. Datenerhebung

An objektiven Daten werden erhoben:

- Die Zeit, die zur Ausführung des Manövers benötigt wird,
- Anzahl der Kollisionen beim Ein- bzw. Ausparkmanöver,
- Anzahl der Züge (vorwärts / rückwärts), die pro Manöver benötigt werden,
- Abstand zum seitlichen Fahrbahnrand (beim semi- bzw. voll-automatischen Einparken),

- Abstand zu den anderen Parkenden vorne / hinten (beim semi- bzw. voll-automatischen Einparken).

An subjektiven Daten werden erhoben:

- Bewertung des Systems auf einer 5-stufigen Rating-Skala,
- Ordnung der Versuchsbedingungen nach Schwierigkeit.

4.2.8. Versuchsteilnehmer

Die Versuche werden im Einzelversuch mit 60 Autofahrern durchgeführt. Dabei fährt ein Proband, begleitet vom Versuchsleiter, mit einem von drei Versuchsfahrzeugen. Die Fahrt findet auf einem Versuchsgelände statt, auf dem verschiedene Parksituationen aufgebaut sind, vgl. Kapitel 4.2.4.

Für jeden Probanden wurde eine eigene Reihenfolge der Situationen festgelegt, vgl. Kapitel 4.2.5.

Um tragfähige, auswertbare Daten zu erhalten, wurden die Fahrten mit insgesamt 60 Probanden, je 20 pro Fahrzeug, durchgeführt. 30 Probanden sind weiblichen, 30 männlichen Geschlechts.

Voraussetzungen für die Teilnahme war ein gültiger Führerschein für Pkw sowie eine Fahrerfahrung von mindestens 10.000 Kilometern.

Beim Führerscheinbesitz liegt die Spanne zwischen 3 und 43 Jahren, im Mittel sind es 17,7 Jahre.

Die Jahreskilometerleistung der Probanden liegt zwischen 5.000 und 60.000 km, im Mittel bei 23.483 km.

Insgesamt liegt die Kilometerleistung der Fahrer zwischen 10.000 und 1.800.000 Kilometern, im Mittel sind es 371.000 km.

Die Altersstruktur der Probanden umfasst

- jüngere Probanden (bis 28 Jahre), n = 24;
- Personen der mittleren Altersgruppe (29 bis 50 Jahre alt), n = 18;
- ältere Probanden (über 50 Jahre alt), n = 18.

Auf die Altersstruktur der Probanden konnte, durch entsprechende Auswahl, Einfluss genommen werden. Die Größe einer Person war jedoch vorher nicht bekannt.

Der kleinste Proband ist 1,56 Meter groß, der größte 1,95 m, der Mittelwert liegt bei 1,74 m.

- Beim ersten Fahrzeug liegt die Spanne zwischen 1,60 und 1,93 m (Mittel 1,74 m),
- beim zweiten zwischen 1,58 und 1,87 m, im Mittel 1,75 m und
- beim dritten zwischen 1,56 und 1,95 m, im Mittel bei 1,74 m.

Es ist somit gelungen, die drei Gruppen nicht nur hinsichtlich der Alterszusammensetzung, sondern auch bezüglich der Körpergröße der Probanden zu parallelisieren.

Gefahren werden von den Probanden im täglichen Leben Fahrzeuge aller Größen, von der Kompaktklasse bis zu Fahrzeugen der Oberklasse.

62 Prozent der Probanden fahren sehr oft (fast täglich), 33 % oft (ca. 2 x pro Woche), der Rest gelegentlich mit dem Auto.

Ihre Fahrweise bezeichnen 30 % als sportlich, 53 % als ausgewogen, 13 % als Komfort betont.

Der Versuchsleiter beurteilt den Fahrstil der Fahrer in 31 % der Fälle als „sportlich“, in 55 % als „ausgewogen“ und in 13 % als „komfortabel“. Die Übereinstimmung zwischen Eigen- und Fremdeinschätzung ist somit sehr hoch.

In einer 5-stufigen Rating-Skala soll jeder Proband einschätzen, wie leicht / schwer ihm das rückwärts, längs zur Straße Einparken, das rückwärts Einparken (quer), das vorwärts Einparken (quer) und das Ausparken im täglichen Leben fällt. Die jeweilige Frage war zur Erläuterung mit einer Abbildung versehen, siehe unten. Abbildung 28 zeigt die Antworten (in Prozent). Die meisten Probanden geben an, die Park-Manöver würden ihnen „leicht“ oder „eher leicht“ fallen, nur das rückwärts längs zur Straße Einparken fällt 18 % schwerer.

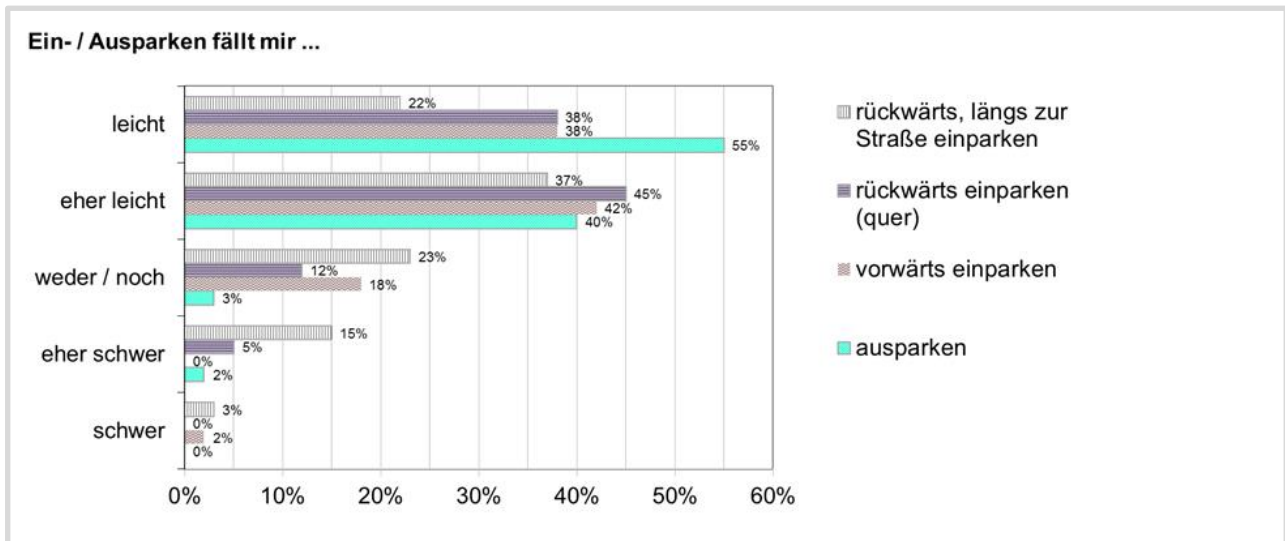
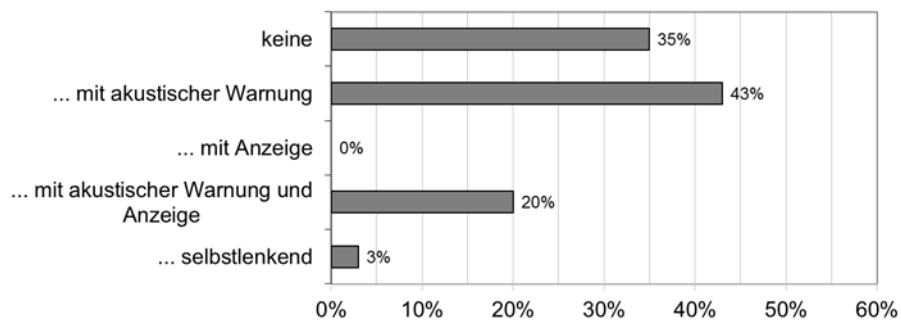


Abbildung 28:
Einschätzung der Probanden, wie leicht bzw. schwer (5-stufige Skala) ihnen im täglichen Leben das Ein- / Ausparken bei verschiedenen Manövern fällt (n = 60, Angaben in Prozent).

27 % der Versuchsteilnehmer nutzen Einparkhilfen sehr oft (fast täglich), 23 % oft (ca. 2 x pro

Von den Probanden benutzte Einparkhilfen



Woche, 13 % gelegentlich bis selten, 37 % nie. In der Abbildung 29 ist dargestellt, welche Arten von Einparkhilfen benutzt werden, meist ist es ein System mit akustischer Warnung (43 %), gefolgt von akustischer Warnung und Anzeige (20 %).

Abbildung 29:
Welche Einparkhilfen werden von den Probanden im täglichen Leben benutzt? (n = 60, Angaben in Prozent).

5. Objektive Ergebnisse

5.1. Zeit zur Ausführung der Aufgabe

Gefahren werden pro Person und pro Sichtbedingung 6 Manöver:

- (1) Einparken längs rückwärts, in den Grafiken bezeichnet mit „längs“. Die Zeitmessung beginnt, wenn der Spiegel des Versuchsfahrzeugs am Heck des hinteren Fahrzeugs (Markierung) vorbei kommt. Sie endet, wenn das Fahrzeug in Parkposition steht und der Wahlhebel auf „P“ gestellt ist.
- (2) Einparken quer rückwärts, bezeichnet mit „rü-ein“. Die Zeitmessung beginnt mit dem Einlegen des Rückwärtsgangs und endet, wenn das Fahrzeug in Parkposition steht und der Wahlhebel auf „P“ gestellt ist.
- (3) Einparken quer vorwärts, bezeichnet mit „vor-ein“. Die Zeitmessung beginnt bei einer Markierung und endet, wenn das Fahrzeug in Parkposition steht und der Wahlhebel auf „P“ gestellt ist.
- (4) Ausparken quer rückwärts (mit Einkaufswagen / Dreirad / Rutschauto / ...), bezeichnet mit „rü-aus“. Die Zeitmessung beginnt mit dem Einlegen des Rückwärtsgangs und endet, wenn das Fahrzeug gerade in Fahrposition steht und der Vorwärtsgang eingelegt ist.
- (5) Rangieren an Engstelle, bezeichnet mit „eng“. Die Zeitmessung beginnt mit dem Einlegen des Rückwärtsgangs und endet, wenn das Fahrzeug gerade in Fahrposition steht und der Vorwärtsgang eingelegt ist.
- (6) Automatisches Einparken (Fahrzeug 3), bzw. bei Fahrzeug 1 + 2 semi-automatisches Einparken, bezeichnet mit „autom.-ein“ bzw. „autom.-aus“. Die 1. Zeitmessung beginnt, wenn der Außenspiegel des Versuchsfahrzeugs am Heck des hinteren Fahrzeugs vorbei kommt (Markierung) und endet beim Einlegen des Rückwärtsgangs. Die 2. Messung beginnt mit Einlegen des Rückwärtsgangs und endet, wenn das Fahrzeug in der Parkposition steht und der Wahlhebel auf „P“ gestellt ist.

Bezeichnet wird mit

- **Fahrzeug 1** ein Fahrzeug der Kompaktklasse, in der Variante mit Piepser + generischer (= grafische) Anzeige (das System heißt ParkPilot), beim automatischen Einparken: mit Park-Lenk-Assistent (heißt beim Hersteller Park Assist);
- **Fahrzeug 2** ein Fahrzeug der Kompaktklasse, in der Variante mit Piepser + generische (= grafischer) Anzeige + Kamerabild (das System heißt Rear Assist), beim automatischen Einparken: mit Park-Lenk-Assistent (heißt beim Hersteller Park Assist);
- **Fahrzeug 3** ein SUV, mit Piepser + Rückfahr-Kamera (wird bei Tabellen und Grafiken abgekürzt mit „R“) bzw. mit Piepser + Top View (abgekürzt mit „T“), beim automatischen Einparken: Parkassistent.

Die Funktionsweise der Systeme ist in Kapitel 4.2.2. beschrieben.

Vorbemerkungen zur Datenauswertung:

Es ist bei Reaktionszeit-Messungen üblich, Werte, die sehr stark von den anderen abweichen, etwa weil die Versuchsperson abgelenkt war, auszuschließen. So wurden auch hier Zeiten, die länger als der Mittelwert + 2 Standardabweichung sind, heraus genommen. Von 1.437 Meßwerten wurden 5,08 % gelöscht.

Wieviel bringt die Assistenz bezüglich Zeit?

Verglichen werden die Bedingungen mit normaler Sicht (N), ohne (N-0) und mit Assistenz (N-A), jeweils für die Fahrzeuge „1“, „2“ und „3“. Vergleichen wir die Mittelwerte, die blauen (N-0) und die grünen (N-A) Säulen, so zeigt sich zwischen den Bedingungen mit und ohne Assistenz kein Unterschied (siehe Abbildung 30). Dies gilt für alle Fahrzeuge.

Es fällt auf, dass die Manöver bei Fahrzeug 3 immer länger dauern als bei Fahrzeug 1 + 2, auch die Assistenz bringt keinen Zeitgewinn.

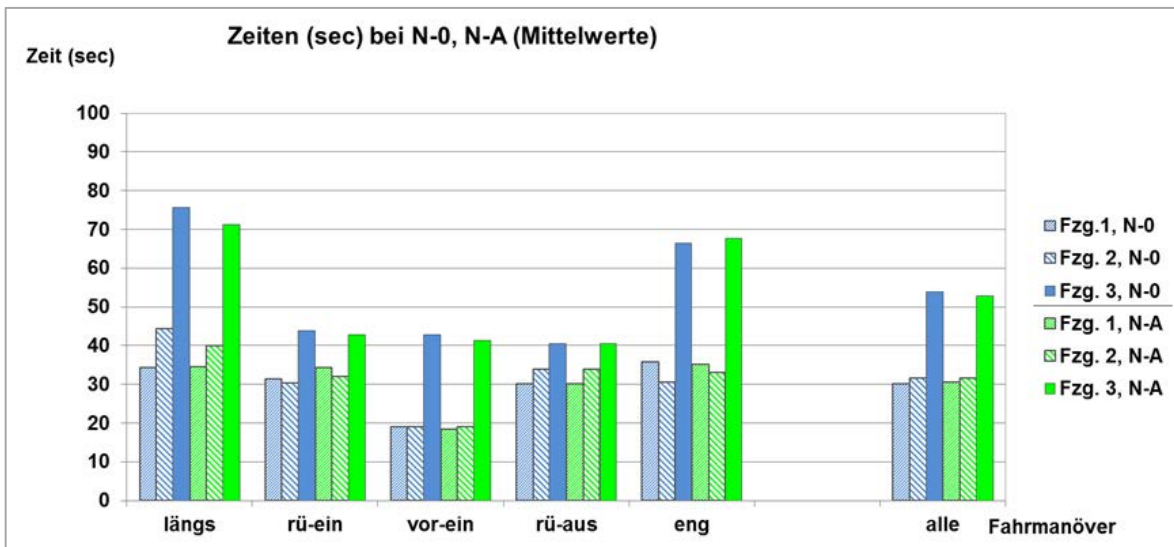


Abbildung 30:

Zeitbedarf bei 5 Parkmanövern (Abkürzungen sind oben erklärt, „alle“ bedeutet den Mittelwert über alle 5 Manöver). N-0 = Normale Sicht, ohne Assistenz = blau, N-A = Normale Sicht, mit Assistenz = grün.

Gleiche Sichtbedingungen, gleiche Ausstattung - Zeit:

Vergleichen wir nun „Fahrzeug 2“ in der Sichtbedingung S-3, also der stärksten Sichteinschränkung, die der Sicht aus Fahrzeug 3 entspricht, mit „Fahrzeug 3, N-A“, also der normalen Sicht aus Fahrzeug 3. Beide Fahrzeuge werden zudem in den genannten Bedingungen mit Rückfahrkamera gefahren. Abbildung 31 zeigt, dass bei den Manövern „rückwärts Einparken“ und „rückwärts Ausparken“ – mit bewegtem Hindernis“ die Zeiten bei den beiden Fahrzeugen (nahezu) gleich sind. Beim „längs Einparken“, „vorwärts Einparken“ dauert es bei Fahrzeug 3 um 17 Sekunden länger, beim Rangieren an der Engstelle sogar 30 Sekunden. Dieser Unterschied ist auf das Fahrzeughandling zurück zu führen.

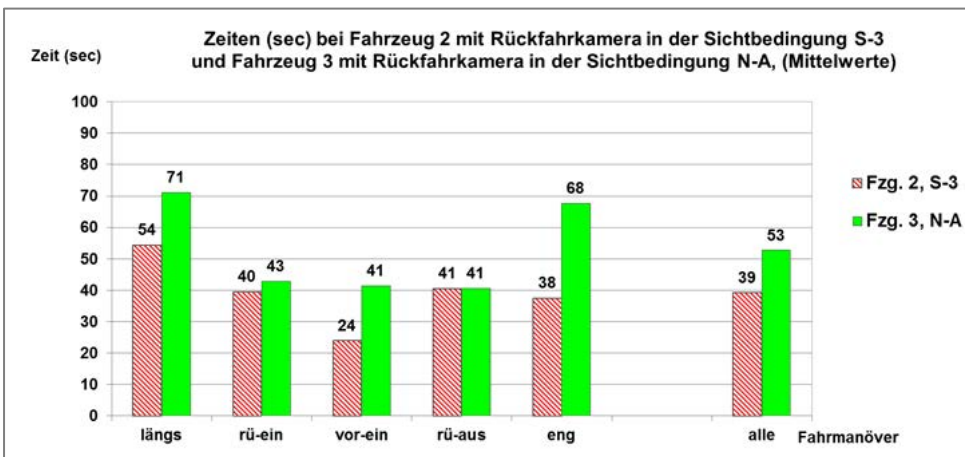


Abbildung 31:

Zeitbedarf bei gleicher Sicht und gleicher Assistenz bei „Fahrzeug 2 mit S-3“ und „Fahrzeug 3, N-A“ (Mittelwerte).

Vorteile des automatischen Einparkens – Zeit:

In Abbildung 32 wird für das Manöver Längseinparken der Unterschied zwischen „Fahrzeug 1“ (generische Sicht), „Fahrzeug 2“ (Rückfahrkamera) und „Fahrzeug 3“ mit Rückfahrkamera für die Bedingungen N-0, N-A und das automatische Einparken gezeigt.

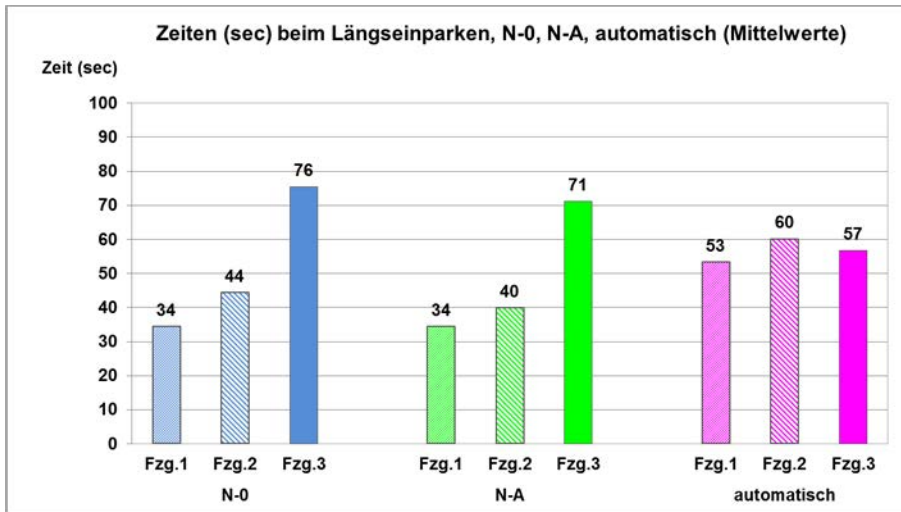


Abbildung 32:

Zeitbedarf beim Längseinparken in den Situationen N-0, N-A und automatisch für die 3 Fahrzeuge.

N-0 = blau, N-A = grün, automatisch = pink.

Wir sehen, dass das automatische Einparken bei Fahrzeug 1 + 2 deutlich länger dauert, als vergleichbare Manöver mit und ohne Assistenz. Das System wird deshalb vermutlich nicht genutzt werden. Bei Fahrzeug 3 hingegen geht das automatische Einparken beim gleichen Manöver deutlich schneller als bei den händischen Varianten. Das System hat somit gute Chancen auf Nutzung.

Die Variante „automatisches Ausparken“ gibt es nur bei Fahrzeug 1 und 2, die Mittelwerte liegen bei 38 bzw. 35 Sekunden.

Betrachtung der Gesamt-Mittelwerte - Zeit:

Verdichtet man die Daten über die 5 händisch ausgeführten Manöver, so zeigt sich (Abb. 33):

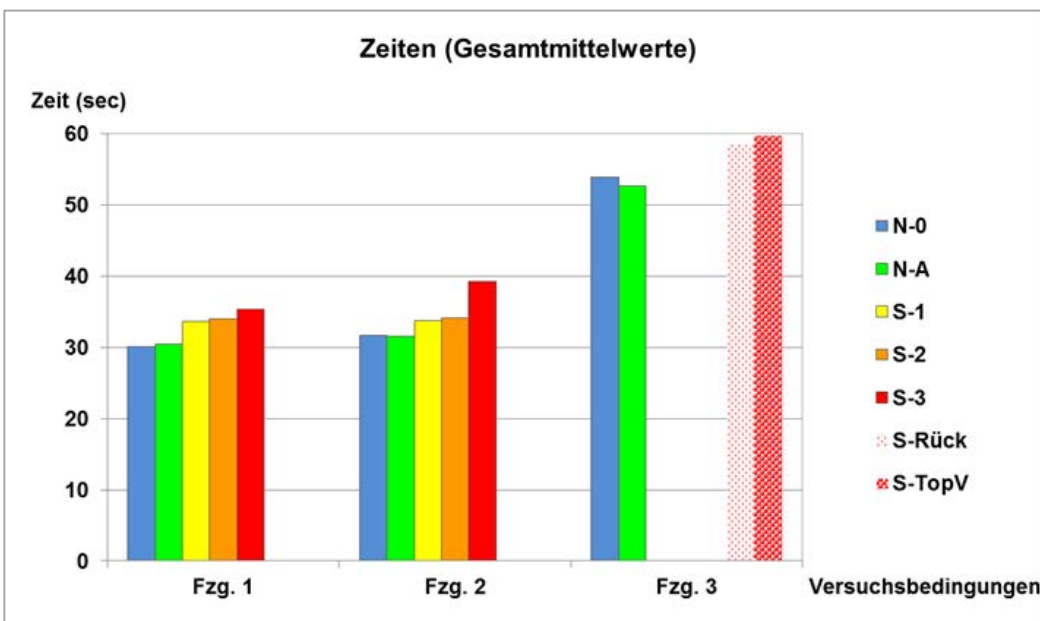


Abbildung 33:

Gesamtmittelwert, Zeiten über alle 5 gefahrenen Manöver.

N-0 = blau, N-A = grün, S-1 = gelb, S-2 = orange, S-3 = rot.

Fahrzeug 3: Rückfahr-Kamera = rot gepunktet, Top View = rote Noppen.

Zwischen den Bedingungen mit normaler Sicht besteht vom mittleren Zeitbedarf her kein Unterschied, ob mit oder ohne Assistenz gefahren wird (Vergleich N-0 / N-A).

Es gibt einen leichten Trend zu größerem Zeitbedarf, je stärker die Sicht bei Fahrzeug 1 + 2 eingeschränkt wird (Vergleich S-1, S-2, S-3).

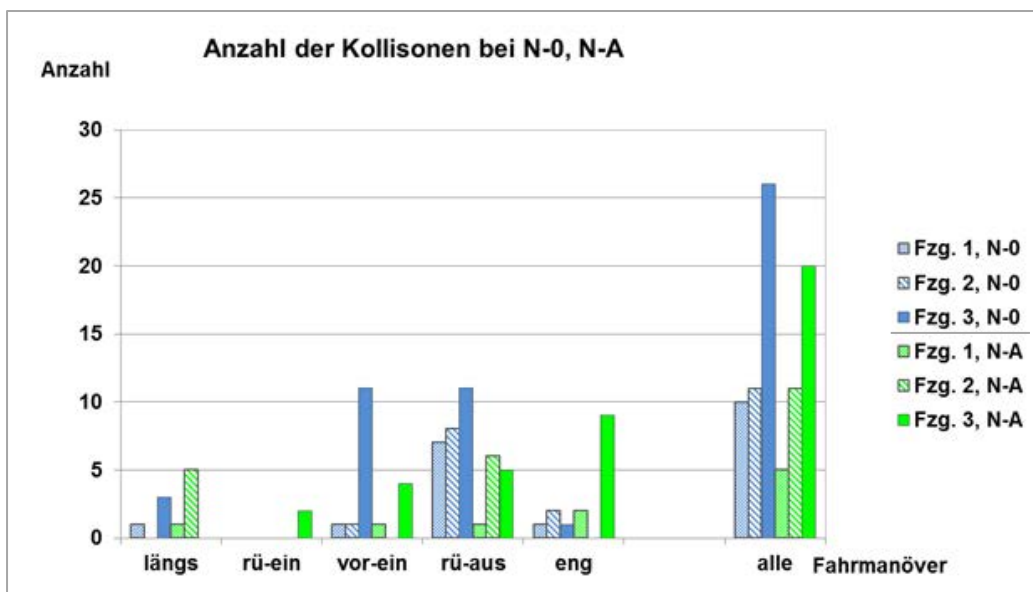
Die Zeiten bei Fahrzeug 3 sind a priori länger, die Nutzung von Rückfahrkamera und Top View bringt gegenüber der Bedingung mit normaler Sicht, ohne Assistenz, keinen Zeitgewinn - eher im Gegenteil.

5.2. Kollisionen bei den Parkmanövern

Die Bezeichnungen entsprechen denen in 5.1.

Wieviel bringt die Assistenz bezüglich Kollisionen?

Verglichen wird die Anzahl der Kollisionen bei normaler Sicht, mit (N-A) und ohne Assistenz (N-0), jeweils für „Fahrzeug 1“, „Fahrzeug 2“ und „Fahrzeug 3“. Die blauen Säulen in Abbildung 34 zeigen die Anzahl für normale Sicht, ohne Assistenz (N-0), die grünen Säulen die Anzahl für normale Sicht, mit Assistenz (N-A). In Tabelle 07 ist die Verteilung der Kollisionen auf die Probanden dargestellt.



Betrachtet man die einzelnen Manöver, so weist Manöver Einparken quer rückwärts (rü-ein), die wenigsten Kollisionen auf. Bei Manöver Einparken längs rückwärts (längs) ist die Kollisionsquote auch recht niedrig. Beim Rangieren an der Engstelle (eng) und beim vorwärts Quereinparken

Abbildung 34:
Kollisionen bei 5 Parkmanövern (Abkürzungen sind oben erklärt, „alle“ bedeutet den Gesamtwert über alle 5 Manöver).

N-0 = Normale Sicht, ohne Assistenz = blau, N-A = Normale Sicht, mit Assistenz = grün.

Die Tabelle zeigt, wie viele Probanden unter welcher Bedingung ohne bzw. mit Kollision fuhren.

(vor-ein) treten schon mehr Kollisionen auf, die hauptsächlich auf Fahrzeug 3 zurückgehen. Ausparken quer rückwärts (rü-aus), wenn auch noch plötzlich ein Hindernis auftaucht (Einkaufswagen / Dreirad / Rutschauto / Kiste), ist am unfallträchtigsten, sowohl für Fahrzeug 1 + 2, als auch für Fahrzeug 3. Ohne Assistenz sind die Zahlen höher als mit Assistenz.

Tabelle 07:

Wie viele Probanden fuhren unter welcher Bedingung ohne bzw. mit Kollision (= K).

	N-0		N-A	
	ohne Kollision	mit Kollisionen	ohne Kollision	mit Kollisionen
Fzg. 1	10 Vpn	10 Vpn je 1 Koll.	16 Vpn	04 Vpn mit 1 bis 2 K.
Fzg. 2	11 Vpn	09 Vpn mit 1 bis 2 K.	11 Vpn	09 Vpn mit 1 bis 2 K.
Fzg. 3	06 Vpn	14 Vpn mit 1 bis 4 K.	08 Vpn	12 Vpn mit 1 bis 3 K.

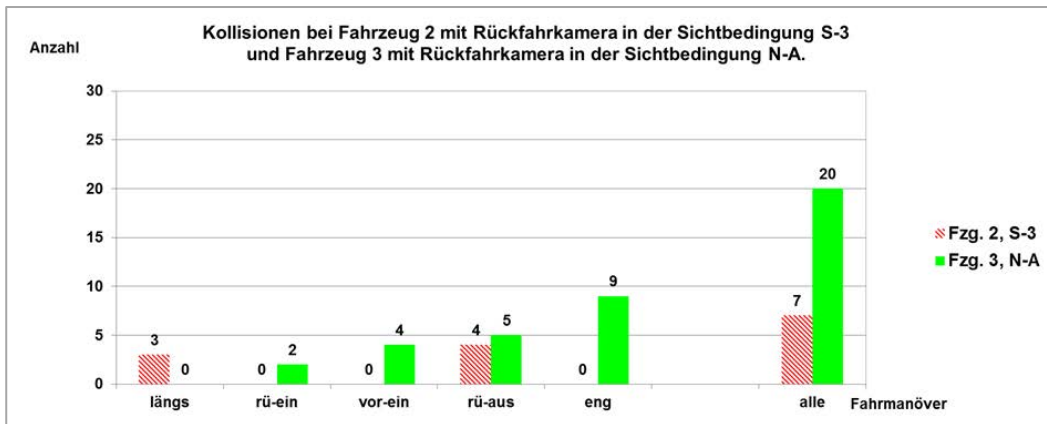
Insgesamt sind die meisten Kollisionen bei Fahrzeug 3 zu verzeichnen, 26 bei N-0 und 20 bei N-A. Dies bedeutet, dass Fahrzeug 3 ohne Assistenzsystem gar nicht gefahren werden sollte.

Es sollte diskutiert werden, ob die Einparkssysteme mit einer automatischen Notbremse gekoppelt werden sollten.

Gleiche Sichtbedingungen, gleiche Ausstattung - Kollisionen:

Vergleichen wir nun „Fahrzeug 2“ in der Sichtbedingung S-3, also der stärksten Sichteinschränkung, die der Sicht aus Fahrzeug 3 entspricht, mit „Fzg. 3, N-A“, also der normalen Sicht aus Fahrzeug 3. Beide Fahrzeuge werden zudem in den genannten Bedingungen mit Rückfahr-Kamera gefahren. Abbildung 35 zeigt, dass bei Fahrzeug 2 deutlich weniger (7) Kollisionen vorkommen, als bei Fahrzeug 3 (20).

Bei Fahrzeug 2 fahren 12 Probanden das Manöver ohne Kollisionen, 6 Fahrer haben 1 bis 2 Kollisionen.



Bei Fahrzeug 3 sind 8 Fahrer kollisionsfrei, 12 haben 1 bis 3 Kollisionen. Die meisten Remppler bei Fahrzeug 3 passieren beim Rangieren an der Engstelle („eng“) und sind sicherlich auf das Fahrzeug-

Abbildung 35:
Kollisionen bei gleicher Sicht und gleicher Assistenz bei „Fzg 2 mit S-3“ und „Fzg. 3, N-A“.

handling zurück zu führen.

Vorteile des automatischen Einparkens – Kollisionen:

In Abbildung 36 wird für das Manöver Längseinparken der Unterschied zwischen „Fahrzeug 1“ (generische Sicht), „Fahrzeug 2“ (Rückfahrkamera) und „Fahrzeug 3“ mit Rückfahrkamera für die

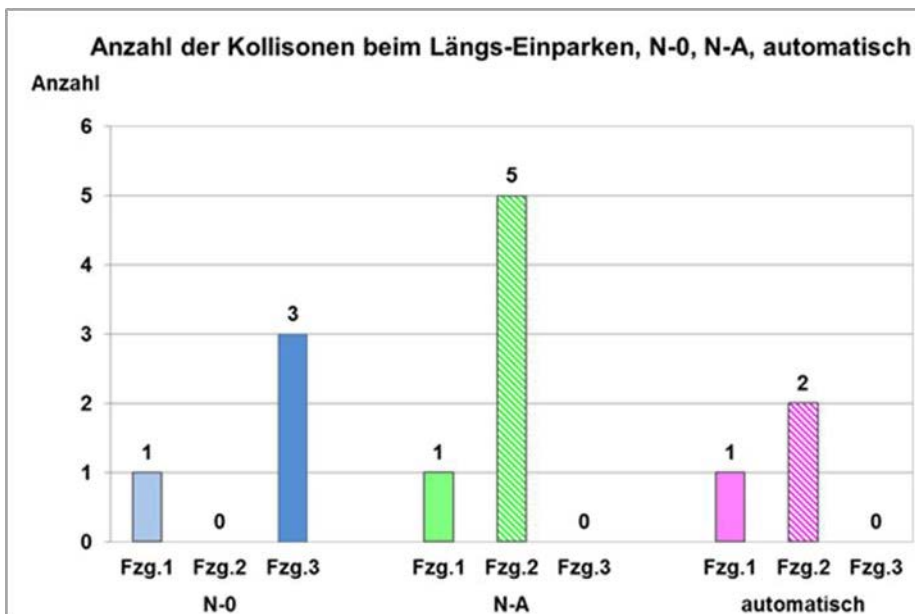


Abbildung 36:
Kollisionen beim Längseinparken in den Situationen N-0, N-A und automatisch für die 3 Fahrzeuge.
N-0 = blau, N-A = grün, automatisch = pink.

Bedingungen N-0, N-A und das automatische Einparken gezeigt. Beim Manöver „Längs-einparken“ verzeichnet Fahrzeug 1 mit generischer Sicht bei allen drei Bedingungen jeweils eine Kollision. Fahrzeug 2 mit Kamerasischt weist merkwürdigerweise 5 Kollisionen in der Bedingung N-A auf (unterschiedliche Personen, je eine Kollision).

Bei Fahrzeug 3 sieht man die Verbesserung durch die Assistenz, die Fehler sinken von 3 auf Null.

Auch beim automatischen Einparken liegt die Kollisionsquote bei Fahrzeug 3 auf Null. Dies spricht sicherlich für eine Nutzung des Systems.

Vergleich zwischen automatischem Ein- und Ausparken - Kollisionen:

Beim automatischen Einparken treten bei Fahrzeug 3 keine Kollisionen auf, bei Fahrzeug 1 bzw. 2 sind es 1 bis 2 bei jeweils 20 Manövern. Das automatische Ausparken war bei Fahrzeug 3 nicht verfügbar. Bei Fahrzeug 1 bzw. 2 treten 1 bzw. 5 Kollisionen auf, jeweils verursacht durch verschiedene Probanden (siehe Tabelle 08).

Tabelle 08:

Kollisionen beim automatischen Ein- und Ausparken.

	automatisch Einparken	automatisch Ausparken
Fzg. 1	1	5
Fzg. 2	2	1
Fzg. 3	0	nicht verfügbar

Was bringt die Rückfahrkamera? Kollisionen, sortiert nach Fahrzeugen:

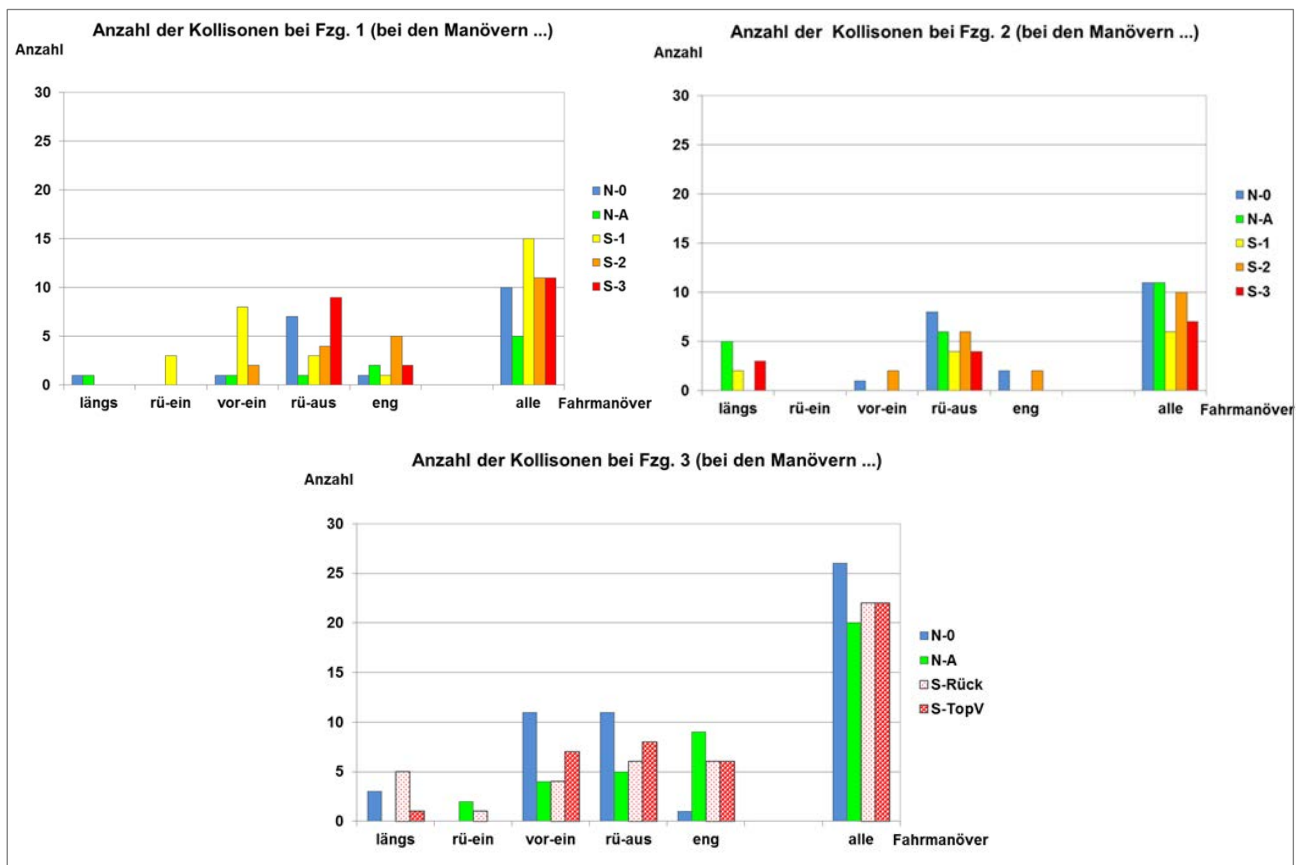


Abbildung 37:

Kollisionen, sortiert nach Fahrzeugen und Sichtbedingungen. Nur Rückwärtsmanöver: Was bringt die Rückfahrkamera?

N-0 = blau, N-A = grün, S-1 = gelb, S-2 = orange, S-3 = rot,

bei Fzg. 3: Rückfahr-Kamera = rot gepunktet, Top View = rote Noppen.

Differenziert man die verschiedenen Versuchsbedingungen nach Fahrzeugen (Abb. 37), so zeigt ein Vergleich zwischen Fahrzeug 1 (mit generischer Sicht) und Fahrzeug 2 (mit Kamerasicht) die Reduktion der Kollisionen und somit die positive Auswirkung der Kamera in Sichtbedingung S-1 (gelb) und S-3 (rot), etwa bei den Manövern „Einparken quer rückwärts“ („rü-ein“), Ausparken quer rückwärts („rü-aus“) und rangieren an der Engstelle („eng“).

Gerade die trotz Kamerasicht vorhandenen Kollisionen beim Manöver Ausparken quer rückwärts mit einem auftauchenden Hindernis sprechen sehr für die Einführung eines Notbrems-Systems im Gefahrenfall.

Bei Fahrzeug 3 wirkt sich das Assistenzsystem positiv aus – dies zeigt der Vergleich zwischen N-0 und N-A. Die Kollisionen reduzieren sich etwas.

Bei Sichtverschlechterung in Fahrzeug 3 (auf Fahrzeug 4) zeigen sich keine nennenswerten Unterschiede zwischen der Bedingung mit Rückfahrkamera („S-Rück“) und der Top View (S-TopV).

Betrachtung der Kollisionen insgesamt:

Verdichtet man die Daten über die in Kapitel 4.2.4. beschriebenen Manöver 1 bis 5, so zeigen sich die in Abbildung 38 dargestellten Werte:

- Fahrzeug 1 + 2 zeigen bei Verschlechterung der Sicht, also den Bedingung S-1 (gelb), (S-2), vor allem aber bei S-3 (rot) erheblich weniger Kollisionen, wenn es über eine Rückfahrkamera verfügt (Fahrzeug 2).
- Fahrzeug 3 zeigt auch mit Assistenz deutlich mehr Kollisionen als Fahrzeug 1 + 2, etwa doppelt so viele, was möglicherweise auf das schlechtere Handling des Fahrzeugs zurück geht.
- Bei Fahrzeug 3 sind in der Bedingung mit normaler Sicht, ohne Assistenz (N-0) deutlich mehr Kollisionen zu verzeichnen, als mit Assistenz (N-A). Hier ist also ein Assistenz-System unbedingt erforderlich.
- Wird die Sicht bei Fahrzeug 3 auf die eines Vergleichs-SUV mit schlechterer Sicht reduziert, so ergeben sich zwischen der Rückfahrkamera und der Top View keine Unterschiede bezüglich der Kollisionen.

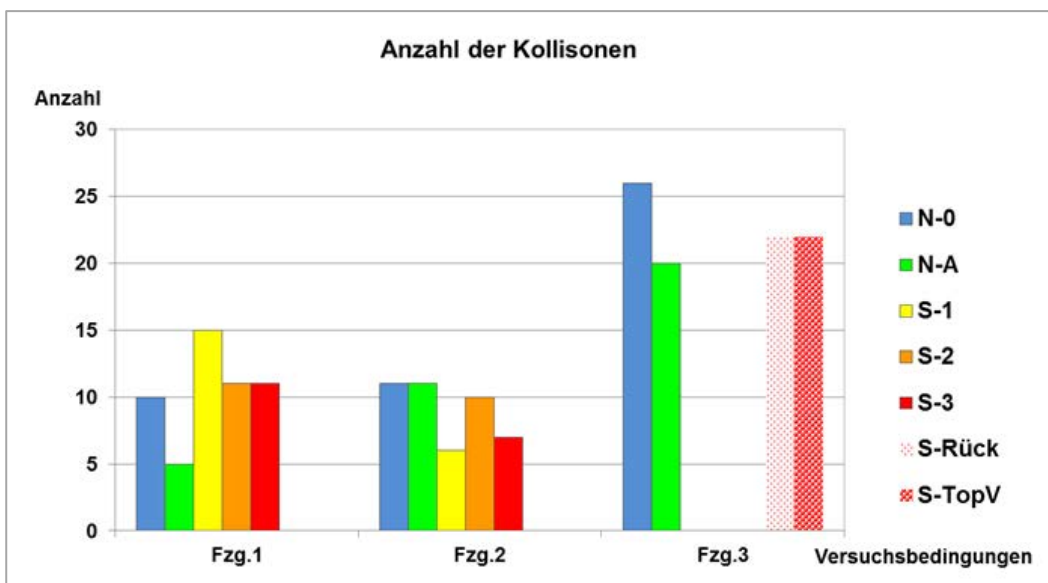


Abbildung 38:

Kollisionen insgesamt über alle 5 gefahrenen Manöver.

N-0 = blau, N-A = grün, S-1 = gelb, S-2 = orange, S-3 = rot.

Bei Fzg. 3: Rückfahr-Kamera = rot gepunktet, Top View = rote Noppen.

5.3. Anzahl der Züge bei den Parkmanövern

Die Bezeichnungen entsprechen denen in 5.1.

Wieviel bringt die Assistenz bezüglich der Anzahl der Züge?

Verglichen werden die Mittelwerte bei der Anzahl der Züge bei normaler Sicht (N), mit und ohne Assistenz, jeweils für „Fahrzeug 1“, „Fahrzeug 2“ und „Fahrzeug 3“. Die blauen Säulen in Abbildung 39 zeigen die Mittelwerte für normale Sicht, ohne Assistenz (N-0), die grünen Säulen die Anzahl für normale Sicht, mit Assistenz (N-A).

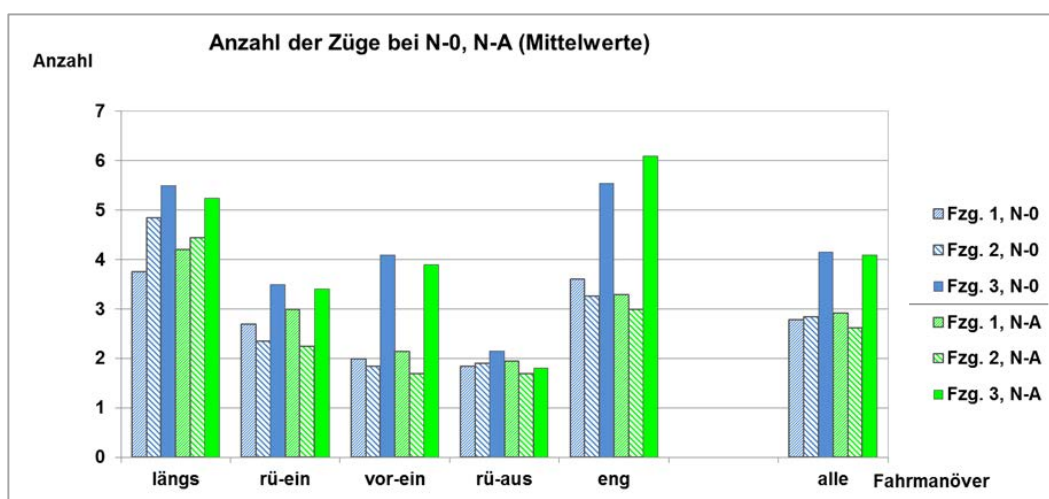


Abbildung 39:

Anzahl der Züge bei 5 Parkmanövern (Abkürzungen sind oben erklärt, „alle“ bedeutet den Mittelwert über alle 5 Manöver).

N-0 = Normale Sicht, ohne Assistenz = blau, N-A = Normale Sicht, mit Assistenz = grün.

Beim Einparken längs rückwärts („längs“) und beim Rangieren an der Engstelle („eng“) sind die meisten Züge erforderlich.

Der Vergleich zwischen Fahrzeug 1 mit generischer Sicht und Fahrzeug 2 mit Kamerasicht lässt bezüglich der mittleren

Anzahl der erforderlichen Züge keine Unterschiede erkennen.

Bei Fahrzeug 3 sind immer mehr Züge erforderlich als bei den anderen beiden, mit Ausnahme des Manövers Ausparken quer rückwärts („rü-aus“).

Schrittweise Verschlechterung der Sichtverhältnisse – Anzahl der Züge:

Die Auswirkung der schrittweisen Sichtverschlechterung bei Fahrzeug 1 + 2, von S-1 (gelb dargestellt), zu S-2 (orange), zu S-3 (rot) ist in Abbildung 40 dargestellt. Als Referenz sind hier auch noch die Rückfahrkamera (rot, hell gepunktet) und die Top View (rot, dicke Noppen) bei Fahrzeug 3, beides von der Sicht vergleichbar mit Fahrzeug 1 + 2, S-3, dargestellt.

Die mittlere Anzahl der Züge unterscheidet sich kaum zwischen den verschiedenen Sichtbedingungen.

Ansonsten verlaufen die Ergebnisse für S-1, S-2 und S-3 parallel zu den bei N-0 und N-A dargestellten:

Auch hier sind beim Einparken längs rückwärts („längs“) und beim Rangieren an der Engstelle („eng“) die meisten Züge erforderlich.

Der Vergleich zwischen Fahrzeug 1 mit generischer Sicht und Fahrzeug 2 mit Kamerasicht lässt bezüglich der mittleren Anzahl der erforderlichen Züge keine Unterschiede erkennen.

Bei Fahrzeug 3 sind immer mehr Züge erforderlich als bei den anderen beiden, mit Ausnahme des Manövers Ausparken quer rückwärts („rü-aus“).

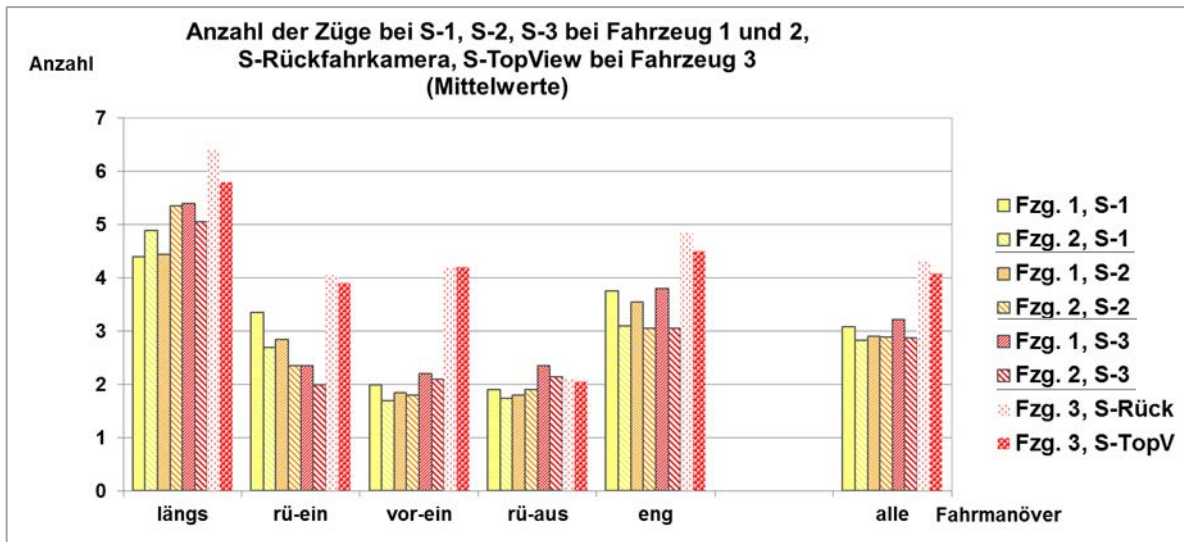


Abbildung 40:

Anzahl der Züge bei 5 Parkmanövern (Abkürzungen sind oben erklärt, „alle“ bedeutet den Mittelwert über alle 5 Manöver).

Fahrzeug 1 + 2: S-1 = gelb, S-2 = orange, S-3 = rot.

Fahrzeug 3: Rückfahr-Kamera = rot gepunktet, Top View = rote Noppen.

Gleiche Sichtbedingungen, gleiche Ausstattung – Anzahl der Züge:

Vergleichen wir nun „Fahrzeug 2“ in der Sichtbedingung S-3, also der stärksten Sichteinschränkung, die der Sicht aus Fahrzeug 3 entspricht, mit „Fahrzeug 3, N-A“, also der normalen Sicht aus Fahrzeug 3. Beide Fahrzeuge werden zudem in den genannten Bedingungen mit Rückfahr-Kamera gefahren. Abbildung 41 zeigt, dass bei Fahrzeug 2 deutlich weniger Züge erforderlich sind (Ausnahme beim Einparken längs rückwärts („längs“), als bei Fahrzeug 3.

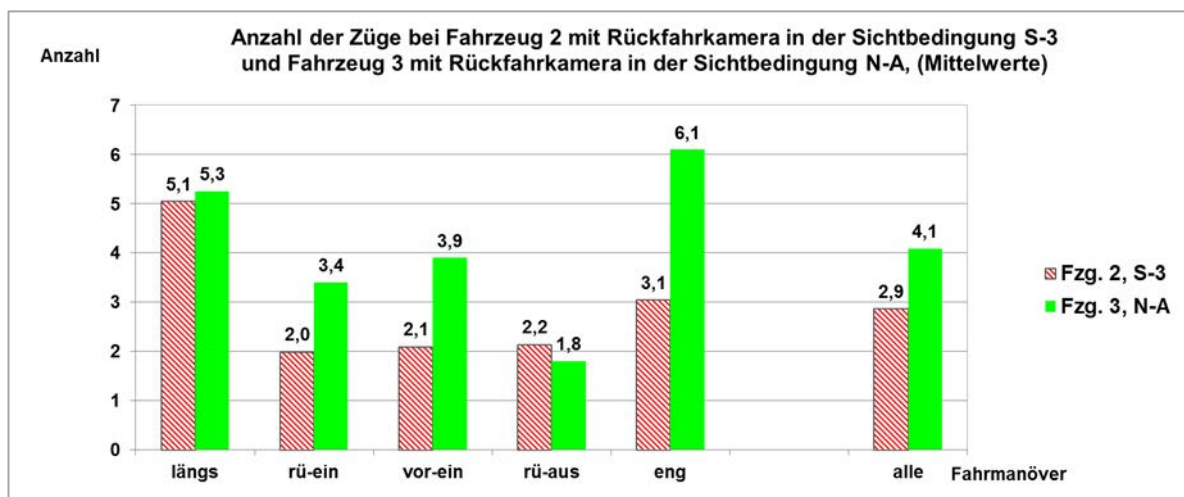


Abbildung 41:

Anzahl der Züge bei gleicher Sicht und gleicher Assistenz bei „Fahrzeug 2 mit S-3“ und „Fahrzeug 3, N-A“.

Vorteile des automatischen Einparkens – Anzahl der Züge:

In Abbildung 42 wird für das Manöver Längseinparken der Unterschied zwischen „Fahrzeug 1“ (generische Sicht), „Fahrzeug 2“ (Rückfahrkamera) und „Fahrzeug 3“ mit Rückfahrkamera für die Bedingungen N-0, N-A und das automatische Einparken gezeigt.

Beim Manöver „Längseinparken“ sehen wir in den Bedingungen N-0 und N-A einen Anstieg der mittleren Anzahl der Züge: Die kleinste Zahl bei Fahrzeug 1 mit generischer Sicht, gefolgt von Fahrzeug 2 mit Kamerasicht und die meisten Züge sind bei Fahrzeug 3 erforderlich.

Die Unterschiede zwischen N-0 und N-A sind gering. Bezüglich der Anzahl der Züge ist die Rückfahrkamera somit kein Gewinn.

Bei Fahrzeug 3 ist die mittlere Anzahl der Züge bei N-0, N-A und automatisch praktisch gleich.

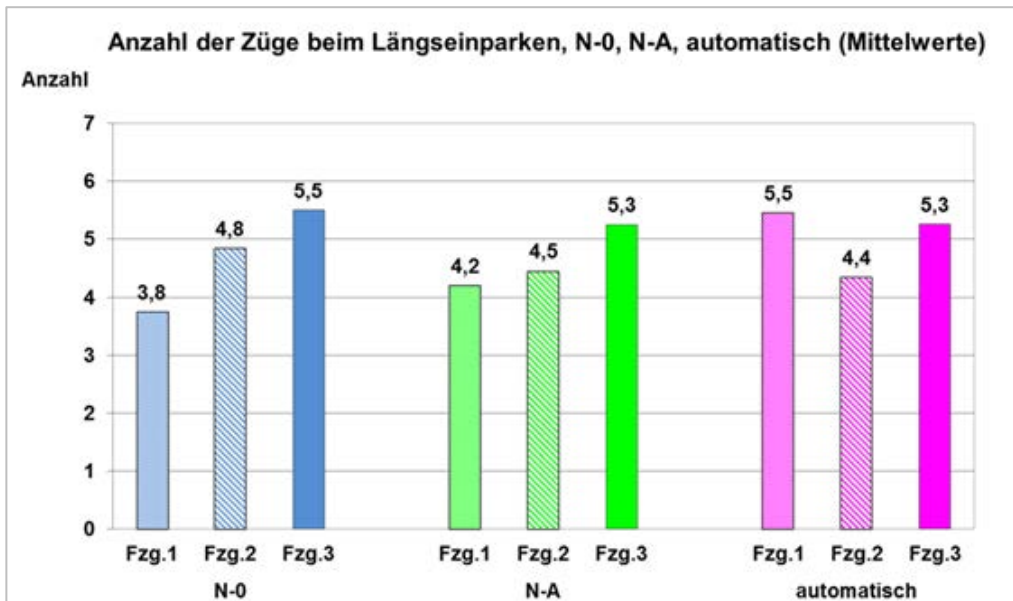


Abbildung 42:

Anzahl der Züge (Mittelwerte) beim Längseinparken in den Situationen N-0, N-A und automatisch für die 3 Fahrzeuge.

N-0 = blau, N-A = grün, automatisch = pink.

Betrachtung der Anzahl der Züge insgesamt:

Verdichtet man die Daten über die Manöver 1 bis 5, so zeigt sich (siehe Abb. 43):

- Die Unterschiede zwischen Fahrzeug 2 mit Kamerasicht und Fahrzeug 1 mit generischer Sicht sind bezüglich der Anzahl der mittleren Züge minimal.
- Bei Fahrzeug 3 ist im Mittel etwa ein Zug mehr erforderlich als bei Fahrzeug 1 + 2.
- Wird die Sicht bei Fahrzeug 3 auf die von Fahrzeug 4 (SUV mit noch schlechterer Sicht) reduziert, so ergeben sich zwischen der Rückfahrkamera und der Top View keine Unterschiede bezüglich der Anzahl der Züge.

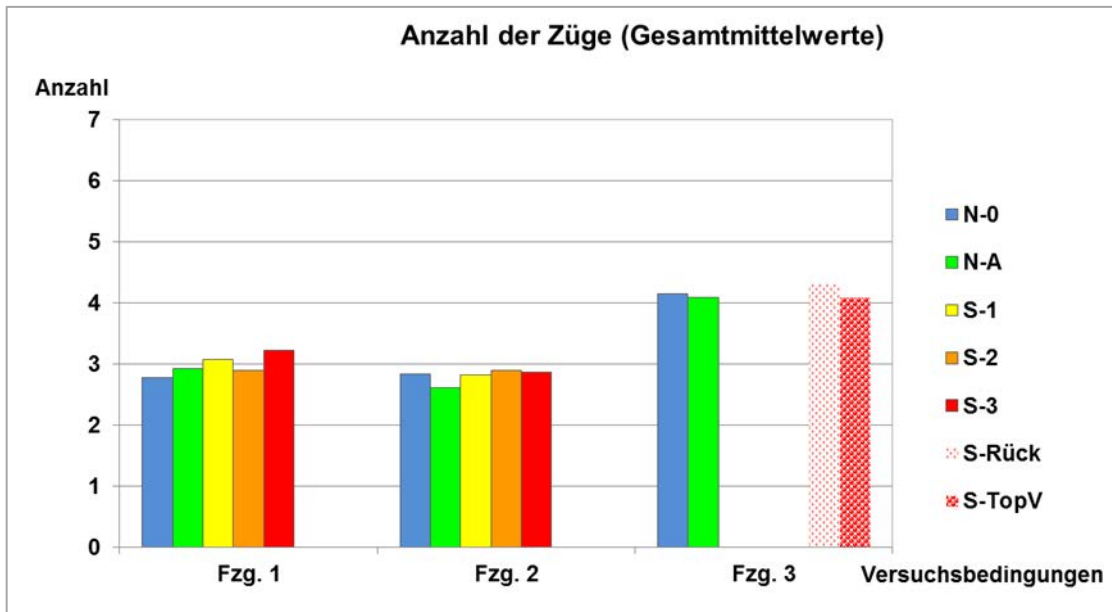


Abbildung 43:

Anzahl der Züge insgesamt über alle 5 gefahrenen Manöver.

N-0 = blau, N-A = grün, S-1 = gelb, S-2 = orange, S-3 = rot.

Bei Fahrzeug 3: Rückfahr-Kamera = rot gepunktet, Top View = rote Noppen.

5.4. Abstände zum seitlichen Fahrbahnrand

Kategorisierung der Abstände zum seitlichen Fahrbahnrand:

Beim Einparken längs rückwärts werden die Abstände zum seitlichen Fahrbahnrand gemessen.

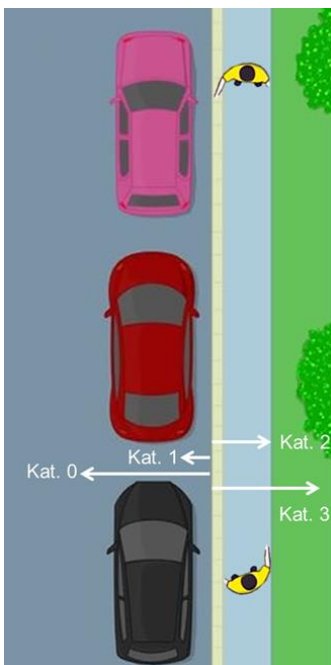


Abbildung 44:

Kategorien der Abstände.

Der weiße Seitenstreifen ist 10 cm breit.

- Der Messwert Null bezeichnet die weiße Linie, fahrbahnseitig,
 - mit „+“ sind Abstände gekennzeichnet, die in die Fahrbahn hinein ragen,
 - mit „-“ Abstände, die außerhalb der Fahrbahn liegen.
- „-10“ bezeichnet das Ende der weißen Linie, was darüber hinaus geht, würde bei Vorhandensein eines Randsteines bedeuten, dass der Fahrer auf den Gehweg fährt.

Folgende Kategorien wurden gebildet (siehe Abbildung 44):

- Kategorie 0 bedeutet, dass das Fahrzeug zu weit in die Fahrbahn hinein ragt, 25 bis 75 cm vom weißen Seitenstreifen entfernt.
- Kategorie 1 bedeutet einen Abstand von 20 cm in die Fahrbahn hinein bis -10 cm (also einschließlich der weißen Linie).
- Kategorie 2 bedeutet -11 cm bis -40 cm, das Fahrzeug steht jenseits der Fahrbahn, im Falle einer weißen Linie auf dem befestigten Seitenstreifen (wäre hier ein Gehweg, würde das Fahrzeug auf dem Gehweg stehen).
- Kategorie 3 bedeutet -41 cm bis -85 cm, das Fahrzeug steht sozusagen „auf dem Acker“, bzw. ragt sehr weit in den Gehweg hinein.

Tabelle 09 zeigt die prozentualen Häufigkeiten für die verschiedenen Kategorien, die drei Fahrzeugvarianten und die verschiedenen Sichtbedingungen.

Tabelle 09:

Prozentuale Häufigkeiten der seitlichen Abstände für die drei Fahrzeugvarianten, Beschreibung der Abstand-Kategorien siehe oben.

Sichtbedingungen N-0 = blau, N-A = grün, S-1 = gelb, S-2 = orange, S-3 = rot.

Bei Fahrzeug 3: S-R = Rückfahrkamera, S-T = Top View.

		N-0	N-A	autom	S-1	S-2	S-3	S-R	S-T
3	Fzg. 1	20	5	10	10	20	20		
2		55	50	30	60	30	30		
1		25	30	55	25	40	40		
0		0	15	5	5	10	10		
3	Fzg. 2	32	30	7	15	40	15		
2		47	35	60	25	35	30		
1		11	20	20	45	15	45		
0		11	15	13	15	10	10		
3	Fzg. 3	20	10	5	5	5		5	5
2		30	45	0	37	10		37	10
1		40	40	47	58	70		58	70
0		10	5	47	0	15		0	15

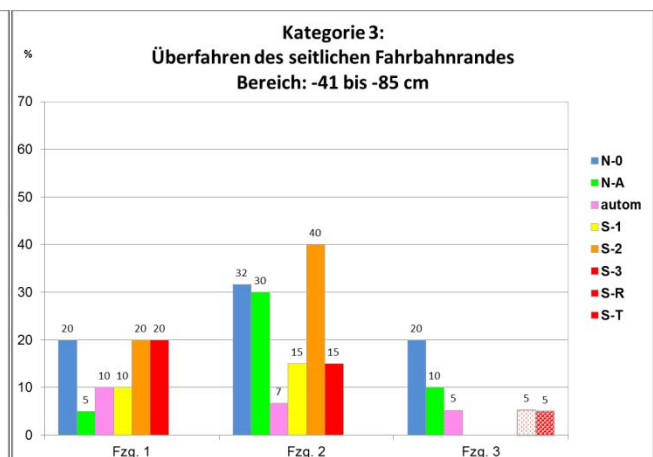
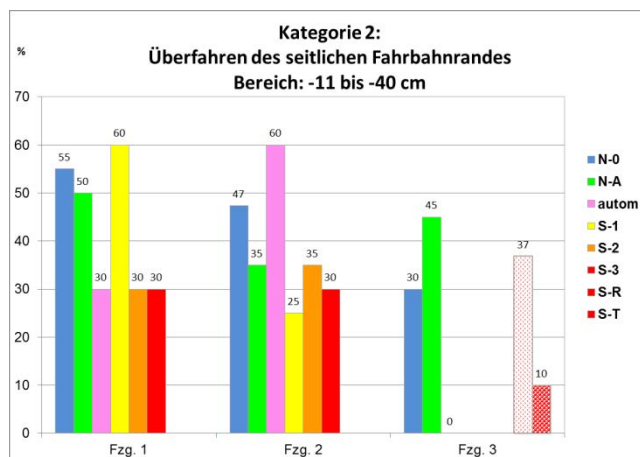
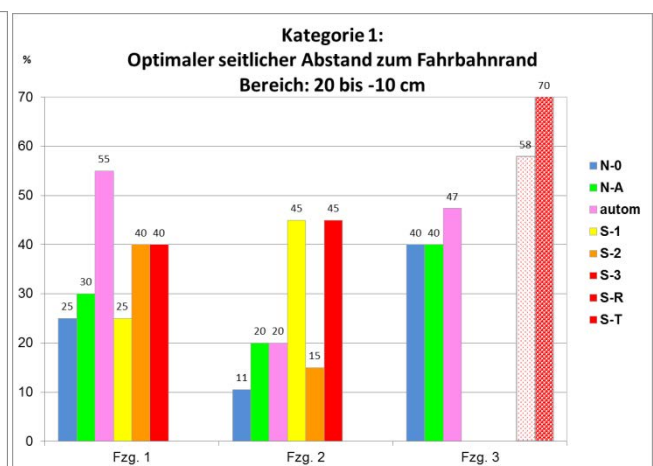
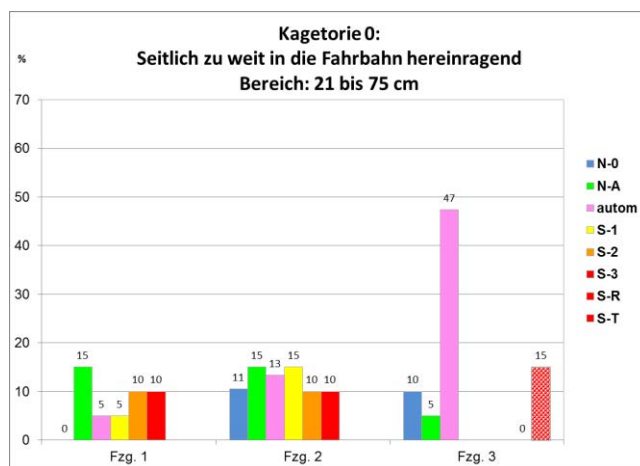


Abbildung 45:

Prozentuale Häufigkeiten der seitlichen Abstände für die drei Fahrzeugvarianten, Beschreibung der Abstand-Kategorien siehe oben.

Sichtbedingungen N-0 = blau, N-A = grün, S-1 = gelb, S-2 = orange, S-3 = rot.

Bei Fahrzeug 3: Rückfahrkamera = S-R, Top View = S-T.

Abbildung 45 zeigt die grafische Darstellung der Ergebnisse, sortiert nach Kategorien, Fahrzeugen, Sicht- bzw. Versuchsbedingungen.

Bei Kategorie 0 liegen die prozentualen Anteile in der Regel zwischen Null und 15 %, mit Ausnahme des automatischen Einparkens bei Fahrzeug 3. Hier entfallen 47 % in den Bereich, der zu weit in die Fahrbahn hinein ragt. Das System hat offensichtlich Probleme, den seitlichen Rand zu erkennen.

Auf Kategorie 1, also den optimalen seitlichen Abstand, entfallen relativ viele der gefahrenen Einparkmanöver.

Mit Assistenz lässt sich Fahrzeug 1 + 2 bei normaler Sicht etwas öfter in die optimale Position bringen.

Besonders hoch sind die Quoten für optimalen Abstand bei Fahrzeug 3 mit Rückfahrkamera (58 %) und die Top View (70 %).

Den seitlichen Fahrbahnrand um bis zu 40 cm (Kategorie 2) überfahren etwa 1/3 bis 2/3 der Probanden bei den verschiedenen Manövern, mit Ausnahme des automatischen Einparkens bei Fahrzeug 3 (0%) und der Bedingung Top View (10%).

Man gewinnt den Eindruck, dass sich bei Fahrzeug 1 / Fahrzeug 2 bei einigen Bedingungen, etwa dem automatischen Einparken, die Kategorien 1 und 2 ergänzen, womit 80 – 85 % der Fälle abgedeckt wären.

Das sehr starke Überfahren der seitlichen Begrenzung Richtung Gehweg (Kategorie 3) kommt beim automatischen Einparken sowohl bei Fahrzeug 1, Fahrzeug 2, als auch bei Fahrzeug 3 kaum vor (5 bis 10%).

Bei normaler Sicht ohne Assistenz liegen die Quoten bei 20 bzw. 32%. Die Assistenz führt hier meist zu deutlich besseren Ergebnissen.

Qualität der Einparkassistenten:

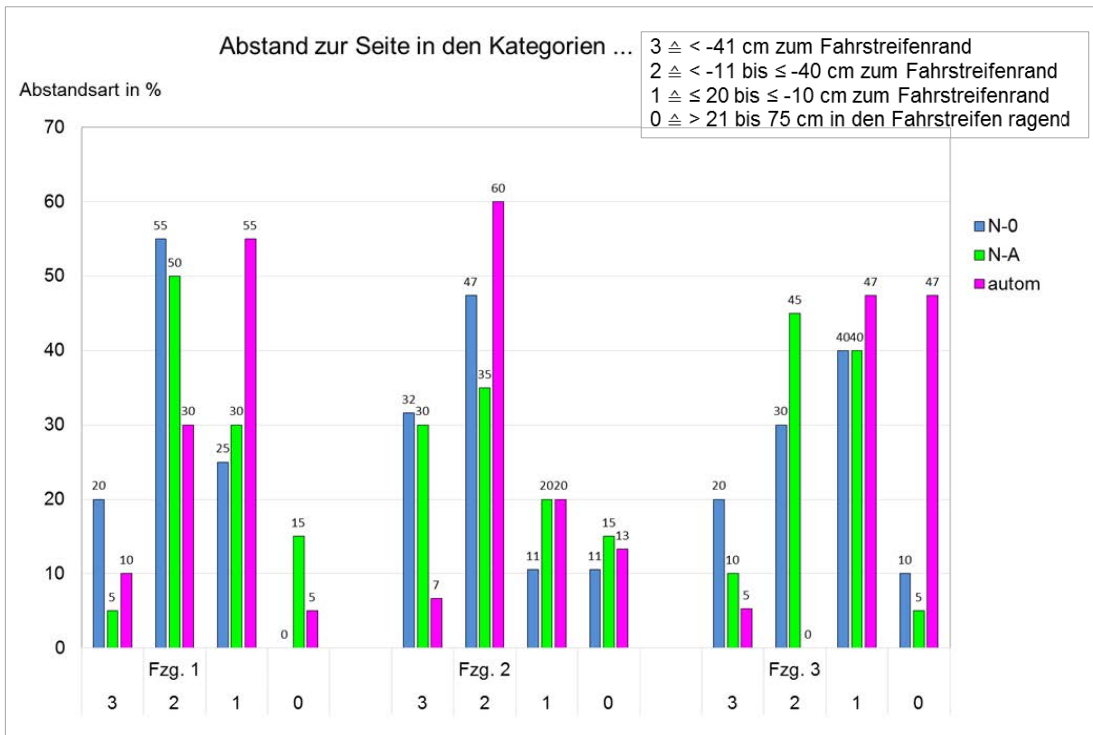


Abbildung 46:

Prozentuale Häufigkeiten der seitlichen Abstände für die drei Fahrzeugvarianten, die Abstand-Kategorien 0 bis 3.

Sichtbedingungen normal ohne Assistenz (N-0) = blau, normal mit Assistenz (N-A) = grün, automatisches Einparken = pink.

In Abbildung 46 wird der direkte Vergleich zwischen den Versuchsbedingungen N-0, N-A und automatisch dargestellt, pro Fahrzeugvariante in den Kategorien 0 bis 3. Die Grafik zeigt für die optimale Abstandskategorie (1) bei Fahrzeug 2

den tendenziellen Gewinn der Kamera. Bei Fahrzeug 3 zeigt sich dieser Effekt nicht.

Das Semi-automatische Einparken bei Fahrzeug 1 bringt bei dieser Probandengruppe eine deutliche Verbesserung gegenüber dem händischen Einparken, nicht jedoch bei der Probandengruppe von Fahrzeug 2 – hier hat sich das Hauptgewicht von Kategorie 1 auf Kategorie 2 verlagert. Die Gründe hierfür sind unklar.

Bei Fahrzeug 3 hingegen ist beim automatischen Einparken die Hälfte der Manöver in Kategorie 1 (optimaler Abstand) und zeigt somit eine deutliche Verbesserung zum händischen Manöver. Die andere Hälfte entfällt auf Kategorie 0 (zu weit in die Fahrbahn ragend), was zeigt, dass das System die weiße Begrenzungslinie schlecht erkannt hat.

5.5. Abstände zu den anderen Parkenden

Die Bezeichnungen der Versuchsbedingungen entsprechen denen in 5.1.

Abstände zu anderen Parkenden:

Wir betrachten das Manöver „Einparken längs rückwärts“.

Die Parklücke wurde von einem Fahrzeug vorne und einem Fahrzeug hinten begrenzt. Länge der Parklücke bei Fahrzeug 1 + 2 war 5,4 Meter, bei Fahrzeug 3 waren es 6,1 Meter, siehe auch Tabelle 10.

Abbildung 47 zeigt die Mittelwerte für je 20 Probanden in cm.

- Die Idealposition mit gleichem Abstand nach vorne und nach hinten liegt auf der Null-Linie,
- der Abstand von Fahrzeug 1 bzw. 2 zum dahinter geparkten Fahrzeug beträgt 57 cm, der von Fahrzeug 3 beträgt 62 cm, siehe Tabelle 10.
- Die mit „Minus“ gekennzeichneten Werte zeigen, dass das Versuchsfahrzeug vom dahinter parkenden Fahrzeug weiter weg steht (und entsprechend näher zum Vorderfahrzeug).

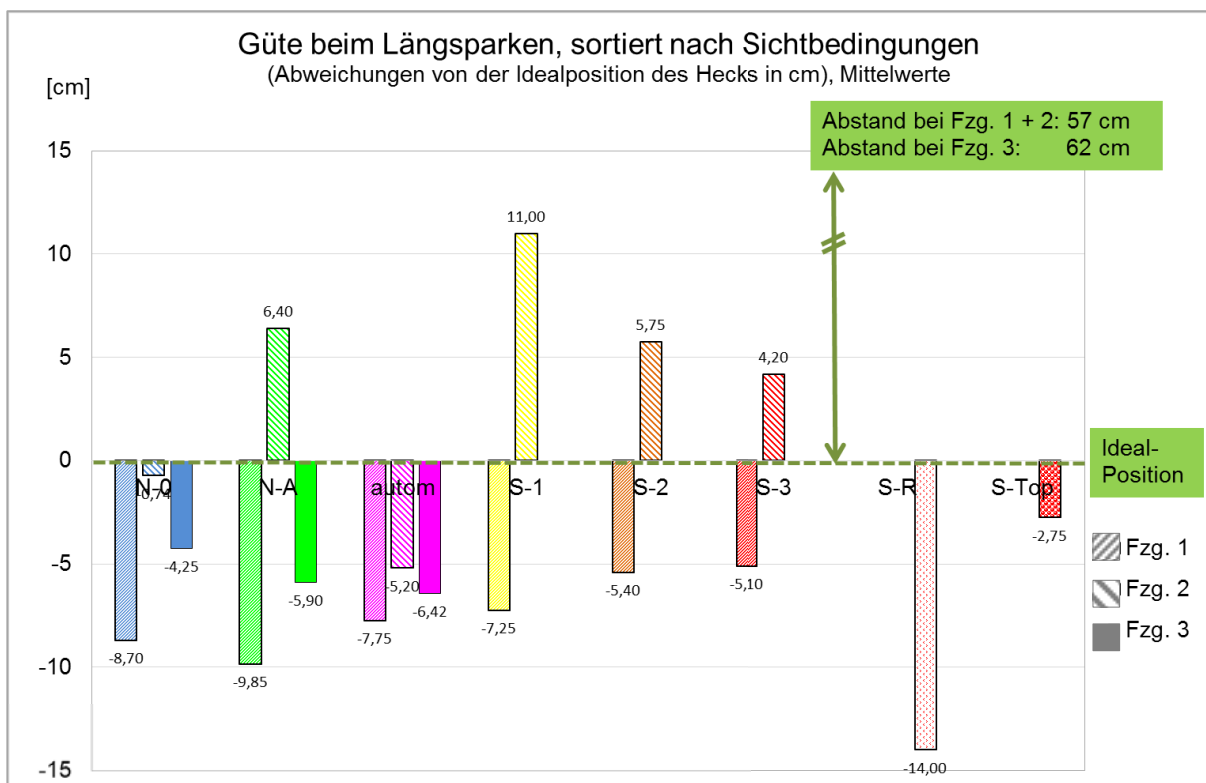


Abbildung 47:

Manöver Einparken längs rückwärts bei allen Sichtbedingungen.

N-0 = blau, N-A = grün, S-1 = gelb, S-2 = orange, S-3 = rot.

Fahrzeug 1 = schmale Streifen, Fahrzeug 2 = breite Streifen, Fahrzeug 3 = einfarbig bei N-0, N-A und automatisch, Rückfahr-Kamera = rot gepunktet, Top View = rote Noppen.

Tabelle 10:
Länge der Parklücke, des Fahrzeugs, optimaler Abstand.

	Fahrzeug 1 + 2	Fahrzeug 3
Länge der Parklücke (a)	5,40 m	6,10 m
Länge des Fahrzeugs (b)	4,26 m	4,86 m
Differenz (a-b)	1,14 m	1,24 m
optimaler Abstand nach vorne / hinten (jeweils die Hälfte)	0,57 m	0,62 m

Es fällt auf, dass bei Fahrzeug 2 mit Kamerasicht die Säulen für normale Sicht mit Assistenz (N-A), und die Sichteinschränkungen S-1, S-2 und S-3, ebenfalls alle mit Kamerasicht, im positiven Bereich liegen. Dies bedeutet, dass sich die Probanden mit Kamerasicht näher an das hinten parkende Fahrzeug heran wagen. Die Mittelwerte liegen zwischen 4,2 und 11 cm.

Wird mit Piepser und generischer Sicht gefahren (Fahrzeug 1), so liegen die Werte im negativen Bereich. Dies bedeutet, die Fahrer wagen sich nicht so nahe an das rückwärtig geparkte Fahrzeug heran. Die Mittelwerte liegen zwischen -5,1 und -9,85 cm.

Gleiches gilt auch für die Rückwärtsfahrt mit Fahrzeug 3, sowohl mit der Rückfahrkamera, als auch mit Top View. Mit Top View beträgt die mittlere Abweichung von der Idealposition nur -2,75 cm, bei der Rückfahrkamera -14 cm, dies zeigt, dass Top View einen Gewinn erzielt.

Wird (semi-)automatisch eingeparkt, so liegen die Abweichungen von der Idealposition bei allen drei Fahrzeugvarianten nahe beieinander (-5,20 bis -7,75 cm), im negativen Bereich, was bedeutet, dass die Automatik etwas mehr Abstand nach hinten hält.

Bei Fahrzeug 1 + 2 muss der Fahrer, nach Aufforderung des Systems, selbst bremsen, bei Fahrzeug 3 bremst das System automatisch.

6. Subjektive Ergebnisse

6.1. Mediane – Bewertung des Systems

Nachdem ein Proband mit einer Sichtbedingung / Systemauslegung die verschiedenen Manöver gefahren war, wurde er gebeten, einen Fragebogen auszufüllen. Die Fragen waren mit einem 5-stufigen Semantischen Differential ausgeführt; Abbildung 48 zeigt Beispiele. In unsystematischer Variation stand die positive Ausprägung des Adjektivpaares vorne, bzw. hinten, wodurch ein Shift in eine bestimmte Richtung vermieden wurde. Die mittlere Position war mit „weder / noch“ gekennzeichnet. In den folgenden Darstellungen sind die Ergebnisse so sortiert, dass die positive Ausprägung immer vorne steht (1), um die Lesbarkeit zu erleichtern.

Das Ein- und Ausparken war ...

○	-----	○	-----	○	-----	○	-----	○
angenehm				weder / noch				unangenehm
○	-----	○	-----	○	-----	○	-----	○
schwierig				weder / noch				einfach
○	-----	○	-----	○	-----	○	-----	○
komfortabel				weder / noch				unkomfortabel

Die Fragen beinhalten eine Einschätzung des Ein- und Ausparkens mit den Eigenschaftspaaren

- angenehm – unangenehm,
 - einfach – schwierig,
 - komfortabel – unkomfortabel,
- durch jeden Probanden nach der Fahrt mit jeder Bedingung.

Abbildung 48:
Beispiel für das Semantische Differential für die subjektive Einschätzung.

Für alle Bedingungen, außer N-0, wurde weiterhin eingeschätzt:

- Die Anzeige der Einparkhilfe war ... gut zu verstehen / schlecht zu verstehen.
- Mit dem Einpark-System kam ich ... gut zurecht / schlecht zurecht.
- Die Bedienung des Einpark-Systems war ... einfach / kompliziert.
- Mit dem Einpark-System fühlte ich mich ... sicher / unsicher.
- Hatten Sie das Einpark-Manöver unter Kontrolle? ... Ja, immer / nein, nie.

Die **Mediane** sind in Tabelle 11 dargestellt.

Ein Median ist definiert als der Wert, der die nach ihrer Größe geordnete Rangreihe der Messwerte halbiert, er ist dem Ordinalskalen-Niveau der Daten angemessen. Die Skala zur Einschätzung war jeweils 5-stufig, sie ist zur besseren Lesbarkeit geordnet von 1 (positiv) bis 5 (negativ).

Die oben dargestellten Fragen sind verkürzt dargestellt, jeweils nur mit dem positiven Adjektiv versehen.

Bezeichnet wird mit:

Fzg. 1: Das Fahrzeug der Kompaktklasse, in der Variante mit Piepser + generische (= grafische) Anzeige (das System heißt werksseitig: ParkPilot), beim automatischen Einparken: mit Park-Lenk-Assistent (heißt werksseitig: Park Assist).

Fzg. 2: Das Fahrzeug der Kompaktklasse, in der Variante mit Piepser + generische (= grafischer) Anzeige + Kamerabild (das System heißt werksseitig: Rear Assist), beim automatischen Einparken: mit Park-Lenk-Assistent (heißt werksseitig: Park Assist).

Fzg. 3: SUV, mit Piepser + Rückfahr-Kamera (wird bei Tabellen und Grafiken abgekürzt mit „R“) bzw. mit Piepser + Top View (abgekürzt mit „T“), beim automatischen Einparken: Parkassistent.

6.1.1. Vergleich: Normale Sichtbedingungen

Der erste Vergleich umfasst die normalen Sichtbedingungen,

- völlig ohne Assistenz (N-0),
- mit Assistenz (N-A), und
- automatisches Einparken (automatisch), wobei zu beachten ist, dass es sich bei Fahrzeug 1 + 2 um ein semi-automatisches, bei Fahrzeug 3 um ein automatisches System handelt.

Tabelle 11:

Beurteilung der Einpark-Systeme bei den Versuchsbedingungen „normale Sicht ohne Assistenz“ (N-0), „normale Sicht mit Assistenz“ (N-A) und „automatisches Einparken“. Die Fragen sind im Text dargestellt, hier nur verkürzt, genannt sind nur die positiven Ausprägungen der Gegensatzpaare. Die Skala ist 5-stufig, von 1 (positiv) bis 5 (negativ). Angegeben sind die Mediane. Farblich markiert sind die besten Ausprägungen pro Frage.

	Bedingung	N-0			N-A			automatisch		
Nr.	Mediane Frage	Fzg. 1	Fzg. 2	Fzg. 3	Fzg. 1	Fzg. 2	Fzg. 3	Fzg. 1	Fzg. 2	Fzg. 3
1	Ein- / Ausparken angenehm	2	2	2	1	1	2	2	2,5	1
2	Ein- / Ausparken einfach	3	2	3	2	1	2	1,5	2	1
3	Ein- / Ausparken komfortabel	2	2	3	1,5	1	2	2	2	1
4	Anzeige gut zu verstehen				1	1	1,5	1	1	1
5	Mit System zurecht kommen				2	1	2	2	2	1
6	Bedienung einfach				1	1	1	2	2	1
7	Mit System sicher fühlen				1,5	1	2	3	2	2
8	Manöver unter Kontrolle				1	1	2	2,5	2	2

Anmerkungen:

Da die Bedingung N-0 ohne Assistenz gefahren wurde, war hier nur das Ein- und Ausparken zu bewertet, nicht die Anzeige etc. des Assistenzsystems.

Die Werte sollten unter der Bedingung N-0 bei Fahrzeug 1 und 2 gleich sein, dies ist auch bei Frage 1 und 3 der Fall, bei Frage 2 beträgt der Unterschied eine Stufe, weshalb hier noch die Mittelwerte betrachtet werden, die sich jedoch kaum unterscheiden (N-0: 2,6 und 2,3; N-A: 2,2 und 2,0).

Auch das automatische Einparken sollte bei den Gruppen Fahrzeug 1 und 2 gleich bewertet werden, da hier die Systeme gleich waren. Bei 4 Fragen trifft dies auch zu, bei 3 Fragen ist ein Unterschied von ½ Stufe, lediglich bei Frage 7 ist eine Stufe Unterschied. Allerdings liegen die Mittelwerte sehr nahe beieinander (Differenz zwischen 0,1 und 0,4), so dass diese Abweichungen nicht relevant sind.

Vergleich N-0 und N-A:

Viel interessanter ist jedoch, dass die Bedingung „normale Sicht, mit Assistenz“ (N-A) bei Fahrzeug 1 + 2 immer und bei Fahrzeug 3 fast immer positiver bewertet wird, als die Bedingung „normale Sicht, ohne Assistenz“ (N-0).

Normale Sicht + Assistenz (N-A) und automatisches Einparken:

Das automatische Einparken wird bei Fahrzeug 3 als sehr angenehm, sehr einfach, und sehr komfortabel bewertet, das System von Fahrzeug 1 + 2 wird hier in der Regel um eine Stufe schlechter eingestuft.

Die Anzeige wird bei beiden Fahrzeugen sowohl in der Bedingung N-A, als auch beim automatischen Einparken sehr gut verstanden.

Die Fahrer von Fahrzeug 3 kamen mit dem automatischen Einpark-System sehr gut zurecht, die Fahrer von Fahrzeug 1 + 2 gut.

Die Bedienung des Einpark-Systems wurde unter der Bedingung N-A bei beiden Fahrzeugen als sehr einfach bewertet, in der Bedingung „automatisches Einparken“ gilt dies auch für Fahrzeug 3, während Fahrzeug 1 + 2 eine Stufe schlechter abschneidet.

Was das Gefühl der Sicherheit betrifft, so ist dies in der Bedingung N-A bei Fahrzeug 1 + 2 etwas stärker als bei Fahrzeug 3 (Median: 2).

Bei Fahrzeug 1 + 2 war das Gefühl, das Einpark-Manöver immer unter Kontrolle zu haben, in der Bedingung N-A stärker (Median 1) als bei Fahrzeug 3 (Median: 2). In der automatischen Einparkbedingung lag der Median bei beiden um den Wert 2.

Zusammenfassung der Vergleiche bei normaler Sicht:

Die Assistenz beim Einparken, im Vergleich zu Nicht-Assistenz, wird sehr positiv bewertet.

Wie Tabelle 11 zeigt, verzeichnet unter der Bedingung „normale Sicht, mit Assistenz“ (N-A) die Versuchsbedingung „Fahrzeug 2“, also mit Rückfahrkamera, den Median 1. Bei der Hälfte der Items weißt auch „Fahrzeug 1“, also mit generischer Anzeige, einen Median von 1 auf. Nur in einem Falle (Bedienung des Einpark-Systems) sind alle drei Versuchsfahrzeuge gleich.

Anders sieht es jedoch beim „automatischen Einparken“ aus:

Wie ebenfalls aus Tabelle 11 ersichtlich wird, liegt der Median bei den ersten 6 Fragen bei Fahrzeug 3 auf einem Median von 1. Diesen Wert erhält Fahrzeug 1 + 2 nur bei der Frage, ob die Anzeige der Einparkhilfe gut zu verstehen sei. Offensichtlich ist das vollautomatische System von Fahrzeug 3 dem semi-automatischen System von Fahrzeug 1 + 2 überlegen.

6.1.2. Vergleich: Veränderung der Sichtbedingungen

Der zweite Vergleich befasst sich mit den Sichteinschränkungen, die in Kapitel 4.2.3. beschrieben wurden. Beim Fahrzeug 1 und 2 wird die Sicht schrittweise auf die Sicht bei Fahrzeug 3 reduziert, bei Fahrzeug 3 auf die Sicht bei einem SUV mit schlechterer Sicht.

„Fahrzeug 1“ verfügt über Piepser + generische Anzeige, „Fahrzeug 2“ zusätzlich über ein Kamerabild.

- S-1: Sichteinschränkung bei Fahrzeug 1 + 2, ein horizontal verlaufender Streifen jeweils vorne und hinten.
- S-2: Sichteinschränkung bei Fahrzeug 1 + 2, ein horizontal verlaufender Streifen vorne, eine U-förmige Einschränkung hinten.
- S-3: Sichteinschränkung bei Fahrzeug 1 + 2, wie S-2 und zusätzlich ein horizontal verlaufender Streifen an den Seitenscheiben, sowie die völlige Verdeckung der Heckseitenscheibe an beiden Seiten des Fahrzeugs (entspricht der Sicht bei Fahrzeug 3).
- N-A bei Fahrzeug 3, entspricht der Sicht S-3 bei Fahrzeug 1 + 2.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 12 dargestellt.

Vergleicht man die drei Sichtbedingungen bei „Fahrzeug 1“, so sind bei 4 von 8 Fragen die Mediane gleich. Bei zwei Fragen, ob das Ein- bzw. Ausparken angenehm / unangenehm sei, bzw. komfortabel / unkomfortabel, ist die Bewertung bei S-1 und S-2 gleich, S-3 wird als unangenehmer bzw. unkomfortabler eingestuft.

Bei „Fahrzeug 2“ sind die Mediane nur bei zwei von 8 Fragen gleich (Anzeige gut zu verstehen, Manöver unter Kontrolle), bei 6 Fragen wird S-3 negativer eingestuft als S-2 und S-1 (sie sind meist gleich).

Vergleicht man die Bedingung „normale Sicht, mit Assistenz“ bei Fahrzeug 3 mit S-3 bei Fahrzeug 1 + 2, so wird Fahrzeug 3 als angenehmer, einfacher und komfortabler beim Ein-/Ausparken gewertet. Da die Sicht gleich ist, kann dies am Fahrzeug-Handling oder an der besser ausgelegten Assistenz von Fahrzeug 3 liegen.

Bezüglich des zurecht Kommens mit dem System, der Bedienung und des Gefühls der Sicherheit werden Fahrzeug 3 und Fahrzeug 1 / 2 (meist) gleich bewertet.

Betrachtet man nur die Sichtbedingung S-1, so erhält „Fahrzeug 2“, im Vergleich zu „Fahrzeug 1“, bei 5 von 8 Fragen die besseren Beurteilungen, bei 3 Fragen sind die Urteile gleich.

Bei Sichtbedingung S-2 sind die Mediane bei 5 Fragen gleich, bei drei Fragen erhält „Fahrzeug 2“ die besseren Mediane.

In Sichtbedingung S-3 fallen die Urteile in 6 von 8 Fragen bei „Fahrzeug 1“ und „Fahrzeug 2“ gleich aus.

Tabelle 12:

Beurteilung der Einpark-Systeme bei den Sichteinschränkungen S-1, S-2, S-3 bei Fahrzeug 1, 2 und 3.

Die Fragen sind hier verkürzt, genannt sind nur die positiven Ausprägungen der Gegensatzpaare. Die Skala ist 5-stufig, von 1 (positiv) bis 5 (negativ). Angegeben sind die Mediane. Farblich markiert sind die besten Ausprägungen pro Frage / pro Bedingung.

Fahrzeug 3 in Bedingung N-A wird mit Fahrzeug 1 + 2 in Bedingung S-3 verglichen.

Nr.	Bedingung Mediane Frage	S-1		S-2		S-3		N-A
		Fzg.1	Fzg.2	Fzg.1	Fzg.2	Fzg.1	Fzg.2	Fzg.3
1	Ein- / Ausparken angenehm	2	1,5	2	2	3	3	2
2	Ein- / Ausparken einfach	3	2	3	2	3	3	2
3	Ein- / Ausparken komfortabel	2	2	2	2	3	3	2
4	Anzeige gut zu verstehen	1	1	1	1	1	1	1,5
5	Mit System zurecht kommen	2	1	1,5	1	2	2	2
6	Bedienung einfach	1	1	1	1	1	1,5	1
7	Mit System sicher fühlen	2	1,5	2	1,5	2	2	2
8	Manöver unter Kontrolle	2	1	1	1	2	1	2

Insgesamt lässt sich festhalten, dass „Fahrzeug 2“ in den Versuchsbedingungen mit Sichteinschränkung bei 37,5 % der Fragen besser als „Fahrzeug 1“ bewertet wurde, bei 62,5 % der Fragen ist die Beurteilung gleich. Da es sich um das gleiche Fahrzeug handelt, muss der Unterschied der Bewertung der Rückfahrkamera gut geschrieben werden.

6.1.3. Vergleich: Rückfahrkamera versus Top View

Bei Fahrzeug 3 wurde bei zwei Versuchsbedingung die Sicht reduziert und zwar auf die eines

Tabelle 13:

Mediane: Vergleich von Rückfahrkamera und Top View bei Fahrzeug 3, Sichteinschränkung auf SUV mit schlechterer Sicht.

Nr.	Bedingung Mediane Frage	Fahrzeug 3	
		Rückfahr- kamera	Top View
1	Ein- / Ausparken angenehm	3	2
2	Ein- / Ausparken einfach	3	2
3	Ein- / Ausparken komfortabel	2,5	2
4	Anzeige gut zu verstehen	1,5	1
5	Mit System zurecht kommen	2	1,5
6	Bedienung einfach	1	1
7	Mit System sicher fühlen	2	2
8	Manöver unter Kontrolle	2	1

anderen SUV mit schlechterer Sicht.

Dazu wurde, wie in Kapitel 4.2.3. beschrieben, vorne, hinten und an allen Seiten ein horizontaler Streifen angebracht, weiterhin auf der Beifahrerseite ein vertikal verlaufender Streifen hinter der Beifahrertüre, sowie die Verdeckung der hintersten Seitenscheibe.

Als Assistenz-System standen zur Verfügung:

- S-R: Piepser + Rückfahrkamera (R).
- S-T: Piepser + Top View (T).

Wie Tabelle 13 zeigt, sind die Mediane bei der Frage nach der Bedienung des Systems und dem Gefühl der Sicherheit gleich, bei allen anderen Fragen wird Top View günstiger bewertet als die Rückfahrkamera. Top View wirkt sich somit günstig auf die subjektive Bewertung aus.

6.2. Ordnung der Versuchsbedingungen nach Schwierigkeit

Nach jedem Manöver (ausgenommen nach dem ersten) wurde der Proband gebeten, einzuschätzen, ob die eben gefahrene Versuchsbedingung oder die Bedingung davor schwieriger war. Abbildung 49 zeigt hier ein Beispiel:

War die erste Bedingung oder die zweite Bedingung für Sie schwieriger zum Einparken?

Schwieriger fand ich das Einparken ...

☐ in der 1. Bedingung

☐ in der 2. Bedingung

☐ beide waren gleich

Abbildung 49:

Beispiel für die Einschätzung der Schwierigkeit nach zwei Manövern.

Da jeder Proband eine andere Reihenfolge hat werden zur Auswertung die Bedingungen durch die jeweiligen Ausprägungen (z.B. N-0, N-A, S-1, ...) ersetzt. Auf diese Weise entstehen Relationen nach dem Muster „X ist schwieriger als Y“.

Die Bewertungen wurden anschließend sortiert und in Relation zu der möglichen Anzahl an Urteilen gesetzt.

Daraus ergeben sich die in Tabelle 14 und Abbildung 50 dargestellten Prozentsätze.

Wurden zwei Bedingungen als gleich schwierig eingestuft, so wurde das Urteil weggelassen.

Tabelle 14:

Einschätzung der Versuchsbedingungen – Was ist schwieriger?

	Fahrzeug	Fahrzeug 1	Fahrzeug 2	Fahrzeug 3
Einschätzung				
automatisch ist schwieriger als ...		65 %	68 %	16 %
N-0 ist schwieriger als ...		39 %	28 %	66 %
N-A ist schwieriger als ...		17 %	19 %	34 %
S-1 ist schwieriger als ...		19 %	22 %	
S-2 ist schwieriger als ...		28 %	42 %	
S-3 ist schwieriger als ...		69 %	72 %	
S-R ist schwieriger als ...				59 %
S-T ist schwieriger als ...				29 %

Wie die Daten zeigen, werden „Fahrzeug 1“ und „Fahrzeug 2“ in 4 Fällen sehr ähnlich beurteilt: Beim automatischen Einparken, bei N-A, S-1 und S-3.

Bei den Sichteinschränkungen S-1, S-2 und S-3 spiegelt sich sowohl bei „Fahrzeug 1“, als auch bei „Fahrzeug 2“ jede Sichtverschlechterung in deutlich höheren Schwierigkeitseinschätzungen.

Das automatische Einparken bei Fahrzeug 3 wird nur von 16 % der Probanden als schwieriger als irgendein anderes Manöver eingeschätzt. Hingegen wird das semi-automatische Einparken bei Fahrzeug 1 + 2 in 65 % bzw. 68 % der Fälle als schwieriger eingeschätzt als manuelles Einparken (mit und ohne Assistenz).

Bei normaler Sicht, ohne Assistent (N-0) ist es jedoch genau umgekehrt: Offenbar ist Fahrzeug 3 ohne Assistenz viel schwerer zu fahren (66 %), als Fahrzeug 1 + 2 ohne Assistenz (39 % / 28 %).

Bei normaler Sicht, mit Assistenz (N-A), ist die Relation ähnlich, nur sind die Werte niedriger: Bei Fahrzeug 3 findet etwa 1/3 der Fahrer N-A schwieriger als eine andere Bedingung, bei Fahrzeug 1 + 2 sind es 17 bzw. 19 %.

Die Rückfahrkamera bei Fahrzeug 3 wird etwa doppelt so häufig als schwieriger eingestuft als Top View. Top View ist somit klar im Vorteil.

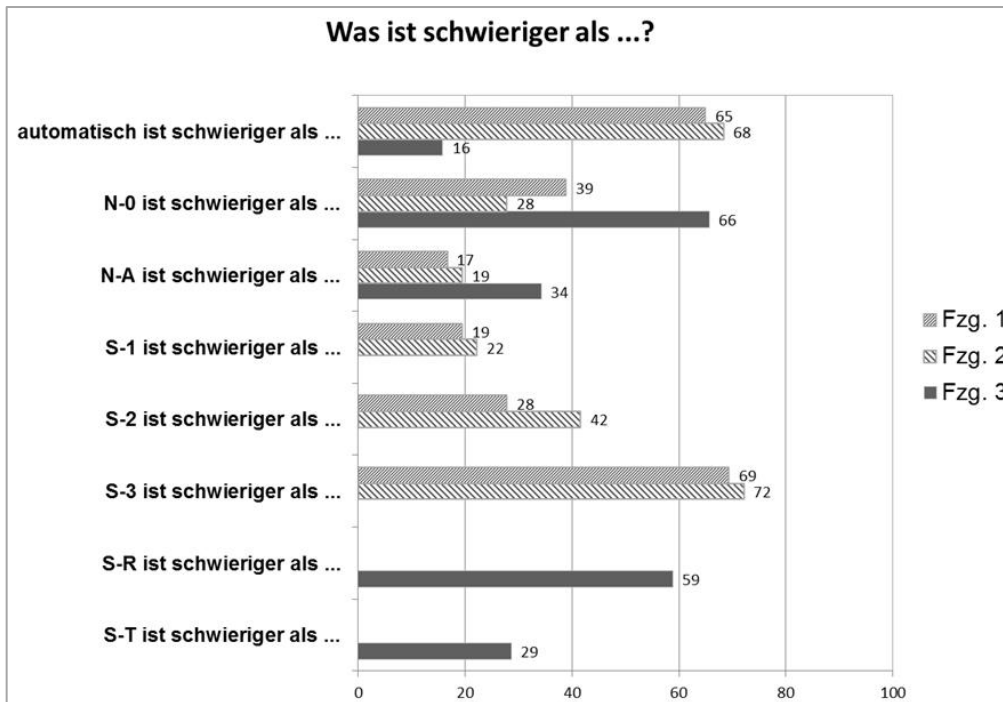


Abbildung 50:
Einschätzung der Versuchsbedingungen – Was ist schwieriger?

7. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

7.1. Tabellarische Ergebnis-Darstellung nach Fragestellungen sortiert

Tabelle 15:
Zusammenfassung der Ergebnisse zur Frage „Wieviel bringt die Assistenz?“

Wieviel bringt die Assistenz? (Vergleich N-0 und N-A)	
Messung	Ergebnis
Zeit	Fzg. 1 / 2 / 3: Kein Unterschied, ob mit oder ohne Assistenz gefahren wird. Bei Fzg. 3 dauern die Manöver länger als bei Fzg. 1 + 2.
Kollisionen	Fzg. 1 / 2 / 3: Ohne Assistenz mehr Kollisionen als mit Assistenz. Fzg. 1 / 2 / 3: Wenig Kollisionen bei Manöver Einparken quer rückwärts und Einparken längs rückwärts. Fzg. 1 / 2 / 3: Unfallträchtig: Ausparken quer rückwärts, wenn auch noch plötzlich ein Hindernis auftaucht (z.B. Rutschauto). Fzg. 3: Beim Rangieren an der Engstelle und beim vorwärts Quereinparken mehr Kollisionen als bei Einparken quer bzw. längs rückwärts und mehr Kollisionen als bei Fzg. 1 + 2.
Anzahl der Züge	Vergleich Fzg. 1 (generische Sicht) und Fzg. 2 (Kamera): Keine Unterschiede. Fzg. 3: Meist mehr Züge als bei Fzg. 1 + 2. Fzg. 1 / 2 / 3: Beim Einparken längs rückwärts und beim Rangieren an der Engstelle sind die meisten Züge erforderlich.
Abstand seitlich	Fzg. 1 + 2: In Kategorie des optimalen Abstands (1) zeigt sich tendenzieller Gewinn der Kamera.
Abstand vorne / hinten	Vergleich Fzg. 1 und 2: Mit Kamerasicht wagt man sich näher an hinteres Fahrzeug.
Bewertung	Fzg. 1 / 2 / 3: Fahrzeug mit Assistenz wird positiver bewertet als Fahrzeug ohne Assistenz.
Zusammenfassung	Assistenz wirkt sich bei der Anzahl der Kollisionen und in der Bewertung positiv aus. Kollisionen bei Ausparken quer rückwärts mit Hindernis sprechen für automatische Notbremse. Die Kamera ist gegenüber der generischen Sicht ein (tendenzieller) Vorteil.

Tabelle 16:

Zusammenfassung der Ergebnisse zum Thema „Gleiche Sichtbedingungen, gleiche Ausstattung – verschiedene Fahrzeuge“.

Gleiche Sichtbedingungen, gleiche Ausstattung – verschiedene Fahrzeuge (Vergleich Fzg. 2, S-3 mit Fzg. 3, N-A)	
Messung	Ergebnis
Zeit	Fzg. 2, S-3 verglichen mit Fzg. 3, N-A: Manöver rückwärts quer Einparken, rückwärts quer Ausparken (mit Hindernis): Zeiten gleich. Manöver längs Einparken, vorwärts quer Einparken und Engstelle: Fzg. 3 braucht länger (17 bzw. 30 sec.).
Kollisionen	Bei Fzg. 2 deutlich weniger (7) Kollisionen als bei Fahrzeug 3 (20). Fzg. 2 ohne Koll.: 12 Probanden, Fzg. 3 ohne Koll.: 8 Fahrer. Die meisten Rempler bei Fahrzeug 3 an Engstelle -> Fahrzeughandling.
Anzahl der Züge	Fzg. 2 meist weniger Züge als Fzg. 3.
Seitlicher Abstand	In der optimalen Abstandskategorie (1): Kein Unterschied zwischen Fzg. 2 und Fzg. 3.
Abstand vorne / hinten	Fzg. 2 wagt sich näher an hinteres Fahrzeug als Fzg. 3.
Bewertung	Fzg. 3 fast immer besser bewertet als Fzg.2.
Zusammenfassung	Fzg. 3 ist im Handling schwieriger als Fzg. 2: Im Vergleich zu Fzg. 2 (S-3) dauern einige Manöver bei Fzg. 3 (N-A) länger, es werden oft mehr Züge benötigt und mehr Kollisionen gezählt. Allerdings wird Fzg. 3 subjektiv fast immer besser eingestuft als Fzg. 2.

Tabelle 17:

Zusammenfassung der Ergebnisse zur Frage: Vorteile des automatischen Einparkens?“

Vorteile des automatischen Einparkens? (Vergleich N-0, N-A, automatisch)	
Messung	Ergebnis
Zeit	Vergleich zwischen Fahrzeug 1, Fahrzeug 2, Fahrzeug 3: Fzg. 1 + 2: Bei gleicher Sicht dauert automatisches Einparken länger als händisches (Bedingung N-0 und N-A) -> System wird nicht genutzt. Fzg. 3: automatisches Einparken schneller als händisches -> Systemnutzung!
Kollisionen	Fzg. 1: N-0, N-A, automatisch: gleich (je 1 Kollision). Fzg. 2: N-0 (= 0 Koll.), N-A (= 5 Koll.), automatisch (= 2 Koll.): Bei semi-automatischem Einparken weniger Kollisionen als bei N-A. Fzg. 3: Bei automatischem Einparken weniger Kollisionen (0).
Anzahl der Züge	Bei Bedingung N-0 und N-A steigt die Anzahl der Züge von Fzg. 1 zu Fzg. 2 zu Fzg. 3. Bei Fzg. 3: Anzahl der Züge gleich bei N-0, N-A und automatisch.

wird fortgesetzt

Abstand seitlich	Fzg. 1: In optimaler Abstandskategorie (1): semi-automatisches Einparken deutlich besser als händisches. Fzg. 3: In optimaler Abstandskategorie (1): automatisches Einparken besser als händisches. Fzg. 3: Beim automatischen Einparken zu oft (47 %) zu weit auf der Fahrbahn.
Abstand vorne / hinten	Abstandswerte der 3 Fahrzeuge ähnlich. (Semi-)Automatik hält etwas mehr Abstand nach hinten.
Bewertung	Fzg. 3: Automatisches Einparken wird sehr gut bewertet. Bei normaler Sicht mit Assistenz (N-A): Fzg. 1 (= generische Sicht): 4 von 8 Fragen mit sehr gut bewertet, Fzg. 2 (Kamerasicht): alle 8 Fragen mit sehr gut bewertet, Fzg. 3 (Kamerasicht): 1 von 8 Fragen mit sehr gut bewertet.
Zusammenfassung	Das semi-automatische Einparken bei Fzg. 1 + 2 dauert länger als das händische, dies ist ungünstig, da das System dann nicht genutzt wird. Bei Fzg. 3 geht das automatische Einparken schneller als das händische, dies ist ein großer Vorteil. Außerdem gibt es beim automatischen Einparken keine Kollisionen. Die Bewertung ist zudem sehr gut.

Tabelle 18:
Zusammenfassung der Ergebnisse zum Thema „Gesamtmittelwerte“.

Gesamtmittelwerte	
(Vergleich der gemittelten Werte)	
Messung	Ergebnis
Zeit	Fzg. 1 / 2 / 3: Kein Unterschied, ob mit oder ohne Assistenz (Vergleich N-0 : N-A). Fzg. 1 + 2: leichter Trend, je eingeschränkter Sicht, desto höher Zeitbedarf. Bei Fzg. 3 dauern die Manöver länger als bei Fzg. 1 + 2. Bei Fzg. 3: Kein zeitlicher Unterschied zwischen Rückfahrkamera und Top View.
Kollisionen	Fzg. 1 + 2: Kamera wirkt sich positiv aus. Jedoch Kollisionen, trotz Kamerasicht, deshalb automatische Notbremse zu empfehlen. Vergleich zwischen Fzg. 1 + 2 und Fzg. 3: Bei Fzg. 3 mehr Kollisionen. Fzg. 3: mit Assistenz weniger Kollisionen also ohne Assistenz. Fzg. 3: Kein Unterschied zwischen Rückfahrkamera und Top View.
Anzahl der Züge	Vergleich Fzg. 1 und Fzg. 2: etwa gleich viele Züge erforderlich. Fzg. 3: Benötigt ca. 1 Zug mehr als Fzg. 1 + 2. Fzg. 3: Anzahl der Züge bei Rückfahrkamera und Top View etwa gleich.
Abstand seitlich	Fzg. 1 + 2: Mit Assistenz öfter in optimaler Position. Fzg. 1, 2 und 3: Bei normaler Sicht ist Assistenz günstig. Ohne Assistenz steht das Fahrzeug zu oft im Acker (20-32 %). Fzg. 3: Bei Sichteinschränkung mit Rückfahrkamera oft (58 %) in optimaler Position, mit Top View noch öfter (70 %) in optimaler Position.

wird fortgesetzt

Abstand hinten	Fzg. 1 + 2: Die Kamera ist ein Gewinn. Fzg. 3: Bei Sichteinschränkung ist Top View besser als Kamerasicht. Alle Fahrzeuge: Beim automatischen Einparken sind die Abstände sehr ähnlich
Bewertung	Bei Fzg. 3: Top View fast immer besser bewertet als Kamerasicht. Bei Einschätzung „Was ist schwieriger ...“ wird Semi-automatisches Einparken (Fzg. 1 + 2) in 2/3 der Fälle als schwieriger eingeschätzt, automatische Einparken (Fzg. 3) nur in 16 % der Fälle. Bei normaler Sicht, ohne Assistenz, Fzg. 3 „schwieriger“ in 66 % der Fälle, Fzg. 1 + 2 nur in 39 bzw. 28 %. Bei normaler Sicht, mit Assistenz, Fzg. 3 „schwieriger“ in 1/3 der Fälle, Fzg. 1 + 2 nur in 17 bzw. 19 % der Fälle.
Zusammenfassung	Der Vergleich zwischen generischer Sicht und Kamerasicht bei Fzg. 1 + 2 zeigt Vorteile der Kamera bezüglich der Anzahl der Kollisionen und beim Abstand nach hinten. Der Vergleich zwischen Rückfahrkamera und Top View bei Fzg. 3 zeigt keine Unterschiede bezüglich der Zeit, der Anzahl der Kollisionen und der Anzahl der Züge. Beim Abstand zur Seite und nach hinten und auch bei den Bewertungen des Systems schneidet Top View jedoch besser ab.

7.2. Schlussfolgerungen

Die zentrale Frage bei der Bewertung von Parkassistenten betrifft die erforderliche Unterstützung bzw. den Automatisierungsgrad in Abhängigkeit von der Übersichtlichkeit des Fahrzeugs. Untersucht wurden - gemäß der generellen Taxonomie des VDA zur Automatisierung – Parkmanöver der Stufen 0 (manuell) bis 2 (automatisch mit Fahrerüberwachung). Das bedeutet, auch für diese Art von Manövern ist die Automatisierungsstufe ohne Fahrerüberwachung noch nicht erreicht. Der Fahrer bleibt stets Überwacher oder Rückfallebene bei Systemfehlern oder Systemgrenzen.

Eine wesentliche Voraussetzung für die Nutzung von Parkassistenten ist die technische Qualität und Zuverlässigkeit, sowie die einfache und schnelle Bedienung. Die Messungen, die mit der Lückenerkennung (speziell Längsparklücke) beginnen und bis zum Abschluss der Manöver dauerten, zeigen, dass bei den untersuchten Fahrzeugen die Systemauslegung unter diesem Aspekt gut gelungen ist. Im Gegensatz zum semi-automatischen benötigt das automatische System keinen längeren Zeitaufwand - es ist also davon auszugehen, dass es in der Praxis auch benutzt wird.

Reduzieren Parkassistenten die Anzahl der Kollisionen?

Generell konnte die Ausstattung mit Parkassistenten die Anzahl von Kollisionen reduzieren. Beim rückwärts Einparken traten die wenigsten Kollisionen auf. Ist daraus abzuleiten, dass Parkassistenten im Heck weniger Bedeutung haben? Das Gegenteil ist der Fall. Da speziell beim Ausparken rückwärts viele Kollisionen mit einem plötzlich auftauchenden Hindernis auftraten, muss hier mit technischen Mitteln für mehr Sicherheit gesorgt werden. Das bedeutet: Eine Rückraumüberwachung mit Eingriff beim Ausparken stellt eine zentrale Funktion zur Erhöhung der Sicherheit dar und sollte bei Parkassistenten integriert sein.

Wie ist der Nutzen von Kameras einzuschätzen?

Kameras können hilfreich sein beim Einparken in engen Parklücken, da sie mehr Information bieten. Beispielsweise konnte und wurde dadurch näher an andere Fahrzeuge oder seitliche Begrenzungen heran gefahren. Beim direkten Vergleich von 2 Fahrzeugen unterschiedlicher Größe

(Kompaktklasse versus. SUV), d.h. mit unterschiedlichen Handling-Eigenschaften und gleicher Übersichtlichkeit wird aber deutlich, dass Kameras kein Allheilmittel für Übersichtlichkeits- und Handling-Probleme sind. Bei beiden Fahrzeugen waren zahlreiche Parkrempler zu beobachten – speziell beim Rangieren an einer Engstelle. Das größere Fahrzeug schneidet hier schlechter ab als das kleinere. Eine gewisse Kompensation für schlechte Übersichtlichkeit durch Kameras kann mit Top View erreicht werden. Nicht nur in der subjektiven Bewertung sondern auch bei den objektiven Messwerten zeigt sich ein Vorteil dieser Technik. Top View ermöglicht zum einen eine Rundumsicht und lässt die Abstände zu Hindernissen leichter erkennen. Zum anderen ist die Information einfacher zu verstehen als bei den Kamerabildern mit verschiedenen farbigen Linien (vgl. Abb. 18).

Wie viel Automatisierung ist erforderlich und sinnvoll?

Obwohl nicht alle möglichen Kombinationen aus Automatisierung und Übersichtlichkeit im Rahmen der Studie untersucht werden konnten geben die Ergebnisse wichtige Hinweise.

Die Qualität der Lückenerkennung stellt einen zentralen Punkt dar. Beim semi-automatischen System musste die Lücke gegenüber den Angaben in der Betriebsanleitung vergrößert werden, um eine Erkennung und die Ausführung der Manöver zu ermöglichen. Das automatische System kam mit der Lücke gemäß Betriebsanleitung zurecht – allerdings war diese auch größer als die des Fahrzeugs mit dem semi-automatischen System.

Bei dem System mit automatischer Querführung war die zuverlässige Lückenerkennung nicht befriedigend (trotz genauer Befolgung der Anweisung der Betriebsanleitung und größerer Lücken). Es mussten also mehrere Versuche unternommen werden, um eine objektiv ausreichende Parklücke zu identifizieren, was zu längeren Manöverzeiten führte.

Nur mit dem System mit automatischer Längs- und Querführung waren alle Personen in der Lage, kollisionsfrei einzuparken. Die Probleme beim Ausparken bleiben jedoch (siehe oben).

Die Kombination aus Längsführung durch den Fahrer und Querführung durch das System stellt eine suboptimale Lösung dar, die zumindest gewöhnungsbedürftig ist. Das Mischsystem stellt keine zuverlässige Systemauslegung dar, vor allem wenn man berücksichtigt, dass das System in einem Fahrzeug mit guter Übersichtlichkeit untersucht wurde, und hier bereits Kollisionen auftraten.

Die Kollisionen beim semi-automatischen System machen noch ein weiteres Problem offensichtlich: die abstands- versus geschwindigkeitsabhängige Auslösung der Warnung. Die Ultraschallsensoren messen den Abstand zu Hindernissen, die Systeme warnen ab einem bestimmten Abstand mit optisch/akustischen Anzeigen. Dies erfolgt aber rein aufgrund des Abstands. Bei langsamen Parkmanövern und voll aufmerksamen Fahrern ist diese Warnstrategie ausreichend.

Im Versuch fuhren die Personen mit dem semi-automatischen System (aufgrund des höheren Systemvertrauens und der schnellen Lenkbewegungen) schneller in die Längsparklücke, so dass für einige die abstandsabhängige Warnung zu spät kam.

Überträgt man das auf Manöver außerhalb des Versuchs, so liegt nahe, dass Parkrempler u.a. unter Zeitdruck und hektischen Parkmanövern auftreten.

Eine Warnstrategie, die nicht nur den Abstand, sondern auch die gefahrene Geschwindigkeit berücksichtigt (ttc-basiert), würde bei höheren Geschwindigkeiten früher eingreifen und könnte Schwächen existierender Parkassistenten beheben. Eine Patentanmeldung der Robert Bosch GmbH (2000) gibt zwar einen Hinweis darauf, dass Abstand und Geschwindigkeit bei der Einschätzung der Kollisionsgefahr berücksichtigt werden sollen. Unseres Wissens nach ist dies aber in der Serie noch nicht umgesetzt.

8. Literatur

BlenderCommunity (14.2.2012). Blender. Abgerufen am 11.8.2016, von [wikibooks.org / wiki / Blender. Dokumentation](http://wikibooks.org/wiki/Blender_Dokumentation).

Brock, J. (Ed.), (2013). Biologische Daten für den Kinderarzt: Grundzüge einer Biologie des Kindesalters. Springer-Verlag.

Bubb, H., Bengler, K., Grünen, R. E., & Vollrath, M. (2015). Automobilergonomie. Springer-Verlag.

Dodgson N. A. (2004): Variation and extrema of human interpupillary distance. In: Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems XI. 19–22 January 2004, San Jose, California, USA. Proceedings of Electronic Imaging, Science and Technology. (= SPIE, International Society for Optical Engineering. Proceedings. 5291). SPIE, Bellingham WA 2004, ISBN 0-8194-5194-0, S. 36–46.

Fahrzeugmodelle von den Online Plattformen für 3D-Modelle (abgerufen 2016)

„Turbosquid“ (<https://www.turbosquid.com/>) und

„Flatpyramid“ (<http://www.flatpyramid.com/>)

Färber B., Färber B., Johnsen A. & Riffert E. (2015): Parkassistenten – Gesamtbericht, bestehend aus Teil A: Definition und Marktanalyse; Teil B: Bewertung von Parkassistenten; Teil C: Experimentelle Bewertung von Parkassistenten. Unveröffentlichter Bericht für die UDV, Berlin.

Hummel, T. & Lindenau, M. (Red.) (09/2016). Park- und Rangierunfälle. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., Reihe: Unfallforschung kompakt, Nr. 61. Unfallforschung der Versicherer, GDV. Berlin.

Hudelmaier, J. (2003). Sichtanalyse im Pkw unter Berücksichtigung von Bewegung und individuellen Körpercharakteristika. Doctoral dissertation, Technische Universität München.

Lange, W. & Windel, A. (2011). Kleine ergonomische Datensammlung. 14. Auflage, Köln, TÜV Media.

Offenlegungsschrift DE 198 43 564 A1 (2000). Deutsches Patent- und Markenamt. Anmelder: Robert Bosch GmbH.

Rockwell T. H. (1972): Skills, judgment and information acquisition in driving. In: Forbes T. W. (Ed.) Human factors in highway traffic safety research. New York: Wiley, 1972, p. 133-164.

SAE J 941 (1979) und (16.3.2010 rev.): Motor Vehicle Drivers' Eye Locations, J 941_201003, Driver Vision Standards Committee, Committee Information. Publisher: SAE International. SAE Handbook. Part 2, Society of Automotive Engineers, Inc.

Stolzenberg, H., Kahl, H. & Bergmann, K. E. (2007). Körpermaße bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz, 50(5-6), 659-669.

StVZO § 35b (2017): Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO), § 35b Einrichtungen zum sicheren Führen der Fahrzeuge, abgerufen am 12.4.2017.

Weißenberg, P. (6.5.2015). Die Tücke der Parklücke. Handelsblatt. Abgerufen am 8.8.2016, von <http://www.handelsblatt.com/auto/nachrichten/allianz-unfallstudie-die-tuecke-der-parkluecke/11735488.html>.

Woyna, L. (2014). Fahrerzentrierter Kriterienkatalog zur Außensichtbeurteilung im PKW. Doctoral dissertation, Technische Universität Darmstadt.

Dank an alle Beteiligten:

Um diese umfangreichen Berechnungen und den Versuch (Planung, Durchführung, Auswertung, Fotodokumentation) in der zur Verfügung stehenden Zeit umsetzen zu können, waren viele helfende Hände (und Köpfe!) nötig. Es waren dies:

- Berthold Färber,
- Brigitte Färber,
- Annika Johnsen,
- Michael Popp,
- Marek Kusber,
- Dorothee Bischof,
- Dominik Vogt.



Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.

Wilhelmstraße 43 / 43G, 10117 Berlin
Postfach 08 02 64, 10002 Berlin

Telefon 030 / 20 20 - 50 00, Fax 030 / 20 20 - 60 00
Internet: www.gdv.de, www.udv.de