

Westsächsische Hochschule Zwickau
University of Applied Sciences

Diplomarbeit

**Untersuchungen zum Blickverhalten von LKW-
Fahrzeugführern in Sichtsysteme zur Beobachtung des
rückwärtigen Verkehrs**

eingereicht an der
Westsächsischen Hochschule Zwickau

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Diplomingenieurs (FH)

vorgelegt von: **cand. ing. Dominik Eichhorn** geb. am 09.08.1997

Studiengang Kraftfahrzeugtechnik
Schwerpunkt Instandhaltung und Unfallanalyse

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

Autorenreferat/ Abstract

Die vorliegende Diplomarbeit beschäftigt sich mit dem Blickverhalten von LKW-Fahrzeugführern in die Sichtsysteme zur Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs. Dabei wird das konventionelle Spiegelsystem (KSS) mit dem modernen Kamera-Monitor-System (KMS) gegenübergestellt und vor dem Hintergrund verschiedener Blickparameter verglichen. Die getätigten Untersuchungen stellen in diesem Bereich der Nutzfahrzeuge die ersten dieser Art dar. Anhand einer umfangreichen Literaturrecherche werden die notwendigen Grundlagen zum menschlichen Blickverhalten und den technischen Aspekten der Sichtsysteme geschaffen. Zur Beurteilung des Blickverhaltens in die Sichtsysteme werden Versuche konzipiert, die mit der Unterstützung der Verkehrsakademie Kulmbach durchzuführen sind. Im Rahmen einer statischen Versuchsreihe werden Schätzungen zu Distanzen unternommen und dabei die Blickzeiten dokumentiert. Zudem sind Schätzungen der Geschwindigkeiten von überholenden Fahrzeugen im Zuge von dynamischen Fahrversuchen konzipiert. Ergänzend dazu sollen authentische Blickzeiten bei Fahrten unter möglichst realen Bedingungen die Erkenntnisse aus der statischen Versuchsreihe unterstützen. Die Datenerhebung und Auswertung werden mit dem zentralen Messinstrument in Form einer Eye-Tracking-Brille mit der dazugehörigen Software dargestellt, die von der Westsächsischen-Hochschule-Zwickau zur Verfügung gestellt wird. Ferner stellt das Ingenieurbüro Schrievers weitere Aufnahmeeinheiten für die Versuche. Anhand der umfangreichen Auswertung der Messdaten kann eine Vielzahl von Parametern erarbeitet werden, mit denen das Blickverhalten in die jeweiligen Sichtsysteme hinreichend beurteilt wird. Diese Parameter bilden Anhaltspunkte, die beispielsweise im Rahmen von Vermeidbarkeitsbetrachtungen in der Unfallforschung Anwendung finden.

Aufgabenstellung

Diplomthema für Herr Dominik Eichhorn,

„Untersuchungen zum Blickverhalten von LKW-Fahrzeugführern in Sichtsysteme zur Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs“

- Darstellung der notwendigen Grundlagen anhand einer Literaturrecherche
- Konzeption und Durchführung von Versuchsreihen zur Datenerhebung von Parametern zur Beurteilung des Blickverhaltens
- Auswertung der Versuchsreihen und Darstellung der Erkenntnisse
- Interpretation der Ergebnisse und Vergleiche der jeweiligen Sichtsysteme
- Zusammenfassung und Ausblick

Ausgabe des Themas: Prof. Dr. Klaus-Dieter Brösdorf

Erstbetreuer: Prof. Dr. Klaus-Dieter Brösdorf

Zweitbetreuer: Prof. Dr.-Ing. Lutz Nagel

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen (einschließlich elektronischer Quellen) direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind auch als solche gekennzeichnet.

Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und ist auch noch nicht veröffentlicht.

D. Eichhorn

Dominik Eichhorn

Selbitz, den 19.09.2021

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|------|
| Verzeichnis der Abbildungen..... | IX |
| Verzeichnis der Tabellen..... | XI |
| Verzeichnis der Abkürzungen..... | XII |
| Verzeichnis der Kurzzeichen..... | XIII |
| Verzeichnis der Formeln..... | XIV |
| Vorwort und Danksagung..... | XV |
| | |
| 1. Einleitung..... | 1 |
| | |
| 2. Grundlagen zum Blickverhalten..... | 2 |
| 2.1. Sensorische Informationsaufnahme..... | 2 |
| 2.2. Der visuelle Sinnesapparat..... | 4 |
| 2.2.1. Die Bereiche des Sehens..... | 4 |
| 2.3. Die Kenngrößen des Blickverhaltens..... | 5 |
| 2.3.1. Fixation..... | 5 |
| 2.3.2. Sakkaden..... | 8 |
| 2.4. Das Sehfeld..... | 9 |
| 2.5. Das Blickverhalten..... | 9 |
| 2.6. Räumliche Wahrnehmung..... | 10 |
| | |
| 3. Blickverhalten in Einrichtungen für die indirekte Sicht..... | 14 |
| 3.1. Fahraufgaben, bei denen die indirekte Sicht notwendig ist..... | 14 |
| 3.1.1. Fahraufgabe allgemein..... | 14 |
| 3.1.2. Visuelle Aufgaben, die aus der Fahraufgabe resultieren..... | 15 |
| 3.1.2.1. Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs..... | 15 |

| | |
|--|----|
| 3.1.2.1.1. Spurwechsel und Überholen..... | 17 |
| 3.1.2.1.2. Rangieren..... | 17 |
| 3.2. Sichtsysteme zur Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs..... | 17 |
| 3.2.1. Das konventionelle Spiegelsystem..... | 18 |
| 3.2.1.1. Gesetzliche Vorschriften..... | 18 |
| 3.2.1.2. Sichtfeld der Einrichtungen für die indirekte Sicht..... | 20 |
| 3.2.1.2.1. Außenspiegel (Gruppe: II)..... | 20 |
| 3.2.1.2.2. Weitwinkel-Außenspiegel (Gruppe: IV)..... | 21 |
| 3.2.2. Das Kamera-Monitor-System (KMS)..... | 22 |
| 3.2.2.1. Gesetzliche Vorschriften..... | 22 |
| 3.2.2.1.1. Einführung in technische Parameter der Kamera..... | 23 |
| 3.2.2.1.2 Einführung in technische Parameter des Monitors..... | 24 |
| 4. Untersuchungen zum Blickverhalten in Einrichtungen für die indirekte Sicht..... | 28 |
| 4.1. Versuchskonzept..... | 28 |
| 4.1.1. Betrachtungsgrundlage..... | 28 |
| 4.1.2. Versuchsziel..... | 28 |
| 4.1.3. Versuchsgelände..... | 28 |
| 4.1.4. Versuchsfahrzeuge..... | 30 |
| 4.1.5. Fixationsobjekt..... | 31 |
| 4.1.6. Dokumentation..... | 32 |
| 4.1.6.1. Dokumentation Blickverhalten..... | 32 |
| 4.1.6.2. Dokumentation Messergebnisse | 33 |
| 4.1.7. Vorbetrachtungen zum Versuchsaufbau..... | 34 |
| 4.1.7.1. Vorbetrachtungen zum statischen Versuch | 34 |
| 4.1.7.2. Vorbetrachtungen zum dynamischen Versuch..... | 35 |

| | |
|--|----|
| 4.2. Versuchsaufbau..... | 36 |
| 4.2.1. Statischer Versuch..... | 36 |
| 4.2.1.1. Versuchsgelände..... | 36 |
| 4.2.1.2. Anordnung der Fahrzeuge | 36 |
| 4.2.1.3. Probanden und deren Sitzposition..... | 38 |
| 4.2.2. Dynamischer Versuch | 39 |
| 4.2.2.1. Versuchsstrecke..... | 39 |
| 4.2.2.2. Anordnung der Fahrzeuge..... | 40 |
| 4.3. Versuchsdurchführung..... | 40 |
| 4.3.1. Statischer Versuch..... | 40 |
| 4.3.1.1. LKW mit Kamera-Monitor-System..... | 40 |
| 4.3.1.2. LKW mit Spiegelsystem..... | 43 |
| 4.3.2. Dynamischer Versuch..... | 44 |
| 4.4. Versuchsauswertung..... | 45 |
| 4.4.1. Vereinbarungen zur Analyse-Software..... | 45 |
| 4.4.2. Auswertung statischer Versuch..... | 47 |
| 4.4.2.1. Darstellung der Ergebnisse | 47 |
| 4.4.2.1.1. Versuchsreihe mit Kamera-Monitor-System..... | 47 |
| 4.4.2.1.1.1. Blick zum Monitor..... | 47 |
| 4.4.2.1.1.2. Blickverhalten auf dem Monitor..... | 48 |
| 4.4.2.1.1.3. Blick zurück vom Monitor..... | 51 |
| 4.4.2.1.2. Versuchsreihe mit Spiegel-System..... | 52 |
| 4.4.2.1.2.1. Blick zum Spiegel..... | 52 |
| 4.4.2.1.2.2. Blickverhalten auf der Spiegelfläche | 53 |
| 4.4.2.1.2.3. Blick zurück vom Spiegel..... | 56 |
| 4.4.2.2. Interpretation der Ergebnisse der statischen Versuchsreihe..... | 57 |

| | |
|---|----|
| 4.4.3 Auswertung dynamischer Versuch | 62 |
| 4.4.3.1. Darstellung der Ergebnisse..... | 62 |
| 4.4.3.2. Interpretation der Ergebnisse..... | 64 |
| | |
| 5. Zusammenfassung und Aussichten..... | 68 |
| | |
| Literaturverzeichnis..... | 71 |
| Anlagenverzeichnis..... | 73 |

Verzeichnis der Abbildungen

| Abbildung | Titel | Seite |
|------------------|---|--------------|
| Abb. 1 | Querschnitt des Auges (Bereiche des Sehens) [3, S.6] | 5 |
| Abb. 2 | Abhängigkeit der Fixationsdauer von der Komplexität des Streckenabschnittes [3, S.85] | 7 |
| Abb. 3 | Häufigkeitsverteilung bei ausgewählten Blickkategorien [3, S.86] | 7 |
| Abb. 4 | Tiefenhinweis der relativen Größe [12] | 11 |
| Abb. 5 | Tiefenhinweis der Linearperspektive [13] | 11 |
| Abb. 6 | Tiefenhinweis der gegenseitigen Verdeckung von Objekten [14] | 12 |
| Abb. 7 | Die hierarchischen Handlungsebenen | 15 |
| Abb. 8 | Fixationshäufigkeit in Abhängigkeit von der Entfernung bei konstanter Relativgeschwindigkeit [3, S. 49] | 16 |
| Abb. 9 | Sichtfeld aus dem Hauptaußenspiegel der Gruppe II [16, S.L237/47] | 21 |
| Abb. 10 | Sichtfeld aus dem Weitwinkel-Außenspiegel der Gruppe IV [16, S.L237/49] | 22 |
| Abb. 11 | Mercedes Actros mit Mirrorcam [18] | 23 |
| Abb. 12 | seitlich angebrachte Mirrorcam am Dachrahmen [20] | 23 |
| Abb. 13 | Einbauort des Monitors [23] | 25 |
| Abb. 14 | Aufteilung der Sichtbereiche des Monitors [24] | 25 |
| Abb. 15 | Warnsymbole am oberen Bildrand [25] | 26 |
| Abb. 16 | gelbe Hilfslinien am rechten Bildrand [26] | 27 |
| Abb. 17 | Versuchsgelände [27] | 29 |
| Abb. 18 | Versuchsgelände [27] | 29 |
| Abb. 19 | Versuchsstrecke dynamischer Versuch [28] | 30 |
| Abb. 20 | Versuchsfahrzeug mit KSS [27] | 30 |
| Abb. 21 | Versuchsfahrzeug mit KMS [27] | 31 |
| Abb. 22 | Fixationsobjekt statischer Versuch [27] | 32 |
| Abb. 23 | Fixationsobjekt dynamischer Versuch [27] | 32 |
| Abb. 24 | Eye-Tracking-Brille "Tobii Pro II Glasses" [30] | 33 |
| Abb. 25 | Versuchsaufbau Ausbildungsgelände als Übersicht [27] | 36 |
| Abb. 26 | Position des Versuchsfahrzeuges auf dem Nullpunkt [27] | 37 |
| Abb. 27 | Übersichtsbild Versuchsaufbau statischer Versuch [27] | 37 |

| | | |
|---------|---|----|
| Abb. 28 | Alters- und Geschlechterverteilung der Probanden | 38 |
| Abb. 29 | Sitzposition im KMS-LKW [27] | 38 |
| Abb. 30 | Sitzposition im Spiegel-LKW [27] | 39 |
| Abb. 31 | Anordnung der Fahrzeuge beim dynamischen Versuch | 40 |
| Abb. 32 | Distanzen der Hilfslinien [27] | 41 |
| Abb. 33 | Winkelbereiche bei Kopfbewegung beim KMS | 41 |
| Abb. 34 | Startposition mit Blick auf Kamera [27] | 42 |
| Abb. 35 | Blick zum Monitor mit fixiertem Fahrzeug [27] | 42 |
| Abb. 36 | Winkelbereiche bei Kopfbewegung beim KSS | 43 |
| Abb. 37 | Startposition mit Geradeausblick [27] | 43 |
| Abb. 38 | Blick zum Spiegel mit fixiertem Fahrzeug [27] | 44 |
| Abb. 39 | Sonnenstand der Versuchsreihe mit KSS | 44 |
| Abb. 40 | Layout der Analyse-Software Tobii Pro Lab [27] | 46 |
| Abb. 41 | Blickzeiten auf dem Monitor | 48 |
| Abb. 42 | Fixationsdauer erster Blick | 49 |
| Abb. 43 | Fixationsdauer zweiter Blick | 49 |
| Abb. 44 | Gesamtauswertung der Distanzschätzung mittels KMS | 50 |
| Abb. 45 | Auswertung der vordefinierten Bereiche | 51 |
| Abb. 46 | Blickzeit auf der Spiegelfläche | 53 |
| Abb. 47 | Fixationsdauer erster Blick | 54 |
| Abb. 48 | Fixationsdauer zweiter Blick | 55 |
| Abb. 49 | Gesamtauswertung Distanzschätzung mittels KSS | 55 |
| Abb. 50 | Auswertung der vordefinierten Bereiche | 56 |
| Abb. 51 | Gegenüberstellung der Gesamtergebnisse der Distanzschätzung | 60 |
| Abb. 52 | Gegenüberstellung der Geschwindigkeitsschätzungen | 62 |
| Abb. 53 | Blickzeiten bei der Auffahrt auf die Autobahn mittels KMS | 63 |
| Abb. 54 | Blickzeiten beim Durchfahren einer Baustelle mit KSS | 63 |
| Abb. 55 | Kontrollblick mit KMS | 65 |
| Abb. 56 | Kontrollblick mit KSS | 66 |
| Abb. 57 | Blick in Verbindung mit Fahraufgabe KSS | 66 |
| Abb. 58 | Blick in Verbindung mit Fahraufgabe KMS | 67 |

Verzeichnis der Tabellen

| Tabelle | Titel | Seite |
|----------------|---|--------------|
| Tab. 1 | Mindestwerte der Seitenlänge "a" und "b" für die Spiegelgruppe II und III [16, S.L237/30] | 19 |
| Tab. 2 | Anzahl der Spiegel [16] | 20 |
| Tab. 3 | Herleitung Schätzwerte | 34 |
| Tab. 4 | Unterteilung von Abstandsbereichen für die Auswertung | 35 |
| Tab. 5 | gewählte Geschwindigkeitsdifferenz für den dynamischen Versuch | 35 |
| Tab. 6 | Kategorien für Geschwindigkeitsdifferenz | 35 |
| Tab. 7 | Übersicht der Messstrecken und das verwendete Sichtsystem | 40 |
| Tab. 8 | Zeitbedarf Augen- & Kopfbewegung zum Monitor | 47 |
| Tab. 9 | Zeitbedarf Augen- & Kopfbewegung zurück vom Monitor | 52 |
| Tab. 10 | Zeitbedarf Kopfbewegung zum Spiegel | 53 |
| Tab. 11 | Zeitbedarf Kopfbewegung zurück vom Spiegel | 57 |
| Tab. 12 | Vergleich der Blickzuwendung zum jeweiligen Sichtsystem | 57 |
| Tab. 13 | Blickabwendung vom Sichtsystem | 58 |
| Tab. 14 | Zeitbedarf auf dem Sichtsystem | 59 |
| Tab. 15 | Zusammenstellung der Blickzeiten | 69 |

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

| | |
|-------|--|
| Abb. | Abbildung |
| DIN | Deutsches Institut für Normung |
| ECE | Economic Comission of Europe |
| EG | Europäische Gemeinschaft |
| EN | Europäische Norm |
| Gr. | Gruppe |
| ISO | Internationale Standardisierungsorganisation |
| KFZ | Kraftfahrzeug |
| KMS | Kamera-Monitor-System |
| km | Kilometer |
| km/h | Kilometer pro Stunde |
| kg | Kilogramm |
| KSS | Konventionelles-Spiegel-System |
| LKW | Lastkraftwagen |
| m | Meter |
| mm | Millimeter |
| ms | Millisekunde |
| NFZ | Nutzfahrzeug |
| s | Sekunde |
| StVO | Straßenverkehrsordnung |
| StVZO | Straßenverkehrszulassungsordnung |
| Tab. | Tabelle |

Verzeichnis der verwendeten Kurzzeichen

| Zeichen | Einheit | Bedeutung |
|--------------|---------|--|
| r | mm | Mittelwert der Krümmungsradien |
| $r_1 ; r_1'$ | mm | Hauptkrümmungsradius in einem Punkt |
| r_p | mm | Krümmungsradius als arithmetisches Mittel der Hauptkrümmungsradien |
| $a ; b$ | mm | Seitenlänge eines einbeschriebenen Rechteckes in der Spiegelfläche |
| m | kg | Fahrzeugmasse |
| t | s | Zeit |
| v | km/h | Geschwindigkeit |
| Δv | km/h | Differenzgeschwindigkeit |

Verzeichnis der verwendeten Formeln

| Nummer | Formel | Bedeutung | Seite |
|--------|---|---|-------|
| 1 | $\frac{170}{1 + \left(\frac{1000}{r}\right)}$ | Seitenlänge a des einzuschließenden Rechtecks eines Spiegels Gruppe II | 19 |
| 2 | $\frac{130}{1 + \left(\frac{1000}{r}\right)}$ | Seitenlänge a des einzuschließenden Rechtecks eines Spiegels Gruppe III | 19 |

Vorwort und Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand als Abschlussarbeit im Rahmen des Studiums an der Westsächsischen Hochschule Zwickau zum Diplom-Ingenieur (FH) im Fachbereich Kraftfahrzeugtechnik mit der Vertiefungsrichtung Instandhaltung und Unfallanalyse. Diese Arbeit stellt bisher die erste wissenschaftliche Arbeit des Verfassers in einem solchen Umfang dar. Die Themenwahl begründet sich im persönlichen Interesse des Verfassers an der forensischen Unfallanalyse. Aufgrund der fachlichen Vielfältigkeit des Themas in den Gebieten des visuellen Verhaltens und der Kraftfahrzeugtechnik, wird eine ausführliche Literaturrecherche vor die Auswertung und Beurteilung des Blickverhaltens in die jeweiligen Sichtsysteme gestellt.

Einen besonderen Dank gilt der Verkehrsakademie Kulmbach und insbesondere Herrn Michael Möschel (Geschäftsführer und Inhaber), welcher die Voraussetzungen für die Durchführung der Versuchsreihen zur Verfügung stellte. Dabei wurden dankenswerterweise das notwendige Versuchsgelände, die beiden Versuchsfahrzeuge sowie die personelle Betreuung im zeitlichen Interesse des Verfassers gestellt. Ein weiterer Dank gilt dem Ingenieurbüro Schrievers für die Kontaktvermittlung zur Verkehrsakademie Kulmbach und der Bereitstellung von technischem Equipment und personeller Betreuung. Ebenso bedankt sich der Verfasser bei allen beteiligten Probanden und Helfern, die ihren Beitrag an den Versuchen zugesteuert haben.

Seitens der Hochschule wird den Betreuern und insbesondere Herrn Dr. Klaus-Dieter Brösdorf ein Dank ausgesprochen, der stets für eine kompetente Zusammenarbeit sowie für Rückfragen und fachliche Gespräche zur Verfügung stand.

D. Eichhorn

Dominik Eichhorn

Selbitz, den 19.09.2021

1. Einleitung

„Das Auge macht das Bild, nicht die Kamera“

(Giséle Freund, 1908-2000, Fotografin und Fotohistorikerin)

Auch in Anbetracht des rasant ansteigenden Anteils der Technologie in den Kraftfahrzeugen führt derzeit noch der Mensch das Fahrzeug. Im Bereich der Sichtsysteme zur Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs werden die konventionellen Spiegel-Systeme von den kamerabasierenden Systemen zunehmend ersetzt. Dabei ist jedoch die Bedeutung der Kamera für die Interaktion zwischen dem Menschen und dem Verkehrsgeschehen zu diskutieren. Die Kamera stellt hierbei das Werkzeug dar, welches das reale Bild der Umgebung künstlich abbildet. Damit kann die Kamera aber auch neben den technischen Vorzügen eine zusätzliche Fehlerquelle darstellen. Letztlich ist aber immer das Auge dafür verantwortlich welche visuellen Informationen der Mensch aufnehmen kann, weshalb die Beurteilung des menschlichen Blickverhaltens unumgänglich ist.

Die Relevanz der Bewertung des Blickverhaltens gerade bei Lastkraftwagenführern zeigt sich bei der Betrachtung der Güterbeförderung im Straßenverkehr. Der Straßengüterverkehr bildet seit Jahrzehnten den größten Anteil der Beförderungsmöglichkeiten in Deutschland. Gründe hierfür können der zunehmende Onlinehandel und die Zunahme des internationalen Handels sein. Den Zahlen des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur von 2019/2020 zu folge, nimmt die jährliche Verkehrsleistung des Straßengüterverkehr in der Gesamtbetrachtung der letzten zehn Jahren stetig zu. [1] Mit der Zunahme der Verkehrsleistung steigt auch der Bestand der Lastkraftwagen auf den deutschen Straßen und Autobahnen. So wurden am 01.10.2020 beispielsweise 3.385.763 Lastkraftwagen im zentralen Fahrzeugregister erfasst. Diese erreichten eine durchschnittliche jährliche Verkehrsleistung von etwa 502 Milliarden Tonnenkilometer, Tendenz steigend. [2]

Im Rahmen dieser Arbeit wird das Kamera-Monitor-System (KMS) mit dem konventionellen Spiegel-System (KSS) gegenübergestellt. Vor unfallanalytischen Hintergründen werden dabei Blickzeiten für die Fahrzeugklassen N3 [17] erarbeitet, die dann Anknüpfungspunkte bilden und situationsbedingt angesetzt werden, um Rückschlüsse für die Zeitspanne der Verkehrsabwendung ziehen zu können. Ferner werden Tendenzen erarbeitet, inwieweit Distanzen und Geschwindigkeiten durch die jeweiligen Sichtsysteme eingeschätzt werden.

2. Grundlagen zum Blickverhalten

2.1. Sensorische Informationsaufnahme

Im Straßenverkehr hat der Fahrzeugführer neben Bewältigung der allgemeinen Fahraufgabe auch eine Vielzahl von Informationen zu verarbeiten. Aus der Informationsflut muss der Fahrzeugführer in einem Bruchteil einer Sekunde entscheiden, welche Informationen für ihn in diesem Augenblick relevant sind und welche Handlung auf diese folgt. Die Informationsaufnahme wird situationsbedingt immer wieder neu beurteilt und stellt damit eine zyklische Abfolge dar.

COHEN 2017 definiert die Sinne des Menschen als Schnittstelle zur Umwelt. Mit den fünf Sinnen (Sehen, Riechen, Hören, Tasten und Schmecken) werden Informationen über die Sensoren (Auge, Nase, Ohren, Haut, Zunge) aufgenommen [4, S.270]. Im Straßenverkehr werden mehr als 90 % der Informationen über die visuellen Sinnesorgane aufgefasst. Dies liegt im Wesentlichen daran, dass das Auge das einzige fernorientierte Sinnesorgan ist und durch räumliche Blickbewegungen gezielt Informationen aufnehmen kann [3, S1].

In der Literatur wird die optische Informationsaufnahme in drei Stufen unterteilt. In der ersten Stufe, dem sogenannten Sehen, wird die Umgebung noch unbewusst angeblickt. Über physiologische Vorgänge in den Sinneszellen werden Reize wie Helligkeit, Farbe, Räumlichkeit oder Bewegungen erfasst. Bei diesem Vorgang werden die Informationen zwar aufgenommen, jedoch noch nicht wahrgenommen. [4, S.207; 6, S.9]

Die zweite Stufe beschreibt das Wahrnehmen. HRISTOV 2009 weist in seiner Dissertation auf COHEN, der die Wahrnehmung als Resultat der Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung aus der ersten Stufe definiert. Die Aufmerksamkeit des Fahrzeugführers konzentriert sich dabei auf einen Teil oder auf ein einziges Objekt der Umgebung [5, S.15]. COHEN selbst verbindet die Wahrnehmung mit der Kognition, also als Teil der personenbezogenen menschlichen Denkprozesse [8, S.13; 4, S.272]. Die kognitive Wahrnehmung erklärt COHEN mit zwei unterschiedlichen Informationsströmen. Bei dem einen Informationsstrom nehmen die Sinnesorgane die Informationen auf und leiten diese zur weiteren Verarbeitung an das Gehirn weiter. Der Input (Information) fließt von den Sensoren zum Verarbeitungszentrum von "unten nach oben" [4, S.272]. So wird beispielsweise ein Geruch über die Nase erstmals gerochen und als gut oder schlecht riechend im Bewusstsein gespeichert. Bei dem anderen Informationsstrom aktiviert ein sensorischer Input (Information) das verwandte oder relevante Wissen des Fahrzeugführers. Der Informationsstrom fließt also vom Arbeitsgedächtnis zum Verarbeitungszentrum von "oben nach unten" [4, S.272]. Der Erfahrungsschatz des Fahrzeugführers entscheidet dabei über die Qualität der Handlungsentscheidung. COHEN zufolge entsteht die Wahrnehmung durch das Wechselspiel der beiden Informationsströme und ist damit vom Wissen und den Erfahrungen des

Fahrzeugführers abhängig. Er beschreibt ein Paradoxon, dass im Zuge der Betrachtung der Leistungsfähigkeit im Alter festgestellt wurde. Personen der jüngeren Altersgruppe verfügen über die maximal mögliche sensorische und motorische Leistungsfähigkeit. Es ist also zu erwarten, dass sich jüngere Personen kurz vor dem Kollisionsereignis frühzeitig und richtig handeln. Dies scheint jedoch nicht der Fall zu sein, da jüngere Personengruppen öfter an Kollisionen beteiligt sind als Personen der älteren Altersgruppe, obwohl im zunehmenden Alter die sensorische und motorische Leistungsfähigkeit stark abnimmt. Dabei zieht COHEN Rückschlüsse zu den beiden Informationsströmen. Jüngere Personengruppen können offensichtlich den Informationsstrom "von unten nach oben" schneller verknüpfen und damit die Informationen schneller aufnehmen. Personen der älteren Altersgruppen können die Information dagegen effizienter annehmen und den Informationsstrom "von oben nach unten" verwenden und durch den Erfahrungsschatz zielführender Handlungsentscheidungen treffen. [4, S.272]

Die dritte Stufe der optischen Informationsaufnahme bezeichnet das Erkennen. Das bisher angeblickte und schon wahrgenommene Objekt wird nun identifiziert [5, S.15].

Insgesamt ist der Teil der Wahrnehmung und des Erkennens sehr viel kleiner als das Gesehene. Bei der optischen Informationsaufnahme muss der Fahrzeuglenker die relevanten und die irrelevanten Informationen filtern, ohne dabei in die Überforderung zu geraten. Daraus folgt, dass die Informationsaufnahme als Kompromiss zwischen physiologischen Fähigkeiten und der personenabhängigen Belastungsgrenze angesehen werden muss, um eine angemessene Reaktion durchzuführen. Kommt es bei dem Selektionsvorgang zu einer Fehlentscheidung, so folgt ein Handlungsfehler des Fahrzeuglenkers. Folglich wird entweder keine oder mindestens eine verspätete Abwehrreaktion eingeleitet, die dann zum Fahrfehler oder zur Kollision führen. [6, S.7-8]

COHEN verweist auf eine Analyse von NAGAYAMA im Jahr 1978, wobei die sensorische Wahrnehmung bei Unfällen untersucht wurde. Die Unfallanalyse zeigte, dass etwa 50 % der Kollisionen auf fehlende oder verspätete Wahrnehmung zurückzuführen sind. Etwa 37 % der Kollisionsereignisse beruhen auf Fehlentscheidungen des Fahrzeugführers. Bei 2 % der Unfälle trifft zwar der Fahrzeugführer die richtige Entscheidung, jedoch folgte eine falsche Bedienung des Kraftfahrzeuges. [4, S.270,271]

2.2. Der visuelle Sinnesapparat

In diesem Kapitel wird zum einen der grundsätzliche Aufbau des menschlichen visuellen Sinnesorgans hinsichtlich der Bereiche des unterschiedlich scharfen Sehens aufgezeigt. Zum anderen sind die Kenngrößen des Blickverhaltens und deren Bewegungsmotorik zu untersuchen. Zum leichteren Verständnis sollen abschließend die verschiedenen Sehfelder definiert werden, in denen die visuelle Informationsaufnahme erfolgt.

2.2.1. Die Bereiche des Sehens

Wird ein Objekt in einer Umgebung angesehen, so nimmt das menschliche Auge unterschiedlich scharfe Bereiche wahr. Grundsätzlich werden dabei der foveale und der periphere Bereich abgegrenzt. [3, S.5]

Das angeblickte Objekt wird auf die Netzhaut (Retina) im hinteren Bereich des Auges projiziert, nachdem das ins Auge fallende Licht durch die Hornhaut gebrochen und die Linse gebündelt wurde. Die Rückseite der Retina besteht aus zahlreichen Photorezeptoren, die das Gesehene für die Informationsaufnahme in neuronale Impulse aufbereiten. Im Wesentlichen werden die Rezeptoren in die Stäbchen und Zapfen unterteilt. Je nachdem wie hoch die Verteilungsdichte der jeweiligen Rezeptortypen auf der Retina ist, wird die Wahrnehmung von Farbe durch die Zapfen oder das kontrastreiche Sehen durch die Stäbchen ermöglicht. [3, S.5; 10, S.100]

Im mittleren Bereich der Retina befindet sich die fovea centralis (gelber Fleck) im Schnittpunkt der Retina mit der verlängerten Sehachse mit einem Kegelöffnungswinkel von 2° . In diesem Bereich des gelben Fleckes befindet sich die höchste Dichte an Zapfen, die das scharfe Sehen und die größte farbliche Auflösung ermöglichen. Damit Objekte scharf wahrgenommen werden können, müssen diese also durch unterschiedliche Blickbewegungen in den fovealen Bereich verschoben werden. Je größer der Abstand zum fovea centralis wird, umso mehr verringert sich die Anzahl der Zapfen auf der Netzhaut und somit auch das scharfe Sehen. In einem Sichtkegel von 2° - 10° nimmt die Verteilungsdichte der Stäbchen stetig zu, weshalb die Auflösung kontrastreicher wird. Im Vergleich zum fovealen Bereich verringert sich die Auflösung insgesamt in diesem Bereich um etwa 30 %. Dieser Öffnungswinkel wird als parafovealer Bereich bezeichnet. Objektabschnitte, die sich außerhalb des Kegelöffnungswinkels von 10° befinden, werden unscharf wahrgenommen. Letzteres deshalb, da sich in diesem peripheren Bereich ausschließlich die Rezeptorstäbchen in einem größeren Abstand zueinander befinden. Mit Hilfe des peripheren Sehens können beispielsweise Bewegungsrichtungen von weit entfernten Objekten sowie Helligkeitsänderungen eingeschätzt werden. [5, S.17; 3, S. 5-6] Die Abbildung 1 veranschaulicht die beschriebenen Bereiche des Sehens.

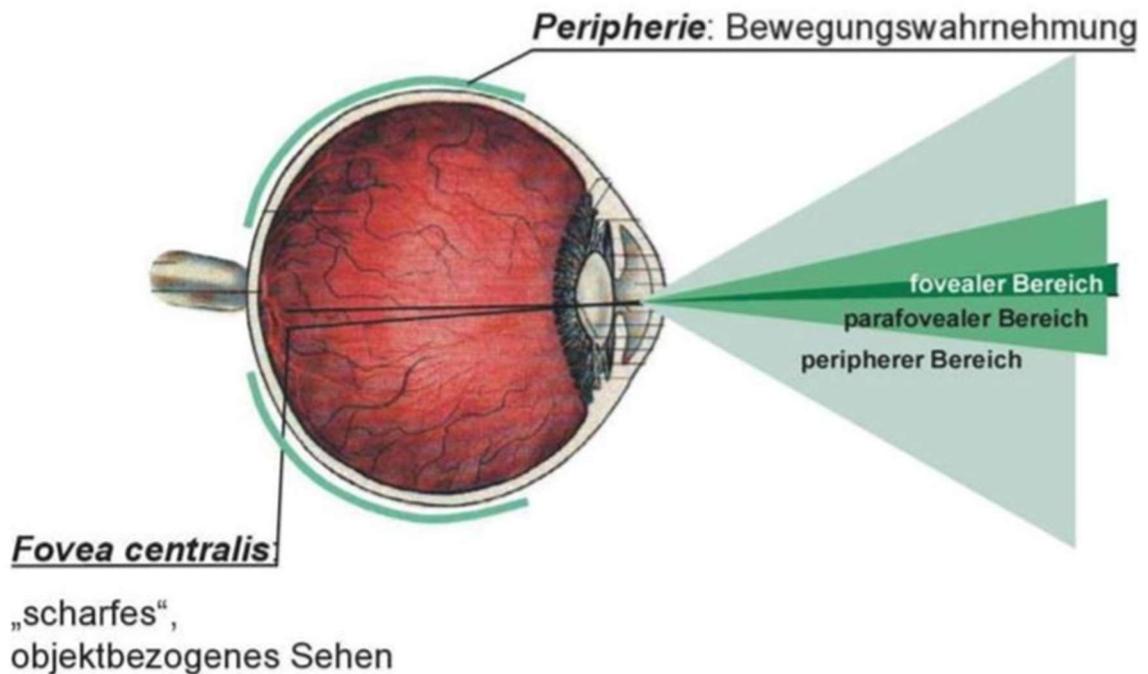


Abbildung 1: Querschnitt des Auges (Bereiche des Sehens) [3, S.6]

2.3. Die Kenngrößen des Blickverhaltens

Zur schnellen und präzisen Informationsaufnahme aus der Umwelt führt das menschliche Auge eine Vielzahl an Bewegungen aus. In der Literatur wird dabei grundsätzlich zwischen der Blickbewegung und der Augenbewegung differenziert. Als Augenbewegung wird die Bewegung des Auges zu der nächsten Informationsquelle verstanden, aus dessen äußerer Beobachtung Erkenntnisse zu den beschreibenden Größen, wie beispielsweise Blicksprungdauer gewonnen werden können. Die Blickbewegungen sind Bewegungen des Auges, wobei sich das Auge zum angeblickten Objekt orientiert, um dort den Informationsgehalt aufzunehmen, wie beispielsweise den Blick in den Rückspiegel, um ein rückwärtiges Fahrzeug zu fixieren [3, S.8]. Um Informationen aus einem angeblickten Objekt zu erfassen, muss dieses, wie bereits aufgezeigt, im sehr kleinen fovealen Bereich der Retina, also in dem Bereich des scharfen Sehens sein. Dabei verharrt das visuelle Sinnesorgan in einem interessanten Bereich und filtert aus diesem die relevanten Informationen. Um dann wiederum zu neuen Informationsquellen zu gelangen, wird die Blickrichtung durch eine sprungartige Bewegung ausgerichtet. Dieser Vorbetrachtung sind zwei Parameter des Blickverhaltens zu entnehmen, die im Folgenden in der notwendigen fachlichen Tiefe beschrieben werden.

2.3.1. Fixation

Die visuelle Informationsaufnahme erfolgt durch die Fixation eines Objektes im fovealen Bereich. Dabei muss das Auge nicht zwangsläufig stehen bleiben, da eine Verfolgung des fixierten Objektes durch eine Augenbewegung möglich ist. Bei der Objektverfolgung werden

Geschwindigkeiten von maximal 60 °/s erreicht [3, S.9]. Werden im peripheren Bereich weitere anzublickende Objekte wahrgenommen, so führt das Auge ruckartige Blicksprünge mit einer Geschwindigkeit von bis zu 1000 °/s aus, um das Zielobjekt in den foveale Bereich zu führen und zu fixieren [11, S.18].

Bei der Untersuchung des Blickverhaltens in Sichtsysteme zur Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs wird der angeblickte Bereich auf die Fläche des Spiegels oder des Monitors begrenzt. Als Maß für die visuelle Informationsverarbeitung bei der Betrachtung der Sichtsysteme und der Bewertung des Blickverhaltens stehen viele Parameter zu Verfügung. Im Rahmen dieser Arbeit sind vorrangig die Anzahl der Fixationen und die Fixationsdauer von Bedeutung. HRISTOV stellt die Anzahl der Fixationen mit den Komponenten gleich, die der Fahrer verarbeiten muss. Bei der Suche nach einem bestimmten Objekt tastet das Auge also so viele Objekte ab, bis das Zielobjekt gefunden wurde. Bei steigender Anzahl der angeblickten Objekte steigt demnach auch die Komplexität der jeweiligen Fahraufgabe. [5, S.29] Für die Betrachtung des rückwärtigen Verkehrs durch die Sichtsysteme wird eine geringere Anzahl von Fixationen erwartet, wie dies beispielsweise bei anderen Fahraufgaben der Fall wäre. Dabei wird erwartet, dass das Fahrzeug oder die Fahrzeuge fixiert werden, die sich im näheren Umfeld befinden sowie einige Referenzpunkte zur Abschätzung des Abstandes oder Geschwindigkeitsdifferenz.

Ein weiteres Maß für die visuelle Informationsaufnahme ist die Fixationsdauer. SCHWEIGERT 2003 führte unter anderem zum Thema Fixationszeiten einen Feldversuch durch. In der Vorbetrachtung zeigte sich, dass die Fixationsdauer von etwa 100 ms bis zu einigen Sekunden andauern kann. Die untere Grenze von etwa 100 ms stellt dabei eine physiologische Grenze dar, da unterhalb von dieser keine kognitive Verarbeitung bewusst stattfinden kann. [3, S.86] HRISTOV führt aus, dass eine längere Fixationsdauer auch eine längere Interpretationszeit ermöglicht. Eine lange Fixationsdauer hat aber auch zur Folge, dass in einem bestimmten Zeitraum weniger Informationen verarbeitet werden können. Damit seien kürzere Fixationsdauern von größerer Bedeutung, da hierbei in einem bestimmten Zeitraum mehrere Informationen aufgenommen werden können [5, S.19]. Ergänzend dazu erkennt SCHWEIGERT eine starke Beanspruchung des Fahrers durch kurz hintereinander folgende Fixationszeiten [3, S.84]. Dabei verweist SCHWEIGERT auf ein Diagramm, wobei die Häufigkeitsverteilung der Fixationsdauer bei verschiedenen komplexen Streckenabschnitten aufgezeigt wird [3, S.85].

In der Abbildung 2 wird dieses Diagramm reproduziert. Es wird ersichtlich, dass sich bei komplexen Streckenabschnitten, wie dies bei der Ortsdurchfahrt 3 und der Landstraße 1 der Fall war, eine Häufung der kurzzeitigen Fixationen abbildet. Bei einfacheren Abschnitten geht die Anzahl an Fixationen zwar zurück, jedoch verlängerte sich die Fixationsdauer. [3, S.86]

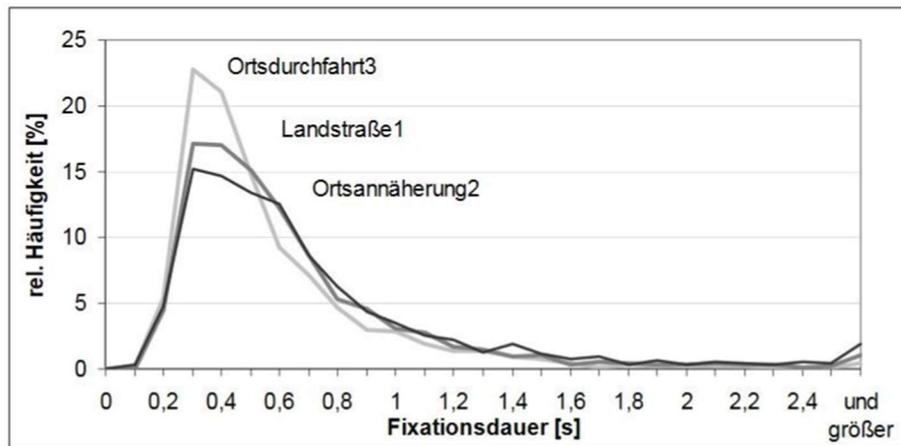


Abbildung 2: Abhängigkeit der Fixationsdauer von der Komplexität des Streckenabschnittes [3, S.85]

Bei der weiteren Auswertung des Feldversuches wurde die Fixationsdauer auf bestimmte ausgewählte Blickkategorien konkretisiert. Dabei stellte sich heraus, dass sich die Dauer der Fixation bei der gezielten Informationsaufnahme erhöht. So wurde beispielsweise der Blick auf den Tacho sowie der Blick auf rückwärtige Fahrzeuge kategorisiert. Die Abbildung 3 zeigt diese Häufigkeitsverteilung der ausgewählten Blickkategorien über der Fixationsdauer aufgetragen. Dabei stellte der Blick auf den rückwärtigen Verkehr zwar die am wenigsten fixierte Kategorie dar, jedoch sind die Fixationszeiten im Mittel am längsten. Die mittlere Fixationsdauer bei der Fixation in den Rückspiegel beträgt hierbei 0,68 s. [3, S.85]

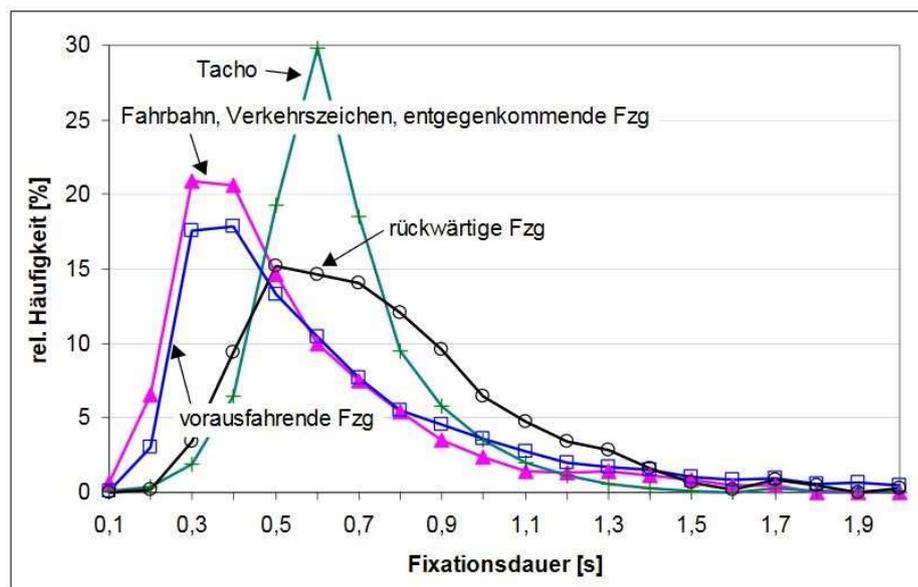


Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung bei ausgewählten Blickkategorien [3, S.86]

Als oberste Grenze für die Abwesenheit des Blickes von dem Verkehrsgeschehen bezieht sich SCHWEIGERT auf eine akzeptierte Verkehrsblindzeit von etwa zwei Sekunden. [3, S. 39-40]. Betrachtet man sich die Graphen in der Abbildung 3 hinsichtlich der Verteilung der Blickzeit in die Rückspiegel, wird für die Untersuchungen dieser Arbeit ein Blickzeit von 0,4 – 2 s erwartet.

2.3.2. Sakkaden

Sakkaden sind sehr schnelle, sprunghafte Bewegungen des Augapfels, um unscharfe Objekte aus dem Bereich der Peripherie in die Fovea zu bringen, wo diese dann fixiert werden. Wird eine sprunghafte Bewegung einmal eingeleitet, so wird diese als ballistischer Körper betrachtet, der den vorprogrammierten Kurs nicht mehr ändern oder gar stoppen kann. Zu Beginn einer solchen sprungartigen ballistischen Bewegung treten sehr hohe Beschleunigung sowie Geschwindigkeiten von etwa 1000 °/s auf. Diese Augenbewegungen sind damit auch die schnellsten Bewegungen im Inneren des menschlichen Körpers. Zwischen zwei Fixationen führt eine Sakkade das Auge zur neuen Informationsquelle. Da bei dieser sakkadischen Bewegung das auf der Retina projizierte Bild nicht wahrgenommen werden kann, erfolgt bei einer Sakkade keine Informationsaufnahme. [11, S.18]

In der Literatur wird eine Sakkade im Rahmen von unter 50 ms bis unter 80 ms eingegrenzt und durch die Amplitude und die Blicksprungzeit definiert [3, S.9]. Bei dem Wechsel zwischen zwei Fixationen sind oftmals Korrekturbewegungen und Mikrobewegungen des Auges notwendig, da meist das Zielobjekt nicht genau getroffen wird. Bei größeren Blicksprüngen gehen dann Kopfbewegungen einher. SCHWEIGERT gibt diesen Winkel, in dem sich nur das Auge bewegt, mit Verweis auf GRÜSSER (1987) mit etwa 10° Amplitudenwinkel an. [3, S.9]

Die genaue Dokumentation der Sakkaden-Parameter wird bei der Bewertung des Blickverhaltens oft nur begrenzt in die Auswertung mit einbezogen. Dies kann zum einen daran liegen, dass sich der Versuchsaufbau als sehr aufwendig gestaltet, da die sprunghaften Bewegungen des Auges mit vielen Messgeräten und Softwaregestaltungen unzureichend und damit fehlerhaft aufgezeichnet werden. Zum anderen ist auch die Beobachtung des Auges von außen sehr aufwendig, da dabei die einzelnen sakkadischen Bewegungen genau interpretiert werden müssen. Um dennoch Aussagen über das Maß der visuellen Suche treffen zu können, werden beispielsweise die Anzahl der Sakkaden bis zum Erreichen des Zielobjektes sowie die Anzahl der Sakkaden in einer Sekunde ausgewertet. Eine große Anzahl an Blicksprüngen während eines Suchpfades deutet auf ein extensives visuelles Suchverhalten. Dieses tritt zum Beispiel dann auf, wenn das Auge viele Objekte abtastet, bevor es das Zielobjekt findet. Damit das Maß der visuellen Suche vergleichbar ist und eine Normierung erfolgen kann, wird die Anzahl der Sakkaden pro Sekunde berechnet. [5, S.29]

2.4. Das Sehfeld

Folgende Begriffe müssen für das Verständnis bei der Bewertung des Blickverhaltens und der Darstellung der Ergebnisse definiert werden. Es sind also die Begriffe des Gesichtsfeldes, des Blickfeldes sowie des nutzbaren Sehfeldes voneinander abzugrenzen.

Das Gesichtsfeld beinhaltet den Ausschnitt der Umgebung, der ohne eine Bewegung des Auges sowie des Kopfes wahrgenommen werden kann. Durch die gleichbleibende Fixation beschränkt sich der Informationsgehalt auf den sehr kleinen fovealen Bereich. Da das periphere Feld dagegen sehr groß gesehen wird, gewinnt das Gesichtsfeld bei der Orientierung im Raum, der Abschätzung von Bewegungsrichtungen sowie der Auswahl der zu fixierenden Objekte an Bedeutung. [3, S.10; 5, S.20-22]

Das Blickfeld beschreibt alle Punkte, die durch Bewegung des Augapfels aber ohne Bewegung des Kopfes wahrgenommen werden. Durch die Augenbewegung ist es möglich, viele Punkte zu fixieren, weshalb der aufnehmbare Informationsgehalt des Blickfeldes sehr viel größer ist. Die notwendige Konsequenz daraus ist also, dass das Blickfeld ausgedehnter ist als das Gesichtsfeld. [3, S.10]

In der Literatur wird das nutzbare oder auch funktionale Sehfeld genannt, als situationsbedingter Teil des Blickfeldes bezeichnet, in dem die Informationsaufnahme stattfindet. [11, S.6] Diskussionsbedarf gibt es hingegen bei der Definition der fahrsituationsbedingten Größe des nutzbaren Sehfeldes. SCHULZ (2012) verweist auf MACKWORTH (1965) mit der Vermutung, dass sich das nutzbare Sehfeld beim Fahren verkleinert, umso höher die gefahrene Geschwindigkeit wird. Dieses Phänomen wird von MACKWORTH als Tunnelblick bezeichnet. [11, S.6]

COHEN beschreibt die subjektive Eingrenzung des Sehfeldes durch die steigende Belastung hervorgerufen durch die Häufung der Fixationsobjekte und die Komplexität der Fahraufgabe in Abhängigkeit von der Arbeitsweise und der Beanspruchung des Auges sowie dem Alter des Fahrzeuglenkers [4, S.278-280]. Auch SCHWEIGERT stellt die Ausdehnung des nutzbaren Sehfeldes mit der kognitiven Verarbeitung der wahrgenommenen Objekte mit der Abhängigkeit von physiologischen und räumlichen Aspekten sowie der mentalen Beanspruchung gegenüber [3, S.10].

2.5. Das Blickverhalten

Da nunmehr die notwendigen fachlichen Begriffe zur Formulierung des Blickverhaltens zugrunde gelegt wurden, wird dieses nachfolgend erläutert.

Das Blickverhalten definiert sich durch eine zyklische Abfolge von Blickfixationen und sakkadischen Bewegungen des Auges. Bei der Fixation verharrt das Auge an einem angeblickten Objekt und entnimmt den Informationsgehalt über dem fovealen Bereich.

Durch eine Sakkade wird der Blick auf eine neue, für relevant empfundene Informationsquelle fokussiert. Ziehen bestimmte Reize aus dem peripheren Umfeld die Aufmerksamkeit des Fahrzeuglenkers auf sich, so werden diese entweder reflexartig oder gezielt durch Sakkaden in den fovealen Bereich verschoben. Damit lässt sich bei dem Blickverhalten ein Zusammenspiel der Fovea und der Peripherie schließen. Folglich können mittels der Blickverhaltensanalyse Wahrscheinlichkeiten abgeschätzt werden, welche visuellen Reize und Informationen für den Fahrer in bestimmten Fahrsituationen von Interesse sind und wahrgenommen werden. Durch die Untersuchung des Fixationsortes und der Fixationszeit besteht die Möglichkeit auf erkannte Objekte und auf Handlungsprozesse des jeweiligen Verkehrsgeschehens zu schließen.

Auch bei der Unfallforschung wird die Analyse des Blickverhaltens dann von Interesse, wenn die Frage aufkommt, aus welchen Gründen der Fahrzeuglenker relevante Informationen zu spät oder erst gar nicht wahrgenommen hat. [4 S.277-278] Für die Untersuchungen dieser Arbeit wird das Blickverhalten in Sichtsysteme zur Beobachtung des rückwärtigen Verkehrsgeschehens analysiert. Ferner soll die zeitliche Beanspruchung zur Abschätzung von Distanzen durch die Sichtsysteme anhand der Blickzeiten herausgearbeitet werden.

2.6. Räumliche Wahrnehmung

Die wohl wichtigste Voraussetzung für das sichere Führen eines Fahrzeugs im Straßenverkehr ist die räumliche Wahrnehmung. Bei der Raumwahrnehmung sind zwei Kriterien besonders im Straßenverkehr entscheidend, um Objekte im Raum zu definieren. Einerseits wird durch die (relative) Tiefenwahrnehmung erkannt, welches von zwei Objekten weiter vom Betrachter entfernt ist. Andererseits kann anhand der (absoluten) Distanzschätzung abgeschätzt werden, wie weit ein Objekt vom Betrachter entfernt ist. [6, S.17]

Die relative Entfernungsschätzung respektive Tiefenwahrnehmung wird durch sogenannte Tiefenhinweise ermöglicht. Die Abschätzung von Entfernungen kann dabei mittels monokularer und binokularer Tiefenhinweise erfolgen. [6, S. 17-18]

Für die Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs in Sichtsysteme sind besonders die folgenden monokularen Tiefenhinweise von Bedeutung. Es muss darauf hingewiesen werden, dass der Mensch noch viele weitere Tiefenhinweise nutzt, deren Ausführung aber dem Ziel dieser Arbeit nicht beitragen.

Mit dem Kriterium, dass die wahre Abmessung eines Objektes dem Betrachter bekannt ist, wird der Tiefenhinweis der *relativen Größe* verwendet. Damit kann bei statischer Betrachtung ein räumlicher Bezug zum angeblickten Objekt hergestellt werden. [6, S.18; 3, S.8] Ein Beispiel für den Tiefenhinweis der relativen Größe wird in der Abbildung 4 veranschaulicht. Mit dem Wissen, dass der Tennisball kleiner ist als der Hund, kann differenziert werden, welcher Hund am weitesten entfernt gezeichnet und am nahestehenden gezeichnet wird.

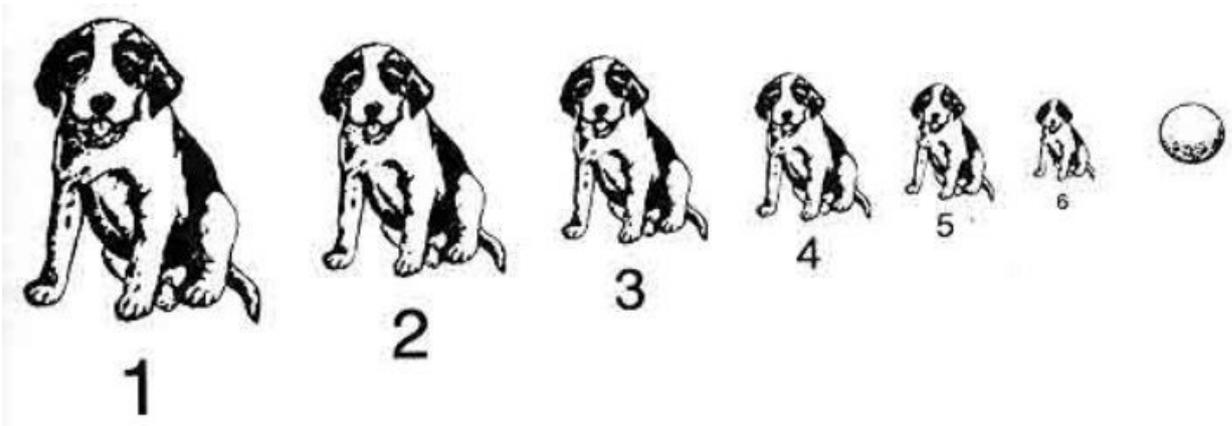


Abbildung 4: Tiefenhinweis der relativen Größe [12]

Der Tiefenhinweis der Linearperspektive zeigt ein optisches Paradoxon, welches aber die Tiefenwahrnehmung erleichtert. Verlaufen zwei Linien parallel zueinander, so werden die bei der optischen Abbildung perspektivisch verzerrt und konvergieren an einem Fluchtpunkt am Horizont. [6, S.18]

Dieses Phänomen wird in der Abbildung 5 dargestellt. Dabei werden die parallelen Leitlinien der Fahrbahn optisch verzerrt und verlaufen zum Horizont hin augenscheinlich zusammen. Durch die konvergierenden Linien entsteht eine räumliche Wahrnehmung der Abbildung und Entfernungen können leichter abgeschätzt werden.



Abbildung 5: Tiefenhinweis der Linearperspektive [13]

Ein weiteres Hilfsmittel zur Tiefenwahrnehmung ist der monokulare Tiefenhinweis der gegenseitigen Verdeckung von Objekten. Wird ein Objekt von einem anderen teilweise mehr oder weniger verdeckt, so befindet sich das verdeckte Objekt weiter entfernt. Die räumliche Wahrnehmung kann bei statischer oder auch bei dynamischer Betrachtung erleichtert werden. [6, S.18; 3, S.8] Gerade bei der Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs durch die jeweiligen Sichtsysteme gewinnt dieser Tiefenhinweis an Bedeutung. Auf der Abbildung 6 wird dieses Hilfsmittel durch einen Blick in den Rückspiegel veranschaulicht. Auf der linken Fahrbahn ist zunächst ein silberner Audi nahezu vollständig zusehen. Der nachfolgende silberne VW wird vom Audi teilweise verdeckt. Wiederum hinter dem VW befindet sich ein teilweise verdeckter schwarzer SUV. Anhand der gegenseitigen Verdeckung kann die Reihenfolge der Fahrzeuge gut festgelegt werden.



Abbildung 6: Tiefenhinweis der gegenseitigen Verdeckung von Objekten [14]

Wie die Abbildung 4 bis Abbildung 6 verdeutlichen, werden die monokularen Tiefenhinweise auch bei fotografischen Aufnahmen ausgenutzt. Es lässt sich feststellen, dass gerade dann die Abschätzung von Entfernungen genauer wird, wenn viele Tiefenhinweise entnommen werden können. [6, S.18-19]

Das zweite Kriterium der räumlichen Wahrnehmung ist die (absolute) Distanzschätzung, wobei sich die Frage dahingehend stellt, wie weit sich ein Objekt vom Beobachter entfernt befindet. Ein optischer Aspekt für die Einschätzung von Distanzen ist die retinale Größe (Größe des Bildes auf der Retina), da dieses sich im proportionalen Zusammenhang mit dem Blickabstand

verkleinert. Unterstellt man, dass die reale Objektgröße sowie das Verhältnis von Entfernung und retinaler Bildgröße konstant sind, dann lässt sich aus der Größe des Netzhautbildes die Entfernung kognitiv direkt ableiten. Demnach ist davon auszugehen, dass eine korrekte Distanzschätzung nur bei bekannten Objektgrößen erfolgt. [6, S.20]

ZÖLLER (2007) berichtet von Beobachtungen, wobei Entfernungen unterschätzt wurden, wenn das Objekt größer war als vom Betrachter gedacht. Weiterhin verweist Zöller auf Versuchsreihen mit dem Ergebnis, dass strukturierte Umgebungen förderlich für die Einschätzung der Entfernungen seien. Als strukturierte Umgebung werden zum Beispiel Leitposten im gleichen Abstand oder Fahrbahnmarkierungen verstanden. Bei monotonen oder unstrukturierten Umgebungen wurden die Entfernungen tendenziell unterschätzt, was auf die Komprimierung des Sehfeldes bei großen Distanzen zurückzuführen ist. [6, S.20]

Die Beobachtungen und Versuchsreihen, die von ZÖLLER beschrieben werden, zeigen wiederum den Zusammenhang der relativen Tiefenwahrnehmung und der absoluten Distanzschätzung zur räumlichen Wahrnehmung. Die zur Verfügung stehenden Tiefenhinweise helfen dem Betrachter die Distanz zu Objekten hinreichend abzuschätzen. Auch bei den Versuchen dieser Arbeit wird die Verwendung von Tiefenhinweisen bei der Einschätzung der Distanz zum rückwärtigen Verkehr erwartet.

3. Blickverhalten in Einrichtungen für die indirekte Sicht

3.1. Fahraufgaben, bei denen die indirekte Sicht notwendig ist

3.1.1. Fahraufgabe allgemein

Das Führen eines Kraftfahrzeugs wird durch regelungstechnische Aufgaben definiert. Der Fahrzeuglenker steuert das Fahrzeug durch die Wechselwirkung von externen Größen und spezifischen Handlungsstrategien. Das Kraftfahrzeug soll dabei durch den unmittelbaren Abgleich von Führungs- und Nachführungsgrößen stabil geführt werden. Durch die Kompensation der Längsdynamik (Geschwindigkeitsanpassung, Abstand halten) und der Querdynamik (Querbeschleunigung- und Gierwinkel Anpassung) wird das Fahrzeug in einem stabilen Regelbereich gehalten. Die flexiblen und schnellen Handlungsstrategien, die jeweils aufeinander abzustimmen sind, charakterisieren die Fahraufgabe. Die Handlungsstrategien lassen sich in drei hierarchische Ebenen / Aufgabenbereiche abgrenzen. [3, S.22-24]

Die erste und wichtigste Handlungsebene beschreibt die sogenannten primären Aufgaben. Anhand der primären Aufgaben soll das Fahrzeug sicher im Straßenverkehr geführt und auf Kurs gehalten werden. Die primäre Ebene lässt sich in drei Unterkategorien unterteilen, wobei die erste Kategorie die Navigationsebene darstellt. Dabei wird die Fahrstrecke zunächst (zum Beispiel mit dem Navigationsgerät) grob geplant. In der zweiten Kategorie, der Bahnführungsebene wird ein geeigneter Fahrkurs für die unmittelbar bevorstehenden Streckenabschnitte ausgewählt. Die dritte Kategorie, die Stabilisierungsebene, stellt das Spurhalten auf der Fahrbahn und die Anpassung der Abstände zu anderen Verkehrsteilnehmern dar.

Die sekundären Aufgaben werden in der zweiten Handlungsebene definiert. Sekundäre Aufgaben unterstützen die primären Aufgaben oder machen diese erst möglich. Beispielsweise wird die Kommunikation zu anderen Verkehrsteilnehmern durch das Betätigen von Blinkern dargestellt. Ferner wird durch die Betätigung der Scheibenwischer für eine freie Sicht gesorgt, was die Einhaltung des Fahrkurses sicherstellt.

In der dritten Handlungsebene werden die tertiären Aufgaben beschrieben. Diese befriedigen die Bedürfnisse des Menschen bei Fahrt hinsichtlich der Kommunikation (Bedienung des Radios) oder der Komfortverbesserung (Steuerung der Klimaanlage). [3, S.22-23] Zur leichteren Bezugnahme werden die hierarchischen Handlungsebenen in der Abbildung 7 veranschaulicht.

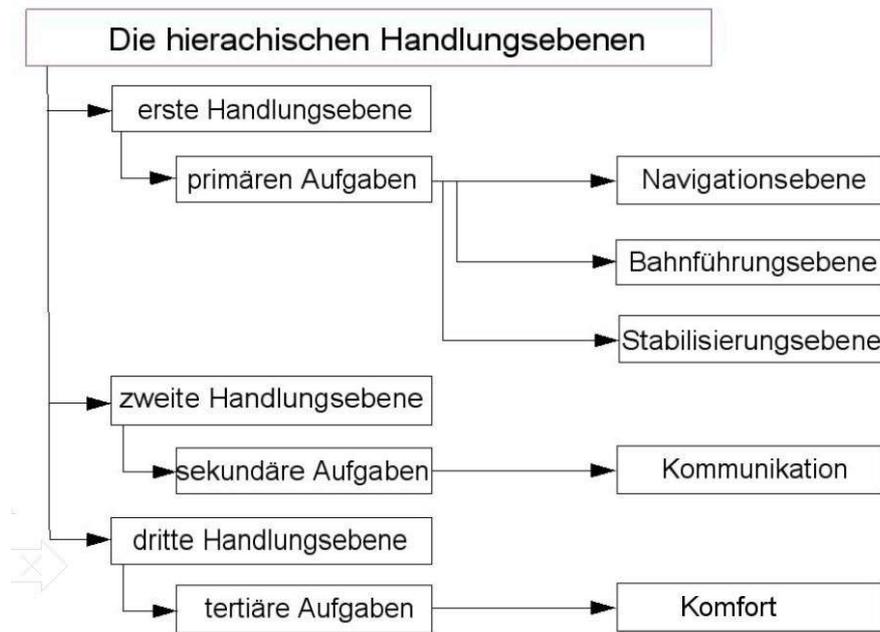


Abbildung 7: die hierarchischen Handlungsebenen

Das Blickverhalten in Einrichtungen zur Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs ist in der ersten und zweiten Handlungsebene zu untersuchen. So kann in der Stabilisierungsebene zum Beispiel die Anpassung der Abstände durch den rückwärtigen Blick abgesichert werden. Ebenso ist es in der zweiten Handlungsebene notwendig für Fahraufgaben, bei denen die Kommunikation zu anderen Verkehrsteilnehmern zu erfolgen hat, den Blick in die Sichtsysteme zur Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs durchzuführen.

3.1.2. Visuelle Aufgaben, die aus der Fahraufgabe resultieren

Aus der jeweiligen zu bewältigenden Fahraufgabe ergeben sich zahlreiche visuelle Aufgaben, die je nach Fahrsituation erfolgen müssen. Zu nennen sind beispielsweise die Überwachung der Spurhaltung, des vorrausfahrenden Verkehrs und der Tätigkeiten anderer Verkehrsteilnehmer. Für die Betrachtungen dieser Arbeit wird sich auf die Überwachung des rückwärtigen Verkehrsraumes eingeschränkt. Im Folgenden werden visuelle Aufgaben betrachtet, die bei ausgewählten Fahraufgaben besonders durch die rückwärtige Sicht notwendig sind.

3.1.2.1. Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs

Die Überwachung des rückwärtigen Raumes respektive des Nachfolgeverkehrs ist grundsätzlich bei jeder Fahraufgabe hilfreich, um das gesamte Verkehrsgeschehen vollumfänglich einzuschätzen. Von Bedeutung wird der Informationsgehalt des rückwärtigen Verkehrsraumes dann, wenn beispielsweise eine Fahrkursänderung geplant wird oder eine Gefahrensituation abgewehrt werden muss.

In dieser Arbeit soll das Blickverhalten von LKW-Fahrern betrachtet werden. Es stellt sich also zunächst die Frage, welche Fahraufgaben eines LKW-Lenkens mit einem Blick in die Sichtsysteme zur Beobachtung des rückwärtigen Raumes einhergehen und diskutiert werden müssen. Zur Disposition steht der Spurwechsel beziehungsweise der Überholvorgang, wie dies auf der Autobahn zahlreich beobachtet werden kann. Aber auch bei Rangiervorgängen oder Abbiegevorgängen ist der Blick in die Sichtsysteme notwendig, um den rückwärtigen Raum richtig einschätzen zu können.

Zur leichteren Nachvollziehbarkeit, wie häufig der rückwärtige Verkehr durch die Sichtsysteme angeblickt werden sollte, wird nachfolgend eine Abschätzung basierend auf einer Referenzfahrt von SCHWEIGERT betrachtet. Hierbei wurde die Fixationshäufigkeit in der Zeitspanne zwischen dem ersten Erkennen eines Nachfolgefahrzeugs bis dieses das eigene Fahrzeug passiert hat, in Abhängigkeit von der Sichtweite und bei konstant betrachteter Geschwindigkeit errechnet. Fährt ein PKW auf der Autobahn konstant mit der Richtgeschwindigkeit von 130 km/h und ein LKW mit konstanten 80 km/h, so beträgt die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den beiden Fahrzeugen 50 km/h. Auf der Autobahn kann man für den LKW-Fahrer aufgrund der geringen Kurvenradien eine weitläufige Sichtweite nach hinten unterstellen und damit ein erstes Erkennen des Folgefahrzeugs in etwa 400 m Entfernung ansetzen. Das Diagramm in der Abbildung 8 zeigt auf der Abszisse (x-Achse) die Entfernung zum Folgefahrzeug in Meter und auf der Ordinate (y-Achse) die Fixationsaktivität in den Rückspiegel pro Minute. Die Graphen zeigen also die jeweiligen Linien der konstanten Geschwindigkeitsdifferenz Δv . Aus dem Diagramm lässt sich bei den gewählten Parametern ablesen, dass der LKW-Fahrer mindestens dreimal pro Minute in den Rückspiegel schauen sollte. [3, S.48]

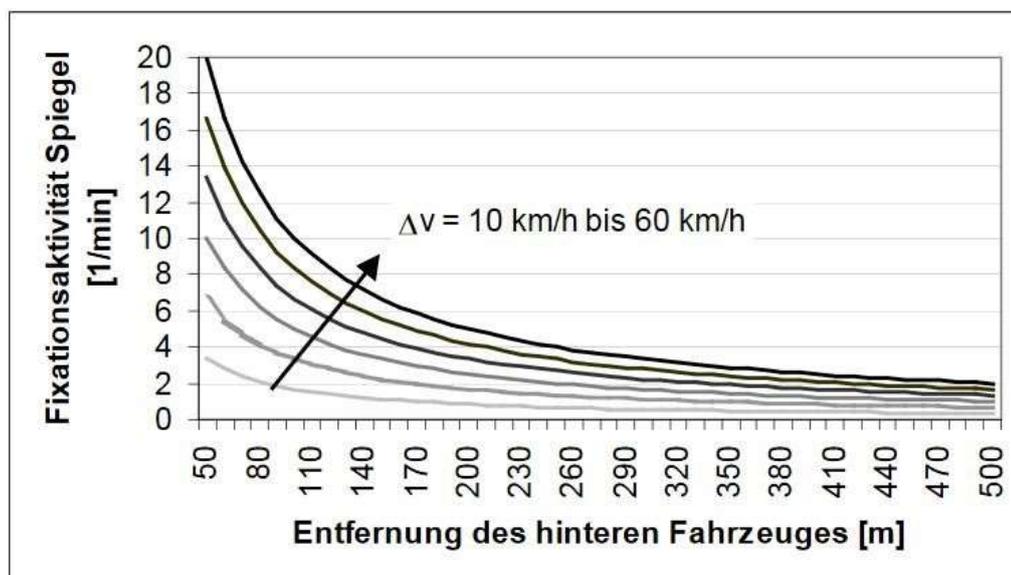


Abbildung 8: Fixationshäufigkeit in Abhängigkeit von der Entfernung bei konstanter Relativgeschwindigkeit [3, S. 49]

Aus der Abbildung 8 resultiert ferner, dass der Folgeverkehr bei geringer werdendem Abstand zwischen den Fahrzeugen und gleichzeitig steigender Geschwindigkeitsdifferenz öfter fixiert werden muss.

3.1.2.1.1. Spurwechsel und Überholen

Bei der Untersuchung des Blickverhaltens bei LKW-Fahrzeuglenkern durch die Sichtsysteme zur Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs ist der Spurwechsel beziehungsweise das Überholen der relevanteste Fahrvorgang. SCHWEIGERT verweist bei der Beschreibung des Spurwechsels auf FASTMEIER (2001), welcher den Spurwechsel mit vier Punkten definiert. An erster Stelle steht dabei der Entscheidungsprozess, in welchem der Fahrzeuglenker den gesamten Verkehrsraum kontrollieren muss. Dies geschieht durch Beobachtung des vorrausfahrenden Verkehrs sowie den Blick in die rückwärtigen Sichtsysteme. Im zweiten Schritt konzentriert sich der Blick auf den toten Winkel mittels Schulterblick (allgemein) beziehungsweise in den Weitwinkelspiegel. Als dritter Schritt wird das Signalisieren des Spurwechsels beschrieben, wobei ebenso die Geschwindigkeit für den Fahrvorgang angepasst wird. Im letzten Schritt wird sich zu Beginn der Durchführung nochmals versichert, dass der Vorgang gefahrlos eingeleitet werden kann. [3, S. 52] Im Rahmen der Versuchsreihen soll untersucht werden, ob die vier Schritte beim Spurwechsel differenziert erkannt werden können.

3.1.2.1.2. Rangieren

Meist wird das fehlerfreie und zügige Rangieren mit dem LKW als Königsdisziplin des LKW-Fahrens betitelt. Dabei ist das Blickverhalten in die Sichtsysteme von entscheidender Bedeutung. Die korrekte Distanzabschätzung und die damit einhergehende Tiefenwahrnehmung verbunden mit dem gegenläufigen Einlenkverhalten charakterisieren die Komplexität des Rangierens. In einem Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen wurde ein Experiment durchgeführt, wobei Probanden mit Hilfe von unterschiedlichen Sichtsystemen bis auf eine vorgegebene Distanz an Pylonen rückwärts heranfahren mussten. Es stellte sich heraus, dass die Distanz bei der Nutzung von konventionellen Spiegeln deutlich überschätzt wurde. Bei der Verwendung von Kamera-Monitor-Systemen konnte die Distanz besser eingeschätzt werden. [15, S.42]

3.2. Sichtsysteme zur Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs

In der vorliegenden Arbeit soll das Blickverhalten in Sichtsysteme zur Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs untersucht werden. An dieser Stelle wird vereinbart, dass die seitlich angebrachten Anfahrspiegel und die frontal angebrachten Spiegel für das Ziel der Arbeit nicht relevant sind und daher nicht betrachtet werden. Nachfolgend werden gesetzliche Rahmenbedingungen der "Einrichtungen für die indirekte Sicht" [16, S.L237/25] nach hinten hinsichtlich der Sichtfelder und technischen Parameter erläutert.

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen, die für diese Arbeit relevant sind, werden in der UN-Regelung Nummer 46 “[e]inheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Einrichtungen für indirekte Sicht und von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Anbringung solcher Einrichtungen” [16, S.L237/24] vorgeschrieben. Entsprechend der Definition sind “Einrichtungen für die indirekte Sicht” [16, S. L237/25] Einrichtungen zur Beobachtung des nicht direkt einsehbaren Verkehrsraumes. Hierzu zählen Spiegel, Kamera-Monitor-Systeme und andere Einrichtungen, die dem Fahrer Informationen aus dem indirekten Sichtfeld übermitteln. [16, S. L237/25]

3.2.1. Das konventionelle Spiegelsystem (KSS)

3.2.1.1. Gesetzliche Vorschriften

Die Spiegelsysteme werden in Spiegelgruppen eingeteilt, „die eine oder mehrere gleiche Eigenschaften oder Funktionen aufweisen:

- a) Gruppe I: Innenrückspiegel, die das festgelegte Sichtfeld in [der Regelung] vermitteln
- b) Gruppe II [...]: Hauptaußenspiegel, die das festgelegte Sichtfeld in [Abschnitt 3.2.1.2.1.] vermitteln
- c) Gruppe IV: Weitwinkel-Außenspiegel, die das festgelegte Sichtfeld in [Abschnitt 3.2.1.2.2.] vermitteln
- d) Gruppe V: Nahbereichs- oder Anfahr-Außenspiegel, die das festgelegte Sichtfeld in [der Regelung] vermitteln
- e) Gruppe VI: Frontspiegel, die das festgelegte Sichtfeld in [der Regelung] vermitteln [...]” [16, S.L237/26]

Für die weitere Betrachtung der Arbeit werden die Spiegelsysteme aus den Gruppen II bis IV beschrieben. In Abhängigkeit vom Krümmungsradius lassen sich zunächst zwei grundsätzliche Arten von Spiegelflächen unterscheiden. Als „sphärische Fläche” werden die Flächen bezeichnet, deren Krümmungsfläche in alle Richtungen gleich und unveränderlich ist” [16, S.L237/26]. „Asphärische Flächen” sind dagegen Flächen, „deren Krümmungsradius nur in einer Richtung unveränderlich ist” [16, S.L237/26]. Integriert ein Spiegel beide Flächenarten, so muss „der Übergang [...] vom sphärischen zum asphärischen Teil gekennzeichnet sein” [16, S.L237/26].

Der UN/ECE R46 [16] zufolge, muss grundsätzlich jeder Spiegel einstellbar sein. Bei Außenspiegel der Gruppe II bis VII muss „[der] Rand der spiegelnden Fläche von einem Gehäuse (Einfassung usw.) umgeben sein, deren Umriss an allen Stellen und in allen Richtungen einen Abrundungsradius von mindestens 2,5 mm aufweisen muss” [16, S.L237/29]. Zu den weiteren Abmessungen des Hauptrückspiegels der Gruppe II und III wird in der Regelung Nummer 46 das Folgende berücksichtigt.

„Die Abmessungen der spiegelnden Fläche müssen so sein, dass ihr Folgendes darauf eingeschrieben werden kann:

- a) ein Rechteck mit einer Höhe von 40 mm und einer Grundlinie von „a“ mm Länge und
- b) eine Strecke mit einer Länge von „b“ mm parallel zur Höhe des Rechtecks.“ [16, S.L237/30]

Die Mindestmaße für „a“ und „b“ sind der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Tabelle 1: Mindestwerte der Seitenlänge „a“ und „b“ für die Spiegelgruppe II und III [16, S.L237/30]

| Rückspiegelgruppen | a(mm) | b(mm) |
|--------------------|---|-------|
| II | $\frac{170}{1 + \left(\frac{1000}{r}\right)}$ | 200 |
| III | $\frac{130}{1 + \left(\frac{1000}{r}\right)}$ | 70 |

Als Mindestmaße für den Krümmungsradius „r“ dürfen folgende Werte nicht unterschritten werden:

- (a) „1200 mm bei Hauptrückspiegel der Gruppe II und III
- (b) 300 mm bei Weitwinkel-Außenspiegel der Gruppe IV“ [16, S.L237/31]

Für Weitwinkel-Außenspiegel der Gruppe IV gilt: „ [der] Umriss der spiegelnden Fläche muss eine einfache geometrische Form haben und ihre Abmessungen müssen [...] die Erfassung des Sichtfeldes“ [16, S. L237/30] nach Abschnitt 2.1.1.* ermöglichen.

Als Bauform des Spiegels sieht die Regelung Nummer 47 eine plane oder sphärisch konvexe Fläche vor. Die Außenspiegel können mit einem zusätzlich angebrachten asphärischen Teil ausgestattet sein, wenn die Hauptspiegelfläche das vorgeschriebene Sichtfeld ermöglicht. [16, S.L237/31]

Die Anzahl der Spiegel werden in der ECE R46 wie folgt definiert. Für die Fahrzeugklasse N3 (Kraftfahrzeuge zur Güterbeförderung mit mindestens vier Rädern und einer Gesamtmasse von über 12 t [17]) werden Hauptrückspiegel (Gruppe II), Weitwinkel-Außenspiegel (Gruppe IV), Nahbereichs-/Anfahrspiegel (Gruppe V) und Frontspiegel (Gruppe VI) vorgeschrieben. Der Innenspiegel (Gruppe I) ist nicht vorgeschrieben, aber zulässig. Generell sind so viele Spiegel notwendig, um die vorgeschriebenen Sichtfelder vollständig einsehen zu können. Auf der Tabelle 2 mit der typischen Anzahl der jeweiligen Spiegel dargestellt.

Tabelle 2: Anzahl der Spiegel [16]

| Fahrzeug-klasse | Innenspiegel (Gruppe I) | Hauptrückspiegel (Gruppe II) | Weitwinkelspiegel (Gruppe IV) | Nahbereichs-/Anfahrspiegel (Gruppe V) | Frontspiegel (Gruppe VI) |
|-----------------|---------------------------|--|--|---|---|
| N3 | (ohne Angaben zur Anzahl) | Jeweils einer auf jeder Fahrzeugseite (Anzahl: 2) | Jeweils einer auf jeder Fahrzeugseite (Anzahl: 2) | Einer auf der Beifahrerseite (Anzahl: 1) | Einer an der Fahrzeugfront (Anzahl: 1) |

Die Spiegel sind so am Fahrzeug anzubringen, dass diese vom Fahrer aus der Sitzposition in normaler Fahrhaltung eingesehen werden können. Das seitliche Hinausragen der Spiegel von dem Fahrzeugumriss darf nicht wesentlich weiter sein, als dies zu dem vollständigen Einsehen des Sichtfeldes notwendig ist. [16]

3.2.1.2. Sichtfeld der Einrichtungen für die indirekte Sicht

In diesem Abschnitt werden die gesetzlich vorgeschriebenen Sichtfelder für die Einrichtungen für die indirekte Sicht der Gruppen II bis IV betrachtet. Die vorgeschriebenen Sichtfelder finden auch bei den Kamera-Monitor-Systemen Anwendung.

3.2.1.2.1. Außenspiegel (Gruppe: II)

Das vorgeschriebene Sichtfeld in die Hauptaußenspiegel „muss so beschaffen sein, dass der Fahrzeugführer mindestens einen ebenen und horizontalen Teil der Fahrbahn von 5 m Breite einsehen kann, der fahrzeugseitig begrenzt ist durch eine zur senkrechten Längsmittlebene des Fahrzeugs parallele, durch den äußersten Punkt auf der [...] [jeweiligen Fahrzeugseite] verlaufende Ebene, und der sich vom Horizont bis 30 m hinter den Augenpunkten des Fahrzeugführers erstreckt. Außerdem muss der Fahrzeugführer einen 1 m breiten Streifen der Fahrbahn einsehen können, der fahrzeugseitig begrenzt ist durch eine zur senkrechten Längsmittlebene des Fahrzeugs parallele, durch den äußersten Punkt auf der [...] [jeweiligen Fahrzeugseite] verlaufende Ebene, und der 4 m hinter der durch die Augenpunkte des Fahrzeugführers verlaufenden senkrechten Ebene beginnt“ [16, S. L237/47]. Auf der Abbildung 9 wird der vorgeschriebene Sichtbereich aus den Hauptaußenspiegel der Gruppe II veranschaulicht.

Sichtfeld von Spiegeln der Gruppe II

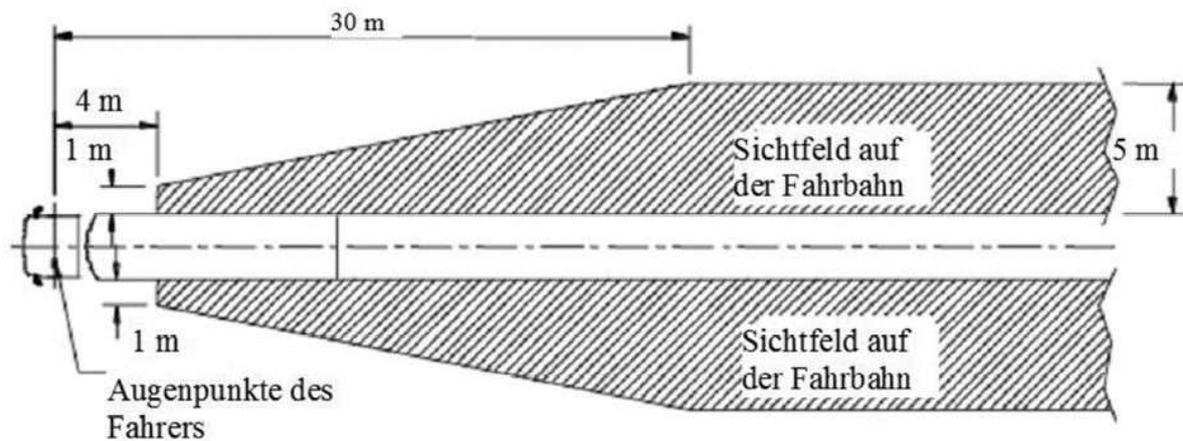


Abbildung 9: Sichtfeld aus dem Hauptaußenspiegel der Gruppe II [16, S.L237/47]

3.2.1.2.2. Weitwinkel-Außenspiegel (Gruppe: IV)

Das vorgeschriebene Sichtfeld in die Weitwinkel-Außenspiegel „muss so beschaffen sein, dass der Fahrzeugführer mindestens einen ebenen und horizontalen Teil der Fahrbahn von 15 m Breite einsehen kann, der fahrzeugseitig begrenzt ist durch eine zur senkrechten Längsmittlebene des Fahrzeugs parallele, durch den äußersten Punkt auf der [...] [jeweiligen Fahrzeugseite] verlaufende Ebene, und der sich mindestens von 10 m bis 25 m hinter den Augenpunkten des Fahrzeugführers erstreckt. Außerdem muss der Fahrzeugführer einen 4,5 m breiten Streifen der Fahrbahn einsehen können, der fahrzeugseitig begrenzt ist durch eine zur senkrechten Längsmittlebene des Fahrzeugs parallele, durch den äußersten Punkt auf der [...] [jeweiligen Fahrzeugseite] verlaufende Ebene, und der 1,5 m hinter der durch die Augenpunkte des Fahrzeugführers verlaufenden senkrechten Ebene beginnt“ [16, S.L237/48]. Auf der Abbildung 10 wird der vorgeschriebene Sichtbereich aus den Weitwinkel-Außenspiegel der Gruppe IV veranschaulicht.

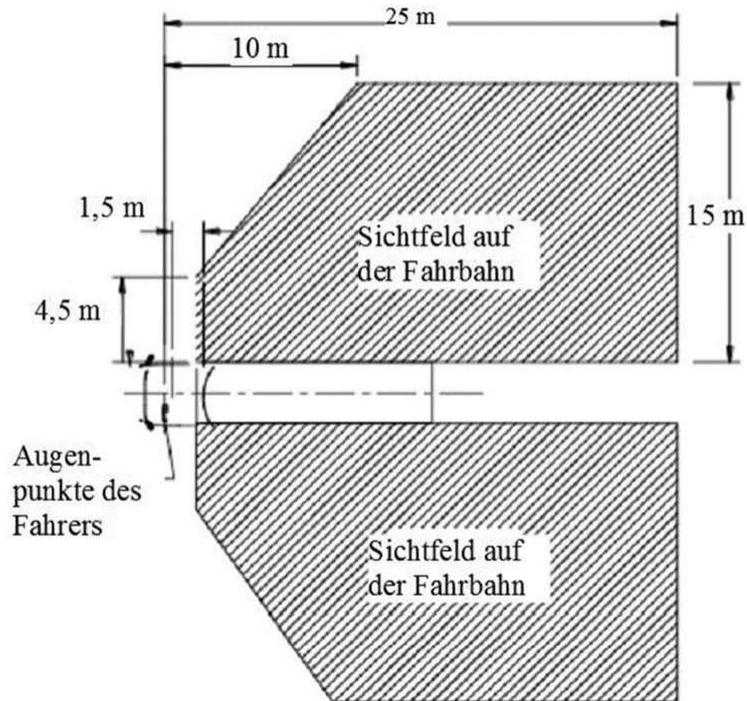


Abbildung 10: Sichtfeld aus dem Weitwinkel-Außenspiegel der Gruppe IV [16, S.L237/49]

3.2.2. Das Kamera-Monitor-System (KMS)

Ein KMS besteht aus Digitalkameras, die außen an den Dachrahmen des Führerhauses jeweils auf den Fahrzeugseiten angebracht sind. Der Monitor, welcher das indirekte Sichtfeld an den Fahrer übermittelt, befindet sich an den A-Säulen im Inneren des Fahrgasthauses. Für die Betrachtung der technischen Parameter wird auf die Mirrorcam von Mercedes Benz eingegangen, da diese bis dato im Nutzfahrzeugbereich serienmäßig etabliert ist.

3.2.2.1. Gesetzliche Vorschriften

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen für die kamerabasierten Sichtsysteme werden in der UN/ECE R46 [16] festgelegt. Die Richtlinie stellt vorrangig die funktionalen Vorschriften an die Kamera hinsichtlich verschiedener Sonneneinstrahlungen dar. So muss die Kamera „[...] bei Bestrahlung durch Sonnenlicht gut funktionieren“ [16, S.237/36]. Auch „[d]er Monitor muss unter unterschiedlichen Beleuchtungsbedingungen den in der internationalen ISO-Norm 15008:2003 festgelegten Mindestkontrast wiedergeben“ [16, S.237/37]. „Die Funktionseigenschaften des Systems müssen unter allen vorgesehenen Einsatzbedingungen uneingeschränkt gewährleistet sein. Je nach der verwendeten Aufnahme- und Wiedergabetechnik gelten die [...] [funktionalen Vorschriften] ganz oder teilweise“ [16, S.237/37]. Für den Einbau des Monitors gilt, dass „[d]ie Blickrichtung des Monitors [...] ungefähr der Blickrichtung auf den Hauptspiegel entsprechen“ [16, S.237/54].

Im Rahmen eines Berichtes der durch Bundesanstalt für Straßenwesen [15] veröffentlicht wurde, sind Untersuchungen durchgeführt worden, wobei das funktionelle Verhalten bei verschiedenen Situationen geprüft wurde. Da dies dem Ziel der vorliegenden Arbeit nicht beiträgt, werden keine Ausführungen zu den Ergebnissen getätigt.

3.2.2.1.1. Einführung in technische Parameter der Kamera

Die Kamera am Mercedes Actros 5, der die Mirrorcam serienmäßig verbaut hat, befindet sich am Dachrahmen des Führerhauses jeweils an den Fahrzeugseiten. Dabei muss mindestens das gesetzlich vorgeschriebene Sichtfeld, wie im Abschnitt 3.2.1.1.1. und 3.2.1.1.2 definiert, übertragen werden können. Die Abbildung 11 zeigt ein Bild der Fahrzeugfront des Mercedes Actros mit den verbauten Mirrorcams.



Abbildung 11: Mercedes Actros mit Mirrorcam [18]

Die Auflösung der Kamera ist abhängig von der Größe des Monitors und dem Abstand zur Fahrerposition. Die Kamera, welche den Hauptspiegel ersetzt, überträgt mit einer Auflösung von 470 x 1210 Pixel (B x H). Der Bereich des ersetzten Weitwinkelspiegels wird mit einer Auflösung von 470 x 550 Pixel (B x H) übertragen. [19, S.65-66] Zur leichteren Bezugnahme wird die Mirrorcam nochmals auf der Abbildung 12 detailliert veranschaulicht.



Abbildung 12: seitlich angebrachte Mirrorcam am Dachrahmen [20]

Die Kamera kann das aufgenommene reale Bild, ähnlich wie beim konventionellen Spiegel, verzerren und Teile beziehungsweise das gesamte Bild vergrößert oder verkleinert darstellen. Dabei wird zwischen der statischen und dynamischen Verzerrung unterschieden. Die statische Verzerrung wird durch die Linse der Kamera selbst generiert. Beispielsweise wird dies bei der dauerhaften Darstellung des gesetzlich vorgeschriebenen Sichtfeldes angewendet. Bei der dynamischen Verzerrung wird das gesamte aufgenommene Bild der Kamera nach der Aufnahme künstlich gestreckt oder gestaucht und dann auf dem Monitor abgebildet. Die dynamische Verzerrung wird bei der Darstellung des Weitwinkelbereiches verwendet. Da die Kamera ein viel größeres Bild der Umgebung aufnehmen kann, als dieses auf dem Monitor abgebildet wird, ist ein virtuelles Schwenken des Kamerabildes möglich, ohne mechanische Komponenten zu verwenden. [19, S.66-67]

Die Bildwiederholungsfrequenz wird in der ECE R46 mit mindestens 30 Hz (30 Fps) bei hellen Lichtbedingungen und 15 Hz (15 Fps) bei dunklen Lichtverhältnissen und langsamer Geschwindigkeit festgeschrieben. [21, S.21]

Die Kamera befindet sich im Außenbereich und muss daher eine Robustheit gegenüber Umwelteinflüssen aufweisen. Aus diesem Grund verfügt das Kameramodul über eine automatische Heizfunktion bei Temperaturen unter 15 °C. Gegen Verschmutzungen oder mechanische Einflüsse umfasst die Kamera ein robustes Gehäuse. Durch den Ersatz des großflächigen Spiegels durch die schlanke Mirrorcam werden auch eine cw-Wert-Verbesserung und eine damit einhergehende Kraftstoffersparnis von 1,5 % erzielt. [22]

3.2.2.1.2 Einführung in technische Parameter des Monitors

Die ECE-R46 berücksichtigt für den Einbauort des Monitors, dass „[d]ie Blickrichtung auf den Monitor [...] ungefähr der Blickrichtung auf den Hauptspiegel entsprechen“ [16, S.L237/54] muss. Beispielsweise wird der Monitor bei dem Mercedes Actros an der A-Säule befestigt. Damit korrespondiert dies der vorgeschriebenen etwaigen Blickrichtung auf den ersetzten Hauptspiegel. In der Abbildung 13 wird der Einbauort des Monitors dargestellt. Zusätzlich dazu wird der Vorteil hinsichtlich des verdeckten Bereiches durch den konventionellen Spiegel ersichtlich.



Abbildung 13: Einbauort des Monitors [23]

Der Monitor besitzt eine Bildschirmdiagonale von 38,6 cm, was einer Bildschirmgröße von 15,2 Zoll entspricht. Das Monitorbild ist in Analogie zum Spiegel in einen Bereich des Hauptspiegels und in einen Bereich für den Weitwinkel unterteilt. Als zusätzliche Funktion ändert sich das Abbild beim rückwärtigen Rangieren. Der Bereich des abgebildeten Hauptspiegels misst 7,5 cm 20 cm (B x H) und der Weitwinkelbereich 7,5 cm x 9 cm (B x H). [23] Die Abbildung 14 zeigt die Aufteilung der Bereich des Monitors und den dazugehörigen Sichtbereichen graphisch dargestellt.

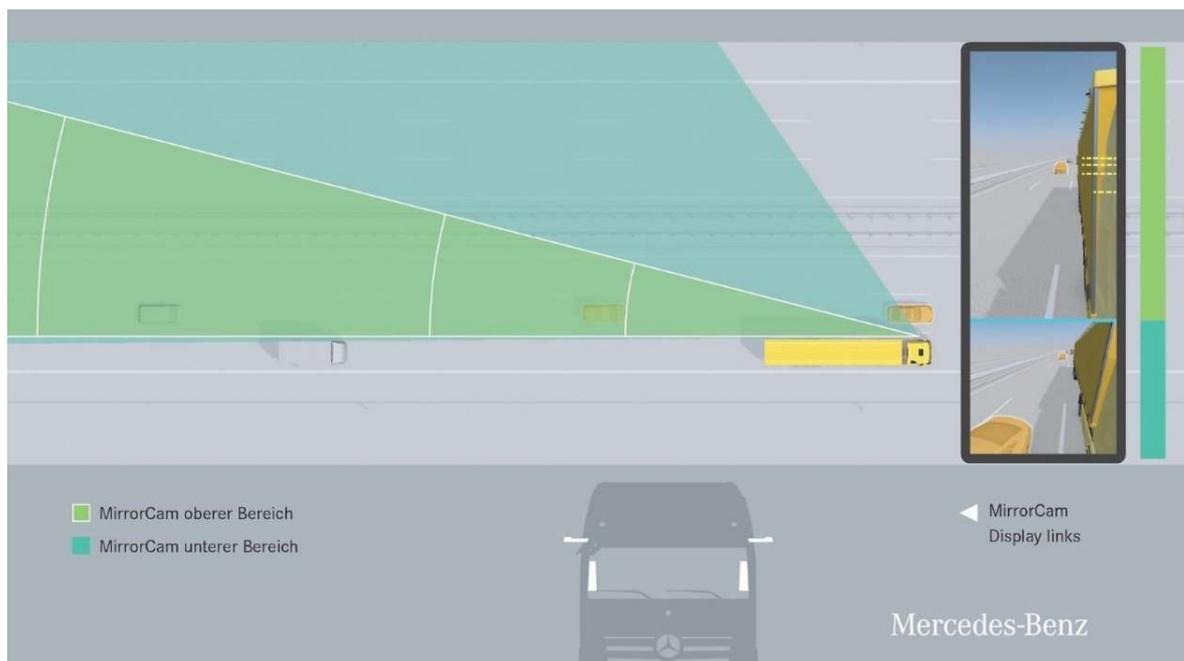


Abbildung 14: Aufteilung der Sichtbereiche des Monitors [24]



Abbildung 16: gelbe Hilfslinien am rechten Bildrand [26]

Im Rahmen der Versuchsreihe dieser Arbeit soll untersucht werden, welche Abstände die drei fest positionierten Hilfslinien auf ebener Fahrstrecke darstellen.

4. Untersuchungen zum Blickverhalten in Einrichtungen für die indirekte Sicht

4.1. Versuchskonzept

In den folgenden Abschnitten werden ein Konzept sowie einige Vorbetrachtungen zu den Versuchsreihen beschrieben. In der Anlage 1 dieser Arbeit befindet sich das erarbeitete Versuchskonzept als Übersichtsprotokoll.

4.1.1. Betrachtungsgrundlage

Für die Untersuchungen des Blickverhaltens werden die Fahraufgaben zugrunde gelegt, die im Kapitel 3.1.2.1. definiert wurden. Es soll demnach die Beobachtung des rückwärtigen Verkehrsraumes über die Einrichtungen für die indirekte Sicht untersucht werden. Im Rahmen dieser Arbeit werden die Fahraufgaben auf den Spurwechsel respektive das Überholmanöver eingegrenzt.

4.1.2. Versuchsziel

Im Bereich der Unfallforschung werden das Blickverhalten des Fahrzeuglenkers sowie die benötigte Blickzeiten bei der jeweiligen Fahraufgabe dann von Bedeutung, wenn sich die Frage der Vermeidbarkeit bei einem Verkehrsunfall stellt. Daher soll im Rahmen der Versuchsreihe zum einen untersucht werden, wie lange sich der Blick des Fahrzeuglenkers vom Verkehrsgeschehen entfernt, um den rückwärtigen Verkehrsraum zu beobachten. Hierbei sollen verschiedene Aufgaben, wie beispielsweise Distanzschätzungen (statische Versuche) und Geschwindigkeitsschätzungen (dynamische Versuche) absolviert werden. Bei diesen Aufgaben wird die Genauigkeit der Schätzungen von Distanzen und Geschwindigkeiten in Abhängigkeit von dem jeweiligen Sichtsystem untersucht. Im Zuge des dynamischen Versuches sollen in Form von Realfahrten die Blickzeiten möglichst realitätsnahe erarbeitet werden.

4.1.3. Versuchsgelände

Für die Durchführung der statischen Versuchsreihe am 29.05.2021 wurde das Ausbildungsgelände der Verkehrsakademie in Kulmbach (Bayern) zur Verfügung gestellt. Hierbei handelt es sich um einen etwa 140 m langen asphaltierten Platz mit gut erkennbaren Asphaltstreifen, die als Fahrspurabgrenzung dienen können. Die Abbildung 17 und Abbildung 18 zeigen das Versuchsgelände durch Übersichtsaufnahmen.



Abbildung 17: Versuchsgelände [27]



Abbildung 18: Versuchsgelände [27]

Die dynamischen Versuche wurden am 10.06.2021 auf der Bundesautobahn A70 auf einer Strecke von etwa 100 km durchgeführt. Die Bundesautobahn bietet auf der Versuchstrecke einige Anstiege und Gefälle mit kurvigen Abschnitten aber auch gerade und ebene Abschnitte. Für die Versuche wurde die Versuchstrecke in einzelne Messstrecken unterteilt, wobei die Fahrer- und Fahrzeugwechsel auf angrenzenden Parkplätzen durchgeführt werden können. Die Abbildung 19 zeigt die Versuchsstrecke mit den einzelnen Messstrecken anhand einer Satellitenbildaufnahme.

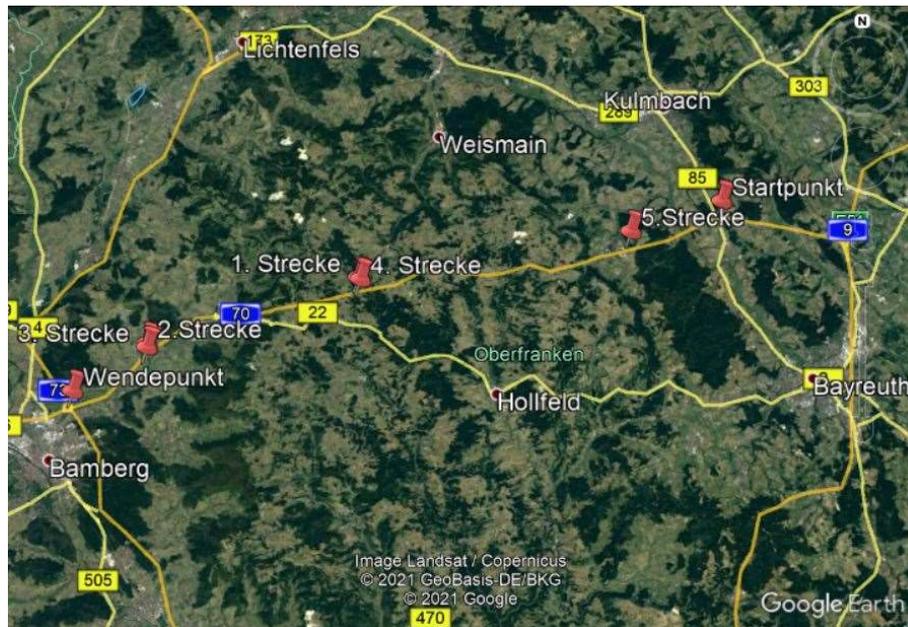


Abbildung 19: Versuchsstrecke dynamischer Versuch [28]

4.1.4. Versuchsfahrzeuge

Die vorliegende Versuchsreihe befasst sich mit dem Blickverhalten von LKW-Fahrzeugführern. Das Versuchsfahrzeug muss daher ein „Krafffahrzeug zur Güterbeförderung mit mindestens vier Rädern und einer Gesamtmasse von über 12 t“ [17] sein. Damit entspricht das Versuchsfahrzeug der Typklasse N3. [17]

Für die Vergleichbarkeit der Messergebnisse bei den verwendeten Sichtsystemen sind zwei LKW mit jeweils einem Spiegelsystem und einem Kamera-Monitor-System zu verwenden. Die Versuchsfahrzeuge wurden ebenfalls von der Verkehrsakademie Kulmbach (Bayern) zur Verfügung gestellt. Das Fahrzeug mit KSS, ein Mercedes Actros 2542 als Gliederzug, wird in der Abbildung 20 und in der Abbildung 21 dargestellt.



Abbildung 20: Versuchsfahrzeug mit KSS [27]

Der Mercedes Actros 2542 in der Abbildung 20 hat eine Gesamtlänge von 18,75 m und verfügt über ein Spiegelsystem mit zwei Außenspiegeln der Gruppe II bis IV sowie einem Anfahr- / Nahbereich- Außenspiegel der Gruppe V und einem Frontspiegel der Gruppe VI.

Das Fahrzeug mit KMS, ebenfalls ein Mercedes Actros 2542 als Gliederzug, wird in der Abbildung 21 veranschaulicht.



Abbildung 21: Versuchsfahrzeug mit KMS [27]

Die Abmessungen des Mercedes Actros in der Abbildung 21 sind baugleich zu dem Mercedes mit dem konventionellen Spiegelsystem. Die Außenspiegel der Gruppe II bis IV werden durch die seitlich angebrachten Kameras des KMS ersetzt. Der Anfahr-/Nahbereichsspiegel (Gruppe V) sowie der Frontspiegel (Gruppe VI) wurden nicht durch eine Kamera ersetzt und sind demnach konventionelle Spiegel.

4.1.5. Fixationsobjekt

Laut einer Datenerhebung vom Kraftfahrtbundesamt (Stand: 01.01.2021) sind in Deutschland rund 48,2 Millionen Personenkraftwagen zugelassen. Insgesamt beträgt die Zahl der deutschlandweit zugelassenen Kraftfahrzeuge etwa 59,02 Millionen. Hierzu zählen beispielsweise Krafträder, Personenkraftwagen, Lastwagen und Kraftfahrtomnibusse. Die Kategorie der Personenkraftwagen macht damit einen Anteil von 81,6% der Gesamtanzahl der zugelassenen Kraftfahrzeuge aus. Für die Untersuchungen ist demnach vornehmlich ein geläufiger Personenkraftwagen (PKW) der Typgruppe M1 oder M1G zu verwenden. [17, 29]

Das Fixationsobjekt für den statischen Versuch ist ein PKW (Audi A4) der Typklasse M1. Für den dynamischen Versuch wird ein weiteres Fahrzeug benötigt. Hierfür steht ein PKW (Mercedes GLA) der Typklasse M1G zur Verfügung. In der Abbildung 22 und der Abbildung 23 werden die Fixationsobjekte dargestellt.



Abbildung 22: Fixationsobjekt statischer Versuch [27]



Abbildung 23: Fixationsobjekt dynamischer Versuch [27]

4.1.6. Dokumentation

4.1.6.1. Dokumentation Blickverhalten

Die Dokumentation des Blickverhaltens ist während der Versuche mittels Mini-Actioncam (GoPro Hero 4), Spiegelreflexkamera (Sony) und einer Eye-Tracking-Brille durchzuführen.

Seitens der Westsächsischen Hochschule Zwickau wurde die Eye-Tracking-Brille inklusive Analysesoftware zur Verfügung gestellt. Die Abbildung 24 zeigt die verwendete Brille mit der dazugehörigen Aufnahmeeinheit und Stromversorgung.



Abbildung 24: Eye-Tracking-Brille „Tobii Pro II Glasses“ [30]

Die Eye-Tracking-Brille „Tobii Pro II Glasses“ ist an der Vorderseite mit einer Full-HD Kamera sowie einem Mikrofon ausgestattet, die das Gesehene in Bild und Ton aufzeichnen. An der Innenseite befinden sich Eye-Tracking-Sensoren, welche die Pupillen detektieren und dabei die Blickbewegungen des Auges erfassen. Unterstützend dazu beleuchten sogenannte “IR-illuminators” neben den Eye-Tracking-Sensoren das Auge. Durch die Überlagerung der Aufnahmen der Full-HD Kamera mit dem Ergebnis des Eye-Trackings werden die Daten in Videosequenzen zusammengeführt und die Blickbewegung beziehungsweise die einzelnen erkannten Fixationen mit einem gelben Kreis visualisiert. Diese Sequenzen können im Folgendem mit einer Analysesoftware „Tobii Pro Lap“ weiterverarbeitet oder als mp4-Datei umgewandelt werden. Die Arbeitsschritte der Analysesoftware werden im Kapitel 4.4.1. weiterführend beschrieben. [30]

4.1.6.2. Dokumentation Messergebnisse

Die Dokumentation der Messwerte erfolgt anhand von Messwertprotokollen jeweils für den statischen und dynamischen Versuch. In den Protokollen werden Probandennummer, Umweltbedingungen (Sonnenstand, Wetter) und Uhrzeit der Messung sowie die Ergebnisse der jeweiligen Aufgabe protokolliert. Begleitend dazu werden Ablaufprotokolle für die Helfer im Fixationsfahrzeug ausgegeben, wobei die tatsächlichen, für den Probanden unbekanntenen Werte notiert sind. Die Herleitung dieser Werte wird im folgenden Kapitel 4.1.7.1. und 4.1.7.2. erklärt. In der Anlage 2 werden die unausgefüllten Messwertprotokolle und in der Anlage 3 die versuchsbegleitenden Ablaufprotokolle beigefügt.

4.1.7. Vorbetrachtungen zum Versuchsaufbau

Im Rahmen der Versuchsreihe soll das Blickverhalten bei ausgewählten Fahraufgaben (Spurwechsel, Überholmanöver) vorrangig durch das linke KSS/KMS untersucht werden. Aus diesem Grund ist das Fixationsobjekt hinter dem Versuchsfahrzeug linksorientiert zu positionieren.

4.1.7.1. Vorbetrachtungen zum statischen Versuch

Bei dem statischen Versuch ist das Fixationsobjekt in Längsrichtung um etwa eine Fahrspurbreite (etwa 3,75 m) versetzt und in verschiedenen Abständen hinter dem Versuchsfahrzeug zu positionieren. Die Tabelle 3 zeigt die gewählten Abstände hinter dem LKW. Die Gesamtlänge des LKW von 18,75 m ist dabei zu dem Abstand zwischen LKW und PKW aufzuaddieren und ergibt damit den absoluten Wert. Der absolute Wert entspricht dem Schätzwert und wird aufgerundet in vollen Metern angegeben. Der Schätzwert bezieht sich auf den Abstand zwischen Sichtsystem (Nullpunkt) und der Fahrzeugfront des Fixationsobjektes. Bei diesen Abständen wird zugrunde gelegt, dass ein LKW auf der Autobahn mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h fährt. Unterstellt man für einen PKW die Richtgeschwindigkeit auf der Autobahn von 130 km/h, so ergibt sich eine Geschwindigkeitsdifferenz von 50 km/h (14 m/s). Die folgenden Abstände in der Tabelle 3 repräsentieren also verschiedene zeitliche Abstände zwischen LKW und PKW.

Tabelle 3: Herleitung der Schätzwerte

| Zeit in s | Abstand zwischen LKW und PKW in m | absoluter Wert (Schätzwert) in m |
|-----------|-----------------------------------|----------------------------------|
| < 1,0 | ca. 10 | ca. 30 |
| ca. 1,0 | ca. 20 | ca. 40 |
| ca. 2,0 | ca. 30 | ca. 50 |
| ca. 3,0 | ca. 40 | ca. 60 |
| ca. 3,5 | ca. 50 | ca. 70 |
| ca. 4,0 | ca. 60 | ca. 80 |
| ca. 5,0 | ca. 70 | ca. 90 |
| ca. 6,0 | ca. 80 | ca. 100 |
| ca. 7,0 | ca. 100 | ca. 120 |

Ausgehend von den absoluten Werten werden für die Auswertung des statischen Versuches Bereiche definiert, in denen die Genauigkeit der Schätzungen untersucht wird. Die Bereiche werden in der Tabelle 4 definiert.

Tabelle 4: Unterteilung von Abstandsbereichen für die Auswertung

| Bereich | Absolute Abstandswerte in m |
|-------------------|-----------------------------|
| Nahebereich | 30 - 40 |
| Mittlerer Bereich | 40 - 70 |
| Fernbereich | 70 - 120 |

4.1.7.2. Vorbetrachtungen zum dynamischen Versuch

Bei dem dynamischen Versuch soll das Versuchsfahrzeug auf der angrenzenden Fahrspur durch das Fixationsobjekt mit einem Geschwindigkeitsüberschuss überholt werden. Die Versuchsfahrzeuge fahren dabei in einer Kolonne auf der rechten Fahrspur mit einem Abstand zwischen den LKW von etwa 80 m. Der jeweilige Geschwindigkeitsüberschuss ergibt sich aus den zuvor beschriebenen Herleitungen der Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen PKW und LKW von 50 km/h. Die Tabelle 5 zeigt die gewählten Geschwindigkeiten, die sich aus den Differenzen von 10 km/h bis 70 km/h zwischen dem LKW und PKW ergeben.

Tabelle 5: gewählte Geschwindigkeitsdifferenz für den dynamischen Versuch

| Geschwindigkeitsdifferenz zwischen LKW und PKW in km/h | tatsächliche Geschwindigkeit in km/h |
|--|--------------------------------------|
| 10 | 90 |
| 20 | 100 |
| 30 | 110 |
| 40 | 120 |
| 50 | 130 |
| 60 | 140 |
| 70 | 150 |

Ausgehend von den gewählten Geschwindigkeiten werden Kategorien hinsichtlich der Geschwindigkeitsdifferenzen in der Tabelle 6 definiert.

Tabelle 6: Kategorien für Geschwindigkeitsdifferenzen

| Kategorie | Bereich der Geschwindigkeitsdifferenz |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| geringe Geschwindigkeitsdifferenz | 10 km/h - 30 km/h |
| mittlere Geschwindigkeitsdifferenz | 30 km/h - 60 km/h |
| hohe Geschwindigkeitsdifferenz | 60 km/h - 70 km/h |

4.2. Versuchsaufbau

4.2.1. Statischer Versuch

4.2.1.1. Versuchsgelände

Auf dem Ausbildungsgelände der Verkehrsakademie Kulmbach wurden zwei aufeinanderfolgende 50 m lange Maßbänder ausgelegt. Diese wurden so positioniert, dass das jeweilige Versuchsfahrzeug links vom Maßband abgestellt werden konnte. In Schritten von 10 m wurden Pylonen aufgestellt und zur leichteren Orientierung für den Einweiser die einzelnen Messpositionen auf dem Asphalt mittels Kreide markiert. In der Abbildung 25 wird zunächst ein Übersichtsbild mit Maßband, Pylonen und einem Versuchsfahrzeug neben dem Maßband abgedruckt.



Abbildung 25: Versuchsaufbau Ausbildungsgelände als Übersicht [27]

Die Abbildung 25 zeigt am unteren Bildrand zudem eine abmarkierte Messposition, die den Versuchsablauf für den Einweiser erleichtert. Die Ziffer steht hierbei für den Abstand vom Nullpunkt aus. Die Abkürzungen „Pos 2“ steht für die Fahrzeugposition Zwei und „V 2“ bedeutet in diesem Fall Versuch 2, wie dies in dem begleitenden Ablaufprotokoll (Anlage 3) für den Fahrer des Fixationsobjektes bekannt ist.

4.2.1.2. Anordnung der Fahrzeuge

Die Versuchsfahrzeuge wurden jeweils mit der Fahrzeugfront auf Höhe des Nullpunktes rechts neben das Maßband positioniert. Die Abbildung 26 zeigt beispielhaft das vorpositionierte Versuchsfahrzeug mit Spiegelsystem am Nullpunkt des Maßbandes.



Abbildung 26: Position des Versuchsfahrzeuges auf dem Nullpunkt [27]

Das Fixationsobjekt wurde um etwa 3,75 m links neben dem Versuchsfahrzeug angeordnet und durch den Einweiser auf den verschiedenen Messpunkten positioniert. In der Abbildung 27 wird eine Übersichtsaufnahme mittels Drohne vom gesamten Versuchsaufbau des statischen Versuches mit dem Versuchsfahrzeug am unteren Bildrand und dem links neben diesem befindlichen Fixationsobjekt veranschaulicht.



Abbildung 27: Übersichtsbild Versuchsaufbau statischer Versuch [27]

4.2.1.3. Probanden und deren Sitzposition

Für den statischen Versuch standen am 29.05.2021 insgesamt sieben Probanden zur Verfügung. Detaillierte Angaben zu den Probanden können der Anlage 4 entnommen werden. Dabei nahmen drei Fahrtschullehrer, zwei erfahrene LKW-Fahrer und zwei Fahranfänger an den Versuchen teil. In der Anlage 4 können einige wichtige Daten der Probanden anhand der Befragung tabellarisch und graphisch nachvollzogen werden. Beispielhaft wird die Geschlechterverteilung in der Abbildung 28 aufgezeigt.

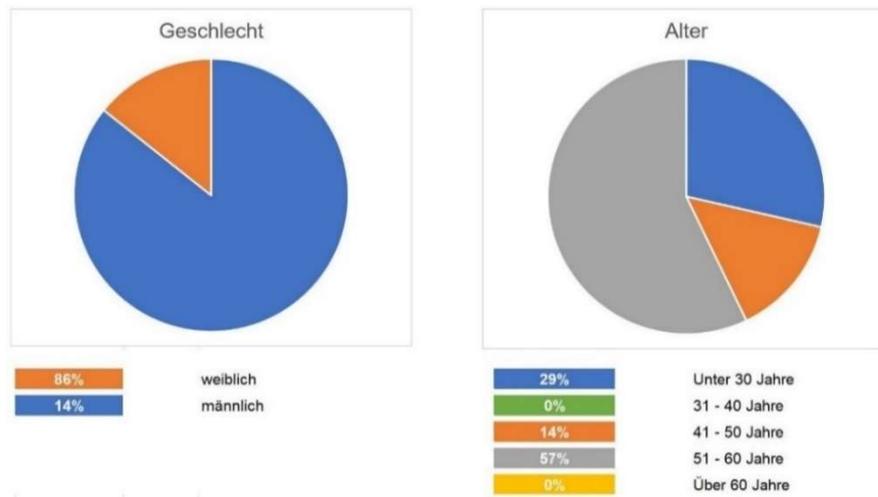


Abbildung 28: Alters- und Geschlechterverteilung der Probanden

Die Probanden positionieren sich auf dem Fahrersitz und stellen bei Bedarf die Sichtsysteme individuell ein. Zur Dokumentation des Blickverhaltens wurde die Eye-Tracking-Brille installiert und kalibriert. Für die Dokumentation der Kopfbewegung wurde eine Mini-Action-Cam auf dem Armaturenbrett vor dem Probanden befestigt. In der Abbildung 29 werden die Sitzposition eines Probanden und die installierten Dokumentationsgeräte im LKW mit KMS dargestellt.



Abbildung 29: Sitzposition im KMS-LKW [27]

Die Abbildung 30 zeigt ebenfalls die Sitzposition eines Probanden mit den installierten Dokumentationsgeräten im LKW mit KSS.



Abbildung 30: Sitzposition im KSS-LKW [27]

4.2.2. Dynamischer Versuch

Aufgrund der Hygienebestimmungen zum Versuchstag am 10.06.2021 konnten insgesamt nur zwei Personen in einem Versuchsfahrzeug fahren. Aus diesem Grund können die Realfahrten mit drei Probanden durchgeführt werden, wobei ein Fahrer und der Versuchsleiter in einem Fahrzeug saßen. Die Versuche sind demnach mit zwei Fahrschullehrern und einem Probanden mit LKW-Führerschein durchzuführen.

4.2.2.1. Versuchsstrecke

Die Realfahrten werden auf der Bundesautobahn A70 zwischen der Auffahrt Neudrossenfeld und dem Bamberger Kreuz (Wendepunkt) auf einer Strecke von etwa 100 km durchgeführt. Diese Strecke wird in sechs Teilstrecken unterteilt, wobei jeder Proband eine Messstrecke mit dem jeweiligen Sichtsystem absolviert. In der Anlage 5 sind die Messstrecken mit einigen Daten, wie zum Beispiel Streckenprofil und Länge aufgeführt. Die Tabelle 7 zeigt eine Aufstellung der Messstrecken, die der jeweiligen Probanden absolvierte und das verwendete Sichtsystem.

Tabelle 7: Übersicht der Messstrecken und das verwendete Sichtsystem

| Messstrecke | Proband | Sichtsystem |
|-------------|---------|-------------|
| 1 | 1 | KSS |
| 2 | 2 | KMS |
| 3 | 3 | KMS |
| 4 | 2 | KSS |
| 5 | 3 | KSS |
| 6 | 1 | KMS |

4.2.2.2. Anordnung der Fahrzeuge

Die Versuchsfahrzeuge fahren in Kolonne mit einem Abstand von etwa 80 m auf der rechten Fahrspur hintereinander. Das gemessene Versuchsfahrzeug fährt dabei voran. Die beiden Fixationsobjekte nähern sich mit dem Geschwindigkeitsüberschuss an. Um den Versuch reproduzierbar zu gestalten, beginnt die Messung der Geschwindigkeitsschätzung, wenn das jeweilige Fixationsobjekt am Heck des hinteren Versuchsfahrzeugs angekommen ist. Dabei hat dieses den Geschwindigkeitsüberschuss zu diesem Zeitpunkt erreicht. In der Abbildung 31 wird die Anordnung der Fahrzeuge veranschaulicht.

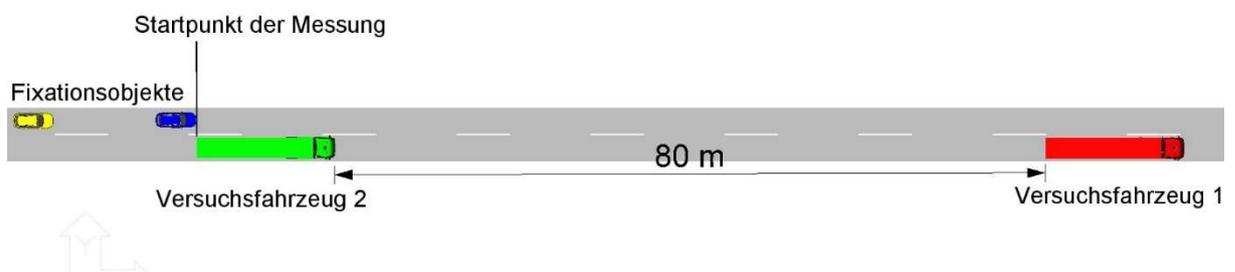


Abbildung 31: Anordnung der Fahrzeuge beim dynamischen Versuch

4.3. Versuchsdurchführung

4.3.1. Statischer Versuch

Zu Beginn wird der statische Versuch gemäß dem beschriebenen Versuchsaufbau im Kapitel 4.2.1 vorbereitet. Nach der Einweisung in den Versuchsablauf durch den Versuchsleiter platzieren sich die Probanden im Versuchsfahrzeug und füllen einen versuchsbegleitenden Fragebogen aus. Dieser Fragebogen wird in unausgefüllter Version in der Anlage 4 beigefügt.

4.3.1.1. LKW mit Kamera-Monitor-System

Vor der Datenerhebung der Versuchsreihe werden die fest positionierten gelben Hilfslinien am rechten Monitorrand hinsichtlich der veranschaulichten Distanzen untersucht. Hierfür wird das

Fixationsobjekt mit der Fahrzeugfront auf die Höhe der jeweiligen Hilfslinie positioniert. Die Abbildung 32 zeigt das Ergebnis der Untersuchungen auf gerader und ebener Fahrbahn mit dem ausgeschnittenen Monitorbild und der dazugehörigen Distanz zwischen der Front des Fixationsobjektes zur Front des LKW.

| 1.Hilfslinie (obere Linie) | 2.Hilfslinie (mittlere Linie) | 3.Hilfslinie (untere Linie) |
|---|--|---|
|  |  |  |
| Distanz: 105 m | Distanz: 50 m | Distanz: 30 m |

Abbildung 32: Distanzen der Hilfslinien [27]

Im Zuge der Voruntersuchungen wird ferner der Winkelbereich ermittelt, der benötigt wird, um durch eine Kopfdrehung bei Geradeausblick auf den linken respektive rechten Monitor zu schauen. Der linke Monitor wird bei einem Winkel von etwa 26° und der rechte Monitor bei etwa 67° ein geschauen. In der Abbildung 33 werden die Winkelbereiche bei Kopfdrehung und Geradeausblick zu dem linken und rechten Monitor veranschaulicht.

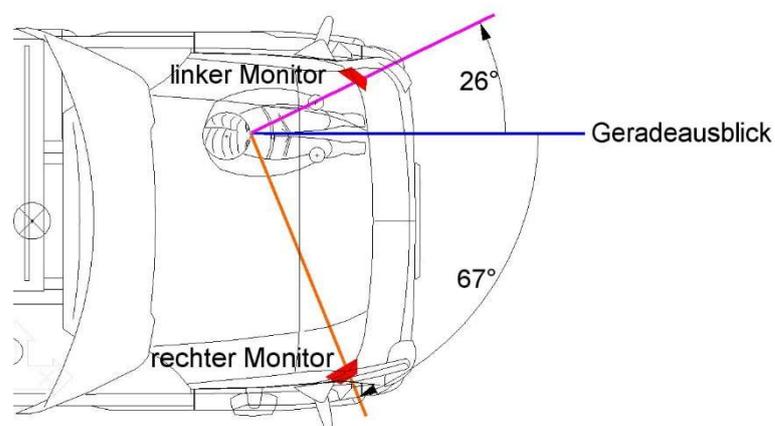


Abbildung 33: Winkelbereiche bei Kopfbewegung beim KMS

Nachdem sich die Probanden in das Versuchsfahrzeug platziert haben, wird der Funkkontakt zu dem Einweiser mittels Telefongesprächs aufgebaut. Dieser weist den Betreuer im Fixationsobjekt in die einzelnen Versuchspositionen ein, welche durch die versuchsbegleitenden Ablaufprotokolle definiert sind. Die Dokumentation der Messung erfolgt durch das Starten der Mini-Actioncam auf dem Armaturenbrett und des Aufnahmeprogramms der Eye-Tracking-Brille. Zu Beginn schaut der Proband nach vorn auf die Mini-Actioncam, um einen reproduzierbaren Geradeausblick, der den Start und das Ende der Blickbewegung

darstellt, sicherzustellen. Der Start der Messungen mit dem fixierten Geradeausblick zur Kamera auf dem Armaturenbrett wird in der Abbildung 34 aufgezeigt. Die Fixation durch die Eye-Tracking-Brille wird im Analyseprogramm mit einem orangen Kreis veranschaulicht.



Abbildung 34: Startposition mit Blick auf Kamera [27]

Mit einem akustischen Signal „jetzt in den Monitor schauen“ beginnt die Blickbewegung in das Sichtsystem. Die Blickzeit wird vom Versuchsleiter nicht direkt begrenzt, da diese bei der Untersuchung möglichst authentisch dargestellt werden soll. Die Kopf- und Blickbewegung mit der beispielhaften Fixation des PKW wird in der Abbildung 35 dargestellt.

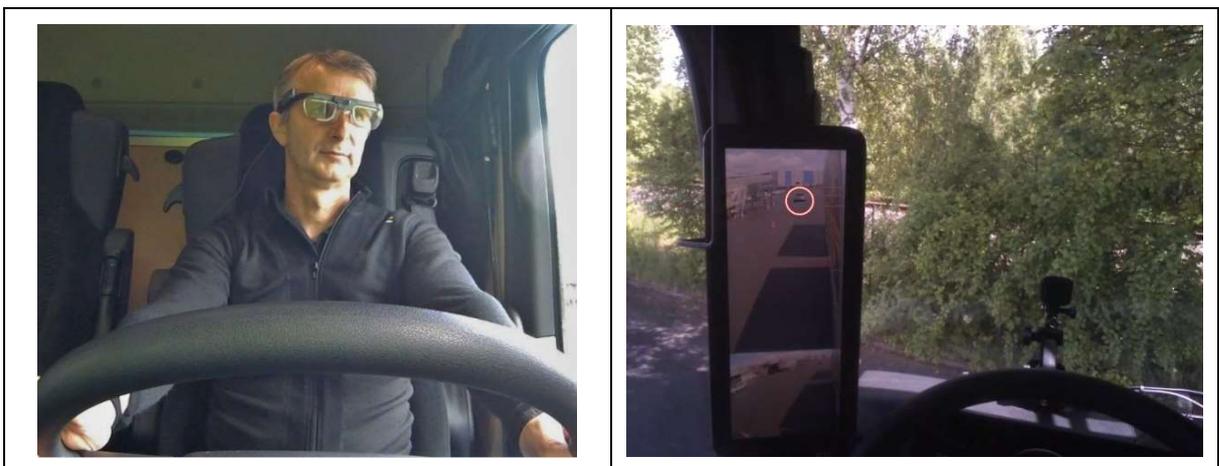


Abbildung 35: Blick zum Monitor mit fixiertem Fahrzeug [27]

Die Messung endet nach dem Blick in den Monitor mit dem Geradeausblick und der Fixation der Kamera auf dem Armaturenbrett. Der Proband hat im Anschluss zur Messung den geschätzten Wert zu nennen. Nach dem ersten Blick in den Monitor verbleibt dem Probanden noch ein zweiter Blick, um den geschätzten Wert zu bestätigen oder zu korrigieren. Das Fixationsobjekt wird nach der Messung in die jeweils nächste Versuchsposition eingewiesen und die Messung startet mit dem beschriebenen Ablauf von vorn. Insgesamt werden drei Versuchspositionen mit je zwei Blicken in den Monitor gemessen.

Die erste Versuchsreihe des statischen Versuches mit dem Kamera-Monitor-System wurde am 29.05.2021 zwischen 11:50 Uhr und 13:05 Uhr durchgeführt. Die Wetterverhältnisse

stellten sich anfangs als bewölkt und trocken dar. Im Verlauf der Messungen zieht ein leichter Schauer auf, der die Fahrbahn regennass bedeckt. Zum Ende des Versuches zieht der Regen ab und es bleibt dennoch bewölkt.

4.3.1.2. LKW mit Spiegelsystem

Im Rahmen der Voruntersuchungen werden die Blickwinkel ermittelt, die notwendig sind, um durch eine Kopfdrehung mit Geradeausblick den linken beziehungsweise rechten Spiegel einzusehen. Das Ergebnis dieser Vorbetrachtung wird in der Abbildung 36 dargestellt. Der linke Spiegel wird bei einer Kopfdrehung um etwa 63° und der rechte Spiegel bei einer Drehung von etwa 77° vollständig eingesehen.

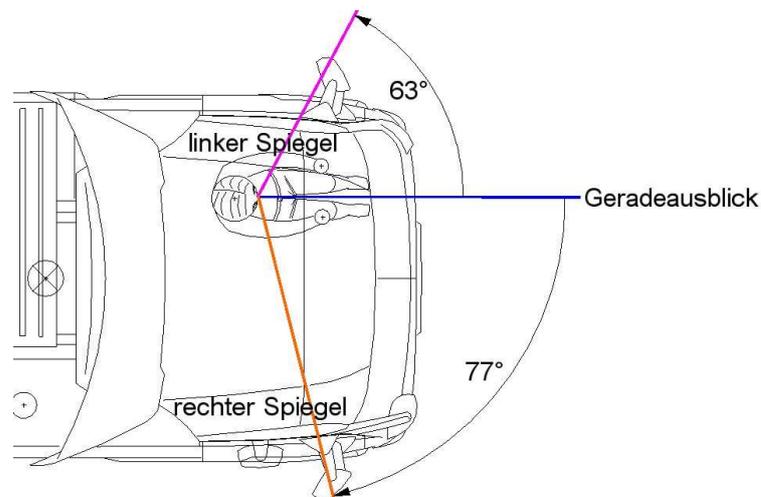


Abbildung 36: Winkelbereiche bei Kopfbewegung beim KSS

In Analogie zur Datenerhebung beim Versuch mit dem KMS wird die Versuchsreihe beim Fahrzeug mit dem Spiegelsystem durchgeführt. Die Probanden haben also zwei Schätzungen bei jeweils drei unterschiedlichen Positionen des Fixationsobjekts zu absolvieren. Die Messung startet auch bei diesem Versuch mit dem Geradeausblick und der Fixation der Kamera auf dem Armaturenbrett. In der Abbildung 37 wird dieser Geradeausblick veranschaulicht.

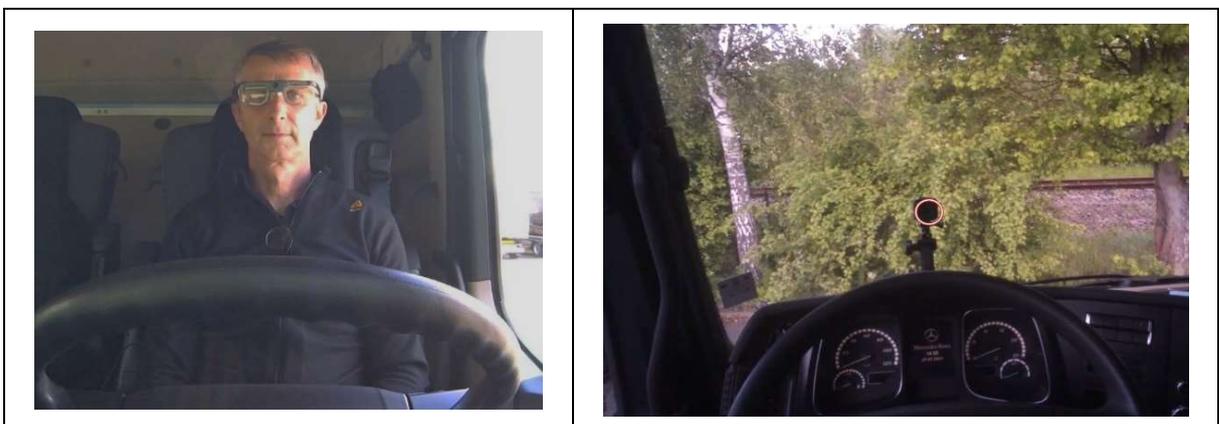


Abbildung 37: Startposition mit Geradeausblick [27]

Die Blickbewegung erfolgt dann nach einem akustischen Signal „jetzt in den Spiegel schauen“ und endet wiederum bei dem aufgezeigten Geradeausblick. In der Abbildung 38 werden die Kopf- und Blickbewegung zum Spiegelsystem mit dem beispielhaft fixierten PKW aufgezeigt.



Abbildung 38: Blick zum Spiegel mit fixiertem Fahrzeug [27]

Die Datenerhebung der zweiten Versuchsreihe des statischen Versuches erfolgte am 29.05.2021 im Zeitraum von 13:20 Uhr bis 14:30 Uhr. Die Wetterverhältnisse stellten sich in diesem Zeitfenster als sonnig dar. Am Anfang der Versuchsreihe ist die Fahrbahn noch leicht regennass vom Schauer der ersten Versuchsreihe. Im weiteren Verlauf trocknet die Fahrbahn allmählich ab. Die Sonne steht zu Beginn des Versuches vor dem Versuchsfahrzeug und wandert dann rechts um das Fahrzeug herum, wie dies die Abbildung 39 darstellt.

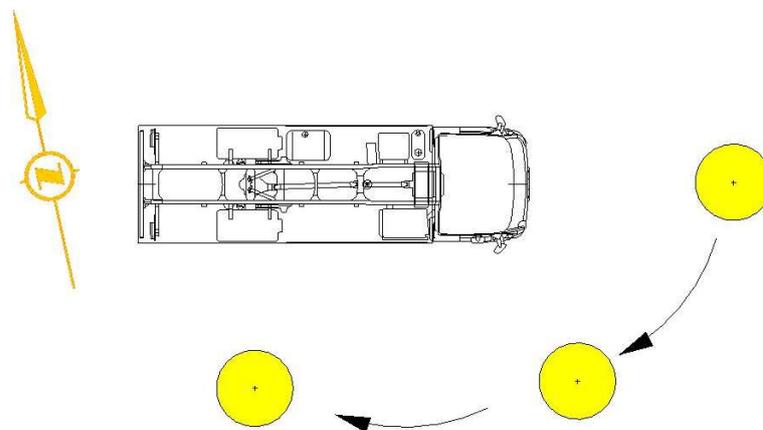


Abbildung 39: Sonnenstand der Versuchsreihe mit KSS

4.3.2. Dynamischer Versuch

Bei der dynamischen Versuchsreihe wird ergänzend zu den statischen Versuchen das realitätsnahe Blickverhalten des Fahrzeugführers untersucht. Daher werden keine besonderen Anforderungen vom Versuchsleiter an den Probanden gestellt. Einzig die Schätzung der Geschwindigkeit eines überholenden Fahrzeugs wird bei dieser Versuchsreihe als Aufgabe gestellt.

Nachdem die Probanden und Betreuer durch den Versuchsleiter in den Versuch eingewiesen worden sind, platzieren sich der Proband und der Versuchsleiter im LKW. Der Proband stellt sich bei Bedarf die Sitzposition ein, installiert dann die Eye-Tracking-Brille und kalibriert diese. Der Kontakt zu dem zweiten LKW und den beiden PKWs erfolgt über Kommunikationsgeräte. Die beteiligten Versuchsfahrzeuge und Fixationsobjekte haben sich auf der A70 wie im Kapitel 4.2.2.2. definiert anzuordnen. Der Versuchsleiter fährt mit dem Probanden im Versuchsfahrzeug am Anfang der Kolonne und gibt die Anweisung des versuchsbegleitenden Protokolls an das Fixationsfahrzeug. Die Messung beginnt am Startpunkt, wie dies auf der Abbildung 31 gezeigt wurde, indem das Fixationsobjekt mit dem Geschwindigkeitsüberschuss an der Kolonne heranzfährt. Das Startsignal gibt dabei der Fahrer des Fixationsobjektes, wenn dieser das Heck des hinteren LKW erreicht hat. Das Schätzverfahren erfolgt über Blicke in das linke Sichtsystem. Der Fahrer des LKW schätzt die Geschwindigkeit des überholenden Fahrzeugs hierfür im Zeitraum der ersten Wahrnehmung, bis das Fixationsobjekt nicht mehr im Sichtsystem zu sehen ist. Nach der Messung hat der Proband den Schätzwert zu nennen und die zweite Messung wird nach demselben Muster mit einer anderen Differenzgeschwindigkeit eingeleitet. Insgesamt absolvieren die Probanden also zwei Schätzmessungen. Nachdem die Schätzverfahren abgeschlossen sind, wird die Fahrt ohne Anweisungen vom Versuchsleiter fortgesetzt. Hierbei wird das authentische Verhalten des LKW-Fahrers mit der Eye-Tracking-Brille dokumentiert.

Der Fahrerwechsel erfolgt an den zuvor definierten Parkplätzen, wie dies im Versuchsaufbau unter 4.1.3. beschrieben wurde. Die Messungen mit den Probanden erfolgen nach demselben Muster hinsichtlich der zweifachen Geschwindigkeitsschätzung und der Realfahrt ohne weitere Anweisungen.

Die Wetterbedingungen am Versuchstag, dem 10.06.2021, waren im Zeitraum der Messungen von 10:00 Uhr bis 13:00 Uhr insgesamt sonnig und trocken.

4.4. Versuchsauswertung

4.4.1. Vorbetrachtungen zur Analyse-Software

Für die Analyse der Blickzeiten wurde die Software Tobii Pro Lab mit der Hochschul-Lizenz vom Juni 2017 verwendet. Mit der Analyse-Software werden unter anderem Fixationszeiten ermittelt, welche die Eye-Tracking-Brille zuvor erkannt hat. Die Fixationen können dabei im Tausendstelbereich, also in Millisekunden, angegeben werden.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden die Versuchssequenzen hinsichtlich der Fixationszeiten und des Zeitbedarfs für die Blickzuwendungen mit der Analyse-Software analysiert. Es werden dabei drei Hauptkategorien unterschieden, wobei zum einen der Zeitbedarf vom Geradeausblick zum Sichtsystem hin untersucht wird. Zum anderen werden die Blicke und Fixationen auf das jeweilige Sichtsystem detailliert analysiert. Ferner wird der

Zeitbedarf untersucht, der benötigt wird, um vom Sichtsystem in den Geradeausblick zurückzufinden. Das Layout der Analyse-Software wird in der Abbildung 40 veranschaulicht. Neben dem Videobildausschnitt ist auch eine Zeitleiste mit verschiedenen Reglern zu sehen, mit welchen die Fixationen und weitere Parameter in Millisekunden herausgearbeitet werden können.

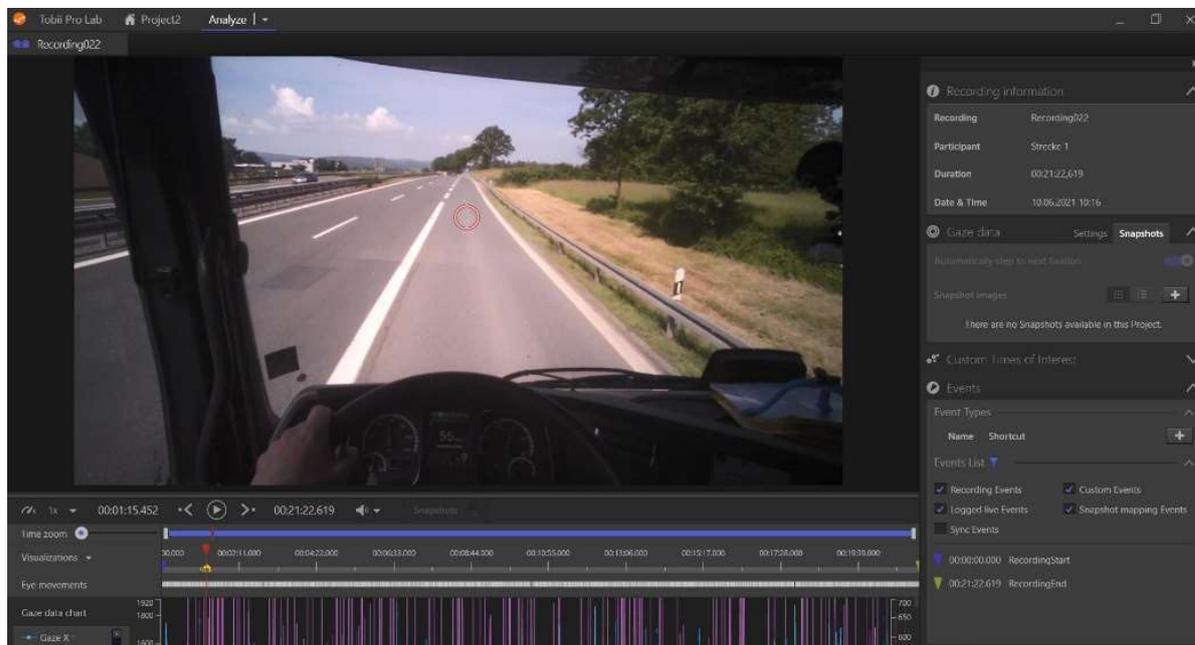


Abbildung 40: Layout der Analyse-Software Tobii Pro Lab [27]

Als Start und Endpunkt der Einzelmessung der statischen Versuche dient die jeweils erste beziehungsweise letzte Fixation der Kamera auf dem Armaturenbrett, welche durch den gelben Kreis veranschaulicht wird. Bei dem dynamischen Versuch wird die Fixation der Fahrbahn als Start- und Endpunkt definiert. Der Zeitbedarf beim speziellen Blickverhalten zum Sichtsystem und wieder zurück, wie beispielsweise Augenbewegungen und Kopfbewegungen, werden, soweit dies möglich ist, auch nochmals voneinander differenziert. Hierbei dient als reproduzierbares Maß für die Augenbewegung die Zeitspanne, in der keine Kopfbewegung erkannt werden kann, aber die Software die Fixationen des Auges wahrgenommen hat. Die Kopfbewegung wird durch die visuelle Verschiebung des Videoausschnittes bis in den annähernden Geradeausblick definiert und ergibt damit einen reproduzierbaren Parameter.

4.4.2. Auswertung statischer Versuch

4.4.2.1. Darstellung der Ergebnisse

4.4.2.1.1. Versuchsreihe mit Kamera-Monitor-System

4.4.2.1.1.1. Blick zum Monitor

Bei der Auswertung des Videomaterials konnte ein Muster erkannt werden, wie sich der Blick zum Monitor darstellt. Dabei differenzierten sich zwei teils aufeinander folgende aber auch teils überschneidende Blickbewegungsarten. Bei den Probanden konnte zunächst eine Augenbewegung ohne Kopfbewegung erkannt werden. Nach Abschluss der Augenbewegung folgte dann eine Kopfbewegung, wobei das Auge schon den Monitor fixierte. Hieraus lässt sich ein durchschnittlicher Zeitbedarf für die beiden Bewegungsarten bei der Blickzuwendung darstellen. Zur leichteren Nachvollziehbarkeit befindet sich in der Anlage 6 das Messprotokoll des Probanden 2 mit den einzelnen Messwerten. In der Tabelle 8 werden die Ergebnisse als Mittelwerte der Augenbewegung von 0,135 s bis 0,147 s und bei der Kopfbewegung von 0,302 s bis 0,462 s der einzelnen Probanden dargestellt. Insgesamt ergibt sich ein durchschnittlicher Zeitbedarf aller Probanden für die Augenbewegung von 0,141 s und für die Kopfbewegung von 0,410 s ergibt. Bei dem Probanden 3 konnte dabei beispielsweise keine separate Augenbewegung von der Kopfbewegung differenziert und bewertet werden.

Tabelle 8: Zeitbedarf Augen- und Kopfbewegung zum Monitor

| Zeitbedarf Augenbewegung | |
|--------------------------|-----------------|
| Proband | Mittelwert in s |
| 1 | 0,140 |
| 2 | 0,128 |
| 3 | nicht bewertbar |
| 4 | 0,147 |
| 5 | 0,135 |
| 6 | 0,147 |
| 7 | 0,147 |
| Durchschnitt | 0,141 |

| Zeitbedarf Kopfbewegung | |
|-------------------------|-----------------|
| Proband | Mittelwert in s |
| 1 | 0,494 |
| 2 | 0,302 |
| 3 | 0,455 |
| 4 | 0,391 |
| 5 | 0,462 |
| 6 | 0,314 |
| 7 | 0,449 |
| Durchschnitt | 0,410 |

Die Ergebnisse lassen sich an dieser Stelle insoweit interpretieren, dass die separate Augenbewegung als eine sprunghafte Blickbewegung anzusehen ist. Im Kapitel 2.1. wurde beschrieben, dass keine Informationen bei Blicksprüngen aufgenommen werden. Daher ist davon auszugehen, dass in den 0,141 s keine Informationsaufnahme erfolgt. Da sich der Monitor im Blickfeld des Probanden befindet und das Auge bei dem Blicksprung den Monitor schon erreicht hat, beginnt der Suchvorgang in etwa zeitgleich mit der Kopfbewegung.

4.4.2.1.1.2. Blickverhalten auf dem Monitor

Nachdem sich der Blick dem Monitor zugewendet hat, verweilt das Auge für eine bestimmte Zeit auf diesem und führt den Suchvorgang aus, um die gestellte Aufgabe zu lösen. Bezugnehmend auf das exemplarische Messprotokoll des Probanden 2 der Anlage 6 wird aus den Einzelwerten der jeweiligen Messungen die durchschnittliche Blickzeit auf dem Monitor ermittelt. In der Abbildung 41 wird die gesamte durchschnittliche Blickzeit auf dem Monitor anhand der orangenen Linie aufgezeigt. Diese beträgt für den statischen Versuch mit KMS 1,545 s.

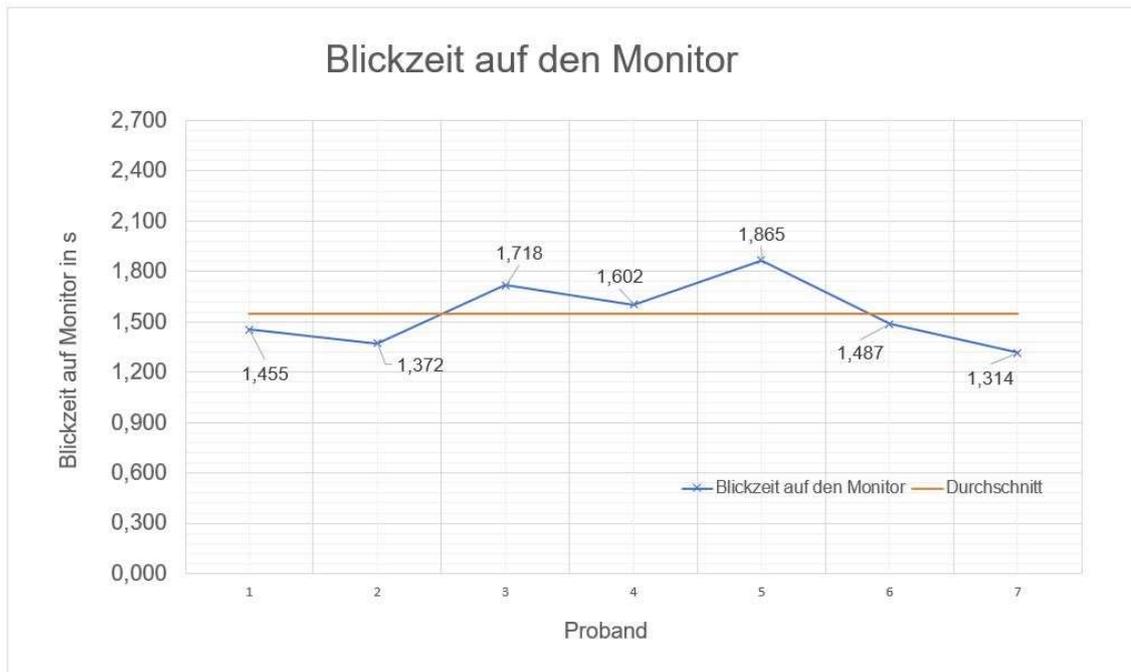


Abbildung 41: Blickzeiten auf dem Monitor

Bei den statischen Versuchen ist zu berücksichtigen, dass die gestellte Aufgabe der Distanzschätzung nicht mit dem Verhalten im Realverkehr gleichzustellen ist. Daher ist die Untersuchung der realitätsnahen Blick- und Fixationszeiten im Rahmen von dynamischen Versuchen zu ergänzen.

Die Fixationen, welche durch die Eye-Tracking-Brille erkannt worden sind, werden durch gelbe Kreise in der Analysesoftware dargestellt, wie dies in der Abbildung 40 zu sehen ist. Die Blickzeit auf den Monitor wurde hinsichtlich dieser erkannten Fixationen untersucht. Hierbei konnten Fixationen des Fixationsobjektes, der fest positionierten gelben Hilfslinien und weiteren Punkten, wie zum Beispiel auf der Fahrbahn oder Schattenbildungen unterschieden werden. Die Einzelfixationen wurden mittels der Software extrahiert und ergeben damit einzelne Fixationszeiten. In der Gesamtheit konnten gleichverteilte wechselseitige Einzelfixationen zwischen Fixationsobjekt und Hilfslinien erkannt werden. Weitere Punkte wurden nur selten fixiert. Aus den einzelnen Fixationen, wie dies im Messprotokoll der Anlage

6 dargestellt wird, werden Fixationsdauern für den ersten und zweiten Blick pro Probanden berechnet, wie dies in der Abbildung 42 und Abbildung 43 graphisch dargestellt wird. Die Fixationsdauer des statischen Versuches mit KMS beträgt im Durchschnitt für den ersten Blick 0,698 s und für den zweiten Blick 0,629 s.

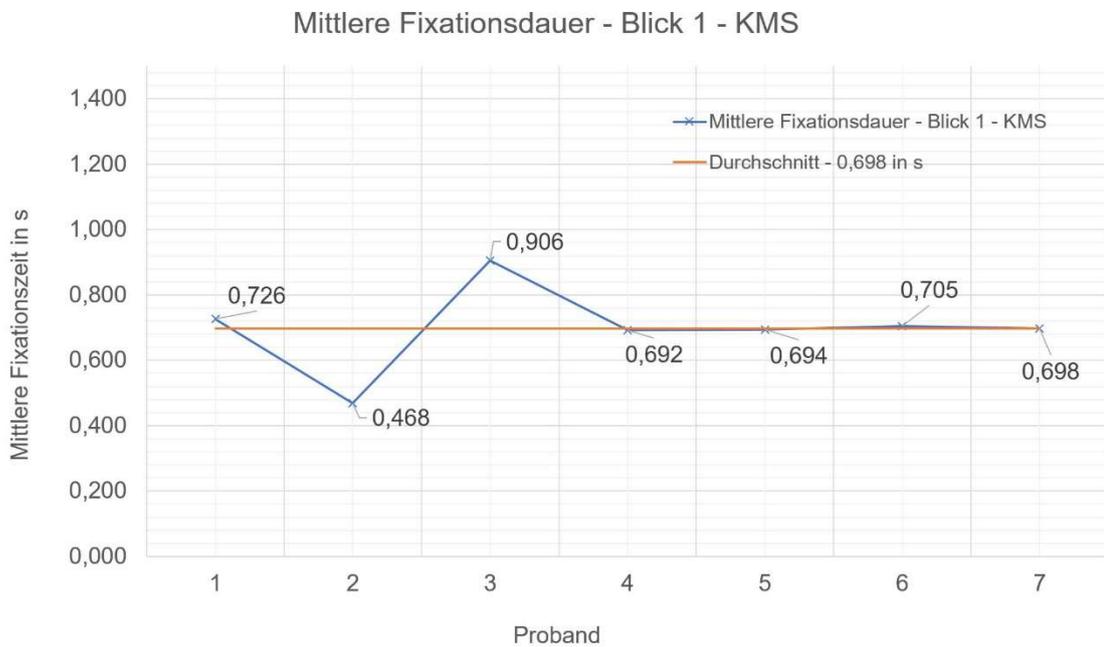


Abbildung 42: Fixationsdauer erster Blick

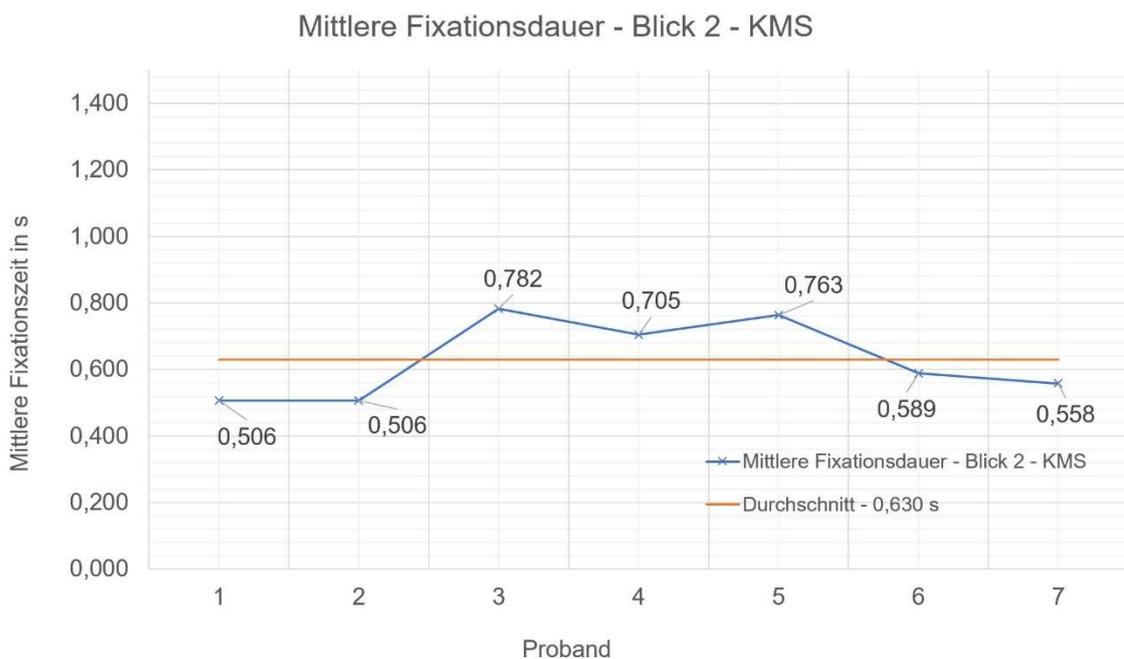


Abbildung 43: Fixationsdauer zweiter Blick

Neben den zeitlichen Zusammenhängen wird auch die Qualität der Schätzverfahren detailliert analysiert. Die Anlage 7 zeigt alle Messwerte des statischen Versuches mit der Probandennummer, Uhrzeit, Wetterbedingungen und der Genauigkeit des Schätzwertes.

Aus der Summe der unter- und überschätzten sowie exakt geschätzten Werte wurde der prozentuale Anteil errechnet und in Diagrammen veranschaulicht. Die Abbildung 44 zeigt zunächst die Gesamtauswertung der Distanzschätzung mittels des KMS. Insgesamt wurden die Distanzen mittels KMS in diesem statischen Versuch tendenziell unterschätzt.

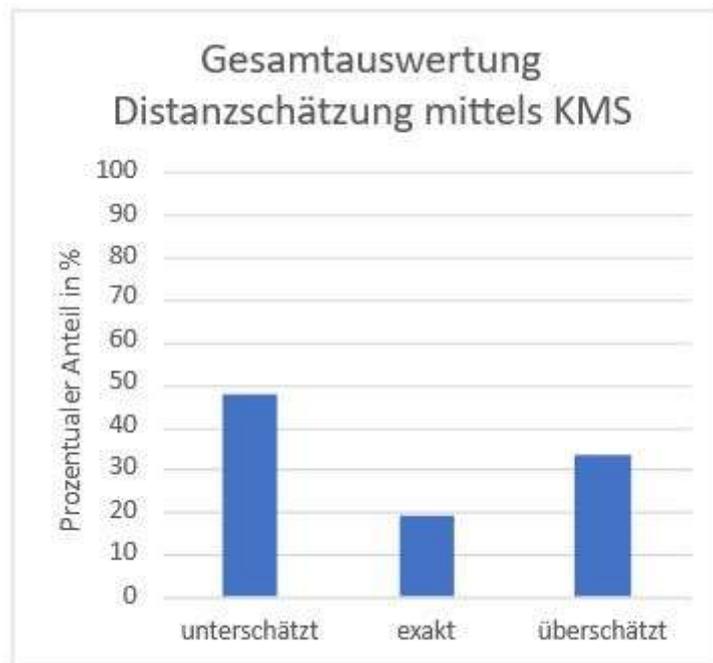


Abbildung 44: Gesamtauswertung der Distanzschätzung mittels KMS

Im Kapitel 4.1.7.1. wurden die Versuchspeditionen in drei Bereiche definiert. Die einzelnen Messungen werden also in die drei Bereiche unterteilt und mittels der prozentualen Anteile in Diagrammen dargestellt. Die vollständige Datenerhebung befindet sich in der Anlage 8 nachvollziehbar beigefügt. In der Abbildung 45 werden die drei Bereiche graphisch veranschaulicht.

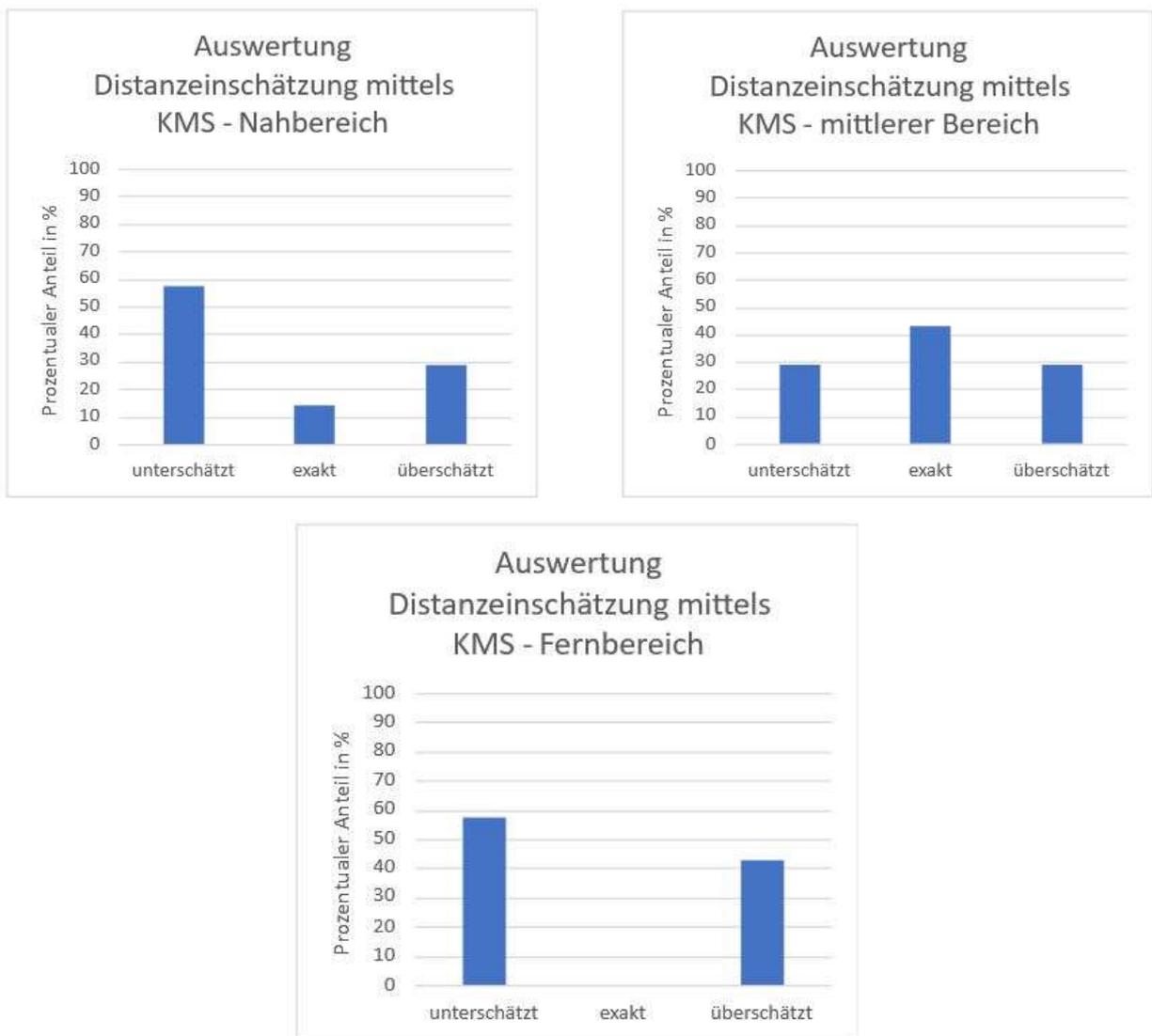


Abbildung 45: Auswertung der vordefinierten Bereiche

Die Abbildung 45 zeigt, dass die Schätzwerte im mittleren Bereich von 40 m bis 70 m am genauesten eingeschätzt wurden. Im Nahbereich von 20 m – 40 m wurden die Positionen tendenziell unterschätzt. Im Fernbereich war die exakte Schätzung der Positionen nicht möglich. Tendenziell wurde ebenso der Fernbereich eher unterschätzt. Die konkrete Anzahl der Schätzungen bezüglich der einzelnen Probanden kann in der Anlage 8 nachvollzogen werden.

4.4.2.1.1.3. Blick zurück vom Monitor

Bei der Blickabwendung vom Monitor zum Geradeausblick wurden in Analogie zur Blickzuwendung ebenso zwei Bewegungsarten erkannt. Dabei wurde die separate Augenbewegung jedoch nur vereinzelt festgestellt. Bei dem Messprotokoll der Anlage 6 wurde beispielsweise bei dem Probanden 2 keine separate Augenbewegung erkannt. Insgesamt war die vorherrschende Blickbewegung in dieser Versuchsreihe die Kopfbewegung. Für die

Kopfbewegung konnte aus den jeweiligen Einzelmessungen von 0,353 s bis 0,494 s ein gesamter Durchschnitt gebildet werden, wobei dieser 0,404 s beträgt.

Die vereinzelt festgestellten separaten Augenbewegung stellen im Durchschnitt einen Zeitbedarf von 0,096 s dar. Die Tabelle 9 veranschaulicht die Mittelwerte aus den Einzelmessungen sowie den daraus gebildeten gesamten Durchschnitt.

Tabelle 9: Zeitbedarf Augen- und Kopfbewegung zurück vom Monitor

| Zeitbedarf Augenbewegung | | Zeitbedarf Kopfbewegung | |
|--------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|
| Proband | Mittelwert in s | Proband | Mittelwert in s |
| 1 | 0,090 | 1 | 0,379 |
| 2 | nicht bewertbar | 2 | 0,397 |
| 3 | nicht bewertbar | 3 | 0,417 |
| 4 | nicht bewertbar | 4 | 0,436 |
| 5 | nicht bewertbar | 5 | 0,494 |
| 6 | 0,101 | 6 | 0,353 |
| 7 | 0,096 | 7 | 0,353 |
| Durchschnitt | 0,096 | Durchschnitt | 0,404 |

4.4.2.1.2. Versuchsreihe mit Spiegel-System

4.4.2.1.2.1. Blick zum Spiegel

Die Auswertung der Videosequenzen zeigte, dass bei der Versuchsreihe mit dem Spiegel-System keine separate Augenbewegung erkannt werden konnte. Anders als bei den Versuchen mit dem KMS drehten die Probanden sofort den Kopf zum linken Außenspiegel. Die erste Fixation wird erst dann erkannt, wenn sich das Auge relativ zum Kopf nahezu in einem Geradeausblick zum Spiegel befindet. Der gesamte durchschnittliche Zeitbedarf für diese separate Kopfbewegung wurde anhand der einzelnen Durchschnitte gebildet. Zur vollständigen Nachvollziehbarkeit darf auf die Anlage 9 verwiesen werden, in der sich ein exemplarisches vollständiges Messprotokoll des Probanden 2 befindet. Die Tabelle 10 stellt die Durchschnitte der Einzelmessung sowie den daraus ermittelten Gesamtdurchschnitt von 0,759 s bei der Kopfbewegung in Richtung des Außenspiegels dar.

Tabelle 10: Zeitbedarf Kopfbewegung zum Spiegel

| Zeitbedarf Kopfbewegung | |
|-------------------------|-----------------|
| Proband | Mittelwert in s |
| 1 | 0,833 |
| 2 | 0,583 |
| 3 | 0,776 |
| 4 | 0,737 |
| 5 | 0,814 |
| 6 | 0,789 |
| 7 | 0,782 |
| Durchschnitt | 0,759 |

In diesem Fall lässt sich dieses Ergebnis insoweit interpretieren, als dass bei der Kopfbewegung und selbstredend auch einer gleichzeitigen Augenbewegung aufgrund des weiten Blicksprunges über 63° in dem Zeitraum von 0,759 s keine Informationen aufgenommen werden. Zu erklären wäre dies mit dem Gedanken, dass das zu fixierende Objekt erst nach der Kopfbewegung gesucht werden muss und danach die Fixation stattfindet.

4.4.2.1.2.2. Blickverhalten auf der Spiegelfläche

Nach der Kopfbewegung zum Außenspiegel verweilt das Auge für eine bestimmte Zeit auf der Spiegelfläche. Die durchschnittliche Blickzeit wurde aus den Mittelwerten der Einzelmessungen erarbeitet. Zur leichteren Bezugnahme wird das Messprotokoll des Probanden 2 in der Anlage 9 nachvollzogen werden. In der Abbildung 46 werden die Durchschnitte der Einzelmessungen sowie die gesamte durchschnittliche Blickzeit auf die Spiegelfläche von 2,07 s veranschaulicht.

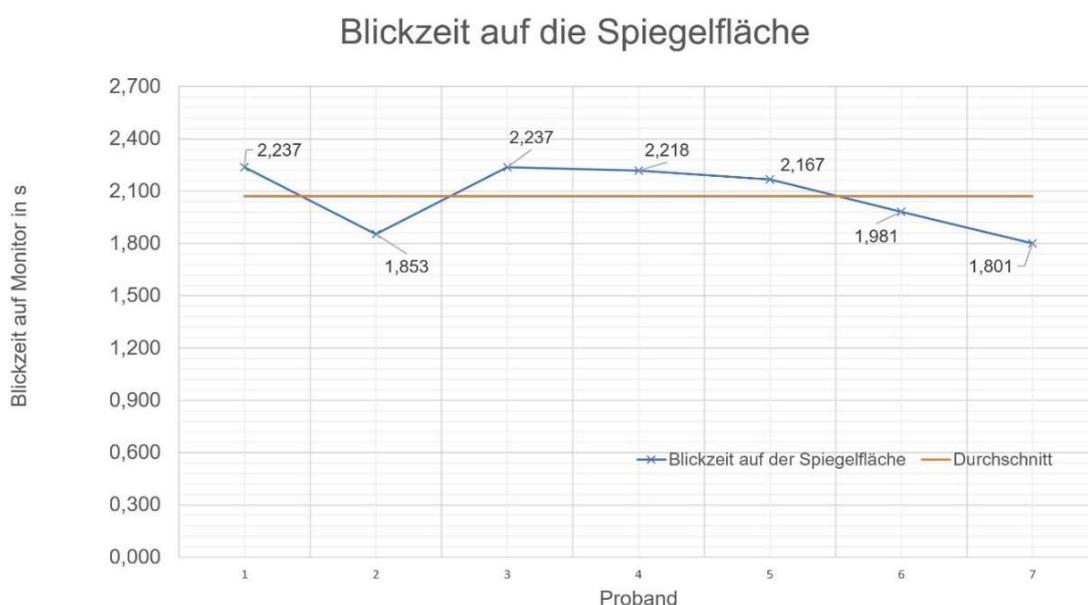


Abbildung 46: Blickzeit auf der Spiegelfläche

Die durchschnittliche Blickzeit auf der Spiegelfläche von 2,07 s wird in gleicher Art, wie bei dem statischen Versuch mit dem KMS anhand der dynamischen Versuche gegenübergestellt und diskutiert. Letzteres deshalb, da die gestellte Aufgabe bei den statischen Versuchen nicht mit dem Verhalten im realen Verkehr gleichzusetzen ist. Während der Blickzeit auf den Spiegel konnten wechselseitige und homogen verteilte Fixationen zwischen dem Fixationsobjekt und weiteren Punkten, wie beispielsweise Schatten und das Ende des LKW, durch die Eye-Tracking-Brille extrahiert werden. Aus den einzelnen Fixationen konnten Durchschnitte für die Fixationsdauer bei dem ersten und zweiten Blick ermittelt werden. In der Abbildung 47 und Abbildung 48 werden die einzelnen Mittelwerte der Fixationsdauern des ersten und zweiten Blickes dargestellt. In der Gesamtheit beträgt die Fixationsdauer des statischen Versuches mit dem KSS beim ersten Blick 1,026 s und beim zweiten Blick 0,978 s.

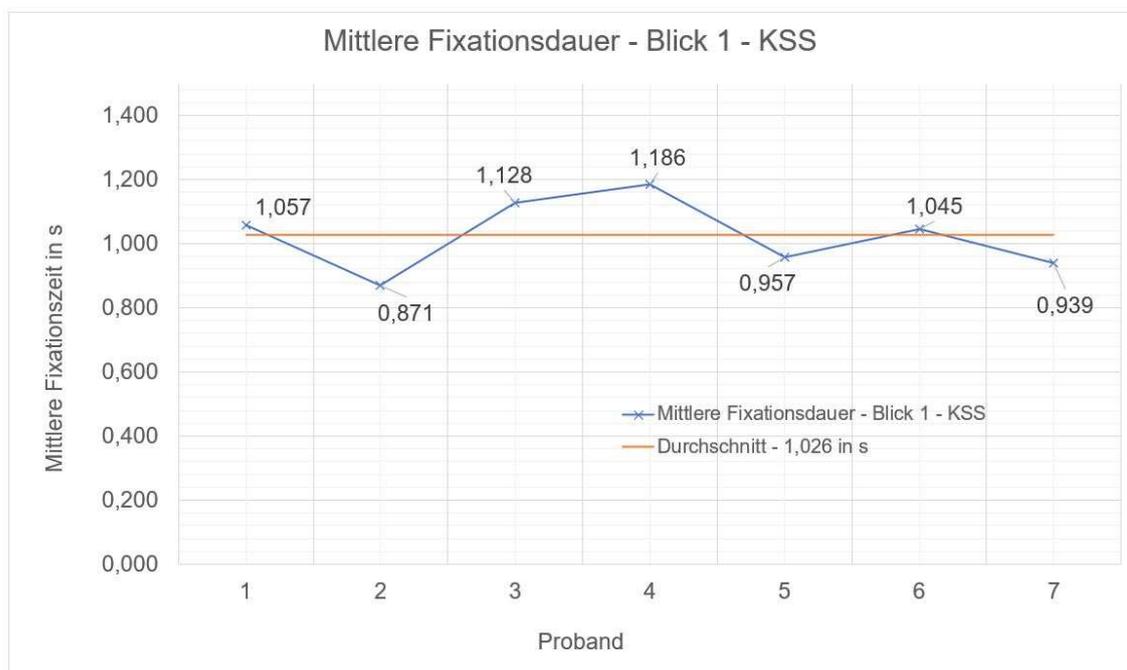


Abbildung 47: Fixationsdauer erster Blick

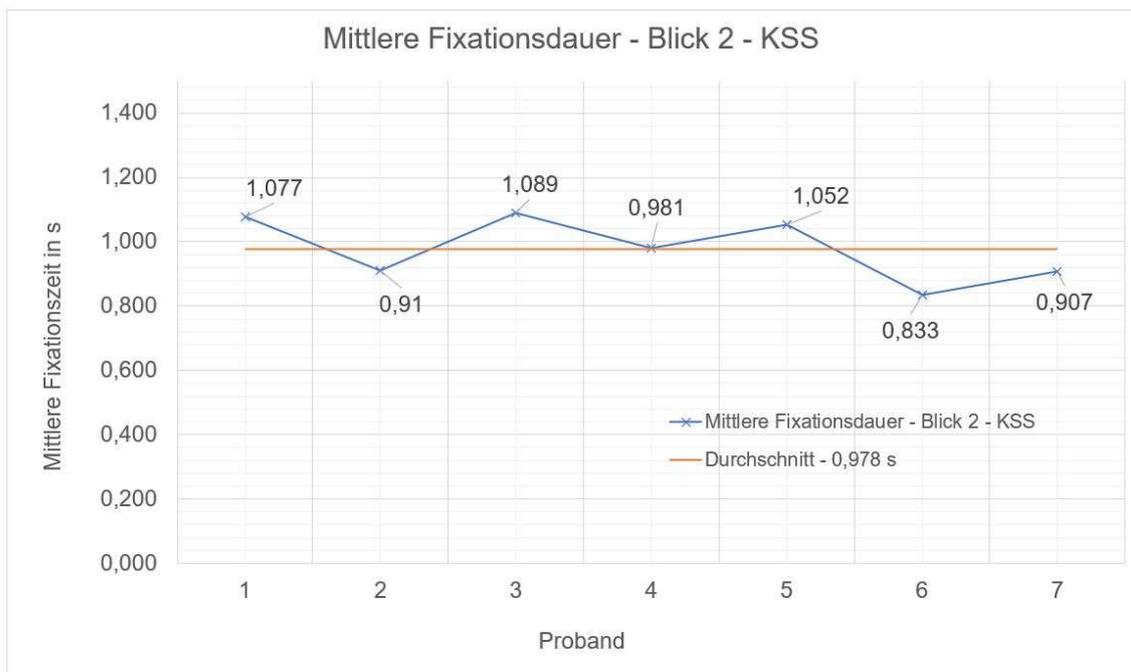


Abbildung 48: Fixationsdauer zweiter Blick

In Analogie zum Versuch mit dem KMS werden die Schätzwerte anhand der Messwerttabelle in der Anlage 10 hinsichtlich deren Qualität untersucht. Aus der Summe der exakten sowie unter- oder überschätzten Versuchspositionen wurde mittels des jeweiligen prozentualen Anteils die Graphik in der Abbildung 49 erstellt. Dabei wurden die Distanzen insgesamt mittels KSS tendenziell unterschätzt.

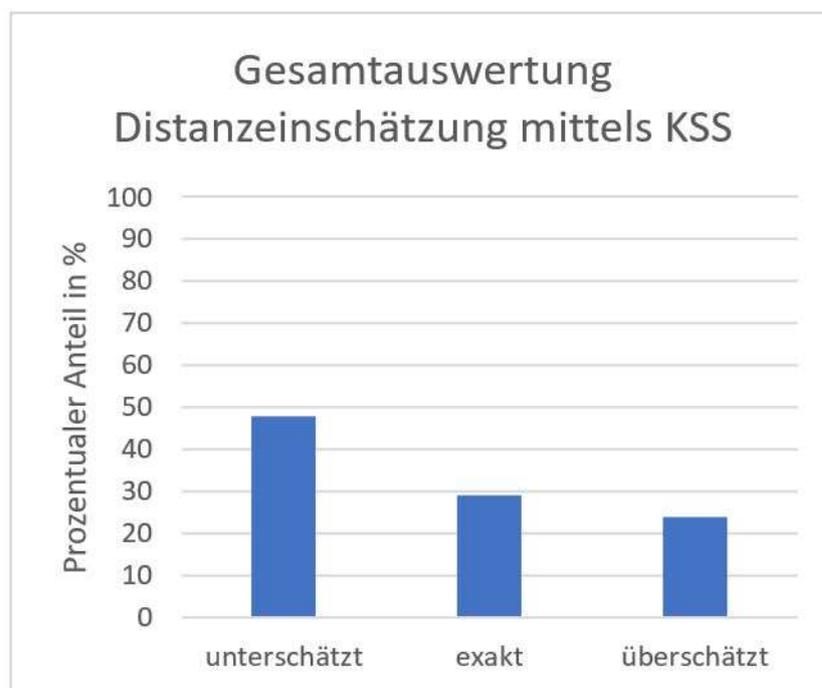


Abbildung 49: Gesamtauswertung Distanzschätzung mittels KSS

Weiterhin wurden die Schätzwerte aus der Anlage 10 hinsichtlich der vordefinierten Bereiche aus dem Kapitel 4.1.7.2. unterteilt und die Genauigkeit der Schätzungen in der Abbildung 50 zusammengestellt. Die gesamte Datenerhebung befindet sich dabei in der Anlage 11.

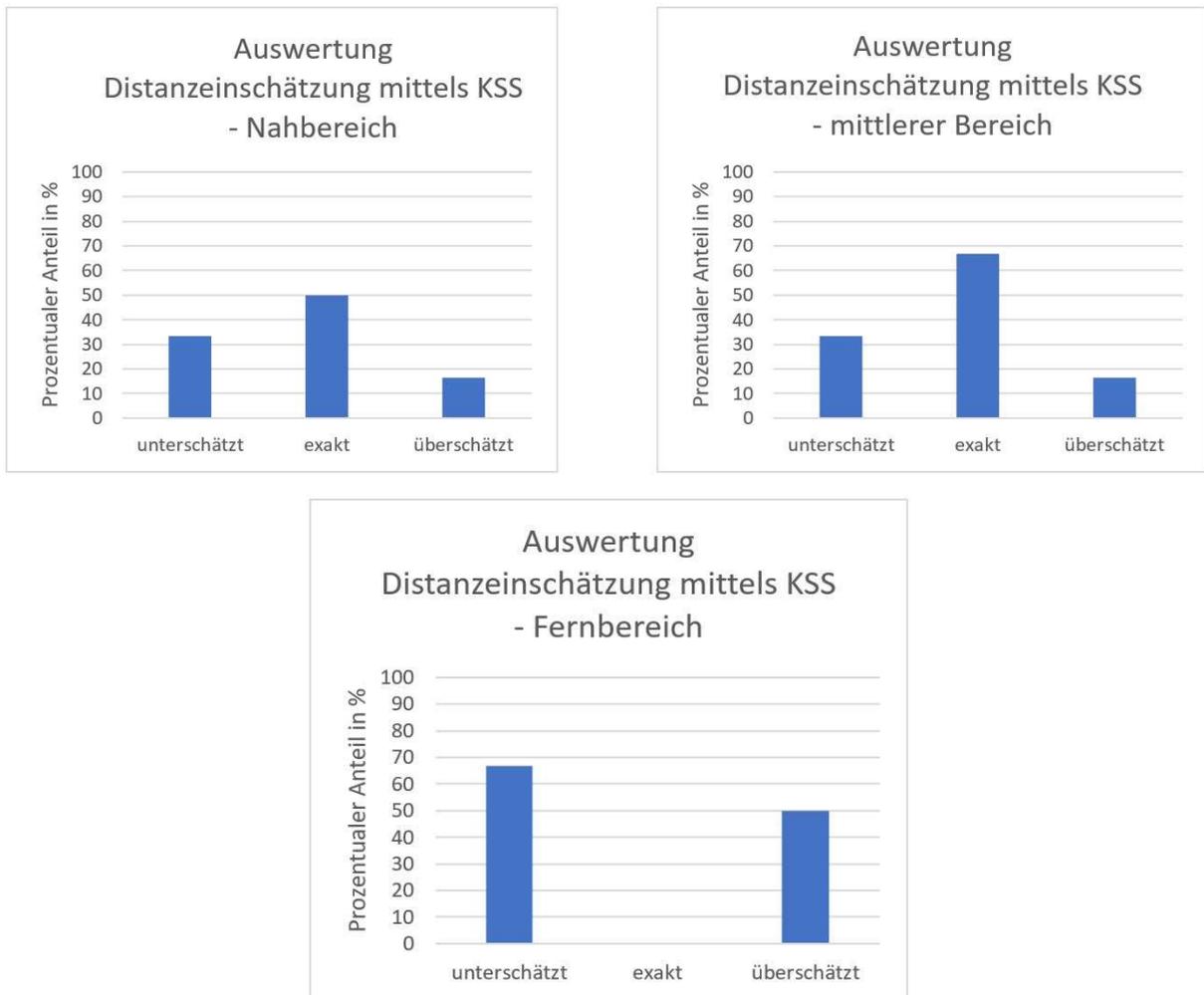


Abbildung 50: Auswertung der vordefinierten Bereiche

Die Datenerhebung in der Abbildung 50 zeigt, dass die Schätzwerte im Nahbereich (30 m - 40 m) und im mittleren Bereich (40 m – 70 m) überwiegend exakt geschätzt wurden. Im Gegensatz dazu wurde im Fernbereich (70 m – 120 m) keine Versuchsposition exakt geschätzt. Tendenziell wurden die Schätzwerte im Fernbereich mit dem Spiegel unterschätzt. Am genauesten wurden die Positionen des Fixationsobjektes im mittleren Bereich geschätzt.

4.4.2.1.2.3. Blick zurück vom Spiegel

Den Messdaten in der Anlage 9 ist zu entnehmen, dass auch bei der Blickabwendung von der Spiegelfläche zum Geradeausblick keine separate Augenbewegung festgestellt werden konnte. Aus den einzelnen Messwerten wurden Durchschnitte gebildet und in der Tabelle 11 zusammengefasst. Als Zeitbedarf für die Kopfbewegung vom Spiegel zum Geradeausblick wurden im Gesamtdurchschnitt 0,627 s benötigt.

Tabelle 11: Zeitbedarf Kopfbewegung zurück vom Spiegel

| Zeitbedarf Kopfbewegung | |
|-------------------------|-----------------|
| Proband | Mittelwert in s |
| 1 | 0,532 |
| 2 | 0,577 |
| 3 | 0,667 |
| 4 | 0,544 |
| 5 | 0,795 |
| 6 | 0,776 |
| 7 | 0,500 |
| Durchschnitt | 0,627 |

In dem ermittelten Zeitraum von 0,627 s ist wie unter 2.1. anzunehmen, dass aufgrund des großen Blicksprunges über etwa 63° keine Informationen aufgenommen werden. Die Fixation der Kamera auf dem Armaturenbrett erfolgt in diesem Falle ebenso erst nach nahezu der vollständigen Kopfdrehung zum Geradeausblick.

4.4.2.2. Interpretation der Ergebnisse der statischen Versuchsreihe

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse aus dem statischen Versuch einander gegenübergestellt und interpretiert. Zunächst wird das Blickverhalten zum jeweiligen Sichtsystem bewertet und in der Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: Vergleich der Blickzuwendung zum jeweiligen Sichtsystem

| Blickzuwendung | | |
|------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| KMS | | KSS |
| Augen- bewegung | Kopf- bewegung | Kopf- bewegung |
| 0,141 s | 0,409 s | 0,759 s |
| keine Informations- aufnahme | Informations- aufnahme | keine Informations- aufnahme |

Der Tabelle 12 sind die jeweiligen Blickzeiten für die Blickzuwendung zum Sichtsystem zu entnehmen. Es wird ersichtlich, dass für die Blickzuwendung zum Monitor des KMS nicht zwingend eine Kopfbewegung notwendig ist, um den Informationsgehalt zu entnehmen. Letzteres liegt an der Position des Monitors im Blickfeld des Probanden.

Betrachtet man sich nochmals die Abbildung 29 (Sitzposition) und die Abbildung 34 (Startposition mit Geradeausblick) kommt man zu der Erkenntnis, dass sich der Monitor immer in der Peripherie des Fahrzeuglenkers befindet und mittels Augenbewegung in die Fovea verschoben werden kann. Da der Monitor schon durch die Augenbewegung erreicht wird, ist davon auszugehen, dass nach den 0,141 s der Augenbewegung die Informationsaufnahme beginnt. Während der Zeitspanne von 0,409 s der Kopfbewegung um etwa 26° kann der Suchvorgang auf dem Monitor schon starten, wie dies auch in den Videosequenzen der Eye-Tracking-Brille ersichtlich wurde. Im Gegensatz dazu konnte bei der Blickzuwendung zum Spiegel keine separate Augenbewegung festgestellt werden. Dies liegt daran, dass sich der Spiegel nicht im direkten Blickfeld des Fahrers befindet, wie dies auch in der Abbildung 30 (Sitzposition) und Abbildung 37 (Startposition mit Geradeausblick) gut ersichtlich wird. In der Zeitspanne von 0,759 s der Kopfbewegung um etwa 63° können aufgrund des großen Blicksprunges keine relevanten Informationen aufgenommen werden. Der Suchvorgang auf dem Monitor kann erst beginnen, wenn die Kopfbewegung abgeschlossen ist. Letzteres konnte auch in den Videosequenzen erkannt werden, da die erste Fixation erst nach vollständiger Kopfbewegung stattgefunden hat.

In der Gesamtschau der Ergebnisse hinsichtlich Blickzuwendung zum Sichtsystem lässt sich festhalten, dass beim KMS der Blick nicht vollständig vom Verkehrsgeschehen abgewendet wird. Da die Kopfbewegung nicht zwingend notwendig ist, kann durch Augenbewegungen im Blickfeld der Informationsgehalt vom Monitor entnommen werden. Bei der Blickzuwendung zum Spiegel ist eine Kopfbewegung notwendig, was zur Folge hat, dass der Blick vollständig vom Verkehrsgeschehen abgewandt ist. Zur leichteren Bezugnahme wird die Blickzuwendung beim jeweiligen Sichtsystem in der Anlage 12 als Bildreihen beigefügt. Der jeweilige Grad der Abwendung des Verkehrsgeschehens wird dabei gut ersichtlich.

In Analogie zur Blickzuwendung werden die zeitlichen Zusammenhänge der Blickabwendung in der Tabelle 13 gegenübergestellt.

Tabelle 13: Blickabwendung vom Sichtsystem

| Blickabwendung | | |
|------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| KMS | | KSS |
| Augen- bewegung | Kopf- bewegung | Kopf- bewegung |
| 0,096 s | 0,404 s | 0,627 s |
| keine Informations- aufnahme | Informations- aufnahme | keine Informations- aufnahme |

Da sich der Monitor im Blickfeld des Fahrers befindet, ist auch hierbei davon auszugehen, dass die Informationsaufnahme nach der Augenbewegung beginnen kann. Aufgrund des weiten Blicksprungs bei dem KSS beginnt dabei die Informationsaufnahme erst in etwa nach der vollständigen Kopfbewegung, wie dies auch in den Videosequenzen ersichtlich wurde. Der Zeitbedarf für die gesamte Blickabwendung ist wie auch bei der Blickzuwendung beim Spiegel-System erheblich länger als beim KMS. Der Grund hierfür liegt in der Positionierung der Spiegel und der damit einhergehenden größeren Kopfbewegung.

Insgesamt kann der Zeitbedarf für die Augen- und Kopfbewegung bei der Blickzuwendung und der Blickabwendung als repräsentativ angesehen werden, da die Bewegungsarten aus biologischen und physiologischen Hintergründen authentisch durchgeführt werden.

Nachfolgend wird das Blickverhalten auf dem jeweiligen Sichtsystem sowie die Ergebnisse der Distanzschätzung dargestellt und diskutiert. Da der statische Versuch nicht realitätsnah durchgeführt wurde, sind die Ergebnisse des Zeitbedarfes auf dem Sichtsystem mit den Ergebnissen aus dem dynamischen Versuch zu vergleichen. Hierzu werden genauere Ausführungen im Kapitel 4.4.3. dargestellt. An dieser Stelle werden die zeitlich gebundenen Ergebnisse in der Tabelle 14 übersichtlich gegenübergestellt.

Tabelle 14: Zeitbedarf auf dem Sichtsystem

| Zeitbedarf auf dem Sichtsystem | | | |
|--------------------------------|----------|---------|---------|
| Sichtsystem | | KMS | KSS |
| Blickzeit (insgesamt) | | 1,545 s | 2,07 s |
| mittlere Fixationsdauer | 1. Blick | 0,698 s | 1,026 s |
| | 2. Blick | 0,629 s | 0,978 s |

Der Tabelle 14 sind die jeweiligen Blickzeiten auf dem Sichtsystem zu entnehmen. Bei dem Versuch mit KMS wird ersichtlich, dass die durchschnittliche Fixationsdauer deutlich geringer ist, als dies bei dem Versuchen mit dem KSS der Fall ist. Ferner lässt sich eine Tendenz dahingehend erkennen, dass die mittlere Fixationsdauer bei dem ersten Blick länger andauert als bei dem zweiten Korrekturblick.

Bei der statischen Versuchsreihe wurde die Aufgabe der Distanzschätzung untersucht. Nachfolgend werden die Ergebnisse aus den jeweiligen Versuchsreihen gegenübergestellt und verglichen. Insgesamt konnte festgestellt werden, dass die Distanzen mit dem KMS tendenziell mit 48 % unterschätzt werden. Weiter wurden 23 % der Distanzen überschätzt und 19 % metergenau geschätzt. Die Distanzen durch den Spiegel wurden insgesamt tendenziell

ebenso mit 48 % unterschätzt. Ferner wurden durch den Spiegel 39 % der Distanzen exakt und 23 % überschätzt. In der Abbildung 51 werden die Gesamtergebnisse der beiden Sichtsysteme gegenübergestellt.

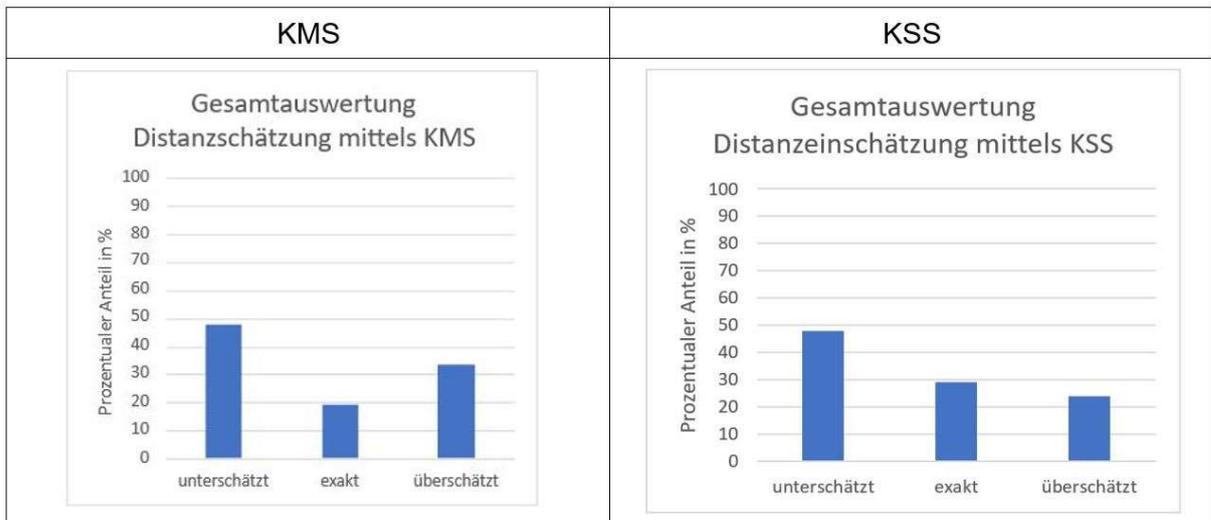


Abbildung 51: Gegenüberstellung der Gesamtergebnisse der Distanzschätzung

Betrachtet man sich jedoch die Genauigkeit der Distanzschätzungen in den vordefinierten Bereichen, die in der Anlage 13 nachvollziehbar sind, so kommt man zu folgendem Resümee. Die Distanzen im Nahbereich können durch das KSS tendenziell genauer eingeschätzt werden, als dies mit dem KMS möglich ist. Letzteres deshalb, da die Distanzen im Nahbereich durch das KMS unterschätzt wurden.

Eine Erklärung hierfür könnte einerseits die künstlich herbeigeführte Verzerrung des realen Bildes im Monitor sein. Ferner kann der dargestellte Blickwinkel des Fahrers auf das Fixationsobjekt bedingt durch den Montageort der Kamera zu dem Ergebnis führen. Bei der Distanzschätzung im vordefinierten mittleren Bereich konnten beiderseitig positive Erkenntnisse gewonnen werden. Tendenziell wurden die Distanzen beim KMS mit 42 % und beim Spiegel mit 67 % metergenau geschätzt. Es lässt sich also festhalten, dass die Distanzschätzung im mittleren Bereich von 40 m bis 70 m am genauesten eingeschätzt werden können.

In der Gesamtschau lässt sich aus diesen Erkenntnissen festhalten, dass Entfernungen im Nahbereich und im mittleren Bereich besser eingeschätzt werden können, als dies im Fernbereich der Fall ist. Insgesamt sind diese Ergebnisse dennoch als akzeptabel einzustufen. Letzteres deshalb, da neben der exakten Schätzung die Distanzen tendenziell unterschätzt wurden, welches unter Gesichtspunkten der Unfallforschung dienlich ist.

Nachfolgend werden die Distanzschätzungen vor dem Hintergrund des Erfahrungslevels detaillierter aufgeschlüsselt. Hierfür sind einige Daten aus den Fragebögen in der Anlage 4 ausgewertet. Das Erfahrungslevel in dieser Arbeit wird durch die Berufsgruppen der

Probanden in Fahrlehrer, Berufskraftfahrer und Fahranfänger unterteilt. Als hochgradiges Erfahrungslevel werden die Fahrlehrer und Berufskraftfahrer und als niedriges Erfahrungslevel werden die Fahranfänger eingeordnet. Damit weisen die Probanden 1, 2, 3 und 6 mit einer Altersgruppe von 51 – 60 Jahren ein hohes Erfahrungslevel auf. Die Probanden 4, 5, und 7, überwiegend unter 30 Jahre, weisen ein geringes Erfahrungslevel auf. Die eigenen Auffassungen hinsichtlich der Distanz- und Geschwindigkeitsschätzungen wurden vom Probandenkollektiv eher als mittelmäßig eingestuft.

Die Untersuchungen zeigten, dass die Probanden mit hohem Erfahrungslevel die Distanzen mit dem KMS tendenziell unterschätzt haben. Gleiches konnte auch bei den Probanden mit niedrigem Erfahrungslevel festgestellt werden. Die Distanzen mittels KSS konnten bei dem Probanden mit hohem Erfahrungslevel gleichermaßen unterschätzt und überschätzt. Bei den Probanden mit niedrigen Erfahrungslevel wurden die Distanzen in Analogie zum KMS ebenso mit dem KSS tendenziell unterschätzt. Die metergenauen Schätzungen konnten bei den erfahrenen Probanden in eine größere Anzahl erkannt werden.

4.4.3 Auswertung dynamischer Versuch

4.4.3.1. Darstellung der Ergebnisse

In der Anlage 14 werden die Ergebnisse der Geschwindigkeitsschätzungen zur vollständigen Nachvollziehbarkeit gegenübergestellt. Um die Ergebnisse der Schätzverfahren darzustellen, werden diese in der Abbildung 52 graphisch veranschaulicht und gegenübergestellt.

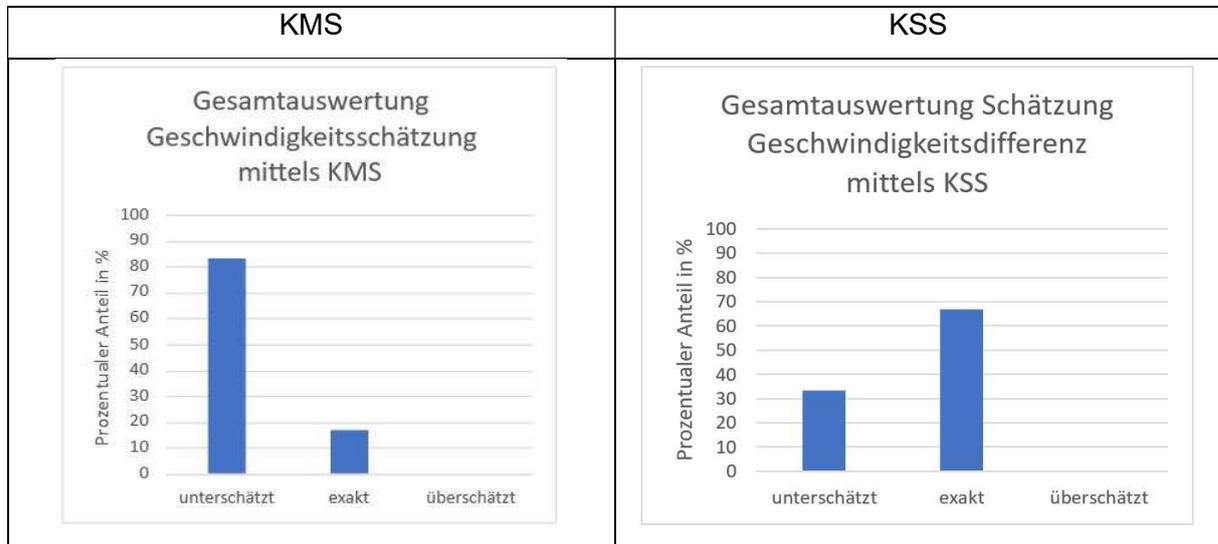


Abbildung 52: Gegenüberstellung der Geschwindigkeitsschätzungen

Bei dem Schätzverfahren durch die jeweiligen Sichtsysteme wurde die Geschwindigkeit des Fixationsobjektes insgesamt exakt oder unterschätzt. Im Abschnitt 4.4.3.2. werden diese Ergebnisse detailliert interpretiert.

Das Videomaterial wird mit der Analysesoftware Tobii Pro Lab untersucht und folgende Parameter und Auffälligkeiten erarbeitet. Zunächst werden die Videosequenzen der Autobahnauffahrten als Spurwechsel dahingehend analysiert, ob die im Kapitel 3.1.2.1.1. aufgeführten vier Schritte beim Spurwechsel erkannt werden können. Die Sequenzen zeigen bei beiden Sichtsystemen, dass die Schritte:

- Blick in das Sichtsystem, um einen Überblick zu verschaffen
- Blick nach vorn, um Geschwindigkeit anzupassen
- Blick in das Sichtsystem als Kontrollblick
- Blick nach vorn und Ansetzen zum Spurwechsel

sehr gut zu erkennen sind. Bei einigen Probanden konnten sogar mehrere wechselseitige Blicke festgestellt werden. Hieraus lässt sich schließen, dass die vier Schritte je nach Verkehrsaufkommen als Minium angesehen werden können. In der Anlage 15 werden zwei Bildreihen des jeweiligen Sichtsystems mit den vier dargestellten Schritten veranschaulicht.

Ergänzend zur statischen Versuchsreihe werden realitätsnahe Blickzeiten im Rahmen von Realfahrten auf der Autobahn erhoben. Die Einzelwerte der ausgewerteten Realfahrten

können in der Anlage 16 nachvollzogen werden. Hierfür werden zwei Situationen gewählt, in denen die Benutzung der Sichtsysteme zum einen in dem Versuch und zum anderen im allgemeinen Verkehrsgeschehen intensiv genutzt werden. Für die Realfahrt mit dem KMS wird die Auffahrt auf die Autobahn betrachtet. In der Abbildung 53 werden die einzelnen Blickzeiten über der Blickfolge in den linken Monitor dargestellt. Im Anschluss an die Darstellung der Situationen werden die Blickparameter im Abschnitt 4.4.3.2. nochmals mit denen aus dem statischen Versuch verglichen.

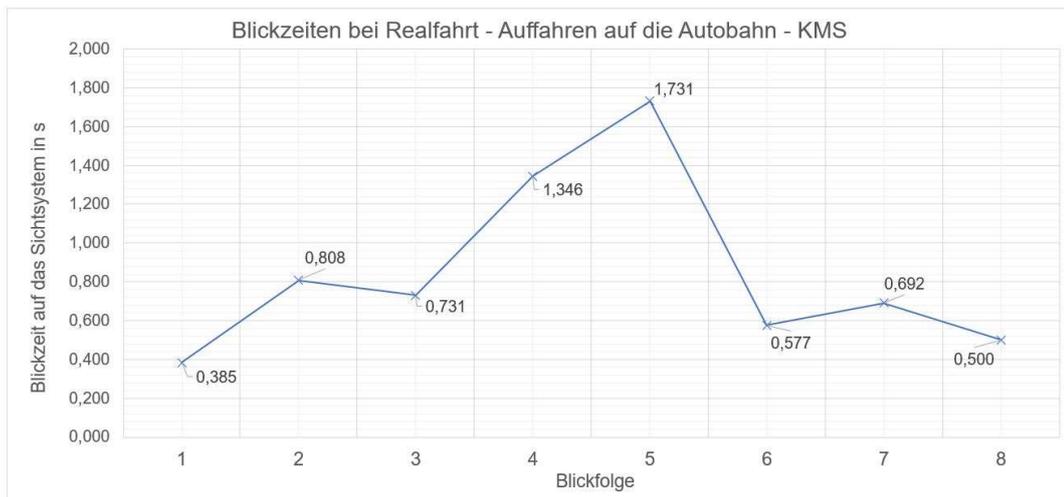


Abbildung 53: Blickzeiten bei der Auffahrt auf die Autobahn mittels KMS

In Analogie zur Autobahnauffahrt mittels KMS wird eine zweite Situation unter Realbedingungen detailliert ausgewertet. In diesem Fall nähert sich das Versuchsfahrzeug mit Spiegel-System an eine Baustelle an, wobei sich die zweispurige Autobahn auf eine Fahrspur (linke Fahrspur) verengt. Damit einhergehend ist ein Spurwechsel von der rechten auf die linke Fahrspur und nach der Baustelle wiederum auf die rechte Fahrspur notwendig. In der Abbildung 54 werden die Blickzeiten in die Spiegel über der Blickfolge aufgetragen.

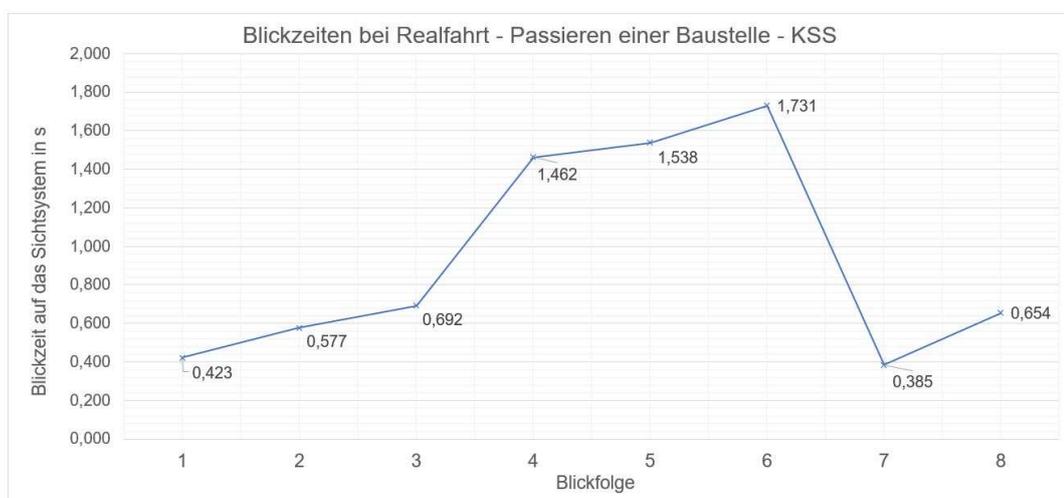


Abbildung 54: Blickzeiten beim Passieren einer Baustelle mit Spiegel-System

4.4.3.2. Interpretation der Ergebnisse

In der Gesamtschau der Ergebnisse aus den Schätzverfahren bezüglich der Geschwindigkeit des überholenden Fixationsobjektes werden die folgenden Erkenntnisse gewonnen.

Bezugnehmend auf die Einzelergebnisse aus der Anlage 14 wurden mit dem KMS die niedrigen Differenzgeschwindigkeiten (10 km/h – 30 km/h) tendenziell unterschätzt, wobei aber auch einige Schätzungen exakt waren. Dagegen wurden die Geschwindigkeiten des Fixationsobjektes im mittleren Geschwindigkeitsdifferenzbereich (30 km/h – 60 km/h) vollständig unterschätzt. Gleiche unterschätzte Ergebnisse konnten auch bei hohen Geschwindigkeitsdifferenzen (60 km/h – 70 km/h) erhoben werden. Insgesamt wurden die Geschwindigkeiten durch das KMS also tendenziell unterschätzt. Ein Grund dafür könnte das künstlich erzeugte Abbild sein, welches mit einer eher niedrigen Bildwiederholungsfrequenz von 30 Hz auf dem Monitor übertragen wird. Unter Gesichtspunkten der Unfallforschung sind gerade unterschätzte Geschwindigkeiten nicht dienlich, da dabei das Unfallrisiko steigt. Letzteres deshalb, da sich das herannahende Fahrzeug schneller annähert, als dies vom Fahrer eingeschätzt wird. Durch diese Fehleinschätzung steigt die Wahrscheinlichkeit, dass es zu einer Kollision kommen kann.

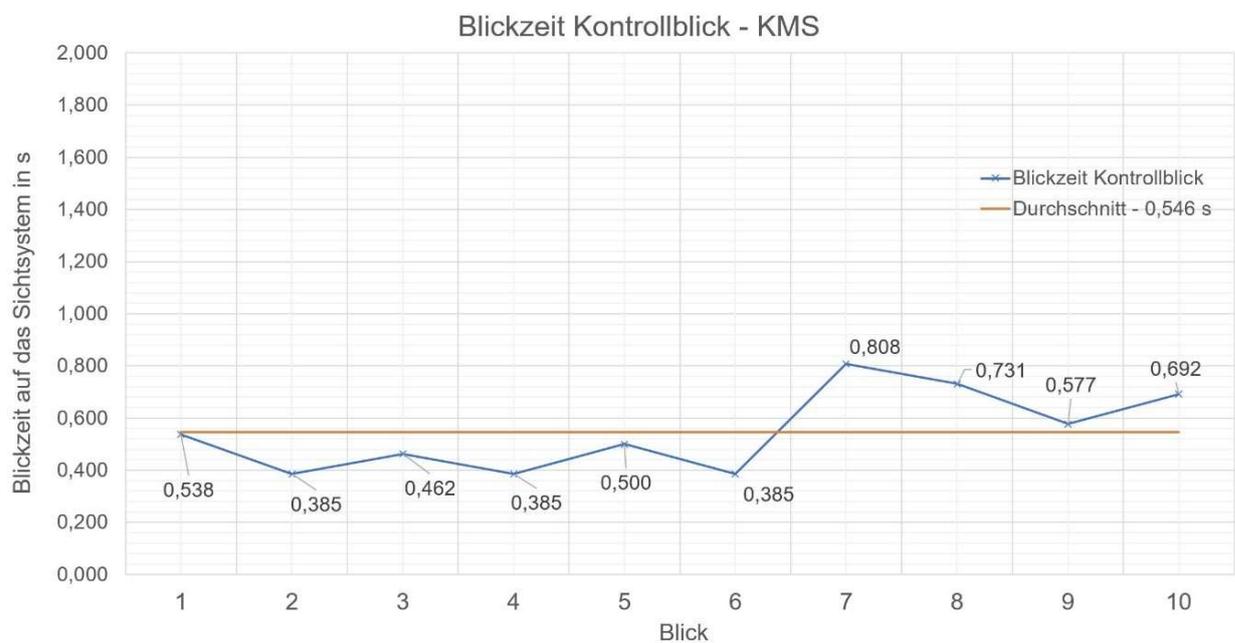
Die Schätzungen der Geschwindigkeiten mit Hilfe des KSS wurden im niedrigen und mittleren Geschwindigkeitsbereich überwiegend exakt geschätzt. Lediglich bei höheren Geschwindigkeitsdifferenzen des Fixationsobjektes wurden diese unterschätzt. Damit lässt sich insgesamt festhalten, dass sich tendenziell die niedrigen und mittleren Geschwindigkeitsbereiche mit dem Spiegel exakter einschätzen lassen als höhere Geschwindigkeitsbereiche.

Nachfolgend werden die Blickzeiten diskutiert, die im Rahmen der Realfahrten ermittelt wurden. Die Abbildungen 53 und Abbildung 54 zeigen in einer Übersicht, dass bei steigender Komplexität der Fahraufgabe auch die Blickzeit auf das jeweilige Sichtsystem länger wird. So verlängerte sich die Blickzeit bei der Suche nach einer Lücke oder bei der Kontrolle des rückwärtigen Raumes. In den Abbildungen 53 und 54 sind die Fahraufgaben durch die Erhöhung der Blickzeit zu identifizieren. In der Gesamtheit konnten die kürzeren Blickzeiten im linken Sichtsystem in einer Zeitspanne von 0,385 s bis 0,808 s bei beiden Sichtsystemen als Blicke identifiziert werden, bei denen sich ein kurzer Überblick über das Verkehrsgeschehen im rückwärtigen Raum verschafft wurde. Diese kurzen Übersichtsblicke werden im Folgenden als Kontrollblicke definiert. Bei den länger andauernden Blickzeiten im linken Sichtsystem in einer Spanne von 1,346 s bis 1,731 s wurde die jeweilige Aufgabe der Verkehrsbeobachtung konkretisiert, indem Lücken zwischen Fahrzeugen, Abstände und Geschwindigkeiten zu anderen Fahrzeugen abgeschätzt wurden. Zusätzlich zu den Blickverhalten im linken Sichtsystem konnten auch vereinzelte Blicke in das rechte Sichtsystem beobachtet werden. Die vereinzelt Blicke in das rechte Sichtsystem

beschränkten sich aber überwiegend auf die Kontrolle der Spureinhaltung, wie dies im Übrigen auch in der Gesamtheit festgestellt werden konnte.

Ergänzend zu den ermittelten Blickzeiten des statischen Versuches werden nachfolgend die Erkenntnisse aus den Realfahrten verglichen. In der Anlage 17 werden die Blickzuwendungen und Blickabwendungen sowie die Blickzeit auf dem jeweiligen Sichtsystemen dargestellt.

Die ermittelten Zeiten bei den Realfahrten für die Blickzuwendung und Blickabwendung sind vergleichbar mit denen aus dem statischen Versuchen, weshalb die Werte unter Berücksichtigung einer gewissen Toleranz als plausibel anzusehen sind. Die Toleranz ist dann abhängig von der zu absolvierenden Fahraufgabe individuell zu betrachten. Die Blickzeiten auf dem Sichtsystem konnten bei der Auswertung des Videomaterials der Realfahrten in Kontrollblicke und Blicke in Verbindung mit einer speziellen Fahraufgabe differenziert werden. Um nachvollziehbare durchschnittliche zeitliche Parameter für die beiden differenzierten Blickarten zu erarbeiten, wird das Videomaterial konkret auf diese authentischen Blickarten untersucht. Dabei wurden einige Sequenzen gefunden, mit denen durchschnittliche Werte ermittelt werden können, wie dies in der Anlage 16 nachvollzogen werden kann. In der Anlage 16 wurden die Blickarten in etwa gleichverteilt bei dem jeweiligen Sichtsystem ausgewertet. Die Abbildung 55 und Abbildung 56 zeigt den berechneten Durchschnitt für den Kontrollblick und die Abbildung 57 und Abbildung 58 den Durchschnitt für den Blick in Verbindung mit einer speziellen Fahraufgabe.



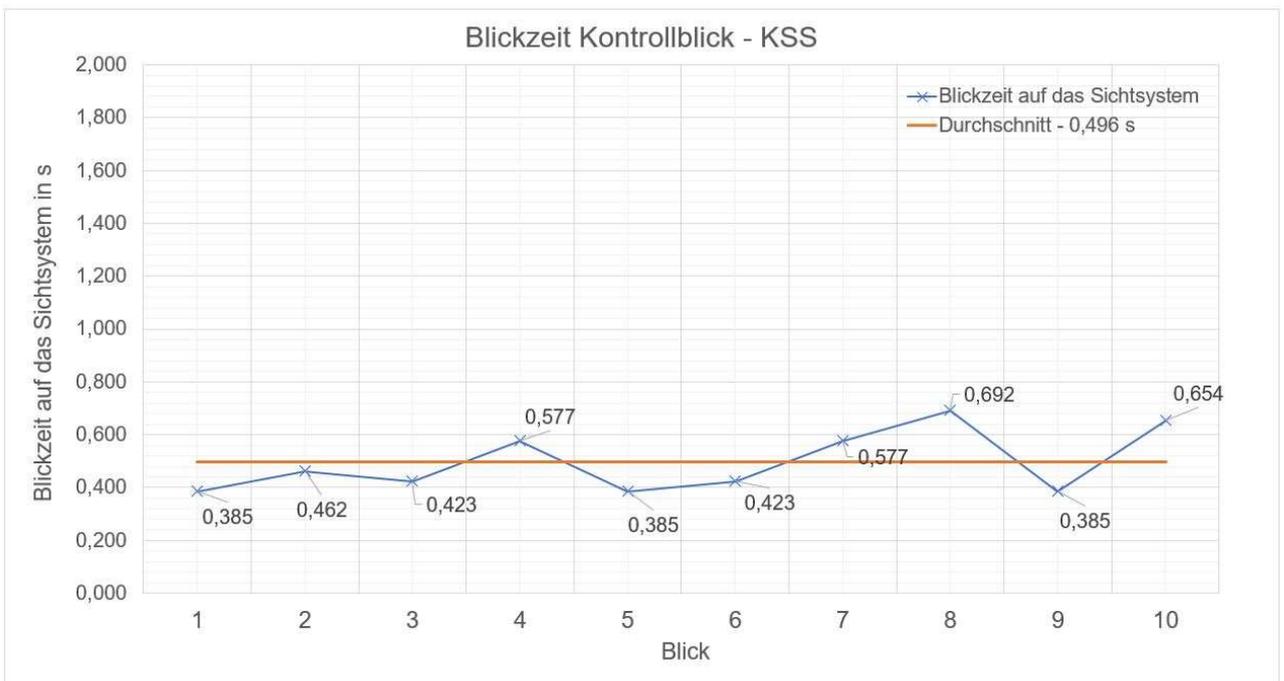


Abbildung 56: Kontrollblick mit Spiegelsystem

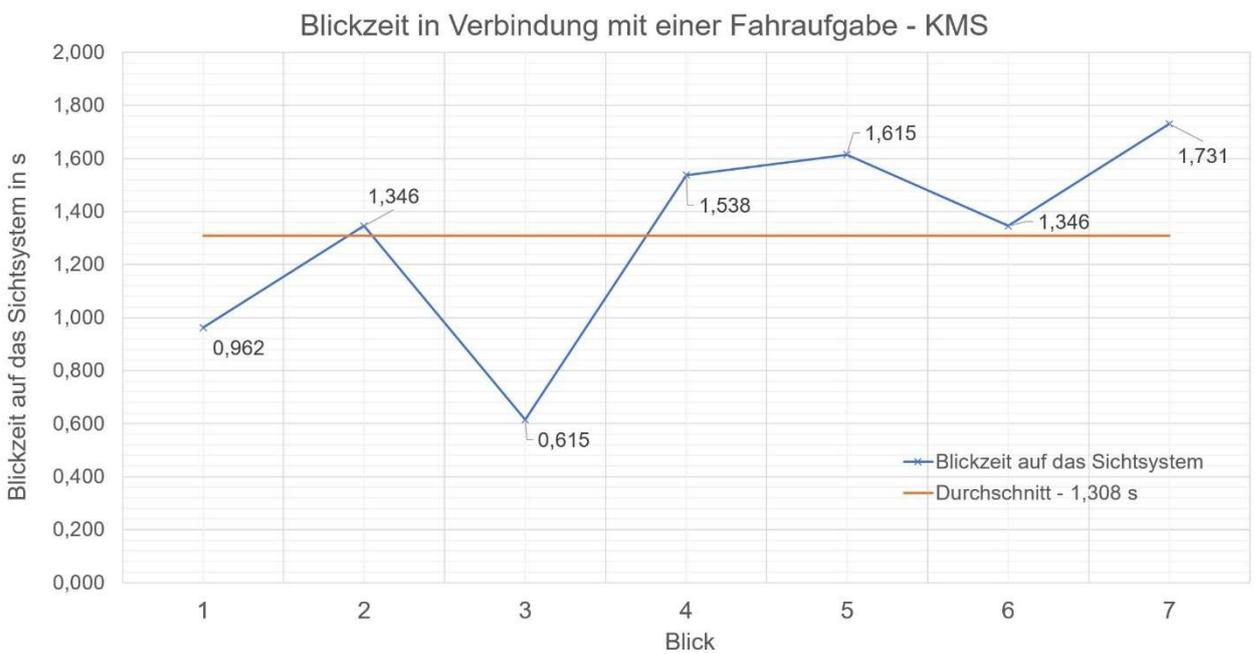


Abbildung 57: Blick in Verbindung mit Fahraufgabe KMS

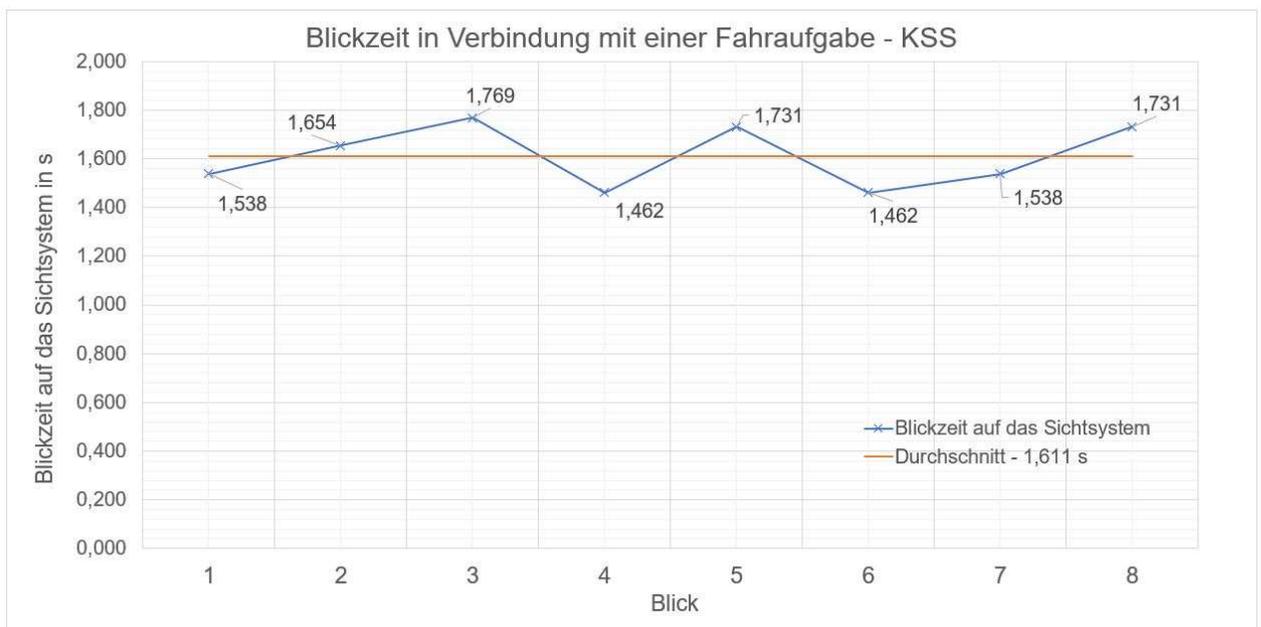


Abbildung 58: Blick in Verbindung mit Fahraufgabe KSS

Anhand der Parameter, welche in den Abbildung 55 bis Abbildung 58 dargestellt sind, lässt sich folgendes feststellen. Die durchschnittliche Blickzeit auf das Sichtsystem eines Kontrollblickes dauert im Allgemeinen etwa 0,5 s. Die Blicke bei dem statischen Versuchen dauerten hingegen deutlich länger an, weshalb diese als Blicke in Verbindung mit einer speziellen Fahraufgabe definiert werden können. Bei den authentischen Blicken der Realfahrten sind die Blickzeiten kürzer als bei den statischen Versuchen. Dieser Faktor sollte gerade durch die dynamischen Versuche untersucht werden. Die Blickzeit auf das Sichtsystem bei einer speziellen Fahraufgabe können unter Berücksichtigung einer gewissen situationsbedingten Toleranz für das KMS in einer Größenordnung von 1,3 s bis 1,5 s und bei dem KSS zwischen 1,6 s bis 2 s angesetzt werden. Da sich die Blickzeiten bei den beiden durchgeführten Versuchsreihen insgesamt in diesen Zeitbereichen bewegten, werden die Blickzeiten auf dem jeweiligen Sichtsystem in diesen Grenzen angegeben. Hierbei ergibt sich die untere angegebene Grenze aus den Datenerhebungen des dynamischen Versuches und die obere Grenze aus denen der statischen Versuche.

Bezugnehmend auf die Anlage 4 werden die Schätzungen hinsichtlich des Erfahrungslevels analysiert. Die Schätzungen zu den Geschwindigkeiten konnten nur mit weniger Probanden durchgeführt werden als beim statischen Versuch. Die dynamischen Versuche wurden mit den erfahrenen Probanden 1, und 3 und den unerfahrenen Probanden 4 in der Altersgruppe von 51 – 60 Jahre durchgeführt. Mit dem KMS wurden die Geschwindigkeiten bei allen Probanden, also erfahren und unerfahren tendenziell unterschätzt. Durch das KSS wurden die Geschwindigkeiten von den erfahrenen Probanden überwiegend exakt eingeschätzt. Der unerfahrene Proband schätzte die Geschwindigkeit gleichermaßen exakt und geringer ein.

5. Zusammenfassung und Aussichten

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde das Thema Blickverhalten von LKW-Fahrzeugführern in die Sichtsysteme zur Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs erstmalig in diesem Umfang detailliert untersucht. Für das vollständige Verständnis der Thematik wurden zunächst die notwendigen Grundlagen in den Bereichen der visuellen Informationsaufnahme und die technischen sowie gesetzlichen Aspekte der betrachteten Sichtsysteme vorangestellt. Für die Beurteilung des Blickverhaltens wurden sowohl statische als auch dynamische Versuchsreihen konzipiert und in Zusammenarbeit mit der Verkehrsakademie Kulmbach und dem Ingenieurbüro Schrievers durchgeführt.

Aus den Daten, die bei den umfangreichen Versuchen erhoben wurden, konnten durch den Verfasser zahlreiche Parameter erarbeitet werden, mit denen die Beurteilung des Blickverhaltens in die jeweiligen Sichtsysteme möglich ist. Somit stehen viele Anhaltspunkte zur Verfügung, um das Blickverhalten neben den konkreten Blickzeiten auch in den Bereichen Distanzschätzung und Schätzungen von Geschwindigkeiten anhand von Tendenzen zu beschreiben. So stellte sich im Zuge der Distanzschätzungen heraus, dass durch das KSS Distanzen im Nahbereich (30 m - 40 m) besser eingeschätzt wurden als bei dem KMS. Die Entfernungen durch das KMS wurden dabei tendenziell unterschätzt. Im mittleren Abstandsbereich von 40 m - 70 m konnten beiderseitig gute Ergebnisse festgestellt werden. Bei den Schätzungen im Fernbereich, also im Bereich von 70 m – 120 m konnten keine Entfernungen exakt eingeschätzt werden. Vor dem unfallanalytischen Hintergrund sind die Erkenntnisse aus dem statischen Versuchen in der Gesamtschau dennoch akzeptabel. Letzteres deshalb, da die tendenziell eher unterschätzten Distanzen eine vorsichtigere Fahrweise erwarten lässt.

Die Schätzungen zu den Geschwindigkeiten im Zuge der dynamischen Versuchsreihe zeigten folgende Tendenzen. In den Bereichen der niedrigen (10 km/h – 30 km/h) und der mittleren (30 km/h – 60 km/h) Geschwindigkeitsdifferenz wurden die Geschwindigkeiten des Fixationsobjektes durch das KMS tendenziell unterschätzt. Im Vergleich dazu konnten die Geschwindigkeiten durch das KSS überwiegend exakt eingeschätzt werden. Im hohen Geschwindigkeitsbereich wurden die Differenzgeschwindigkeit bei beiden Sichtsystemen tendenziell unterschätzt. Ein Grund für die unterschätzten Geschwindigkeiten beim KMS könnte das künstlich erzeugte Abbild der Umgebung sein, welches mit einer Bildwiederholungsfrequenz von 30 Hz auf dem Monitor dargestellt wird.

Insgesamt konnte festgestellt werden, dass das Blickverhalten durch das KMS einer bestimmten Eingewöhnungsdauer unterliegt. Auch in Anbetracht der Technik und der zahlreichen modernen Assistenzsysteme ist es aus der Sicht des Verfassers notwendig, mit Schulungen und Seminaren den Fahrer auf das Kamera-Monitor-System vorzubereiten.

Gerade im Bereich der Bilderzeugung sind die künstlichen Verzerrungen und die Bildwiedergabe für den unerfahrenen Kraftfahrer zunächst unbekannt.

Die weiteren Erkenntnisse zu den Blickzeiten wurden mit Tabellen und Graphiken dargestellt und interpretiert. Zur leichteren Bezugnahme über die erarbeiteten Parameter hat der Verfasser ein Bausteinprinzip konzipiert, mit dem die situationsbedingten benötigten Blickparameter intuitiv zusammengestellt werden können. An dieser Stelle darf darauf hingewiesen werden, dass die dargestellten Werte mit Bedacht Anwendung finden und mit einer angemessenen Toleranz zu betrachten sind. Die Tabelle 15 zeigt alle erarbeiteten Mittelwerte für die jeweiligen Blickparameter der untersuchten Sichtsysteme. Die Blickzeiten in Verbindung mit einer Fahraufgabe auf dem jeweiligen Sichtsystem wurden mit den jeweiligen Versuchen dargestellt. Bei der Anwendung können die angegebenen Mittelwerte für diese Blickzeit auch als Zeitbereich angesehen werden. Letzteres deshalb, da gerade die Blickdauer von der Art der Fahraufgabe abhängt.

Tabelle 15: Zusammenstellung der Blickzeiten

| | | KMS | KSS | |
|--------------------------------------|--|----------------------------|---------|---------|
| Blickzuwendung | Augenbewegung | 0,141 s | - | |
| | Kopfbewegung | 0,410 s | 0,759 s | |
| Blickzeit auf das Sichtsystem | Blick in Verbindung mit einer Fahraufgabe | Statischer Versuch | 1,500 s | 2,000 s |
| | | Dynamischer Versuch | 1,300 s | 1,600 s |
| | Kontrollblick | 0,500 s | 0,500 s | |
| Blickabwendung | Augenbewegung | 0,096 s | - | |
| | Kopfbewegung | 0,404 s | 0,627 s | |

Das folgende Beispiel soll das Bausteinprinzip anhand der Tabelle 15 zur vollständigen Nachvollziehbarkeit darstellen. Ein LKW mit Kamera-Monitor-System fährt mit 80 km/h auf der rechten Fahrspur und möchte einen Spurwechsel von der rechten auf die linke Fahrspur durchführen. Um sich zunächst einen Überblick über das rückwärtige Verkehrsgeschehen zu verschaffen, führt der Fahrzeugführer zunächst einen Kontrollblick durch. Bezugnehmend auf die Tabelle 15 dauert der vollständige Blick bei dem LKW mit KMS etwa 1,6 s. Bei der gefahrenen Geschwindigkeit würde der Fahrer etwa 35,5 m zurücklegen, ohne das vorausfahrenden Verkehrsgeschehen eindeutig zu erkennen. Für den Spurwechsel vergewissert sich der Fahrzeugführer nun genau, ob sich Fahrzeuge in seiner Umgebung befinden und sich damit eine Lücke für den Spurwechsel ergibt. Dieser Blick in Verbindung mit einer Fahraufgabe würde in diesem Fall insgesamt etwa 2,4 s dauern. Bei gefahrenen 80 km/h würde der Fahrzeugführer dabei etwa 53,3 m zurücklegen, ohne den vorausfahrenden Verkehr sicher zu erkennen.

Mit dem dargestellten Beispiel wird das Ziel dieser Arbeit eindrucksvoll dargestellt und soll damit auch als Werkzeug dienen, um das Blickverhalten von LKW-Fahrern mit den umfangreichen Anknüpfungspunkten zu beurteilen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das KMS grundsätzlich die technisch notwendigen Möglichkeiten besitzt, um die Sicherheit insgesamt zu verbessern. Dennoch sind einige technische Aspekte hinsichtlich der dargestellten Auflösung und der Bildwiederholungsrate Quellen, die zur Fehleinschätzung führen können. In der Zukunft wird sich das KMS am Markt weiterverbreiten, da neben der bis dato marktführenden Mirrorcam von Mercedes auch ein kamerabasierendes Sichtsystem von MAN auf den Markt gebracht wird. Gerade in Verbindung mit den Sicherheitsassistenten und der Position des Monitors im Blickfeld des Fahrers hat das KMS einige Vorteile gegenüber dem konventionellen Spiegel. [31]

Abschließend darf noch auf die Anlagen 18 und Anlage 19 verwiesen werden. Zur vollständigen Nachvollziehbarkeit und um weitere Auswertungen dieser Arbeit in Aussicht zu stellen, werden alle Messdaten aufgeführt. Damit sind weitere Auswertungen im Rahmen von fortführenden Arbeiten zum Thema Blickverhalten möglich.

Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur; Verkehr in Zahlen 2019/2020, S. 245
unter: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/verkehr-in-zahlen-2019-pdf.pdf?__blob=publicationFile, Zugriff: 12.05.2021, 9:00 Uhr
- [2] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur; Fahrzeugbestand (Stand: Januar 2021)
unter: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/fahrzeugbestand.html>, Zugriff: 12.05.2021; 9:00 Uhr
- [3] SCHWEIGERT, MANFRED: Fahrerblickverhalten und Nebenaufgaben, Dissertation, München (D), 2003, S.4,6,48-49,66,85-87,90-92,113-114
- [4] COHEN, AMOS S.: Informationsaufnahme beim Kraftfahrer, Wahrnehmung und Sicherheitsverhalten, In: Burg, Heinz; Moser, Andreas (Hrsg.): Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion. Unfallaufnahme, Fahrdynamik, Simulation. 3.aktualisierte Auflage, Wiesbaden (D): Springer Vieweg Verlag, 2017, S. 269-274
- [5] HRISTOV, BORISLAV: Untersuchungen des Blickverhaltens von Kraftfahrern auf Autobahnen. Dissertation, Dresden (D), 2009, S. 1-2, S.15-22, S.30-31
- [6] ZÖLLER; HENRIK: Grundlagen, Wahrnehmungspsychologie, In: Hugemann, Wolfgang (Hrsg.): Unfallrekonstruktion. Band 1. Grundlagen, Wiesbaden (D): Verlag Autorenteam, 2007, S.3, S. 17-21
- [7] BUSCHENDORF, HANS-GEORG; BRAUNE, DIETER; BROSCHMANN, D.; GALL, DIETER; MÜLLER, WINFRIED: Lexikon Licht- und Beleuchtungstechnik, Berlin (D): VEB Verlag Technik, 1989, S.42, S.70, S.132
- [8] GAUGGEL, SIEGFRIED: Was ist Kognition? Grundlagen und Methoden. Einleitung, In: Gauggel, Siegfried; Kircher, Tilo (Hrsg.): Neuropsychologie der Schizophrenie, Heidelberg (D): Springer Medizin Verlag, 2008, S. 13
- [9] RIETSCHEL, MARIKO: Untersuchungen zum Blickverhalten von Fahrzeugführern von Pkw durch die Innen- und Außenspiegel. Studienarbeit, Zwickau (D): 2021, S.2-3
- [10] BERGAU, ANTONIO: Das menschliche Auge in Zahlen. Kapitel 19-Retina Zusammenfassung, Heidelberg (D), 2017, S.100
- [11] SCHULZ, RALPH: Blickverhalten und Orientierung von Kraftfahrern auf Landstraßen. Dissertation, Dresden (D), 2012, S.5-8, S.18
- [12] https://www.psychologie.uni-heidelberg.de/ae/allg/lehre/wct/w/w6_raum/w620_monokulare_tk.htm; Zugriff: 12.06.2021, 7:00 Uhr
- [13] <https://www.daskreativeuniversum.de/perspektive-in-der-kunst>; Zugriff: 18.08.2021, 12:00 Uhr
- [14] <https://www.stuttgarter-zeitung.de/inhalt.autobahn-bei-heilbronn-a6-soll-2019-sechsfahrstreifen-haben.916d1760-07d4-4b01-b77c-4cdf14b9476d.html>; Zugriff: 12.06.2021, 7:15 Uhr

- [15] Anstalt für Straßenwesen
- [16] [21] Amtsblatt der Europäischen Union: UNECE, L237, Regelung Nr.46 unter: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:42014X0808\(02\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:42014X0808(02)) Zugriff: 20.06.2021
- [17] Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg: Verzeichnis zur Systematisierung von Kraftfahrzeugen und ihren Anhängern, Stand: Juli 2018
- [18] <https://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Einzigartig-im-Fernverkehr--die-MirrorCam-ersetzt-den-Spiegel.xhtml?oid=45192067#prevId=40975935>; Zugriff: 12.06.2021, 10:15 Uhr
- [19] BG-Verkehr: Kamera-Monitor-Systeme (KMS) zur Vermeidung von Abbiegeunfällen, IFA-Forschungsprojekt Nummer 5134, 2016
- [20] <https://www.daimler.com/magazin/technologie-innovation/einfach-technik-mirrorcam.html>; Zugriff: 12.06.2021, 10:15 Uhr
- [21] ECE 46, Regelung der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa-Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Einrichtungen für indirekte Sicht und von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Anbringung solcher Einrichtungen. 10.07.2010
- [22] <https://www.eurotransport.de/artikel/mirrorcam-im-mercedes-actros-staerken-und-schwaechen-des-systems-11157316.html>; Zugriff 12.05.2021, 10:20 Uhr
- [23] <https://www.daimler.com/magazin/technologie-innovation/einfach-technik-mirrorcam.html>; Zugriff: 12.05.2021, 10:30 Uhr
- [24] <https://www.daimler.com/magazin/technologie-innovation/einfach-technik-mirrorcam.html>; Zugriff: 12.05.2021, 12:00 Uhr
- [25] <https://www.daimler.com/magazin/technologie-innovation/einfach-technik-mirrorcam.html>; Zugriff: 12.05.2021, 12:20 Uhr
- [26] <https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/mercedes-daimler-trucks-mirrorcam/>; Zugriff:12.05.2021, 12:20 Uhr
- [27] eigene Aufnahmen mit der Spiegelreflexkamera Sony, GoPro Hero 4, Tobii Pro Glasses 2, Screenshot
- [28] Google. Google Earth- Ausschnitt vom 29.06.2021, 18:00 Uhr
- [29] https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/FahrzeugklassenAufbauarten/fz_b_fzkl_aufb_archiv/2021/2021_b_fzkl_eckdaten_pkw_dusl.html?nn=2601598; Zugriff: 04.07.2021, 19:00 Uhr
- [30] Tobii AB: Tobii Pro Glasses 2, User Manual
- [31] <https://www.man.eu/de/de/lkw/assistenzsysteme/digitales-spiegellersatzsystem/man-optiview.html>; Zugriff: 09.08.2021

Anlagenverzeichnis

| Anlage | Bezeichnung | Seite |
|---------------|--|--------------|
| Anl. 1 | Versuchskonzept | 74 |
| Anl. 2 | Messprotokolle | 78 |
| Anl. 3 | Versuchsbegleitendes Protokoll für PKW-Fixationsobjekt | 81 |
| Anl. 4 | Fragebogen zur Untersuchung der Blickverhaltens | 84 |
| Anl. 5 | Aufteilung der Versuchsstrecke in Messabschnitte | 88 |
| Anl. 6 | Messwerte Proband 2 KMS | 89 |
| Anl. 7 | Messwerte statischer Versuch KMS | 90 |
| Anl. 8 | Auswertung Distanzschätzung KMS | 91 |
| Anl. 9 | Messwerte Proband 2 KSS | 92 |
| Anl. 10 | Messwerte statischer Versuch KSS | 93 |
| Anl. 11 | Auswertung Distanzschätzung KSS | 94 |
| Anl. 12 | Bildreihe- Blickzuwendung | 95 |
| Anl. 13 | Auswertung Distanzbereiche | 96 |
| Anl. 14 | Messwerte dynamischer Versuch | 97 |
| Anl. 15 | Bildreihe- Vier Schritte bei dem Spurwechsel | 98 |
| Anl. 16 | Messwerte der Realfahrten | 99 |
| Anl. 17 | Prüfung der Ergebnisse aus Realfahrten | 100 |
| Anl. 18 | Messprotokolle der Probanden KMS | 101 |
| Anl. 19 | Messprotokolle der Probanden KSS | 108 |

Anlage 1: Versuchskonzept

-Distanzschätzung durch Außenspiegel beim Lkw- Vergleich konventioneller Spiegel und Kamera-Monitor-System

Die Untersuchungen sollen im Rahmen eines statischen Versuches unternommen werden.

1. Betrachtungsgrundlage

Fahraufgabe der allgemeinen Verkehrsbeobachtung

2. Versuchsziele

Distanzschätzung bei konventionellen Spiegeln im Vergleich zur Mirrorcam

1. Welchen Einfluss hat das Erfahrungslevel der Kraftfahrer
2. Einschätzung der Distanz bei verwendetem Spiegelsystem (Abweichungen)
3. Blickzeiten erarbeiten und vergleichen (Vermeidbarkeitsbetrachtung)

3. Versuchsfahrzeuge

Typklasse N3:

- Kraftfahrzeuge zur Güterbeförderung mit mindestens vier Rädern und einer Gesamtmasse von über 12 t [1]
 1. Fahrzeug mit konventionellem Spiegel: Mercedes Actros
 2. Fahrzeug mit Mirrorcam: Mercedes Actros

4. Fixationsobjekt

- laut Datenerhebung vom Kraftfahrtbundesamt (Stand 01.01.2021) rund 48,2 Millionen Pkw zugelassen, insgesamt etwa 59,02 Millionen Kraftfahrzeuge, damit Pkw etwa 81,6 % der Gesamtanzahl [2]
 - Pkw: Typklasse M1 oder M1G, auch Transporter denkbar
- auf Autobahn werden Spurwechsel oder Überholvorgänge auch zwischen Lkw ausgetragen, daher kann auch ein Lkw als weiteres Fixationsobjekt dienen
 - Lkw: Typklasse N3

5. Versuchsgelände

Zur leichteren Distanzschätzung wird eine inhomogene, strukturierte Umgebung angestrebt. Solche Strukturen können zum Beispiel unterbrochene Fahrstreifenbegrenzungen oder Leitpfosten/ Pylonen in regelmäßigen Abständen sein.

Zum Versuchszeitpunkt sollte ein ungünstiger Stand der Sonne und trübe oder regnerische Wetterverhältnisse vermieden werden.

Aufgrund der Entfernungen zum Fixationsobjekt sollte eine etwaige Versuchsstrecke von etwa 100 m berücksichtigt werden.

6. Begrenzung der Fixationsdauer

Überprüfung der Fixationszeit mittels Eye-Trackingbrille

- Basierend auf mittleren Fixationsdauer von 0,68 s – 1,3 s [3]
- Variable Dauer, bis der Proband ein sicheres Gefühl hat (max. 2s) [3]

7. Versuch

7.1 Vorüberlegung: - LKW, 80 km/h auf der Autobahn

- PKW, 130 km/h Richtgeschwindigkeit auf der Autobahn

→ 50 km/h (etwa 14 m/s) Geschwindigkeitsdifferenz

7.2 Versuchsaufbau:

- Fixationsobjekt hinter Versuchsfahrzeug versetzt
 1. direkt hinter dem Versuchsfahrzeug
 2. versetzt um eine Fahrstreifenbreite (3,75 m)
 3. versetzt um zwei Fahrstreifenbreiten (7,25 m)
- Fixationsobjekt hinter Versuchsfahrzeug in Längsrichtung
 1. 20 m (etwa 1 s entfernt)
 2. 40 m (etwa 3 s entfernt)
 3. 70 m (etwa 5 s entfernt)
 4. 100 m (etwa 7 s entfernt)

Bilder zum Versuchsaufbau mit Beispielen für Distanzen, siehe Anlage- Versuchsaufbau.

8. Personelle Betreuung:

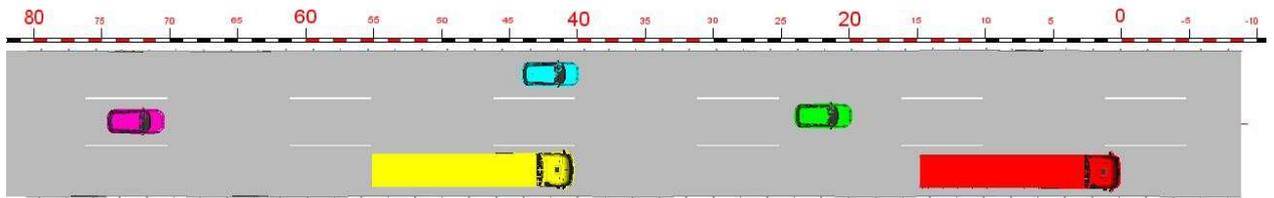
| Aufgabe | Material | Personal |
|--|--|---|
| Versuchsfahrzeug, Betreuung der Probanden | Versuchsfahrzeug | Versuchsleiter |
| Fixationsobjekt besetzen | 1x Fixationsfahrzeug Lkw 1x Fixationsfahrzeug Pkw | 1x Fahrer Lkw 1x Fahrer Pkw |
| Messung der Entfernungen | Lasermessgerät | eingewiesener Betreuer für Distanzmessung |
| Bilddokumentation | Spiegelreflexkamera | mind. eine Person |
| Dokumentation der Blickbewegung und Fixationsdauer | Eye-Tracking-Brille Aufnahmeeinheit Rechner mit installierter Software für Brille | Betreuer, der in Bedingung der Software eingewiesen ist |

Literaturverzeichnis

- [1] Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg: Verzeichnis zur Systematisierung von Kraftfahrzeugen und ihren Anhängern, Stand: Juli 2018
- [2] Kraftfahrt-Bundesamt: Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern am 1. Januar 2021 nach Bundesländern und Fahrzeugklassen absolut
unter:
https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/BestandAufbauarten/fz_b_fzkl_aufb_archiv/2021/2021_b_fzkl_eckdaten_pkw_dusl.html?nn=2601598
Zugriff: 22.03.2021, 11:25 Uhr
- [3] SCHWEIGERT, MANFRED: Fahrerblickverhalten und Nebenaufgaben, Dissertation
unter: <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn:nbn:de:bvb:91-diss2003051618367>
Zugriff: 15.03.2021, 15:00 Uhr

Anlagen-Versuchskonzept

Versuchsaufbau



Legende:

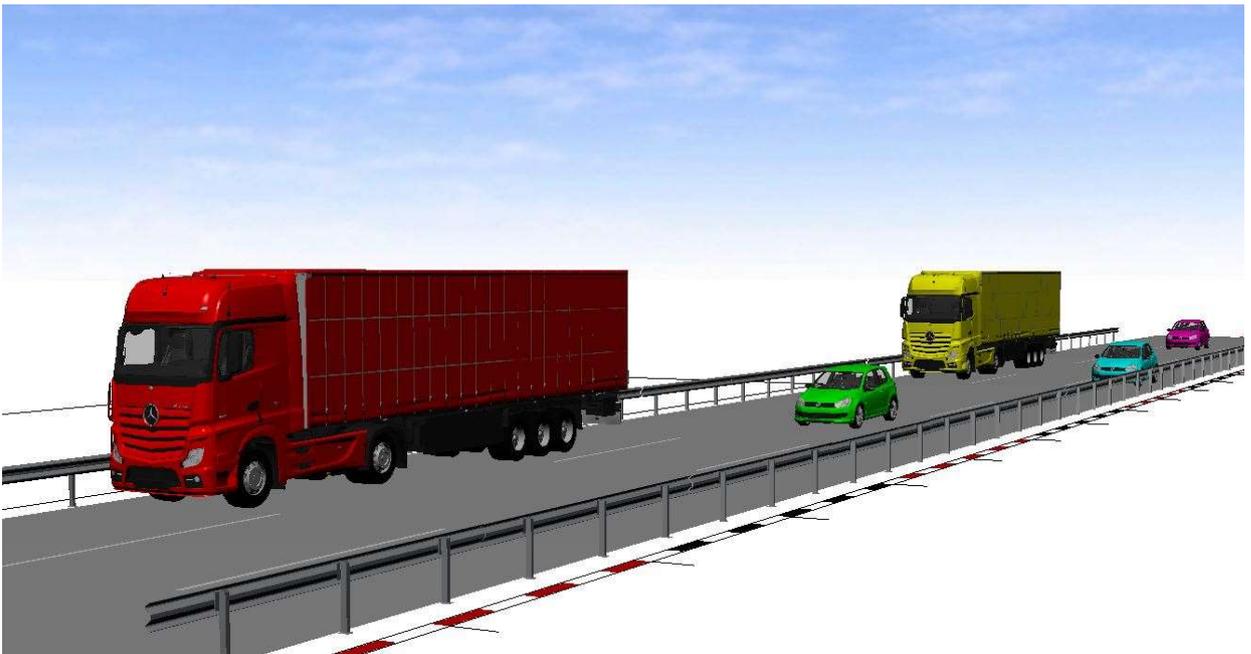
Rot = Versuchsfahrzeug

Gelb = Fixationsobjekt LKW (Entfernung- 40 m, 1.Fahrspur)

Grün = Fixationsobjekt PKW (Entfernung- 20 m, 2.Fahrspur)

Blau = Fixationsobjekt PKW (Entfernung- 40 m, 3.Fahrspur)

Lila = Fixationsobjekt PKW (Entfernung- 70m, 2.Fahrspur)



Anlage 2: Messprotokolle

a) Messwertprotokoll statischer Versuch

Probandennummer:

| |
|--|
| |
|--|

Uhrzeit:

| |
|--|
| |
|--|

Wetterbedingung/Sonnenstand:

| |
|--|
| |
|--|

Testfahrzeug:

| | |
|-----------------------|--|
| Mercedes Actros (KMS) | |
| Mercedes Actros (KSS) | |

Entfernungen (KMS):

| | 1.Blick | 2.Blick | Spurwechsel durchführen JA/NEIN |
|----------------------|---------|---------|------------------------------------|
| 1.Position: _____ | | | |
| 2.Position: _____ | | | |
| 3.Position: _____ | | | |

Entfernungen (KSS):

| | 1.Blick | 2.Blick | Spurwechsel durchführen JA/NEIN |
|----------------------|---------|---------|------------------------------------|
| 1.Position: _____ | | | |
| 2.Position: _____ | | | |
| 3.Position: _____ | | | |

b) Messprotokoll dynamischer Versuch

Strecke 1: Neudrossenfeld – Thurnau

Messung: LKW-KSS (KSS-Betreuer)

| Messung | Schätzwert hinter LKW | Schätzwert beim Vorbeifahren |
|-------------|-----------------------|------------------------------|
| 1. 90 km/h | | |
| 2. 100 km/h | | |
| 3. 110 km/h | | |

Strecke 2: Thurnau – Stadelhofen (Rastplatz)

Messung: LKW-KMS (Dirk)

| Messung | Schätzwert | Schätzwert beim Vorbeifahren |
|-------------|------------|------------------------------|
| 1. 100 km/h | | |
| 2. 130 km/h | | |
| 3. 110 km/h | | |

Strecke 3: Stadelhofen (Rasthof) - Scheßlitz (Rasthof)

Messung: LKW-KMS (KMS-Betreuer)

| Messung | Schätzwert | Schätzwert beim Vorbeifahren |
|-------------|------------|------------------------------|
| 1. 90 km/h | | |
| 2. 120 km/h | | |
| 3. 150 km/h | | |

Strecke 4: Scheßlitz (Rasthof) - Wendelpunkt- Scheßlitz (Rasthof)

Messung: LKW-KSS (Dirk)

| Messung | Schätzwert | Schätzwert beim Vorbeifahren |
|-------------|------------|------------------------------|
| 1. 90 km/h | | |
| 2. 150 km/h | | |
| 3. 120 km/h | | |

Strecke 5: Scheßlitz (Rasthof) - Stadelhofen (Rasthof)

Messung: LKW-KMS (KSS-Betreuer)

| Messung | Schätzwert | Schätzwert beim Vorbeifahren |
|-------------|------------|------------------------------|
| 1. 90 km/h | | |
| 2. 120 km/h | | |
| 3. 150 km/h | | |

Strecke 6: Stadelhofen (Rasthof) - Neudrossenfeld

Messung: LKW-KSS (KMS-Betreuer)

| Messung | Schätzwert | Schätzwert beim Vorbeifahren |
|-------------|------------|------------------------------|
| 1. 100 km/h | | |
| 2. 130 km/h | | |
| 3. 90 km/h | | |

Anlage 3: Versuchsbegleitendes Protokoll für PKW- Fixationsobjekt

a) Statischer Versuch

Mercedes Actros (KMS)

| | |
|------------|------|
| 1.Position | 50 m |
| 2.Position | 70 m |
| 3.Position | 20 m |

Mercedes Actros (KSS)

| | |
|------------|-------|
| 1.Position | 100 m |
| 2.Position | 10 m |
| 3.Position | 50 m |

b) Dynamischer Versuch

Strecke 1: Neudrossenfeld – Thurnau

Messung: LKW-KSS (Proband 1)

| Messung | Fahrzeug 1 | Fahrzeug 2 |
|-------------|------------|------------|
| 1. 90 km/h | | |
| 2. 100 km/h | | |
| 3. 110 km/h | | |

Strecke 2: Thurnau – Stadelhofen (Rastplatz)

Messung: LKW-KMS (Proband 2)

| Messung | Fahrzeug 1 | Fahrzeug 2 |
|-------------|------------|------------|
| 1. 100 km/h | | |
| 2. 130 km/h | | |
| 3. 110 km/h | | |

Strecke 3: Stadelhofen (Rasthof) - Scheßlitz (Rasthof)

Messung: LKW-KMS (Proband 3)

| Messung | Fahrzeug 1 | Fahrzeug 2 |
|-------------|------------|------------|
| 1. 90 km/h | | |
| 2. 120 km/h | | |
| 3. 150 km/h | | |

Strecke 4: Scheßlitz (Rasthof) - Wendelpunkt- Scheßlitz (Rasthof)

Messung: LKW-KSS (Proband 2)

| Messung | Fahrzeug 1 | Fahrzeug 2 |
|-------------|------------|------------|
| 1. 90 km/h | | |
| 2. 150 km/h | | |
| 3. 120 km/h | | |

Strecke 5: Scheßlitz (Rasthof) - Stadelhofen (Rasthof)

Messung: LKW-KMS (Proband 1):

| Messung | Fahrzeug 1 | Fahrzeug 2 |
|-------------|------------|------------|
| 1. 90 km/h | | |
| 2. 120 km/h | | |
| 3. 150 km/h | | |

Strecke 6: Stadelhofen (Rasthof) - Neudrossenfeld

Messung: LKW-KSS (Proband 3)

| Messung | Fahrzeug 1 | Fahrzeug 2 |
|-------------|------------|------------|
| 1. 100 km/h | | |
| 2. 130 km/h | | |
| 3. 90 km/h | | |

Anlage 4: Fragebogen zur Untersuchung des Blickverhaltens

A) Allgemeines

Wetterbedingung:

Uhrzeit:

Einfallrichtung der Sonne:

B) Fragen zur Person

B1) Probandennummer:

B2) Alter:

| Unter 30 Jahre | 31 – 40 Jahre | 41 – 50 Jahre | 51 – 60 Jahre | Über 61 Jahre |
|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | | | |

B3) Geschlecht:

| | |
|----------|--|
| männlich | |
| weiblich | |

B4) Wie lange besitzen Sie den Führerschein:

B5) Welche Führerscheinklassen dürfen Sie fahren:

| |
|--|
| |
|--|

B6) Wie lange sind Sie als Berufskraftfahrer tätig:

| |
|--|
| |
|--|

B7) Jährliche Kilometerfahrleistung pro Jahr:

| |
|--|
| |
|--|

B8) Wie gut können Sie Distanzen einschätzen:

| | | | | |
|------------|-------|-------------|---------|--------------|
| sehr genau | genau | mittelmäßig | ungenau | sehr ungenau |
| | | | | |

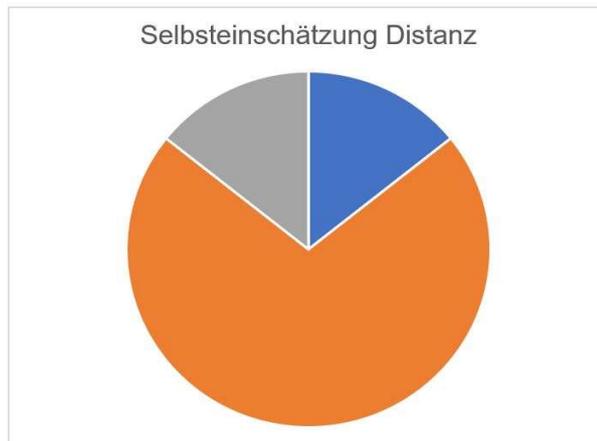
B9) Wie gut können Sie Geschwindigkeitsdifferenzen einschätzen:

| | | | | |
|------------|-------|-------------|---------|--------------|
| sehr genau | genau | mittelmäßig | ungenau | sehr ungenau |
| | | | | |

Auswertung einiger wichtigen Daten

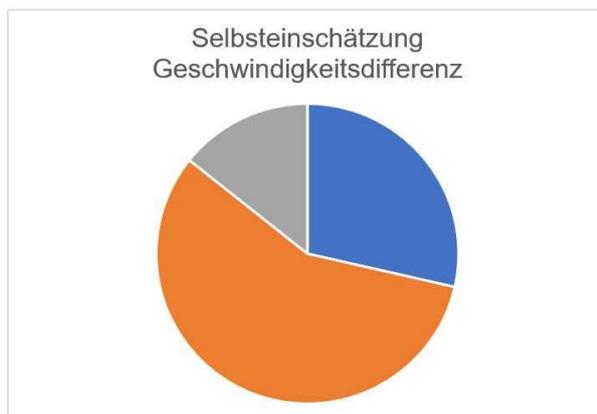
| Proband | Selbsteinschätzung Distanz | | | | |
|---------|----------------------------|-------|-------------|---------|--------------|
| | sehr genau | genau | mittelmäßig | ungenau | sehr ungenau |
| 1 | | | x | | |
| 2 | | | x | | |
| 3 | | | x | | |
| 4 | | | x | | |
| 5 | | x | | | |
| 6 | | | x | | |
| 7 | | | | x | |

| Prozentualer Anteil | 0 | 14 | 71 | 14 | 0 |
|---------------------|---|----|----|----|---|
|---------------------|---|----|----|----|---|



| Proband | Selbsteinschätzung Geschwindigkeitsdifferenz | | | | |
|---------|--|-------|-------------|---------|--------------|
| | sehr genau | genau | mittelmäßig | ungenau | sehr ungenau |
| 1 | | x | | | |
| 2 | | | x | | |
| 3 | | | x | | |
| 4 | | | | x | |
| 5 | | | x | | |
| 6 | | | x | | |
| 7 | | x | | | |

| Prozentualer Anteil | 0 | 29 | 57 | 14 | 0 |
|---------------------|---|----|----|----|---|
|---------------------|---|----|----|----|---|

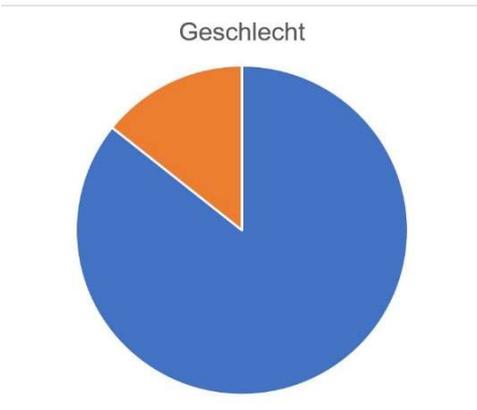


| Proband | Geschlecht | |
|---------|------------|----------|
| | männlich | weiblich |
| 1 | x | |
| 2 | x | |
| 3 | x | |
| 4 | x | |
| 5 | x | |
| 6 | x | |
| 7 | | x |

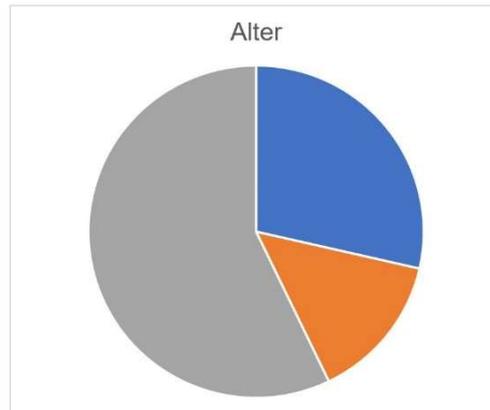
| Prozentualer Anteil | 86 | 14 |
|---------------------|----|----|
|---------------------|----|----|

| Proband | Alter | | | | |
|---------|----------|---------|-------|-------|---------|
| | Unter 30 | 31 - 40 | 41-50 | 51-60 | Über 60 |
| 1 | | | | x | |
| 2 | | | | x | |
| 3 | | | | x | |
| 4 | | | | x | |
| 5 | x | | | | |
| 6 | | | x | | |
| 7 | x | | | | |

| Prozentualer Anteil | 29 | 0 | 14 | 57 | 0 |
|---------------------|----|---|----|----|---|
|---------------------|----|---|----|----|---|



86% weiblich
14% männlich



29% Unter 30 Jahre
0% 31 - 40 Jahre
14% 41 - 50 Jahre
57% 51 - 60 Jahre
0% Über 60 Jahre

| Statischer Versuch | | |
|--------------------|-------------------|-----------------|
| Proband | | Erfahrungslevel |
| 1 | Fahrlehrer | hoch |
| 2 | Berufskraftfahrer | hoch |
| 3 | Fahrlehrer | hoch |
| 4 | Fahranfänger | gering |
| 5 | Fahranfänger | gering |
| 6 | Fahrlehrer | hoch |
| 7 | Fahranfänger | gering |

| Dynamischer Versuch | | |
|---------------------|--------------|-----------------|
| Proband | | Erfahrungslevel |
| 1* | Fahrlehrer | hoch |
| 2* | Fahranfänger | gering |
| 3* | Fahrlehrer | hoch |

Proband Nr. 1* entspricht Proband Nr. 3 im Statischer Versuch
 Proband Nr. 2* entspricht Proband Nr. 4 im Statischer Versuch
 Proband Nr. 3* entspricht Proband Nr. 1 im Statischer Versuch

Anlage 5: Aufteilung der Versuchsstrecke in Messabschnitte

| Strecke | Abschnitt | Länge | Streckenprofil/ Besonderheiten |
|---------|--|--------------|--|
| 1. | Auffahrt Neudrossenfeld - Parkplatz Paradistal (Stadelhofen) | ca. 26 km | Baustelle, bergig, kurvenreich |
| 2. | Parkplatz Paradistal (Stadelhofen) - Parkplatz Giechburgblick (Wiesengiech) | ca. 15 km | überwiegend eben, leichte Gefälle, wenig Kurven |
| 3. | Parkplatz Giechburgblick (Wiesengiech) - Bamberger Kreuz (Wendepunkt) - Parkplatz Giechburgblick (Wiesengiech) | ca. 12 km | überwiegend eben, Autobahnkreuz |
| 4. | Parkplatz Giechburgblick (Wiesengiech) - Parkplatz Paradistal (Stadelhofen) | ca. 15 km | überwiegend eben, leichte Anstiege, wenig Kurven |
| 5. | Parkplatz Paradistal (Stadelhofen) - Tankstelle Thurnau | ca. 20 km | bergig, kurvenreich |
| 6. | Tankstelle Thurnau - Ausfahrt Neudrossenfeld | ca. 8 km | Baustelle, bergig, kurvenreich |

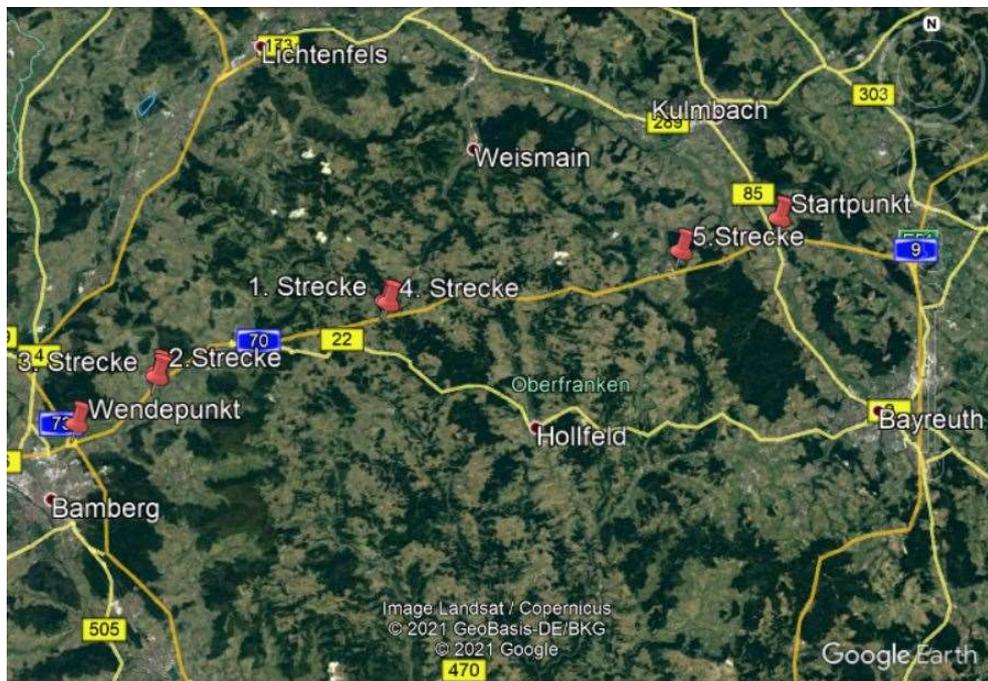


Abbildung 19: Versuchsstrecke dynamischer Versuch [28]

Anlage 6: Messwerte Proband 2 KMS

Proband 2:

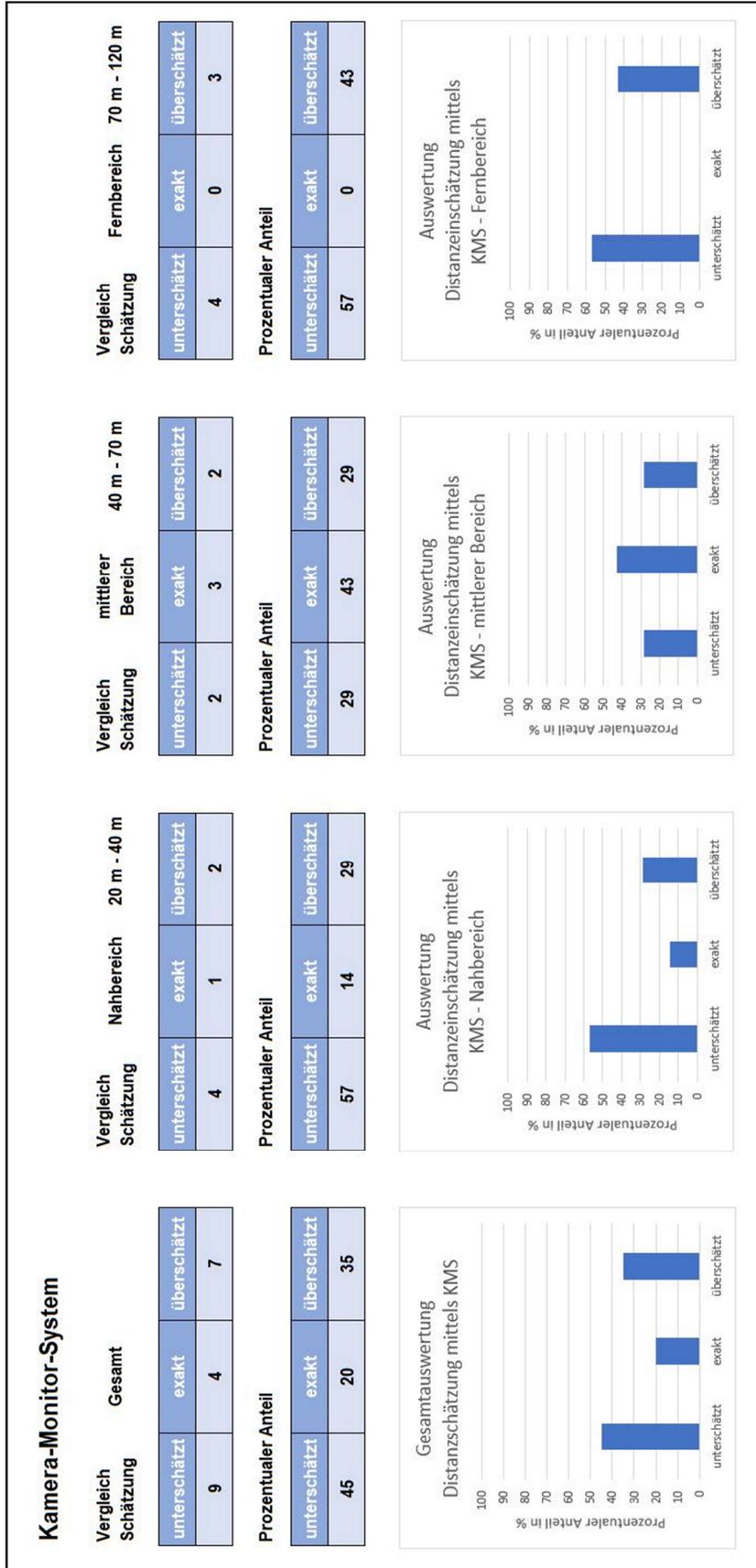
| Statischer Versuch | | Versuch 1 | | | | KMS | |
|--|-----------------------------------|-----------|---------|---------|---------|-----------|---------|
| Auswertung Blickzeit | | | | | | Proband 2 | |
| Position | | 1 | | 2 | | 3 | |
| | | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 |
| Blickzeit zum Sichtsystem in s | Augenbewegung | 0,115 | 0,077 | 0,154 | 0,115 | 0,192 | 0,115 |
| | Kopfbewegung | 0,308 | 0,308 | 0,308 | 0,269 | 0,308 | 0,308 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,423 | 0,385 | 0,462 | 0,384 | 0,500 | 0,423 |
| Blickzeit auf das Sichtsystem in s | Augenbewegung | 1,154 | 1,731 | 2,000 | 1,846 | 0,769 | 0,731 |
| Blickzeit zurück zum Geradeausblick in s | Augenbewegung | - | - | - | - | - | - |
| | Kopfbewegung | 0,385 | 0,385 | 0,346 | 0,654 | 0,346 | 0,269 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,385 | 0,385 | 0,346 | 0,654 | 0,346 | 0,269 |
| Blickzeit insgesamt in s | | 1,962 | 2,501 | 2,808 | 2,884 | 1,615 | 1,423 |

| Auswertung Fixation | | | | | | | |
|---------------------|---------|-----------------------|-------------|---------|------------------------|---------------------------|----|
| Position | | Fahrzeug | Hilfslinien | Weitere | mittlere Fixationszeit | Summe der Fixationsanzahl | |
| 1 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 1 | 1 | 1 | 0,423 | 3 |
| | | Fixationszeit | 0,692 | 0,385 | 0,192 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 2 | 3 | - | 0,635 | 5 |
| | | Fixationszeit | 0,308 | 0,962 | - | | |
| 2 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 6 | 3 | 1 | 0,577 | 10 |
| | | Fixationszeit | 0,923 | 0,692 | 0,115 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 2 | 1 | - | 0,520 | 3 |
| | | Fixationszeit | 0,462 | 0,577 | - | | |
| 3 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 3 | 2 | - | 0,404 | 5 |
| | | Fixationszeit | 0,423 | 0,385 | - | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 2 | 1 | - | 0,366 | 3 |
| | | Fixationszeit | 0,231 | 0,500 | - | | |

Anlage 7: Messwerte statischer Versuch KMS

| Mercedes Actros KMS | | | Entfernung ab Fahrerposition | | | | | Länge LKW - 18,75 m | | |
|---------------------|-------------|------------------------|-------------------------------|----------|----------------|-------|-------------|-----------------------------------|---------|----------------------------------|
| Proband | Position | IST-Entfernung in m | Geschätzte Entfernung in m | | Entfernung ... | | | Prozentuale Abweichung in % | Uhrzeit | Wetterbedingung / Sonnenstand |
| | | | 1. Blick | 2. Blick | unterschätzt | exakt | überschätzt | | | |
| 1 | 1. Position | 70 | 70 | 70 | | x | | 0 | 11:50 | bewölkt, trocken |
| | 2. Position | 90 | 100 | 100 | | | x | 11 | | |
| | 3. Position | 40 | 30 | 20 | x | | | -50 | | |
| 2 | 1. Position | 70 | 80 | 90 | | | | 29 | 12:05 | bewölkt, trocken |
| | 2. Position | 90 | 100 | 100 | | | | 11 | | |
| | 3. Position | 40 | 50 | 50 | | | | 25 | | |
| 3 | 1. Position | 70 | 80 | 80 | | | | 14 | 12:20 | bewölkt, trocken |
| | 2. Position | 90 | 100 | 100 | | | | 11 | | |
| | 3. Position | 40 | 30 | 30 | x | | | -25 | | |
| 4 | 1. Position | 70 | 70 | 70 | | | x | 0 | 12:30 | leichter Regen |
| | 2. Position | 90 | 90 | 85 | | | x | -6 | | |
| | 3. Position | 40 | 40 | 45 | | | | 13 | | |
| 5 | 1. Position | 80 | 70 | 70 | | | x | -13 | 12:40 | leichter Regen |
| | 2. Position | 70 | 50 | 50 | | | x | -29 | | |
| | 3. Position | 30 | 20 | 20 | | | x | -33 | | |
| 6 | 1. Position | 70 | 70 | 70 | | | x | 0 | 12:55 | bewölkt, nässe |
| | 2. Position | 90 | 80 | 80 | | | x | -11 | | |
| | 3. Position | 40 | 15 | 15 | | | x | -63 | | |
| 7 | 1. Position | 70 | 65 | 55 | | | x | -21 | 13:05 | bewölkt, nässe |
| | 2. Position | 90 | 75 | 75 | | | x | -17 | | |
| | 3. Position | 40 | 45 | 40 | | | x | 0 | | |

Anlage 8: Auswertung Distanzschätzung KMS



Anlage 9: Messwerte Proband 2 KSS

Proband 2:

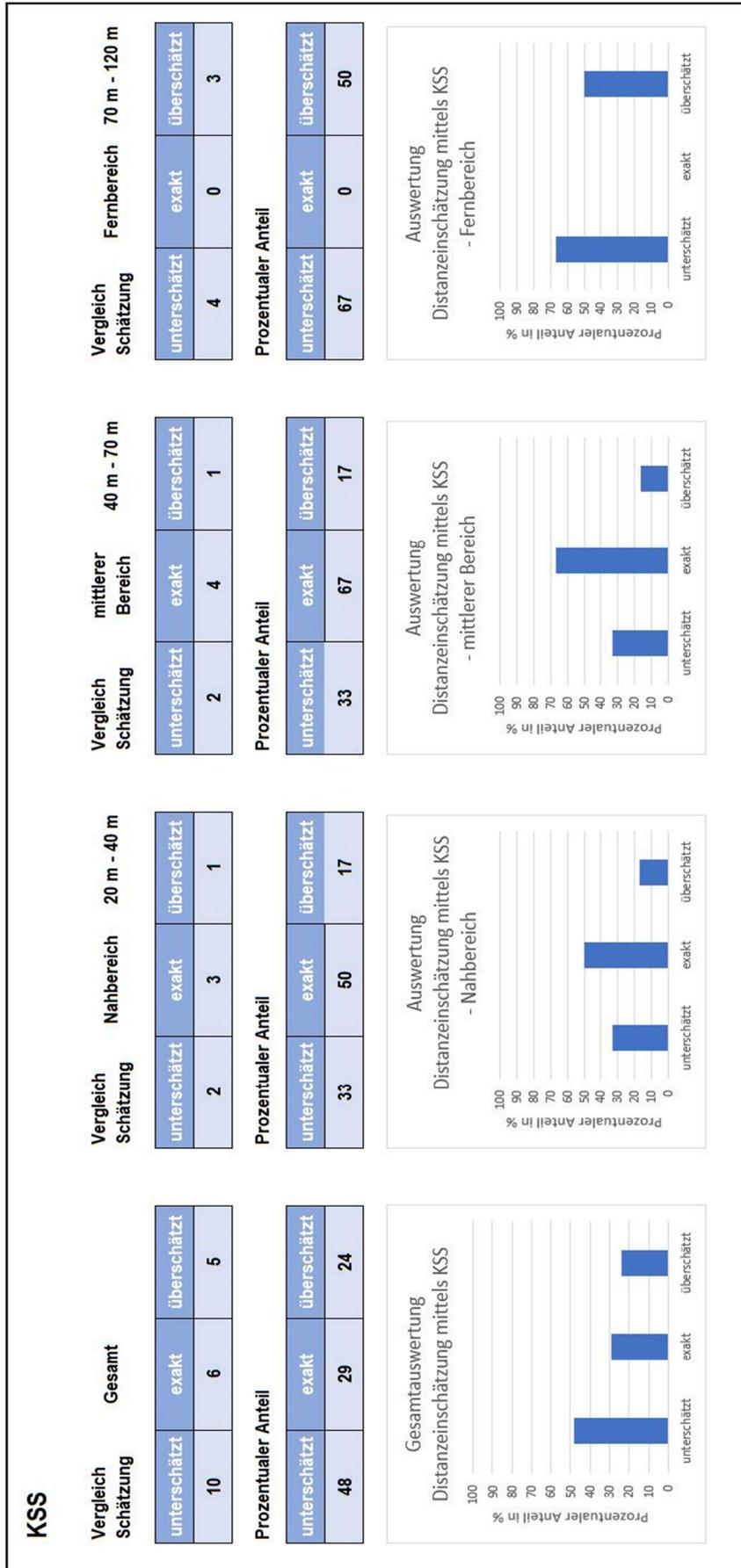
| Statischer Versuch | | Versuch 2 | | | | KSS | |
|--|-----------------------------------|-----------|---------|---------|---------|-----------|---------|
| Auswertung Blickzeit | | | | | | Proband 2 | |
| Position | | 1 | | 2 | | 3 | |
| | | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 |
| Blickzeit zum Sichtsystem in s | Augenbewegung | - | - | - | - | - | - |
| | Kopfbewegung | 0,615 | 0,577 | 0,538 | 0,615 | 0,538 | 0,615 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,615 | 0,577 | 0,538 | 0,615 | 0,538 | 0,615 |
| Blickzeit auf das Sichtsystem in s | Augenbewegung | 1,731 | 1,962 | 1,885 | 1,577 | 2,077 | 1,885 |
| Blickzeit zurück zum Geradeausblick in s | Augenbewegung | - | - | - | - | - | - |
| | Kopfbewegung | 0,577 | 0,615 | 0,654 | 0,462 | 0,538 | 0,615 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,577 | 0,615 | 0,654 | 0,462 | 0,538 | 0,615 |
| Blickzeit insgesamt in s | | 2,923 | 3,154 | 3,077 | 2,654 | 3,153 | 3,115 |

| Auswertung Fixation | | | | | | | |
|---------------------|---------|-----------------------|----------|-------------|---------|------------------------|---------------------------|
| Position | | | Fahrzeug | Hilfslinien | Weitere | mittlere Fixationszeit | Summe der Fixationsanzahl |
| 1 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 2 | - | 1 | 0,866 | 3 |
| | | Fixationszeit | 1,154 | - | 0,577 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 1 | - | 1 | 0,981 | 2 |
| | | Fixationszeit | 1,731 | - | 0,231 | | |
| 2 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 2 | - | 2 | 0,923 | 4 |
| | | Fixationszeit | 1,346 | - | 0,500 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 4 | - | 3 | 0,866 | 7 |
| | | Fixationszeit | 0,962 | - | 0,769 | | |
| 3 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 2 | - | 1 | 0,962 | 3 |
| | | Fixationszeit | 1,038 | - | 0,885 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 2 | - | 2 | 0,885 | 4 |
| | | Fixationszeit | 0,615 | - | 1,154 | | |

Anlage 10: Messwerte statischer Versuch KSS

| Mercedes Actros KSS | | | Entfernung ab Fahrerposition | | | | | Länge LkW - 18,75 m | | |
|---------------------|-------------|------------------------|-------------------------------|----------|----------------|-------|-------------|-----------------------------------|--|---|
| Proband | Position | IST-Entfernung in m | Geschätzte Entfernung in m | | Entfernung ... | | | Prozentuale Abweichung in % | Uhrzeit | Wetterbedingung / Sonnenstand |
| | | | 1. Blick | 2. Blick | unterschätzt | exakt | überschätzt | | | |
| 1 | 1. Position | 120 | 110 | 110 | x | | | 9 | 13:20 | sonnig, nässe, Sonne vor dem Fahrzeug |
| | 2. Position | 30 | 25 | 25 | x | | 20 | | | |
| | 3. Position | 70 | 60 | 60 | x | | 17 | | | |
| 2 | 1. Position | 120 | 110 | 110 | x | | 9 | 13:30 | sonnig, nässe, Sonne schräg vor dem Fahrzeug | |
| | 2. Position | 30 | 60 | 60 | | x | -50 | | | |
| | 3. Position | 70 | 70 | 70 | | x | 0 | | | |
| 3 | 1. Position | 120 | 150 | 150 | | x | -20 | 13:40 | sonnig, nässe, Sonne schräg vor dem Fahrzeug | |
| | 2. Position | 30 | 30 | 30 | | x | 0 | | | |
| | 3. Position | 70 | 50 | 50 | x | | 40 | | | |
| 4 | 1. Position | 120 | 100 | 110 | | x | 9 | 13:45 | sonnig, nässe, Schatten quer zum Fahrzeug | |
| | 2. Position | 30 | 35 | 30 | | x | 0 | | | |
| | 3. Position | 70 | 50 | 45 | x | | 56 | | | |
| 5 | 1. Position | 120 | 110 | 110 | x | | 9 | 14:00 | sonnig, nässe, Schatten quer zum Fahrzeug | |
| | 2. Position | 30 | 20 | 20 | x | | 50 | | | |
| | 3. Position | 70 | 60 | 50 | x | | 40 | | | |
| 6 | 1. Position | 120 | 110 | 110 | x | | 9 | 14:15 | sonnig, nässe, Schatten quer zum Fahrzeug | |
| | 2. Position | 30 | 30 | 30 | | x | 0 | | | |
| | 3. Position | 70 | 70 | 70 | | x | 0 | | | |
| 7 | 1. Position | 30 | 40 | 30 | | x | 0 | 14:30 | sonnig, nässe, Schatten quer zum Fahrzeug | |
| | 2. Position | 60 | 70 | 70 | | x | -14 | | | |
| | 3. Position | 90 | 100 | 100 | | x | -10 | | | |

Anlage 11: Auswertung Distanzschätzung KSS

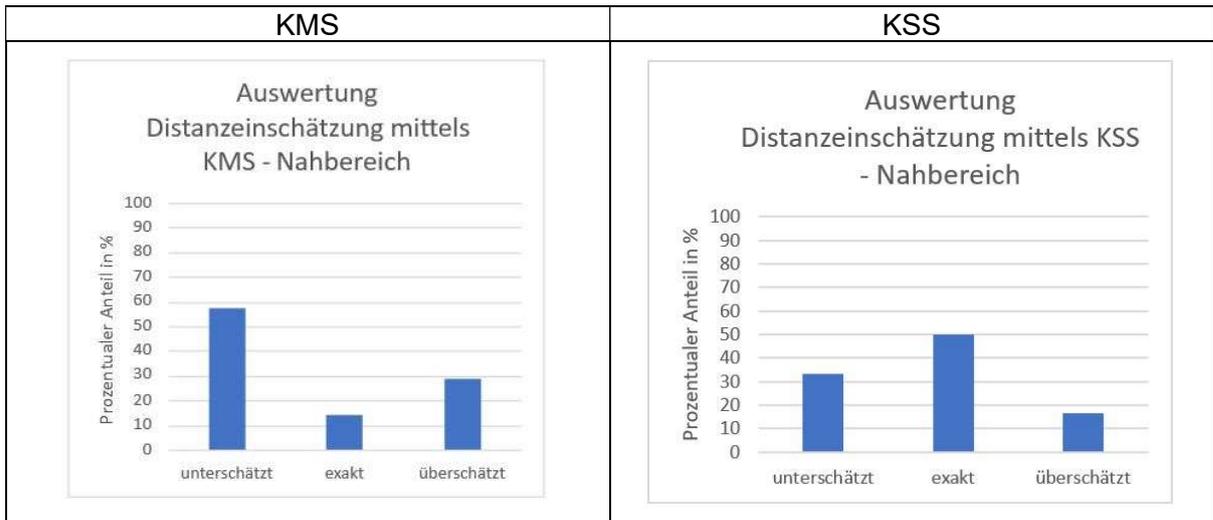


Anlage 12: Bildreihe- Blickzuwendung

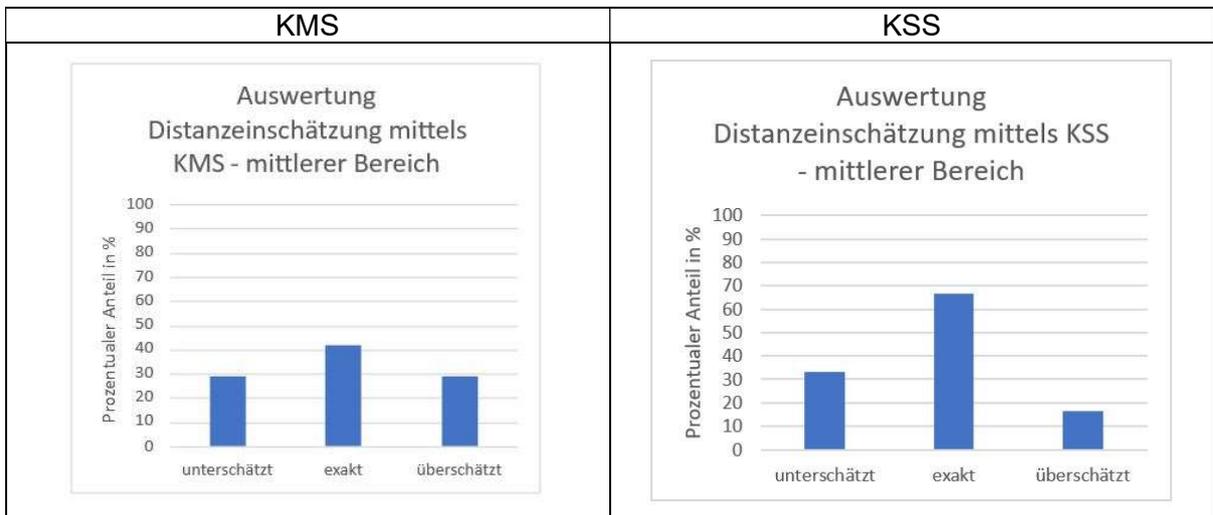
| Blickzuwendung KMS | Blickzuwendung KSS |
|---|--|
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

Anlage 13: Auswertung Distanzbereiche

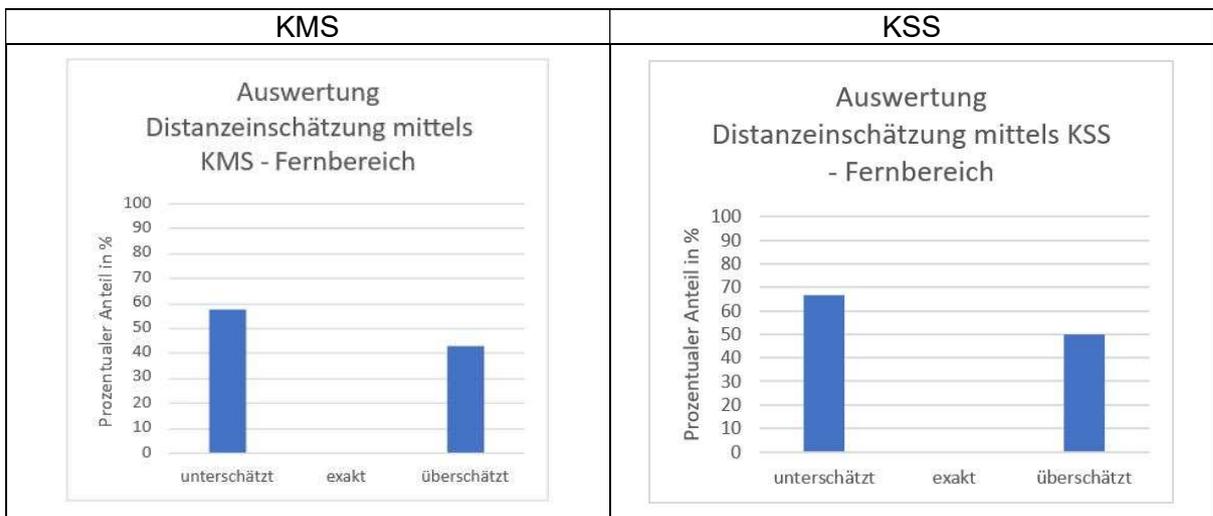
a) Auswertung Distanzschätzung Nahbereich



b) Auswertung Distanzschätzung mittlerer Bereich



c) Auswertung Distanzschätzung Fernbereich



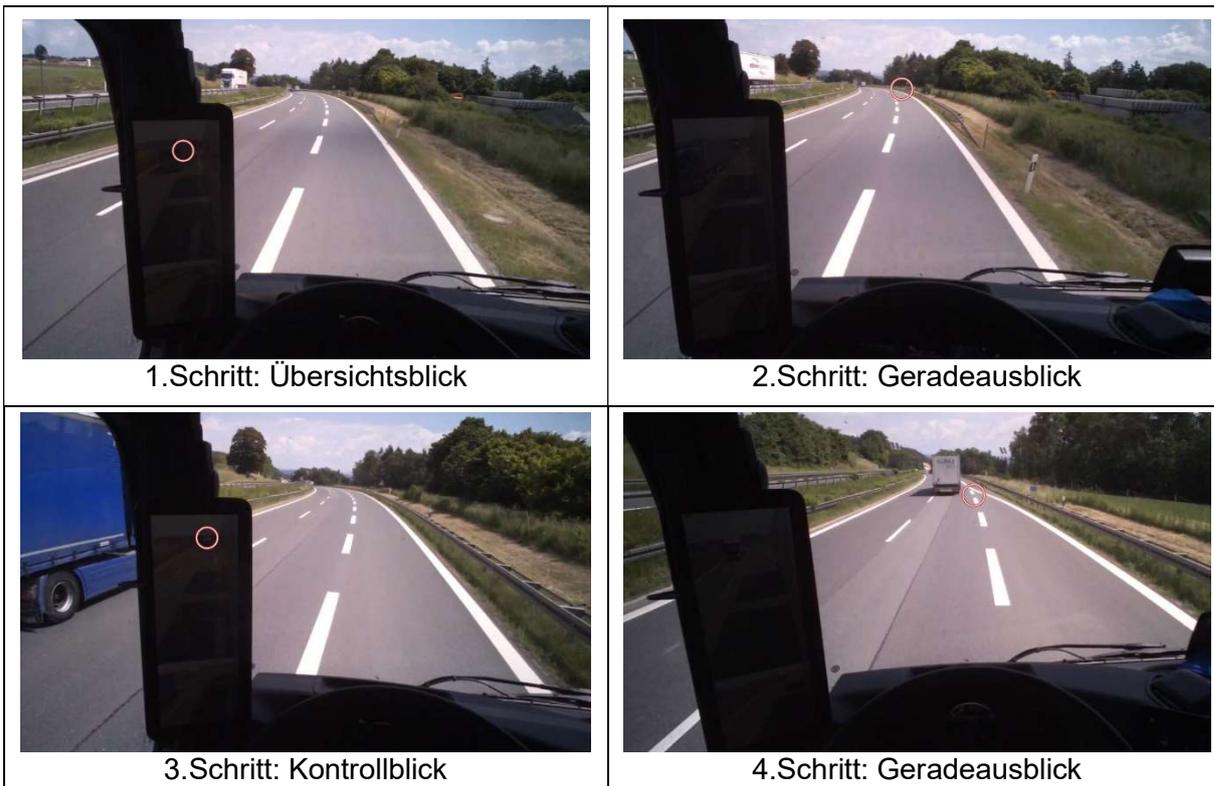
Anlage 14: Messwerte dynamischer Versuch

| Dynamischer Versuch | | | | | | | | | |
|--|---------------------------------------|---|--------------------------------|------------------------------|-----------|-------------|-----------------------------|--|--|
| Auswertung Messprotokoll | | | | | Versuch 1 | | | | |
| Schätzungen zu Geschwindigkeitsdifferenzen mit KMS | | | | | | | | | |
| Proband | tatsächliche Geschwindigkeit des PkWs | Schätzwert PKW etwa 100m hinter dem LkW | Schätzwert PKW beim Führerhaus | Geschwindigkeit des PKWs ... | | | Prozentuale Abweichung in % | | |
| | | | | unterschätzt | exakt | überschätzt | | | |
| 1 | 130 | 110 | 110 | x | | | 18 | | |
| | 110 | 100 | 95 | x | | | 16 | | |
| 2 | 120 | 100 | 100 | x | | | 20 | | |
| | 150 | 130 | 140 | x | | | 7 | | |
| 3 | 90 | 90 | 90 | | x | | 0 | | |
| | 150 | 130 | 120 | x | | | 25 | | |

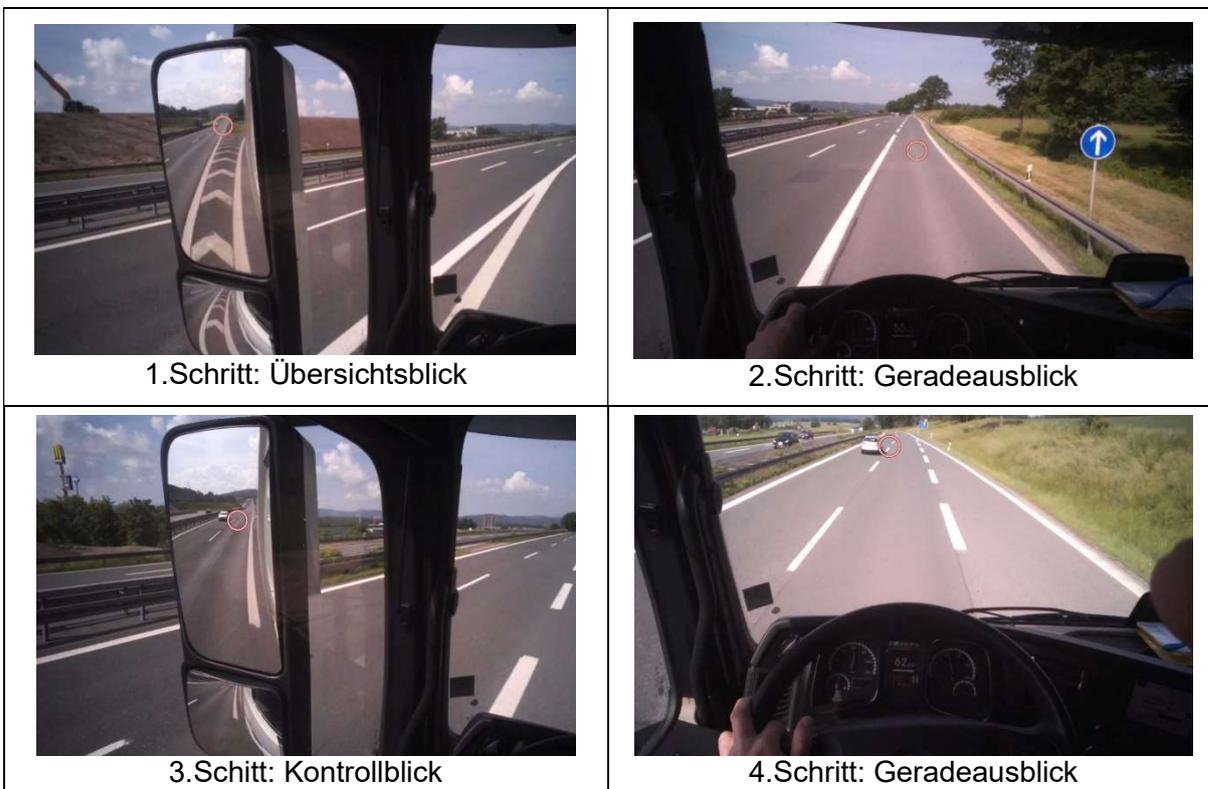
| Schätzungen zu Geschwindigkeitsdifferenzen mit KSS | | | | | | | | | |
|--|---------------------------------------|---|--------------------------------|------------------------------|-----------|-------------|-----------------------------|--|--|
| Auswertung Messprotokoll | | | | | Versuch 2 | | | | |
| Proband | tatsächliche Geschwindigkeit des PkWs | Schätzwert PKW etwa 100m hinter dem LkW | Schätzwert PKW beim Führerhaus | Geschwindigkeit des PKWs ... | | | Prozentuale Abweichung in % | | |
| | | | | unterschätzt | exakt | überschätzt | | | |
| 1 | 90 | 90 | 90 | | x | | 0 | | |
| | 110 | 100 | 100 | x | | | 10 | | |
| 2 | 150 | 140 | 140 | x | | | 7 | | |
| | 120 | 120 | 120 | | x | | 0 | | |
| 3 | 100 | 100 | 100 | | x | | 0 | | |
| | 120 | 120 | 120 | | x | | 0 | | |

Anlage 15: Bildreihe- Vier Schritte bei dem Spurwechsel

Autobahnauffahrt mit KMS:



Autobahnauffahrt mit KSS:



Anlage 16: Messwerte der Realfahrten

| Blickzeiten bei Realfahrt - Auffahren auf die Autobahn - KMS | | | | |
|--|---------------------|-------------------------------|----------------|----------------------|
| Blickfolge | Linkes Sichtsystem | | | |
| | Blickzuwendung | Blickzeit auf das Sichtsystem | Blickabwendung | Summe Blickzeit in s |
| | Zeit in s | Zeit in s | Zeit in s | |
| 1 | 0,231 | 0,385 | 0,192 | 0,808 |
| 2 | 0,192 | 0,808 | 0,231 | 1,231 |
| 3 | 0,154 | 0,731 | 0,154 | 1,039 |
| 4 | 0,154 | 1,346 | 0,192 | 1,692 |
| 5 | 0,154 | 1,731 | 0,154 | 2,039 |
| 6 | 0,192 | 0,577 | 0,154 | 0,923 |
| 7 | 0,192 | 0,692 | 0,192 | 1,076 |
| 8 | 0,154 | 0,500 | 0,154 | 0,808 |
| Blickfolge | Rechtes Sichtsystem | | | |
| | Blickzuwendung | Blickzeit auf das Sichtsystem | Blickabwendung | Summe Blickzeit in s |
| | Zeit in s | Zeit in s | Zeit in s | |
| 1 | 0,346 | 0,769 | 0,385 | 1,500 |
| 2 | 0,385 | 0,500 | 0,308 | 1,193 |

| Blickzeiten bei Realfahrt - Passieren einer Baustelle - KSS | | | | |
|---|---------------------|-------------------------------|----------------|----------------------|
| Blickfolge | Linkes Sichtsystem | | | |
| | Blickzuwendung | Blickzeit auf das Sichtsystem | Blickabwendung | Summe Blickzeit in s |
| | Zeit in s | Zeit in s | Zeit in s | |
| 1 | 0,577 | 0,423 | 0,654 | 1,654 |
| 2 | 0,500 | 0,577 | 0,615 | 1,692 |
| 3 | 0,462 | 0,692 | 0,538 | 1,692 |
| 4 | 0,538 | 1,462 | 0,500 | 2,500 |
| 5 | 0,423 | 1,538 | 0,577 | 2,538 |
| 6 | 0,462 | 1,731 | 0,538 | 2,731 |
| 7 | 0,654 | 0,385 | 0,500 | 1,539 |
| 8 | 0,615 | 0,654 | 0,538 | 1,807 |
| Blickfolge | Rechtes Sichtsystem | | | |
| | Blickzuwendung | Blickzeit auf das Sichtsystem | Blickabwendung | Summe Blickzeit in s |
| | Zeit in s | Zeit in s | Zeit in s | |
| 1 | 0,769 | 0,692 | 0,692 | 2,153 |
| 2 | 0,846 | 1,038 | 0,769 | 2,653 |

Anlage 17: Prüfung der Ergebnisse aus Realfahrten

| Überprüfung der Ergebnisse | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------------------|--------------|----------------|--------------|----------------------|---|--------------|----------------|--------------|----------------------|
| Blickverhalten in den Videosequenzen | Blickzeit Kontrollblick | | | | | Blickzeit in Verbindung mit einer Fahraufgabe | | | | |
| | Blickzeit auf das Sichtsystem | | Blickabwendung | | Summe Blickzeit in s | Blickzeit auf das Sichtsystem | | Blickabwendung | | Summe Blickzeit in s |
| | Zeit in s | Zeit in s | Zeit in s | Zeit in s | | Zeit in s | Zeit in s | Zeit in s | Zeit in s | |
| 1 | 0,692 | 0,385 | 0,654 | 0,654 | 1,731 | 1,538 | 0,557 | 1,538 | 0,615 | 2,710 |
| 2 | 0,577 | 0,462 | 0,500 | 0,500 | 1,539 | 1,654 | 0,538 | 1,654 | 0,577 | 2,769 |
| 3 | 0,654 | 0,423 | 0,577 | 0,577 | 1,654 | 1,769 | 0,500 | 1,769 | 0,538 | 2,807 |
| 4 | 0,538 | 0,577 | 0,462 | 0,462 | 1,577 | 1,462 | 0,538 | 1,462 | 0,615 | 2,615 |
| 5 | 0,500 | 0,385 | 0,500 | 0,500 | 1,385 | 1,731 | 0,615 | 1,731 | 0,654 | 3,000 |
| 6 | 0,577 | 0,423 | 0,654 | 0,654 | 1,654 | 1,462 | 0,538 | 1,462 | 0,500 | 2,500 |
| 7 | 0,500 | 0,577 | 0,615 | 0,615 | 1,692 | 1,538 | 0,423 | 1,538 | 0,577 | 2,538 |
| 8 | 0,462 | 0,692 | 0,538 | 0,538 | 1,692 | 1,731 | 0,462 | 1,731 | 0,538 | 2,731 |
| 9 | 0,654 | 0,385 | 0,500 | 0,500 | 1,539 | | | | | |
| 10 | 0,615 | 0,654 | 0,538 | 0,538 | 1,807 | | | | | |
| Durchschnitt | 0,577 | 0,496 | 0,554 | 0,554 | 1,627 | 1,611 | 0,521 | 1,611 | 0,577 | 2,709 |
| 1 | 0,231 | 0,538 | 0,154 | 0,154 | 0,923 | 0,962 | 0,154 | 0,962 | 0,231 | 1,347 |
| 2 | 0,154 | 0,385 | 0,115 | 0,115 | 0,654 | 1,346 | 0,115 | 1,346 | 0,154 | 1,615 |
| 3 | 0,115 | 0,462 | 0,154 | 0,154 | 0,731 | 0,615 | 0,192 | 0,615 | 0,115 | 0,922 |
| 4 | 0,154 | 0,385 | 0,154 | 0,154 | 0,693 | 1,538 | 0,115 | 1,538 | 0,192 | 1,845 |
| 5 | 0,192 | 0,500 | 0,115 | 0,115 | 0,807 | 1,615 | 0,115 | 1,615 | 0,154 | 1,884 |
| 6 | 0,231 | 0,385 | 0,192 | 0,192 | 0,808 | 1,346 | 0,154 | 1,346 | 0,192 | 1,692 |
| 7 | 0,192 | 0,808 | 0,231 | 0,231 | 1,231 | 1,731 | 0,154 | 1,731 | 0,154 | 2,039 |
| 8 | 0,154 | 0,731 | 0,154 | 0,154 | 1,039 | | | | | |
| 9 | 0,192 | 0,577 | 0,154 | 0,154 | 0,923 | | | | | |
| 10 | 0,192 | 0,692 | 0,192 | 0,192 | 1,076 | | | | | |
| Durchschnitt | 0,181 | 0,546 | 0,162 | 0,162 | 0,889 | 1,308 | 0,143 | 1,308 | 0,170 | 1,621 |

Anlage 18: Messprotokolle der Probanden KMS

Proband 1:

| Statischer Versuch | | Versuch 1 | | | | KMS | |
|--|-----------------------------------|-----------|---------|---------|---------|-----------|---------|
| Auswertung Blickzeit | | | | | | Proband 1 | |
| Position | | 1 | | 2 | | 3 | |
| | | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 |
| Blickzeit zum Sichtsystem in s | Augenbewegung | 0,115 | 0,192 | 0,115 | 0,154 | 0,115 | 0,154 |
| | Kopfbewegung | 0,423 | 0,692 | 0,500 | 0,385 | 0,577 | 0,385 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,538 | 0,884 | 0,615 | 0,539 | 0,692 | 0,539 |
| Blickzeit auf das Sichtsystem in s | Augenbewegung | 1,154 | 1,538 | 1,885 | 1,115 | 1,692 | 1,346 |
| Blickzeit zurück zum Geradeausblick in s | Augenbewegung | 0,115 | - | - | - | 0,077 | 0,077 |
| | Kopfbewegung | 0,346 | 0,462 | 0,308 | 0,385 | 0,423 | 0,346 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,461 | 0,462 | 0,308 | 0,385 | 0,5 | 0,423 |
| Blickzeit insgesamt in s | | 2,153 | 2,884 | 2,808 | 2,039 | 2,884 | 2,308 |

| Auswertung Fixation | | | Fahrzeug | Hilfslinien | Weitere | mittlere Fixationszeit | Summe der Fixationsanzahl |
|---------------------|---------|-----------------------|----------|-------------|---------|------------------------|---------------------------|
| Position | Blick | Anzahl der Fixationen | 5 | 4 | 1 | 0,385 | 10 |
| | | Fixationszeit | | | | | |
| 1 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 4 | 3 | 1 | 0,552 | 8 |
| | | Fixationszeit | | | | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 2 | 2 | - | 0,558 | 4 |
| | | Fixationszeit | | | | | |
| 2 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 3 | 5 | - | 0,673 | 8 |
| | | Fixationszeit | | | | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 1 | 2 | 1 | 0,410 | 4 |
| | | Fixationszeit | | | | | |
| 3 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 3 | 5 | - | 0,673 | 8 |
| | | Fixationszeit | | | | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 1 | 2 | 1 | 0,410 | 4 |
| | | Fixationszeit | | | | | |

Proband 2:

| Statischer Versuch | | Versuch 1 | | | | KMS | |
|--|-----------------------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Auswertung Blickzeit | | Proband 2 | | | | | |
| Position | | 1 | | 2 | | 3 | |
| | | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 |
| Blickzeit zum Sichtsystem in s | Augenbewegung | 0,115 | 0,077 | 0,154 | 0,115 | 0,192 | 0,115 |
| | Kopfbewegung | 0,308 | 0,308 | 0,308 | 0,269 | 0,308 | 0,308 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,423 | 0,385 | 0,462 | 0,384 | 0,500 | 0,423 |
| Blickzeit auf das Sichtsystem in s | Augenbewegung | 1,154 | 1,731 | 2,000 | 1,846 | 0,769 | 0,731 |
| Blickzeit zurück zum Geradeausblick in s | Augenbewegung | - | - | - | - | - | - |
| | Kopfbewegung | 0,385 | 0,385 | 0,346 | 0,654 | 0,346 | 0,269 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,385 | 0,385 | 0,346 | 0,654 | 0,346 | 0,269 |
| Blickzeit insgesamt in s | | 1,962 | 2,501 | 2,808 | 2,884 | 1,615 | 1,423 |

| Position | | Fahrzeug | Hilfslinien | Weitere | mittlere Fixationszeit | Summe der Fixationsanzahl | |
|----------|---------|-----------------------|-------------|---------|------------------------|---------------------------|----|
| 1 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 1 | 1 | 1 | 0,423 | 3 |
| | | Fixationszeit | 0,692 | 0,385 | 0,192 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 2 | 3 | - | 0,635 | 5 |
| | | Fixationszeit | 0,308 | 0,962 | - | | |
| 2 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 6 | 3 | 1 | 0,577 | 10 |
| | | Fixationszeit | 0,923 | 0,692 | 0,115 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 2 | 1 | - | 0,520 | 3 |
| | | Fixationszeit | 0,462 | 0,577 | - | | |
| 3 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 3 | 2 | - | 0,404 | 5 |
| | | Fixationszeit | 0,423 | 0,385 | - | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 2 | 1 | - | 0,366 | 3 |
| | | Fixationszeit | 0,231 | 0,500 | - | | |

Proband 3:

| Statischer Versuch | | Versuch 1 | | | | KMS | |
|--|-----------------------------------|-----------|---------|---------|---------|-----------|---------|
| Auswertung Blickzeit | | | | | | Proband 3 | |
| Position | | 1 | | 2 | | 3 | |
| | | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 |
| Blickzeit zum Sichtsystem in s | Augenbewegung | - | - | - | - | - | - |
| | Kopfbewegung | 0,308 | 0,500 | 0,538 | 0,500 | 0,500 | 0,385 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,308 | 0,500 | 0,538 | 0,500 | 0,500 | 0,385 |
| Blickzeit auf das Sichtsystem in s | Augenbewegung | 1,769 | 0,885 | 1,923 | 2,115 | 2,077 | 1,538 |
| Blickzeit zurück zum Geradeausblick in s | Augenbewegung | - | - | - | - | - | - |
| | Kopfbewegung | 0,308 | 0,423 | 0,385 | 0,538 | 0,462 | 0,385 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,308 | 0,423 | 0,385 | 0,538 | 0,462 | 0,385 |
| Blickzeit insgesamt in s | | 2,385 | 1,808 | 2,846 | 3,153 | 3,039 | 2,308 |

| Auswertung Fixation | | | | | | | |
|---------------------|---------|-----------------------|-------------|---------|------------------------|---------------------------|---|
| Position | | Fahrzeug | Hilfslinien | Weitere | mittlere Fixationszeit | Summe der Fixationsanzahl | |
| 1 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 1 | 1 | 1 | 0,526 | 3 |
| | | Fixationszeit | 0,808 | 0,385 | 0,385 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 1 | 1 | - | 0,462 | 2 |
| | | Fixationszeit | 0,808 | 0,115 | - | | |
| 2 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 1 | 1 | - | 1,077 | 2 |
| | | Fixationszeit | 1,846 | 0,308 | - | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 2 | 1 | - | 1,115 | 3 |
| | | Fixationszeit | 1,538 | 0,692 | - | | |
| 3 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 2 | 2 | - | 1,116 | 4 |
| | | Fixationszeit | 1,077 | 1,154 | - | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 1 | 1 | - | 0,770 | 2 |
| | | Fixationszeit | 1,154 | 0,385 | - | | |

Proband 4:

| Statischer Versuch | | Versuch 1 | | | | KMS | |
|--|-----------------------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Auswertung Blickzeit | | Proband 4 | | | | | |
| Position | | 1 | | 2 | | 3 | |
| | | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 |
| Blickzeit zum Sichtsystem in s | Augenbewegung | 0,115 | 0,154 | 0,154 | 0,192 | 0,115 | 0,153 |
| | Kopfbewegung | 0,231 | 0,385 | 0,462 | 0,385 | 0,462 | 0,423 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,346 | 0,539 | 0,616 | 0,577 | 0,577 | 0,576 |
| Blickzeit auf das Sichtsystem in s | Augenbewegung | 1,154 | 1,731 | 2,115 | 1,423 | 1,654 | 1,538 |
| Blickzeit zurück zum Geradeausblick in s | Augenbewegung | - | - | - | - | - | - |
| | Kopfbewegung | 0,346 | 0,385 | 0,385 | 0,654 | 0,462 | 0,385 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,346 | 0,385 | 0,385 | 0,654 | 0,462 | 0,385 |
| Blickzeit insgesamt in s | | 1,846 | 2,655 | 3,116 | 2,654 | 2,693 | 2,499 |

| Auswertung Fixation | | | | | | | |
|---------------------|---------|-----------------------|-------------|---------|------------------------|---------------------------|---|
| Position | | Fahrzeug | Hilfslinien | Weitere | mittlere Fixationszeit | Summe der Fixationsanzahl | |
| 1 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 2 | 1 | - | 0,539 | 3 |
| | | Fixationszeit | 0,577 | 0,500 | - | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 2 | 1 | - | 0,674 | 3 |
| | | Fixationszeit | 0,885 | 0,462 | - | | |
| 2 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 2 | 1 | - | 0,770 | 3 |
| | | Fixationszeit | 0,962 | 0,577 | - | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 2 | 1 | - | 0,674 | 3 |
| | | Fixationszeit | 0,962 | 0,385 | - | | |
| 3 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 3 | 2 | - | 0,769 | 5 |
| | | Fixationszeit | 0,692 | 0,846 | - | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 2 | 1 | - | 0,769 | 3 |
| | | Fixationszeit | 0,769 | 0,769 | - | | |

Proband 5:

| Statischer Versuch | | Versuch 1 | | | | KMS | |
|--|-----------------------------------|-----------|---------|---------|---------|-----------|---------|
| Auswertung Blickzeit | | | | | | Proband 5 | |
| Position | | 1 | | 2 | | 3 | |
| | | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 |
| Blickzeit zum Sichtsystem in s | Augenbewegung | 0,115 | 0,154 | 0,154 | 0,153 | 0,115 | 0,115 |
| | Kopfbewegung | 0,538 | 0,346 | 0,500 | 0,462 | 0,538 | 0,385 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,653 | 0,500 | 0,654 | 0,615 | 0,653 | 0,500 |
| Blickzeit auf das Sichtsystem in s | Augenbewegung | 1,500 | 1,462 | 1,885 | 1,923 | 2,115 | 2,308 |
| Blickzeit zurück zum Geradeausblick in s | Augenbewegung | - | - | - | - | - | - |
| | Kopfbewegung | 0,654 | 0,385 | 0,385 | 0,615 | 0,538 | 0,385 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,654 | 0,385 | 0,385 | 0,615 | 0,538 | 0,385 |
| Blickzeit insgesamt in s | | 2,807 | 2,347 | 2,924 | 3,153 | 3,306 | 3,193 |

| Auswertung Fixation | | | | | | | |
|---------------------|---------|-----------------------|-------------|---------|------------------------|---------------------------|---|
| Position | | Fahrzeug | Hilfslinien | Weitere | mittlere Fixationszeit | Summe der Fixationsanzahl | |
| 1 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 2 | 1 | - | 0,577 | 3 |
| | | Fixationszeit | 0,885 | 0,269 | - | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 2 | 2 | - | 0,770 | 4 |
| | | Fixationszeit | 0,962 | 0,577 | - | | |
| 2 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 3 | 2 | - | 0,788 | 5 |
| | | Fixationszeit | 1,038 | 0,538 | - | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 2 | 3 | - | 0,75 | 5 |
| | | Fixationszeit | 0,846 | 0,654 | - | | |
| 3 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 2 | 3 | 1 | 0,718 | 6 |
| | | Fixationszeit | 1,077 | 0,692 | 0,385 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 3 | 1 | 2 | 0,769 | 6 |
| | | Fixationszeit | 1,346 | 0,192 | 0,769 | | |

Proband 6:

| Statischer Versuch | | Versuch 1 | | | | KMS | |
|--|-----------------------------------|-----------|---------|---------|---------|-----------|---------|
| Auswertung Blickzeit | | | | | | Proband 6 | |
| Position | | 1 | | 2 | | 3 | |
| | | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 |
| Blickzeit zum Sichtsystem in s | Augenbewegung | 0,115 | 0,115 | 0,113 | 0,231 | 0,154 | 0,153 |
| | Kopfbewegung | 0,346 | 0,308 | 0,308 | 0,269 | 0,346 | 0,308 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,461 | 0,423 | 0,421 | 0,500 | 0,500 | 0,461 |
| Blickzeit auf das Sichtsystem in s | Augenbewegung | 2,154 | 1,038 | 1,654 | 0,423 | 2,500 | 1,154 |
| Blickzeit zurück zum Geradeausblick in s | Augenbewegung | 0,077 | 0,077 | 0,115 | 0,154 | 0,115 | - |
| | Kopfbewegung | 0,269 | 0,462 | 0,308 | 0,308 | 0,385 | 0,385 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,346 | 0,539 | 0,423 | 0,462 | 0,500 | 0,385 |
| Blickzeit insgesamt in s | | 2,961 | 2 | 2,498 | 1,385 | 3,500 | 2,000 |

| Auswertung Fixation | | | | | | | |
|---------------------|---------|-----------------------|-------------|---------|------------------------|---------------------------|---|
| Position | | Fahrzeug | Hilfslinien | Weitere | mittlere Fixationszeit | Summe der Fixationsanzahl | |
| 1 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 2 | 1 | - | 0,654 | 3 |
| | | Fixationszeit | 0,808 | 0,500 | - | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 1 | 1 | - | 0,635 | 2 |
| | | Fixationszeit | 0,962 | 0,308 | - | | |
| 2 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 2 | 1 | - | 0,712 | 3 |
| | | Fixationszeit | 1,115 | 0,308 | - | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 2 | 1 | - | 0,597 | 3 |
| | | Fixationszeit | 0,731 | 0,462 | - | | |
| 3 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 2 | 1 | - | 0,750 | 3 |
| | | Fixationszeit | 0,962 | 0,538 | - | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 1 | 1 | - | 0,539 | 2 |
| | | Fixationszeit | 0,385 | 0,692 | - | | |

Proband 7:

| Statischer Versuch | | Versuch 1 | | | | KMS | |
|--|-----------------------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Auswertung Blickzeit | | Proband 7 | | | | | |
| Position | | 1 | | 2 | | 3 | |
| | | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 |
| Blickzeit zum Sichtsystem in s | Augenbewegung | 0,115 | 0,192 | 0,154 | 0,115 | 0,192 | 0,110 |
| | Kopfbewegung | 0,346 | 0,462 | 0,538 | 0,500 | 0,385 | 0,462 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,461 | 0,654 | 0,692 | 0,615 | 0,577 | 0,572 |
| Blickzeit auf das Sichtsystem in s | Augenbewegung | 0,462 | 0,654 | 0,692 | 0,615 | 0,577 | 0,58 |
| Blickzeit zurück zum Geradeausblick in s | Augenbewegung | 0,115 | 0,077 | 0,080 | 0,115 | 0,118 | 0,050 |
| | Kopfbewegung | 0,268 | 0,305 | 0,385 | 0,382 | 0,462 | 0,308 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,383 | 0,382 | 0,465 | 0,497 | 0,58 | 0,358 |
| Blickzeit insgesamt in s | | 1,306 | 1,690 | 1,849 | 1,727 | 1,734 | 1,510 |

| Auswertung Fixation | | | | | | | |
|---------------------|---------|-----------------------|-------------|---------|------------------------|---------------------------|---|
| Position | | Fahrzeug | Hilfslinien | Weitere | mittlere Fixationszeit | Summe der Fixationsanzahl | |
| 1 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 2 | 1 | - | 0,535 | 3 |
| | | Fixationszeit | 0,570 | 0,500 | - | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 1 | 1 | - | 0,675 | 2 |
| | | Fixationszeit | 0,885 | 0,465 | - | | |
| 2 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 2 | 3 | - | 0,771 | 5 |
| | | Fixationszeit | 0,962 | 0,580 | - | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 2 | 2 | - | 0,558 | 4 |
| | | Fixationszeit | 0,808 | 0,308 | - | | |
| 3 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 1 | 1 | - | 0,715 | 2 |
| | | Fixationszeit | 1,115 | 0,315 | - | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 2 | 1 | - | 0,63 | 3 |
| | | Fixationszeit | 0,855 | 0,405 | - | | |

Anlage 19: Messprotokolle der Probanden KSS

Proband 1:

| Statischer Versuch | | Versuch 2 | | | | KSS | |
|--|-----------------------------------|-----------|---------|---------|---------|-----------|---------|
| Auswertung Blickzeit | | | | | | Proband 1 | |
| Position | | 1 | | 2 | | 3 | |
| | | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 |
| Blickzeit zum Sichtsystem in s | Augenbewegung | - | - | - | - | - | - |
| | Kopfbewegung | 0,731 | 0,923 | 1,000 | 0,692 | 0,808 | 0,846 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,731 | 0,923 | 1,000 | 0,692 | 0,808 | 0,846 |
| Blickzeit auf das Sichtsystem in s | Augenbewegung | 2,231 | 2,346 | 2,500 | 2,308 | 1,923 | 2,115 |
| Blickzeit zurück zum Geradeausblick in s | Augenbewegung | - | - | - | - | - | - |
| | Kopfbewegung | 0,538 | 0,462 | 0,500 | 0,577 | 0,538 | 0,577 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,538 | 0,462 | 0,500 | 0,577 | 0,538 | 0,577 |
| Blickzeit insgesamt in s | | 3,500 | 3,731 | 4,000 | 3,577 | 3,269 | 3,538 |

| Auswertung Fixation | | | Fahrzeug | Hilfslinien | Weitere | mittlere Fixationszeit | Summe der Fixationsanzahl |
|---------------------|---------|-----------------------|----------|-------------|---------|------------------------|---------------------------|
| 1 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 2 | - | 4 | 1,116 | 6 |
| | | Fixationszeit | 1,000 | - | 1,231 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 2 | - | 2 | 1,044 | 4 |
| | | Fixationszeit | 1,200 | - | 0,888 | | |
| 2 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 2 | - | 3 | 1,116 | 5 |
| | | Fixationszeit | 1,269 | - | 0,962 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 3 | - | 2 | 1,116 | 5 |
| | | Fixationszeit | 1,077 | - | 1,154 | | |
| 3 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 2 | - | 3 | 0,942 | 5 |
| | | Fixationszeit | 1,115 | - | 0,769 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 2 | - | 4 | 1,058 | 6 |
| | | Fixationszeit | 0,808 | - | 1,308 | | |

Proband 2:

| Statischer Versuch | | Versuch 2 | | | | KSS | |
|--|-----------------------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Auswertung Blickzeit | | Proband 2 | | | | | |
| Position | | 1 | | 2 | | 3 | |
| | | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 |
| Blickzeit zum Sichtsystem in s | Augenbewegung | - | - | - | - | - | - |
| | Kopfbewegung | 0,615 | 0,577 | 0,538 | 0,615 | 0,538 | 0,615 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,615 | 0,577 | 0,538 | 0,615 | 0,538 | 0,615 |
| Blickzeit auf das Sichtsystem in s | Augenbewegung | 1,731 | 1,962 | 1,885 | 1,577 | 2,077 | 1,885 |
| Blickzeit zurück zum Geradeausblick in s | Augenbewegung | - | - | - | - | - | - |
| | Kopfbewegung | 0,577 | 0,615 | 0,654 | 0,462 | 0,538 | 0,615 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,577 | 0,615 | 0,654 | 0,462 | 0,538 | 0,615 |
| Blickzeit insgesamt in s | | 2,923 | 3,154 | 3,077 | 2,654 | 3,153 | 3,115 |

| Auswertung Fixation | | | | | | | |
|---------------------|---------|-----------------------|-------------|---------|------------------------|---------------------------|---|
| Position | | Fahrzeug | Hilfslinien | Weitere | mittlere Fixationszeit | Summe der Fixationsanzahl | |
| 1 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 2 | - | 1 | 0,866 | 3 |
| | | Fixationszeit | 1,154 | - | 0,577 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 1 | - | 1 | 0,981 | 2 |
| | | Fixationszeit | 1,731 | - | 0,231 | | |
| 2 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 2 | - | 2 | 0,923 | 4 |
| | | Fixationszeit | 1,346 | - | 0,500 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 4 | - | 3 | 0,866 | 7 |
| | | Fixationszeit | 0,962 | - | 0,769 | | |
| 3 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 2 | - | 1 | 0,962 | 3 |
| | | Fixationszeit | 1,038 | - | 0,885 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 2 | - | 2 | 0,885 | 4 |
| | | Fixationszeit | 0,615 | - | 1,154 | | |

Proband 3:

| Statischer Versuch | | Versuch 2 | | | | KSS | |
|--|-----------------------------------|-----------|---------|---------|---------|-----------|---------|
| Auswertung Blickzeit | | | | | | Proband 3 | |
| Position | | 1 | | 2 | | 3 | |
| | | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 |
| Blickzeit zum Sichtsystem in s | Augenbewegung | - | - | - | - | - | - |
| | Kopfbewegung | 0,654 | 0,769 | 0,846 | 0,692 | 0,962 | 0,731 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,654 | 0,769 | 0,846 | 0,692 | 0,962 | 0,731 |
| Blickzeit auf das Sichtsystem in s | Augenbewegung | 2,308 | 2,115 | 2,231 | 2,007 | 2,423 | 2,269 |
| Blickzeit zurück zum Geradeausblick in s | Augenbewegung | - | - | - | - | - | - |
| | Kopfbewegung | 0,731 | 0,654 | 0,577 | 0,692 | 0,577 | 0,769 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,731 | 0,654 | 0,577 | 0,692 | 0,577 | 0,769 |
| Blickzeit insgesamt in s | | 3,693 | 3,538 | 3,654 | 3,391 | 3,962 | 3,769 |

| Auswertung Fixation | | | | | | | |
|---------------------|---------|-----------------------|-------------|---------|------------------------|---------------------------|---|
| Position | | Fahrzeug | Hilfslinien | Weitere | mittlere Fixationszeit | Summe der Fixationsanzahl | |
| 1 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 2 | - | 3 | 1,116 | 5 |
| | | Fixationszeit | 1,077 | - | 1,154 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 3 | - | 4 | 1,116 | 7 |
| | | Fixationszeit | 1,000 | - | 1,231 | | |
| 2 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 2 | - | 4 | 1,173 | 6 |
| | | Fixationszeit | 1,115 | - | 1,231 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 1 | - | 2 | 1,019 | 3 |
| | | Fixationszeit | 1,115 | - | 0,923 | | |
| 3 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 3 | - | 2 | 1,096 | 5 |
| | | Fixationszeit | 1,192 | - | 1,000 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 2 | - | 2 | 1,000 | 4 |
| | | Fixationszeit | 1,038 | - | 0,962 | | |

Proband 4:

| Statischer Versuch | | Versuch 2 | | | | | | KSS |
|--|-----------------------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|-----|
| Auswertung Blickzeit | | Proband 4 | | | | | | |
| Position | | 1 | | 2 | | 3 | | |
| | | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 | |
| Blickzeit zum Sichtsystem in s | Augenbewegung | - | - | - | - | - | - | |
| | Kopfbewegung | 0,692 | 0,846 | 0,769 | 0,808 | 0,615 | 0,692 | |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,692 | 0,846 | 0,769 | 0,808 | 0,615 | 0,692 | |
| Blickzeit auf das Sichtsystem in s | Augenbewegung | 2,231 | 1,731 | 2,308 | 1,923 | 2,615 | 2,500 | |
| Blickzeit zurück zum Geradeausblick in s | Augenbewegung | - | - | - | - | - | - | |
| | Kopfbewegung | 0,538 | 0,462 | 0,577 | 0,500 | 0,557 | 0,615 | |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,538 | 0,462 | 0,577 | 0,500 | 0,557 | 0,615 | |
| Blickzeit insgesamt in s | | 3,461 | 3,039 | 3,654 | 3,231 | 3,787 | 3,807 | |

| Auswertung Fixation | | Position | Fahrzeug | Hilfslinien | Weitere | mittlere Fixationszeit | Summe der Fixationsanzahl |
|---------------------|---------|-----------------------|----------|-------------|---------|------------------------|---------------------------|
| 1 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 2 | - | 3 | 0,866 | 5 |
| | | Fixationszeit | 1,154 | - | 0,577 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 2 | - | 1 | 0,865 | 3 |
| | | Fixationszeit | 1,038 | - | 0,692 | | |
| 2 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 2 | - | 2 | 1,212 | 4 |
| | | Fixationszeit | 1,538 | - | 0,885 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 1 | - | 2 | 1,019 | 3 |
| | | Fixationszeit | 1,346 | - | 0,692 | | |
| 3 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 3 | - | 2 | 1,193 | 5 |
| | | Fixationszeit | 1,308 | - | 1,077 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 2 | - | 1 | 1,058 | 3 |
| | | Fixationszeit | 1,154 | - | 0,962 | | |

Proband 5:

| Statischer Versuch | | Versuch 2 | | | | KSS | |
|--|-----------------------------------|-----------|---------|---------|---------|-----------|---------|
| Auswertung Blickzeit | | | | | | Proband 5 | |
| Position | | 1 | | 2 | | 3 | |
| | | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 |
| Blickzeit zum Sichtsystem in s | Augenbewegung | - | - | - | - | - | - |
| | Kopfbewegung | 0,769 | 0,808 | 0,885 | 0,769 | 0,769 | 0,885 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,769 | 0,808 | 0,885 | 0,769 | 0,769 | 0,885 |
| Blickzeit auf das Sichtsystem in s | Augenbewegung | 2,308 | 1,577 | 2,154 | 2,615 | 1,923 | 2,423 |
| Blickzeit zurück zum Geradeausblick in s | Augenbewegung | - | - | - | - | - | - |
| | Kopfbewegung | 0,846 | 0,654 | 0,808 | 0,769 | 0,731 | 0,962 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,846 | 0,654 | 0,808 | 0,769 | 0,731 | 0,962 |
| Blickzeit insgesamt in s | | 3,923 | 3,039 | 3,847 | 4,153 | 3,423 | 4,27 |

| Auswertung Fixation | | | Fahrzeug | Hilfslinien | Weitere | mittlere Fixationszeit | Summe der Fixationsanzahl |
|---------------------|---------|-----------------------|----------|-----------------------|---------|------------------------|---------------------------|
| Position | Blick | | | | | | |
| | | 1 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 2 | - | 1 |
| | | Fixationszeit | 1,385 | - | 0,769 | | |
| 1 | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 1 | - | 1 | 0,731 | 2 |
| | | Fixationszeit | 0,385 | - | 1,077 | | |
| 2 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 1 | - | 3 | 1,020 | 4 |
| | | Fixationszeit | 0,385 | - | 1,654 | | |
| 2 | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 1 | - | 1 | 1,212 | 2 |
| | | Fixationszeit | 0,654 | - | 1,769 | | |
| 3 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 1 | - | 1 | 0,847 | 2 |
| | | Fixationszeit | 0,885 | - | 0,808 | | |
| 3 | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 3 | - | 3 | 1,212 | 6 |
| | | Fixationszeit | 1,269 | - | 1,154 | | |

Proband 6:

| Statischer Versuch | | Versuch 2 | | | | KSS | |
|--|-----------------------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Auswertung Blickzeit | | Proband 6 | | | | | |
| Position | | 1 | | 2 | | 3 | |
| | | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 |
| Blickzeit zum Sichtsystem in s | Augenbewegung | - | - | - | - | - | - |
| | Kopfbewegung | 0,800 | 0,960 | 0,615 | 0,769 | 0,769 | 0,808 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,800 | 0,960 | 0,615 | 0,769 | 0,769 | 0,808 |
| Blickzeit auf das Sichtsystem in s | Augenbewegung | 2,269 | 1,577 | 2,231 | 1,885 | 2,154 | 1,769 |
| Blickzeit zurück zum Geradeausblick in s | Augenbewegung | - | - | - | - | - | - |
| | Kopfbewegung | 0,808 | 0,654 | 0,808 | 0,923 | 0,769 | 0,692 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,808 | 0,654 | 0,808 | 0,923 | 0,769 | 0,692 |
| Blickzeit insgesamt in s | | 3,877 | 3,191 | 3,654 | 3,577 | 3,692 | 3,269 |

| Auswertung Fixation | | | | | | | |
|---------------------|---------|-----------------------|-------------|---------|------------------------|---------------------------|---|
| Position | | Fahrzeug | Hilfslinien | Weitere | mittlere Fixationszeit | Summe der Fixationsanzahl | |
| 1 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 1 | - | 2 | 1,000 | 3 |
| | | Fixationszeit | 1,231 | - | 0,769 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 1 | - | 1 | 0,7695 | 2 |
| | | Fixationszeit | 1,154 | - | 0,385 | | |
| 2 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 2 | - | 2 | 1,077 | 4 |
| | | Fixationszeit | 1,231 | - | 0,923 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 2 | - | 1 | 0,846 | 3 |
| | | Fixationszeit | 1,115 | - | 0,577 | | |
| 3 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 1 | - | 1 | 1,058 | 2 |
| | | Fixationszeit | 1,731 | - | 0,385 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 1 | - | 2 | 0,885 | 3 |
| | | Fixationszeit | 1,000 | - | 0,769 | | |

Proband 7:

| Statischer Versuch | | Versuch 2 | | | | KSS | |
|--|-----------------------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Auswertung Blickzeit | | Proband 7 | | | | | |
| Position | | 1 | | 2 | | 3 | |
| | | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 | Blick 1 | Blick 2 |
| Blickzeit zum Sichtsystem in s | Augenbewegung | - | - | - | - | - | - |
| | Kopfbewegung | 0,692 | 0,846 | 0,769 | 0,808 | 0,731 | 0,846 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,692 | 0,846 | 0,769 | 0,808 | 0,731 | 0,846 |
| Blickzeit auf das Sichtsystem in s | Augenbewegung | 1,731 | 1,885 | 1,923 | 1,538 | 2,000 | 1,731 |
| Blickzeit zurück zum Geradeausblick in s | Augenbewegung | - | - | - | - | - | - |
| | Kopfbewegung | 0,385 | 0,500 | 0,538 | 0,615 | 0,462 | 0,500 |
| | Summe aus Augen- und Kopfbewegung | 0,385 | 0,500 | 0,538 | 0,615 | 0,462 | 0,500 |
| Blickzeit insgesamt in s | | 2,808 | 3,231 | 3,230 | 2,961 | 3,193 | 3,077 |

| Position | | Fahrzeug | Hilfslinien | Weitere | mittlere Fixationszeit | Summe der Fixationsanzahl | |
|----------|---------|-----------------------|-------------|---------|------------------------|---------------------------|---|
| 1 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 2 | - | 1 | 0,863 | 3 |
| | | Fixationszeit | 0,956 | - | 0,770 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 1 | - | 1 | 0,977 | 2 |
| | | Fixationszeit | 1,050 | - | 0,903 | | |
| 2 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 1 | - | 2 | 0,987 | 3 |
| | | Fixationszeit | 1,020 | - | 0,953 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 2 | - | 2 | 0,839 | 4 |
| | | Fixationszeit | 0,775 | - | 0,902 | | |
| 3 | Blick 1 | Anzahl der Fixationen | 1 | - | 1 | 0,966 | 2 |
| | | Fixationszeit | 0,967 | - | 0,965 | | |
| | Blick 2 | Anzahl der Fixationen | 2 | - | 1 | 0,880 | 3 |
| | | Fixationszeit | 1,050 | - | 0,709 | | |