

# Ersatz von Außenspiegeln durch Kamera-Monitor-Systeme bei Pkw und Lkw

Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Fahrzeugtechnik Heft F 112

**bast**

# **Ersatz von Außenspiegeln durch Kamera-Monitor-Systeme bei Pkw und Lkw**

von

Eike Andreas Schmidt  
Heike Hoffmann  
Rainer Krautscheid  
Maxim Bierbach  
Alexander Frey  
Jost Gail  
Christine Lotz-Keens

Bundesanstalt für Straßenwesen  
Bergisch Gladbach

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Fahrzeugtechnik Heft F 112**

**bast**

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines  
B - Brücken- und Ingenieurbau  
F - Fahrzeugtechnik  
M - Mensch und Sicherheit  
S - Straßenbau  
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.  
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

## Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt F1100.5412034:**  
Ersatz von Außenspiegeln durch  
Kamera-Monitor-Systeme bei Pkw und Lkw

**Herausgeber**  
Bundesanstalt für Straßenwesen  
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach  
Telefon: (0 22 04) 43 - 0 · Telefax: (0 22 04) 43 - 674

**Redaktion**  
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

**Druck und Verlag**  
Fachverlag NW in der  
Carl Schünemann Verlag GmbH  
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen  
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53 · Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48  
[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)

ISSN 0943-9307  
ISBN 978-3-95606-229-2

Bergisch Gladbach, Januar 2016

## Kurzfassung – Abstract

### Ersatz von Außenspiegeln durch Kamera-Monitor-Systeme bei Pkw und Lkw

Kamera-Monitor-Systeme (KMS) können bei Kraftfahrzeugen dazu verwendet werden, die Sicht nach hinten für den Fahrer auf einem im Fahrzeug montierten Monitor darzustellen. Dies bietet auch die Möglichkeit, herkömmliche Außenspiegel durch geeignete KMS zu ersetzen und damit neue Designvarianten mit aerodynamischen Vorteilen umsetzen zu können. Da es sich bei den Außenspiegeln jedoch um ein sicherheitsrelevantes Fahrzeugteil zur Gewährleistung der indirekten Sicht nach hinten handelt (Anforderungen sind in der UN-Regelung Nr. 46 festgelegt), stellt sich die Frage, ob KMS einen gleichwertigen Ersatz für Spiegel bieten können.

In der vorliegenden Studie wurden das KMS und der herkömmliche Außenspiegel während der Durchführung von Versuchsfahrten und statischen Tests unter verschiedenen äußeren Bedingungen verglichen und bewertet. Untersuchungsgegenstand waren zum einen technische Aspekte, zum anderen Fragestellungen zur Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion.

Für die Versuche mit Pkw standen zwei Fahrzeuge zur Verfügung: Ein Fahrzeug, das in Kleinserie hergestellt wird und bereits nur mit KMS als Ersatz für Außenspiegel ausgerüstet ist, sowie ein Fahrzeug der Kompaktklasse, an dem sowohl ein KMS als Nachrüstsatz verbaut war als auch die herkömmlich vorhandenen Außenspiegel. Letztere konnten für Fahrten ausschließlich mit KMS abgedeckt werden. Für die Versuche am Lkw stand eine Sattelzugmaschine mit Auflieger zur Verfügung. Die Fahrerkabine war mit einem nachgerüsteten KMS ausgestattet.

Grundsätzlich hat sich gezeigt, dass es möglich ist, die indirekte Sicht nach hinten sowohl bei Pkw als auch bei Lkw durch KMS, die gewisse Qualitätskriterien erfüllen, für den Fahrer ausreichend darstellen zu können. Je nach Ausgestaltung bietet ein KMS sogar die Möglichkeit, mehr Information über den rückwärtigen Raum zu präsentieren als es mit Spiegelsystemen möglich ist. Es hat sich auch gezeigt, dass der Umstieg von Spiegeln auf KMS immer einer gewissen Gewöhnungsphase bedarf, diese jedoch verhältnismäßig kurz ist und nicht notwendigerweise zu sicherheitskritischen Situationen führt.

### Camera-Monitor systems as a replacement for exterior mirrors in cars and trucks

Camera-monitor systems (CMS) can be used in motor vehicles to display the driver's rear view on a monitor mounted inside the vehicle. This also offers the possibility of replacing conventional exterior mirrors with suitable CMS and thereby implementing new design concepts with aerodynamic advantages. However, as exterior mirrors are safety-relevant vehicle parts for securing the driver's indirect rear view (requirements specified in UN Regulation No. 46), the question arises whether CMS can provide an equivalent substitute for mirrors.

In the scope of this study, CMS and conventional exterior mirrors were compared and assessed in test drives and static tests under different external conditions. On the one hand, the examination of technical aspects, and on the other hand, issues pertaining to the design of the human-machine interaction, were the objects of the study.

Two vehicles were available for the trials with passenger vehicles: A vehicle, manufactured in small series, which is already equipped with CMS as sole replacement for the exterior mirrors, as well as a compact class vehicle which had a CMS retrofitted by the car manufacturer in addition to conventionally used exterior mirrors. The latter could be covered exclusively for trips with CMS. A tractor unit with semitrailer was available for the truck trials. The driver's cabin was equipped with a CMS system developed by the vehicle manufacturer.

In general, it was shown that it is possible to display the indirect rear view sufficiently for the driver, both for cars and trucks, using CMS which meet specific quality criteria. Depending on the design, it is even possible to receive more information about the rear space from a CMS than is possible with mirror systems. It was also shown that the change from mirrors to CMS requires a certain period of familiarisation. However, this period is relatively short and does not necessarily result in safety-critical situations.



## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	7	<b>4</b>	<b>Aspekte der Mensch-Maschine-Interaktion</b> .....	31
2	Literaturanalyse .....	7	4.1	Pkw-Studie .....	31
2.1	Technischer Hintergrund .....	7	4.1.1	Stichprobe .....	31
2.2	Mensch-Maschine-Interaktion .....	8	4.1.2	Versuchsdurchführung .....	32
2.2.1	Blickverhalten im Realverkehr .....	8	4.1.3	Experiment I: Distanz- und Geschwindigkeitsschätzung .....	32
2.2.2	Blickverhalten beim Fahrstreifenwechsel .....	8	4.1.4	Experiment II: Blickverhalten in Realfahrten .....	34
2.2.3	Distanz- und Geschwindigkeitswahrnehmung im Straßenverkehr .....	9	4.1.5	Ergebnisse .....	36
2.2.4	Distanz- und Geschwindigkeitswahrnehmung im Außenspiegel und im Monitor .....	10	4.2	Lkw-Studie .....	40
<b>3</b>	<b>Technische Aspekte</b> .....	10	4.2.1	Stichprobe .....	40
3.1	Versuchsfahrzeuge .....	10	4.2.2	Versuchsdurchführung .....	40
3.1.1	Pkw .....	10	4.2.3	Experiment I: Distanzschätzung .....	40
3.1.2	Lkw .....	12	4.2.4	Experiment II: Realfahrten .....	41
3.2	Versuchskonzept .....	12	4.2.5	Ergebnisse .....	41
3.3	Eigenschaften von Spiegeln und KMS .....	14	<b>5</b>	<b>Bewertung der Ergebnisse</b> .....	46
3.4	Grundlagen optischer Bildeffekte .....	15	5.1	Technische Aspekte .....	46
3.5	Versuche und Ergebnisse .....	16	5.2	Aspekte der Mensch-Maschine-Interaktion .....	47
3.5.1	Sichtfeld nach hinten und direkte Sicht nach vorne .....	16	<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen und Empfehlungen</b> .....	49
3.5.2	Allgemeine Tag- und Nachteigenschaften .....	16	<b>7</b>	<b>Literatur</b> .....	50
3.5.3	Bildwiedergabe .....	21			
3.5.4	Verhalten bei Blendung .....	24			
3.5.5	Reflexionen auf dem Display und Blendung des Displays .....	25			
3.5.6	Verstellbarkeit von Kamera und Display .....	26			
3.5.7	Ausfallsicherheit .....	26			
3.5.8	Verhalten bei extremer Kälte und Hitze .....	27			
3.5.9	Auswirkungen von Verschmutzungen .....	29			



## 1 Einleitung

Kamera-Monitor-Systeme (KMS) können bei Kraftfahrzeugen dazu verwendet werden, die Sicht nach hinten für den Fahrer auf einem im Fahrzeug montierten Monitor darzustellen. Dies bietet auch die Möglichkeit, herkömmliche Außenspiegel durch geeignete KMS zu ersetzen und damit neue Designvarianten mit aerodynamischen Vorteilen umsetzen zu können. Da es sich bei den Außenspiegeln jedoch um ein sicherheitsrelevantes Fahrzeugteil zur Gewährleistung der indirekten Sicht nach hinten handelt (Anforderungen sind in der UN-Regelung Nr. 46 festgelegt), stellt sich die Frage, ob KMS einen gleichwertigen Ersatz für Spiegel bieten können. Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) wurde daher vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) beauftragt, eine entsprechende Untersuchung durchzuführen, in der KMS und Spiegel vergleichend bewertet werden. Dazu wurden Versuche mit Fahrzeugen, die mit KMS, Spiegeln oder beidem ausgerüstet waren, durchgeführt. Untersuchungsgegenstand waren zum einen technische Aspekte, zum anderen Fragestellungen zur Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion.

## 2 Literaturanalyse

### 2.1 Technischer Hintergrund

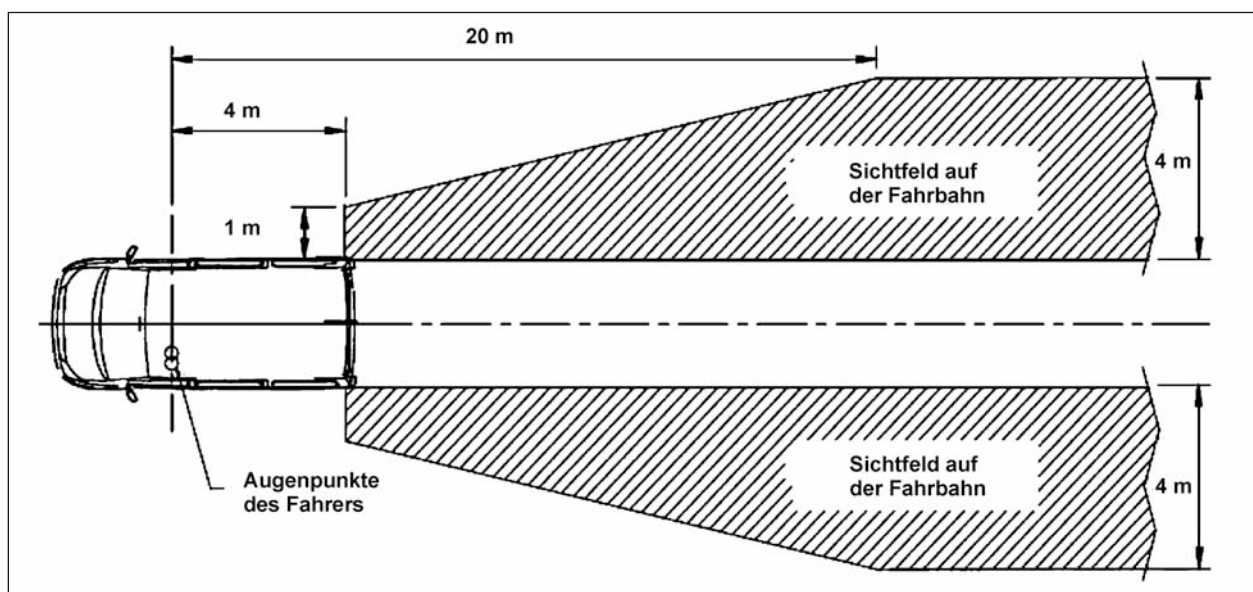
Laut der Regelung Nr. 46 (R 46) der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa

(UNECE) „Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Einrichtungen für indirekte Sicht und von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Anbringung solcher Einrichtungen“ (ECE-R 46, 2010), werden verschiedene Spiegel je nach ihrem Einsatzzweck in Gruppen eingeteilt. Es wird festgelegt, welche dieser Spiegel jeweils bei den verschiedenen Fahrzeugklassen vorhanden sein müssen.

Die ECE-R 46 bezeichnet Außenspiegel als außen am Fahrzeug angebrachte Spiegel, deren Zweck darin besteht, in jeweils einem klardefinierten Sichtfeld eine klare Sicht vom Fahrzeug aus nach hinten, nach vorn oder nach den Seiten zu ermöglichen. Bild 1 zeigt beispielhaft das vorgeschriebene Sichtfeld für indirekte Sicht für Pkw.

Ein KMS oder auch eine „Kamera-Monitor-Einrichtung für indirekte Sicht“ ist nach der ECE-R 46 definiert als eine Einrichtung, bei der das Sichtfeld dem Fahrer durch eine Kombination aus Kamera und Monitor vermittelt wird. Kamera-Monitor-Systeme werden in Fahrzeugen genutzt, um die Information eines spezifischen Sichtfeldes (meist der rückwärtigen Sicht) dem Fahrer zugänglich zu machen. Es ist jedoch bisher nicht erlaubt, KMS als Ersatz für Außenspiegel einzusetzen. KMS dürfen lediglich als zusätzliche Informationsquelle für den Fahrer dienen.

Im Jahr 2015 hat die International Organization for Standardization (ISO) zum Thema KMS einen Standard veröffentlicht (ISO-Norm 16505 “Road vehicles – Ergonomie and performance aspects of Camera-Monitor Systems – Requirements and test



**Bild 1:** Vorgeschriebenes Sichtfeld für Spiegel der Gruppe III (ECE R 46), d. h. der kleinen Außenspiegel



procedures“) (ISO, 2015). Die Norm befasst sich mit den Anforderungen und Prüfverfahren für KMS in Straßenfahrzeugen.

## 2.2 Mensch-Maschine-Interaktion

Bereits im Jahr 2002 wurden die ersten Studien zur Mensch-Maschine-Interaktion in Bezug auf KMS durchgeführt. Dabei kam man zu der Aussage, dass ein KMS dem Fahrer viele potenzielle Vorteile bieten könnte (FLANNAGAN, 2002). Mit einem KMS ist es dem Fahrer z. B. nicht mehr möglich, die indirekte Sicht durch das Bewegen des Kopfes zu verändern, wie es mit einem Spiegel möglich ist. Außerdem ist die Position der rückwärtigen Darstellung eine völlig andere. Bisher lag diese außerhalb des Innenraumes und liegt nun näher beim Fahrer innerhalb des Fahrzeuges.

### 2.2.1 Blickverhalten im Realverkehr

Nach den Richtlinien der Alliance of Automobile Manufacturers (AAM, 2003) zur Gestaltung von Mensch-Maschine Schnittstellen im Fahrzeug dürfen einzelne Blicke auf das visuelle Display eine Dauer von mehr als 2 s nicht überschreiten. Im dynamischen Fahrzeug darf die Abwendungszeit für eine Nebenaufgabe im Gesamten nicht länger als 20 s andauern. Dabei liegt die durch den Fahrer maximal akzeptierte Blickabwendung von der Fahraufgabe bei etwa 1.5 s. Unabhängig davon, ob die gesuchte Information innerhalb dieser Zeitspanne verarbeitet wurde, erfolgt danach meist eine selbstständige Blickzuwendung zurück zur Fahraufgabe (RAUCH, 2009).

Steigt die Komplexität der Fahraufgabe für den Fahrenden an, so nimmt eher die Häufigkeit einzelner Blicke auf ein Display zu als die Blickdauer. ZWAHLEN et al. (1988) zeigten, dass Aufgaben mit bis zu drei Blicken und einer durchschnittlichen Dauer von bis 1.2 s vertretbar sind. Dementsprechend liegen Aufgaben mit drei bis vier Blicken und einer durchschnittlichen Dauer von 1.2 bis 2 s im Grenzbereich der Akzeptanz. Die Aufgabe wird als sicherheitskritisch angesehen, wenn mehr als vier Blicke mit einer durchschnittlichen Dauer von über 2 s vorliegen. Die mittlere Fixationsdauer und die Häufigkeit der Fixation sind entsprechend gute Kennwerte für die Detektion von kritischen Blickmustern.

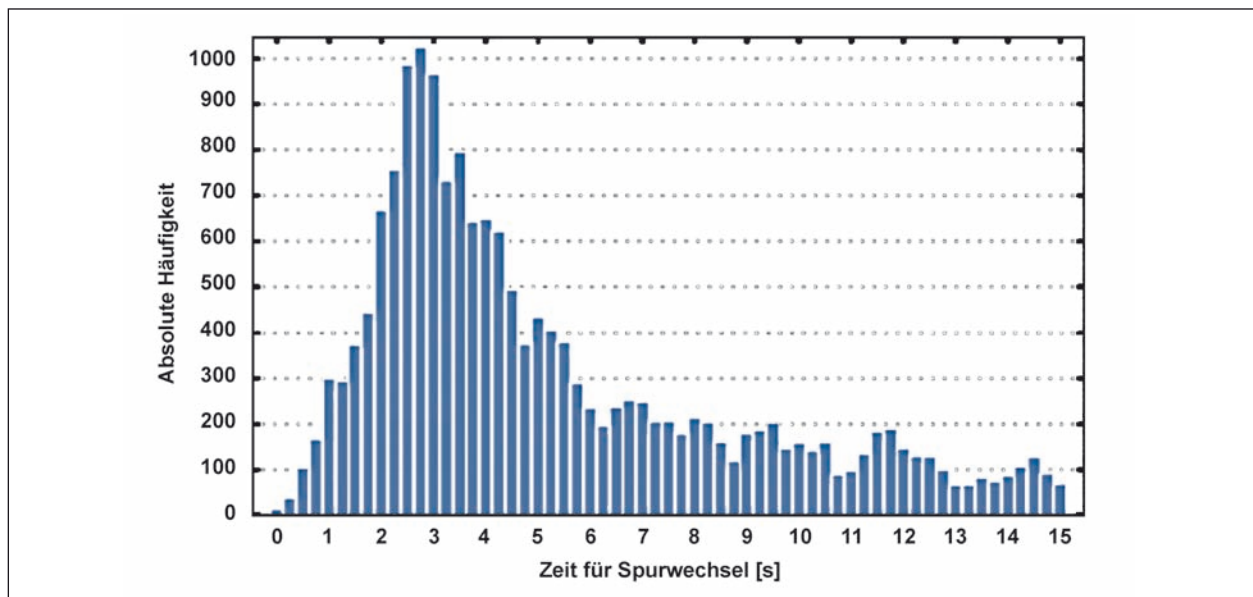
### 2.2.2 Blickverhalten beim Fahrstreifenwechsel

Augen- und Blickbewegungen erfolgen entweder als Anpassung an die Körper- und Kopfbewegungen, um die andauernde Fixation eines Punktes zu gewährleisten oder als Mikrobewegungen der Augen während der Fixation, um die Sensitivität gegenüber einem anhaltenden optischen Stimulus aufrechtzuerhalten. Diese Mikrobewegungen treten während jeder Fixation auf. Augenbewegungen treten insbesondere auch als Reaktion auf die Ausrichtung auf ein Suchobjekt auf. Hierbei ermöglicht die kontinuierliche Augenbewegung das scharfe Sehen, da die foveale Wahrnehmung nur in einer Abweichung von circa  $1^\circ$  bis  $1.5^\circ$  vom zentralen Blickort möglich ist.

Beim Führen eines Kraftfahrzeuges spielt allerdings nicht nur die foveale Wahrnehmung eine Rolle, sondern es werden auch in der Peripherie liegende Objekte durch Bewegungsreize oder Kontrast wahrgenommen und als auffällige Reize klassifiziert (RICKHEIT, HERRMANN & DEUTSCH, 2003). Die in der Peripherie liegenden Objekte werden dabei mit einer verringerten Auflösung und Farbtintensität wahrgenommen.

Blick- und Kopfbewegungen dienen in der Forschung häufig als Indikatoren für einen bevorstehenden Fahrstreifenwechsel. Nach HENNING et al. (2008) erfolgt beim Fahrstreifenwechsel ein schneller Wechsel der Blicke zwischen linkem Außenspiegel und auf die Fahrbahn gerichteter Blicke. Kurz vor Einleitung des Fahrstreifenwechsels erfolgt dann der Schulterblick, der der Lenkbewegung vorausgeht. In einer Studie von BAYERL (2012) vollzogen fünf Probanden 650 Fahrstreifenwechsel nach links. Hierbei konnte gezeigt werden, dass es zu einer Häufung der Blicke in den Spiegel bei circa 1 bis 5 s vor dem tatsächlichen Fahrstreifenwechsel kommt (vgl. Bild 2).

Auch HENNING (2009) untersuchte die frühesten Indikatoren für einen Fahrstreifenwechsel und fanden eine Zunahme von Blicken in den linken Außenspiegel und eine dementsprechende Abnahme von Blicken zu anderen Blickorten. Neben dem Blickverhalten konnte gezeigt werden, dass der Zeitpunkt der Fahrstreifenüberschreitung sowie die allmähliche Veränderung des Lenkwinkels eine hohe Vorhersagekraft haben. Dabei zeigte sich aber auch, dass die Betätigung des Blinkers oder aber der Schulterblick verhältnismäßig schlechte Indikatoren für den Fahrstreifenwechsel sind (HENNING, 2010).



**Bild 2:** Zeitliche Verteilung und absolute Häufigkeiten der Blicke in den linken Außenspiegel innerhalb der letzten 15 s vor dem tatsächlichen Fahrstreifenwechsel. Nach LIEBNER et al. (2010)

### 2.2.3 Distanz- und Geschwindigkeitswahrnehmung im Straßenverkehr

Zur Erfassung der Distanz- und Geschwindigkeitswahrnehmung über die Rückspiegel hat sich in der Forschung die Methode des „last safe gap“ bewährt (vgl. BOWLES, 1969; BURGER et al., 1980; FISHER & GALER, 1984; MORTIMER, 1971; MORTIMER & JORGESON, 1974; WALRAVEN & MICHON, 1969). Dabei wird die subjektiv schwer fassbare Distanz- und Geschwindigkeitswahrnehmung indirekt über die Angabe des letzten sicheren Moments für einen Fahrstreifenwechsel erfasst. Der Proband sitzt dabei im statischen (semidynamisches Design) oder dynamischen (dynamisches Design) Versuchsfahrzeug und gibt über Tastendruck den für ihn letzten möglichen Moment an, noch vor einem sich nähernden Fahrzeug den Fahrstreifenwechsel zu tätigen. Das herannahende Fahrzeug wird dabei nur über den linken Außenspiegel beobachtet. Dabei ist anzumerken, dass in (semi-)dynamischen Versuchen die Distanzwahrnehmung nur schwer von der Geschwindigkeitswahrnehmung abzugrenzen ist. Dies beruht darauf, dass die Wahrnehmung unterschiedlicher Geschwindigkeiten eines herannahenden Fahrzeuges durch eine gleichzeitige Veränderung der Distanz erfolgt. Dieser Annahme wird die ‚last safe gap‘ Methode gerecht (BACH et al., 2006).

Durch die Krümmung der Spiegelfläche werden Objekte verkleinert wahrgenommen, was die Schätzung der Geschwindigkeit herannahender

Fahrzeuge erschwert (MORTIMER, 1971). In den Studien von MORTIMER & Jørgensen (1974) und MORTIMER (1971) durften die Probanden für die Schätzung zusätzlich den Innenspiegel nutzen. Hierbei zeigte das auch unter Verwendung von unterschiedlichen Spiegeltypen (plan; 47 & 29 inch sphärisch) keine Unterschiede in der Beurteilung des letzten sicheren Moments vorlagen. Dementsprechend vertrauen Fahrer eher auf den Innenspiegel bei der Einschätzung von Distanz und Geschwindigkeit anderer Verkehrsteilnehmer. Schätzten die Probanden ohne Zuhilfenahme des Innenspiegels, so wurden die Distanzen anderer Fahrzeuge überschätzt. Die Überschätzung der Distanz war größer bei einem Spiegel mit kleinerem Krümmungsradius. Die Vorerfahrung mit nicht planen Spiegeltypen kann die Überschätzung teilweise reduzieren. De VOS (2000) untersuchte die Kompensationsfähigkeit durch Vorerfahrung für die Distanzschätzungen. Dabei zeigte sich, dass Probanden, die mit dem sphärischen Spiegeltyp vertraut waren, die Verkleinerung der Objektgröße kompensierten, indem sie signifikant größere Lücken für den Fahrstreifenwechsel wählten als Probanden, die einen planen oder teilasphärischen Spiegel an ihrem Fahrzeug besaßen. Auch FLANNAGAN, SIVAK & TRAUBE (1996) zeigten, dass mit zunehmender Erfahrung der Fahrer mit dem Spiegeltyp die Schätzungen akkurater wurden.

FLANNAGAN und MEFFORD (2005) untersuchten unter realen Bedingungen den Einfluss der abgebildeten Objektgröße auf die Distanzwahrnehmung in

kamerabasierten Monitoren. Die Probanden betrachteten ein zum Überholen ansetzendes Fahrzeug über den kamerabasierten Monitor und gaben an wann sie noch vor dem Fahrzeug ausscheren würden. Bei einer Vergrößerung des Bildausschnitts um den Faktor 1,5 kam es zu einer signifikanten Distanzunterschätzung. Lag der letzte mögliche Moment für den Fahrstreifenwechsel bei der 1:1 Bilddarstellung noch bei einer Distanz von 35,4 m zum eigenen Fahrzeug, so lag diese Distanz bei der 1:2 Bilddarstellung nur noch bei 27,5 m.

#### **2.2.4 Distanz- und Geschwindigkeitswahrnehmung im Außenspiegel und im Monitor**

Distanz- und Geschwindigkeitsschätzungen im Straßenverkehr zeigen, dass eine deutliche Diskrepanz zwischen subjektiv empfundenen und objektiv messbaren Werten liegt. Dabei werden Distanzen im Spiegel eher überschätzt (de VOS, 2000; FLANNAGAN, 2000). Bei der Schätzung von Geschwindigkeiten zeigt sich ein Effekt der Schnelligkeit. So werden hohe Geschwindigkeiten verhältnismäßig unterschätzt (SUGUIRA & KIMURA, 1978) und langsamere überschätzt (HENDERSON, SMITH, BURGER & STERN, 1983). Anzunehmende Gründe für eine unterschiedliche Distanz- und Geschwindigkeitswahrnehmung im Außenspiegel bzw. Kamera-Monitor-System ergeben sich aus der begrenzten Verfügbarkeit von Tiefeninformation im KMS. Ein wesentliches Tiefenkriterium ergibt sich aus der Augenbewegung: Sowohl die Konvergenz der Augen als auch die Linsenkrümmung sind für die Wahrnehmung von Distanz- und Geschwindigkeit von Objekten von großer Bedeutung. Da weit entfernte Objekte auf der Netzhaut des Auges kleiner abgebildet werden, nehmen Menschen die Bewegung von weit entfernten Objekten geringer wahr als von nahen Objekten, die auf der Netzhaut größer erscheinen (FLANNAGAN, SIVAK & SIMPSON, 2001). Mit zunehmender Erfahrung lernt das Gehirn, diese Unterschiede zu kompensieren. Bei indirekter Sicht, d. h. durch Blick in einen Rückspiegel während der Fahrt, ist die Fähigkeit zur Tiefenwahrnehmung eingeschränkt. Je stärker die Krümmung im Spiegel, desto höher ist die Kompensationsleistung des Gehirns. Beim Monitor scheinen die Objekte der Verkehrsszene allerdings optisch alle auf derselben Ebene zueinander zu liegen ungeachtet ihrer tatsächlichen Entfernung – das Bild wirkt demzufolge flach und bleibt in Relation zu den Kopf- und Augenbewegungen des Fahrers unverändert.

Es gibt Belege dafür, dass für den Fahrenden Tiefenkriterien wie die Akkommodation eine relativ geringe Rolle spielen im Vergleich zu monokularen Tiefenkriterien (z. B. relative Größe, Licht- und Schattenwirkung des Bildes). Dies ist aufgrund der beschriebenen Entwicklung zu kamerabasierten Monitoren als Alternative zum Außenspiegel interessant, da KMS aufgrund der zweidimensionalen Bild okulomotorische, stereoskopische und bewegungsinduzierte Tiefenkriterien eliminieren oder verfälschen. Allerdings können die Monitore monokulare Tiefenkriterien, wie zum Beispiel die Höhe im Gesichtsfeld, gut wiedergeben (FLANNAGAN & SIVAK, 2006). Schaut der Fahrende auf den Monitor, würden die Informationen aus der Konvergenzstellung der Augen, der Akkommodation, der Bewegungsparallaxe und die Information aus der retinalen Disparität dazu dienen, anzugeben, dass die Objekte der Verkehrsszene sich in einer bestimmten Entfernung vom Fahrenden befinden. Demzufolge wird durch zusätzliche Informationen wie monokularen Tiefenkriterien, Licht und Schattenwirkung und Erfahrung mit Distanzverzerrung ein Tiefeneindruck geschaffen (FLANNAGAN et al., 2001).

## **3 Technische Aspekte**

In dieser Untersuchung wird ein KMS im Hinblick auf die technischen und für einen sicheren Straßenverkehr relevanten Eigenschaften mit dem konventionellen Außenspiegel verglichen. Bei einem KMS werden die Außenspiegel durch jeweils eine kleine Kamera ersetzt. Das von der Kamera aufgezeichnete Bild wird im Innenraum auf jeweils einen Monitor für rechts und links wiedergegeben, um dem Fahrer eine rückwärtige Sicht zu bieten.

In der vorliegenden Studie werden die technischen Eigenschaften und Anforderungen für ein solches KMS untersucht und bewertet. Hierbei soll vor allem der Vergleich zu konventionellen Außenspiegeln im Mittelpunkt stehen. Mögliche problematische Bedingungen beim Einsatz von KMS sollen näher betrachtet werden.

### **3.1 Versuchsfahrzeuge**

#### **3.1.1 Pkw**

Für die Versuche mit Pkw standen zwei Fahrzeuge zur Verfügung: Ein Fahrzeug, das in Kleinserie hergestellt wird und bereits nur mit KMS als Ersatz



für Außenspiegel ausgerüstet ist, sowie ein Fahrzeug der Kompaktklasse, an dem sowohl ein KMS als Nachrüstsatz verbaut war als auch die herkömmlich vorhandenen Außenspiegel (Bild 3). Letztere konnten für Fahrten ausschließlich mit KMS abgedeckt werden. Bei dem Fahrzeug, das für die Untersuchung mit Kameras ausgerüstet wurde, befanden sich die Kameras links und rechts unterhalb der Spiegelgehäuse.

Die zwei Monitore des Versuchsträgers waren variabel anbringbar, indem sie mittels dreier Halte-

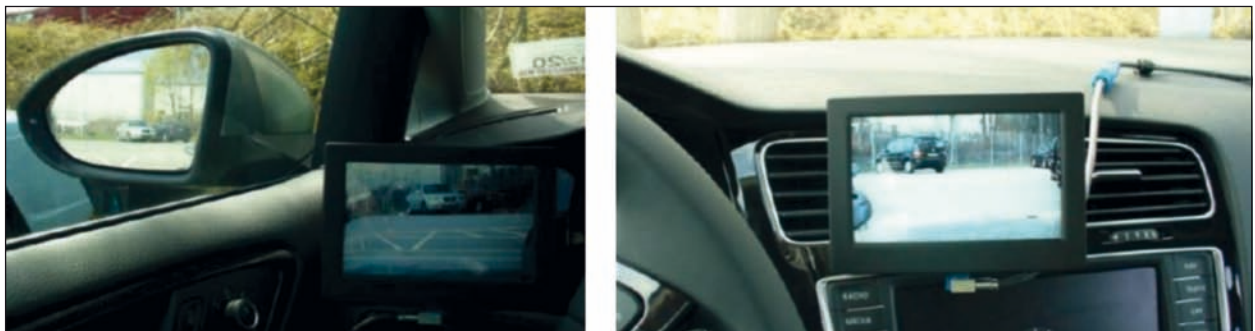
rungen auf jeder Seite in der jeweiligen Position fixiert werden konnten. Dabei wurden die Monitore an der Fahrer- und nahe der Beifahrertür, als Position 1 (KMS 1) definiert (Bild 4). In Lenkradnähe, unmittelbar auf den Gittern der Ausströmer, erfolgte die Integration der Position 2 (KMS 2) (Bild 5). Nahe der A-Säule des Versuchsfahrzeugs wurden Saugfußhalterungen an der Frontscheibe für die Integration der Position 3 (KMS 3) montiert (Bild 6). Bild 7 zeigt schematisch die Anbringungsorte der Monitore in der Übersicht. Gemäß einem linken und rechten Spiegel-Ersatzsystem waren bei der



**Bild 3:** Linker Außenspiegel mit montierter Kamera am Spiegelgehäuse



**Bild 4:** Integration der Monitore in der Fahrer- und Beifahrertür (Position KMS 1)



**Bild 5:** Integration der Monitore auf den Gittern der Ausströmer (Position KMS 2)



**Bild 6:** Integration der Monitore neben der A-Säule (Position KMS 3)



**Bild 7:** Schematische Übersicht der Anbringensorte der Position KMS 1, KMS 2 und KMS 3



**Bild 8:** Rechter Monitor mit asphärischem Teilbereich

Durchführung der Studie immer ein fahrerseitiger und beifahrerseitiger Monitor angebracht.

Auf den hier verwendeten Monitoren werden in Analogie zum Spiegel ein Teilbereich als sphärische Bild und ein Teilbereich als asphärische Bild dargestellt. Dabei umfasste der äußere asphärische Bereich horizontal 200 und vertikal 480 Pixel. Der sphärische Bereich maß dagegen horizontal 600 und vertikal 480 Pixel (KMS Typ DASP zit. n. TÜV-Prüfbericht, 2013). Der Übergang von der Hauptfläche zum asphärischen Bereich wurde

sichtbar gekennzeichnet (Bild 8). Bei dunkler Umgebung wurden 23,5 Bilder, bei heller Umgebung 33,3 Bilder/s von der Kamera aufgenommen. In Relation dazu nimmt das menschliche Gehirn ab einer Bildfrequenz von circa 14 bis 16 Bildern/s aufeinanderfolgende Bilder als bewegte Szene wahr (DUBE, 2011).

Bei den Außenspiegeln handelte es sich um einen fahrerseitigen teilasphärischen Außenspiegel mit einem Krümmungsradius von 1.260 mm (im sphärischen Teil) und einem beifahrerseitigen zylindrisch konvexen Außenspiegel. Ein konventioneller Innen Spiegel war ebenfalls vorhanden.

### 3.1.2 Lkw

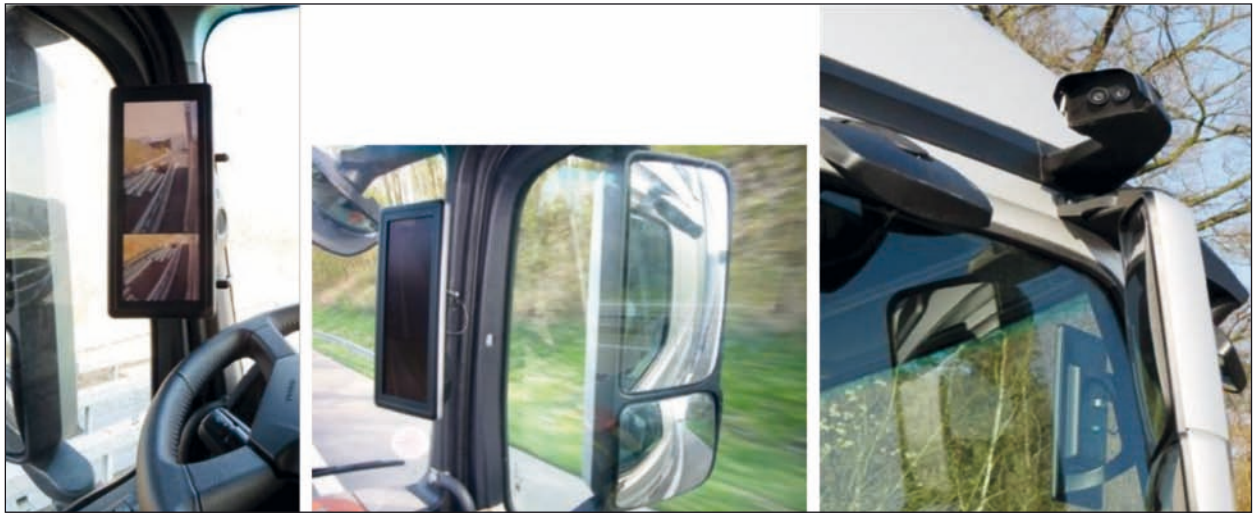
Für die Versuche am Lkw stand eine Sattelzugmaschine mit Auflieger zur Verfügung. Die Fahrerkabine war mit einem nachgerüsteten KMS ausgestattet. Die Kameras waren oberhalb der Hauptaußenspiegel an der Fahrer- und Beifahrerseite angebracht. Zusätzlich befanden sich am Fahrzeug die herkömmlichen Außenspiegel, die man für Fahrten mit KMS jedoch auch so wegklappen konnte, dass eine Nutzung durch den Fahrer nicht mehr möglich war (vgl. Bild 9).

Das System basierte auf einem embedded FPGA (Field Programmable Gate Array) System (Prozessor mit höheren Grafikoperationen) mit angepasster Firmware. Displays und Kameras bestanden aus vom Hersteller eigenentwickelten Komponenten (zwei Kameras mit 1,3 Megapixel Bildauflösung, Hersteller APTINA; zwei Monitore 12,3 Zoll, Auflösung 1.440 x 540 Pixel, sichtbarer Bereich 295 mm x 113 mm).

## 3.2 Versuchskonzept

Wichtig für die Beurteilung des KMS ist der direkte Vergleich mit dem Spiegel. Dazu wurden Fahrver-





**Bild 9:** Außenspiegel mit Kameras sowie die Integration der Monitore neben der A-Säule beim Lkw



**Bild 10:** Kamerahalterung und -bild für die Untersuchung der technischen Aspekte am Pkw

suche unter verschiedensten äußeren Bedingungen sowie statische Versuche durchgeführt (MARANDI, 2013). Diese statischen und dynamischen Versuche wurden für die Auswertung als Video- oder Fotomaterial festgehalten. Um dabei die rückwärtige Sicht des Fahrers so gut wie möglich zu dokumentieren, wurde eine zusätzliche Kamera so montiert und ausgerichtet, dass sowohl der linke Rückspiegel als auch der linke Monitor auf der Aufzeichnung zu sehen waren (s. Bild 10). Die Notwendigkeit der Dokumentation erforderte es, Spiegelbild oder Monitorbild, die eigentlich im Auge des Fahrers entstehen, als „Bild eines Bildes“ im Bericht wiederzugeben. Bei der Bewertung von KMS und Spiegel ist deshalb der Eindruck im Auge des Testfahrers maßgebend. Dementsprechend zeigen die Bilder von Spiegelbild und Monitorbild im vorliegenden Bericht die beschriebenen Effekte zum Teil ebenso deutlich, zum Teil aber auch eingeschränkt.

Bei den statischen Versuchen wurde als Hintergrund in der Regel ein Farb- und ein Graustufen-

schema verwendet, was eine gute Bewertbarkeit des KMS- sowie Spiegelbildes ermöglichen sollte. Des Weiteren wurden statische Versuche zur Störfestigkeit (z. B. hinsichtlich elektromagnetischer Verträglichkeit (EMV) oder Blendung) durchgeführt.

Das KMS wurde im Wesentlichen auf folgende technischen Aspekte und Situationen – immer im Hinblick auf Unterschiede zum Spiegel – hin betrachtet:

- Sichtfeld nach hinten und ggf. Einschränkung der direkten Sicht nach vorne,
- allgemeine Tag- und Nachteigenschaften,
- Bildwiedergabe,
- Blendung durch andere Scheinwerfer bei Nacht,
- Reflexionen und Blendung (Display),
- Verstellbarkeit von Kamera und Display,

- Ausfallsicherheit,
- Verhalten bei verschiedenen Witterungsbedingungen,
- Auswirkung von Verschmutzungen.

Die technischen Aspekte wurden ausschließlich am Pkw untersucht, die Ergebnisse gelten aber gleichermaßen für das KMS am Lkw.

### 3.3 Eigenschaften von Spiegeln und KMS

Prinzipbedingt weisen Spiegel und KMS jeweils spezifische Vor- und Nachteile auf, die bereits einen Vergleich allein auf Basis technisch-physikalischer Aspekte zulassen. In Tabelle 1 werden diese grundlegenden Eigenschaften von Spiegeln und Kamera-Monitor-Systemen gegenüber gestellt in Anlehnung an (TÜV Prüfbericht, 2013). In Tabelle 1 werden Artefakte aufgeführt. Als Artefakte bezeichnet man Bildfehler (in Teilbereichen gibt das Bild dann die Realität nicht korrekt wieder).

Spiegel	Kamera-Monitor-System
Bei einem Spiegel gilt das Reflexionsgesetz. Der Betrachter sieht beim konvex gekrümmten Spiegel ein verkleinertes virtuelles Bild des Objektes. Der Spiegel ist einstellbar, damit er an den Benutzer angepasst werden kann. Durch das Bewegen des Kopfes kann das Sichtfeld verändert werden.	Eine Kamera zeichnet ein konstruktiv vorgegebenes Sichtfeld auf, welches von dem Monitor wiedergegeben wird. Eine Kopfbewegung verändert das dargestellte Sichtfeld nicht. Einstellmöglichkeiten für die Kamera sind jedoch denkbar. Ebenso kann der Monitor einstellbar gestaltet werden, um z. B. eine senkrechte Blickrichtung sicherzustellen. Ein Abweichen vom senkrechten Blickwinkel auf den Monitor kann zu einer veränderten Wahrnehmung der dargestellten Objekte sowie von Kontrast, Leuchtdichte und Farben führen.
Die Objektleuchtdichte stellt ein Spiegel entsprechend seinem Reflexionsgrad dar. Die vom Reflexionsgrad abhängige Objektleuchtdichte nimmt das Auge, vermindert durch den Transmissionsgrad der Seitenscheibe, wahr.	Die maximale Leuchtdichte bei Monitoren ist begrenzt. Umgebungsbeleuchtung kann den Leuchtdichtekontrast und die Farbsättigung auf dem Monitor reduzieren. Auch bei Nacht hat der Monitor eine Grundleuchtdichte, welche größer als 0 cd/m <sup>2</sup> ist.
Lichteinstrahlung auf den Spiegel, z. B. durch die Sonne oder andere Fahrzeuge, können zur physiologischen Blendung des Fahrers führen. Punktlichtquellen, z. B. Abblendscheinwerfer, werden im intakten Spiegel als Punktlichtquellen dargestellt. Artefakte liegen bei Spiegeln mit einer entsprechenden Qualität, wie sie im Automobilbereich üblich ist, nicht vor.	Direkte Lichteinstrahlung in die Kamera kann zu Artefakten führen. Diese Artefakte hängen sehr stark von der Qualität der Kamera, insbesondere von dem Objektiv, ab. Direkte Lichteinstrahlung auf den Monitor kann zu einer Minderung des Leuchtdichtekontrastes und der Farbsättigung der Darstellung führen. Desweiteren kann direkte Lichteinwirkung auf den Monitor durch Reflexion (einfache Spiegelung am Deckglas des Monitors) eine physiologische Blendung des Fahrers hervorrufen. Außerdem kann sich besonders bei Dunkelheit das Monitorbild in den Scheiben spiegeln und somit die direkte Sicht nach außen beeinträchtigen.
Spiegel können Farben sehr gut wiedergeben.	Die Wiedergabetreue wird beim KMS durch die optisch-elektrisch-optische Übertragungsfunktion bestimmt. Die Farbvielfalt eines KMS ist begrenzt. Farben können durch Änderung des Blickwinkels auf den Monitor unterschiedlich wahrgenommen werden. Die Darstellung und Wahrnehmung von Farben kann durch Artefakte beeinträchtigt werden.
Die Auflösung eines Spiegels ist höher als die mögliche Auflösung des menschlichen Auges.	Die Auflösung des KMS ist begrenzt und hängt von der Qualität der verwendeten Komponenten ab.
Veränderungen im Spiegelbild werden zeitgleich dargestellt.	Veränderungen im Kamerabild werden im Monitor minimal zeitversetzt dargestellt.
Der Reflexionsgrad eines Spiegels kann durch Schmutz, Beschlagen, Kratzer, Risse oder Regentropfen beeinträchtigt werden. Außerdem kann die Sicht auf den außen angebrachten Spiegel durch Schmutz, Beschlagen, Kratzer oder Regentropfen auf der Seitenscheibe beeinträchtigt werden.	Das Kamerabild kann durch Schmutz, Beschlagen, Kratzer oder Regentropfen auf dem KMS stark beeinträchtigt werden. Die Sicht auf den innen angebrachten Monitor hingegen wird nicht durch die Seitenscheibe beeinträchtigt.
Ein Spiegel ist immer betriebsbereit.	Ein KMS benötigt Zeit zum Hochfahren.
Bei Spiegeln können Ausfälle in Form von Kratzern, Rissen, Glasbruch oder Verschmutzung auftreten.	Bei KMS können Ausfälle in Form von fehlendem Bild (z. B. aufgrund fehlender Stromversorgung oder elektromagnetischer Störungen) oder einem Bild mit Artefakten auftreten.

Tab. 1: Gegenüberstellung der Eigenschaften von Spiegel und KMS

### 3.4 Grundlagen optischer Bildeffekte

An der Kamera des KMS treten je nach Qualität mehr oder weniger ausgeprägt optische Effekte, wie bei anderen CCD-Kameras auch, auf, die die Darstellung des erfassten Sichtbereichs beeinflussen. Im Folgenden werden einige wichtige Effekte genannt.

#### Blooming

Fotografiert man extrem helle bzw. reflektierende Motive mit einer Digitalkamera, so kann es zu Blooming-Effekten kommen, die sich dadurch auszeichnen, dass ganze Flächenbereiche (die größer sind als das helle Motiv) im hellsten Weiß erscheinen, sodass keine Konturen mehr zu sehen sind. Solche Effekte treten zum Beispiel bei sehr hellen Wolkenformationen, bei reflektierenden Glasflächen oder verspiegelten Gegenständen auf.

Der Grund für den Blooming-Effekt liegt in der Überladung einzelner Photozellen in einem CCD-Sensor. Fällt auf eine Photodiode kein Licht, so fließt praktisch kein Strom und der fehlende Strom wird als schwarz interpretiert. Fällt dagegen mehr Licht auf den Sensor, so fließt mehr Strom bis zu einem Maximalwert (weiß). Bei einer Überdosis an Licht überlädt sich eine einzelne Photodiode und gibt überschüssige Elektronen an das Nachbarlement ab. Somit produziert auch dieses die Maximalspannung (für hellstes weiß), obwohl auf dieses vielleicht viel weniger Licht einfällt. Es kommt zu einem Bereich, in dem sämtliche CCD-Pixel maximalen Stromfluss und damit maximale Helligkeit produzieren (WAGNER, 2014).

#### Smear-Effekt

Als Smear oder auch Smear-Effekt bezeichnet man bei digitalen Kameras weiße Streifen im Bild, die von besonders hellen Lichtquellen im Bildbereich ausgehen. Ursache ist eine ungewollte Beeinflussung von Pixeln, die eigentlich im Dunkeln liegen, hervorgerufen durch den zeilenartigen Ausleseprozess von CCD-Kamerachips. Zum einen gibt es die Ursache, dass benachbarte Auslesezeilen Streulicht ausgesetzt werden, zum anderen können beim Weitertransport der elektrischen Ladungen, die die Helligkeit kodieren, angrenzende Pixel ebenfalls geladen werden (WIKI, 2014a).

#### Lens Flare

Der Lens-Flare-Effekt (engl.: lens flare = Linsenlichtreflexion) ist die Bezeichnung für sichtbare Reflexionen und Streuungen von Gegenlicht in einem Linsensystem. Die deutsche Bezeichnung ist Blendenfleck oder Linsenreflexio. In Fotografien stellen sich Blendenfleck häufig durch Stern-, ring- oder kreisförmige Muster dar, die den Farbkontrast an den betroffenen Stellen verringern. Die Form der abgebildeten Reflexionen wird auch von den verwendeten Blendenlamellen beeinflusst, sodass sich beispielsweise bei einer Blende, die aus sechs Elementen besteht, hexagonale Muster ausbilden (WIKI, 2014b).

#### Sterneffekt durch Blende

Je kleiner eine Blende gewählt wird (große Blendenzahl), umso auffälliger ist der durch die Irisblende verursachte Strahlenkranz (Bild 11 links). Bei



**Bild 11:** Sterneffekt (links: kleine Blende, rechts: große Blende)



einer großen Blende (kleine Blendenzahl) oder einer kreisförmigen Lochblende entsteht dieser Effekt nicht (Bild 11 rechts).

### 3.5 Versuche und Ergebnisse

#### 3.5.1 Sichtfeld nach hinten und direkte Sicht nach vorne

Zur Bewertung des vom KMS dargestellten Sichtfeldes wurde dieses durch aufgestellte Verkehrsleitkegel visualisiert und vermessen. Die Öffnungswinkel des Sichtfeldes sowohl für den sphärischen und asphärischen Teil wurde jeweils abgesteckt. Die darstellbaren Bereiche in einer Entfernung von 20,85 m hinter der Kamera ( $\triangleq$  20 m hinter dem Augenpunkt des Fahrers) wurden mit der Breite auf dem Bildschirm in Relation gebracht, um die Verkleinerung des asphärischen Teils zu ermittelt. Es zeigt sich, dass das vorgeschriebene Sichtfeld, vgl. Bild 1 aus der Einleitung, voll erfasst wird und damit die Anforderung an die indirekte Sicht erfüllt wird. Aus den in Bild 12 und Bild 13 dargestellten Längenverhältnissen resultiert für den asphärischen Teil des Monitors eine horizontale Verkleinerung um den Faktor 5,3 gegenüber dem sphärischen Teil. Somit kann, wie mit dem asphärischen Teil des Spiegels, der sogenannte tote Winkel verringert werden. Allerdings wird die Abschätzung in Bezug auf Entfernung und Geschwindigkeit von Objekten in diesem asphärischen Teil des Monitors schwieriger.

Eine Beeinflussung der Sicht nach vorne hat sich in der Untersuchung nicht ergeben. Die Monitore waren im Innenraum so verbaut, dass es zu keiner Beeinträchtigung des Sichtfeldes nach vorne kam.

#### 3.5.2 Allgemeine Tag- und Nachteigenschaften

Es wurden Fahrten bei verschiedenen Bedingungen durchgeführt. Dabei wurden folgende Streckenabschnitte und Situationen durchfahren:

- Tunnel (hell-dunkel-Sprung),
- Landstraße (schneller, periodischer hell-dunkel-Wechsel),
- Autobahn,
- Sonnentiefstand,
- unebene Fahrbahnbeläge,
- Regen,

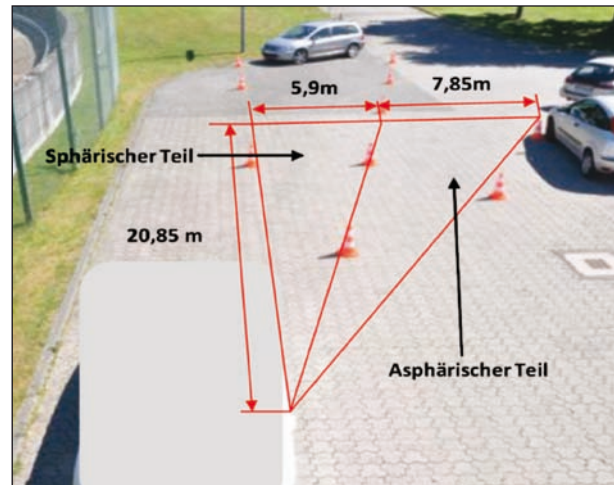


Bild 12: Sichtfeld des KMS



Bild 13: Sicht im Monitor mit lateralen Abmaßen des Monitors

- Nachtfahrt,
- Schnee.

#### Tunnel (hell-dunkel-Sprung)

Wie das KMS auf dynamische Wechsel der Umgebungsbeleuchtung reagiert, wie sie z. B. bei Tunneldurchfahrten vorkommen, ist Gegenstand der Untersuchung.

An einem hellen sonnigen Tag ist die Blende der Kamera vor der Tunneleinfahrt nur minimal geöffnet. Mit der Einfahrt in den Tunnel ändert sich die Beleuchtungssituation abrupt, (da die (direkte) Sonneneinstrahlung fehlt), sodass sich die Blende ändern muss. Auf dem KMS wird das Bild auf dem Monitor zunächst dunkel dargestellt, da der Kamerasensor für einen Moment unterbelichtet ist. Damit sinkt die Bildqualität in Bezug auf Kontrast und Farbwiedergabe. Die Kamera stellt schnell ( $t < 1$  s) auf diese nun dunklere Umgebungsbeleuchtung um, indem die Blende geöffnet wird. In umgekehrter Weise kommt es beim Herausfahren aus einem



Bild 14: Tunnelausfahrt am Tag

dunklen Tunnel in direktes Sonnenlicht zu einer Blendung des Kamerachips, da die Blende erst noch zu weit offen ist und erst geregelt verkleinert werden muss. Durch die zunächst auftretende Überbelichtung kommt es zum Blooming-Effekt, wie in Bild 14 zu sehen ist: Während im Außenspiegel das Fahrzeug, welches sich links hinter dem Testträger befindet, zu erkennen ist, verschwindet dieses für einen kurzen Moment in dem weißen Feld im Monitor. Auch der weiße Kleintransporter sowie die Fahrbahnmarkierungen sind auf dem Monitorbild schlechter wahrzunehmen als im direkten Vergleich zum Spiegel, der einen höheren Kontrast und eine bessere Farbwiedergabe liefert.

Bei Nacht betrachtet kehrt sich das Verhalten um, da mit der Einfahrt in den (hellen) Tunnel der Blooming-Effekt entsteht und bei der Ausfahrt eine noch nicht weit genug geöffnete Blende zu Unterbelichtung führt. Allerdings sind diese Artefakte bei Nacht nicht so stark ausgeprägt, da der Beleuchtungsunterschied nicht so groß ist.

### Landstraße (schneller, periodischer hell-dunkel-Wechsel)

Eine Herausforderung stellt eine Landstraßenfahrt durch einen Wald an einem sonnigen Tag dar. Ähnlich wie bei der Tunnelsituation kommt es hier zu schnellen wechselnden Lichtverhältnissen zwischen den Schatten der Bäume und den sonnigen Flächen. Daher muss die Blende ständig regeln. Bis zum Erreichen der optimalen Blendeinstellung kann es zu Über- oder Unterbelichtung und den damit verbundenen Beeinträchtigungen in der Darstellung des Sichtfeldes kommen. Beispielsweise ist in Bild 15 zu erkennen, dass im Monitor aufgrund der Überbelichtung in kurzen hellen Fahrabschnitten die Farbwiedergabe und Graustufung in ihrer Qualität deutlich gemindert sind.



Bild 15: Fahrt auf einer von Wald umgebenen Landstraße



Bild 16: Waldeinfahrt: Nachfolgendes Fahrzeug noch im waldfreien Bereich



Bild 17: Waldeinfahrt: Nachfolgendes Fahrzeug im Waldbereich

Nach Einfahrt in ein Waldstück kann es durch die generell dunklere Umgebung und den deutlich helleren Sektor im Hintergrund (waldfreier Bereich) zu Blooming und den damit verbundenen Erkennungsschwierigkeiten kommen. Bild 16 und Bild 17 zeigen, dass ein nachfolgendes Fahrzeug aufgrund der Überbelichtung erst zu sehen ist, nachdem es in den Wald hineingefahren ist. Im Spiegel konnte das Fahrzeug bereits vor dem Einfahren in den dunklen Bereich wahrgenommen werden.



## Autobahn

Bei Autobahnfahrten ist es wichtig, den rückwärtigen Verkehr wegen z. T. hoher Differenzgeschwindigkeiten bereits in einer großen Distanz zu erkennen, um vorrausschauend Fahrmanöver, wie z. B. Überholen, sicher durchführen zu können.

Eine frühe Erkennung setzt eine gute Darstellung des Verkehrs voraus. Wie in Bild 18 zu erkennen ist, wird das weiße Fahrzeug und die Fahrbahnmarkierung im Monitor schlechter als im Spiegel wahrgenommen. Dies ist auf eine zu geringe Graustufenabstufung des KMS zurückzuführen, da Markierung und Fahrzeug schlecht von dem hellen Asphalt zu unterscheiden sind. Ebenso ist zu erkennen, dass die Farbwiedergabe im KMS deutlich schlechter als im Spiegel ist.

## Sonnentiefstand

Als eine extreme Beleuchtungssituation ist eine Fahrt bei Sonnentiefstand zu nennen. Fallen Sonnenstrahlen direkt auf die den Kamerasensor, kommt es zu einer starken Blendung des Systems, die zunächst im Monitor zu einem komplett weißen Bild führt (s. Bild 19), hervorgerufen durch den Blooming-Effekt. Im Versuch war für eine Zeit von ca. zwei Sekunden kein Bildinhalt zu erkennen. Erst nach dieser Dauer hatte die Blende sich auf die Sonneneinstrahlung adaptiert, sodass auf dem Monitor wieder Inhalte des Sichtfeldes nach hinten zu sehen waren, allerdings mit starken Artefakten resultierend aus dem Rest-Blooming und Smear-Effekt (s. Bild 20).

Bei dieser Beleuchtungssituation kommt es wegen der begrenzten Leuchtdichte des Monitors zu keinem Zeitpunkt zur physiologischen Blendung des Fahrers durch das KMS. Allerdings ist genau dieses für den Außenspiegel zu bemerken, da die Sonnenstrahlen durch das Reflexionsgesetz in das Gesichtsfeld des Fahrenden gelenkt werden und damit zu einer Blendung führen, auch wenn die Sonnenstrahlen nicht direkt in das Auge fallen. Obwohl dies eine starke Einschränkung der Erkennbarkeit bewirkt, ist dennoch zu fast jeder Zeit ein Informationsgewinn über den rückwärtigen Bereich möglich, da sich das Auge auf diese physiologische Blendung einstellen kann.

Es zeigt sich, dass sowohl Spiegel als auch KMS bei Sonnentiefstand Vor- und Nachteile haben.



**Bild 18:** Schlecht wahrnehmbares Fahrzeug im Hintergrund (weißes Fahrzeug auf beigefarbener Betonfahrbahn)



**Bild 19:** Sonnentiefstand



**Bild 20:** Sonnentiefstand nach kurzer Regelung der Kamera

## Unebene Fahrbahnbeläge

Vibrationen, wie sie z. B. beim Befahren von Kopfsteinpflaster auftreten, könnten beim KMS zu einer Störung in der Bildwiedergabe führen. Bei Versuchsfahrten über unebene Fahrbahnbeläge (siehe Kopfsteinpflaster in Bild 21) zeigte sich allerdings keine Beeinträchtigung hinsichtlich der Bildschärfe oder eines verwackelten Bildes. Das Kamerabild war stets scharf auf dem Monitor zu erkennen. Nur die Relativbewegung zwischen Fahrer und Monitor bzw. zwischen Fahrer und Spiegel, die bei unebenen Fahrbahnbelägen entstehen, führte zu einer verschwommenen Wahrnehmung des rückwärtigen



**Bild 21:** Fahrt über Kopfsteinpflaster

Sichtfeldes. Allerdings ist diese Unschärfe bei Spiegel und Monitor gleich und lässt sich auf unebenen Straßen nie ganz vermeiden.

### Regen

Zu den Wetterbedingungen, in denen das KMS einwandfrei funktionieren muss, gehört auch Regen. Zum einen ist damit das Kriterium „wasserdicht“ gemeint, also der Schutz vor eindringendem Wasser, zum anderen ist die Unempfindlichkeit gegen Tropfen bzw. Wasserschlieren-Bildung gemeint. Während der entsprechenden Testfahrten zeigte sich jedoch die Notwendigkeit, für die Beurteilung zwischen Starkregen und normalem Regen unterscheiden zu müssen.

- Normaler Regen

Betrachtet man das KMS bei normalem Regen, so finden sich selten Tropfen auf der Kamera, die das Bild in der Regel auch nur leicht beeinflussen. Dies ist Resultat des geschützten Verbaus der Kamera am Fahrzeug.

Bei gleicher Wettersituation wird die Sicht im Spiegel durch Tropfen auf diesem und durch Wasserschlieren auf der Seitenscheibe des Fahrers beeinflusst. Mit dem zusätzlichen Wasserfilm auf der jeweiligen Oberfläche kommt es zum Verschwimmen des Bildes und damit zu einer schlechteren Situation bei der Beurteilung des nachfolgenden Verkehrs, wie in Bild 22 zu sehen ist. Die Sicht im Monitor ist eindeutig klarer (ungestörter) als im Spiegel.

- Starkregen

Im Vergleich zum normalen Regen kommt es beim Starkregen zu einer starken Gischtbildung, was beim KMS zu einer erschwerten Erkennbarkeit von Punktlichtquellen führt. Dies basiert auf der geringen Helligkeit des Hintergrunds (Blende weit offen)



**Bild 22:** Rückwärtige Sicht bei Regen



**Bild 23:** Rückwärtige Sicht bei Starkregen

und dem hohen Leuchtdichteunterschied der hellen Scheinwerfer des folgenden Verkehrs. Punktlichtquellen werden nicht mehr als solche dargestellt, wie in Bild 23 ersichtlich, sodass die überbelichteten Scheinwerfer der Fahrzeuge im Hintergrund auf dem Monitor zu einem großen Lichtkegel verschmelzen. Die Gesamtdarstellung der Szenerie war im KMS trotz starken Regens allerdings gut.

Wie beim KMS ist auch beim Spiegel die Sicht nach hinten durch die Gischt und zusätzlich durch die Tropfen stark beeinträchtigt, allerdings ist die Farbwiedergabe bedingt durch das bessere Kontrastverhältnis realistischer. Daher sind einzelne Fahrzeuge noch zu unterscheiden (s. Bild 23).

Insgesamt ermöglichen sowohl Spiegel als auch KMS keine gute rückwärtige Sicht.

### Nachtfahrt

Wie bei Tag muss auch in der Nacht das rückwärtige Sichtfeld detailgetreu im KMS wiedergegeben werden. Wichtig ist dabei, einzelne Verkehrsteilnehmer (Fahrzeuge) als solche zu erkennen. Dies bedeutet, dass Punktlichtquellen des Abblend- bzw.



**Bild 24:** Fahrt bei Nacht

Fernlichtes als solche gut einzuschätzen sind (z. B. für die Unterscheidung zwischen Ein- und Zweispurfahrzeug).

Während einer entsprechenden Versuchsfahrt (s. Bild 24) sind die einzelnen Scheinwerfer der anderen Fahrzeuge im Spiegel und auch im KMS zu erkennen. Es kommt beim KMS lediglich jeweils zu einem hellen Kranz um die Scheinwerfer die es dem Fahrer dennoch ermöglichen, die einzelnen Fahrzeuge zu erkennen und voneinander zu unterscheiden.

Zusätzlicher Regen in der Nacht bewirkt ein verschmelzen der Punktlichtquellen, so wie es auch bei Starkregen zu sehen ist. Damit wird es sehr stark erschwert, Scheinwerfer einzelner Fahrzeuge getrennt voneinander zu identifizieren, was wiederum Auswirkungen auf die Geschwindigkeitseinschätzung der nachfolgenden Fahrzeuge haben kann. Weitere statische Versuche zum Thema Blendung und Punktlichtquellen in der Nacht sind in Kapitel 3.5.4 beschrieben.

### Verhalten bei Schnee und Nebel

Auch bei Schnee und Nebel sollen KMS und Spiegel dem Fahrer zur Verfügung stehen. Daher fanden auch Fahrversuche bei Schnee und Nebel statt.

Bei niedriger Umgebungsleuchtdichte hat das KMS bei beschlagener Seitenscheibe und/oder Tröpfchenbildung auf dem Seitenspiegel im Vergleich zum konventionellen Spiegel ein von Witterungseinflüssen nahezu unbeeinflusstes Bild gezeigt (Bild 25). Die Reflektion, die man im Monitor sieht, kommt durch den Kamerablitz zustande. Das vorbeifahrende Fahrzeug bleibt in dieser Situation besser erkennbar als im Spiegel.



**Bild 25:** Vergleich bei Schneefall und niedriger Umgebungsleuchtdichte



**Bild 26:** Vergleich bei Schneefall und höherer Umgebungsleuchtdichte (Fzg. nah)



**Bild 27:** Vergleich bei Schneefall und höherer Umgebungsleuchtdichte (Fzg. fern)

Bei zunehmendem Schneefall und höherer Umgebungsleuchtdichte verschmilzt ein Fahrzeug mit eingeschaltetem Abblendlicht, das sich bereits nahe an der Kamera befindet, im KMS mit dem hellen Hintergrund. Die Erkennbarkeit im Vergleich zum konventionellen Spiegel ist in diesem Fall schlechter (siehe Bild 26).

Ein Vergleichsbild bei nahezu gleicher Umgebungsleuchtdichte zeigt allerdings bei weiter entferntem Fahrzeug einen geringeren Unterschied zwischen Spiegelbild und KMS (Bild 27).

Der direkte Vergleich zwischen Bild 26 und Bild 27 zeigt den Einfluss einer möglicherweise überlichte-



ten Kamera durch schlecht eingestellte Scheinwerfer des vorbeifahrenden Fahrzeuges auf die Wiedergabe der Szenerie im KMS. Somit ist hier der Einfluss von blendenden Scheinwerfern auf die Bildwiedergabe des KMS ggf. höher als beim vergleichsweise betrachteten konventionellen Spiegel.

### 3.5.3 Bildwiedergabe

Zur Bewertung der Bildwiedergabe werden folgende technische Eigenschaften untersucht:

- Kontrast und Helligkeit,
- Farbwiedergabe.

#### Kontrastmessung

Unter Kontrast versteht man den Leuchtdichteunterschied zwischen hellen und dunklen Bereichen eines Bildes bzw. zwischen zwei Bildpunkten. Der Kontrast wird über das Verhältnis der maximalen und minimalen Leuchtdichte definiert. Für Aussagen zur Kontrastdarstellung des KMS im Vergleich zum Spiegel wurden Bewertungen bei verschiedenen Umgebungsbedingungen durchgeführt.

Die Versuche zur Kontrastmessung wurden zum einen in der Lichthalle der BAST und zum anderen unter klarem Himmel bei Tageslicht (hier für eine maximale Beleuchtung) durchgeführt.

Um die Umgebungshelligkeit auf ein Minimum zu reduzieren, wie es bei nächtlichen Straßenverhältnissen vorkommen kann, ist die Lichthalle komplett abgedunkelt. Für den Versuch wurde eine DIN A0 große Testtafel, bestehend aus abwechselnd weißen und schwarzen Quadraten (siehe Bild 28), 1,40 m hinter dem Fahrzeugheck aufgestellt, um eine Messung der Leuchtdichte (in Candela pro Quadratmeter [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]) auf den einzelnen schwarzen bzw. weißen Feldern im Monitor und Spiegel durchführen zu können.

In drei verschiedenen Szenarien wurde eine Leuchtdichtemessung vorgenommen:

Szenario 1: Bei ausgeschalteter Fahrzeugbeleuchtung in dunkler Umgebungsbedingung. Dieses Szenario spiegelt das Aussteigen aus einem unbeleuchteten Fahrzeug in der Nacht wieder.

Szenario 2: Bei eingeschalteter Fahrzeugbeleuchtung in dunkler Umgebung – repräsentiert eine normale Fahrt in der Nacht.

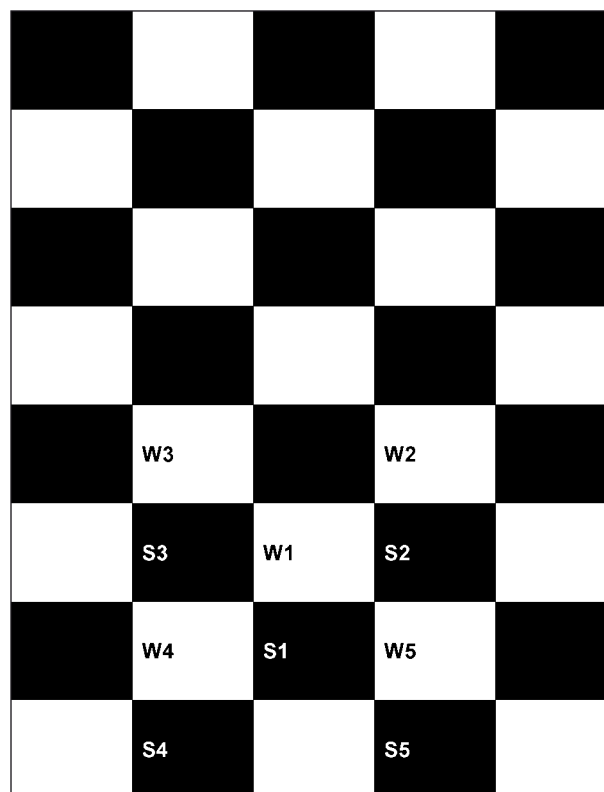


Bild 28: Testtafel

Szenario 3: An einem klaren wolkenlosen Tag mit hellem Sonnenschein. Dieses Szenario stellt eine mögliche Fahrt am hellen Tag dar.

Für jedes der zuvor genannten 3 Szenarien wurde die Leuchtdichte auf der Testtafel an fünf weißen (W1 bis W5) und fünf schwarzen Feldern (S1 bis S5), so wie sie in Bild 28 markiert sind, gemessen und zwar einmal direkt auf der Tafel als Referenz, einmal im Spiegel und einmal auf dem Monitor, auf letzterem einmal mit maximal und einmal mit minimal einstellbarer Helligkeit. Für die Untersuchung wurde ein Leuchtdichtemesser LMT L1009 (Kalibriert im Dezember 2012) verwendet.

In Szenario 1 wurde an der Testtafel, am KMS und am Spiegel jeweils ein Kontrast von 1,0 bestimmt, d. h. alle Felder waren mit dem gleichen Leuchtdichtewert schwarz. Anhand der Messergebnisse (s. Tabelle 2) aus Szenario 1 lässt sich die Hintergrundbeleuchtung des Monitors bestimmen. Diese beträgt mindestens  $0,2 \text{ cd}/\text{m}^2$  und liegt damit deutlich unter der von der ISO 16505 geforderten Obergrenze von maximal  $2 \text{ cd}/\text{m}^2$ . Durch die geringe Hintergrundbeleuchtung werden Reflektionen in den Scheiben und eine physiologische Blendung des Fahrers durch die Beleuchtung des Monitors bei Nachtfahrten quasi vermieden.

Szenario 1: Dunkelheit ohne Fzg.-Beleuchtung				
	Ist-Wert auf Testtafel [cd/m <sup>2</sup> ]	Spiegel [cd/m <sup>2</sup> ]	Monitor mit max. Helligkeit [cd/m <sup>2</sup> ]	Monitor mit min. Helligkeit [cd/m <sup>2</sup> ]
S1	0,1	0,1	0,5	0,2
S2	0,1	0,1	0,5	0,2
S3	0,1	0,1	0,5	0,2
S4	0,1	0,1	0,5	0,2
S5	0,1	0,1	0,5	0,2
Mittelwert der schwarzen Messpunkte	0,1	0,1	0,5	0,2
W1	0,1	0,1	0,5	0,2
W2	0,1	0,1	0,5	0,2
W3	0,1	0,1	0,5	0,2
W4	0,1	0,1	0,5	0,2
W5	0,1	0,1	0,5	0,2
Mittelwert der weißen Messpunkte	0,1	0,1	0,5	0,2
Kontrast	1,00	1,00	1,00	1,00

Tab. 2: Szenario 1

Szenario 2 beschreibt eine Fahrt in der Nacht mit einer geringen Umgebungshelligkeit (durch die Scheinwerfer hervorgerufen). Die Messwerte (s. Tabelle 3) zeigen deutlich den hohen Kontrast im Monitor (14 bzw. 6) im Vergleich zum Kontrast im Spiegel (1,6). Eine interne Verstärkung im KMS ermöglicht diesen hohen Kontrastwert, der einen doppelt so hohen Kontrast im Vergleich zur Wirklichkeit (6,4) darstellt. Selbst bei maximaler Dimmung gibt der Monitor noch annähernd den tatsächlichen Kontrast wieder. Bei den Lichtverhältnissen dieses Szenarios weist der Spiegel dagegen nur ein Viertel des realen gemessenen Kontrasts auf. Er dämpft also den Kontrast.

Bei Szenario 3 stößt der Monitor mit seiner Beleuchtungsstärke an seine Grenzen. Die gemessenen Leuchtdichten am Monitor betragen nur ein Bruchteil derjenigen an der Testtafel. Der Spiegel hatte eine im Verhältnis zum KMS zehnfache Leuchtdichte (s. Tabelle 4). Das Auge des Fahrers muss bei der gegebenen starken Umgebungsbeleuchtung und bei der geringen Leuchtdichte am Monitor mehr adaptieren als beim Blick in den Spiegel.

Szenario 2: Dunkelheit mit Fzg.-Beleuchtung				
	Ist-Wert auf Testtafel [cd/m <sup>2</sup> ]	Spiegel [cd/m <sup>2</sup> ]	Monitor mit max. Helligkeit [cd/m <sup>2</sup> ]	Monitor mit min. Helligkeit [cd/m <sup>2</sup> ]
S1	0,1	0,2	0,9	0,3
S2	0,1	0,5	0,8	0,3
S3	0,1	0,2	0,7	0,3
S4	0,1	0,2	1	0,4
S5	0,1	0,2	0,7	0,2
Mittelwert der schwarzen Messpunkte	0,1	0,26	0,82	0,3
W1	0,6	0,4	12	1,9
W2	0,8	0,4	6,2	1,1
W3	0,4	0,4	10,6	1,6
W4	0,5	0,5	19,6	3,2
W5	0,9	0,4	9	1,5
Mittelwert der weißen Messpunkte	0,64	0,42	11,48	1,86
Kontrast	6,40	1,62	14,00	6,20

Tab. 3: Szenario 2

Bei diesem Szenario mit maximaler Umgebungsbeleuchtung beträgt das Kontrastverhältnis des Monitors maximal 50 %, während das Kontrastverhältnis des Spiels noch bei 80 % liegt. Warum das Kontrastverhältnis im Spiegel nicht exakt das gleiche wie an der Testtafel ist, kann mehrere Gründe haben, denn aufgrund des Reflektionsgesetzes sollte der Kontrast im Spiegel gleich dem an der Testtafel sein. Diese Abweichungen können von Transmissionsverlusten bei Durchgang des Lichts durch das Spiegelglas, einem nicht perfekten Spiegel (Verspiegelung), Verschmutzungen auf der Oberfläche sowie voneinander leicht abweichenden Messpunkten herrühren.

Zusammenfassend sind nach diesem Versuch für beide Ausführungen unterschiedlich vorteilhafte Einsatzbedingungen festzustellen. Bei einer Nachtfahrt mit geringer Umgebungsbeleuchtung ist das KMS durch die interne Kontrastverstärkung im Vorteil. Demgegenüber ist das Kontrastverhältnis bei heller Tagesbeleuchtung bei Verwendung des Spiegels besser.

Szenario 3: Maximale Beleuchtung am Tag bei Sonnenschein und klarem Himmel				
	Ist-Wert auf Testtafel [cd/m <sup>2</sup> ]	Spiegel [cd/m <sup>2</sup> ]	Monitor mit max. Helligkeit [cd/m <sup>2</sup> ]	Monitor mit min. Helligkeit [cd/m <sup>2</sup> ]
S1	442	189	23,7	12
S2	437	198	30,7	14,6
S3	462	195	23,7	12,4
S4	443	195	21,2	11,1
S5	429	181	31,1	11,6
Mittelwert der schwarzen Messpunkte	442,6	191,6	26,08	12,34
W1	15.840	5.440	491	63,7
W2	16.400	5.650	470	63,6
W3	16.300	5.640	462	63,3
W4	16.240	5.620	496	65
W5	16.080	5.570	512	67,2
Mittelwert der weißen Messpunkte	16.172	5.584	486,2	64,56
Kontrast	36,54	29,14	18,64	5,23

Tab. 4: Szenario 3

### Farbwiedergabe

Im Straßenverkehr werden Informationen auch über verschieden Farben codiert, wie z. B. bei Lichtsignalanlagen oder den lichttechnischen Einrichtungen am Fahrzeug. Da jedoch Kamera und Monitor nur eine gewisse Anzahl an Farben detektieren bzw. wiedergeben können, ist es wichtig herauszufinden, ob durch diese Einschränkung Defizite vorliegen.

Dazu wurde die Farbwiedergabe des Bildausschnittes mit Buntstiften in 12 verschiedenen Farbtönen einmal durch das KMS und einmal durch den Spiegel bewertet (s. Bild 29).

Wie in Bild 30 und Bild 31 zu sehen ist, tritt kaum ein Unterschied zwischen Spiegel und Monitor hinsichtlich der Farbwiedergabe auf. In der hier gezeigten Darstellung des Spiegels erscheint der Farbkontrast zwischen dem weißen und dem orangenen Stift aufgrund der Fotografie der Situation geringer, als er in Realität ist. Insgesamt ist die Farbwiedergabe im KMS nicht so hoch wie im Spiegel, doch hoch genug, um die dargebotenen Farben erkennbar darzustellen. Allerdings hängt dies



Bild 29: Farbsortiment vor Spiegel und Kamera



Bild 30: Farbwiedergabe im Monitor



Bild 31: Farbwiedergabe im Spiegel

mit der guten Beleuchtungssituation der Umgebung zusammen, in der alle Farben gut erkennbar sind. Bei Testfahrten in weniger heller Umgebung war die Farbwiedergabe eingeschränkt, wie in Bild 15 und Bild 18 zu sehen ist.



### 3.5.4 Verhalten bei Blendung

#### Blendung der Kamera durch ein zweites Fahrzeug von hinten mit Abblend- und Fernlicht

Um Fahrzeuge im rückwärtigen Sichtfeld bei einer Nachtfahrt eindeutig zu erfassen, müssen deren Scheinwerfer als Punktlichtquellen erkannt werden. Inwieweit dies mit KMS und Spiegeln bei hohen Helligkeitsdifferenzen (Scheinwerfer vs. dunkler Hintergrund) der Fall ist, zeigte eine statische Untersuchung mit dem Versuchsfahrzeug in der komplett abgedunkelten Lichthalle der BAST und mit einem zweiten Fahrzeug, das folgenden Verkehr darstellen sollte. Dazu wurde letzteres (eine Mercedes E-Klasse Baujahr 1999) im Abstand von 50 m, 25 m und 5 m einmal mit eingeschalteten Xenon-Abblendlichtern und einmal mit Halogen-Fernlichtern positioniert (s. Bild 32) und die Szenerie sowohl mit dem KMS als auch über den Spiegel bewertet.

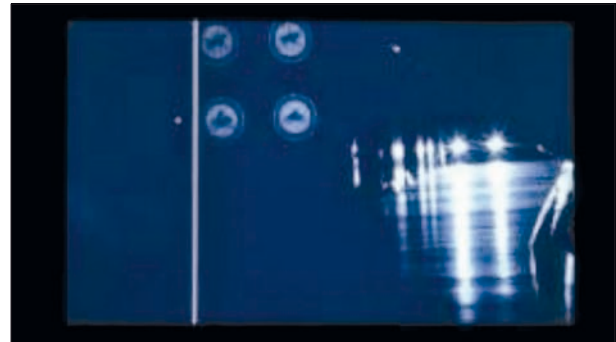
In der Darstellung des KMS wurden die 50 m entfernten eingeschalteten Abblendlichter zwar mit Artefakten wiedergegeben, doch sind in Bild 33 deutlich einzelne Punktlichtquellen zu erkennen. Hier zeigte sich jedoch die stark eingeschränkte Farbwiedergabe des KMS unter den gegebenen Beleuchtungsbedingungen. Verglichen mit Bild 34, in der die gleiche Szenerie mit dem Spiegel beobachtet wurde, wird der Unterschied der dort farbiger erscheinenden Verkehrszeichen am Rand der Fahrbahn erkennbar. Durch das Abblendlicht erfuh der Fahrer weder beim KMS noch beim Spiegel eine physiologische Blendung.

Anschließend erfolgte die Untersuchung mit eingeschaltetem Fernlicht, wieder im Abstand von 50 m. Bild 35 zeigt, dass die Scheinwerfer aufgrund von Blooming und Smear miteinander verschmelzen, was eine Erkennung als Punktlichtquelle erschwert. Im gleichen Aufbau konnten die beiden

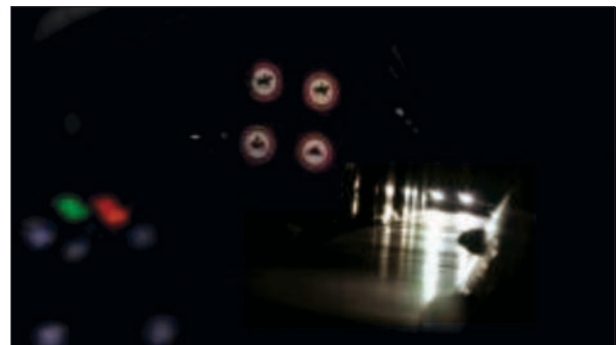


**Bild 32:** Versuchsaufbau: Nachfolgendes Fahrzeug im Abstand von 50 m mit eingeschaltetem Abblendlicht

Fernlichtscheinwerfer im Spiegel differenziert werden (Bild 36), allerdings trat hierbei eine physiolo-



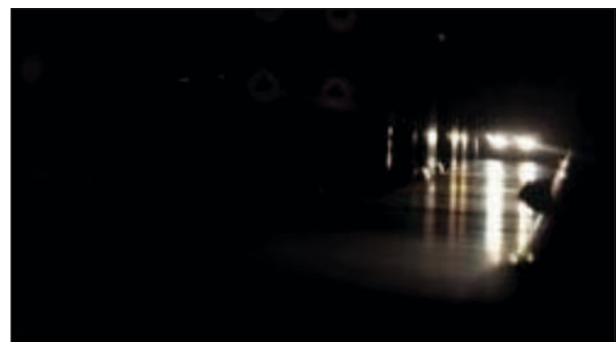
**Bild 33:** Monitor im Abstand von 50 m und eingeschaltetem Abblendlicht



**Bild 34:** Spiegel im Abstand von 50 m und eingeschaltetem Abblendlicht



**Bild 35:** Monitor im Abstand von 50 m und eingeschaltetem Fernlicht



**Bild 36:** Spiegel im Abstand von 50 m und eingeschaltetem Fernlicht

gische Blendung auf und somit ebenfalls eine starke Einschränkung der Sicht.

Für die beiden Abstände von 25 m und 5 m ergaben sich analoge Wahrnehmungen, doch wurde die Intensität der Artefakte kleiner: Bereits bei 25 m wurden die Fernlichtscheinwerfer im Monitor erkennbar als Punktlichtquellen dargestellt. Im Bezug auf die untersuchten Bedingungen ist zu erwähnen, dass die Situation im Straßenverkehr mit eingeschalteten Fernlichtern unüblich ist.

### Blendung der Kamera durch Infrarotlicht

Eine Kombination aus Infrarotscheinwerfern und speziellen Kameras wird bei Fahrerassistenzsystemen wie beispielsweise Night-Vision-Systemen, verwendet, um bei Nachtfahrten die Erkennbarkeit von Objekten und Personen zu verbessern und damit die Sicherheit zu erhöhen. Dazu wird Infrarotlicht im Wellenlängenbereich von 700 bis 1.000 nm ausgesendet, die Reflektionen von einer darauf optimierten Kamera detektiert und dem Fahrer in einer entsprechenden Darstellung zur Verfügung gestellt. Während das Infrarotlicht vom menschlichen Auge nicht wahrgenommen wird und andere Verkehrsteilnehmer nicht beeinflusst (Robert Bosch GmbH, 2007), stellt sich die Frage, ob das KMS sensitiv für Infrarotstrahlung ist und wie stark es ggf. davon beeinträchtigt werden kann.

Für die Untersuchung wurde eine Infrarotlicht aussendende Fernbedienung auf die Kamera ausgerichtet und durch Betätigung einer beliebigen Taste ein Signal durch den Infrarotsender ausgestrahlt. Auf dem Monitor wurde das Infrarotsignal deutlich als Lichtpunkt dargestellt.

Wie sich zeigte, ist die Kamera des KMS generell sensitiv gegenüber Infrarotlicht. Eine Einschätzung hinsichtlich der Auswirkung eines Fahrerassistenzsystems mit aktiver Infrarotbeleuchtung kann jedoch nicht getroffen werden, da ein geeignetes System nicht verfügbar war. Eine Blendung durch Licht dieser Wellenlänge wäre also denkbar – analog zur tiefstehenden Sonne. Es wäre also noch zu untersuchen, ob eine Blendung durch Infrarotlicht auftreten kann und welche technischen Möglichkeiten (z. B. Filter) verwendet werden können, um diese zu vermeiden.

### 3.5.5 Reflexionen auf dem Display und Blendung des Displays

#### Blendung des Fahrers durch Reflexionen auf dem Display

Bei einigen Versuchsfahrten konnten Reflexionen auf dem Monitor des KMS beobachtet werden. Diese waren so stark, dass auf dem beifahrerseitigen Display durch Spiegelung die Sicht aus dem Fenster der Fahrertür zu sehen war. Dadurch wurde der Bildinhalt des Monitors kaum mehr wahrgenommen (s. Bild 37). Das kann z. B. beim Abbiegen nach rechts dazu führen, dass der Fahrer andere Verkehrsteilnehmer übersieht. Vergleichbare Reflexionen treten bei einem Spiegel nicht auf.

#### Blendung des Displays

Mit einer Blendung des Displays sind die direkte Lichteinstrahlung auf das Display und deren Folgen gemeint. Dieser Lichteinfall auf das Display wird in der Regel durch die Sonne hervorgerufen. Da der Monitor in seiner maximalen Leuchtdichte begrenzt ist, kann die Leuchtdichte, die durch die Sonneneinstrahlung auf dem Display hervorgerufen wird, größer sein. Dadurch vermindert sich für den Fahrer der Kontrast und die Farbwahrnehmung.

Die Auswirkungen der Blendung des Displays hervorgerufen durch direkten Lichteinfall zeigt Bild 38. In dem Bild ist deutlich der Unterschied zwischen dem Teil des Monitors im Sonnenlicht und dem im Schatten der A-Säule zu erkennen. Die Farben im abgeschatteten Teil und der Kontrast sind deutlich kräftiger. So wirkt die Bepflanzung am Straßenrand grüner und hell-dunkel-Unterschiede treten stärker hervor. Um den Einfluss der Blendung durch direkten Lichteinfall zu minimieren, könnte

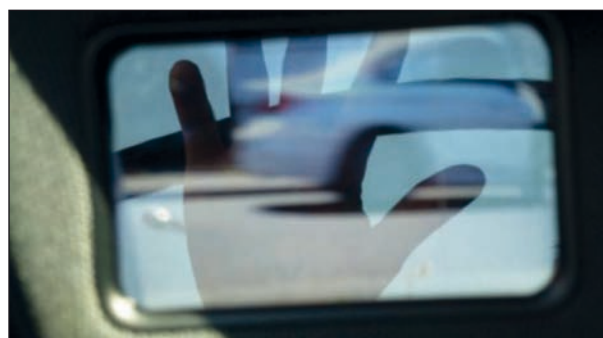


Bild 37: Reflexionen auf dem Display der Beifahrerseite



**Bild 38:** Blendung des Displays

das Display mit einem Schirm versehen werden oder in die Verkleidung nach hinten versetzt integriert werden.

### 3.5.6 Verstellbarkeit von Kamera und Display

Das untersuchte KMS am Kleinserienfahrzeug konnte in den zwei Parametern Zoom und Helligkeit veränderte werden. Für den Bildwinkel wurde die Verstellung automatisch vorgenommen, sobald der Rückwärtsgang eingelegt wurde. In diesem Fall wechselte die Ansicht auf einen Weitwinkelmodus über den gesamten Bildschirm, der vorher in den sphärischen und asphärischen Bereich unterteilt war (vgl. Bild 13). Dieser für das Rückwärtsfahren optimierte Weitwinkelmodus – symbolisiert durch ein eingeblendetes „R“ in der oberen äußeren Ecke – erweitert das Sichtfeld so stark, dass entfernte Objekte auf dem Monitor zwar kleiner abgebildet, aber dafür näher am Fahrzeug liegende Objekte, die im normalen Modus gar nicht im Sichtfeld liegen, dargestellt werden. Der Zoomfaktor der beiden Ansichten (für Rückwärts- bzw. Vorwärtsfahren) ist fest eingestellt, damit wird das gesetzlich vorgeschriebene Sichtfeld für den normalen Fahrbetrieb (kein Gang oder ein Vorwärtsgang eingelegt) stets abgedeckt. Eine Verstellung des Monitors zur Anpassung auf die Augenposition unterschiedlicher Fahrer für einen senkrechten Blick auf das Display wäre wünschenswert, ist in dem getesteten Fall aber nicht möglich gewesen.

Das untersuchte KMS konnte in der Monitorhelligkeit reduziert werden, indem der Einschaltknopf lange gedrückt wurde. Sollte der Fahrer trotz der automatischen Helligkeitsanpassung das Monitorbild als zu hell empfunden haben, konnte die Hintergrundbeleuchtung des Monitors mit diesem Knopf gedimmt werden. Am jeweils eingestellten

Helligkeitspunkt regelte die automatische Steuerung dann je nach sich ändernder Umgebungsbedingung entsprechend nach. Ein Fahrzeugneustart oder ein kurzes Antippen des Einschaltknopfs stellte den Ausgangszustand der Helligkeit wieder her.

Die Notwendigkeit von Verstellmöglichkeiten ist differenziert zu bewerten. Verstelloptionen erlauben die individuelle Anpassung an die Bedürfnisse des jeweiligen Fahrers. Damit einher geht jedoch die Gefahr, dass Spiegel wie KMS von Fahrern so eingestellt werden, dass die indirekte Sicht nicht mehr optimal ist. Vorteil von KMS ist, dass durch Default-Einstellungen immer das optimale (und gesetzlich vorgeschriebene) Sichtfeld voreingestellt sein kann. Je nach Fahrsituation kann jedoch manuelles Verstellen des Bildausschnitts nützlich sein. Dies trifft insbesondere beim Lkw zu (beim Spiegel ist Bildverstellung sowohl durch Kopfbewegungen als auch durch Verstelleinrichtungen möglich). Hilfreich wäre auch eine Einstellbarkeit des Monitors auf die Körpergröße des Fahrers, um einen möglichst senkrechten Blick auf die Displays zu gewährleisten.

In Bezug auf Helligkeit und Kontrast sollte eine automatische Anpassung an die Umgebungsbedingungen Standard sein, zusätzliche manuelle Einstellmöglichkeiten wurden als sinnvoll erachtet.

### 3.5.7 Ausfallsicherheit

Bei der Untersuchung des KMS traten vereinzelt kurze Ausfällen der Monitore auf. Für eine Dauer von ca. einer Sekunde wurde statt des Kamerasignals ein Hinweisbild, wie in Bild 39 zu sehen, eingeblendet. Sowohl auf der linken als auch auf der rechten Seite traten diese Ausfälle auf, allerdings nie auf beiden gleichzeitig. Diese Störungen während normaler Testfahrten waren nicht mit bestimmten Ereignissen oder Umgebungen zu korrelieren. Die Ursache konnte nicht ermittelt werden. Der Sachverhalt zeigt jedoch, wie wichtig es ist, bei sicherheitsrelevanten Systemen auf Ausfallsicherheit zu achten.

### Elektromagnetische Strahlung

Den Einfluss von elektrischen und elektromagnetischen Effekten bzw. elektromagnetischer Strahlung auf technische Geräte untersucht man bei der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV). Um herauszufinden, ob es bei einem KMS zu uner-





Bild 39: Bildausfall

wünschten Wechselwirkungen kommt, wurden versuchsweise Tests mit elektromagnetischer Strahlung im Wellenlängenbereich der Datenübertragung durchgeführt. Da das KMS eine sicherheitsrelevante Einrichtung am Fahrzeug ist, wären Funktionsausfälle auf Grund elektromagnetischer Strahlung unerwünscht.

Für die Bewertung der Auswirkungen wurde hinter dem Testfahrzeug eine Testtafel im Sichtfeld von KMS und Spiegel platziert, um ein vergleichbares und definiertes Bild zu erhalten. Als Quelle der elektromagnetischen Strahlung wurden zwei Funkgeräte der Marke Topcom mit einer Frequenz von 446 MHz verwendet, die in der Nähe von Kamera, Monitor und Steuergerät einen Ruf abgesetzt haben. An den gleichen Stellen wurde zusätzlich ein Mobiltelefon (Sony Experia Sola) positioniert, das einen Anruf empfängt.

Störungen des KMS traten in Form von Bildfehlern auf dem Monitor auf, wenn durch die Funkgeräte ein Ruf in der direkten Nähe des Steuergerätes abgesetzt wurde. Die Bildfehler sind in Bild 40 und Bild 41 dargestellt und reichen vom Flimmern mit Verzerrung des Bildes bis hin zu einem kompletten Bildausfall, bei dem im Monitor ein rotes X angezeigt wird. Die Strahlung des Mobiltelefons löste hingegen keine Bildfehler aus.

Deutlich wurden die Bildstörungen nur, wenn das Funkgerät näher als 5 cm an einem der KMS-Steuergeräte war und gleichzeitig ein Ruf abgesetzt wurde. Auch wenn diese Konstellation als nicht sehr wahrscheinlich und häufig im Alltag angenommen werden muss, so zeigt sich, dass es sehr wichtig ist, die einzelnen Komponenten des KMS durch geeignete Maßnahmen verträglich gegenüber elektromagnetischen Einflüssen zu gestalten.



Bild 40: Bildstörung durch elektromagnetische Strahlung



Bild 41: Bildausfall durch elektromagnetische Strahlung

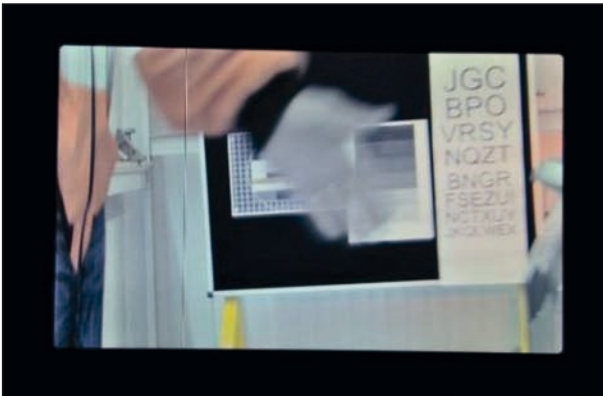
### 3.5.8 Verhalten bei extremer Kälte und Hitze

#### Verhalten bei extremer Kälte

Die Monitore des KMS basieren auf LCD Technologie (engl. liquid crystal display). D. h. sie beinhalten flüssige Kristalle in den Displays, die bei kalten Temperaturen stark eingeschränkt arbeiten, da die flüssigen Kristalle durch die Kälte träge werden, was zu einer verlängerten Bildaufbauzeit führt. Zur Erprobung des KMS bei extremer Kälte wurde das Testfahrzeug in einer Klimakammer auf eine Temperatur von  $-20\text{ °C}$  gekühlt und eine Nacht lang konditioniert. Direkt hinter dem Fahrzeug wurde eine Testtafel als Referenz auf einer Präsentationswand aufgestellt, um ein vergleichbares und definiertes Bild zu erhalten.

Zu Beginn der Bewertung wurde in der Klimakammer die Zündung eingeschaltet, um das KMS zu starten. Anschließend wurde in einem Abstand von einem Meter mit der Hand eine langsame Bewegung durchgeführt und somit ein bewegtes Bild generiert. Diese Bewegung hat das KMS unscharf dargestellt (siehe Bild 42), während im Spiegel die Bewegung in Echtzeit betrachtet werden konnte (siehe Bild 43).

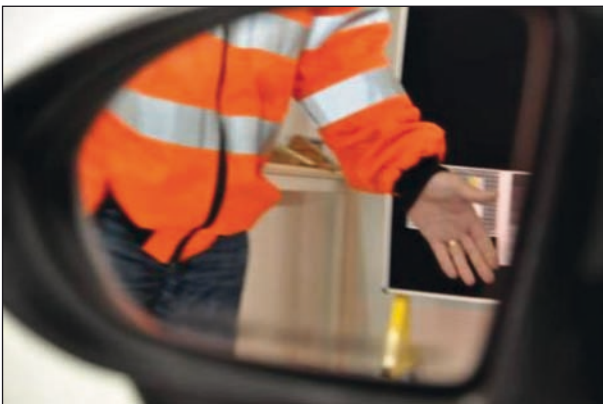
Im zweiten Teil dieses Testes wurde das Fahrzeug gestartet, die Spiegelheizung aktiviert und der Versuchsträger wegen der Abgasemissionen aus der Halle gefahren. Um die Dauer bis zur vollen Funk-



**Bild 42:** Sicht im Monitor



**Bild 44:** Kamera und Spiegel sind beschlagen



**Bild 43:** Sicht im Spiegel



**Bild 45:** Spiegel ist frei und Kamera noch beschlagen

tionsfähigkeit des KMS zu bestimmen, wurde die Zeit ab Motorstart gemessen. Nach Herausfahren aus der Halle bildete sich Kondenswasser und setzte sich sowohl auf der Kamera als auch auf dem Spiegel ab (siehe Bild 44). Nach zwei Minuten war aufgrund der Spiegelheizung die Spiegelfläche wieder komplett frei. Die Kamera hingegen war noch beschlagen und nicht einsatzfähig (siehe Bild 45).

Erst nach ca. sechs Minuten konnten im Monitor grobe Umrisse von der dahinter platzierten Testtafel erkannt werden (siehe Bild 46). Zu diesem Zeitpunkt war die Kamera jedoch noch beschlagen und es konnte keine klare Aussage getroffen werden, ob der Monitor wieder voll einsatzfähig ist und das Bild nicht mehr verschwommen dargestellt wird. Auch nach 13 Minuten war der Beschlag auf der Kameralinse vorhanden, daher wurde diese nun manuell gesäubert (frei gewischt) mit dem Ergebnis, dass Bildsequenzen in ungestörter Qualität wiedergegeben wurden.

Zu welchem Zeitpunkt der Monitor ohne Störung bzw. Zeitverzug arbeitet, kann wegen der beschlagenen Kameralinse nicht genau bestimmt werden.



**Bild 46:** Sicht im Monitor nach ca. 6 Minuten

Das verwendete Klimaszenario ist eher untypisch: Der Testträger wurde aus der Klimakammer (-20 °C) auf ein freies Gelände (15 °C, Schatten) gefahren, dabei hat sich Feuchtigkeit abgesetzt. Solch ein schneller Klimawechsel kommt evtl. in einer kalten Region mit Straßentunnel vor (z. B. Alpen).

Allerdings zeigte der Versuch, dass der Spiegel nach zwei Minuten wieder eine komplette rückwärtige Sicht ermöglicht hat und die Kamera des KMS nach 13 Minuten immer noch beschlagen war. Ein



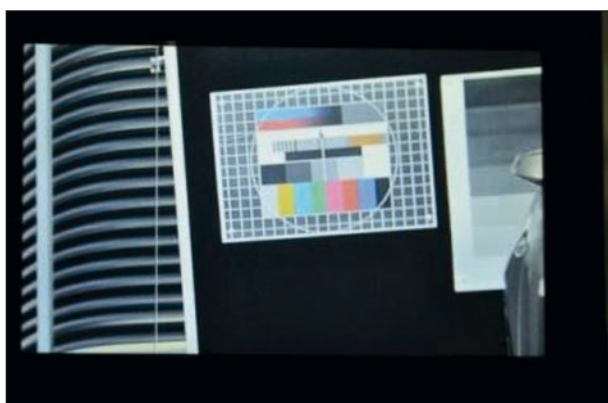
beheiztes KMS, bei dem sowohl die Kamera als auch der Monitor beheizt werden, könnte das Problem verringern. Eine solche Heizung könnte die Zeit bis zur uneingeschränkten Betriebsbereitschaft deutlich verkürzen und somit die Verkehrssicherheit erhöhen.

### Verhalten bei extremer Hitze

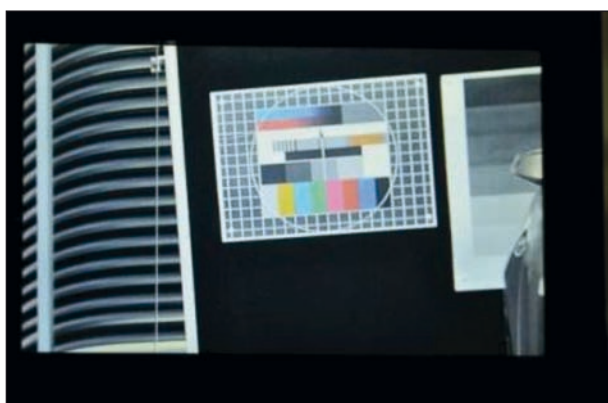
Photodioden wandeln auf dem Sensorchip in Kameras das Licht in einen elektrischen Strom um. Allein durch Hitze zusammen mit der an den



**Bild 47:** Versuchsaufbau zum Verhalten bei extremer Hitze



**Bild 48:** Monitorbild vor dem Erhitzen



**Bild 49:** Monitorbild nach dem Erhitzen

Sensor angelegten Grundspannung werden aber bereits schon Elektronen abgesondert, wodurch ein sogenanntes Grundrauschen der Sensorchips entsteht. Während des normalen Betriebs wird dieses Grundrauschen von der höheren Anzahl an Elektronenabsonderungen auf Grund der Belichtung überdeckt. Wird jedoch der Sensor stark erhitzt, kann das Farbrauschen verstärkt werden und sich auf das Monitorbild auswirken. In einem Versuch wurde das Verhalten des KMS bei Hitze untersucht, genauer gesagt die Auswirkung von Hitze auf die Kamera. Dafür wurde in der Versuchshalle das Testfahrzeug mit eingeschaltetem KMS platziert. Als ein vergleichbares Motiv wurde hinter dem Fahrzeug eine Testtafel aufgestellt. Die Kamera wurde auf der Fahrerseite mit einem Heißluftgebläse erwärmt (Bild 47).

Bei Testbeginn wurde das Monitorbild betrachtet, abfotografiert, die Temperatur auf dem Kameragehäuse gemessen (20 °C) und anschließend das Heißluftgebläse eingeschaltet. Unter kontinuierlicher Temperaturüberwachung auf dem Kameragehäuse wurde der Abstand zwischen Wärmequelle und Kamera solange verringert, bis die Temperatur des Gehäuses ein stabiles Niveau von 83 °C erreichte. Damit auch der Kamerachip im Inneren des Gehäuses diese Temperatur erlangte, wurden die Versuchskonditionen 15 Minuten lang konstant gehalten. Abschließend fand eine erneute Bewertung und Fotodokumentation der Bildwiedergabe statt mit dem Ergebnis, dass nach Erhitzen keine sichtbaren Veränderungen zu verzeichnen waren (vgl. Bild 48 und Bild 49).

### 3.5.9 Auswirkungen von Verschmutzungen

Außen am Fahrzeug angebrachte Kameras eines KMS als auch Spiegel sind generell Verschmutzungen ausgesetzt. Die Art der Verschmutzung kann verschiedene Ursachen haben: z. B. Pollenflug, Staub, im Wasser gelöster Schmutz oder Salz. Welche Auswirkungen Verschmutzung auf Spiegel und Kamera haben, wurde anhand einer Testreihe analysiert. Dazu wurde in der Versuchshalle hinter dem KMS Fahrzeug eine Testtafel aufgestellt und durch Spiegel und KMS bewertet, siehe Bild 50 und Bild 51. Zunächst wurde ein definierter Schmutzfilm stufenweise auf die Kamera sowie den Außenspiegel der Fahrerseite aufgebracht. Zur Erzeugung des Schmutzfilms wurde jeweils ein Sprühstoß einer gesättigten Salzlösung aus einer Sprühflasche auf die Kameralinse bzw.

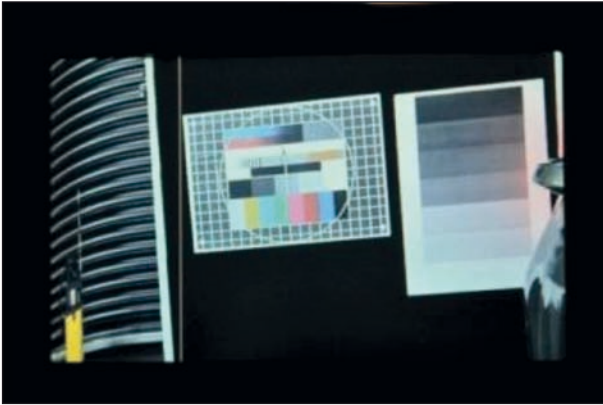


Bild 50: Monitorbild ohne Verschmutzung

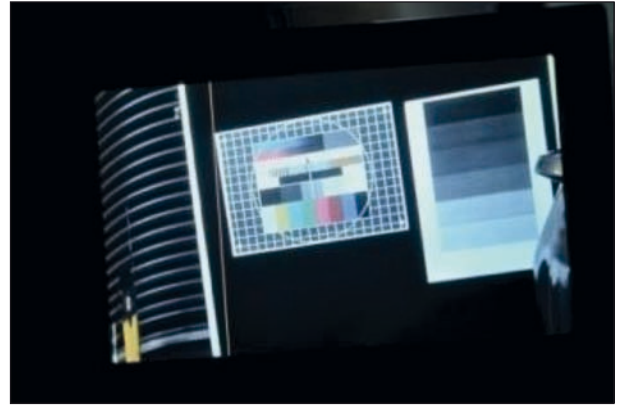


Bild 52: Monitorbild mit Verschmutzung Stufe 1

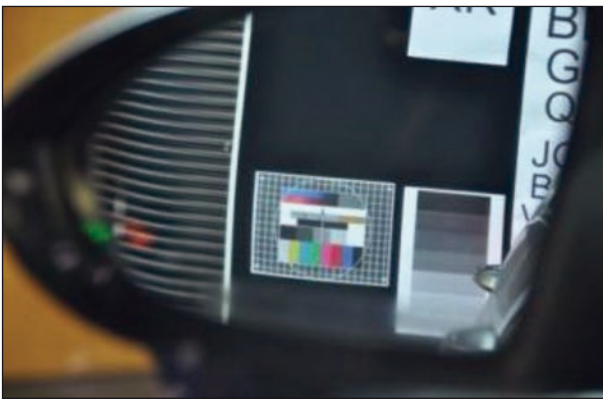


Bild 51: Spiegelbild ohne Verschmutzung



Bild 53: Spiegelbild mit Verschmutzung Stufe 1

den Spiegel aufgetragen und vollständig trocknen gelassen. Nach Beurteilung und Fotodokumentation erfolge die nächste Stufe des Auftragens. In jeder der drei Verschmutzungsstufen ist die Bildqualität des KMS im direkten Vergleich zum Spiegel als besser einzustufen, wie Bild 52 bis Bild 57 zeigen. Mit dem KMS ist die Kontrastdarstellung und Farbwiedergabe jeweils höher.

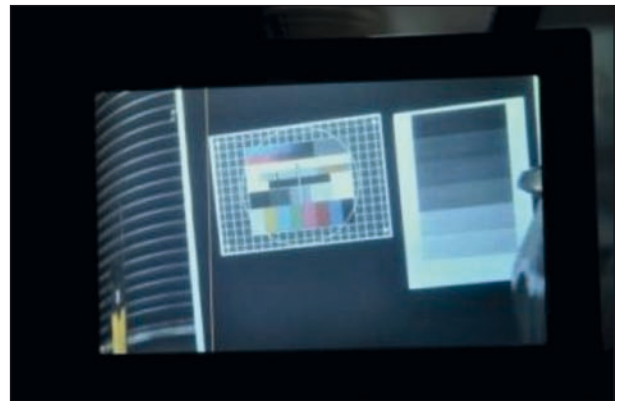


Bild 54: Monitorbild mit Verschmutzung Stufe 2



Bild 55: Spiegelbild mit Verschmutzung Stufe 2



Bild 56: Monitorbild mit Verschmutzung Stufe 3



Bild 57: Spiegelbild mit Verschmutzung Stufe 3

## 4 Aspekte der Mensch-Maschine-Interaktion

Zur Analyse der Aspekte der Mensch-Maschine-Interaktion wurde je eine Studie für die beiden Fahrzeugklassen Pkw und Lkw durchgeführt. Die Pkw-Studie beinhaltet schwerpunktmäßig Distanzschätzungen, Blickdatenanalysen sowie Akzeptanzbewertungen. Im Rahmen der Lkw-Studie wurde die Möglichkeit, Außenspiegel durch KMS zu ersetzen, ebenfalls anhand von Distanzschätzungen und subjektiven Bewertungen untersucht.

### 4.1 Pkw-Studie

Im Rahmen der vorliegenden Studie wird der Frage nachgegangen, ob sich die Fahrer-Fahrzeug-Interaktion durch die Integration eines Kamera-Monitor-Systems als Spiegel-Ersatzsystem verändert (DENSON, 2013). Dabei liegt das Hauptaugenmerk zum einen auf der subjektiv (Fragebogen) und objektiv (Blickverhalten) messbaren visuellen Unterstützung des Systems für Fahrmanöver, die das Betrachten des rückwärtigen

Verkehrs unabdingbar machen, um situationsgerecht handeln zu können (Ausscheren zum Überholen). Ein weiterer Betrachtungsrahmen dieser Arbeit liegt auf einer möglichen Veränderungstendenz der Distanz- und Geschwindigkeitswahrnehmung eines herannahenden Fahrzeuges, wenn die Schätzung des Beobachters ausschließlich über den kamerabasierten Monitor erfolgt. Dabei ist festzuhalten, dass die Bewertung des Kamera-Monitor-Systems immer in Relation zu dem konventionellen Außenspiegel erfolgt. Ferner stellt sich die Frage, ob die Fertigkeit des Nutzers ein solches System adäquat im Straßenverkehr zu nutzen, in Abhängigkeit von der Vorerfahrung des Nutzers begünstigt oder behindert wird. In dieser Untersuchung werden daher quasiexperimentell zwei Fahrerpopulationen unterschieden: (a) „Experten“ [E] mit vorheriger Nutzung des KMS im Straßenverkehr und (b) „Novizen“ [N] ohne vorherige Nutzung des KMS im Straßenverkehr.

Es soll untersucht werden, ob und wenn ja welche Unterschiede sich in Bezug auf Distanz- und Geschwindigkeitswahrnehmung sowie auf das Blickverhalten zwischen Außenspiegel und KMS ergeben. Ferner wird angenommen, dass die Erfahrung mit dem System dahingehend beeinflussend ist, dass Distanzen realistischer eingeschätzt werden (Kompensation) durch die in der Lernphase erworbenen Kenntnisse (vgl. bei Spiegeln: de VOS, 2000; FLANNAGAN et al., 1996). Dementsprechend wird erwartet, dass sich die Werte der Distanzschätzung über den Monitor den Referenzwerten über den Außenspiegel annähern.

#### 4.1.1 Stichprobe

Insgesamt nahmen 42 Versuchspersonen an der Untersuchung teil. Innerhalb der Gesamtstichprobe waren 18 Teilnehmer weiblich und 24 männlich. Das Durchschnittsalter der Gesamtstichprobe betrug 47,8 Jahre mit einem Standardfehler (SE) von 2,7, wobei der jüngste Proband 25 Jahre alt war und der älteste 78 Jahre.

Die Probanden wurden vorab zwei Experimentalgruppen zugeteilt. Elf Probanden bildeten eine vordefinierte Expertengruppe (E). Das Einschlusskriterium hierbei war eine mindestens 60-minütige bis maximal zweitägige freie Nutzung des Kamera-Monitor-Systems im Straßenverkehr. Innerhalb dieser Gruppe waren sechs Probanden männlich und fünf weiblich. Im Mittel lag das Alter bei 38,4 Jahren (SE = 2,7). Die zweite Kategorie stellte die Gruppe



der Novizen dar. Diese Gruppe setzte sich aus 31 externen Probanden zusammen, die bislang noch keinen Kontakt mit dem Kamera-Monitor-System hatten und lediglich eine mündliche Einweisung in das System sowie eine Proberunde vor Beginn der eigentlichen Erhebung bekamen. In Bezug auf die Sehfähigkeit gaben 81,8 % der Experten und 87,5 % der Novizen an, keine Einschränkungen aufzuweisen. Alle Probanden konnten als aktive Fahrer ( $\bar{x} \pm E$ ) = 18.600 km/Jahr mit einer Standardabweichung (SD) von 13,6 klassifiziert werden.

#### 4.1.2 Versuchsdurchführung

Die Datenerhebung erfolgte an jeweils fünf Tagen die Woche. Die beiden Erhebungstermine waren täglich um 9:00 und 13:30 Uhr mit einer Maximaldauer von jeweils drei Stunden. Den Probanden wurde eine Einverständniserklärung vorgelegt, wodurch sie über den Verlauf der Untersuchung und über die Datenschutzregeln informiert wurden. Im Folgenden bekamen die Teilnehmer einen Fragebogen zur Erfassung der demografischen Daten vorgelegt.

#### 4.1.3 Experiment I: Distanz- und Geschwindigkeitsschätzung

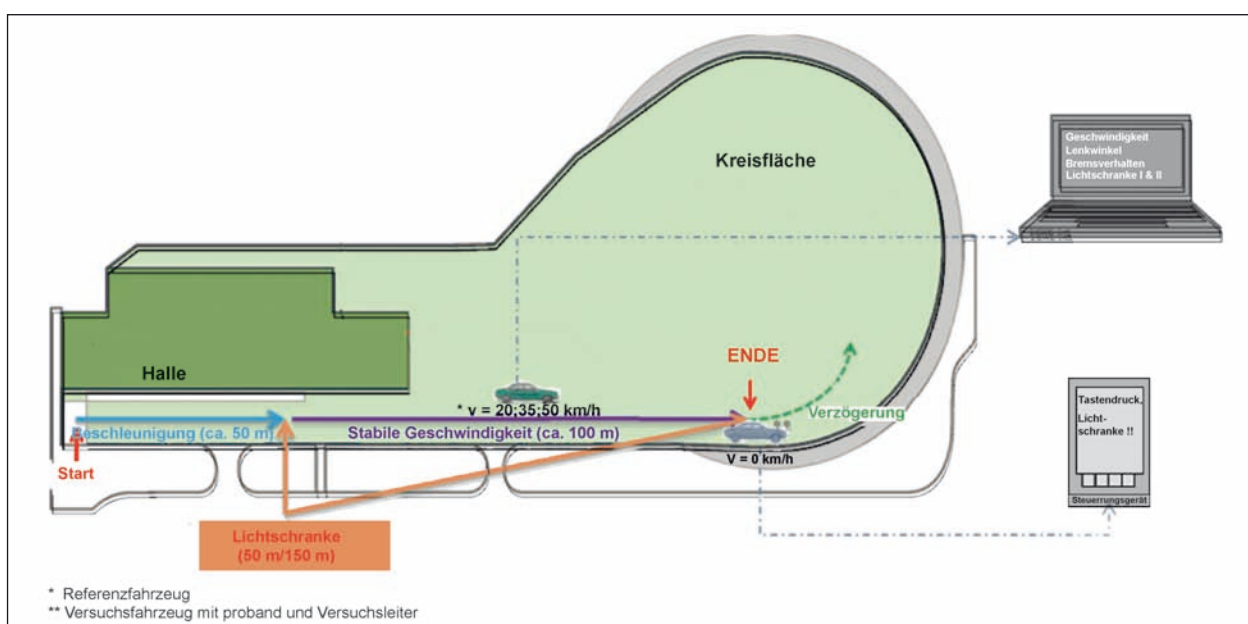
Im ersten Experiment sollte untersucht werden, wie sich die Distanz- und Geschwindigkeitswahrnehmung herannahender Fahrzeuge verhält, wenn diese vom Fahrzeugführer über das Kamera-

Monitor-System erfolgt. Als Referenzgröße diente die Schätzung unter Verwendung eines konventionellen Außenspiegels. Dabei war von besonderem Interesse, ob die Expertengruppe durch die Vorerfahrung mit dem System die Distanz und Geschwindigkeit signifikant anders wahrnehmen als die Novizengruppe.

Zur validen Erfassung der subjektiven Distanz- und Geschwindigkeitsschätzung eines sich nähernden Fahrzeuges wurde die last-safe-gap-Methode genutzt. Hierbei wurde im statischen Versuchsfahrzeug ein sich näherndes Referenzfahrzeug durch eine Vorrichtung (hier: linker Monitor bzw. linker Außenspiegel) beobachtet. Für die Schätzung durfte weder der Innenspiegel noch ein Schulterblick zur Hilfe genommen werden. Der Proband sollte dann durch Tastendruck den letzten sicheren Moment für das Ausscheren vor dem Fahrzeug angeben (vgl. BACH et al., 2006). Bezüglich des Beschleunigungsverhaltens des Versuchsfahrzeuges sollte das Beschleunigungsverhalten des eigenen Fahrzeuges vom Fahrenden Berücksichtigung finden.

#### Versuchsanordnung

In der ersten Studie wurde das Versuchsfahrzeug auf der Versuchsanlage der BAST abgestellt (vgl. Bild 58). Dafür wurden Markierungen angebracht, um ein ständig gleichbleibendes Sichtfeld nach hinten zu gewährleisten.



**Bild 58:** Schematischer Versuchsaufbau zur Distanz- und Geschwindigkeitsschätzung eines sich nähernden Fahrzeuges auf der Versuchsanlage der BAST

Das Referenzfahrzeug näherte sich dem Versuchsfahrzeug anhand  $4 \times 3$  randomisiert dargebotenen Geschwindigkeiten (20 km/h; 35 km/h; 50 km/h), sodass das Referenzfahrzeug in Summe zwölfmal am Versuchsfahrzeug vorbeifuhr. Dabei bewertete der Proband jeweils  $2 \times 3$  Geschwindigkeiten mit dem konventionellen Außenspiegel und  $2 \times 3$  Geschwindigkeiten mit dem Kamera-Monitor-System. Die gefahrenen Geschwindigkeiten waren nur dem Versuchsleiter und dem Fahrer des Referenzfahrzeuges bekannt. Wie aus Bild 58 ersichtlich, teilte sich die Versuchstrecke in 50-m-Beschleunigungsstrecke und 100-m-Zielgeschwindigkeitsstrecke auf. Die Fahrer des Referenzfahrzeuges wurden instruiert, bei Passieren der 50-m-Markierung die vorgegebene Geschwindigkeit zu erreichen und bis zur Vorbeifahrt am Versuchsfahrzeug konstant zu halten. Um den Tastendruck adäquat interpretieren zu können, befanden sich Lichtschranken und Reflektoren an beiden Fahrzeugen und zusätzlich ein Reflektor auf Höhe von 50 m der Versuchstrecke.

Der erste Reflektor auf der 50-m-Markierung bewirkte das Auslösen der Lichtschranke im Referenzfahrzeug und diente zur Kontrolle der Geschwindigkeitsbedingung. Beim Vorbeifahren des Referenzfahrzeuges am Versuchsfahrzeug reagierte die Lichtschranke auf den Reflektor am Fahrzeug und führte zu einer zweiten Auslösung. Das Auslösen der Lichtschranke am Versuchsfahrzeug diente dazu, die Zeitpunkte des Tastendrucks mit der Position des Referenzfahrzeuges in Echtzeit synchronisieren zu können (Vorbeifahrt am Fahrzeug – Zeitpunkt des Tastendrucks = Distanz zum Zeitpunkt des Tastendrucks).

### Versuchsablauf

Nach Eintreffen des Probanden wurde ihm die Aufgabe vom Versuchsleiter erläutert und der Taster übergeben (Bild 59a). Der Versuchsleiter testete mit einer speziellen Reflektor-Folie das Auslösen der Lichtschranke und überprüfte die Reaktion des Tasters im Steuerungsgerät. Nach Eintreffen des Fahrers des Referenzfahrzeuges wurde die Datenaufzeichnungssoftware gestartet. Die Datenaufzeichnungssoftware nahm dabei die a priori definierten Kanäle: Geschwindigkeit, Lenkwinkel, Bremsbetätigung und Lichtschranke auf. Dem Fahrer des Referenzfahrzeuges wurde eine Liste mit den zu fahrenden Geschwindigkeiten übergeben. Dem Referenzfahrzeug wurde mithilfe der Warnblinklichtanlage das Zeichen für den Start der Vorbeifahrt (Bild 59b) signalisiert. Nach sechs Durchgängen stellte der Fahrer sich hinter das Versuchsfahrzeug und der Versuchsleiter überprüfte nochmal das korrekte Aufzeichnen der Messdaten. Im Folgenden fuhr das Referenzfahrzeug wieder auf seine Startposition und der Versuchsleiter wechselte die Vorrichtung, mit der die Schätzung abgegeben werden sollte. Im Falle des Außenspiegels wurden die Monitore manuell ausgeschaltet und im Falle der Monitorbedingung wurden die Außenspiegel mit Klebeband abgeklebt. Der Versuchsleiter notierte auf einem Beobachtungsbogen mögliche Kommentare sowie Witterung, Lichtverhältnisse und subjektiv empfundene Blendung oder Spiegelungen.



(a) Proband mit Taster



(b) Annäherung des REF-Fzg. mit konstanter Geschwindigkeit

**Bild 59:** Vorbeifahrt des Referenzfahrzeugs (REF-Fzg.) am unbewegten Versuchsfahrzeug auf der Versuchsanlage der BASt und Tastendruck durch den Probanden

#### 4.1.4 Experiment II: Blickverhalten in Realfahrten

Im zweiten Experiment wurde untersucht, ob und in welche Richtung sich das Blickverhalten bei einer Realfahrt unter Verwendung eines KMS verändert. Zur Erfassung des Blickverhaltens wurde ein Blickerfassungssystem verwendet. Als Referenzmessung diente die Autobahnfahrt mit den konventionellen Außenspiegeln. Dabei lag das Hauptaugenmerk auf dem Aspekt des Alters in der Novizengruppe (ohne vorherige Systemerfahrung).

##### Versuchsplanung

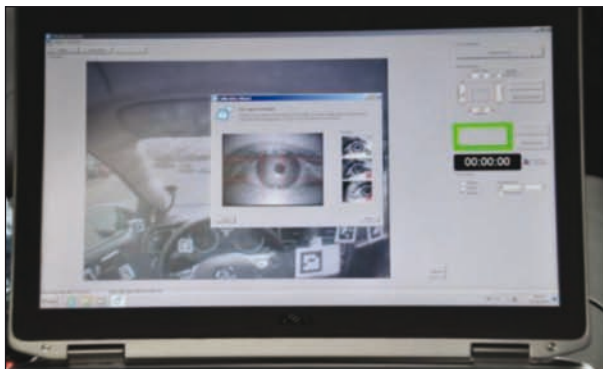
Die Autobahnfahrt führte von der Autobahn A 4 Anschlussstelle Refrath bis zur Ausfahrt Overath. Die Strecke wurde für diese Versuchsreihe in beide Richtungen befahren, sodass alle vier Positionen (KMS 1, KMS 2, KMS 3 und Außenspiegel) anhand einer vergleichbaren Fahrstrecke getestet werden konnten. Die Strecke umfasste eine vorgegebene Route von circa 14,7 km. Ein Weg umfasste dabei etwa zwölf Minuten Fahrzeit.

Damit Reihenfolgeeffekte ausgeschlossen werden konnten, wurden die zu befahrenden Positionen

zwischen den Probanden permutiert. Das Versuchsereignis Überholen sollte mindestens dreimal, aber maximal fünfmal erhoben werden. Der Start des Versuchsereignisses Überholen wurde dabei bei vollständigem Fahrstreifenwechsel nach links sowie das Ende erst bei vollständigem Fahrstreifenwechsel nach rechts gesetzt.

##### Versuchsablauf

Nach Abschluss der Parkaufgabe führen die Probanden von der Versuchsanlage der BAST zur Autobahn A 4 Richtung Olpe. Der Versuchsleiter überreichte dem Probanden die Head Unit des Blickerfassungssystems. Diese wurde mittels eines elastischen Bandes am Hinterkopf befestigt. Als weitere Befestigung diente die Nasenhalterung und Stirnablage. Bei der Befestigung der Head Unit wurde darauf geachtet, dass der Versuchsteilnehmer genügend Kabelspielraum hat, um die Seiten- und Schulterblicke zu tätigen. Hierzu wurde eine entsprechende Zugentlastung geklebt. Die Ausrichtung der Augenkamera erfolgte auf die Feldkamera mithilfe des Kalibrierungsassistenten. Hierfür wurde die Augenkamera horizontal und vertikal mittig auf das linke Auge des Probanden ausgerichtet (Bild 60a).



(a) Kalibrierung des Blickerfassungssystems



(b) Ausrichtung der Augenkamera auf die Feldkamera



(c) Anfahrt mit montiertem KMS 2 vom Parkplatz



(d) Versuchsereignis „Überholen“ – Vorbereitung auf Fahrstreifenwechsel nach links

**Bild 60:** Messung der Versuchsereignisse mithilfe des Blickerfassungssystems



Danach wurde die Blickrichtung mit der Umgebung synchronisiert (Bild 60b). Zur Endkontrolle wurde der Proband gebeten, möglichst realitätsgetreu auf den linken und rechten Außenspiegel, den Innenspiegel sowie auf die Halterung der Monitore zu schauen. Dieses Verfahren wurde nochmals bei jedem Wechsel der Monitorposition wiederholt (Bild 60c).

Während jeder einzelnen Fahrt wurden die Versuchereignisse Überholen (Bild 60d) auf der Autobahn vom Versuchsleiter markiert. Nach jedem Streckenabschnitt wurden Parkplätze angefahren, wo die Position gewechselt und dem Probanden ein Fragebogen vorgelegt wurde, der unter anderem die vier Fragen zum Situationsbewusstsein beinhaltete. Die Fahrt endete auf dem Gelände der BAST.

### **Auswertung der Distanz- und Geschwindigkeitsschätzung**

Im Anschluss an die Datenerhebung waren spezielle Auswertungsprogramme notwendig, um die aufgezeichneten Rohdaten für die statistische Berechnung vorzubereiten. Acht Probanden mussten aus der Analyse ausgeschlossen werden, da die Daten nicht verwertbar waren oder in Summe nicht genügend Datensätze vorlagen. Somit konnten die Datensätze von 34 Personen in die Berechnungen einfließen.

Für die statistische Auswertung der Messdaten musste zunächst das Signal der ersten Lichtschranke mit dem der zweiten Lichtschranke und dem Tastendruck zeitsynchronisiert werden. Auf diese Weise konnte zurückgerechnet werden, wie groß der Abstand des Referenzfahrzeuges zum Versuchsfahrzeug zum Zeitpunkt des Tastendrucks war.

Um zu ermitteln, ob die Faktoren System (zweistufig: Außenspiegel-KMS) und Geschwindigkeit (dreistufig: 20-35-50 km/h) Einfluss auf den Zeitpunkt des Tastendrucks hatten, wurde eine messwiederholte multivariate Varianzanalyse (MANOVA) gerechnet. Zur Erfassung, ob es Unterschiede in der Schätzung für die Gruppen mit oder ohne Systemerfahrung gibt, wurde die Vorerfahrung in einer weiteren MANOVA mit Messwiederholung als Zwischensubjektfaktor definiert. In der statistischen Analyse wurde die F-Statistik (Greenhouse-Geisser) betrachtet. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde auf  $\alpha < .05$  festgelegt.

### **Auswertung des Blickverhaltens**

Für die Validierung der Blickdaten wurde die Pupillenerkennung für alle relevanten Zeitstrecken manuell nachbereitet, sodass sich die Fadenkreuzmarkierung mittig auf der Pupille befand und Blicksprünge aufgrund von Falscherkennungen ausgeschlossen werden konnten. Anschließend wurden die Aufnahmen der Feldkamera mit Überlagerung der Augenkamera betrachtet. Hierbei wurden die interessierenden Zeitabschnitte geprüft, um sicherzustellen, dass die Blicke in die definierten Areas of Interest (AOIs) fallen und in der folgenden Berechnung Berücksichtigung finden. Aufgrund des großen Umfangs der Datensätze wurden nur die zur Auswertung benötigten Zeitstrecken nachkalibriert. Für die Überholvorgänge wurden die Blickdaten 10 s vor Start des Versuchereignis Überholen und 10 s vor Ende des Versuchereignis Überholen nachkalibriert, da davon ausgegangen werden kann, dass beim Erreichen des Zielfahrestreifens die Blicktätigkeit vorwiegend nach vorne orientiert ist. Durch die großzügig gewählte Zeit von 10 s wurde gewährleistet, dass die für den Fahrestreifenwechsel relevanten Blicke in die vordefinierten AOIs in die Analyse aufgenommen werden konnten (vgl. BAYERL, 2012). Der Überholvorgang gliedert sich in folgende vier Versuchereignisse:

- (1) Start Ausscheren =  
-10 s vom ursprünglichen Start und
- (2) Ende Ausscheren sowie
- (3) Start Einscheren =  
-10 s vom ursprünglichen Ende und
- (4) Ende Einscheren.

Da die Detektion der AOIs und die anschließende Berechnung der Blicke, die in die entsprechende AOI fielen, an Referenzpunkte (Marker) im Fahrzeug gekoppelt waren, wurde die Markererkennung automatisiert über alle Blickvideos vorgenommen. Die Blickvideos, die nach dieser automatisierten Erkennung eine unzureichende Detektionsrate auswiesen, wurden nochmals manuell nachbereitet.

19 Probanden wurden aus der Analyse ausgeschlossen, da die Daten nicht verwertbar waren oder die Probanden der ausgeschlossenen Expertengruppe angehörten. Somit konnten die Datensätze von 24 Personen in die Berechnungen mit einfließen. Betrachtet wurden folgende Blickkennwerte:

- (i.) Number of Glances: Anzahl der Blicke auf den linken Monitor/linken Außenspiegel (AOI) für das Versuchereignis Ausscheren und
- (ii.) Maximal Glance Duration: Maximale Blickdauer (längster Blick) auf den linken Monitor/linken Außenspiegel (AOI) für das Versuchereignis Ausscheren in Sekunden.

Die Berechnung erfolgte aufgabenbasiert über alle getätigten Ausschervorgänge hinweg, separat für jede der vier Systembedingungen.

Zur weiteren statistischen Analyse der Daten wurde eine messwiederholte Varianzanalyse (ANOVA) mit dem Faktor System (AOI) (vierstufig: Außenspiegel – KMS1 – KMS2 – KMS3) gerechnet. Wie bereits im ersten experimentellen Teil wurde auch hier die F-Statistik (Greenhouse-Geisser) betrachtet. Bei Ablehnung der Nullhypothese wurde das partielle  $\eta^2$  berichtet. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde auf  $\alpha < .05$  festgelegt.

#### 4.1.5 Ergebnisse

##### Deskriptive Statistik

Die Tabelle 5 zeigt die subjektive Einschätzung der Probanden über ihre Spiegelnutzung in unterschiedlichen Verkehrsszenen. Insgesamt gaben

alle Probanden an, meistens oder (fast) immer die Außenspiegel zum Abbiegen, Einfädeln in den fließenden Verkehr, zur Überwachung des rückwärtigen Verkehrs und vor dem Aussteigen aus ihrem Fahrzeug zu nutzen.

Die Tabelle 6 illustriert den Erfahrungsgrad der Expertengruppe. Im Mittel nutzten die Probanden dieser Gruppe 158 Minuten das Kamera-Monitor-System im Straßenverkehr. Die Standardabweichung von 96 Minuten zeigt eine hohe Variabilität innerhalb des Nutzungszeitraumes. Die Minimaldauer belief sich auf eine Stunde, die Maximaldauer auf 5,5 Stunden. Die Gruppe erprobte im Mittel das Kamera-Monitor-System auf einer Strecke von 161 km, wobei die Streckennutzung zwischen den Probanden mit einer Standardabweichung (SD) von 135 km stark variierte. Prozentual gesehen nutzten die Experten das System eher auf der Autobahn ( $\bar{x} = 57\%$ ). Die Fahrten auf der Landstraße und innerorts waren verhältnismäßig weniger stark ausgeprägt ( $\bar{x}$ (innerorts) = 19 %, SD = 16 %);  $\bar{x}$ (Landstraße) = 24 %, SD = 14 %).

##### Experiment I – Ergebnisse der Distanz- und Geschwindigkeitsschätzung

Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied in Abhängigkeit des verwendeten Systems ( $F(1,33) =$

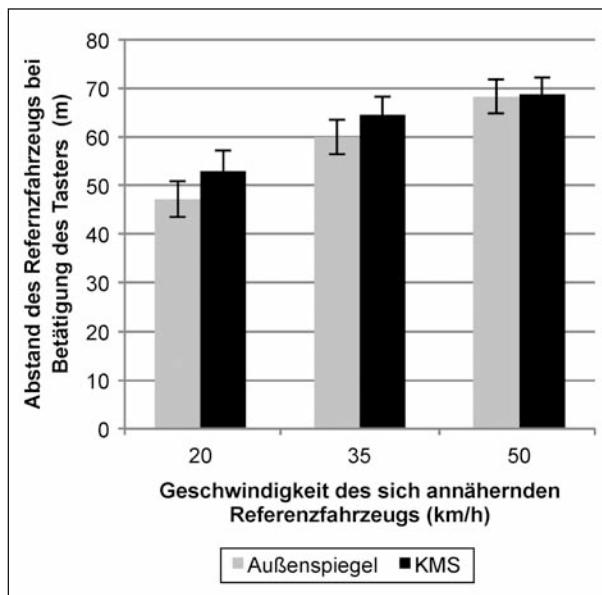
Wie häufig verwenden Sie den Außenspiegel ...	Gruppe*	Nie	Selten	gelegentlich	meistens	(fast) immer
zum Abbiegen	E	.	18.2	9.1	45.5	27.3
	N	12.5	6.3	.	37.5	43.8
zum Einfädeln in den fließenden Verkehr	E	.	9.1	.	27.3	63.6
	N	.	.	.	18.8	81.3
zur Überwachung des rückwärtigen Verkehrs	E	.	.	36.4	9.1	54.5
	N	.	.	31.3	31.3	37.5
vor dem Aussteigen aus ihrem Fahrzeug	E	18.2	18.2	.	18.2	45.5
	N	.	6.3	6.3	56.3	31.3

\* E = Experten; N = Novizen

Tab. 5: Angaben über die Außenspiegelnutzung anhand von Verkehrssituationen in Prozent (N = 42)

	M	SD	Min	Max	$\Sigma$
Gesamtdauer (min)	158	96	60	330	1.740
Strecke (km)	161	134	32	523	1.772
Innerorts (%)	19	16	5	50	
Landstraße (%)	24	14	5	60	
BAB (%)	57	20	30	85	

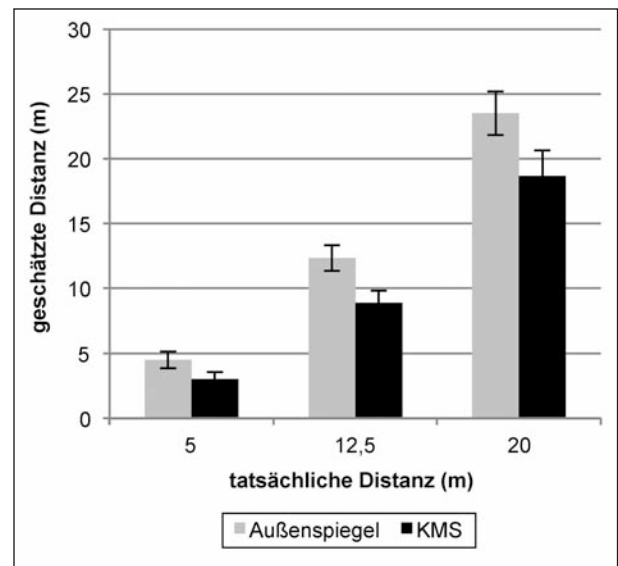
Tab. 6: Erfahrungsgrad abgeleitet aus dem Nutzungszeitraum der Experten, aufgegliedert nach Gesamtdauer, Streckennutzung und prozentuale Verteilung der Streckennutzung innerorts, auf Landstraße und Bundesautobahn (BAB); (N = 11)



**Bild 61:** Mittelwerte der tatsächlichen Distanz des Referenzfahrzeuges (REF) vom Versuchsfahrzeug zum Zeitpunkt des Tastendruckes in Abhängigkeit des verwendeten Systems (Außenspiegel und KMS) und den gefahrenen Geschwindigkeiten (N = 34)

3.646,  $p = .065$ ). Für die Geschwindigkeiten des Referenzfahrzeuges (REF) ( $F(2,66) = 39.752$ ,  $p = .000$ ) konnte ein signifikanter Haupteffekt nachgewiesen. Die Interaktion des verwendeten Systems mit den Geschwindigkeiten des Referenzfahrzeuges ( $F(2,66) = 1.187$ ,  $p = .310$ ) zeigte keine statistische Signifikanz.

Tendenziell wird im Vergleich zum Außenspiegel über das Kamera-Monitor-System zu einem früheren Zeitpunkt nicht mehr ausgesichert (vgl. Bild 61). Bei einer gefahrenen Geschwindigkeit von 20 km/h erfolgt der Tastendruck der Probanden über den Außenspiegel bei  $\bar{x} = 47,2$  m mit einem Standardfehler (SE) von 3,7 m Entfernung. Dagegen erfolgt der Tastendruck unter Beobachtung des Referenzfahrzeuges im Monitor bei einer Distanz von  $\bar{x} = 52,9$  m (SE = 4,3). Nähert sich das Referenzfahrzeug mit konstanten 35 km/h, so wird in der Außenspiegelbedingung bei einer Distanz von  $\bar{x} = 59,9$  m (SE = 3,5) gedrückt. Über den kamera-basierten Monitor erfolgt in dieser Geschwindigkeitsbedingung eine Reaktion bei  $\bar{x} = 64,5$  m (SE = 3,8). In der 50 km/h Bedingung erfolgt der Tastendruck der Probanden bei  $\bar{x} = 68,3$  m (SE = 3,5), wenn diese das Referenzfahrzeug über den Außenspiegel beobachten. Erfolgt die Beobachtung des sich nähernden Referenzfahrzeuges über den Monitor, so wird ein sicherer Fahrstreifenwechsel bei einer Distanz von  $\bar{x} = 68,8$  m (SE = 3,4) angenommen. Hierbei zeigt sich eine tendenzielle



**Bild 62:** Mittelwerte der geschätzten Distanz abhängig von der tatsächlichen Distanz unter Verwendung des Außenspiegels und des KMS

Annäherung der Schätzwerte für den letzten sicheren Moment beider verwendeter Systeme.

Insgesamt bildet sich in den Mittelwerten der Haupteffekt der Geschwindigkeit des Referenzfahrzeuges ab. Dementsprechend zeigt sich, je schneller das Fahrzeug sich nähert, desto höher ist die Distanz zum Referenzfahrzeug, bei der nicht mehr ausgesichert wird.

Die Ergebnisse in Bild 62 zeigen, wie die Probanden die Entfernung zum stehenden Referenzfahrzeug (5 m, 12,5 m, 20 m) mittels Außenspiegel und KMS einschätzen. Statistisch zeigt sich ein signifikanter Haupteffekt der Distanz des Fahrzeugs ( $F(2,14) = 182.3$ ;  $p = .000$ ) sowie ein signifikanter Haupteffekt des Systems ( $F(1,39) = 5.203$ ;  $p = .028$ ).

Dementsprechend schätzen die Probanden die Distanz zum stehenden Referenzfahrzeug bei Nutzung des KMS näher ein als bei Nutzung des herkömmlichen Außenspiegels. Bei der größten Entfernung von 20 m wird bei Nutzung des AS die Distanz sogar überschätzt.

### Experiment II – Ergebnisse des Blickverhaltens auf der Autobahn

Von insgesamt 42 Versuchspersonen konnten auf Grund mangelnder Rohdatenqualität die Daten nur von 24 Versuchspersonen (zwölf weiblich, zwölf männlich) für die Analyse des Blickverhaltens verwendet werden. Der Altersdurchschnitt betrug 51,6 Jahre (SD = 16,6).

- Einfädeln in den fließenden Verkehr

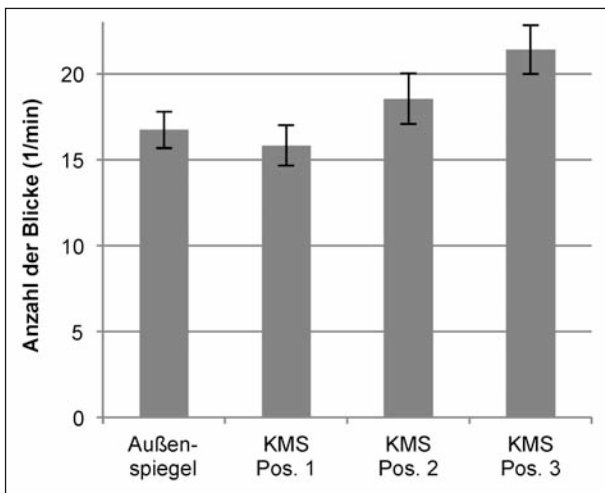
Bild 63 und Bild 64 zeigen die Ergebnisse des Blickverhaltens auf der Autobahn. Es zeigen sich signifikante Effekte des Systems bezogen auf die Häufigkeit der Blickzuwendungen ( $F(3,19) = 5,87$ ;  $p = .005$ ) und die Blickdauer ( $F(3,19) = 5,87$ ;  $p = .019$ ).

- Überholen (Spurwechsel links)

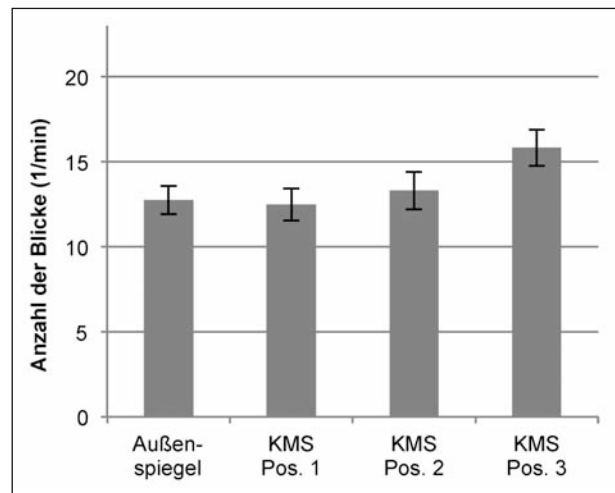
Die durchschnittliche Dauer des Überholungsvorgangs (Zeitspanne zwischen Ausscheren und Wiedereinfädelung) beträgt im Mittel 16 s. Dies ist unabhängig davon, welches System Verwendung

findet (Außenspiegel oder KMS). Die Analyse der Blickzuwendungen in Abhängigkeit von der Nutzung der Systeme (Bild 65 und Bild 66) ergibt keinen signifikanten Effekt des Systems bezogen auf die Blickhäufigkeit ( $F(3,19) = 2,92$ ;  $p = .06$ ) und die mittlere Dauer der Blickzuwendungen ( $F(3,19) = 1,65$ ;  $p = .214$ ).

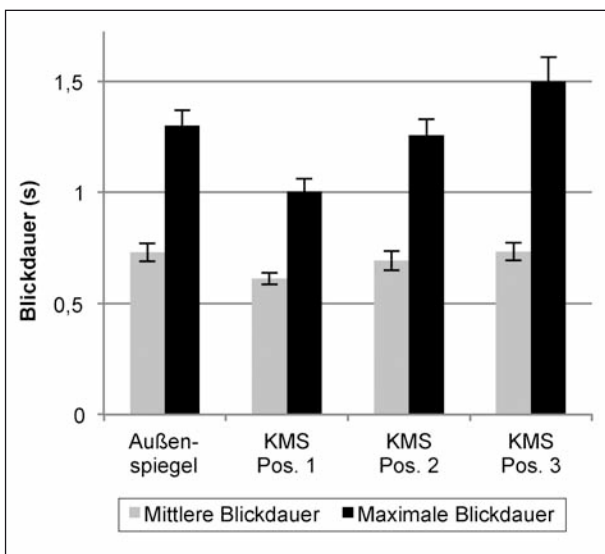
Im Vergleich zum herkömmlichen Außenspiegel ist eine erhöhte Anzahl von Blickzuwendungen erkennbar, wenn der rechte und der linke Monitor nahe dem herkömmlichen Außenspiegel an der A-Säule (Position 3) positioniert sind. Dies indiziert eine erhöhte Verfügbarkeit von Informationen auf diesem Monitor. Eine reduzierte Blickdauer lässt



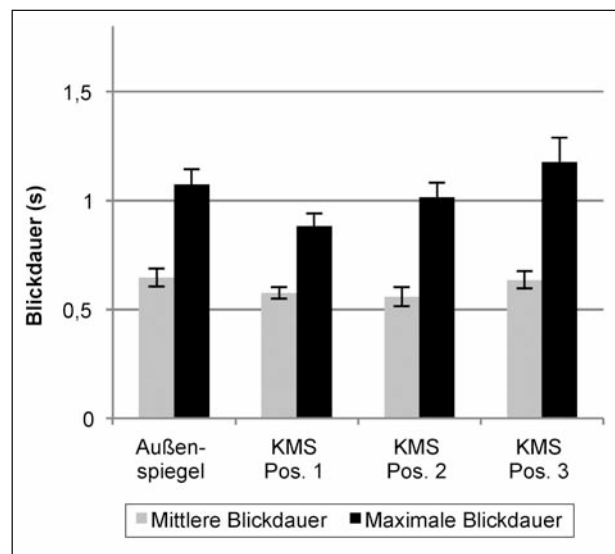
**Bild 63:** Mittelwerte der Blickanzahl pro Minute beim Einfädeln in den fließenden Verkehr abhängig von dem verwendeten System (Außenspiegel (AS) oder KMS in Position 1, 2 oder 3)



**Bild 65:** Mittlere Anzahl der Blickzuwendungen beim Überholen abhängig von dem verwendeten System (Außenspiegel (AS) oder KMS in Position 1, 2 oder 3)



**Bild 64:** Mittlere Blickdauer beim Einfädeln in den fließenden Verkehr abhängig von dem verwendeten System (Außenspiegel (AS) oder KMS in Position 1, 2 oder 3)



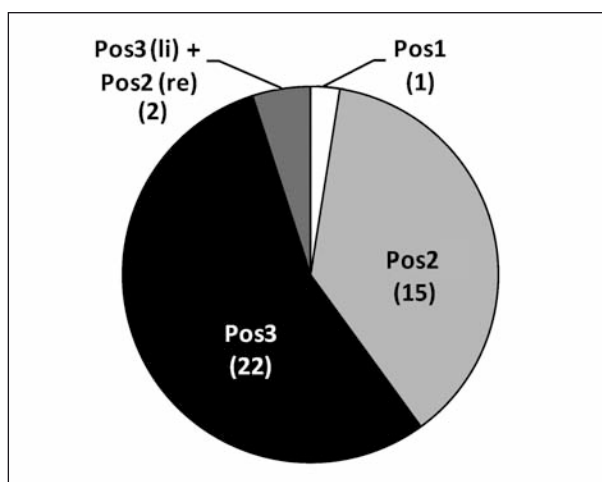
**Bild 66:** Mittlere Blickdauer beim Überholen abhängig von dem verwendeten System (Außenspiegel (AS) oder KMS in Position 1, 2 oder 3)

sich für die Monitorposition 1 erfassen, d. h. wenn sich die beiden Monitore in Höhe des Türpanels befinden (vgl. Bild 7). Das bedeutet, die Monitore, die sich eher im unteren Bereich des Sehfeldes befinden, werden von den Versuchspersonen weniger berücksichtigt.

Die Analyse der Häufigkeitsverteilung der maximalen Blickdauer über alle Probanden zeigt zudem, dass lediglich drei von 24 Versuchsteilnehmern die kritische Blickabwendungszeit von zwei Sekunden bei KMS-Position 2 und 3 überschreiten. Zu Beginn des Überholens (Spurwechsel nach links) ist nur von zwei Versuchspersonen, jeweils beim Blick in den Außenspiegel und auf KMS-Position 2, die Blickabwendungszeit von zwei Sekunden überschritten. Bei Beendigung des Überholvorgangs (Spurwechsel nach rechts) wird die Blickabwendungszeit von zwei Sekunden von keiner Versuchsperson überschritten.

- Monitorposition und Akzeptanz des KMS

Bild 67 zeigt, welche Monitorposition von den Probanden bevorzugt wird. Mehr als die Hälfte der Probanden (22) bevorzugten die Position 3, während 15 Probanden (38 %) die Position 2 präferieren. Lediglich eine Versuchsperson entschied sich für Position 1. Zwei Personen wählten die Monitorposition 3 (linke Seite) sowie die Monitorposition 2 (rechte Seite) für die hilfreichste Variante. Die Analyse der Akzeptanzbeurteilung des KMS ergab, dass die Akzeptanz unabhängig von der gewonnenen Erfahrung der Versuchspersonen ist – d. h. egal ob und wie lange das KMS von den Probanden genutzt wird, die Akzeptanz bleibt unverändert.



**Bild 67:** Anteile der Probandengruppe, die die jeweilige KMS-Position bevorzugten

## Beurteilung des KMS durch die Probanden

Um der Frage nachzugehen, ob die Integration und Nutzung des KMS im Fahrzeug Auswirkungen auf die Fahrer-Fahrzeug-Interaktion hat, erhielten alle Probanden Fragebögen zur subjektiven Bewertung des KMS. Die Bewertungskriterien umfassten im Wesentlichen das Einparken, Fahrstreifenwechsel, Tunnelfahrt, mehrstreifiger Kreisverkehr, tiefstehende Sonne, Nacht/Dunkelheit, Kontrast/Farbe. Die Ergebnisse werden zusammenfassend dargestellt.

- Meinung der Probanden in der Expertengruppe

Vor Beginn des Experiments hatte die Gruppe der Experten die Möglichkeit, sich durch Fahrten im Straßenverkehr an das KMS zu gewöhnen. Die Auswertung der Fragebögen erbrachte folgende Ergebnisse:

- Fünf von zehn Experten gaben an, dass beim Fahrstreifenwechsel auf der BAB das Abschätzen der Distanz und Geschwindigkeit nachfolgender Fahrzeuge schwierig sei.
- Vier von sechs Experten fanden die Durchfahrt durch den mehrstreifigen Kreisverkehr schwierig, da das Bild in der Kurvenfahrt durch den breiten asphärischen Bereich verzerrt war.
- Vier von neun Experten hatten Schwierigkeiten beim Abschätzen der Entfernung während des Einparkens.
- Vier von sieben Personen gaben an, während der Durchfahrt durch einen Tunnel die Informationen auf dem Monitor nicht ausreichend erkennen zu können, da die Scheinwerfer die Umgebung stark überblendeten. Zudem war bei Dunkelheit auf dem Monitor kaum etwas zu erkennen (z. B. Fahrbahnmarkierung, räumliche Verortung anfahrender Fahrzeuge).

- Meinung der Gesamtstichprobe

Eine negative Bewertung erhielt das KMS zu den Kriterien Abstand/Geschwindigkeit und räumlicher Tiefe. Hier gaben 18 von 20 Probanden an, die unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Fahrzeuge auf Grund fehlender räumlicher Tiefe nur schwer wahrzunehmen. Ebenso erlebten 14 von 20 Probanden die Fahrt durch Regen als störend, da die Fahrzeuglichter auf der Fahrbahn reflektierten. Positiv bewertet wurde das System von der Mehrheit in Bezug auf einen reduzierten toten Winkel und das größere Sichtfeld im Bereich hinter dem eigenen Fahrzeug.



## 4.2 Lkw-Studie

Im Anschluss an die KMS-Studie im Pkw wurden auch die Eigenschaften eines KMS sowie psychologische Fragestellungen in Bezug auf die Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) im Lkw untersucht.

### 4.2.1 Stichprobe

An dem Versuch nahmen insgesamt 10 männliche Versuchspersonen teil. Alle Probanden waren Mitarbeiter der Bundesanstalt für Straßenwesen. Das Durchschnittsalter betrug 51,1 Jahre (SE = 2.4). Acht der zehn Versuchspersonen fuhren im Durchschnitt seit 11,4 Jahren keinen Lkw mehr. Die Hälfte der Versuchspersonen hatte durch die Teilnahme an dem Experiment mit dem Pkw Vorerfahrungen mit dem Kamera-Monitor-System.

Vor der Teilnahme an dem Experiment erhielten alle Probanden einen demografischen Fragebogen, in dem Fragen zur Sehhilfe, zum letzten Besuch beim Augenarzt, zu Fahrerfahrungen mit dem Lkw sowie zur routinemäßigen Nutzung der Außenspiegel beantwortet werden mussten. Alle Versuchspersonen waren aktive Pkw-Fahrer und im Besitz der Führerscheinklasse C bzw. CE. In Bezug auf ihre Sehleistungen erfüllten alle Teilnehmer die Mindestanforderungen an das Sehvermögen gemäß Anlage 6 der Fahrerlaubnis-Verordnung (FeV).

### 4.2.2 Versuchsdurchführung

Vor Beginn des Experiments erhielten alle Probanden die relevanten Informationen zur Durchführung des Experiments und zur Einhaltung der datenschutzrechtlichen Bestimmungen. Die Probanden stimmten der Teilnahme an dem Experiment mit ihrer Unterschrift zu.

## Versuchsablauf

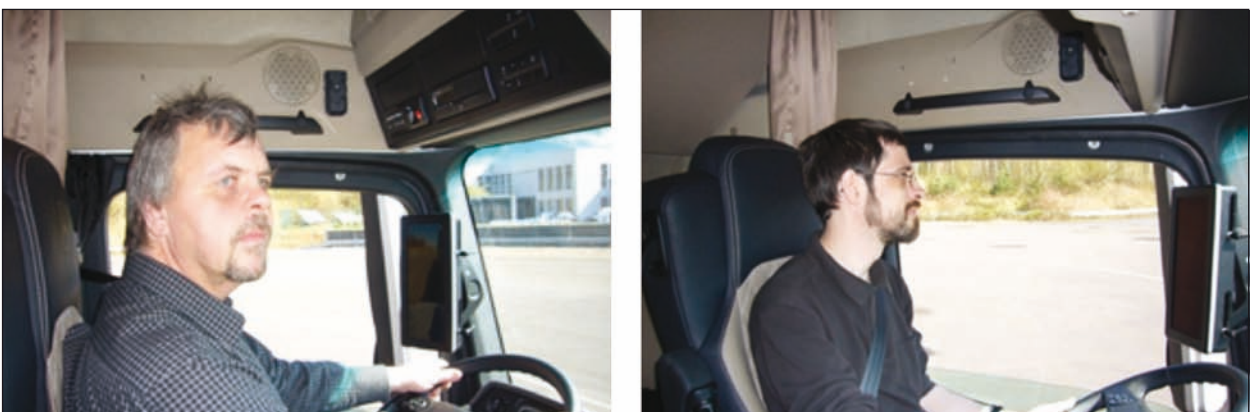
Zur Beurteilung des KMS wurden eine Probefahrt auf einem Testgelände sowie zwei Realfahrten im öffentlichen Straßenverkehr mit den Versuchspersonen durchgeführt. Die Probanden bewerteten das Kamera-Monitor-System anhand vorgegebener Kriterien mittels spontaner Äußerungen und Fragebögen. Zur Eingewöhnung absolvierten die Versuchspersonen zunächst eine Probefahrt auf der Versuchsanlage der BAST (s. Bild 68) unter Nutzung beider Systeme. Bei neun von zehn Fahrten schien die Sonne mit deutlicher Schattenbildung. Während einer Fahrt war wenig Sonnenschein, es war überwiegend diesig.

Die Probefahrt auf der FTVA dauerte ca. 20 Minuten und umfasste Szenarien wie Geradeausfahrt, Kurven- und gerade Rückwärtsfahrt. Vor der Probefahrt erhielten die Versuchspersonen Erläuterungen zum Versuchsablauf, eine Einführung in das Bediensystem des Lkw sowie Informationen zum Kamera-Monitor-System. Die Dauer des Experiments betrug insgesamt ca. 2 Stunden.

### 4.2.3 Experiment I: Distanzschätzung

Die Distanzschätzung erfolgte auf der Versuchsanlage der BAST durch rückwärtiges Heranfahren an zwei Pylonen rechts und links vom Ende des Aufliegers (s. Bild 69 und Bild 70). Als Maß für die Entfernungsschätzung wurden 4 m gewählt.

Die Pylonen hatten eine Höhe von einem Meter und der Abstand zwischen beiden Pylonen betrug 3.20 m. Für die Distanzschätzung begann die Hälfte der Probanden das rückwärtige Heranfahren an die Pylonen zuerst mit dem Spiegelsystem, dann mit dem KMS, die andere Hälfte begann zuerst mit dem KMS, dann mit dem Spiegelsystem. Bei der



**Bild 68:** Probanden während der Probefahrt auf der FTVA der BAST mit Blick in den linken oder rechten Monitor



**Bild 69:** Rückwärtiges Heranfahren an zwei Pylone zur Distanzschätzung



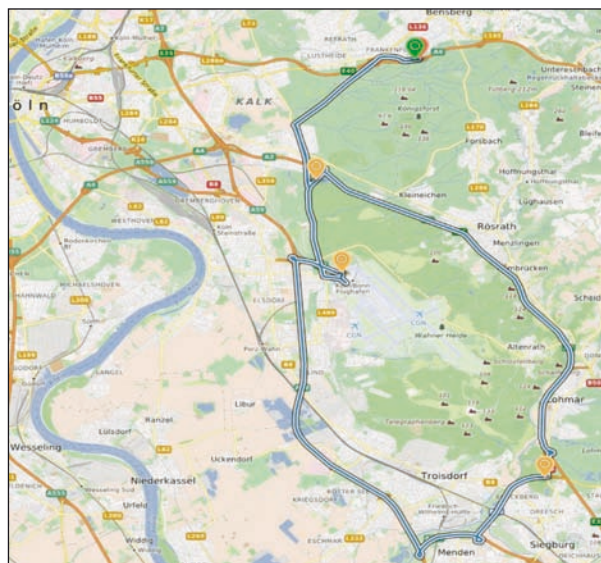
**Bild 70:** Abstand Ende des Aufliegers zu den Pylonen

Rückwärtsfahrt in der Bedingung KMS wurden die Außenspiegel zurückgeklappt.

#### 4.2.4 Experiment II: Realfahrten

Alle Versuchspersonen trauten sich nach der 20-minütigen Eingewöhnungsfahrt auf der Freifläche zu, in den öffentlichen Straßenverkehr zu fahren. Keiner der Probanden hatte den Versuch abgebrochen oder geäußert, die Außenspiegel während der Fahrt als zusätzliche Hilfe zu benötigen.

Die erste Realfahrt im öffentlichen Straßenverkehr erfolgte auf der Autobahn/Landstraße und diente der Eingewöhnung der Probanden an den Lkw und an das KMS, da die überwiegende Mehrheit der Probanden mehrere Jahre keinen Lkw gefahren waren. Die erste Fahrt erfolgte daher in Begleitung eines Technikers, der die Probanden in die Bedienelemente einwies und mit dem KMS vertraut machte. Somit war sichergestellt, dass sich die



**Bild 71:** Route, die jeder Proband durchfuhr

Probanden während der zweiten Realfahrt besser auf das KMS konzentrieren konnten.

Die zweite Realfahrt wurde von der Versuchsleiterin (Psychologin) begleitet, die während der Fahrt die von der Versuchsperson spontan geäußerten Kommentare zum KMS notierte und die Probanden anhand vorgegebener Kriterien (Wahrnehmung von Differenzgeschwindigkeiten; Durchfahrt durch den Kreisverkehr/Ortschaft; Erkennbarkeit von entfernten Objekten) zur subjektiven Einschätzung befragte und die Antworten dokumentierte. Am Ende der Realfahrten erhielten die Probanden nochmals einen Fragebogen. Die Streckenlänge je Realfahrt betrug insgesamt 57 km, davon 29 km BAB und 28 km Landstraße (s. Bild 71). Die Route erfolgte über Heumarer Mauspfad – Richtung Flughafen Köln/BN – Kreisverkehr – A 59 Richtung BN/Frankfurt – A 560 Richtung Frankfurt/Siegburg – Abfahrt auf Landstraße 56 Richtung Much – A 3 Richtung Köln – Abfahrt Königsforst – Richtung GL Bensberg.

#### 4.2.5 Ergebnisse

Die qualitative Auswertung der Fragebögen erfolgte über die Anzahl positiver und negativer Anmerkungen zum KMS und Häufigkeitsberechnungen. Für die Auswertung der Distanzschätzung wurde ein paariger t-Test berechnet.

#### Auswertung der selbstgenannten Auffälligkeiten

- Positive Anmerkungen
  - System ist ungewohnt, man kann sich aber daran gewöhnen (10 Versuchspersonen),

- weniger Verschmutzung (2),
  - Nachteile des Weitwinkelspiegels (verzerrtes Bild, starke Krümmung) wird durch Kamera-Monitor-System ausgeglichen (1),
  - Aerodynamik (1),
  - bessere direkte Sicht aus den Fenstern wegen Wegfall der AS (3),
  - Kraftstoffersparnis (1),
  - Stirnwand des Auflegers im Monitor gut sichtbar (1),
  - keine Kopfbewegung erforderlich (1).
- Negative Anmerkungen
    - Kontrast und Farbgebung zu gering; Farbgebung z. T. nicht realistisch (8),
    - Schattenbildung zu stark, sodass Verkehrsteilnehmer, Objekte wie Bordstein und Abstände im Schattenbereich des Auflegers nicht hinreichend gesehen bzw. geschätzt werden können (zu dunkel) (7),
    - Objekte sind auf dem Display kleiner dargestellt (7),
    - Display könnte größer sein, insbesondere auf dem rechten Monitor (5),
    - Flackern/Zittern des Bildes beim Abbiegen (insbesondere beim Anfahren, Abbiegen) (3),
    - Position linker Monitor zu nah, wenn Weit-sichtigkeit durch Gleitsichtbrille nicht kompensiert wird; sollte weiter nach hinten zur Frontscheibe platziert werden (3),
    - Position rechter Monitor zu weit weg; Objekte sind noch schlechter erkennbar (3),
    - Sicherheitsgefühl im Vergleich zum Spiegel herabgesetzt (3),
    - Durchfahrt durch den Kreisverkehr stört (eher) (3),
    - Staub und Fingerabdrücke sichtbar, die störend sind (3).
  - Wünsche der Probanden
    - manuelle Einstellung zur Verbesserung des Kontrasts, der Farbe und Größe von Objekten (2),
    - Abdeckungen oben und seitlich am Monitor, damit Blendung verhindert wird (1).

### Experiment I – Ergebnisse der Distanzschätzung

Die Probanden erhielten die Aufgabe, mithilfe des Außenspiegels und mithilfe des Kamera-Monitor-Systems bis auf 4 m an die Pylonen rückwärts heranzufahren. Während der Nutzung des Kamera-Monitor-Systems wurden die Außenspiegel zurückgeklappt.

Bild 72 verdeutlicht, dass kurze Distanzen (hier 4 m) bei Nutzung des Außenspiegels deutlich überschätzt werden, d. h. es wird weiter als 4 m von den Pylone entfernt gehalten ( $M = 7,5 \text{ m}$ ; t-Test gegen 4:  $p < .01$ ). Dies ist beim KMS nicht der Fall ( $M = 5,5 \text{ m}$ ; t-Test vs. 4:  $p = .13$ ). Für eine Versuchsperson (Nr. 5) konnte nur der Schätzwert mittels Außenspiegel für die Auswertung verwendet

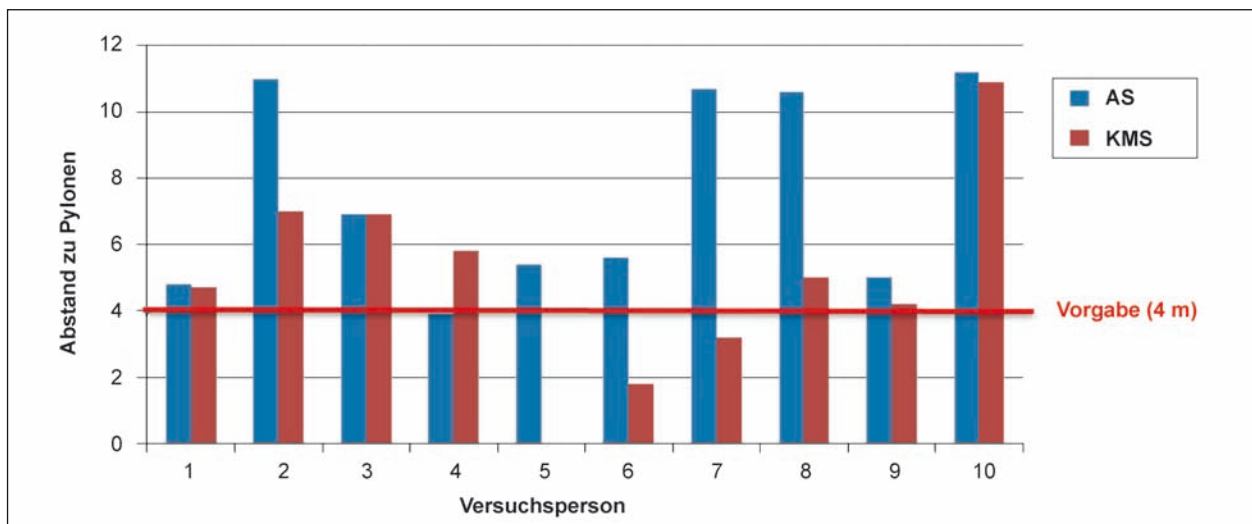


Bild 72: Schätzung der Distanz zu den Pylonen

werden. Der Unterschied zwischen Außenspiegel und KMS ist zwar nicht signifikant, zeigt aber eine eindeutige Tendenz (gepaarter t-Test:  $p = .062$ ).

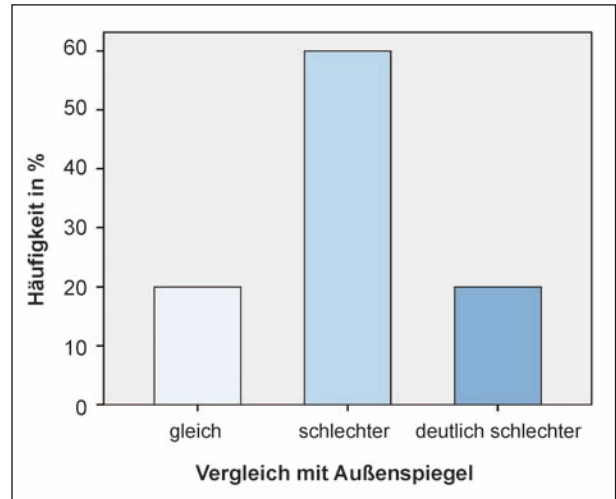
Wie Bild 75 zeigt, beurteilen knapp 60 % der Probanden die Erkennbarkeit von weit entfernten Objekten durch das KMS schlechter als durch einen Außenspiegel.

**Experiment II – Ergebnisse der Realfahrten**

Im Folgenden sind die Ergebnisse zu den Bewertungskriterien Erkennbarkeit, Farb- und Bildqualität, Monitorposition, Fahrsituation, Distanzschätzung grafisch dargestellt.

- Erkennbarkeit

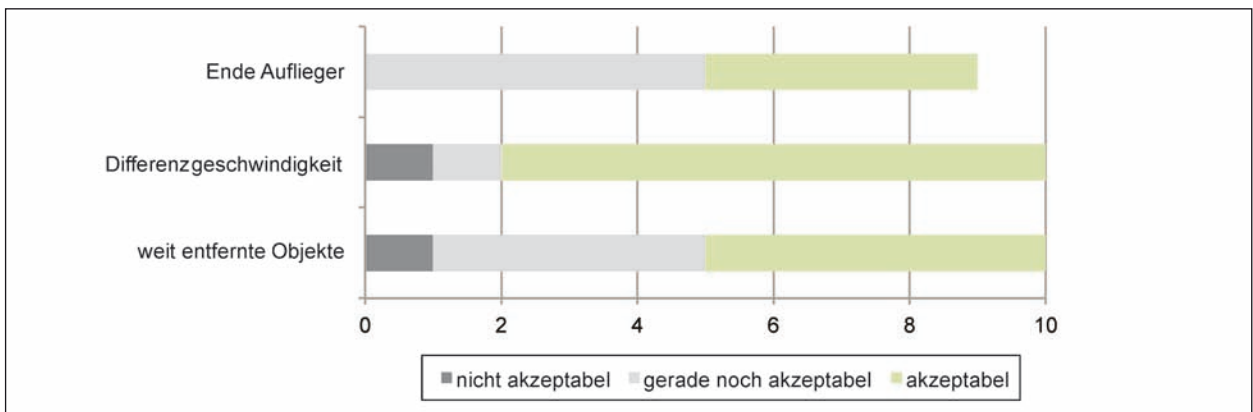
Bild 73 zeigt, dass die Differenzgeschwindigkeit von den Probanden besser erkannt wurde, als weiter entfernte Objekte und das Ende des Auflegers. Diese eingeschränkte Erkennbarkeit wird von den Probanden auch eher als störend empfunden (s. Bild 74). Eine Versuchsperson machte zu dem Punkt „Erkennbarkeit des Endes des Auflegers“ keine Angaben.



**Bild 75:** Vergleich KMS mit Außenspiegel hinsichtlich der Erkennbarkeit von weit entfernten Objekten



**Bild 73:** Einschätzung des Störungsgrades zur Erkennbarkeit



**Bild 74:** Grad der Akzeptanz zur Erkennbarkeit



• Bewertung der Fahrsituation

Die Durchfahrt mit dem Lkw durch einen Kreisverkehr und durch eine Ortschaft wird von der Mehrheit der Probanden als akzeptabel bewertet. Das Umfahren eines Kreisverkehrs wurde von drei Probanden als eher störend wahrgenommen (s. Bild 76 und Bild 77).

• Angaben zur Bildqualität (Helligkeit/Kontrast, Farbwiedergabe, Bildschärfe)

Die Bildqualität des KMS wird von der Mehrheit der Probanden schlechter bewertet als beim Außenspiegel (s. Bild 78).

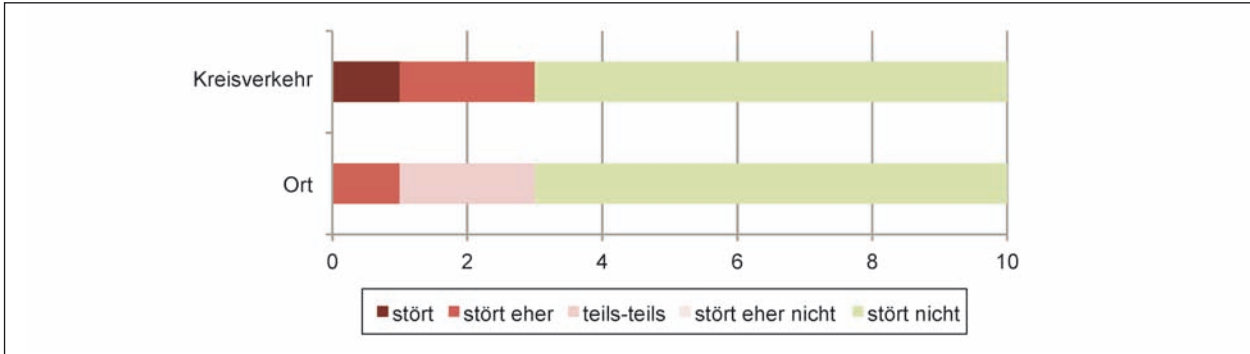


Bild 76: Einschätzung des Störungsgrades zur Fahrsituation

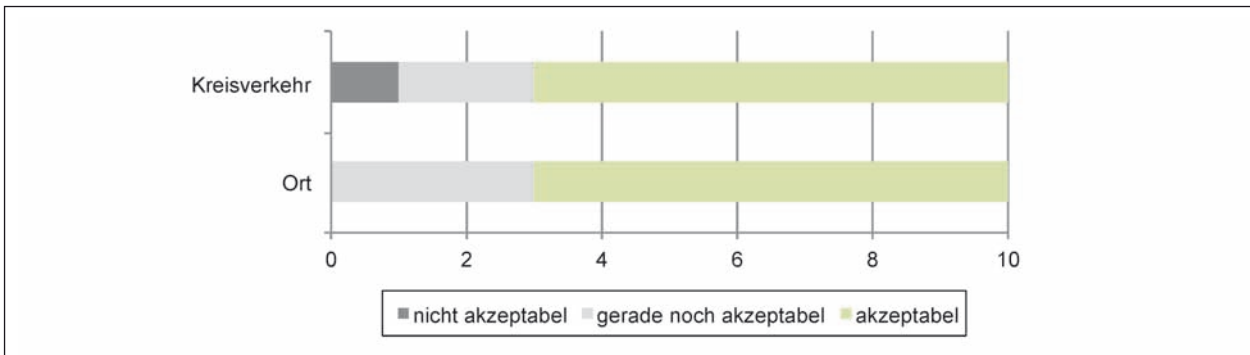


Bild 77: Grad der Akzeptanz der Fahrsituation

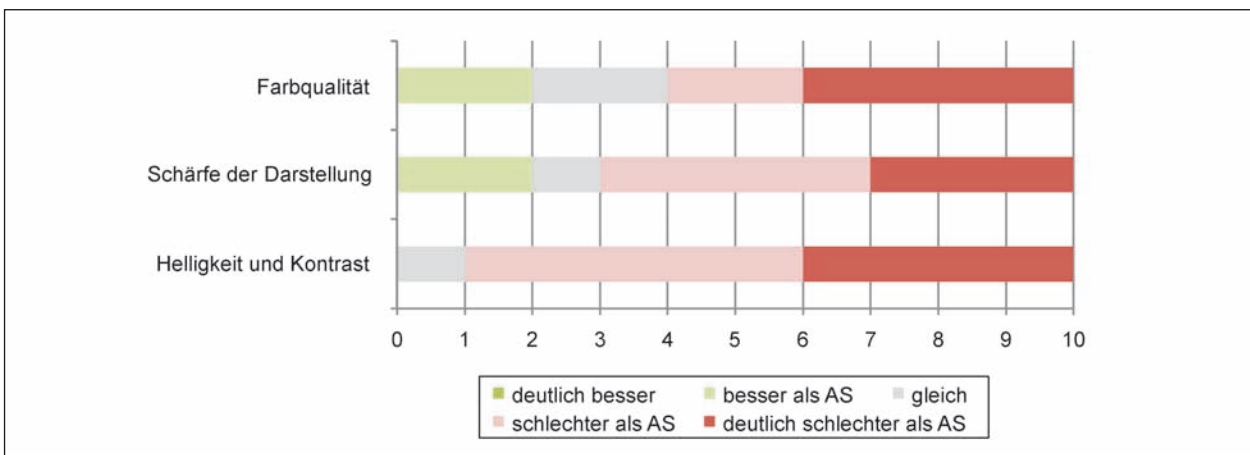


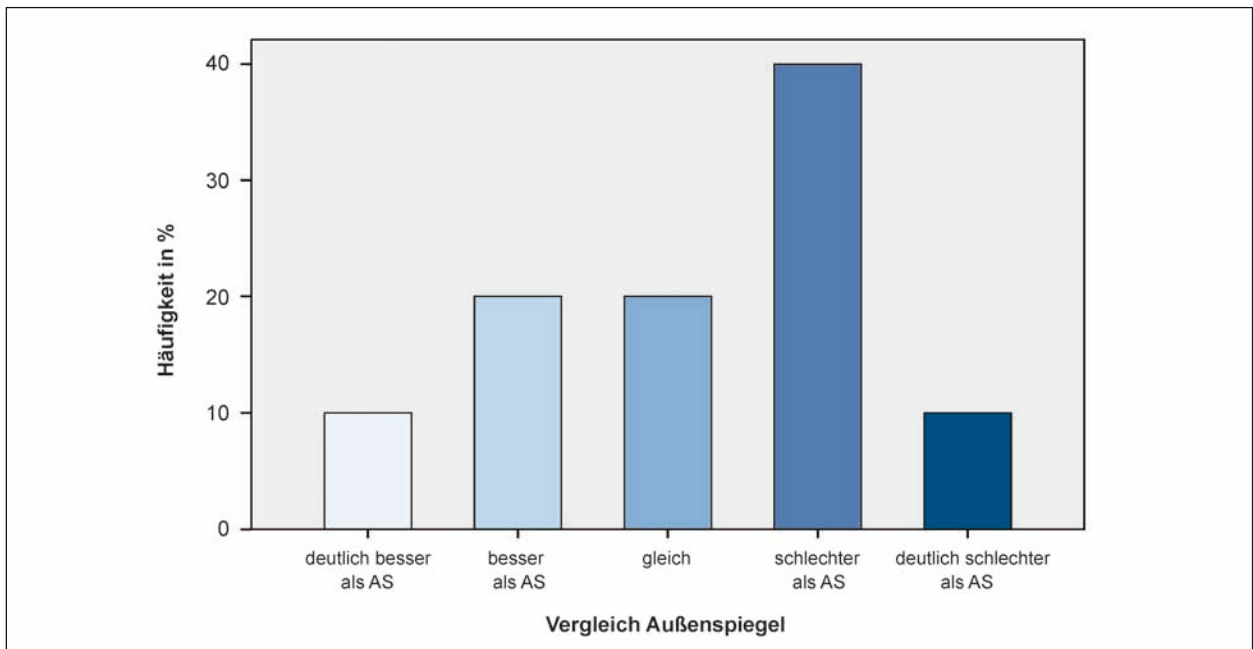
Bild 78: Vergleich KMS mit Außenspiegel hinsichtlich der Bildqualität

- Angaben zur Displayposition

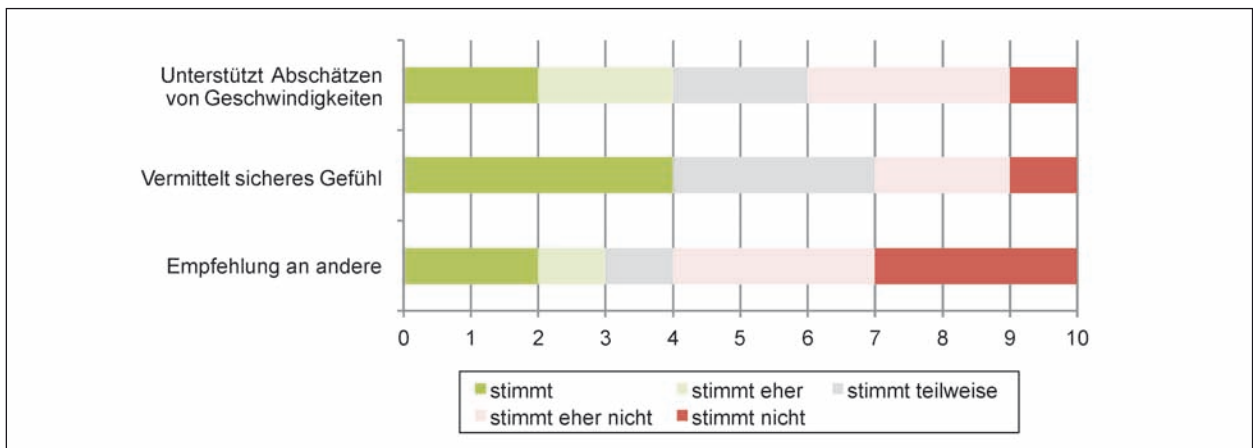
Die Displayposition der Monitore wird von knapp 40 % der Probanden schlechter beurteilt als die Außenspiegel (s. Bild 79). Bei der Befragung während der Fahrt stellte sich heraus, dass sich 40 % der Probanden wünschten, der linke Monitor sei weiter weg positioniert, das sich jedoch durch das Tragen einer Gleitsichtbrille korrigieren ließe. 30 % der Probanden beurteilten den rechten Monitor als zu weit vom Fahrer entfernt. Da die Objekte auf dem Monitor ohnehin verkleinert wahrgenommen werden, scheinen sie aus der Entfernung noch schlechter erkannt zu werden.

- Bewertung des KMS (Unterstützung bei der Geschwindigkeitsschätzung, Vermittlung eines Sicherheitsgefühls, Weiterempfehlung)

Die grüne Zone in Bild 80 zeigt, dass vier von zehn Versuchspersonen angaben, dass das System beim Abschätzen von Geschwindigkeiten unterstützt und insgesamt ein sicheres Gefühl vermittelt. Vier Personen würden das System in der vorliegenden Form weiterempfehlen.



**Bild 79:** Vergleich KMS mit Außenspiegel hinsichtlich der Displayposition



**Bild 80:** Bewertung des KMS durch die Probanden

## 5 Bewertung der Ergebnisse

### 5.1 Technische Aspekte

Mit der Bewertung der technischen Eigenschaften eines KMS hat diese Studie Vor- und Nachteile von KMS im Bezug auf konventionelle Außenspiegel aufgezeigt.

Hinsichtlich des Sichtfeldes nach hinten hat das KMS den gesetzlich geforderten Bereich komplett abgedeckt und sogar den Bereich des toten Winkels verkleinert, was grundsätzlich positiv im Sinne der Sicherheit zu bewerten ist. Die dafür notwendige stärkere horizontale Verzerrung erschwert allerdings damit die Bewertung von Distanz und Geschwindigkeit des nachfolgenden Verkehrs im asphärischen Teil des Sichtfeldes. Um den Wechsel zwischen Fahrzeugen mit herkömmlichen Spiegeln und KMS möglichst unproblematisch zu gestalten, sollte die elektronische Wiedergabe im KMS an den bisher üblichen geometrischen Darstellungen orientiert werden.

Für die Positionierung von Kamera und Monitoren sind Einbauorte auszuwählen, die die Rundumsicht des Fahrers in Bezug auf die direkte Sicht möglichst nicht beeinträchtigen und gleichzeitig möglichst ergonomisch ausgelegt sind. Es ist sinnvoll, dass der Fahrer nicht schräg auf den Monitor blickt und dies durch eine Einstellmöglichkeit zu ermöglichen, um eine optimale Bildqualität hinsichtlich Farbwiedergabe, Kontrast sowie Leuchtdichte sicherzustellen.

Während des Betriebs muss ein KMS bei sehr unterschiedlichen z. T. schnell wechselnden Umgebungsbedingungen die Informationsdarbietung verlässlich bewerkstelligen. Im Vergleich zum Spiegel gibt es Situationen, in denen die Erkennbarkeit des rückwärtigen Sichtfeldes besser und in anderen Fällen weniger gut mit dem KMS ermöglicht wurde.

Als positiv bewertet wurde das Ausbleiben physiologischer Blendung bei Sonnentiefstand oder eingeschalteten Fernlichtern des nachfolgenden Verkehrs, wie sie bei einem Spiegel vorkommen kann. Des Weiteren zeigt ein KMS weniger Anfälligkeit bei normalen Regen in Bezug auf Beeinträchtigung durch Wassertropfen oder Schlierenbildung oder wegen Verschmutzung.

Ein dynamischer Beleuchtungswechsel, wie er bei Tunnellein- oder Ausfahrten oder bei Schlagschat-

ten einer Baumallee auftreten kann, stellt ein KMS vor eine Herausforderung. Durch das Zusammenwirken mehrerer Komponenten wird die optimale Darstellung beim KMS in solchen Situationen zeitweise erst nach einer gewissen Reaktionszeit (bis zu etwa zwei Sekunden) erreicht.

Wegen der nur begrenzten Darstellungsmöglichkeit von Farbnuancen und Leuchtdichteunterschieden zeigten sich in der Studie Situationen, in denen wichtige Bilddetails nicht oder nur schwer erkannt wurden. Hier wäre eine bessere und realitätsnähere Wiedergabe der Farb- und Grauwerte wünschenswert.

In Bezug auf den darstellbaren Kontrast ergaben die Versuche bei dunkler Umgebung eine bessere Wiedergabe durch das KMS. Demgegenüber wies der Spiegel tagsüber in einer hellen Umgebung einen größeren Kontrast auf. Hier zeigte sich die Möglichkeit der Kontrastverstärkung beim Monitor, wenn die Lichtverhältnisse schwach sind, und die Grenzen der Leuchtdichte des Monitors, wenn die Lichtverhältnisse sehr hell sind.

Als negativ wurden bei dem getesteten KMS die Reflexionen von einfallendem Licht auf dem Abdeckglas des Monitors bewertet, denn in solch einer Situation ist der Bildinhalt nicht oder nur kaum zu erkennen. Vor allem auf der Beifahrerseite kam es zu Reflexionen, die beim Rechtsabbiegen zum Übersehen anderer Verkehrsteilnehmer führen könnten. Hier ist es angezeigt, Abhilfe zu schaffen durch einen anderen Einbauort, eine Abschirmung der Sonnenstrahlen oder eine reflexmindernde Schutzschicht. In umgekehrter Weise können diese Maßnahmen dazu beitragen zu vermeiden, dass sich das Monitorbild im Fahrzeuginneren an anderen Flächen spiegelt.

Da ein KMS bei Wegfall von Spiegeln eine sicherheitsrelevante Einrichtung am Fahrzeug wäre, ist es sehr wichtig, es ausfallsicher zu gestalten. Es muss gewährleistet sein, dass Betriebsbereitschaft unmittelbar nach Einschalten vorliegt und das KMS jederzeit funktionstüchtig ist. Dies betrifft die Spannungsversorgung sowie auch die elektrische Absicherung. Es wäre zu überlegen, in wie weit eine Statusüberwachung mit entsprechender Signalisierung für den Fahrer und ggf. eine Redundanz vorzusehen ist. Die einzelnen Komponenten des KMS sind durch geeignete Maßnahmen verträglich für elektromagnetische Strahlung auszuführen.

Im Rahmen der Versuche zeigte sich das KMS unempfindlich gegenüber Erwärmung (wie sie z. B. durch Sonnenstrahlung auftreten kann). Problematisch hingegen war die Empfindlichkeit gegenüber kalten Klimabedingungen, die zu Tau, Beschlag oder Vereisung führen können. Daher ist eine Heizung für das KMS sinnvoll.

Um optische Artefakte bei der Bildverarbeitung zu vermeiden, sind Komponenten (Objektiv, Kamerachip usw.) einer möglichst hohen Qualität zu verwenden. Dies betrifft auch die Auflösung des Systems für eine gute Detailwiedergabe.

Wichtig für eine optimale Funktion ist das schnelle und präzise Regeln der Kamera auf wechselnde Umgebungsbeleuchtung u.a. der Blende. Des Weiteren sollte in Bezug auf Helligkeit und Kontrast eine automatische Anpassung des Monitors an die Umgebungsbedingungen Standard sein, zusätzliche manuelle Einstellmöglichkeiten wurden als sinnvoll erachtet.

Wie hoch die Abtastraten und Wiedergabefrequenzen bei einem KMS mindestens sein müssen, um getaktete Lichtsignale (z. B. Wechselverkehrszeichen oder Hinweisschilder der Polizei) verlustfrei darzustellen, wurde nicht geklärt. Es ist wichtig, dass das KMS die Situation ohne Zeitverzug darstellt.

Wenn durch das KMS auch ein Kraftstoffersparnis-effekt erzielt werden soll, ist darauf zu achten dass der Energieverbrauch des KMS kleiner ist als die Energieeinsparung durch die aerodynamische Optimierung.

## 5.2 Aspekte der Mensch-Maschine-Interaktion

In der vorliegenden Studie wurden verkehrsrelevante Wahrnehmungsaspekte unter Verwendung eines Kamera-Monitor-Systems als Ersatz für Außenspiegel erhoben. Die Angaben von Probanden zum letzten sicheren Moment vor einem herannahenden Fahrzeug einen Fahrstreifen zu wechseln, sollten dabei Rückschlüsse über die Wahrnehmung von Entfernung im Monitor geben.

Die Annahme, dass der Fahrstreifenwechsel über das KMS zu einem früheren Zeitpunkt als nicht mehr sicher eingeschätzt wird, konnte statistisch nicht bestätigt werden. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied in Abhängigkeit des verwendeten Systems.

Im Mittelwertvergleich zeigte sich in der Tendenz, dass im niedrigen Geschwindigkeitsbereich (20 und 35 km/h) mit dem KMS bei größeren Abständen ausgeschert wird als unter Verwendung des Außenspiegels. Dies deutet auf eine unkritische Fehlschätzung der Geschwindigkeit und Distanz des herannahenden Fahrzeuges hin.

Ferner zeigt sich ein hoch signifikanter Haupteffekt der Geschwindigkeit des Referenzfahrzeuges. Demzufolge wird mit zunehmender Geschwindigkeit des Referenzfahrzeuges die Distanz größer, bei der ein Fahrstreifenwechsel nicht mehr getätigt wird. Dieser Haupteffekt spricht dafür, dass die unterschiedlichen Geschwindigkeiten im Monitor wahrgenommen werden können.

Da kamerabasierte Monitore nur monokulare Tiefenkriterien dem Fahrenden zur Verfügung stellen, scheinen diese einen Tiefeneindruck zu schaffen. Andernfalls müsste der Proband immer zur selben Zeit den Tastendruck vornehmen. FLANNAGAN et al. (2001) untersuchten die Rolle von binokularen Tiefeninformationen bei der Schätzung einer relativen Distanz von zwei Fahrzeugen, die durch den Rückspiegel betrachtet wurden. Dabei musste der Proband die Schätzung einmal mit einem Auge und mit beiden Augen abgeben. Es zeigte sich, dass bei einer Distanz zwischen 20 bis 80 m keine Vorteile durch die Betrachtung mit beiden Augen gegeben waren. Die Distanzen, bei denen die Probanden dieser Studie den Fahrstreifenwechsel noch vornehmen würden, fallen in diesen kritischen Wertebereich. Dementsprechend ist auf Grundlage der Ergebnisse anzunehmen, dass okulomotorische, stereoskopische und bewegungsinduzierte Tiefenkriterien in den meisten Verkehrssituationen nicht von zentraler Bedeutung für den Fahrenden sind. Folglich suggerieren die Ergebnisse dieser Studie und die Studienergebnisse von FLANNAGAN et al. (2001), dass in diesem Entfernungsbereich kein negativer Effekt für die Nutzung des Kamera-Monitor-Systems zu erwarten ist.

Die tendenzielle Überschätzung der Geschwindigkeit und somit eine Unterschätzung der Distanz unter Verwendung des KMS scheint auf den ersten Blick positiv für die Verkehrssicherheit, da die Fahrzeuge als näher wahrgenommen werden als sie tatsächlich sind. Somit könnten riskante Fahrstreifenwechsel vermieden oder größere Lücken für den Fahrstreifenwechsel gewählt werden. Wie sich dieser Effekt bei unterschiedlicher Verkehrsdichte (Stau, stockender Verkehr) auswirkt, ist nicht ab-



schließlich geklärt und müsste in weiteren Forschungsarbeiten berücksichtigt werden. Steht dem Fahrenden der Innenspiegel zur Verfügung, so kann erwartet werden, dass durch den zusätzlichen Abgleich der Entfernung und Geschwindigkeit über den Innenspiegel eine realitätsnähere Schätzung möglich wäre und sich die hier gefundenen tendenziellen Fehlschätzung der Geschwindigkeit in Richtung tatsächlicher Geschwindigkeitswahrnehmung korrigieren (vgl. MORTIMER, 1971; MORTIMER & JØRGENSEN, 1974).

Zudem ist festzuhalten, dass sich die Distanzschätzungen im Mittel tendenziell annähern, wenn das Referenzfahrzeug sich mit 50 km/h nähert. Dementsprechend ist von besonderem Interesse, wie sich die Distanzschätzung im höheren Geschwindigkeitsbereich verhält. Kritisch hierbei wäre, wenn die Tendenz der Distanzunterschätzung ab einem bestimmten Geschwindigkeitsbereich sich umkehrt und in Richtung Distanzüberschätzung verläuft. Dies würde sich höchstwahrscheinlich negativ auf die Verkehrssicherheit auswirken, da Fahrzeuge als weiter entfernt wahrgenommen werden als sie tatsächlich sind. Da die Richtgeschwindigkeit auf deutschen Autobahnen bei 130 km/h liegt, empfiehlt sich eine Untersuchung der Distanz- und Geschwindigkeitswahrnehmung nach der verwendeten Methode zudem für diese Geschwindigkeit.

Die Annahme, dass Distanzen bei zunehmender Erfahrung mit dem KMS realistischer eingeschätzt werden, konnte statistisch nicht bestätigt werden. Allerdings zeigte sich ein Haupteffekt der Erfahrung ( $F(1,21) = 14.673$ ,  $p = .001$ ) unabhängig davon, welches System eingesetzt wird (KMS oder Außenspiegel). Die ‚Experten‘ scheren auch unter Benutzung des Außenspiegels später aus als die Novizen. Ob ein Training zur Nutzung des KMS zur Erhaltung der Verkehrssicherheit förderlich ist, könnte Gegenstand einer weiteren Studie sein.

Die Ergebnisse der Blickanalyse, bezogen auf das Ein- und Ausscheren während des Überholvorgangs, können wie folgt zusammengefasst werden: Im Vergleich zum herkömmlichen Außenspiegel ist unter Verwendung des KMS eine erhöhte Blickzuwendung ausschließlich auf den Monitor in Position 3 nachweisbar. Die verringerte Blickdauer auf die Monitorpositionen 1 und 2 (unterer Bereich des visuellen Blickfeldes) kann als Indikator einer geringeren Präferenz für diese Positionen interpretiert werden. Umgekehrt sprechen die häufigen Blickzuwendungen zum Monitor in Position 3 für eine aus-

reichende Verfügbarkeit von Verkehrsinformationen, wodurch sich eine hohe Akzeptanz für diese Position auszeichnet. Die geringeren Blickzuwendungen auf die Positionen 1 und 2 gehen vermutlich mit einer reduzierten visuell-räumlichen Aufmerksamkeit einher, die für das sichere Fahren relevant ist. Dass die Sehaufmerksamkeit mit zunehmender Distanz vom zentralen Gesichtsfeld abnimmt, konnte bereits in wissenschaftlichen Studien (z. B. HOFFMANN, WIPKING, BLANKE & FALKENSTEIN, 2013) nachgewiesen werden.

Die Lkw-Fahrten mit dem Kamera-Monitor-System im öffentlichen Straßenverkehr zeigten sich insgesamt für alle Probanden unproblematisch, d. h., keiner hatte die Fahrt abgebrochen bzw. die Außenspiegel benötigt. Beim Vergleich der positiven und negativen Anmerkungen fällt auf, dass die Mehrheit der Probanden sich zum System negativ äußerte. Alle gaben jedoch an, dass sich der Fahrer an das KMS gewöhnen müsse. Nach einer gewissen Eingewöhnungszeit würden z. B. die kleinere Monitorgröße, die Position der Monitore, die veränderten Lichtverhältnisse weniger störend wahrgenommen werden. Allerdings ergaben sich Beanstandungen, die von einigen Probanden als ein Gefährdungspotenzial für den Straßenverkehr erlebt wurden:

- Alle Versuchspersonen kritisieren, dass Objekte im Display kleiner wahrgenommen werden; vor allem für das Rangieren und Manövrieren ist eine detailgetreue Sicht von großer Bedeutung.
- Kontrast und Farbintensität ändern sich in Abhängigkeit von der Sonneneinstrahlung. Der Kontrast zwischen Auflieger und Straße ist kaum wahrnehmbar. Der Schatten auf dem Display erscheint bei starker Sonneneinstrahlung sehr dunkel, sodass Objekte im Schatten des Aufliegers nicht mehr trennscharf gesehen werden können. Dies führt auch dazu, dass z. B. der Abstand vom Bordstein deutlich schlechter eingeschätzt werden kann.
- Bei Sonneneinstrahlung sind die Bilder auf den Monitoren hinsichtlich ihrer Farbgebung unterschiedlich, sodass der Blick für die Erkennung von Objekten länger auf das Display gerichtet ist. Helle Fahrzeuge sowie auch die Konturen von weit entfernten Objekten (z. B. Scheinwerfer anderer Fahrzeuge) sind schlechter bis gar nicht erkennbar.
- Die Durchfahrt durch den Kreisverkehr wurde als eher störend bewertet. Dies wurde damit be-

gründet, dass einmal das Bild auf dem Monitor ruckelte und ein weiteres Mal die Kontraststärke so gering war, dass nur durch genaues Hinschauen der Abstand zwischen Rädern und Verkehrsinsel abgeschätzt werden konnte.

Neun von zehn Versuchspersonen gaben an, dass das Kamera-Monitor-System erst nach Beseitigung der vorliegenden Schwächen als kundentauglich bewertet werden könne. In Bezug auf die räumliche Tiefenwahrnehmung gab die Mehrheit der Probanden an, durch die Verkleinerung der Objekte die räumliche Tiefe eingeschränkt wahrzunehmen, wobei eine Geschwindigkeits- und Abstandsmessung jedoch möglich sei.

Die von den Probanden der vorliegenden Studie weniger gute Bewertung der Bildqualität ist wohl darauf zurückzuführen, dass durch die intensive Sonneneinstrahlung während der Versuchsdurchführung beide Monitore unterschiedlich starke Blendungseffekte aufwiesen. Auch durch die starke Schattenbildung auf den Monitoren war die Erkennbarkeit von (weiter entfernten) Verkehrsobjekten stärker eingeschränkt. Positiv beurteilt wurden die Durchfahrt durch den Ort sowie die Schätzung der Differenzgeschwindigkeiten auf der Autobahn. Der Abstand zu den Pylonen wurde auch mit dem KMS tendenziell genauer eingeschätzt als mit den Außenspiegeln.

Um eine umfassendere Aussage zur Geeignetheit des KMS im Lkw treffen zu können, sollte neben einer technischen Prüfung, inwieweit bei der Kamera Blendungseffekte und Schattenbildungen möglichst ausgeschlossen werden könnten, Versuchsfahrten auch unter anderen Witterungsbedingungen (Regen, Nebel, Schnee und bei Nacht) mit dem Lkw durchgeführt werden sowie Versuchsfahrten, die die Gewöhnungseffekte erfassen, um die Aussagekraft der Probanden z. B. hinsichtlich der Monitorgröße und -position bestätigen zu können.

## 6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Grundsätzlich hat sich gezeigt, dass es möglich ist, die indirekte Sicht nach hinten sowohl bei Pkw als auch bei Lkw durch KMS, die gewisse Qualitätskriterien erfüllen, für den Fahrer ausreichend darstellen zu können. Je nach Ausgestaltung bietet ein KMS sogar die Möglichkeit, mehr Information über den rückwärtigen Raum zu präsentieren

als es mit Spiegelsystemen möglich ist. Ungeachtet dessen bestehen jedoch grundsätzliche Unterschiede zwischen beiden Lösungen. Eine Tiefeninformation bzw. ein räumlicher Eindruck des Bildes ist beim Spiegel beispielsweise immer gegeben, beim KMS wegen der zweidimensionalen Darstellung auf dem Monitor prinzipiell nicht möglich. Außerdem lässt sich das Sichtfeld im Spiegel durch Kopfbewegungen leicht verändern, beim KMS bisher nicht.

Das KMS ist in der Regel unempfindlicher gegenüber Verschmutzung und Regentropfen, da die Kamera klein ist (was auch der Aerodynamik nützt) und das Display im Innenraum verbaut ist. Dafür können Frost, Kälte und elektromagnetische Störungen ein Problem darstellen. Ohne Stromversorgung funktioniert ein KMS nicht, ein Spiegel demgegenüber ist immer einsatzbereit. Bei direkter Sonneneinstrahlung ist das KMS überlegen, da es direkte physische Blendung des Fahrers vermeidet. Es bietet weiter die Möglichkeit, Kontraste – je nach Umgebungshelligkeit – zu verstärken oder abzuschwächen, sodass der Betrachtungskomfort und insbesondere der Informationsgehalt im Bild – gerade bei Nacht – gegenüber dem Spiegel gesteigert ist. Hier kommt es jedoch auf die Adaptionfähigkeit des KMS (nötige Anpassungszeit an Helligkeitsunterschiede und Darstellungsfähigkeit eines großen Bereiches an Helligkeiten) an. Beim KMS können je nach Anbringungsort des Monitors Reflexionen oder Blendungen auf dem Display auftreten; hier können Abdeckungen oder Einhausungen für das Display Abhilfe schaffen. Typisch für KMS sind weiterhin die Möglichkeit des Auftretens von Artefakten wie Blooming oder Smear, sodass das Bild insbesondere bei der Darstellung künstlicher Lichtquellen die Realität nicht mehr sauber abbildet. Insgesamt halten sich Vor- und Nachteile von KMS und Spiegeln die Waage. Es ist jedoch darauf zu achten, dass bestimmte Anforderungen an KMS zu stellen und zu erfüllen sind, um diese Gleichwertigkeit auch tatsächlich zu gewährleisten:

- Sicherstellung der elektromagnetischen Verträglichkeit,
- gute Farb- und Kontrastwiedergabe, Artefaktminimierung,
- schnelle Anpassung an Umgebungshelligkeitsänderungen,
- Darstellung ohne Zeitverzug,

- Detektion und sofortige Anzeige von Bildausfall bzw. besser noch Sicherstellung, dass es nicht zu Bildausfällen kommt,
- Frost- und Beschlagschutz.

Die Fahrversuche mit Probanden haben gezeigt, dass der Umstieg von Spiegeln auf KMS immer einer gewissen Gewöhnungsphase bedarf, diese jedoch verhältnismäßig kurz ist und nicht notwendigerweise zu sicherheitskritischen Situationen führt. Für den Pkw wurde in Bezug auf Geschwindigkeits- und Abstandsschätzungen festgestellt, dass diese mit KMS konservativer erfolgen als bei Spiegeln, d. h. man wartet auf leicht größere Lücken, bevor man einschert. Für den Lkw wurde positiv angemerkt, dass die auf den Weitwinkelspiegeln durch dessen Krümmung verzerrt und relativ klein dargestellten Bildinhalte durch KMS wesentlich klarer abgebildet werden. Wegen der fehlenden Tiefeninformation sind mit KMS weit entfernte Objekte schwerer einzuschätzen. Die Rückwärtsfahraufgabe wurde mit dem KMS tendenziell genauer bewältigt als mit den Außenspiegeln. Wo sich genau das Ende des Fahrzeugs befindet, ist gerade beim Rangieren ein wesentlicher Aspekt. Hier wäre sowohl bei Spiegeln als auch bei KMS eine zusätzliche Nahansicht der Situation am Heck des Fahrzeugs wünschenswert.

In Bezug auf die Positionen der Monitore äußerten sich einige Probanden dahingehend, dass Informationen über Bereiche auf der linken Seite auch links dargestellt werden sollten, Gleiches gilt für die rechte Seite, wobei die Information nicht unbedingt in der Nähe der A-Säule gegeben werden muss, sondern durchaus dichter ans Lenkrad heranrücken kann. Als vorteilhaft wurde gerade beim Lkw bewertet, dass dann die Kopfbewegung deutlich geringer zu sein brauchen als bei Spiegelanordnungen und man bei näher angebrachtem Monitor mehr Details erkennen würde als bei einer Anbringung an der rechten A-Säule. Lediglich eine zu tiefe Anbringung der Monitore wird nicht gewünscht. Durch den Wegfall der Spiegel wurde auch ein Mehr an direkter Sicht positiv bewertet. Für die Probanden war weiterhin wichtig, dass die Auflösung des Monitors ausreichend hoch ist und damit dem Spiegel nahe kommt und die Farbwiedergabe (insbesondere der Farbe Weiß) qualitativ gut ist. Bei Lkw wurde angemerkt, dass das Display möglichst groß sein sollte. Für Weitsichtige ist es wichtig, dass eine entsprechende Sehhilfe getragen wird, da das Bild des KMS nicht mehr wie bei Spiegeln

weit entfernt sondern verhältnismäßig nah zum Fahrer auf dem Monitor dargestellt wird.

Eine Befragung der Versuchspersonen ergab eine mittlere Akzeptanz des KMS, die sich auch bei länger dauernder Nutzung des KMS nicht veränderte. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass die durchschnittlichen Erwartungen der Verkehrsteilnehmer an das KMS während der Nutzung im Versuch erfüllt worden sind.

## 7 Literatur

- Alliance of Automobile Manufacturers (AAM), (2003): Statement of principles on human machine interfaces (HMI) for in-vehicle information and communication systems. Version 3.0. Washington, D.C.: Alliance of Automobile Manufacturers. [http://www.umich.edu/~driving/guidelines/AAM\\_Statement2003.pdf](http://www.umich.edu/~driving/guidelines/AAM_Statement2003.pdf)
- BACH, P.; RÜTER, G.; CARSTENGERDES, N.; WENDER, K. F. & OTTE, D. (2006): Untersuchung von Verkehrssicherheitsaspekten durch die Verwendung asphärischer Außenspiegel. BAST-Reihe Fahrzeugtechnik, Heft F 56, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven
- BAYERL, S. (2012): Kontextbasierte Vorhersage von kritischen Fahrstreifenwechseln, Masterarbeit, Fachhochschule Deggendorf
- BOWLES, T. S. (1969): Motorway overtaking with four types of exterior rear view mirror. In: International Symposium on Man-Machine Systems, 2. Transport systems and vehicle control. Institute of Electrical and Electronic Engineers
- BURGER, W. J.; MULHOLLAND, M. U.; SMITH, R. L. & SHARKEY, T. J. (1980): Passenger vehicle, light truck and van convex mirror optimization and evaluation studies 1 Convex mirror optimization Washington, D.C.: Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration
- DENSON, S. (2013): Kamera-Monitor-Systeme als Ersatz für Außenspiegel – Experimentelle Untersuchung von Wahrnehmungsaspekten in der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion. Masterarbeit. Institut für kognitive Neurowissenschaft, Abteilung für Neuropsychologie, Ruhr-Universität Bochum

- de VOS, A. P. (2000): Non-planar driver's side rearview mirrors: A survey of mirror types and European driver experience and a driver behavior study on the influence of experience and driver age on gap acceptance and vehicle detection. Final Report. Soesterberg: TNO Human Factors
- DUBE, C. (2011): Bewegungswahrnehmung und Wahrnehmung bewegter Bilder (Motion Pictures). GRIN Verlag
- ECE-R-46, (2010): Regelung Nr. 46 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) – Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Einrichtungen für indirekte Sicht und von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Anbringung solcher Einrichtungen <http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/44908/publicationFile/41741/r-46-rueckspiegel-pdf.pdf>. 14:41, Zugriff: 20.07.2013, 08:34
- FISHER, J. A. & GALER, I. A. R. (1984): The effects of decreasing the radius of curvature of convex external rear view mirrors upon drivers' judgements of vehicles approaching in the rearward visual field. *Ergonomics*, 27, 1209-1224
- FLANNAGAN, M. J. (2000): Current status and future prospects for nonplanar rearview mirrors. In: SAE Publication. Human Factors
- FLANNAGAN, M. J. (2002): Distance Perception in Camera-Based RearVision Systems. Michigan, USA
- FLANNAGAN, M. J. & MEFFORD, M. L. (2005): Distance Perception with a Camera-Based Rear Vision System in Actual Driving. In: Driving Assessment 3<sup>rd</sup> International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design
- FLANNAGAN, M. J., SIVAK, M. & SIMPSON, J. K. (2001): The relative importance of pictorial and nonpictorial distance cues for driver vision. In: Proceedings of the International Driving Symposium on Human Factors in Driving Assessment, Training and Vehicle Design, Aspen, CO, 214-218
- FLANNAGAN, M. J. & SIVAK, M. & TRAUBE, E. C. (1996): Driver perceptual adaptation to nonplanar rearview mirrors. In: SERAFIN, C. & ZOBEL, G. (Hrsg.), *Automotive design advancements in human factors: Improving drivers' comfort and performance*, Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers, 213-220
- FLANNAGAN, M. J. & SIVAK, M. (2006): Distance cues and fields of view in rear vision systems. SAE Publication Detroit, Michigan, USA
- GOLDSTEIN, E. Br. (2002): Wahrnehmungspsychologie. M. RITTER (Hrsg.), Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, (2. Aufl.) Kapitel 1-2 und 5-9
- HENDERSON, L.; SMITH, R. L.; BURGER, W. J. & STERN, S. D. (1983): Visibility from Motor Vehicles. SAE Technical Paper. Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers
- HENNING, M. J.; GEORGEON, O.; WYNN, T. & KREMS, J. F. (2008): Modeling driver behaviour in order to infer the intention to change lanes. In: C. BRUSQUE (Ed.): *Proceedings of the European Conference on Human Interface Design for Intelligent Transport Systems*. Lyon: Humanist Publications, 113-120
- HENNING, M. (2009): Das dynamische Arbeitsgedächtnis beim Spurwechsel. Präsentation beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Verkehrssystemtechnik, Braunschweig
- HENNING M. J. (2010): Preparation for lane change manoeuvres: Behavioural indicators and underlying cognitive processes. Dissertation, Technische Universität Chemnitz
- HOFFMANN, H., WIPKING, C., BLANKE, L., FALKENSTEIN, M. (2013): Experimentelle Untersuchung zur Unterstützung der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen für ältere Kraftfahrer. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Fahrzeugtechnik, Heft F 86*
- ISO (2012): Road vehicles — Ergonomic and performance aspects of Camera-Monitor Systems – Requirements and test procedures, ISO 16505:2015, ISO/TC 22/SC 35
- LIEBNER, M.; KLANNER, F. & STILLER, C. (2010): Der Fahrer im Mittelpunkt – Eye-Tracking als Schlüssel zum mitdenkenden Fahrzeug. In: 8. Workshop Fahrerassistenzsysteme (FAS2012). Walting, Deutschland, 87-96



- MARANDI, D. (2013): Analyse und Bewertung eines Kamera-Monitor-Systems als Ersatz für Außenspiegel an Kraftfahrzeugen. Bachelorarbeit. Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik, Hochschule Niederrhein, Viersen
- MORTIMER, R. G. (1971): The effects of convex exterior mirrors on lane-changing and passing performance of drivers. SAE Technical Paper Series. New York: Society of Automotive Engineers
- MORTIMER, R. G. & JØRGENSEN, C. M. (1974): Drivers' vision and performance with convex exterior rearview mirrors. SAE Technical Paper. New York: Society of Automotive Engineers
- RAUCH, N. (2009): Ein verhaltensbasiertes Messmodell zur Erfassung von Situationsbewusstsein im Fahrkontext. Dissertation. Universität Würzburg
- RICKHEIT, G.; HERRMANN, T. & DEUTSCH, W. (2003): Psycholinguistik/Psycholinguistics: Ein internationales Handbuch, W. de GRUYTER, 24
- Robert Bosch GmbH (Hrsg.) (2007): Kraftfahrtechnisches Taschenbuch. Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag
- SUGUIRA, D. & KIMURA K. (1978): Outside rearview mirror requirements for passenger cars – curvature, size, and location. SAE Technical Paper. Warrendale, Society of Automotive Engineers
- TÜV-Bericht (2013): Untersuchung einer Kamera-Monitor-Einrichtung als Ersatz für die Außenrückspiegel Gruppe III nach ECE-R 46. Bericht Nr.: 21183041-001
- WAGNER, P. (2014): Internetrecherche, abgerufen am 1.12.2014, [http://www.filmscanner.info/Glossar\\_B.html#Blooming](http://www.filmscanner.info/Glossar_B.html#Blooming)
- WALRAVEN, P. L. & MICHON J. A. (1969): The influence of some side mirror parameters on the decisions of drivers. SAE Technical Paper. New York: Society of Automotive Engineers
- WIKI (2014a): abgerufen am 1.12.2014 <http://de.wikipedia.org/Wiki/Smear>
- WIKI (2014b): abgerufen am 1.12.2014 [http://de.wikipedia.org/WIKI/Lens\\_Flare](http://de.wikipedia.org/WIKI/Lens_Flare)
- ZWAHLEN, H. T.; ADAMS, C. C. & DEBALD, D. P. (1988): Safety Aspects of Crt Touch Panel Controls in Automobiles. Amsterdam, Elsevier, 335-344

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

### Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

#### 2007

F 61: 2nd International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 1st/2nd September 2006 at Hannover Medical School € 30,00

F 62: Einfluss des Versicherungs-Einstufungstests auf die Belange der passiven Sicherheit  
Rüter, Zoppke, Bach, Carstengerdes € 16,50

F 63: Nutzerseitiger Fehlgebrauch von Fahrerassistenzsystemen  
Marberger € 14,50

F 64: Anforderungen an Helme für Motorradfahrer zur Motorradsicherheit  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.  
Schüler, Adolph, Steinmann, Ionescu € 22,00

F 65: Entwicklung von Kriterien zur Bewertung der Fahrzeugbeleuchtung im Hinblick auf ein NCAP für aktive Fahrzeugsicherheit  
Manz, Kooß, Klinger, Schellinger € 17,50

#### 2008

F 66: Optimierung der Beleuchtung von Personenwagen und Nutzfahrzeugen  
Jebas, Schellinger, Klinger, Manz, Kooß € 15,50

F 67: Optimierung von Kinderschutzsystemen im Pkw  
Weber € 20,00

F 68: Cost-benefit analysis for ABS of motorcycles  
Baum, Westerkamp, Geißler € 20,00

F 69: Fahrzeuggestützte Notrufsysteme (eCall) für die Verkehrssicherheit in Deutschland  
Auerbach, Issing, Karrer, Steffens € 18,00

F 70: Einfluss verbesserter Fahrzeugsicherheit bei Pkw auf die Entwicklung von Landstraßenunfällen  
Gail, Pöppel-Decker, Lorig, Eggers, Lerner, Ellmers € 13,50

#### 2009

F 71: Erkennbarkeit von Motorrädern am Tag – Untersuchungen zum vorderen Signalbild  
Bartels, Sander € 13,50

F 72: 3rd International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 5th / 6th September 2008 at Hannover Medical School € 29,50

F 73: Objektive Erkennung kritischer Fahrsituationen von Motorrädern  
Seiniger, Winner € 16,50

#### 2010

F 74: Auswirkungen des Fahrens mit Tempomat und ACC auf das Fahrverhalten  
Vollrath, Briest, Oeltze € 15,50

F 75: Fehlgebrauch der Airbagabschaltung bei der Beförderung von Kindern in Kinderschutzsystemen  
Müller, Johannsen, Fastenmaier € 15,50

#### 2011

F 76: Schutz von Fußgängern beim Scheibenanprall II  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.  
Bovenkerk, Gies, Urban € 19,50

F 77: 4th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden. € 29,50

F 78: Elektronische Manipulation von Fahrzeug- und Infrastruktursystemen  
Dittmann, Hoppe, Kiltz, Tuchscheerer € 17,50

F 79: Internationale und nationale Telematik-Leitbilder und IST-Architekturen im Straßenverkehr  
Boltze, Krüger, Reusswig, Hillebrand € 22,00

F 80: Untersuchungskonzepte für die Evaluation von Systemen zur Erkennung des Fahrerzustands  
Eichinger € 15,00

F 81: Potential aktiver Fahrwerke für die Fahrsicherheit von Motorrädern  
Wunram, Eckstein, Rettweiler € 15,50

F 82: Qualität von on-trip Verkehrsinformationen im Straßenverkehr – Quality of on-trip road traffic information – BAST-Kolloquium 23. & 24.03.2011  
Lotz, Luks € 17,50

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

#### 2012

F 83: Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung – Gemeinsamer Schlussbericht der Projektgruppe  
Gasser, Arzt, Ayoubi, Bartels, Bürkle, Eier, Flemisch, Häcker, Hesse, Huber, Lotz, Maurer, Ruth-Schumacher, Schwarz, Vogt € 19,50

F 84: Sicherheitswirkungen von Verkehrsinformationen – Entwicklung und Evaluation verschiedener Warnkonzepte für Stauendwarnungen  
Bogenberger, Dinkel, Totzke, Naujoks, Mühlbacher € 17,00

F 85: Cooperative Systems Stakeholder Analysis  
Schindhelm, Calderaro, Udin, Larsson, Kernstock, Jandrisits, Ricci, Geißler, Herb, Vierkötter € 15,50

#### 2013

F 86: Experimentelle Untersuchung zur Unterstützung der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen für ältere Kraftfahrer  
Hoffmann, Wipking, Blanke, Falkenstein € 16,50

F 87: 5th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 88: Comparative tests with laminated safety glass panes and polycarbonate panes  
Gehring, Zander € 14,00

F 89: Erfassung der Fahrermüdigkeit  
Platho, Pietrek, Kolrep € 16,50

F 90: Aktive Systeme der passiven Fahrzeugsicherheit  
Nuß, Eckstein, Berger € 17,90

F 91: Standardisierungsprozess für offene Systeme der Straßenverkehrstelematik  
Kroen € 17,00

F 92: Elektrofahrzeuge – Auswirkungen auf die periodisch technische Überwachung  
Beyer, Blumenschein, Bönninger, Grohmann, Lehmann, Meißner, Paulan, Richter, Stiller, Calker € 17,00

## 2014

F 93: Entwicklung eines Verfahrens zur Erfassung der Fahrerbeanspruchung beim Motorradfahren  
Buld, Will, Kaussner, Krüger € 17,50

F 94: Biokraftstoffe – Fahrzeugtechnische Voraussetzungen und Emissionen  
Pellmann, Schmidt, Eckhardt, Wagner € 19,50

F 95: Taxonomie von Fehlhandlungen bei der Fahrzeugführung  
Oehme, Kolrep, Person, Byl € 16,50

F 96: Auswirkungen alternativer Antriebskonzepte auf die Fahrdynamik von Pkw  
Schönemann, Henze € 15,50

F 97: Matrix von Lösungsvarianten Intelligenter Verkehrssysteme (IVS) im Straßenverkehr  
Matrix of alternative implementation approaches of Intelligent Transport Systems (ITS) in road traffic  
Lotz, Herb, Schindhelm, Vierkötter  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 98: Absicherungsstrategien für Fahrerassistenzsysteme mit Umfeldwahrnehmung  
Weitzel, Winner, Peng, Geyer, Lotz Sefati € 16,50

F 99: Study on smoke production, development and toxicity in bus fires  
Hofmann, Dülsen € 16,50

## 2015

F 100: Verhaltensbezogene Kennwerte zeitkritischer Fahrmanöver  
Powelleit, Muhrer, Vollrath, Henze, Liesner, Pawellek € 17,50

F 101: Altersabhängige Anpassung von Menschmodellen für die passive Fahrzeugsicherheit  
Wagner, Segura, Mühlbauer, Fuchs, Peldschus, Freßmann € 19,00

F 102: 6<sup>th</sup> International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 103: Technische Möglichkeiten für die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Nutzfahrzeugen  
Süßmann, Lienkamp  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 104: Abbiege-Assistenzsystem für Lkw – Grundlagen eine Testverfahrens  
Schreck, Seiniger € 14,50

F 105: Abgasverhalten von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen – Feldüberwachung  
Schmidt, Georges € 14,50

F 105b: Examination of pollutants emitted by vehicles in operation and of emission relevant components – In-service conformity  
Schmidt, Johannsen  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 106: Untersuchung des Abgasverhaltens von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen – Austauschkatalysatoren  
Schmidt, Johannsen € 13,50

F 106b: Examination of pollutants emitted by vehicles in operation and of emission relevant components – Replacement catalytic converters  
Schmidt, Johannsen  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 107: Sicherheitsaspekte beim Laden von Elektrofahrzeugen  
Vogt, Link, Ritzinger, Ablingyte, Reindl in Vorbereitung

F 108: Interoperabilität zwischen öffentlichem Verkehrsmanagement und individuellen Navigationsdiensten – Maßnahmen zur Gewährleistung  
von der Ruhren, Kirschfink, Ansorge, Reusswig, Riegelhuth, Karina-Wedrich, Schopf, Sparmann, Wöbbeking, Kannenberg € 17,50

F 109: Ermittlung des Umfangs von Abweichungen bei Durchführung der Abgasuntersuchung zwischen Messung am Auspuff und Abfrage des On-Board-Diagnosesystems  
Schröder, Steickert, Walther, Ranftl  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 110: Wahrnehmung und Bewertung von Fahrzeugaußengeräuschen durch Fußgänger in verschiedenen Verkehrssituationen und unterschiedlichen Betriebszuständen  
Altinsoy, Landgraf, Rosenkranz, Lachmann, Hagen, Schulze, Schlag  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 111: Geräuschminderung von Dünnschichtbelägen  
Schulze, Kluth, Ruhnau, Hübel  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 112: Ersatz von Außenspiegeln durch Kamera-Monitor-Systeme bei Pkw und Lkw  
Schmidt, Hoffmann, Krautscheid, Bierbach, Frey, Gail, Lotz-Keens € 17,50

F 112b: Final Report Camera-Monitor-Systems as a Replacement for Exterior Mirrors in Cars and Trucks  
Schmidt, Hoffmann, Krautscheid, Bierbach, Frey, Gail, Lotz-Keens  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

Alle Berichte sind zu beziehen im:

Carl Schünemann Verlag GmbH  
Zweite Schlachtpforte 7  
28195 Bremen  
Tel. (0421) 3 69 03-53  
Fax (0421) 3 69 03-48  
[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.