Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
Fakultät Maschinenbau

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

DIPLOMARBEIT

Systematische Untersuchung einer viedeobasierten Ermittlung der Leuchtverteilung von Fahrzeugscheinwerfern

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
Fakultät Maschinenbau

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Aufgabenblatt für die Diplomarbeit

im Studiengang	**Fahrzeugtechnik**
Studienrichtung	**Kraftfahrzeugtechnik**
Name des Diplomanden	**André Najort / Matr.Nr. 37864**

Thema: Systematische Untersuchung einer videobasierten Ermittlung der Leuchtverteilung von Fahrzeugscheinwerfern

Kurzbeschreibung:

Die Beleuchtung stellt aufgrund ihrer Relevanz für die Verkehrssicherheit einen der wichtigsten Untersuchungspunkte der Hauptuntersuchung nach §29 StVZO dar. Ein wesentlicher Bestandteil ist dabei die Prüfung der Lichtverteilung der Scheinwerfer. Ziel der Arbeit soll es sein, die Grundlage für die Weiterentwicklung der Prüfmethode unter Verwendung von Videosensorik zu untersuchen. Dabei gilt es insbesondere die Einflussfaktoren sowie Randbedingungen systematisch an einzelnen Fahrzeugen zu untersuchen und daraus die Möglichkeiten und Grenzen eines solchen Verfahrens abzuleiten.

Arbeitspunkte:

- Recherche der technischen und rechtlichen Grundlagen der Lichtprüfung
- Aufbau und Inbetriebnahme einer videobasierten Erkennungseinrichtung
- Praktische Untersuchungen an ausgewählten Fahrzeugen mit systematischer Variation der Randbedingungen
- Bewertung der Methodik und Ableitung von Weiterentwicklungsmöglichkeiten
- Vorschläge für praxisnahe Umsetzungen des Messkonzeptes.

Hochschulbetreuer:	Prof. Dr. rer. nat. Toralf Trautmann
Praxisbetreuer:	Dipl.-Ing. Andreas Neumann, GTÜ Gesellschaft für Technische Überwachung mbH
Ausgabetag:	01.06.2018
Abgabetag:	01.11.2018

Prof. Dr. rer. nat. Toralf Trautmann	Prof. Dr.-Ing. Gudrun Lange
Verantwortlicher Hochschullehrer	Prüfungsausschussvorsitzende

Die Aufgabenstellung kann nach Absprache nach dem Vorliegen von Teilergebnissen erweitert bzw. eingeengt werden

Inhaltsverzeichnis

Aufgabenblatt für die Diplomarbeit III

Abkürzungsverzeichnis III

Formelverzeichnis und Symbole IV

Abbildungsverzeichnis V

Diagrammverzeichnis VII

Tabellenverzeichnis VIII

1.1 Historische Entwicklung ..... - 2 -

1.2 Grundlagen der Lichttechnischen Einrichtung (LTE) ..... - 4 -

1.3 Lichttechnische Begriffe ..... - 6 -

2. Stand der Technik ..... - 7 -

2.1 Scheinwerfersysteme ..... - 7 -

2.2 Scheinwerferarten ..... - 8 -

2.2.1 Halogenscheinwerfer ..... - 9 -

2.2.2 Xenonlicht (Gasentladungslampen) ..... - 9 -

2.2.3 Bi-Xenon ..... - 11 -

2.2.4 LED-Scheinwerfer ..... - 12 -

2.2.5 Intelligente Scheinwerfer ..... - 13 -

3. Scheinwerfereinstellung ..... - 15 -

3.1 Prüfmittel (SEP) ..... - 18 -

3.1.1 Geräteübersicht MLT 1000 ..... - 19 -

3.1.2 Projektionsbildschirm ..... - 20 -

3.1.3 Einstellrad ..... - 21 -

3.1.4 Begriffsbestimmung ..... - 22 -

3.2 Rechtlichen Grundlagen der Lichtprüfung ..... - 24 -

3.2.1 Wesentliche Vorgaben der „HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie“ ..... - 24 -

3.2.2 Anforderungen an die Prüfeinrichtung ..... - 29 -

4. Videobasierte Erkennungseinrichtung von LTE ..... - 31 -

4.1 Messprinzip ..... - 32 -

4.2 Messaufbau ..... - 32 -

4.3 Komponenten ..... - 34 -

4.3.1 Kameras ..... - 34 -
4.3.2 Leinwand ..... - 36 -
4.3.3 Markerboard ..... - 37 -
4.3.4 Messrechner ..... - 38 -
5. Aufbau und Inbetriebnahme ..... - 41 -
5.1 Aufbau Messsystem ..... - 41 -
5.2 Inbetriebnahme ..... - 45 -
5.3 Randbedingungen ..... - 47 -
6. Auswertung der Messreihen ..... - 48 -
6.1 Mathematischer Ansatz ..... - 51 -
6.2 Kalibrierung der Messstrecke ..... - 55 -
6.3 Auswertung verschiedener Kamerapositionen ..... - 61 -
6.3.1 Seat Leon ST mit LED-Scheinwerfer ..... - 61 -
6.3.2 BMW 318i E91 mit Halogenscheinwerfer ..... - 65 -
6.3.3 Audi A4 Limousine mit Halogenscheinwerfer ..... - 68 -
6.3.4 Skoda Yeti mit Xenonscheinwerfer ..... - 71 -
6.3.5 Ford Transit Custom mit Halogenscheinwerfer ..... - 75 -
7. Weiterentwicklung und Umsetzung in der Praxis ..... - 77 -
7.1 Weitere Kalibrierungsmöglichkeiten ..... - 77 -
7.2 Vorschlag zur Erfassung der HDG ..... - 80 -
8. Zusammenfassung ..... - 81 -
Quellen und Literaturverzeichnis ..... - 83 -
Eidesstattliche Erklärung ..... - 85 -
Anlagenverzeichnis ..... - 86 -

Abkürzungsverzeichnis

ACC	Adaptive Cruise Control
AF	Aufstellfläche
AFS	Adaptive Frontlighting System
DKD	Deutscher Kalibrierdienst
DOT	Department of Transportation
ECE	Economic Commission for Europe
FS	Fahrspur
Fz	Fahrzeug
GDL	gas discharge lamp
GTÜ	Gesellschaft für Technische Überwachung mbH
HDG	Hell-Dunkel-Grenze
HDI	high intensity discharge
HU	Hauptuntersuchung
Kfz	Kraftfahrzeug
LTE	Lichttechnische Einrichtungen
LV	Lichtverteilung
PF	Prüffläche
PI	Prüfingenieur
PO	Prüfobjekt
ROI	region of interest
SAE	Society of Automotive Engineers
SEP	Scheinwerfereinstellprüfgerät
SI	Internationale Einheitensystem
SP	Schwerpunkt
VL	vorn links
VR	vorn rechts

Formelverzeichnis und Symbole

Formel 3. 1 "e-Einstellmaß" ..... - 22 -

Formel 4. 1 Arbeitsabstand g ..... - 35 -

Formel 6. 1 vollständiges Messergebnis X(e-Maß) ..... - 48 -
Formel 6. 2 Regressionskoeffizient ..... - 51 -
Formel 6. 3 Korrelationskoeffizient ..... - 52 -
Formel 6. 4 gesuchtes "e-Einstellmaß" ..... - 56 -
Formel 6. 5 Berechnung der Unebenheit ..... - 58 -
Formel 6. 6 Neigung der Symmetrieachse ..... - 58 -

Zeichen	Einheit	Bedeutung
α	°	Winkel
β	%	Neigung der Symmetrieachse
a	mm/m	Regressionskoeffizient
B	mm	Bildhöhe
e	%	Einstellmaß HDG
$e_{b_{LTE}}$	%	Einstellmaß Lichtverteilung berechnet
f‘	mm	Brennweite
G	mm	Gegenstandshöhe
g	mm	Arbeitsabstand der Kamera
r	-	Korrelationskoeffizient
X(e-Maß)	%	vollständiges Messergebnis
x	m	Wegstrecke
y	mm	Verschiebung

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. 1 Paraboloidförmiger Reflektor sowie Fern- und Abblendlicht ..... - 2 -
Abbildung 1. 2 Asymmetrisches Abblendlicht ..... - 2 -
Abbildung 1. 3 Entwicklung von Fahrzeugscheinwerfern ..... - 3 -
Abbildung 1. 4 Lichttechnische Einrichtung ..... - 4 -

Abbildung 2. 1 Scheinwerfersysteme ..... - 7 -
Abbildung 2. 2 Reflexionssysteme-Reflektor ..... - 8 -
Abbildung 2. 3 Aufbau eines H4-Scheinwerfers ..... - 9 -
Abbildung 2. 4 Dynamische Leuchtweitenregelung ..... - 10 -
Abbildung 2. 5 Xenonbrenner-Typen ..... - 11 -
Abbildung 2. 6 Bi-Xenon Scheinwerfermodul und mechanische Blende (Shutter) ..... - 11 -
Abbildung 2. 7 Beispiel für LED-Scheinwerfer ..... - 12 -
Abbildung 2. 8 Schaltstufen des Fahrlichts ..... - 12 -
Abbildung 2. 9 Abbiegelicht ..... - 13 -

Abbildung 3. 1 Positionierung des Scheinwerfereinstellprüfgeräts ..... - 16 -
Abbildung 3. 2 verschiedene Lichtverteilungen und ihre Ansichten im SEP ..... - 17 -
Abbildung 3. 3 Geräteübersicht MLT 1000 ..... - 19 -
Abbildung 3. 4 Projektionsbildschirm MLT 1000 ..... - 20 -
Abbildung 3. 5 Einstellrad MLT 1000 ..... - 21 -
Abbildung 3. 6 Neigungswinkel der HDG gegenüber der Prüffläche ..... - 22 -
Abbildung 3. 7 Begriffsbestimmung Abblendlicht ..... - 23 -
Abbildung 3. 8 Begriffsbestimmung Fernlicht ..... - 23 -
Abbildung 3. 9 Aufstellfläche für zweispurige Kraftfahrzeuge ..... - 25 -
Abbildung 3. 10 zulässige Unebenheit in Bezug auf Prüfplatzlänge ..... - 25 -
Abbildung 3. 11 ausgenommene Flächen ..... - 26 -
Abbildung 3. 12 Unebenheit SEP-Einsatzbereich ..... - 26 -
Abbildung 3. 13 Sichtprüfung SEP ..... - 27 -
Abbildung 3. 14 Anforderung an die Prüffläche ..... - 28 -
Abbildung 3. 15 geforderte Prüfmittel ..... - 29 -
Abbildung 3. 16 Kennzeichnung Aufstellfläche / Einsatzbereich SEP ..... - 30 -

Abbildung 4. 1 Messaufbau ..... - 32 -
Abbildung 4. 2 Verwendete Kamera und Objektive Tamron und Kowa ..... - 34 -
Abbildung 4. 3 celexon Faltrahmen Leinwand Mobile Expert ..... - 37 -
Abbildung 4. 4 Markerboards ..... - 37 -
Abbildung 4. 5 Positionierung der Markerboards ..... - 38 -
Abbildung 4. 6 Benutzeroberfläche LTE-Programm ..... - 39 -

Abbildung 5. 1 Kfz-Prüfcenter Spantig, Prüfstraße mit Grube ..... - 41 -
Abbildung 5. 2 Kameraaufbau ..... - 42 -
Abbildung 5. 3 Puluz Fahrrad Lenker-Halterung von GoPro ..... - 42 -
Abbildung 5. 4 Markierung für Leinwand ..... - 43 -
Abbildung 5. 5 Messaufbau im Kfz-Prüfcenter Spantig ..... - 44 -
Abbildung 5. 6 Bildaufzeichnung der Kameras ..... - 45 -
Abbildung 5. 7 Benutzeroberfläche LTE-Programm ..... - 46 -
Abbildung 5. 8 Randbedingung Kameraposition LV ..... - 47 -

Abbildung 6. 1 Referenzprüfmittel Scheinwerfereinstellplatz ..... - 50 -
Abbildung 6. 2 Messstrecke mit Unebenheiten und dessen Einfluss ..... - 55 -
Abbildung 6. 3 Neigungsbemaßung für die Ermittlung des "e-Maßes" ..... - 56 -
Abbildung 6. 4 Messraster ..... - 57 -
Abbildung 6. 5 Kalibrierprinzip ..... - 57 -
Abbildung 6. 6 ROI für Liniendetektion und systematischen Fehler ..... - 63 -
Abbildung 6. 7 resultierende Kamerapositionierung mittig der HDG ..... - 64 -
Abbildung 6. 8 Bilddrehung aufgrund falscher Kameraposition ..... - 66 -
Abbildung 6. 9 Unterschiedliche HDG-Einstellung Audi A4 Limousine ..... - 69 -
Abbildung 6. 10 Markerboard nicht detektierbar / Ford Transit Custom ..... - 76 -

Abbildung 7. 1 variable Neigung der Aufstellfläche ..... - 78 -
Abbildung 7. 2 Neigungsbetrachtung der Messstrecke ..... - 78 -
Abbildung 7. 3 Erfassung des Knickpunktes statt HDG ..... - 80 -

Diagrammverzeichnis

Diagramm 6. 1 Probemessung Lichtverteilung Seat Leon ..... - 49 -
Diagramm 6. 2 Gefilterte Datenreihe für "e-Maß"-Berechnung ..... - 53 -
Diagramm 6. 3 Neigung der Symmetrieachse FZ / Fahrspur Seat Leon ST ..... - 59 -
Diagramm 6. 4 Sinus Fahrt Seat Leon ST ..... - 62 -
Diagramm 6. 5 Neigung der Symmetrieachse FZ / Fahrspur BMW 318i E91 ..... - 65 -
Diagramm 6. 6 Auswirkung einer schlechten Kameraposition BMW 318i ..... - 67 -
Diagramm 6. 7 Neigung der Symmetrieachse FZ / Fahrspur Audi A4 Limousine ..... - 68 -
Diagramm 6. 8 Kamera mittig HDG Audi A4 ..... - 70 -
Diagramm 6. 9 Kamera seitlich Angeordnet der Messstrecke Audi A4 ..... - 70 -
Diagramm 6. 10 Neigung der Symmetrieachse FZ / Fahrspur Skoda Yeti ..... - 71 -
Diagramm 6. 11 Einfluss der fahrbedingten Neigungsänderung /Skoda Yeti ..... - 72 -
Diagramm 6. 12 Einfluss Neigungsänderung gefiltert / Skoda Yeti ..... - 73 -
Diagramm 6. 13 Messfahrt ohne Einfluss der Neigungsänderung / Skoda Yeti ..... - 73 -
Diagramm 6. 14 angepasste "e-Einstellmaße" der HDG / Skoda Yeti ..... - 74 -
Diagramm 6. 15 Neigung der Symmetrieachse FZ / Fahrspur Ford Transit Custom ..... - 75 -

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3. 1 Geräteübersicht MLT 1000 ..... - 19 -
Tabelle 3. 2 Kennzeichnung Projektionsbildschirm MLT 1000 ..... - 20 -
Tabelle 3. 3 Begriffsbestimmung Abblendlicht MLT 1000 ..... - 23 -
Tabelle 3. 4 Begriffsbestimmung Fernlicht MLT 1000 ..... - 23 -
Tabelle 3. 5 Einteilung der Fahrspuren nach Fahrzeugklassen ..... - 24 -
Tabelle 3. 6 Zulässige Unebenheiten in Bezug auf Prüfplatzlänge ..... - 26 -
Tabelle 3. 7 Prüfmittelliste ..... - 29 -

Tabelle 5. 1 Messaufbau im Kfz-Prüfcenter Spantig ..... - 44 -

Tabelle 6. 1 Referenzprüfmittel Scheinwerfereinstellplatz (Maha) ..... - 50 -
Tabelle 6. 2 Unebenheiten Messstrecke für Seat Leon ST ..... - 58 -
Tabelle 6. 3 Auswertung Seat Leon ST ..... - 61 -
Tabelle 6. 4 resultierende Kameraposition mittig der HDG ..... - 64 -
Tabelle 6. 5 Unebenheit Messstrecke für BMW 318i E91 ..... - 65 -
Tabelle 6. 6 Auswertung BMW 318i E91 ..... - 66 -
Tabelle 6. 7 Unebenheit Messstrecke für Audi A4 Limousine ..... - 68 -
Tabelle 6. 8 Auswertung Audi A4 Limousine ..... - 69 -
Tabelle 6. 9 Unebenheit Messstrecke für Skoda Yeti ..... - 71 -
Tabelle 6. 10 Auswertung Skoda Yeti ..... - 72 -
Tabelle 6. 11 Unebenheit Messstrecke für Ford Transit Custom ..... - 75 -

1. Einleitung

Schon vor dem 1. Weltkrieg begann die Elektrifizierung des Automobils, welche aus Lichtmaschine, Anlasser, Zündung und Beleuchtung bestand. Heutzutage gibt es nur noch in geringem Maße Funktionen am Fahrzeug, welche nicht an der Elektrik, Elektronik und Software beteiligt sind. Die automobile Scheinwerferentwicklung wird von dem Wunsch angetrieben, dem Fahrzeugführer eine bestmögliche Fahrbahnausleuchtung bei stetiger Anpassung an die Umwelteinflüsse sowie Verkehrssituationen zu ermöglichen. Dabei spielt das Designe und optische Erscheinungsbild der Beleuchtungsanlage für den Fahrzeughalter und somit für den Fahrzeughersteller eine große Rolle.

In den vergangenen 20 Jahren hat sich die Fahrzeugbeleuchtung seit Einführung der Gasentladungstechnik, der LED Technologie und in Kombination mit moderner Sensorik ihrem Ziel optimale Ausleuchtung, Sicherheit und Komfort bei minimaler Blendung zu ermöglichen erheblich genähert. Weiterhin besteht aber trotzdem die Notwendigkeit der Weiterentwicklung, da die Unfallhäufigkeit bei Dunkelheit doppelt so hoch als bei Tageslicht ist [1], [2], [3], [4]. Lange wurde der Scheinwerfer als ein nicht sicherheitsrelevantes Bauteil definiert. In den vergangenen Jahren kam es allerdings zu einer rasanten Entwicklung der „Lichttechnischen Einrichtungen“ (LTE) in Bezug auf Technologien und Funktionen. Diese erfordern ein entsprechendes Fachwissen und spezielles Equipment, um moderne Scheinwerfer auf ihre Funktion und Einstellung überprüfen und kalibrieren zu können.

Die Umsetzung des technisch Möglichen für den Massenmarkt, der akzeptablen Kosten und der Optimierung der Wechselwirkung unterschiedlicher Systeme im Verkehrsraum unter physiologischen Aspekten, auch durch die Weiterentwicklung einschlägigen Vorschriften, ist hierbei die Herausforderung [5].

1.1 Historische Entwicklung

Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts waren Kerzen und Petroleumlampen die üblichen Lichtquellen an den ersten Kraftfahrzeugen. Bereits um 1905 sorgten Acethylenscheinwerfer eine für ausreichend und manchmal als zu hell empfundene Illumination der Fahrstrecke bei Dunkelheit. Allerdings wurden diese Acethylensysteme schon bald vollständig durch elektrische Systeme ersetzt. Aufgrund der kontinuierlichen Zunahme des Verkehrs Ende der 1920er-Jahre war es erforderlich eine Abblendtechnik zu entwickeln.
Osram entwickelte die ersten serienreifen Bilux-Lampen [6]. Diese verfügen über zwei Glühfäden, wobei einer genau im Brennpunkt des paraboloidförmigen Reflektors liegt und das Fernlicht erzeugt und der Andere außerhalb des Brennpunktes, wodurch die Lichtstrahlen eine Neigung zur Spiegelachse hin erfahren (Abb. 1.1).

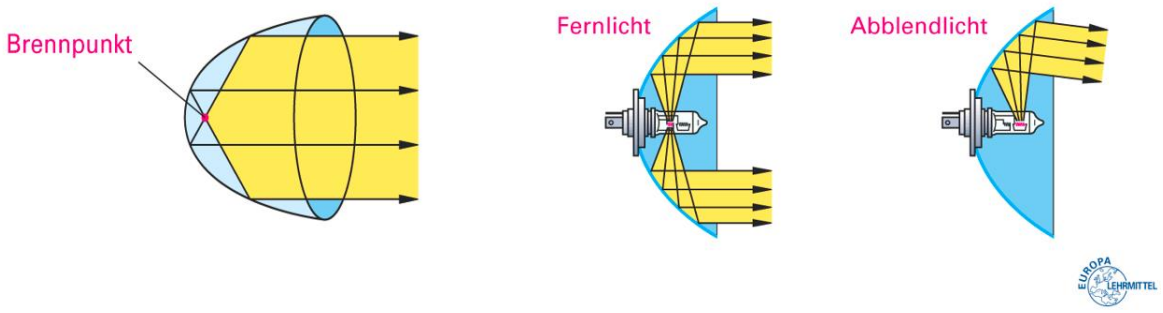


Abbildung 1. 1 Paraboloidförmiger Reflektor sowie Fern- und Abblendlicht
Quelle: Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik

Ab 1957 wurde dann asymmetrisches Abblendlicht (Abb. 1.2) eingeführt, welches den eigenen Fahrbahnrand weiter ausleuchtet, ohne den Gegenverkehr zu blenden, womit auch unterschiedliche Scheinwerfer für Rechts- und Linksverkehr notwendig wurden. Weltweit ab 1960 gab es dann Halogenlampen, die gegenüber konventionellen Glühlampen den doppelten Lichtstrom erzeugen können.

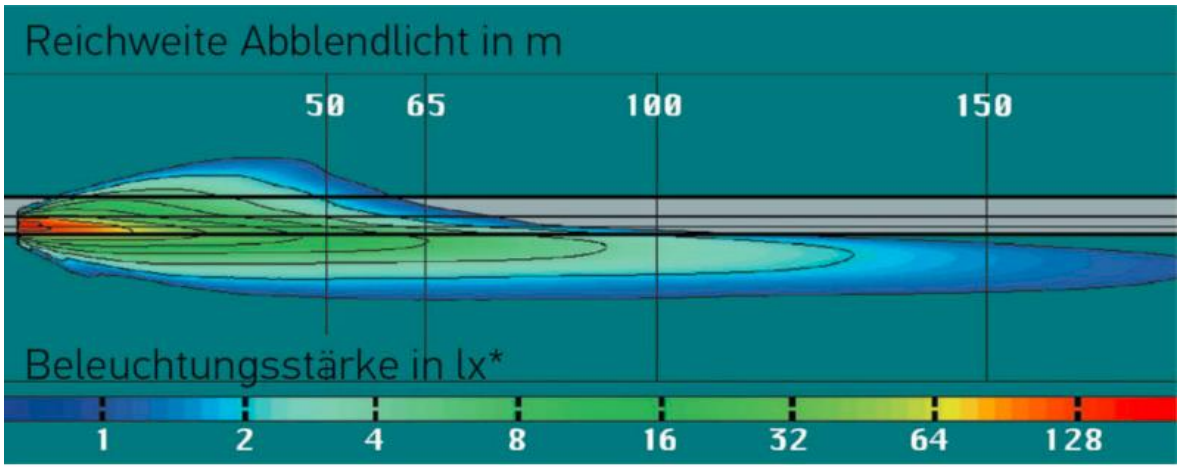


Abbildung 1. 2 Asymmetrisches Abblendlicht
Quelle: Hella

Mit der Einführung der Xenonscheinwerfer, 1991 mit 3200 Im pro Lichtquelle, konzentriert sich die Entwicklung mehr darauf mit dem verfügbaren Lichtstrom den Verkehrsraum optimal auszuleuchten ohne andere Verkehrsteilnehmer zu blenden. Mechatronische Lichtsysteme, welche durch Bewegung von Modulen und Blenden ihre Lichtverteilung der jeweiligen Straßen und Verkehrssituation anpassen, sind seit 2002 auf dem Markt. Weitere Lösungen für adaptive Lichtsysteme sind durch die Einführung der LED Technologie möglich [7] (Abb. 1.3).

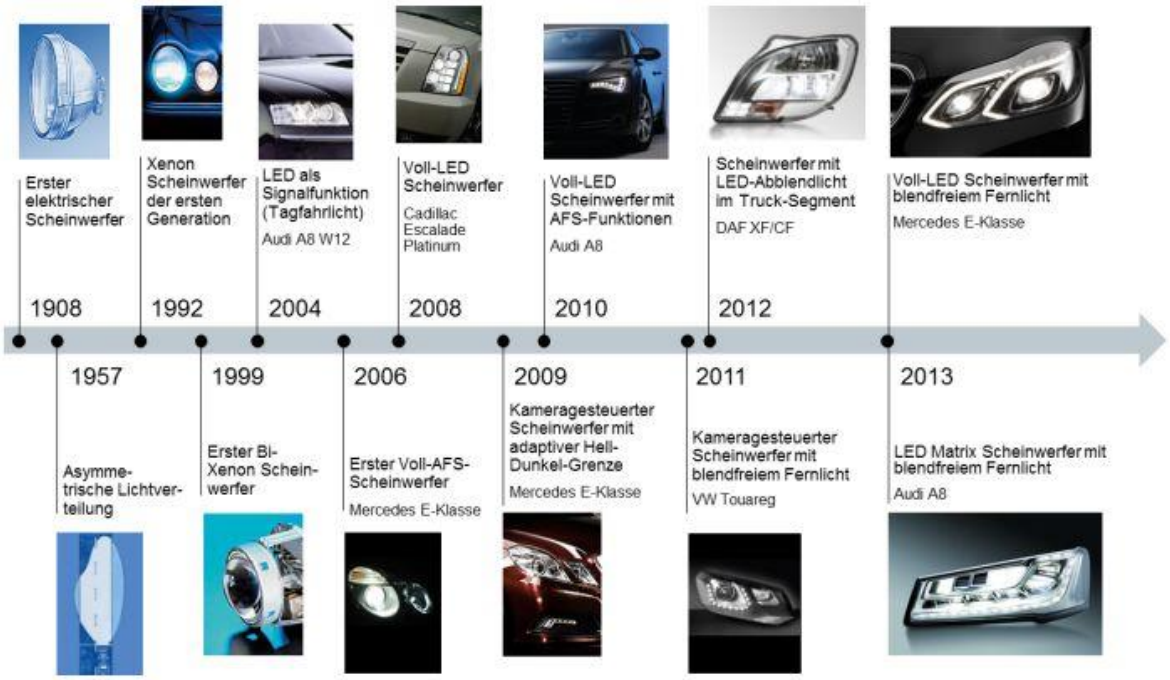


Abbildung 1. 3 Entwicklung von Fahrzeugscheinwerfern
Quelle: Hella

1.2 Grundlagen der Lichttechnischen Einrichtung (LTE)

Lichttechnische Einrichtungen sind bauartgenehmigungspflichtig und müssen vorschriftsmäßig und fest am Fahrzeug angebracht sein. Ständige Betriebsfertigkeit ist Pflicht. (Abb. 1.4)

Verwendet werden dürfen nur die vorgeschriebenen oder für zulässig erklärten Leuchten, Leuchtstoffe und rückstrahlende Mittel.

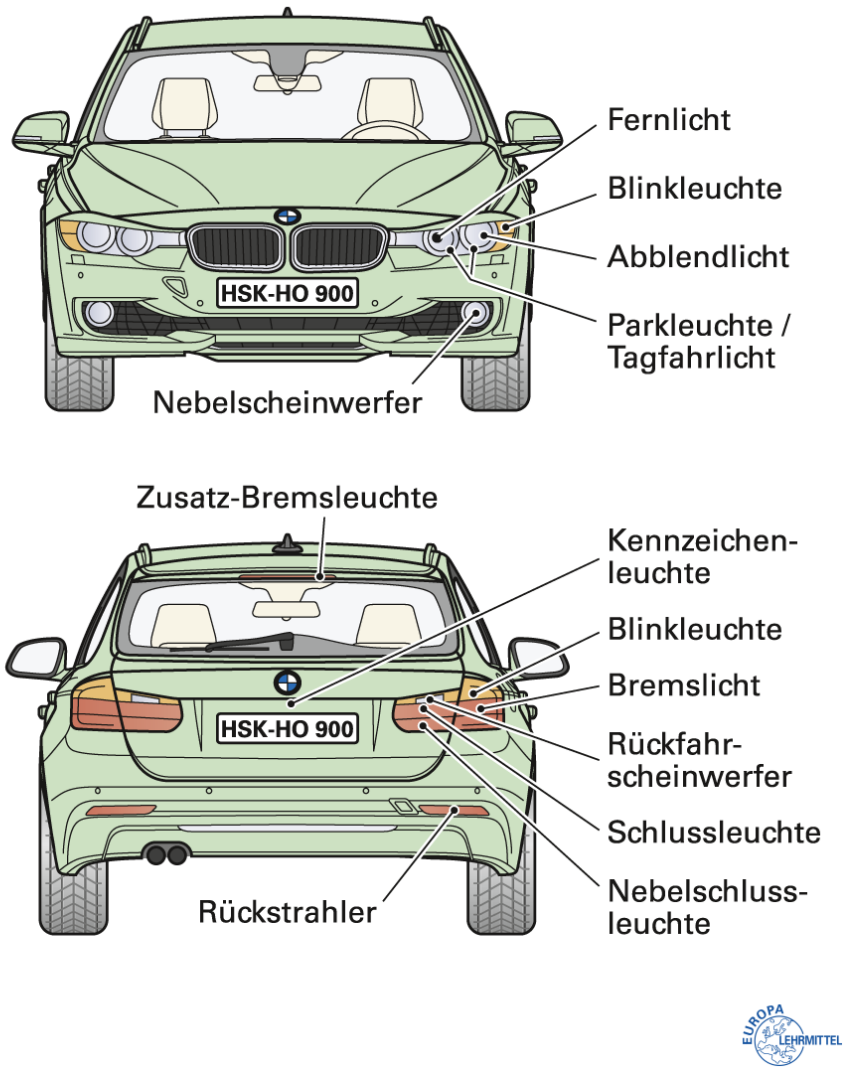


Abbildung 1. 4 Lichttechnische Einrichtung
Quelle: Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik

Zulassung

Lichttechnische Einrichtungen müssen zugelassen sein. Die entsprechenden Regelungen bestehen aus Anbau- und Betriebsvorschriften. Zunehmend werden nationale Regelungen durch internationale ersetzt.

Die weltweite Anwendung wird gegliedert in:

- ECE- Anwendung (für Rechts- und Linksverkehr).
- Länder, die im Wesentlichen ECE-Regelungen anwenden, aber diese Regelungen noch nicht
  voll (z.B. Japan) oder nur teilweise übernommen haben (z.B. China, Australien). Die Richtlinie E76/756/EWG [8] regelt den Anbau.
- SAE-Anwendungen gelten für die USA und mit Modifikationen in Kanada [9].

Manche Länder erkennen sowohl ECE- als auch SAE-Regelungen an. Um gleiche Lichttechnische Einrichtungen weltweit einsetzen zu können [10], wird speziell zwischen den ECE- und SAE-Regelungen eine Harmonisierung versucht. Allerdings bleibt die Unterscheidung nach Rechts- und Linksverkehr.

Prüfzeichen werden im ECE-Bereich durch die nationalen Zulassungsbehörden vergeben. Beispielsweise ist

- E1 = Deutschland (ECE) und
- e1 = Deutschland (EG).

Für die USA sind DOT-Zeichen erforderlich. Zulassungszeichen sollten möglichst auf der Außenseite von Scheinwerfern und Leuchten angebracht werden [11].

Aufgaben

Zu den Aufgaben der LTE am Kraftfahrzeug gehören [12]:

- Die Ausleuchtung der Fahrbahn, z.B. durch Fernscheinwerfer, Abblendscheinwerfer.
- Die Konturen des Fahrzeugs bei Dunkelheit sichtbar zu machen, z.B. durch Begrenzungs- und Parkleuchten, Rückstrahler.
- Anderen Verkehrsteilnehmern die Bewegungsabsichten des Fahrzeugführers anzuzeigen, z.B. durch Blinkleuchten, Bremsleuchten.
- Andere Verkehrsteilnehmer zu warnen, z.B. durch Warnblinkanlage.
- Den Fahrzeugführer auf bestimmte Schaltzustände der lichttechnischen Anlage aufmerksam zu machen, z.B. durch die Fernlichtkontrollleuchte.

1.3 Lichttechnische Begriffe

Einheiten

Sichtbares Licht stellt einen kleinen Teil des elektromagnetischen Spektrums dar und reicht von 380 bis 700 nm Wellenlänge.

Messverfahren

Für Scheinwerfer ist in Europa die Messentfernung oft 25 m, dann besteht der Zusammenhang 1 lx ≙ 625 cd. Für die Messung müssen die Messeinrichtungen entsprechend der Farbempfindlichkeit des menschlichen Auges V(λ) korrigiert sein. Am besten sehen wir bei Tageslicht im hellen Grün (555 nm) bei Dunkelheit besser im Blauen.

Reichweite

Üblich ist die Definition eines Abstandes, in dem die Beleuchtungsstärke einen definierten Wert erreicht. Da wo die Beleuchtungsstärke 1 Lux ist, bezeichnet man für das Abblendlicht den Punkt am eigenen Straßenrand.

Isolux-Darstellungen

Zur Lichtbeurteilung können Darstellungen gleicher Beleuchtungsstärke (Isolux) oder Lichtstärke (Iso-candela) dienen, sowohl als Wanddarstellung oder als umgerechnete Straßendarstellung.

Sichtweite

Subjektive und von vielen Faktoren abhängige Entfernung, in der ein Gegenstand noch erkannt werden kann.

Blendung

Physiologische Blendung ist messbar als Beleuchtungsstärke im Gegenverkehr, psychologische Blendung stellt den subjektiven Grad der Störung dar und kann von der Lichtfarbe und Größe der leuchtenden Fläche abhängen. Zunehmend bekommt die Leuchtdichte und ihre Messung Relevanz in Bezug auf die physiologische Beurteilung.

Quelle: [13]

2. Stand der Technik

Im Kapitel 2 wird ein Überblick über den aktuellen Stand der Technik in Bezug auf das Frontbeleuchtungssystem des Kraftfahrzeugs gegeben. Der Schwerpunkt liegt dabei in den technischen Grundlagen der verschiedenen Scheinwerferarten und deren Lichtfunktionen. Des Weiteren soll die Scheinwerfereinstellung erläutert sowie die Notwendigkeit der erforderlichen Kalibrierung erläutert werden.

2.1 Scheinwerfersysteme

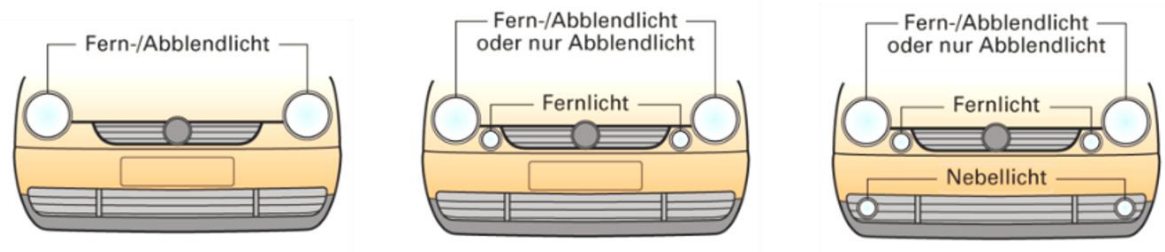
Es gibt Zwei-, Vier- und Sechs- Scheinwerfersysteme.

***Zwei-Scheinwerfersystem*.**
Abblend- und Fernlicht werden in einem gemeinsamen Reflektor abgestrahlt. Von Lampen mit zwei Glühfäden wird das Licht erzeugt. (Biluxlampe, H4-Halogenlampe).

***Vier-Scheinwerfersystem*.**
Ein Scheinwerferpaar wird entweder für Abblend- und Fernlicht oder nur für Abblendlicht ausgelegt. Für das Fernlicht ist dann ausschließlich das zweite Scheinwerferpaar ausgelegt.

***Sechs-Scheinwerfersystem*.**
Zusätzlich zum Vier-Scheinwerfersystem darf, je nach Scheinwerferanordnung, noch ein Scheinwerferpaar für Nebel- oder Fernlicht vorhanden sein.

Quelle: [12]



Zweischeinwerfer-system **Vierscheinwerfer-system** **Sechsscheinwerfer-system**

Abbildung 2. 1 Scheinwerfersysteme
Quelle: Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik

2.2 Scheinwerferarten

Abblendlichtscheinwerfer sind bei der heutigen Verkehrsdichte das am meisten benutzte Fahrlicht (95 bis 97 %). Fern- und Zusatzscheinwerfer werden allein oder zusammen mit dem Abblendlicht betrieben. Nebelscheinwerfer dürfen in Deutschland nur bei Nebel, Regen oder Schnee und geringer Sichtweite betrieben werden, in der Schweiz und der Niederlande auch als Kurvenscheinwerfer. Rückfahrscheinwerfer hingegen sind eigentlich Leuchten, bei NKW werden oft Nebelscheinwerfer dafür eingesetzt. Arbeits- und Suchscheinwerfer dürfen nicht zur Fahrbahnbeleuchtung während der Fahrt benutzt werden [7].

Reflexionssystem

Der älteste Grundtyp des Autoscheinwerfers ist das Paraboloid, welcher dieselben Konstruktionsmerkmale wie eine Satellitenschüssel aufzeigt. Für das Abblendlicht wird der Teil des Lichtes abgeschattet, der nach oben hin abgestrahlt wird. Zum einen entsteht die Abblendlichtverteilung vom Leuchtdraht, der vor dem Brennpunkt des Reflektors liegt und zum anderen durch die korrekte Ausrichtung der Streuscheibe. Aufgrund des geringen Wirkungsgrades eines Paraboloid-Scheinwerfers, welcher bei ca. 27 % liegt [14], musste eine bessere Lösung gefunden werden. So wurde ein Freiform-Scheinwerfer entwickelt, welcher aus mehreren Reflektoren zu einer Einheit zusammengesetzt ist. Der Wirkungsgrad bei solchen Scheinwerfern liegt bei ca. 45 % [14]. Paraboloid- und Freiflächen-Scheinwerfer gehören zu der Gruppe der Reflexionssysteme.

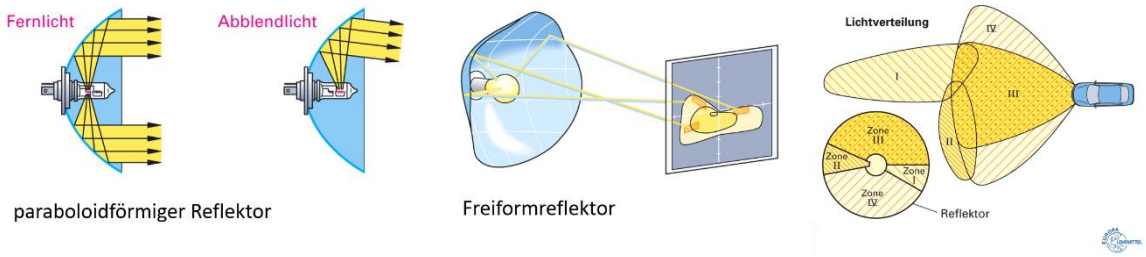


Abbildung 2. 2 Reflexionssysteme-Reflektor
Quelle: Europa Lehrmittel

Eine um ihre Achse rotierende Parabel lässt die Form eines Paraboloids entstehen. Gleichzeitig ist die Rotationsachse auch die optische Achse. Klassische Paraboloid-Systeme nutzen nur den oberen Teil der Scheinwerferfläche. Freiformreflektoren hingegen sind so ausgelegt, dass sie nahezu alle Reflektorflächen für das Abblendlicht nutzen. Jede Fläche ist so berechnet, dass das Licht nach unten auf die Straße von allen Reflektorsegmenten reflektiert wird. Aus den Anforderungen an die Lichtverteilung ergaben sich folgende Zonen [15]:

Zone I: Asymmetrischer Sektor; Ausleuchtung der entfernteren rechten Zone.
Zone II: Symmetrischer Sektor, Ausleuchtung direkt unter der Hell-Dunkel-Grenze.
Zone III: Nahfeldsektor; primär zur Fahrbahnausleuchtung.
Zone IV: Nahfeldsektor; primär zur Kulissenausleuchtung.

2.2.1 Halogenscheinwerfer

Sie bestehen im Wesentlichen aus:

- Gehäuse: Es nimmt den Reflektor mit Streu- bzw. Abschlussscheibe, die Lichtquelle und die Scheinwerfereinstellvorrichtung auf.
- Reflektor: Er reflektiert und bündelt das Licht der Glühlampe. Man verwendet paraboloidförmige, ellipsoidförmige oder Freiformreflektoren.

Quelle: [16]

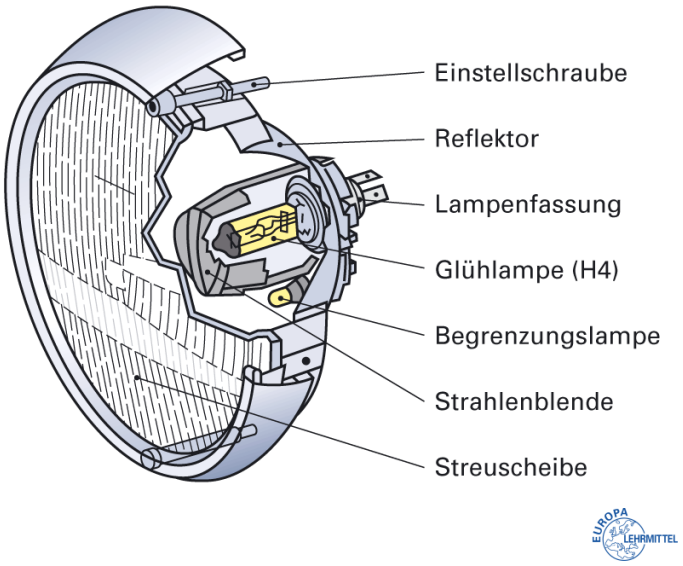


Abbildung 2. 3 Aufbau eines H4-Scheinwerfers
Quelle: Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik

2.2.2 Xenonlicht (Gasentladungslampen)

Seit 1992 wurden die als bekannten Gasentladungslampen (GDL oder HID) für Abblendlichtscheinwerfer im Kfz erstmals in Serie eingesetzt. Die Lebensdauer einer Xenonlichtquelle hängt von der Anzahl der Einschaltvorgänge ab, hier nicht von der Brenndauer. Die überragende Lichtleistung wird als entscheidender Sicherheitsgewinn empfunden, allerdings von vielen Verkehrsteilnehmern als eher unangenehm. Etwa 30 % beträgt die Neuausstattungsquote mit Xenonlicht in Deutschland, Weltweit etwa nur 15 %.

Im Vergleich zu Halogenlicht ist das Xenonlicht 2,5-mal intensiver und tageslichtähnlicher. Ein 4 mm langer Lichtbogen in einem erbsen-großen Entladungsgefäß, in dem sich in kleinen Mengen Salze von seltenen Erden befinden, erzeugt das Xenonlicht [7].

Scheinwerfer für Abblendlicht mit Gasentladungslampen müssen über folgende technische Merkmale verfügen:

- Automatische Leuchtweitenregelung
- Scheinwerferreinigungsanlage
- Automatischer Betrieb des Abblendlichts bei eingeschaltetem Fernlicht

Quelle: [17]

Die Scheinwerferreinigungsanlage und die automatische Leuchtweitenregelung verhindern die Blendung des Gegenverkehrs. Man unterscheidet in automatische und dynamische Leuchtweitenregelung. Bei der dynamischen Leuchtweitenregelung (Abb. 2.4) kommt zusätzlich zu den Achssensoren an der Hinterachse, welche den unterschiedlichen Beladungszustands des Fahrzeuges registrieren und über Stellmotoren an den Scheinwerfern die richtige Neigung einstellen, die Fahrzeuggeschwindigkeit und der Achssensor an der Vorderachse als Signal hinzu. Ein Steuergerät stellt mit Hilfe von Schrittmotoren die Neigung der Scheinwerfer ein. Schnelle Änderungen der Fahrzeugneigung durch Brems- oder Beschleunigungsvorgänge werden dadurch ausgeglichen.

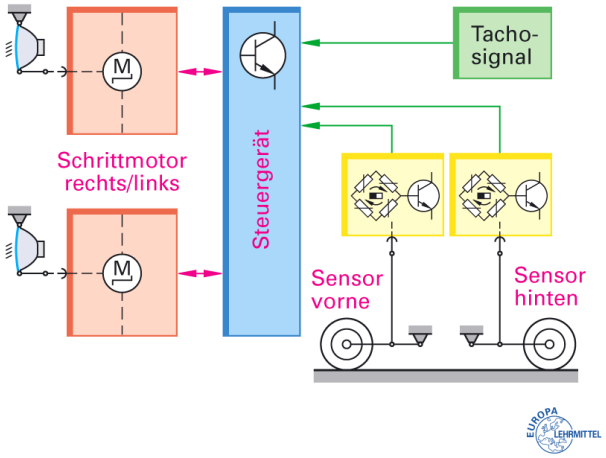


Abbildung 2. 4 Dynamische Leuchtweitenregelung
Quelle: Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik

Da das Xenonlicht durch das komplizierte Startverfahren bei Kaltstart seine volle Leistungsfähigkeit nach etwa 3 s erreicht, enthält das Entladungsgefäß eine Xenongasfüllung, um eine ausreichende Leuchtkraft direkt nach dem Start zu erreichen.

In Verbindung mit Scheinwerferreinigungsanlage und automatischer LWR ist seit 1996 mit den ECE Regelungen 98/99 ein weltweiter Einsatz von Xenonscheinwerfer im ECE-Gebiet möglich. Mit der zweiten Lampengeneration D2R für Reflexions- und D2S/D4S für Projektionssysteme, welche eine konzentrische Steckverbindung aufweisen, ist es möglich diese als Verschleißteil auszuwechseln.

Jedoch empfiehlt es sich aufgrund des Hochspannungsanteils den Austausch von einer Fachwerkstatt durchführen zu lassen. D1S/D3S oder D1R Lampentypen stehen mit integriertem Hochspannungsanteil zur Verfügung (Abb. 2.5), allerdings ist die Trennung von Hochspannungs- und Niederspannungsanteil gängig [7].

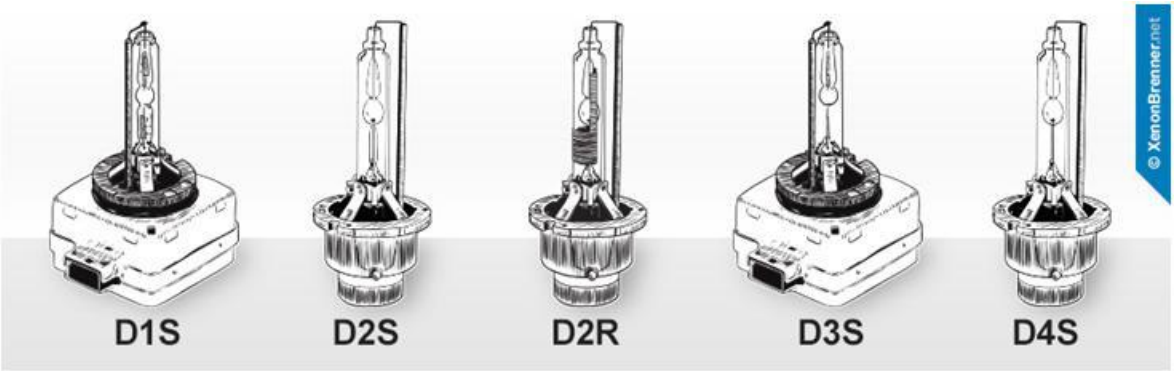


Abbildung 2. 5 Xenonbrenner-Typen
Quelle: XenonBrenner.net

2.2.3 Bi-Xenon

Prinzipiell ist es unmöglich zwei Xenonlichtquellen für Fern- und Abblendlicht in einer Lampe zu verwenden. Da die Verwendung von zwei Xenonlichtquellen für Fern- und Abblendlicht sehr aufwendig ist, wurde zunächst eine Halogenlichtquelle als Fernlicht zum Xenon-Abblendlicht verwendet. Seit 1999 gibt es, aufgrund der Weiterentwicklung, Bi-Xenon-Scheinwerfersysteme. Hier erfolgt im Bi-Xenon-Scheinwerfermodul, mit Hilfe einer mechanischen Blende (Shutter), die Umschaltung zwischen Fern- und Abblendlicht, welche durch einen Elektromagneten betätigt wird (Abb. 2.6).

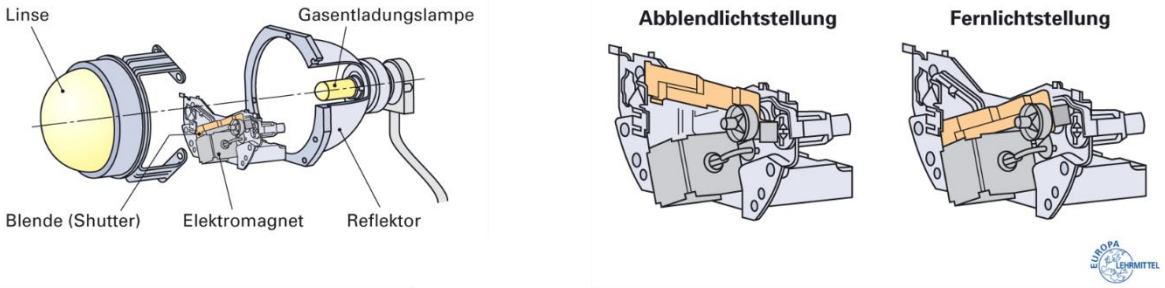


Abbildung 2. 6 Bi-Xenon Scheinwerfermodul und mechanische Blende (Shutter)
Quelle: Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik

Ein Teil des erzeugten Lichtes wird durch die Blende für das Abblendlicht abgeschirmt und somit die Hell-Dunkel-Grenze erzeugt. In der Fernlichtstellung wird das gesamte Licht, welches in der Lampe erzeugt wird, durchgelassen. Die Umschaltung auf Fernlicht geht so schnell, dass diese auch als Lichthupenwirkung eingesetzt wird (< 0,3 s). Heutzutage ist das Bi-Xenon-Scheinwerfersystem das gängigste System auf dem Markt [17], [18].

2.2.4 LED-Scheinwerfer

Scheinwerfersysteme in LED-Technik erzeugen eine dem Tageslicht ähnliche Lichtfarbe. Die Energie des elektrischen Stroms wird an sogenannten p-n-Übergängen bei geringer Wärmeentwicklung in Licht umgewandelt. Der eingesetzte Halbleiter erzeugt Lichtfarben wie rot, gelb, blau oder grün. Um weiße LEDs erzeugen zu können wird entweder das Licht verschiedener LEDs überlagert oder mit Hilfe eines von selbst leuchtendem Stoff bei Bestrahlung in weißes Licht transformiert.

Ab 2006 wurden in Fahrzeugen der Luxusklassen erste Voll-LED-Scheinwerfer in den Markt eingeführt. Neben den realisierten Signalfunktionen sind hier die Leuchtdioden als Lichtquelle für Abblendlicht und Fernlicht eingesetzt. Seit 2010 auch in Kombination mit intelligentem Lichtsystem (AFS Funktion) und mittlerweile sind LED-Scheinwerfer serienmäßig in vielen Fahrzeugen verbaut (Abb.2.7).

Abbildung 2. 7 Beispiel für LED-Scheinwerfer
Quellen: BMW AG, Audi AG, Seat S.A.

Durch die einzelnen Schaltstufen wird die Lichtverteilung auf der Fahrbahn durch gruppierte LED-Einheiten erzeugt (Abb. 2.8). Mit den LED-Scheinwerfersystemen lassen sich grundsätzlich alle Funktionen der adaptiven Scheinwerfersysteme darstellen [19], [20].

Vorteile LED-Technik:

- Helleres Licht (über 4000 K)
- Geringerer Energieverbrauch
- Kein Lampenwechsel (LEDs sind verschleißfrei)
- Kleinere Gerätevolumen und neue Integrationskonzepte
- Freie Programmierbarkeit der Lichtverteilung
- Große Designfreiheit

Abbildung 2. 8 Schaltstufen des Fahrlichts
Quelle: Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik

2.2.5 Intelligente Scheinwerfer

Intelligente Scheinwerfer sind Adaptive Scheinwerfersysteme (AFS – Adaptive Frontlighting System), welche sich an verschiedene Fahr-, Licht- und Wettersituationen optimal anpassen. Zum einen gibt es das Dynamische Kurvenlicht und das Statische Kurvenlicht. Des Weiteren sind für spezifische Fahrsituationen eine Vielfalt von Lichtverteilungen vorgesehen [21]:

- ***Town light*** - für niedrige Geschwindigkeiten
- ***Cross country*** - wie heutiges Abbiegelicht
- ***Motorway light*** - als weitreichendes Licht
- ***Adverse weather light*** - Schlechtwetterlicht mit Reduktion der Blendung des Gegenverkehrs bei gleichzeitiger kräftiger Ausleuchtung des eigenen Fahrbahnrandes

Alle diese neuen Lichtverteilungen lassen sich mit einem Kurvenlicht kombinieren. Das dynamische Kurvenlicht ermöglicht die Anpassung des Scheinwerfers bei Kurvenfahrt. In Abhängigkeit vom gerade gefahrenen Kurvenradius werden die Scheinwerfer um die Hochachse gedreht.

Das statische Kurvenlicht (Abbiegelicht) wird in sehr engen Kurven, z.B. Kreuzungen, zur Hauptlichtfunktion als Zusatzscheinwerfer zugeschaltet, welcher den Bereich neben dem Fahrzeug ausleuchtet.

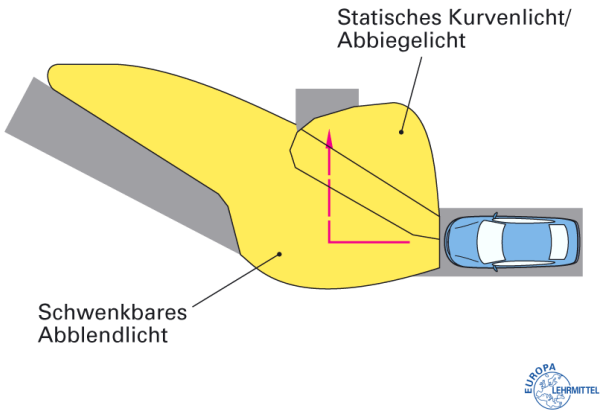


Abbildung 2. 9 Abbiegelicht
Quelle: Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik

AFS-Scheinwerfersysteme gibt es seit 2006 auf dem Markt. „Intelligente“ Scheinwerfer-Systeme können neben den benötigten Signalen (Geschwindigkeit, Lenkwinkel und Querbeschleunigung) weitere Informationen über die Verkehrssituation zur Ansteuerung einbeziehen. So werden Kameras und Bildverarbeitung sowie das Navigationssystem als Informationsquellen genutzt [19].

Werden solche Informationen aus dem Verkehrsraum genutzt spricht man von assistierenden Lichtsystemen.

2005 wurde ein erstes System dieser Art als Fernlichtassistent in den Markt geführt, welches automatisch zwischen Fern- und Abblendlicht schaltet. Seit 2008 wurden auch Systeme in den Markt gebracht, welche kamera- und bildverarbeitungsbasiert die Lichtfunktionen innerhalb der AFS Regelungen modulieren. Die Kameras werden dabei mit Spurhaltesystemen, Nachtsichtgeräten oder ACC Funktionen gemeinsam genutzt. Mit Hilfe von GPS Signalen wird neben Kameras die Kurvenlichtsteuerung protegiert. Reine Nachtsichtsysteme für Kfz haben sich dagegen bisher nur in Nischen etabliert. Passive Nachtsichtsysteme nehmen nur die vorhandene Wärmestrahlung auf, bei den aktiven Systemen hingegen wird gezielt für den Menschen nicht sichtbares Infrarotlicht in den Fernbereich zur Unterstützung des sichtbaren Abblendlichtes ausgestrahlt. Für den Fahrer werden dann die über eine Kamera aufgenommenen Infrarotbilder in einem Display dargestellt.

3. Scheinwerfereinstellung

Scheinwerfer müssen richtig eingestellt sein. Dabei gelten Rahmenbedingungen, welche eine korrekte Einstellung der Scheinwerfer ermöglichen. Des Weiteren gibt es mehrere Gründe, warum eine Überprüfung und Einstellung der Lichtverteilung erforderlich ist. Die häufigste Ursache für eine fehlerhafte Lichtverteilung ist der Austausch eines Leuchtmittels. Oft zeigt sich, dass das Leuchtmittel nicht korrekt ausgetauscht wird. In vielen Fällen wird dieses bei Halogenscheinwerfer um 180° verdreht eingesetzt. Auch ist die Qualität der „Glühlampe“ ein entscheidender Grund für eine nicht korrekte Lichtverteilung. No-Name-Lampen weisen diesbezüglich starke Abweichungen in der Geometrie der Glühfäden und des Sockels auf [22].

Mit steigender Laufleistung des Kfz kommt es zu einer schrittweisen Veränderung der Scheinwerfereinstellung. Gründe dafür sind der Verschleiß von Stoßdämpfer und anderen Fahrwerkskomponenten, welche eine Höhenveränderung zur Folge haben. Weitere Ursachen zeigen sich bei der Umrüstung der Rad-/Reifenkombination auf eine stark abweichende Dimension, sowie auch bei leichten Unfallschäden im Frontbereich.

Eine weitere häufige Ursache für falsch justierte Scheinwerfer ist die fehlerhafte Einstellarbeit selbst bzw. ein falsch kalibriertes oder beschädigtes Scheinwerfereinstellprüfgerät (SEP) in Verbindung mit Aufstellfläche/Einsatzbereich (siehe 2.3.2).

Vorbereitung des Fahrzeugs (allgemein)

1. Eventuell vorhandene Niveauregulierung auf Normallage bringen.
2. Kontrolle und Einstellung des Reifendruckes (obligatorisch).
3. Kontrolle des Kofferraums (unbeladener zustand).
4. Kraftstofftank mind. zur Hälfte gefüllt (ideal).
5. Kontrolle der manuellen Leuchtweitenregulier auf Funktion, sowie auf „Null“ stellen. Bei automatischer Leuchtweitenregulierung ist die Nullstellung eventuell mittels Tester nötig.
6. Kontrolle und Reinigung der Scheinwerfer. Sichtkontrolle der Reflektoren sowie der Abschlussscheibe auf Korrosion, etwaige Kratzer und Milchglaseffekte (Versprödung).

Scheinwerfer einstellen (allgemein)

1. Gerät vor das Fahrzeug schieben und korrekt mittels Ausrichtspiegel bzw. Laserlinie an zwei symmetrischen Bezugspunkten der Frontseite des Fahrzeugs ausrichten.
2. Scheinwerferlicht einschalten (Herstellerangaben beachten!)
3. Projektionsbildschirm des SEP mittels Einstellrad auf vorgeschriebenen Neigungswert einstellen.
4. Scheinwerfer einzeln überprüfen, andere Scheinwerfer ausschalten ggf. abdecken.
5. Projektionsbildschirm beobachten.
6. Fahrzeugscheinwerfer solange einstellen, bis die jeweils geltenden Vorschriften erreicht werden.

Quelle: [22], [23]

Abbildung 3. 1 Positionierung des Scheinwerfereinstellprüfgeräts
Quelle: Hella

Das Scheinwerfereinstellprüfgerät ist auf die Mitte des Scheinwerfers bzw. des Leuchtmittels (bei LED Scheinwerfer auf Master-LED) auszurichten. Erlaubte Abweichungen in Höhe und Seite betragen max. 3 cm. Der Abstand SEP zu Fahrzeug variiert und ist dem jeweiligen Hersteller des SEP zu entnehmen.

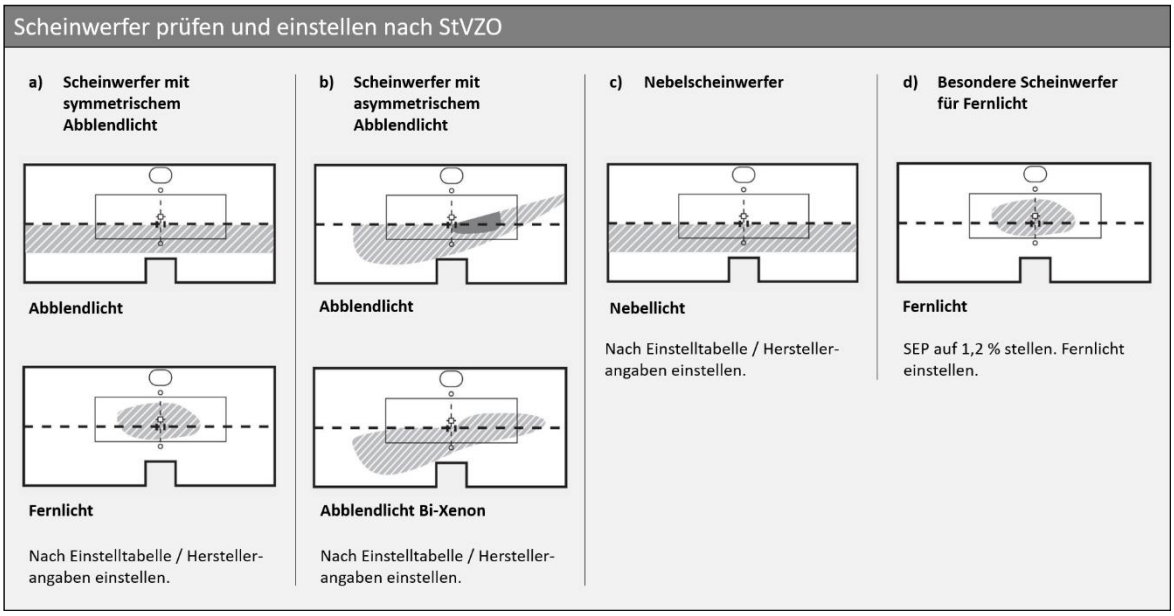


Abbildung 3. 2 verschiedene Lichtverteilungen und ihre Ansichten im SEP
Quelle: Hella

3.1 Prüfmittel (SEP)

Für die Überprüfung der Einstellung der Scheinwerfer kommt ein modernes SEP als wichtigstes Hilfsmittel zum Einsatz. Dieses gibt es in analoger und digitaler Ausführung. Bekannte Beispiele sind das MLT 3000 als digitale Ausführung und das MLT 1000 als analoge Ausführung vom Hersteller MAHA. Des Weiteren sind SEP anderer Hersteller ab ca. 350 Euro bis ca. 4000 Euro erhältlich [22]. Ein gutes SEP sollte einen schweren und stabilen Standfuß haben, sowie die Einstellung in Höhe und Neigung spielfrei ermöglichen. Hilfreich hingegen ist eine Positionierungshilfe mittels Laserstrahl der eine schnelle und genaue Ausrichtung auf das Leuchtmittel im Scheinwerfer ermöglicht. „Fresnel-Linsen“, erkennbar an den kreisförmigen Rillen, liefern ein schärferes Bild der Lichtverteilung im Projektionskasten [22]. Analoge SEP funktionieren nach dem Projektionsprinzip, wobei digitale SEP eine Kamera verwenden.

Des Weiteren sollte die Aufstellfläche SEP gut überlegt sein. Eine Verbringung des SEP von einem Werkstattplatz zu einem anderem kann Defekte am Einstellgerät hervorrufen und würde eine genaue Lichteinstellung nicht mehr ermöglichen. Dass bedeutet, dass die Überprüfung der Scheinwerfer an einem Ort stattfinden muss, der absolut Eben ist. Neigungen, Unebenheiten, Vertiefungen und Wölbungen führen zu einer Fehlinterpretation der Scheinwerfereinstellung. Eine Abnahme im Sinne der Prüfmittel-überwachung (ISO 10604) für die wiederkehrende Hauptuntersuchung (HU) an Kfz wäre dann erforderlich (siehe 3.4). So sollte auch beachtet werden, dass die Linse keiner direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt wird.

Im Folgenden soll die Funktionsweise eines analogen SEP anhand des Modells MLT 1000 von MAHA beschrieben werden [23].

3.1.1 Geräteübersicht MLT 1000

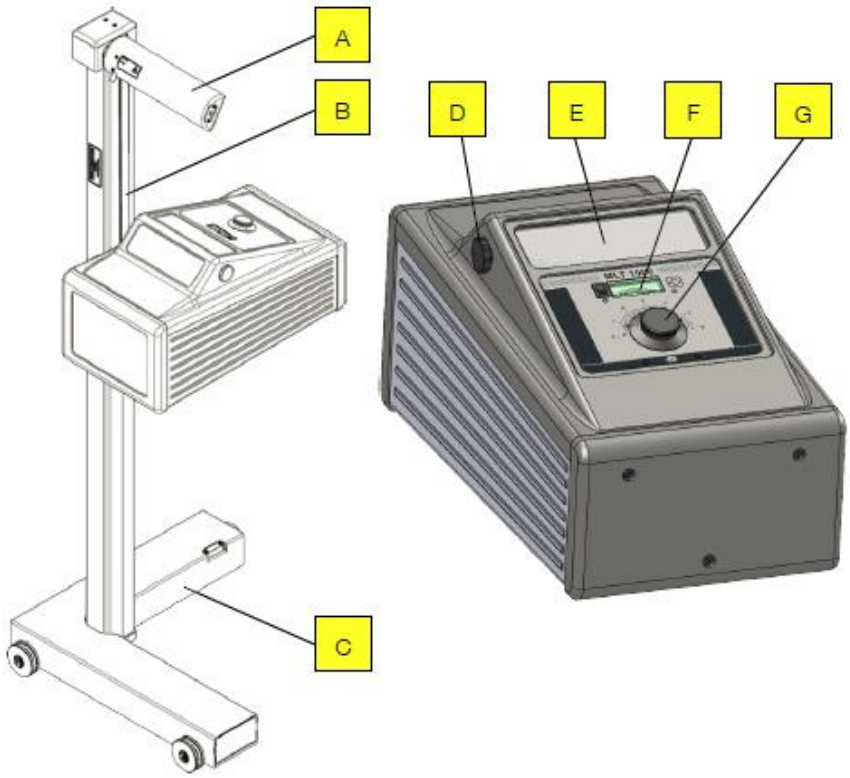


Abbildung 3. 3 Geräteübersicht MLT 1000
Quelle: MAHA

A	Spiegel	Mit optionaler Laser-Ausrichteinheit zum Ausrichten auf das Fahrzeug.
B	Säule	Präzisionsprofil mit Gleitschiene. Gegengewicht in der Säule für Höheneinstellung (automatische Arretierung).
C	Fahrwagen mit Libelle	Schienengebunden oder mit Gummilaufrollen ausgerüstet.
D	Drehknopf für Klappspiegel	Der Klappspiegel dient zur Beobachtung des Projektionsbildschirms im Gehäuse.
E	Sichtfenster	Dient zur Beobachtung des Projektionsbildschirms.
F	Lichtmesseinrichtung	Überprüfung der Lichtstärke der Scheinwerfer.
G	Einstellrad	Dient der Einstellung des gewünschten Neigungswert.

Tabelle 3. 1 Geräteübersicht MLT 1000
Quelle: MAHA

3.1.2 Projektionsbildschirm

Basis der Messbedingung für den Projektionsbildschirm ist der Abstand zwischen Scheinwerfer und Prüffläche, welcher 10 m beträgt. Dabei wird das Abbild des Abblendlichtes auf dem Projektionsbildschirm gegenüber dem Original um 20-mal kleiner dargestellt. Als Projektion bezeichnet man die vergrößerte, verkleinerte oder anders modifizierte Übertragung eines Bildes auf eine Projektionsfläche.

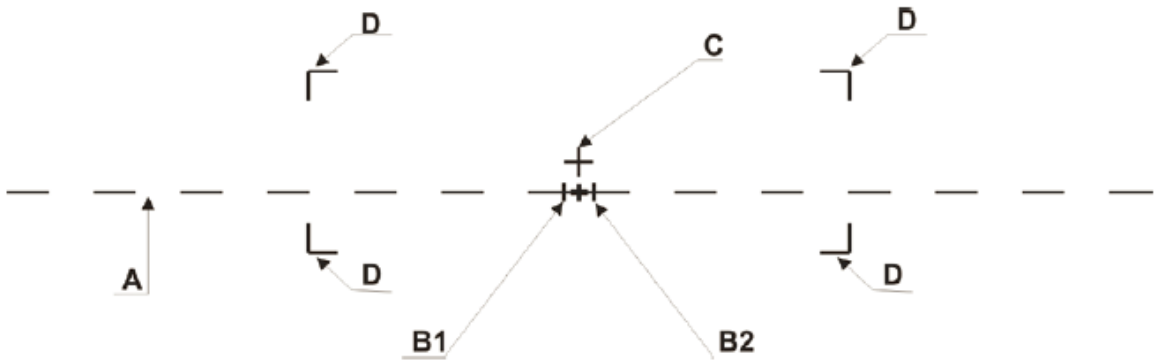


Abbildung 3. 4 Projektionsbildschirm MLT 1000
Quelle: MAHA

A	Trennstrich = Bezugsachse HDG des Abblendlichtes
B1	Toleranzmarkierung links für Knickpunkt von asymmetrischem europäischem Abblendlicht.
B2	Toleranzmarkierung rechts für Knickpunkt von asymmetrischem europäischem Abblendlicht
C	Zentralmarke = Elementarer Punkt zur Einstellung des Fernlichts
D	Angedeutetes Rechteck, welches der Größe der Prüffläche nach den Richtlinien für die Einstellung von Kraftfahrzeugscheinwerfern in Deutschland verbindlich ist.

Tabelle 3. 2 Kennzeichnung Projektionsbildschirm MLT 1000
Quelle: MAHA

3.1.3 Einstellrad

Das Einstellrad dient der Verstellung des Projektionsbildschirms im Gehäuse nach oben bzw. nach unten. Die Skala des Einstellrades wird in % ausgegeben, da die Neigung des Scheinwerferlichtbündels gegenüber der Aufstellfläche Kfz bzw. Fahrfläche prozentual ausgedrückt wird. Hier kann ein Neigungswert von (HDG der Fahrzeugscheinwerfer) von 0…- 6,0 % eingestellt werden.

Abbildung 3. 5 Einstellrad MLT 1000
Quell: MAHA

3.1.4 Begriffsbestimmung

Nickwinkel

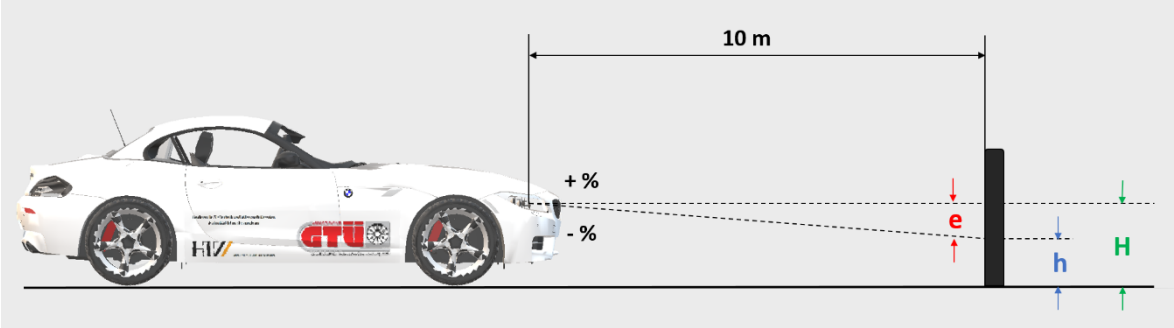


Abbildung 3. 6 Neigungswinkel der HDG gegenüber der Prüffläche

- „**H**“: Höhe der Mitte des Scheinwerfers über der Aufstellfläche in [mm].
- „**e**“: Einstellmaß in [mm], um dass das Lichtbündel eines Scheinwerfers auf 10 m Entfernung geneigt werden soll.

$$e\ \% = \frac{(H-h)mm}{10000\ mm} * 100\ \% \qquad (3.1)$$

Formel 3. 1 "e-Einstellmaß"
Quelle: MAHA

Die Scheinwerfer-Einstellung ist auf das unbeladene Fahrzeug ausgelegt. Beladung bewirkt ein Absenken des Fahrzeug-Hecks und zum Teil eine erhebliche Blendung des Gegenverkehrs. Seit 1991 in Deutschland und seit 1998 ist es europaweit direktiv eine vom Fahrersitz bedienbare Leuchtweitenregelung (LWR) für die Scheinwerferneigung zu haben.

Gegenüber dem mechanischen, hydraulischen und pneumatischen System hat sich das elektrische System für die LWR durchgesetzt. Allerdings ist die korrekte Bedienung der LWR nicht immer gegeben.

So schreibt die ECE-Regelung 48 eine automatische LWR für Xenonlicht und andere eindringliche Lichtquellen vor, welche autodynamisch Beladungsänderungen ausgleicht. Um eine solche automatische LWR realisieren zu können muss die Lage der Karosserie relativ zur Fahrbahn erkannt werden. Drehwinkelsensoren ermöglichen eine Erkennung der relativen Lage und werden an der Vorder- und/oder Hinterachse über ein Gestänge verbaut [12].

Abblendlicht

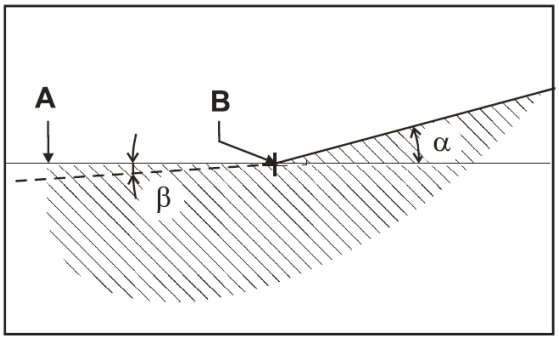


Abbildung 3. 7 Begriffsbestimmung Abblendlicht
Quelle: MAHA

A	**Hell-Dunkel-Grenze**	Grenze der Lichtverteilung „oben dunkel“ und „unten hell“.
B	**Knickpunkt**	Beim asymmetrischen Abblendlicht.
α	**Gierwinkel**	Winkel zwischen dem Knickpunkt rechts ansteigend und der HDG und der Horizontalen beim asymmetrischen Abblendlicht.
β	**Rollwinkel**	Winkel zwischen dem linken Teil der HDG und der Horizontalen.

Tabelle 3. 3 Begriffsbestimmung Abblendlicht MLT 1000
Quelle: MAHA

Fernlicht

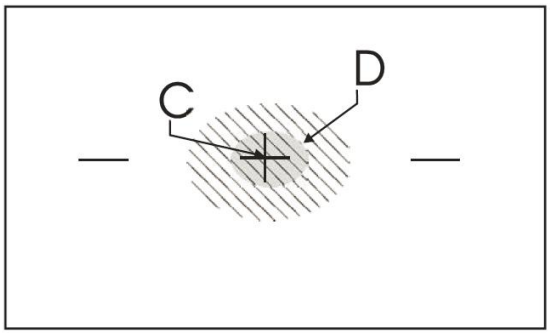


Abbildung 3. 8 Begriffsbestimmung Fernlicht
Quelle: MAHA

C	**Zentralmarke**	Abweichung des Hots-Spots in X- und Y-Richtung.
D	**Hot-Spot**	Lichtbündelmitte des Fernlichtes.

Tabelle 3. 4 Begriffsbestimmung Fernlicht MLT 1000
Quelle: MAHA

3.2 Rechtlichen Grundlagen der Lichtprüfung

Die Einstellung der Scheinwerfer ist im Rahmen der regelmäßigen technischen Überwachung der Fahrzeuge nach § 29 StVZO zu überprüfen. Dabei sieht die Hauptuntersuchung (HU) eine Einrichtung vor, welche ein System zur Überprüfung der Einstellung der Scheinwerfer definiert [24]. Diese Einrichtung wird als „HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie“ bezeichnet und gibt eine klare Auskunft über die Anforderungen und Beschaffenheit des Systems, sowie deren Justage, Kalibrierung und Protokollage. Darüber hinaus werden in der Richtlinie die Einstellmaße und deren Toleranzen in Bezug auf die Fahrzeugart deklariert.
Des Weiteren sind Kraftfahrzeuge mit besonderen Technologien, z.B. mit adaptiven Frontbeleuchtungssystemen (AFS) nach Anlage VIIIa StVZO i.V.m. der Vorgabenrichtline zu überprüfen. Das bedeutet, dass intelligente Scheinwerfer auf Funktion und Einstellung des Lichtbündels zu überprüfen sind. Eine Justierung der AFS bei der HU entfällt.

3.2.1 Wesentliche Vorgaben der „HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie“

- Notwendige Belastung des Fahrersitzes (75 kg) bei mehrspurigen Fahrzeugen entfällt (2 Scheinwerfersystem).
- Aufstellfläche des Fahrzeuges und Scheinwerfereinstellprüfgerät (SEP) müssen parallel zueinander sein.
- Für SEP-Aufstellfläche sowie Fz-Aufstellfläche gibt es Grenzwerte bezüglich der Unebenheiten und der Neigung.
- Unterschiedliche Toleranzwerte für Fahrzeuge über und unter 2,5 m Radstand.
- Alle 24 Monate unterliegen SEP- und Fz-Aufstellfläche einer Stückprüfung, die von einem Sachkundigen durchzuführen ist.
- Am SEP muss ein Fabrikschild mit den Angaben des Typs, des Herstellers und einer Baumusterfreigabe vorhanden sein.

Beschaffenheit der Fz-Aufstellfläche (AF)

Maximaler Abstand zwischen den Fahrspuren		**1,40 m**
Mindestbreite	M1; N1	2,00 m
	N2; N3; M2; M3; T	2,30 m
Mindestlänge	M1; N1	4,00 m
	N2; N3; M2; M3; T	8,50 m
	L	2,50 m

Tabelle 3. 5 Einteilung der Fahrspuren nach Fahrzeugklassen
Quelle: VkBl. 5/2014

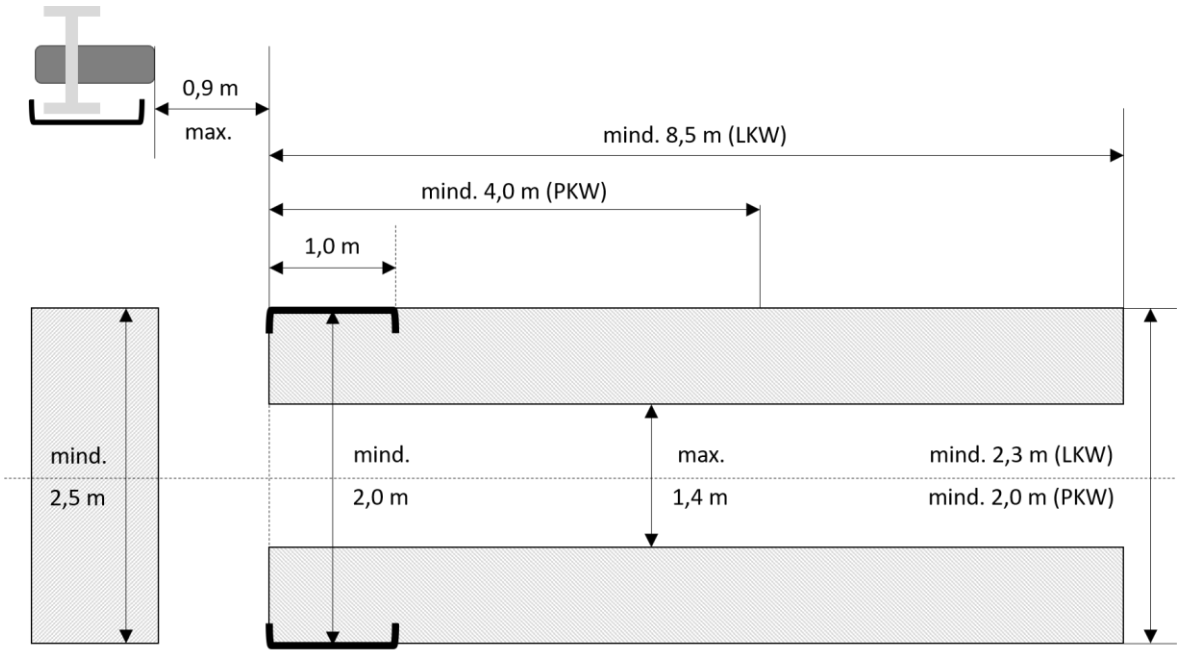


Abbildung 3. 9 Aufstellfläche für zweispurige Kraftfahrzeuge
Quelle: VkBl. 5/2014

Die Tabelle 3.5 und Abbildung 3.9 verdeutlichen, zu welchem Fahrzeugtyp die entsprechende Mindestbreite und Mindestlänge der FZ-Aufstellfläche gemäß der HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie einzuhalten gilt.

Anforderung an die Unebenheiten

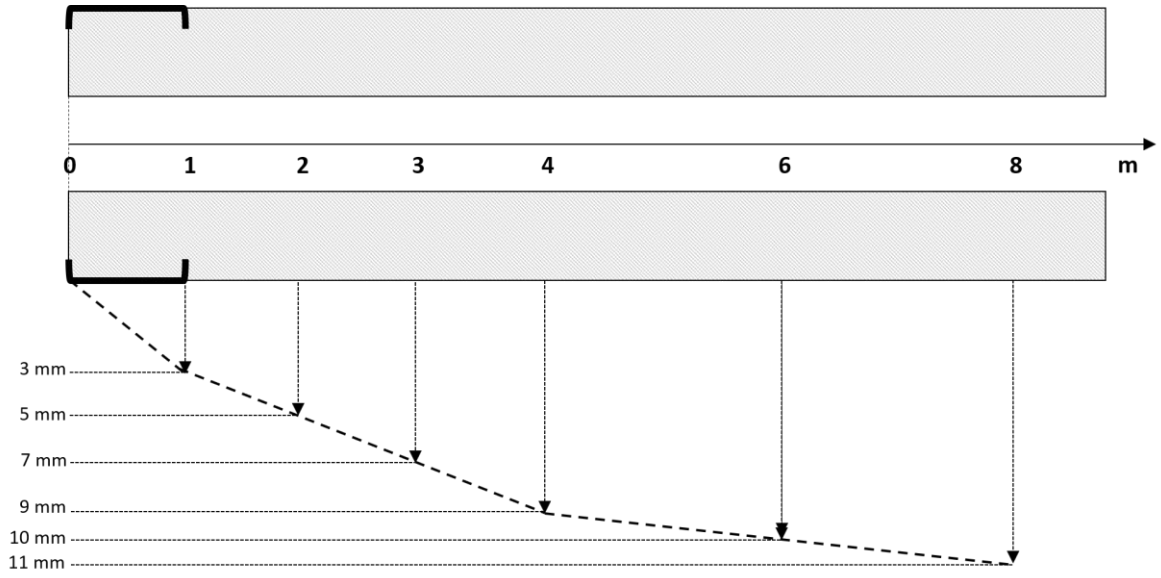


Abbildung 3. 10 zulässige Unebenheit in Bezug auf Prüfplatzlänge
Quelle: VkBl. 5/2014

Prüfplatzlänge	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	6 m	8 m
Unebenheit	0 mm	3 mm	5 mm	7 mm	9 mm	10 mm	11 mm

Tabelle 3. 6 Zulässige Unebenheiten in Bezug auf Prüfplatzlänge
Quelle: VkBl. 5/2014

In der Tabelle 3.6 wird die maximale zulässige Unebenheit in Abhängigkeit von der Prüfplatzlänge verdeutlicht. Angestrebt wird eine Unebenheit von 0 mm.

Des Weiteren sind auch Hebebühnen (z.B. Achsmessbühnen) als Aufstellfläche geeignet, diese müssen feste Auflagepunkte am Boden aufweisen und ein Nivellieren der Hebebühne ermöglichen. Allerdings gibt es bauartbedingt bei viele Hebebühnen diverse Flächen, welche als Aufstellfläche ausgenommenen werden müssen. Das sind z.B. Achsspieltester und Achsfreiheber. Auf diesen ausgenommenen Flächen darf bei der Überprüfung der Scheinwerfer kein Rad zum Stehen kommen.

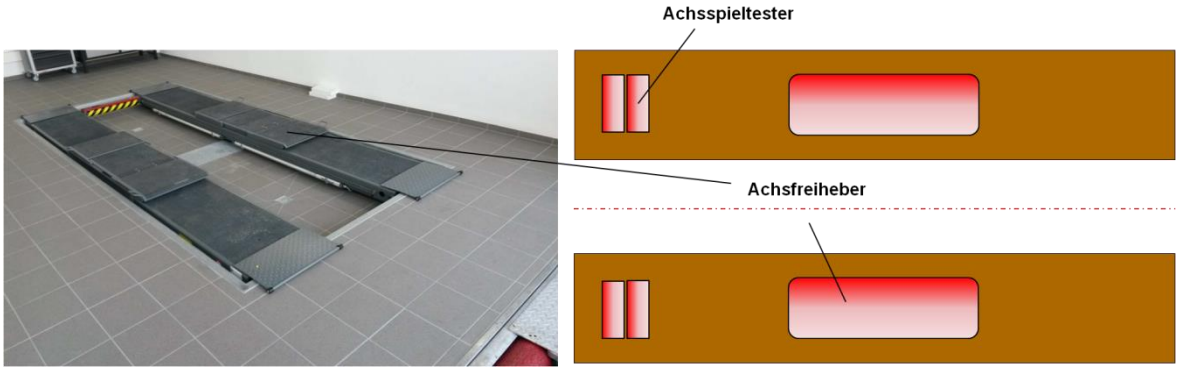
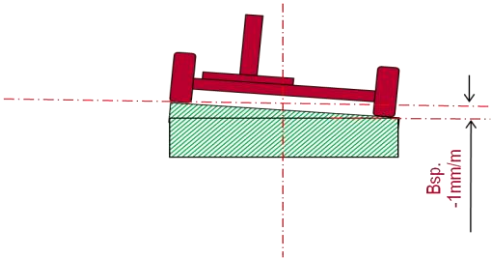


Abbildung 3. 11 ausgenommene Flächen
Quelle: GTÜ

Beschaffenheit des SEP-Einsatzbereiches

- Die Mindestbreite des SEP-Einsatzbereiches beträgt 2,50 m die Unebenheit darf maximal +/- 1 mm/m betragen.
- Kann das SEP Unebenheiten ausgleichen, so darf die Anforderung an den Einsatzbereich unberücksichtigt bleiben.
- Die Querneigung sowie die Längsneigung darf maximal +/- 1,5 % betragen und muss gleichgerichtet sein.



Unebenheit darf
+/- 1 mm/m betragen dies
entspricht einer Bandbreite von
0,2 %

Abbildung 3. 12 Unebenheit SEP-Einsatzbereich
Quelle: GTÜ

Anforderungen an das Scheinwerfereinstellprüfgerät (SEP)

- Identifikation: Entspricht das SEP der Baumusterprüfbescheinigung?
- Ist der letzte Prüfbericht vorhanden?
- Ist die Betriebsanleitung vorhanden?
- Sichtprüfung:
  - ✓ A Baumusterzulassung vorhanden,
  - ✓ B Typenschild vorhanden und lesbar,
  - ✓ C Laufrollen unversehrt und sauber,
  - ✓ D Visiereinrichtung unversehrt und rechtwinklig,
  - ✓ E Neigungseinrichtung des Optikkastens gegen Verstellen gesichert,
  - ✓ F Betätigungselemente funktional? (Einstellrad, Skale, Tastatur, Display, Hand- und Haltegriffe),
  - ✓ G Kalibrierung und ev. Justage des SEP, erfolgt Bspw. in den Positionen 0 %, 1 %, 2 % (PKW) und 0 %, 2 %, 4 % (LKW).
- Linse unversehrt.
- Verstelleinrichtung für Prüfschirm funktional und Nulllage.
- Gerätefuß unversehrt.
- Säule senkrecht zur Aufstellfläche.

Abbildung 3. 13 Sichtprüfung SEP

Anforderungen an die Prüffläche

- Die Prüffläche muss senkrecht zur Aufstellfläche des Kraftfahrzeuges und rechtwinklig zur Längsmittelebene des Fahrzeuges sein.
- Die Prüffläche soll in Höhen- und Seitenrichtung verstellbar sein.
- Die Prüffläche soll Hellfarbig und nachfolgender Abbildung mit Markierungen versehen sein (Verlauf der Hell-Dunkel-Grenze).

Die Prüfflächen müssen folgender Abbildung entsprechen:

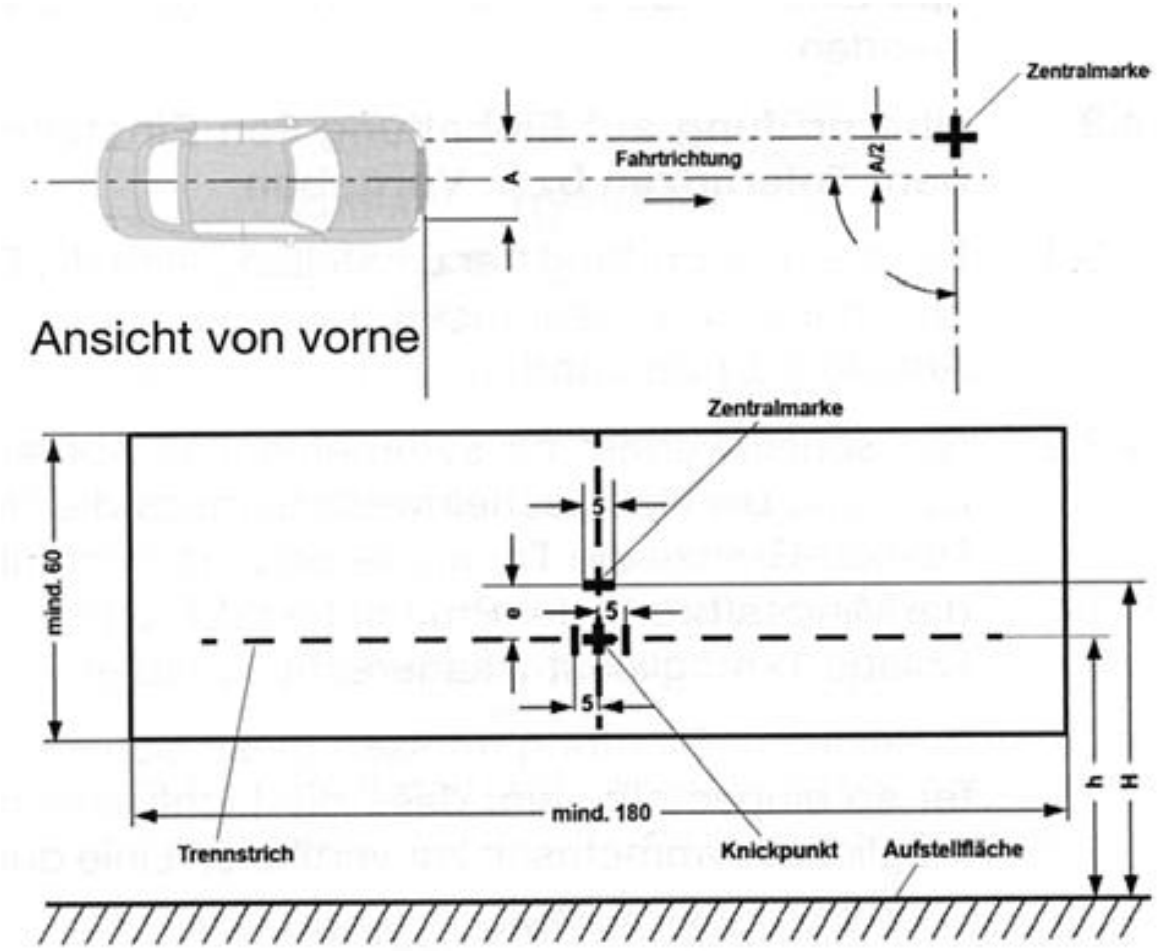


Abbildung 3. 14 Anforderung an die Prüffläche
Quelle: VkBl. 5/2014

3.2.2 Anforderungen an die Prüfeinrichtung

Folgende Bedingungen müssen für die Prüfmittel eingehalten werden:

- Prüfmittel müssen auf nationale oder internationale Normen rückführbar sein.
- Prüfmittel für horizontale Messungen müssen einer Genauigkeit von 0,2 mm/m entsprechen (Kreuzlinienlaser).
- Prüfmittel für Abstands- und Höhenmessung sind mit einem Skalenwert von mindestens 1 mm zu verwenden.
- Standlineal für Höhenmessung mit einer maximalen Standfläche von (50 x 50) m.
- Alle Prüfmittel müssen einem gültigen Zertifikat unterliegen (konform / geeicht).
- Eindeutige Kennzeichnung auf Prüfmittel (Seriennummer.)
- Prüfmittel müssen in dem Stückprüfprotokoll vermerkt sein (Kalibrierschein SEP und Kalibrierschein AF).

Prüfmittelliste	
Prüfmittel	**Hilfsmittel**
nivellierbarer Laser (a)	SEP
arretierbarer Laser (a)	Richtscheit
Maßband (c)	Stückprüfprotokpll
Stahlmaßstab (b)	Markierungsmaterial
Neigungsmesser (d)	Wasserwage

Tabelle 3. 7 Prüfmittelliste

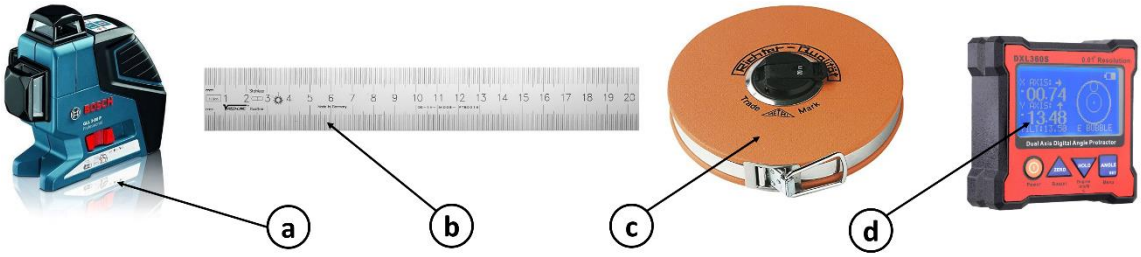


Abbildung 3. 15 geforderte Prüfmittel
Quelle: Amazone.de

Anforderung an die Stückprüfung

- Beschaffenheitsprüfung, Sicht- und Funktionsprüfung (siehe 3.2.1 SEP).
- Durchführung der messtechnischen Überprüfung.
- Aufbewahrungsfrist der Prüfbescheinigung von mind. 5 Jahren.
- Stückgutprüfungen dürfen durchgeführt werden von:

    - Sachkundigen,
    - Hersteller oder Importeure des SEP,
    - Prüflabore,
    - Kraftfahrzeuginnungen oder Landesverbände,
    - Sachverständigenorganisationen.

Anforderung an die Markierung der Aufstellfläche und Einsatzbereich

Mindestens zwei Linien sind zur Markierung der FZ-Aufstellfläche notwendig. Sie müssen die Außenkanten und den Anfang der Prüffläche lokalisieren. Die SEP-Fläche wird dem entsprechend markiert. Wird ein Schienensystem installiert ist eine zusätzliche Markierung dieser Fläche nicht nötig.

Abbildung 3. 16 Kennzeichnung Aufstellfläche / Einsatzbereich SEP
Quelle: GTÜ

4. Videobasierte Erkennungseinrichtung von LTE

Die videobasierte Erkennungseinrichtung von lichttechnischen Einrichtungen an Kraftfahrzeugen ist ein System, welches eine zügige Erfassung der Einstellung der Scheinwerfer bei der wiederkehrenden Hauptuntersuchung nach § 29 StVZO an Prüfstützpunkten eine zukünftige Rolle spielen wird.
Das System besteht aus Hardwarekomponenten sowie einer Software. Die Hardware beinhaltet zwei Kameras und dem dazugehörigen Verbindungsequipment. Einer Leinwand, auf welcher die Lichtverteilung der Scheinwerfer abgebildet wird und einem Computer mit entsprechenden Ein- und Ausgabegeräten (Monitor, Tastatur und Maus).
Mit dieser Einrichtung soll schon bei Einfahrt in die Prüfstraße dem Prüfingenieur (PI) über z.B. den HU-Adapter eine schnelle Auskunft über die prozentuale Einstellung der Hell-Dunkel-Grenze und der horizontalen Verteilung der vertikalen Lichtverteilung (Knickpunkt des asymmetrischen europäischen Abblendlichts) gegeben werden. Des Weiteren wäre eine sofortige Dokumentation bei der HU ohne „selbst-Eingabe“ möglich. Daraus ergeben sich Vorteile gegenüber der herkömmlichen Scheinwerferüberprüfung mit SEP:

- Fehler bei der Ausrichtung des SEP vor dem Fahrzeug werden vermieden.
- Einstellfehler des SEP vom PI bleiben aus.
- Die Ermittlung der tatsächlichen Lichtverteilung in Bezug auf die Fahrachse des Kfz.
- Scheinwerfereinstellung ist unabhängig von der Fz-Karosserie.
- Keine manuelle Eingabe der Lichtverteilung zur Dokumentation nötig.

Das System ist in der Lage automatisch die Längs- bzw. Fahrachse des Kraftfahrzeugs zu erkennen. Die HDG wird ebenfalls von selbst erkannt und berechnet. Des Weiteren wird eine Robustheit gegenüber der gängigen verschiedenen Leuchtmittel (Halogen, Xenon und LED), der zeitraubenden Montage von Markern wie zum Bsp. bei der optischen Achsvermessung und gegenüber den üblichen Bodenunebenheiten in Werkstätten und auf Prüfstraßen gewährleistet [25].

Im Folgenden wird die Praxistauglichkeit der videobasierten Erkennungseinrichtung Im Kfz-Prüfcenter Spantig (Partner der GTÜ) systematisch untersucht. Zur Verfügung stehen dabei fünf Fahrzeuge der Marke Audi, BMW, Seat, Ford und einem Skoda. Wichtig sind hier der Bezug und die Einhaltung der vorbereitenden Maßnahmen des Kfz sowie der rechtlichen Grundlage der LTE wie unter 3. und 3.2 beschrieben. Nicht nur Funktionalität des Systems, sondern auch die Rückführbarkeit der Einrichtung spielt dabei eine große Rolle.

4.1 Messprinzip

Bei Einfahrt des Fahrzeugs in die Prüfstraße bewegt dieses sich auf die Leinwand zu. Auf der Leinwand wird die Lichtverteilung der Scheinwerfer abgebildet. Mit der stetigen Verringerung der Distanz zwischen Leinwand und Fahrzeug findet eine Verschiebung der Lichtverteilung (HDG des Abblendlichts) in vertikaler Richtung nach „oben“ statt. Dabei wird zum einen die Bewegung des Fahrzeugs und zum anderem die Verschiebung der HDG durch jeweils eine Kamera erfasst. Mit Hilfe des Strahlensatzes kann dann die Scheinwerfereinstellung ermittelt werden.

Damit auch der Knickpunkt des asymmetrischen Abblendlichts (horizontale Einstellung) bestimmt werden kann, ist es erforderlich das Fahrzeug parallel zu einer Referenzlinie mit orthogonaler Ausrichtung zur Leinwand zu bewegen. Auch hier findet der Strahlensatz Anwendung. Verschiebt sich der Knickpunkt B (Abb. 3.7) seitlich auf der Leinwand bei Annäherung, kann mit Hilfe der trigonometrischen Beziehung der Knickpunkt in Grad Winkelmaß ermittelt werden.

4.2 Messaufbau

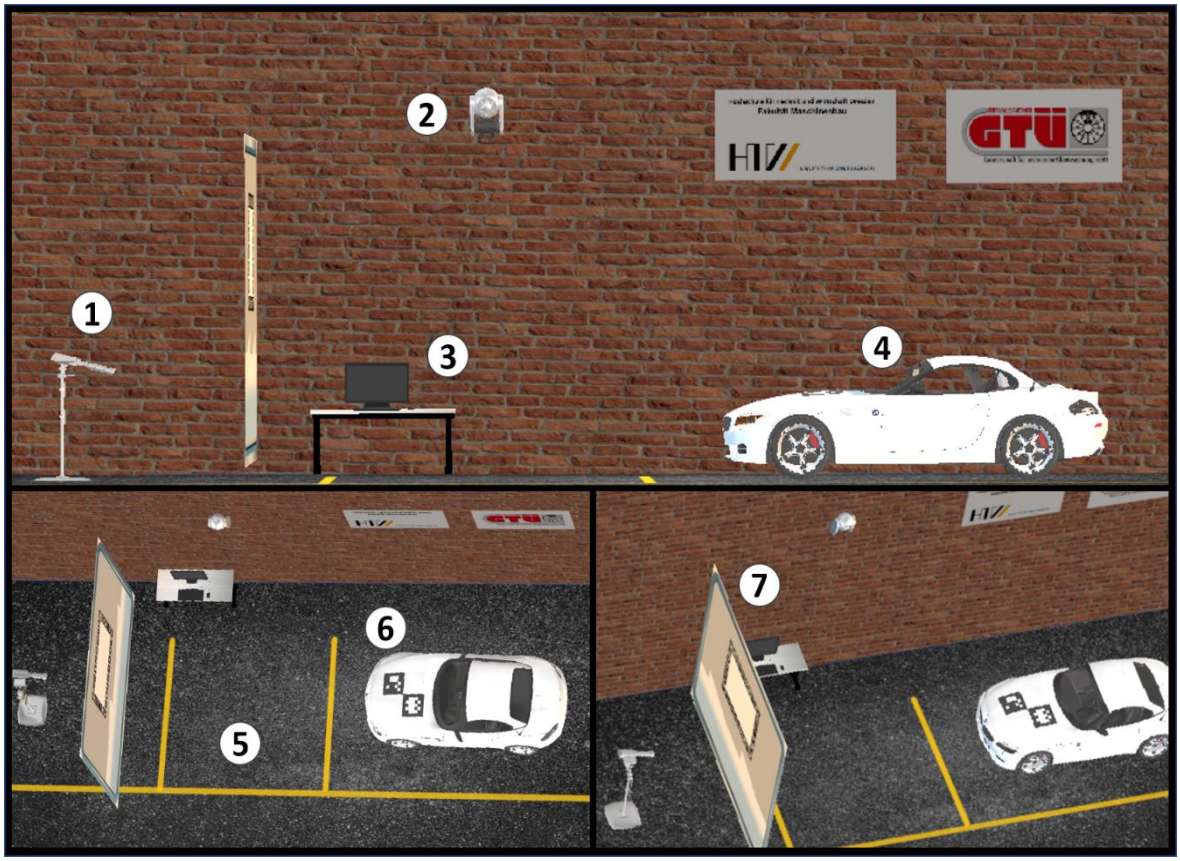


Abbildung 4. 1 Messaufbau

Übersicht des Messaufbaus	
1	Kamera für Lichtverteilung (LV)
2	Kamera für Fahrzeugbewegung
3	Messrechner für die Auswertung der LV
4	zu überprüfendes Fahrzeug
5	kalibrierter Messbereich
6	Marker für Fz
7	Marker und Leinwand für LV

Tabelle 4. 1 Übersicht Messaufbau

Die Kamera (1) für die Lichtverteilung (LV) wird hinter der Leinwand aufgestellt. Sie befindet sich in einer Höhe von 0 – 60 cm zur Fahrbahn und ist mittig mit einem Abstand von 1, 50 m zur Leinwand positioniert. Optimalerweise erfasst die Kamera die Lichtverteilung der beiden Scheinwerfer des Fahrzeuges sowie den aufgebrachten Marker (7) an der Leinwand. Die Kamera (2) für die Fahrzeugbewegung wird vor der Leinwand (7) in einer Höhe von 3 – 4 m seitlich zur Fahrbahn positioniert. Hier ist eine geeignete Befestigung an der Hallenwand oder Trennwand zu imaginieren. Bei der Positionierung der Kamera ist auf eine orthogonale Ausrichtung zur Fahrbahn zu achten, welche den kalibrierten Messbereich (5) und das entsprechende zu überprüfende Fahrzeug (4) erfasst. Der kalibrierte Messbereich (5) ist ein Bestandteil des Messaufbaus, in welchem ggf. Bodenunebenheiten in der Auswertung (3) gefiltert werden müssen. Des Weiteren sind in diesem Bereich, durch die Fahrbahn bedingt, Neigungen zu ermitteln und als „Offset“ in der Auswertung zu berücksichtigen. Das bedeutet, dass jedes eingerichtete videobasierte System zur Überprüfung der Lichtverteilung einer Kalibrierung unterliegt. Die Marker (7;8) dienen zum einen zur Erfassung der Bewegung des Fahrzeuges sowie Bewegungsänderung und zum anderen wird dem Messrechner (3) Auskunft über den Abstand der Ebene (Leinwand) gegeben in welcher die Verschiebung der HDG stattfindet. Der Messrechner (3) liest und verarbeitet die Kameradaten gemäß dem zum Zeitpunkt entwickelten Softwarestand.

4.3 Komponenten

4.3.1 Kameras

Zur Anwendung kommen zwei Kameras der Firma IDS Modell UI-3060CP-M-GL Rev.2 mit USB 3.0 Anschluss (2) und Triggerport (1). Diese Kameras sind als monochrome Version erhältlich, haben eine hohe Bildrate bei einer hohen Auflösung und einen global shutter. Dieser verhindert Verzerrungen, welche bei einem roling-shutter-Effekt entstehen. Mit Hilfe des Triggerports und dem dazugehörigen Triggerkabel kann die Belichtung der beiden Kameras angepasst werden. Des Weiteren werden für diese Kameras entsprechende Objektive benötigt. In der folgenden Tabelle wird eine Liste mit geeigneten Objektiven dargestellt [25].

	Entfernung in [mm]	Sichtweite in [mm]	Brennweite in [mm]	Passende Objektive
Positions-vermessung	3000	5000	8	Objektiv, Kowa, LM8HC, 8 mm, 1" Objektiv, Tamron, M111FM08, 8 mm, 1.1"
Hell-Dunkel-Grenze	1500	2500	8	Objektiv, Kowa, LM8HC, 8 mm, 1" Objektiv, Tamron, M111FM08, 8 mm, 1.1"
	1000	2200	6.1	Objektiv, Kowa, LM6HC, 6 mm, 1"

Tabelle 4. 2 Verwendete Objektive

Abbildung 4. 2 Verwendete Kamera und Objektive Tamron und Kowa
Quelle: IDS

Die richtige Entfernung der Kamera zum Prüfobjekt (Fahrzeug) bzw. der Leinwand für die HDG-Erfassung kann mit Hilfe der Abstandsformel für den Arbeitsabstand g berechnet werden.

$$g = f' * (\frac{G}{B} + 1) \tag{4.1}$$

Formel 4. 1 Arbeitsabstand g
Quelle: Grundkurs Physik

Mit g = Arbeitsabstand (Entfernung), f‘ = Brennweite (Bildseite), G = Gegenstandshöhe (Sichtweite) und B = Bildhöhe (Sensordiagonale).

Berechnung Arbeitsabstand g für HDG:

gegeben: f‘ = 8 mm; G = 2500 mm; B = 13,4 mm **gesucht:** g(HDG) in [mm]

$$g(HDG) = 8\,mm * (\frac{2500\,mm}{13{,}4\,mm} + 1) \tag{4.2}$$

$$g(HDG) \approx 1500\,mm$$

Der Arbeitsabstand g(HDG) der Kamera (1) beträgt ca. 1, 5 m. Dabei wurde die Sichtweite in Abhängigkeit der Fahrzeugbreite gewählt, welche maximal 2,55 m betragen kann. Während der Einfahrt des Fahrzeuges ist darauf zu achten, dass die Lichtverteilung der Scheinwerfer über die Fahrzeugbreite hinausgeht und bei Annäherung an die Leinwand auf das Maß des Abstandes der Scheinwerfer fällt.

Berechnung Arbeitsabstand g für Prüfobjekt (PO):

gegeben: f‘ = 8 mm; G = 6000 mm; B = 13,4 mm **gesucht:** g(PO) in [mm]

$$g(PO) = 8\,mm * (\frac{6000\,mm}{13{,}4\,mm} + 1) \tag{4.3}$$

$$g(PO) \approx 3500\,mm$$

Der Arbeitsabstand g(PO) der Kamera (2) beträgt ca. 3,5 m. Hier wurde die Sichtweite in Abhängigkeit des kalibrierten Messbereiches sowie Markerpositionierung auf dem

Prüfobjekt gewählt. Damit ist auch die Fahrzeughöhe zu berücksichtigen, welche maßgebend für den Arbeitsabstand g(PO) Kamera – Marker ist.

Beachte: Der Arbeitsabstand g ist nur eine ungefähre Angabe, da der Abstand der zwei Hauptebenen auf der Linsenachse des Objektivs nicht bekannt ist. Auch wird bei der Verwendung der Sensordiagonale nicht die tatsächliche Bildhöhe betrachtet, welche aber als Spezifikation vom Hersteller immer verfügbar ist.

4.3.2 Leinwand

Als Gegenstand, auf welcher die Lichtverteilung der Scheinwerfer abgebildet wird, dient eine Faltrahmen Leinwand (Mobile Expert) des Herstellers celexon. Auf dieser wird ein Marker aufgebracht, der Auskunft über den Abstand der Ebene an den Messrechner gibt, in welcher die Verschiebung der HDG stattfindet. Um eine genaue Messung des e-Einstellmaßes durchführen zu können, muss die Leinwand senkrecht zur Fahrbahn stehen. Da eine 100 % senkrechte Ausrichtung nicht gewährleistet werden kann, ist das Messsystem einer Kalibrierung zu unterziehen. Das Projektionstuch wird auf den Rahmen geklippt und durch mehrere Befestigungspunkte in einer idealen Planlage gehalten. Der Betrachtungswinkel liegt bei 100° mit einem Leuchtdichtefaktor (Gain-Faktor) von $\beta_p = 1{,}0$. Das bedeutet, dass das einfallende Licht vollkommen in alle Richtungen bis zu 100° zerstreut wird [26]. Der Kostenpunkt einer solchen Leinwand liegt bei ca. 1000 – 2000 Euro.

Kurzinformation zur Leinwand:

- 406 x 305cm sichtbare Fläche, Format 4:3
- Transportkoffer (BxHxT): 115,5 x 55,0 x 31,0 cm
- Gesamtgewicht inkl. Koffer: 45,0kg
- Rückprojektionstuch umlaufend mit 10 cm schwarzem Rand
- Tuchbefestigung: umlaufend mit Druckknöpfen
- einteiliger Aluminium-Faltrahmen, 2 einteilige Aluminium-Standfüße
- leicht und schnell ohne Werkzeug aufbaubar
- extrem stabil und widerstandsfähig
- geringes Gewicht durch Aluminium-Konstruktion
- stabiler Transportkoffer mit umlaufenden Metallbeschlägen und Rollen
- Aufbewahrungstasche für das Tuch

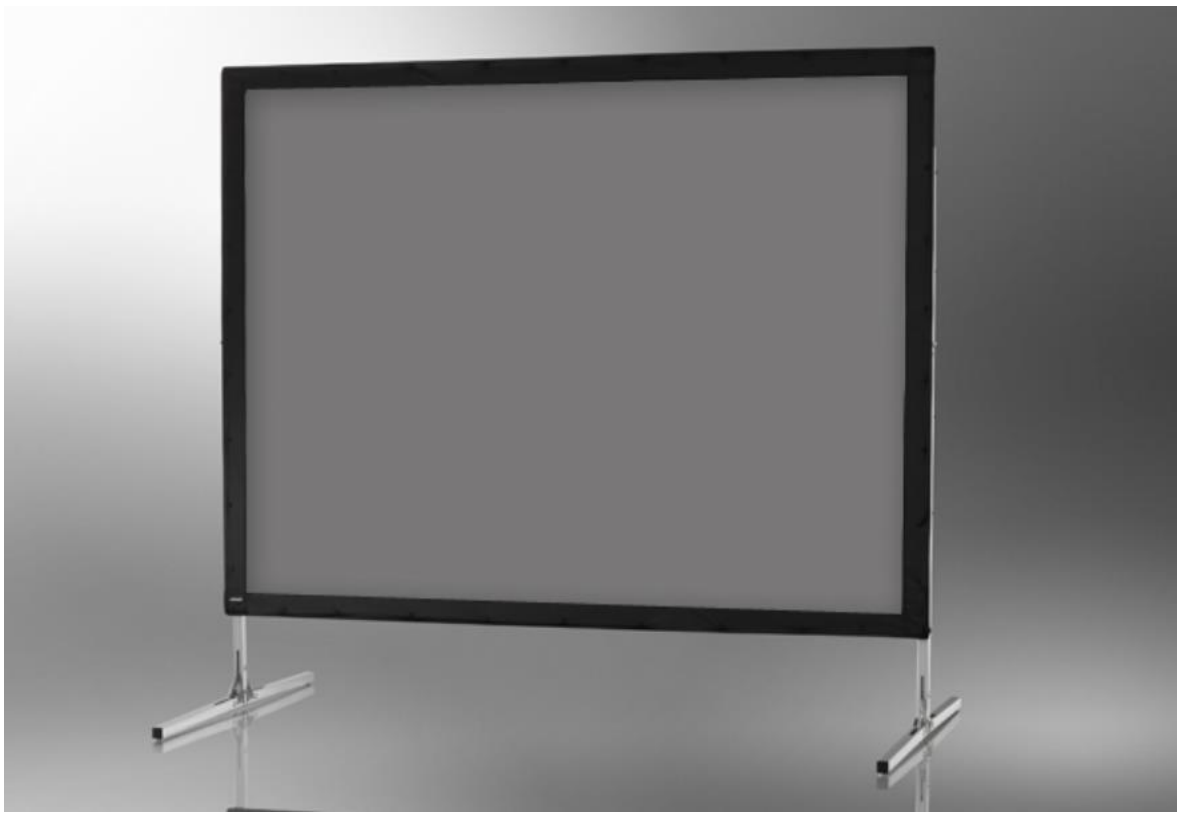


Abbildung 4. 3 celexon Faltrahmen Leinwand Mobile Expert
Quelle: celexon

4.3.3 Markerboard

Benötigt werden zwei Marker. Ein Marker auf der Leinwand zur Bestimmung der Ebene und Entfernung sowie auf dem Fahrzeug zur Bestimmung der Position bzw. der Positionsänderung. Verwendet werden „AruCo markers“, in welchen die Größe und eine ID, z.B. id 887, hinterlegt sind. Dieser Quellcode ist in der entsprechenden Software des LTE-Programms hinterlegt, so dass der Messrechner die gelesenen Daten über die Kameras verarbeiten kann. Eine entsprechende Generierung (3) der Marker kann online unter **http://chev.me/arucogen/** erfolgen.

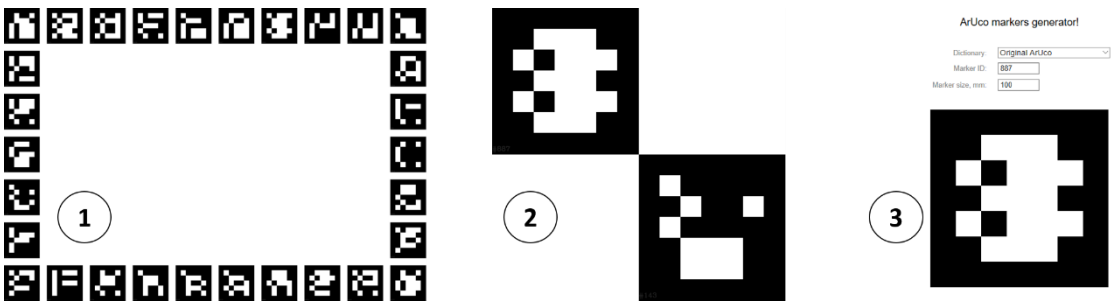


Abbildung 4. 4 Markerboards

Der Marker (1), für die Erfassung der Lichtverteilung, ist mittig und waagerecht auf der Rückseite der Leinwand aufgebracht. Für die Positionsbestimmung des Fahrzeugs ist der Marker (2) auf der Motorhaube oder auf dem Fahrzeugdach anzubringen. Dabei ist darauf zu achten, dass der Marker (2) möglichst eben liegt, damit dieser vom Messrechner sicher erkannt werden kann. Für eine gute Planlage sollte ein entsprechendes Hilfsmittel genutzt werden, welches auch als Hilfsmittel zur Kalibrierung des Messsystems genutzt werden kann.

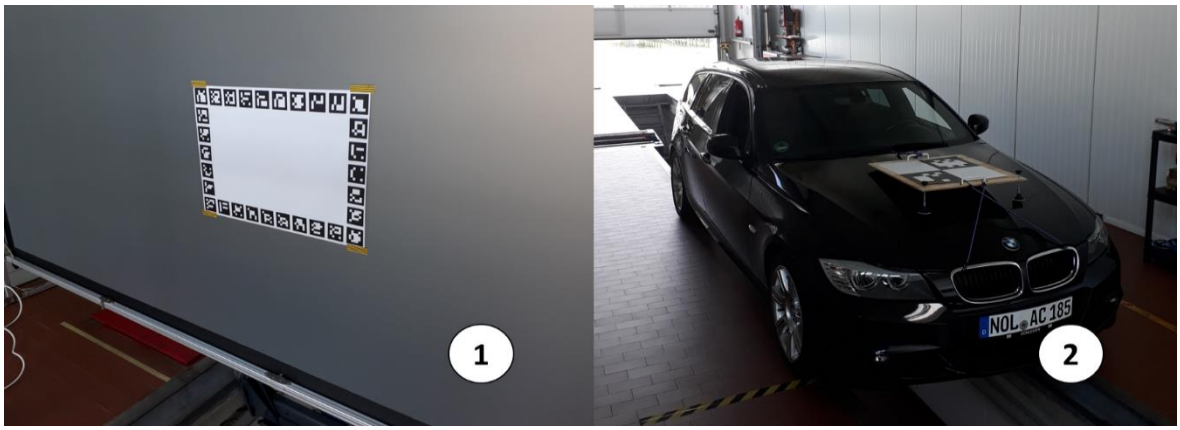


Abbildung 4. 5 Positionierung der Markerboards

4.3.4 Messrechner

Dem Messrechner werden die Kameradaten zugeführt, welcher dann mit Hilfe des LTE-Programms die aufgenommenen Daten auswertet. Die Benutzeroberfläche (a) (Abb. 4.6) des Programms ist in vier, für die Bedienung und Auswertung der Daten, Bereiche unterteilt. Sie bestehen zum einen aus Aufnahme, Auswertung und Fortschritt bzw. Einstellung der Ausgabe / Auswertung. Zum anderen bietet die Benutzeroberfläche (a) eine Vorschau, in welcher die Videoaufnahmen zeitgleich ablaufen, sowie die Einsicht einer erfolgreichen Detektion (b) der Markerboards und Messdaten während der Auswertung mit anschließender Diagrammübersicht (c).

Aufnahme

In dem Bereich „Aufnahme“ werden die Parameter für die Messaufnahme gesetzt. Darunter fallen die Belichtungszeit der Kameras sowie deren Positionierung, die Aufnahmedauer der Messung und die Auswahl des Zielverzeichnisses, in welchem die Daten gespeichert werden sollen. Das Programm hinterlegt die Daten als Verzeichnis entsprechend dem Datum und der Anzahl der durchgeführten Messung nach dem Muster YYYY-MM-DD_###. Wurde am 03.07.2018 die 3. Messung aufgezeichnet, dann hinterlegt das LTE-Programm die Messung mit der Kennzeichnung 2018-07-03_002. Der Zähler beginnt bei der ersten Messung mit …_000. In dem Verzeichnis sind dann das Logfile (*logfile.csv*) und die Videodateien (*pos.avi* und *light.avi*) hinterlegt.

Des Weiteren besteht die Möglichkeit der Einstellung der IP bzw. des Hostnamens im Netzwerk und dessen Port für das Drehratenmessgerät. Das Messgerät soll bei der Messung den Nickwinkel des Fahrzeuges aufgrund von Bodenunebenheiten sowie Beschleunigung und Verzögerung berechnen. Der Nickwinkel des Fahrzeuges ist ein erheblicher Einflussfaktor zur Bestimmung des „e-Maßes“ der Scheinwerfer und muss als „Offset“ in die Berechnung herangezogen werden. Allerdings ist das Drehratenmessgerät zum Zeitpunkt noch nicht im Messsystem implementiert und erfordert damit einen anderen Lösungsweg den Nickwinkel des Fahrzeugs bei der Messung zu bestimmen.

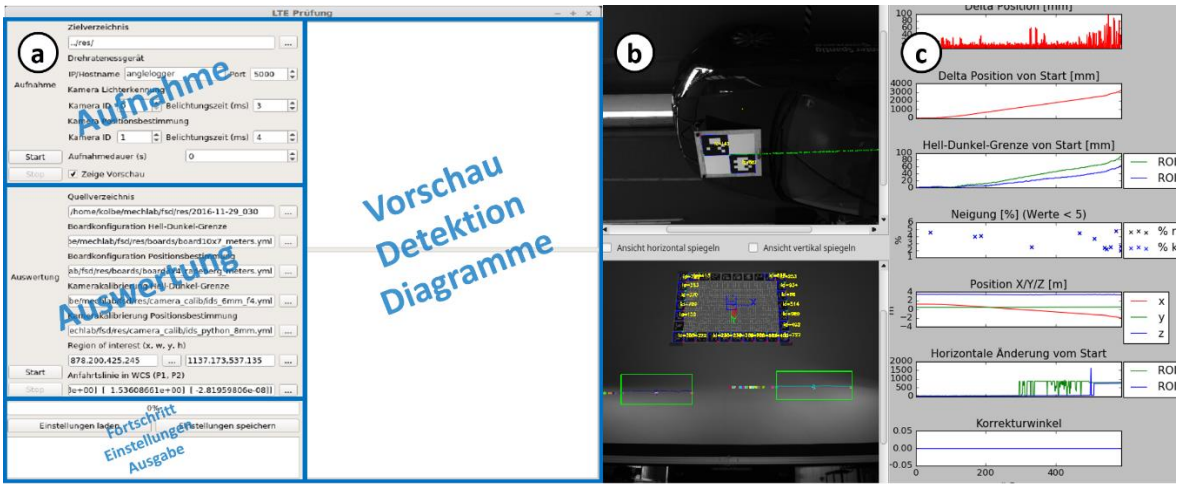


Abbildung 4. 6 Benutzeroberfläche LTE-Programm

Auswertung

In dem Bereich „Auswertung“ werden die Einstellung zur Auswertung der Messungen getroffen. Es wird das Quellverzeichnis der Messung, in welchem die Videodaten und das Logfile liegen, ausgewählt. Konfigurationsfiles, welche die Markerboards und Kameraparameter beschreiben, müssen ebenfalls eingestellt werden. Die jeweiligen Pfade können entweder direkt in die Textfelder kopiert oder über den Dialog- [...] Button gesetzt werden. Um eine Auswertung starten zu können, ist es erforderlich eine bzw. zwei „region of interest“ (ROI), also Detektionsbereiche für die HDG-Erkennung festzulegen. Dies wird entweder direkt über das Textfeld festgelegt, indem man die (x|y) Position des oberen linken Punktes sowie Höhe und Breite (h, w) der ROI mit einem Komma getrennt setzt oder eine grafische Auswahl des Bereichs über den Dialog- [...] Button trifft. Bei Bestätigen des grafisch ausgewählten Bereichs werden die Werte automatisch in das jeweilige Textfeld übernommen. Des Weiteren ist es möglich analog die Auswahl einer Referenzlinie einzustellen, zu welcher das Fahrzeug sich parallel bewegen soll. Die Linie wird in Weltkoordinaten im Format [*[P1x, P1y, P1z]; [P2x, P2y, P2z]*] gespeichert. Hier gilt es zu beachten, dass eine Kalibriermessung aufgenommen werden muss. Dabei befindet sich das Markerboard für die Position auf der Bodenebene ausgerichtet an der Anfahrtslinie. Gegebenenfalls ist der Arbeitsabstand g der Positionskamera anzupassen.

Fortschritt, Einstellungen und Ausgabe

In dem Bereich „Fortschritt, Einstellungen und Ausgabe“ wird der aktuelle Fortschritt der zuvor getroffenen Auswertung angezeigt. Mit den Dialogbuttons „Einstellungen laden / speichern“ lassen sich momentan getroffenen Einstellung in einer INI-Konfigurationsdatei speichern bzw. wieder laden. Das Ausgabefenster dient der Anzeige der laufenden Operationen und Fehlermeldungen wie z.B. „konnte Linieninformation nicht lesen“.

Vorschau, Detektion und Diagramme

In dem Bereich „Vorschau, Detektion und Diagramme“ können während der Aufnahme und Auswertung die aktuellen Videobilder angezeigt werden. Ein Zoomen ist über das Mausrad möglich. Mit gedrückter linker Maustaste kann der Bildbereich außerdem verschoben werden. Für den Anwender ist in diesem Bereich eine erfolgreiche Detektion der Markerboards sowie Messdaten sofort ersichtlich und kann gegebenenfalls nach Abbruch der Auswertung die Einstellungen anpassen. Nachdem die Auswertung erfolgreich abgeschlossen ist, wird der Bildbereich gegen ein interaktives Diagramm getauscht, welches u.a. Funktionen wie Zoom und Bereichsauswahl über die zugehörige Toolbar anbietet.

Quelle: [25]

5. Aufbau und Inbetriebnahme

Der Aufbau sowie die Inbetriebnahme erfolgte im Kfz-Prüfcenter Spantig in Görlitz, Partner der GTÜ - Gesellschaft für technische Überwachung mbH. Zur Verfügung stand eine Prüfstraße mit Grube, welche überwiegend zur Überprüfung der Fahrzeugklassen N2; N3; M2; M3 und T genutzt wird. Die Prüfstraße besitzt eine ebene Fahrbahn, welche aus Werkstattfliesen (Spaltklinker rot) besteht. Dieses bietet ausreichend Platz in Länge und Breite, um eine Faltrahmenleinwand, wie unter 4.3.2 beschrieben, aufbauen zu können.

Abbildung 5. 1 Kfz-Prüfcenter Spantig, Prüfstraße mit Grube

5.1 Aufbau Messsystem

Die Lage der Fahrstrecke (Messstrecke) des Prüfobjekts wurde so gewählt, dass ein Überfahren des Bremsenprüfstandes und Achsspieltesters ausgeschlossen ist. Dementsprechend erfolgte die Kamerainstallation zum einen für die Lichtverteilung und zum anderen für die Fahrzeugposition. Die Kamera für die Fahrzeugposition (2) sollte vorerst in einer Höhe von 4,50 m mittig der Messtrecke installiert werden. Dazu war es notwendig eine Halterung zu bauen. Die angestrebte Höhe der Kamera ergab sich aus der Fahrzeughöhe der zu überprüfenden Kraftfahrzeuge bei der Hauptuntersuchung mit einer max. Höhe von 4,0 m und der Bedingung der ortsfesten Installation.
Für die Kamera der Lichtverteilung (1) musste ebenfalls ein Halter gebaut werden. Dieser wurde als eine Art Traverse in Bodenposition über der Grube mittig hinter der Leinwand aufgebaut. Der Abstand von 1,50 m zur Leinwand ergab sich aus der Formel 4.1 zur Berechnung des Arbeitsabstandes g (siehe 4.3.1 Kameras). Es sollten verschiedene Positionierungen der Kamera ermöglicht werden, um eine Aussage über den Einfluss der Kameraposition auf die Analyse der Lichtverteilung treffen zu können.

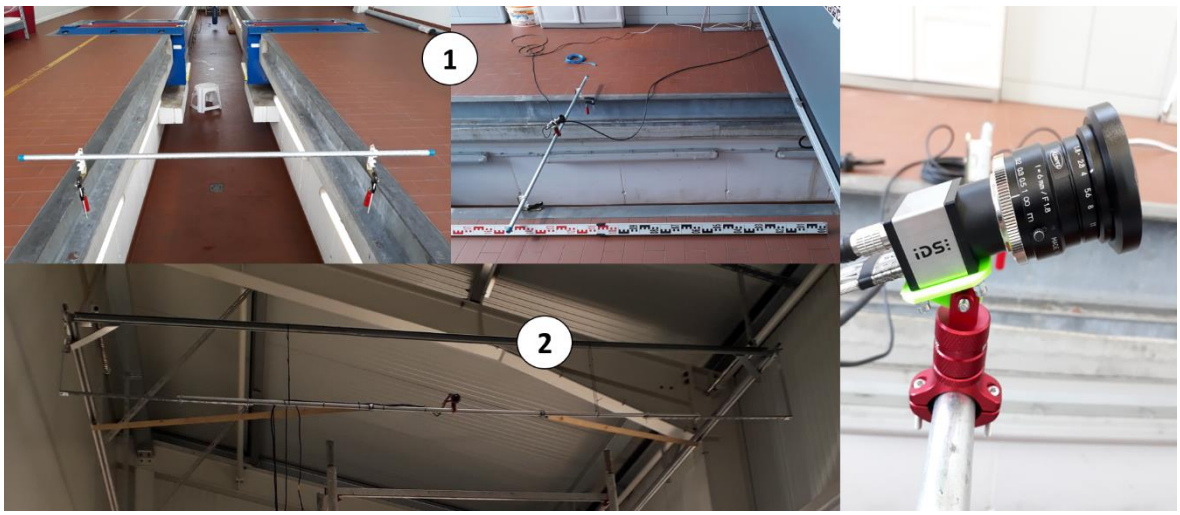


Abbildung 5. 2 Kameraaufbau

Für beide Kameras wurde eine Halterung „Puluz Fahrrad Lenker-Halterung“ der Marke GoPro genutzt. Diese ist auf einem Rundprofiel mit einem Durchmesser von 2 – 3,5 cm montierbar und lässt einen Blickwinkel (Drehung) von 360 Grad zu. Daraus ergibt sich der Vorteil einer flexiblen und stabilen Montage. Der Kostenpunkt für eine Halterung liegt bei ca. 15 Euro.

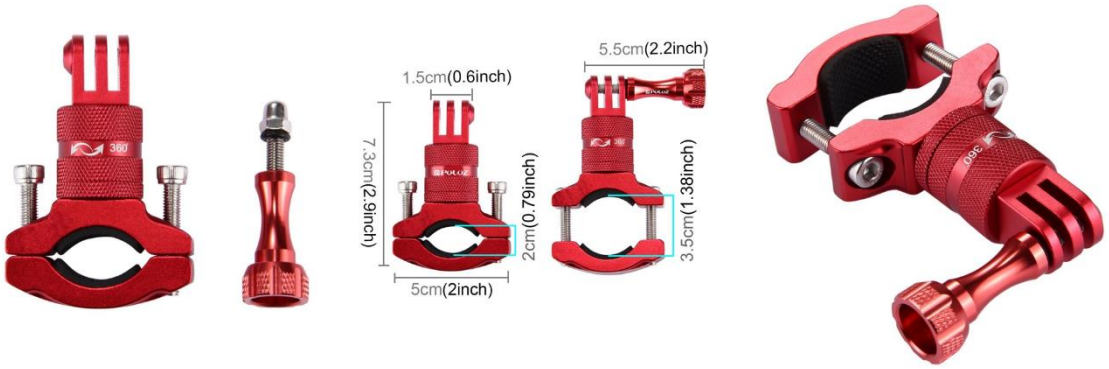


Abbildung 5. 3 Puluz Fahrrad Lenker-Halterung von GoPro
Quelle: GoPro.com

Unterhalb der Kamera für die Positionsbestimmung wurde die Leinwand mit Rückprojektion aufgebaut. Mit Hilfe des selbstnivellierenden Bosch Kreuzlinienlaser „GLL 3-80 P“ erfolgte eine orthogonale Ausrichtung der Leinwand in Bezug auf die Anfahrtslinie, welche bei der Messfahrt eine möglichst parallele Ausrichtung des Fahrzeuges ermöglicht. Dabei wurde der Standort mit einem Markierungsband gekennzeichnet, um einen möglichst häufig und reproduzierbaren Messaufbau durchführen zu können. Der Bosch Kreuzlinienlaser „GLL 3-80 P“ entspricht den Anforderungen der „HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie“ (siehe 3.3.2 Anforderungen an die Prüfeinrichtung) und verfügt über eine gültige Kalibrierung (Anlage 5.1).

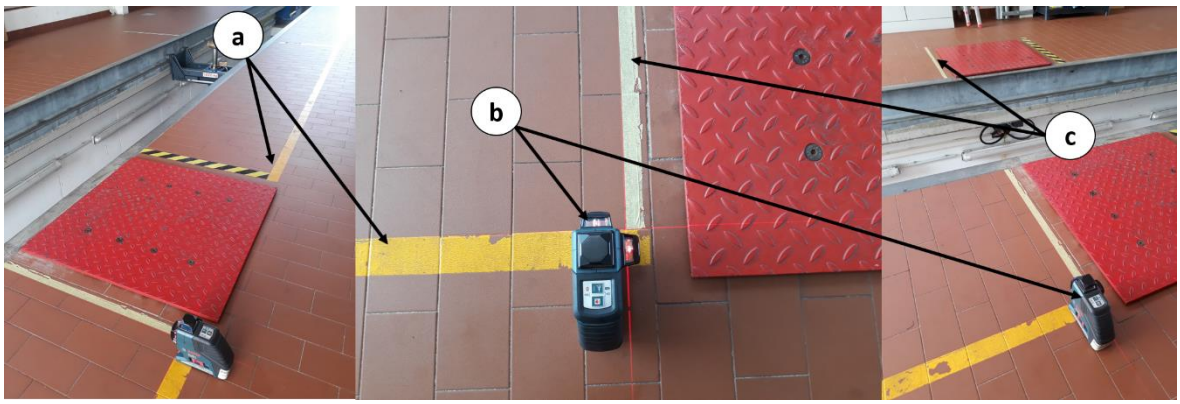


Abbildung 5. 4 Markierung für Leinwand

Um das Messsystem in Betrieb nehmen zu können, war es erforderlich das Positionsmarkerboard auf das Programm zu kalibrieren. Dabei wird der Positionsmarker auf den Boden der Fahrstrecke (Messstrecke) gelegt, auf welcher sich auch die orthogonale Anfahrtslinie (zur Leinwand) befindet. Hintergrund ist eine Kalibriermessung, welche dem Programm eine Referenzlinie (bezogen auf das jeweilige Messsystem) hinterlegt, zu welcher sich das Fahrzeug bei den weiteren Messungen parallel bewegen soll.

Die Vorgehensweise der Kalibriermessung kann aus der Dokumentation [25] des Verfassers und Entwicklers entnommen werden.

Allerdings war bei der installierten Kameraposition für die Positionsbestimmung eine Erkennung des Markers nicht möglich. Der gewählte Marker war für den eingestellten Arbeitsbereich zu klein. Unbeabsichtigt hatte dieser Messaufbau zur Folge, dass der Maker mit der Bewegung des Fahrzeugs den Arbeitsbereich in der Tiefe verändert und damit eine Erkennung des Markerboards für das LTE-Programm nicht ermöglicht. Um das Messsystem in Betrieb nehmen zu können, erfolgte eine andere Positionierung der Kamera für die Fahrzeugbewegung. Diese wurde dann an der Seite der Messstrecke (Hallenwand) in einer Höhe von 3,5 m montiert und orthogonal zur Fahrbahn ausgerichtet. Des Weiteren wurde die Kamera mittig der zu kalibrierenden Messstrecke angebracht. Der für die Fahrzeugbewegung erforderliche Marker wurde erneuert und in einer Größe von 50 x 50 cm gedruckt. Mit einem Überzug aus einer matten Folie konnten Spiegelungen und diverse Lichtreflektionen vom Marker ausgehend vermieden werden und war zugleich feucht abwischbar. Für eine verbesserte und stabile Erkennung des Markers wehrend der Messung ist es erforderlich diesen in eine Ebene zu legen. Dafür musste eine Justierplatte (Abb. 5.5 Nr. 4), bestehend aus einem 60 x 60 cm großen und flachen Brett mit drei Lagerungspunkten gebaut werden. Die zwei vorderen Lager sind in der Höhe einstellbar und lassen damit eine Nivellierung der Justierplatte zu. Die Justierplatte diente auch als Hilfsmittel für die Kalibrierung der Messstrecke zur Leinwand des zu überprüfenden Fahrzeugs.

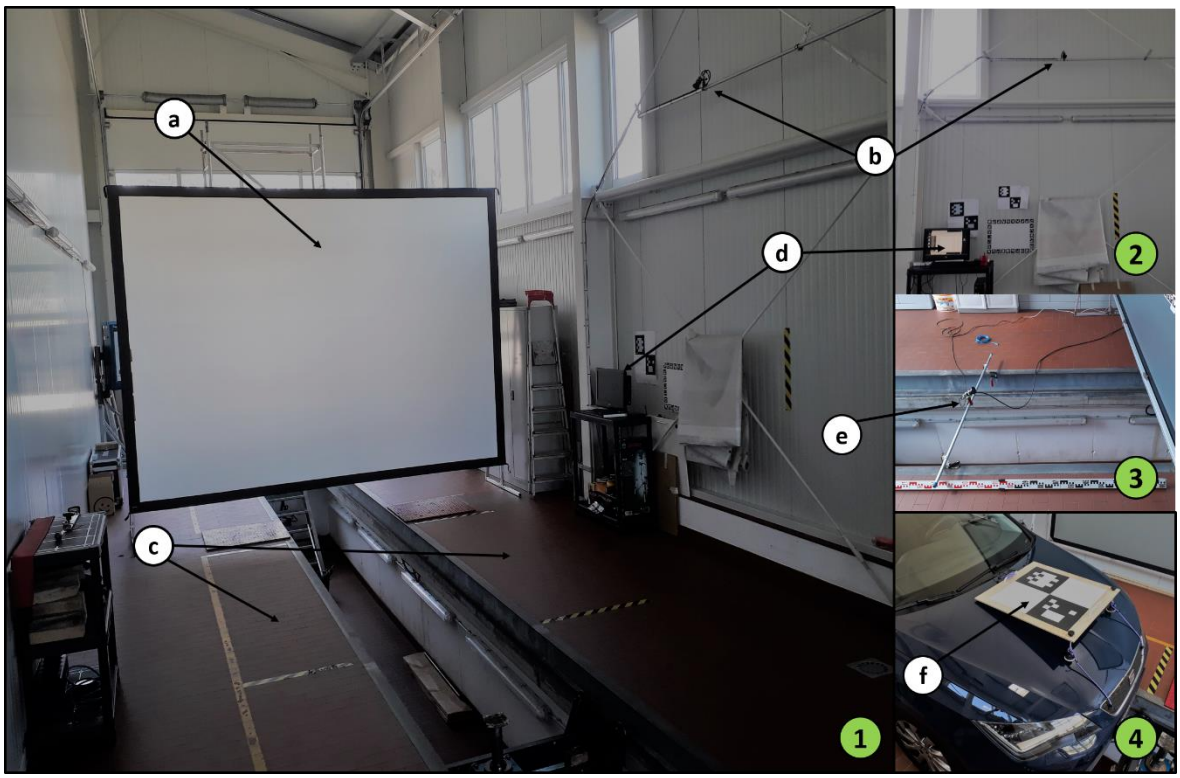


Abbildung 5. 5 Messaufbau im Kfz-Prüfcenter Spantig

1	Messaufbau mit Leinwand (a), Messrechner (b), Messstrecke (c) und Kamera für Positionsbestimmung (d)
2	Messrechner (b) und Kamera für Positionsbestimmung (d)
3	Kamera für Lichtverteilung (e) in Bodennähe
4	Markerboard für Positionsbestimmung und Justierplatte dreifach gelagert (f)

Tabelle 5. 1 Messaufbau im Kfz-Prüfcenter Spantig

Auch das Markerboard für die Lichtverteilung wurde erneut ausgedruckt und mit einer matten Folie überzogen. Dadurch konnte die Lebensdauer des Markers erhöht werden, da dieser mit einem Klebeband auf der Leinwand befestigt werden musste und auch verschiede Positionen auf der Leinwand einnahm, war der Marker gegenüber dem Positionsmarkerboard einer höheren Belastung ausgesetzt.

5.2 Inbetriebnahme

Damit eine Messung erfolgreich durchgeführt werden kann, müssen die Kameras mit der dazugehörigen Bilderfassungssoftware „uEye“ auf Ausrichtung und Belichtung kontrolliert werden. Wichtig hierbei ist eine nahezu in die Waage gebrachte Ausrichtung der Kameras längs zur Messstrecke (Abb. 5.6 Nr. 1) sowie zur Prüfwand / Leinwand (Abb. 5.6 Nr. 2). Eine für die Betrachtung diagonale Ausrichtung würde dazu führen, dass die Linieninformation der Markerboards und der ROI vom LTE-Programm nicht eingelesen werden können. Für das menschliche Auge sollten die Aufnahmen als „scharf“ und in ihrer Belichtung als „normal“ empfunden werden. Eine direkte Sonneneinstrahlung auf das Messsystem ist zu vermeiden, da auch hier keine Linieninformationen eingelesen werden können. Bei Dämmerung und Dunkelheit ist die Einstellung der Belichtung der Kameras anzupassen. Anschließend sind die entsprechenden Parameter im Aufnahmebereich des LTE-Programms zu setzen.

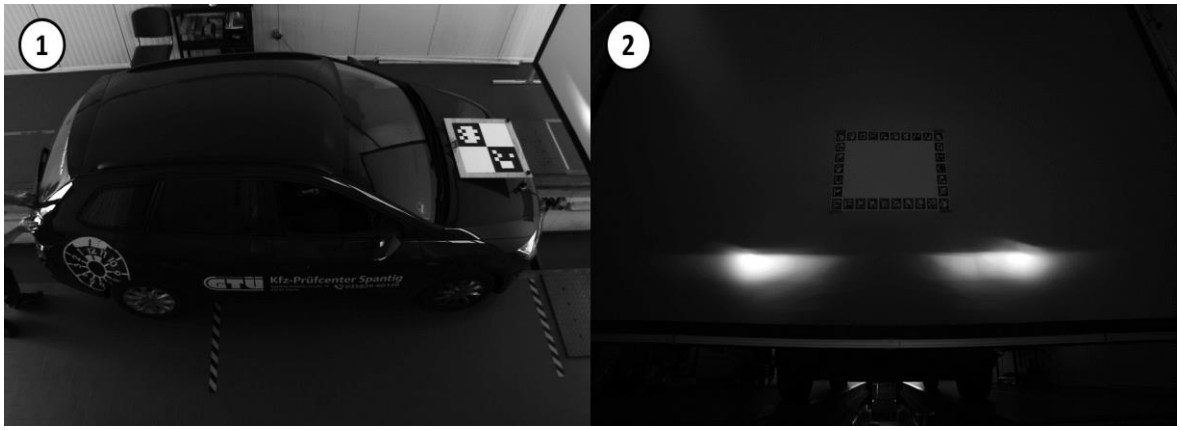


Abbildung 5. 6 Bildaufzeichnung der Kameras

Für die Probemessung wurde der Seat Leon mit LED-Scheinwerfer genutzt. Dazu betrug die Aufnahmedauer 12 Sekunden. Die Belichtungszeit der Kameras ist mit 4 ms für die Lichtverteilung und mit 8 ms für die Positionsbestimmung gesetzt worden. Dabei erfolgte die Bewegung des Fahrzeugs von Hand und wurde über eine Strecke von 3 bis 4 m auf die Leinwand zu geschoben. Anschließend erfolgte die Auswertung der aufgezeichneten Daten wie unter 3.4.3 beschrieben mit entsprechender Auswahl der ROI. In der Abb. 5.7 Nr. 1 wird die Auswahl der ROI für den Scheinwerfer vorn rechts dargestellt und in der Abb. 5.7 Nr. 2 die Auswahl der ROI für den Scheinwerfer vorn links. Während der laufenden Auswertung konnte im Vorschaubereich die erfolgreiche Detektion der Linieninformationen festgestellt werden (Abb. 5.7 Nr. 3). Nach Beendigung der Auswertung folgte der Austausch zum interaktiven Diagramm (Abb. 5.7 Nr. 4).

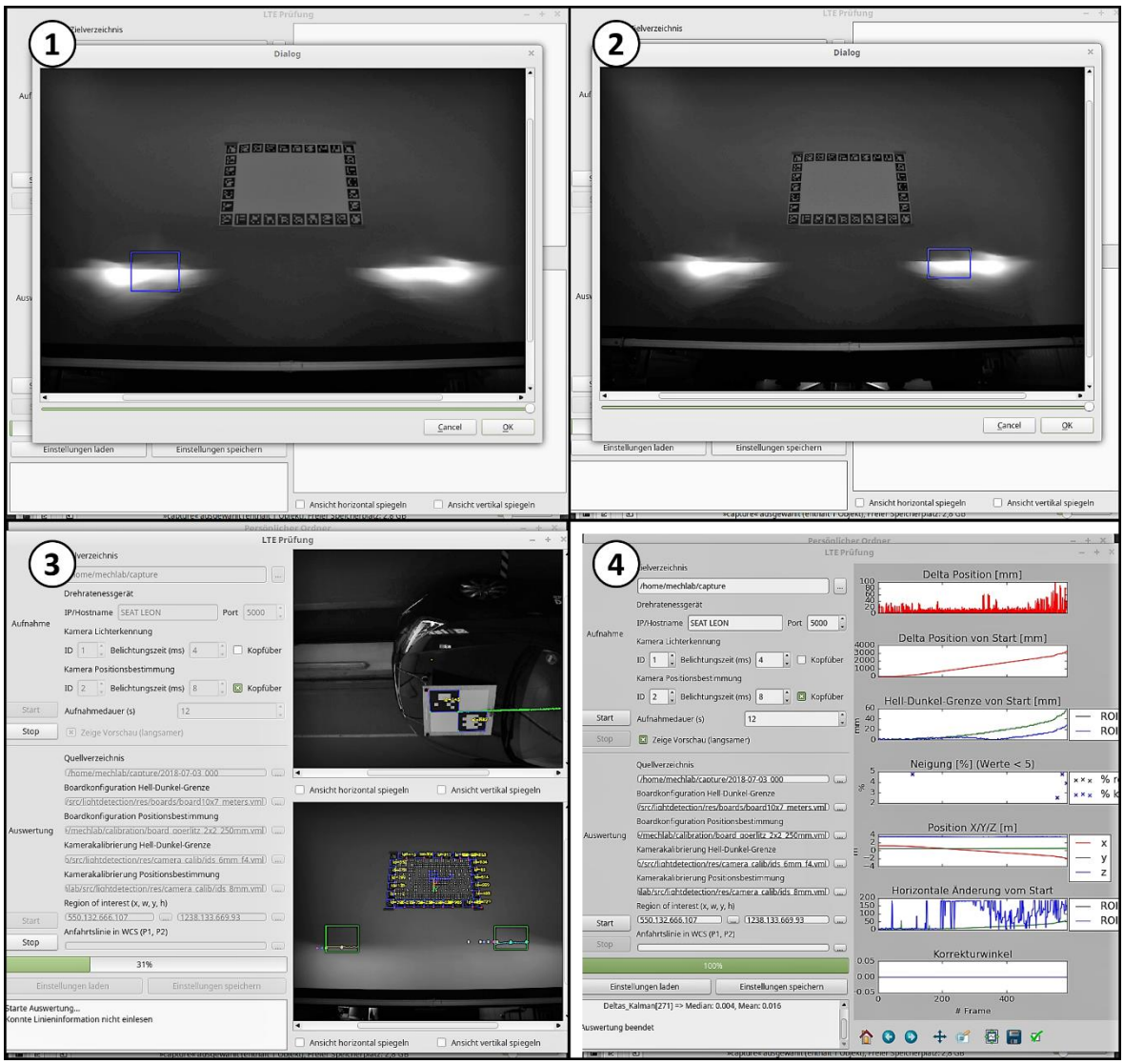


Abbildung 5. 7 Benutzeroberfläche LTE-Programm

Damit auch die durchzuführenden Messungen dem realen Prüfablauf entsprechen, das heißt der Prüfer startet die Messung mit seinem Bediengerät vom Fahrzeug aus, wurde der Start der der jeweiligen Messreihe über ein Smartphone mittels Fernwartung durchgeführt. Dazu musste das Programm „TeamViewer 13“ auf dem Messrechner und die jeweilige App auf dem Bediengerät installiert werden. Die Verbindung zwischen den beiden Geräten erfolgte über ein eigenes WLAN-Netzwerk mit Installation eines handelsüblichen Routers.

5.3 Randbedingungen

Die systematische Variation der Randbedingung belief sich weitestgehend auf die technisch machbare Positionierung der Kamera für die Lichtverteilung. Dazu waren die Leinwand und die Markerboards in ihrer Größe und Ausführung als feste technische Randbedingung gegeben. Des Weiteren galt es herauszufinden, welchen Einfluss die Lage der Leinwand zur Fahrzeugmessstrecke auf das zu überprüfende „e-Maß“ der Scheinwerfer hat. Der äußere Lichteinfluss (Umgebung) konnte schon bei der Inbetriebnahme identifiziert werden und sollte wie unter 5.2 „Inbetriebnahme“ beschrieben gehandhabt werden. In rechtlicher Hinsicht sind Prüfmittel gefordert, welche den Messaufbau reproduzierbar machen und auf die von ihnen ausgestellten DKD-Kalibrierscheine (Anlage 5.1; 5.2 und 5.3) als Nachweis für die Rückführung auf nationale Normale für Überwachungs- und Prüfinstitutionen nach der Normenfamilie DIN EN ISO 9000 und der DIN EN ISO/IEC 17025 [27] bescheinigt sind. Genutzt für den Messaufbau und Kalibrierung der Messstrecke wurde der selbstnivellierende und arretierbare Bosch Kreuzlinienlaser GLL 3-80 P, ein Stahllineal Vmade PTB0019 und das Richter Bandmaß 20 m. Diese Prüfmittel erfüllen die Anforderung der HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie wie unter 3.2.2 „Anforderungen an die Prüfeinrichtung“ beschrieben ist. In der Abbildung 42 werden die verschiedenen Kamerapositionen dargestellt. Mit a = seitlich links in Scheinwerferhöhe (50 – 60 cm), b = mittig der Scheinwerfer in Scheinwerferhöhe, c = seitlich rechts in Scheinwerferhöhe und d = mittig der Scheinwerfer in Bodennähe mit einem Anstellwinkel von α = 20° bis 25°.

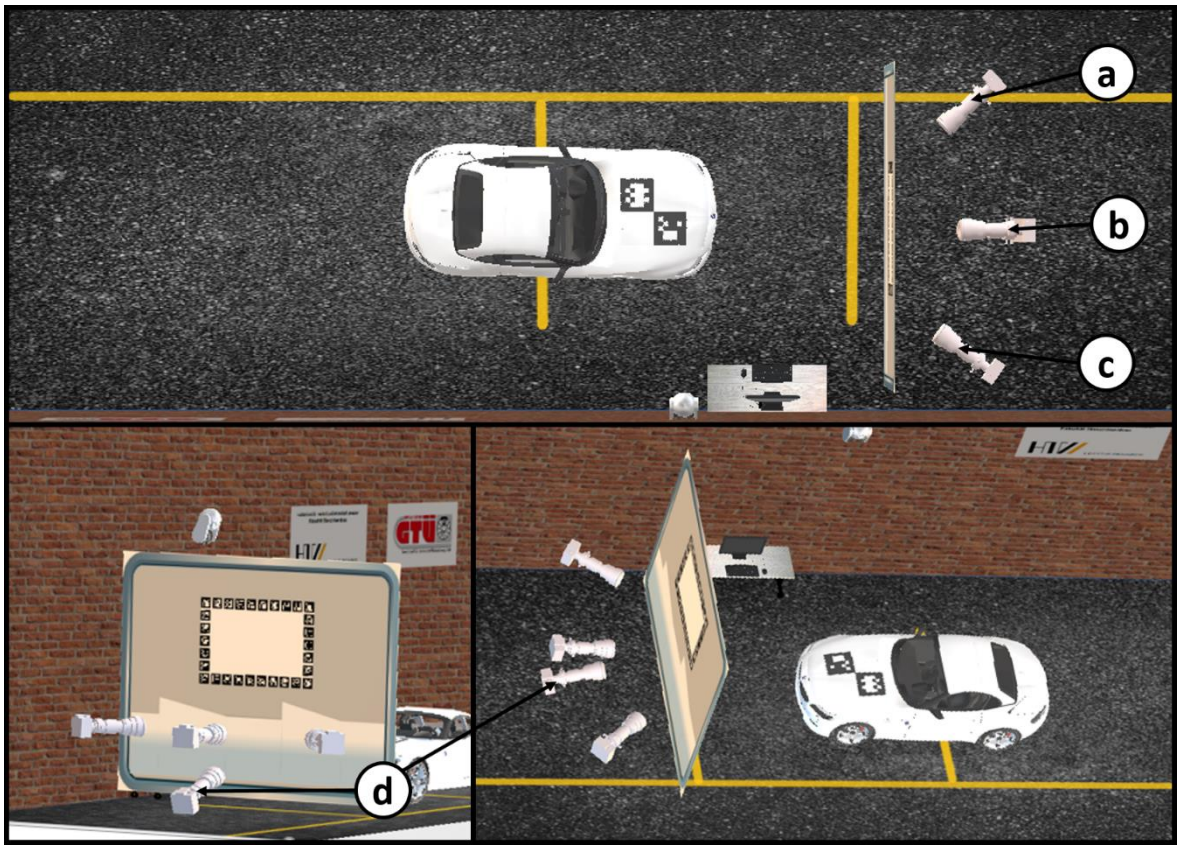


Abbildung 5. 8 Randbedingung Kameraposition LV

6. Auswertung der Messreihen

Die Auswertung der aufgenommenen Messreihen erfolgte mit dem Programm Excel 2016 von Microsoft unter dem Betriebssystem Windows 10. Eine Messreihe für die Auswertung beträgt 15 bis 20 Messfahrten bzw. Messaufnahmen. Für das vollständige Messergebnis *x*(„e-Maß“) wurde der arithmetische Mittelwert $\bar{x}$ gebildet sowie aus der Standartabweichung *S* die Messunsicherheit *u* gemäß der Betrachtung nach statischen Methoden berechnet. Dabei erfolgte für n = 15 bis 20 Antastungen mit kp = 2 als Erweiterungsfaktor für den Bereich um den Mittelwert mit einer Aussagewahrscheinlichkeit von 95,5 %.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^{n} X_i \tag{6.1}$$

$$S_{x_i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \tag{6.2}$$

$$u = \pm\left(\frac{k_p * S_{x_i}}{\sqrt{n}}\right) \tag{6.3}$$

Nach Gleichung (6.4) erhält man dann das vollständige Messergebnis aus den Gleichungen (6.2), (6.3) und (6.3) für die Betrachtung der Lichtverteilung als eingestelltes „e-Maß“.

$$x(e - Maß) = \bar{x} \pm u = \bar{x} \pm \left(\frac{k_p * S_{x_i}}{\sqrt{n}}\right) \tag{6.4}$$

Formel 6. 1 vollständiges Messergebnis X(e-Maß)
Quelle: Messdatenerfassung und -auswertung Modul Messtechnik HTW-Dresden

Die mit dem Messrechner ausgewerteten und erstellten Daten im *CSV*-Format wurden mit Excel als „Externe Daten“ abgerufen. Hierbei galt es zu beachten den richtigen Ursprung der Daten einzustellen, damit eine korrekte Messdatenauswertung durchgeführt werden kann. In folgenden Schritten erfolgte die Konvertierung der *CSV-Daten* für das Office Programm Excel unter dem Betriebssystem Windows 10:

1. Öffnen einer leeren Arbeitsmappe unter Excel.
2. In dem Menüband „Daten“, „Externe Daten abrufen aus Textdatei“ wählen.
3. Entsprechende Textdatei Nach dem Muster YYYY-MM-DD_### importieren.

4. Im folgenden Textkonvertierungsassistent den richtigen Dateiursprung einstellen. Hier auf „Mitteleuropäisch Mac“ stellen und auf „Weiter“ klicken.
5. Danach Trennzeichen festlegen. Zum einen den Haken bei „Tabstopps“ und zum anderen bei „Komma“ setzen, mit „Weiter“ bestätigen.
6. Unter den Butten „Erweitert“, „Weitere Textimporteinstellung“ muss dann das Dezimaltrennzeichen als Punkt und das 1000er-Trennzeichen als Komma gesetzt werden. Anschließen ist mit „OK“ zu bestätigen.
7. Für den Import sind nur die ersten drei Spalten der *CSV-Daten* wichtig. Diese enthalten den Weg des Fahrzeuges und die Verschiebung der HDG. Mit der Auswahl „Spalte nicht importieren“ können die letzteren Spalten durch Markieren von der Importierung ausgeschlossen werden. Mit klicken auf „Fertig stellen“ den Textkonvertierungsassistenten bestätigen.
8. Gewünschte Zelle im Tabellenblatt wählen und mit klicken auf „OK“ werden die Daten in der SI-Einheitengröße Meter [m] importiert.

In Anlage 6.1 wird der Ablauf der Importierung bildlich dargestellt. Nach erfolgreicher Datenkonvertierung gilt es die *CSV-Daten* grafisch Darzustellen, damit eine Auswertung stattfinden kann. Dabei werden die gemessenen Verschiebungen der Hell-Dunkel-Grenze der Scheinwerfer für vorn links (VL) und vorn rechts (VR) über den gefahrenen Weg des Fahrzeuges aufgetragen. Das folgende Diagramm zeigt die Probemessung des Seat Leon mit LED-Scheinwerfer.

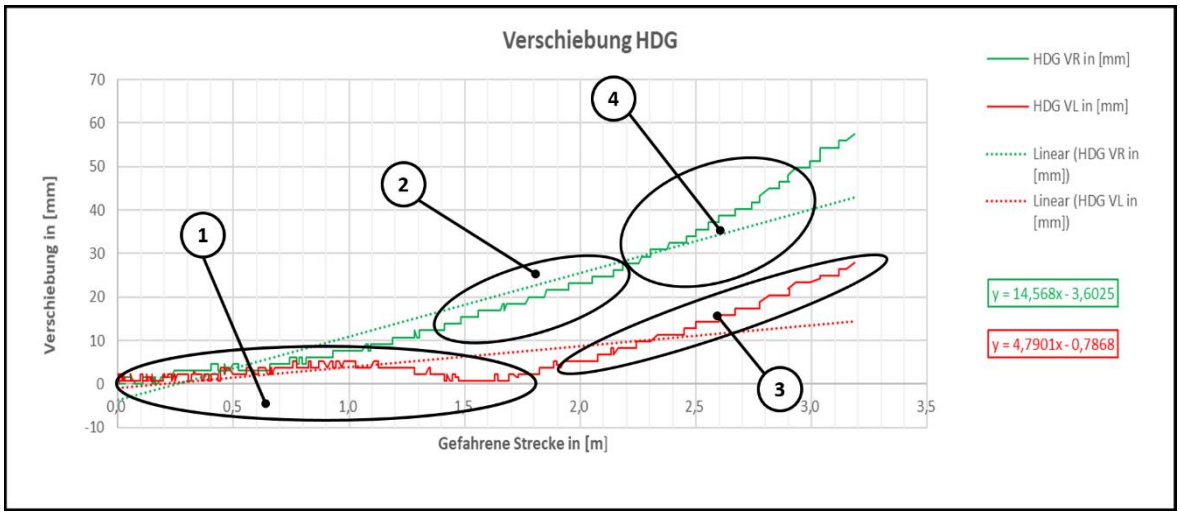


Diagramm 6. 1 Probemessung Lichtverteilung Seat Leon

Der Bereich 1 zeigt die Daten auf, wo das Fahrzeug ca. 3 - 4 m von der Leinwand entfernt ist und die Messung gerade startet. Bei dieser Entfernung ist die Detektion der Linieninformation der Lichtverteilung noch nicht oder nur teilweise erfolgt, da sich noch keine klare Grenze der HDG auf der Leinwand abgebildet hat. Erst die Bereiche 2 und 3 zeigen einen linearen Anstieg der Hell-Dunkel-Grenzen.

Das bedeutet, dass hier das Fahrzeug sich gleichförmig Bewegt, weder stark beschleunigt oder verzögert und sich auf einer Ebene befindet, in welcher Bodenunebenheiten nicht zu einem Nicken des Fahrzeuges führen. Die Bereiche 2 und 3 sind das Gefilde, welches es gilt Auszuwerten um das „e-Maß“ daraus zu bestimmen. Im Diagramm lässt sich aber auch schon eine unterschiedliche Steigung der beiden Graphen ersehen, was die Frage der Ursache dafür aufwirft. Als Referenzprüfeinrichtung wurde für die Lichteinstellung der Scheinwerfer ein Scheinwerfereinstellplatz gemäß der HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie genutzt. Dieser Einstellplatz besteht im Wesentlichen aus einer nivellierbaren Hebebühne der Marke Maha und einem selbstnivellierendem Scheinwerfereinstellgerät MLT 3000 ebenfalls vom Hersteller Maha. Im Bereich 4 und auch im Bereich 1 der Datenreihe HDG VR zeigen die abgebildeten Kurven einen sinusförmigen Verlauf. Dieser ist auf das Anfahren und das Verzögern des Fahrzeuges zurück zu führen. Des Weiteren kann aber auch im LTE-Programm die Auswahl der ROI zu einer fehlerhaften Detektion führen. Es kann also passieren, dass zum Ende der Messfahrt hin die HDG sich nur teilweise oder aus der Gestaltung der Asymmetrie des Abblendlichtes (Abb. 3.2) nicht mehr im Detektionsbereich der ROI befindet und zu einer falschen Auswertung führt. Umso wichtiger ist es die Region auf ihre Steigung hin zu überprüfen, in welcher die Graphen nahezu linear sind.

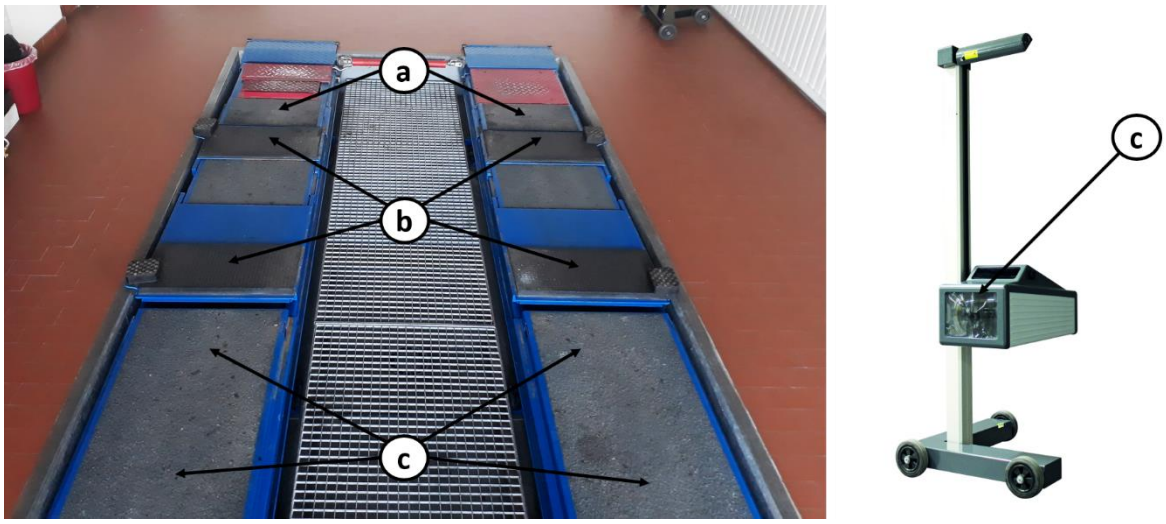


Abbildung 6. 1 Referenzprüfmittel Scheinwerfereinstellplatz

a	Aufstellfläche 1. Achse
b	Achsfreiheber
c	Aufstellfläche 2. Achse
d	SEP MLT 3000

Tabelle 6. 1 Referenzprüfmittel Scheinwerfereinstellplatz (Maha)

6.1 Mathematischer Ansatz

Prinzipiell kann die Steigung *a* einer Geraden über die lineare Gleichung (6.5) bestimmt werden. Allerdings besteht die Datenreihe aus Messpunkten, welche nicht zu 100 % auf einer Geraden liegen. Daher muss ein anderer Ansatz für die Bestimmung der Steigung *a* der auszuwertenden Datenreihe gewählt werden. Mit Hilfe der einfachen linearen Regression, auch bekannt als „Ausgleich nach dem Gaußschen Prinzip der kleinsten Quadrate“, kann die Steigung *a* (Regressionskoeffizient) der Graphen aus allen gegebenen Messpunkten *n* bestimmt werden (i = 1, 2, …,n; n ≥ 3).

$$y(x) = ax + b \tag{6.5}$$

$$a = \frac{n*\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - (\sum_{i=1}^{n} x_i)*(\sum_{i=1}^{n} y_i)}{\Delta} \tag{6.6}$$

$$b = \frac{(\sum_{i=1}^{n} x_i^2)*(\sum_{i=1}^{n} y_i) - (\sum_{i=1}^{n} x_i)*(\sum_{i=1}^{n} x_i y_i)}{\Delta} \tag{6.7}$$

$$\Delta = n * \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} x_i)^2 \tag{6.8}$$

Um das „e-Maß“ bestimmen zu können benötigt man den Regressionskoeffizienten *a*. Somit ergibt sich aus Gleichung (6.6) und (6.8) die Gleichung (6.9) für die gesuchte Größe *a*.

$$a = \frac{n*\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - (\sum_{i=1}^{n} x_i)*(\sum_{i=1}^{n} y_i)}{n*\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} x_i)^2} \tag{6.9}$$

Vereinfacht dargestellt und für das Excel Programm anwendbar, sieht die Gleichung (6.9) in Gleichung (6.10) folgendermaßen aus:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})*(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2} \tag{6.10}$$

Formel 6. 2 Regressionskoeffizient
Quelle: Mathematische Formelsammlung Papula

Für die Variable *x* wird der Weg in Meter eingesetzt und für die Variable *y* die Verschiebung der HDG in Millimeter. Es ergibt sich für den Regressionskoeffizient *a* eine Maßeinheit in [mm/m]. Weiterhin muss die Verschiebung auf einen Weg von x = 10 m betrachtet werden, um dann die gesuchte Größe des „e-Maßes“ bestimmen zu können (siehe Formel 3.1). der Schnittpunkt *b* mit der Y-Achse ist dabei immer Null.

$$y(x) = a\ mm/m * 10\ m + 0\ mm$$

$$y(x) = 10a\ mm \tag{6.11}$$

Die Verschiebung *y(x)* entspricht nun dem „e-Wert“ in mm mit (*e = H – h*) und durch Einsetzen in Gleichung (3.1) erfolgt die Berechnung des „e-Maßes“ in Prozent.

$$e\ \% = \frac{e\ m}{10\ m} * 100\ \% = \frac{y(x)\ mm}{10000\ mm} * 100\ \% \tag{3.1}$$

Damit auch nur die Gefilde, wie unter 6. Beschrieben, betrachtet werden können, ist es erforderlich die auszuwertenden Datenreihen zu Filtern. Gesucht wird daher der Bereich, in welchem die Messpunkte nahezu auf einer Geraden liegen. Diese Eigenschaft wird durch den Korrelationskoeffizenten *r* beschrieben. Dieser besagt, dass nur die *n* Messpunkte immer dann nahezu auf einer Geraden liegen, wenn sich *r* nur wenig von – 1 oder + 1 unterscheidet. Im Falle $|r|$ = 1 liegen die Messpunkte der Datenreihe präzise auf einer Geraden.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i - n\bar{x}\bar{y}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - n\bar{x}^2\right) * \left(\sum_{i=1}^{n} y_i^2 - n\bar{y}^2\right)}} \tag{6.12}$$

Formel 6. 3 Korrelationskoeffizient
Quelle: Mathematische Formelsammlung Papula

Die Korrelation der Datenreihen ist mit der Funktion *KORREL* im Excel Programm möglich. Mit dem Syntax *KORREL(Matrix1;Matrix2), also KORREL($\bar{x}$;$\bar{y}$)*, fortlaufend geschrieben zu jedem Messpunkt der Datenreihe kann dann mit einer Logik bestehend aus 0 und 1 als Zellausgabewert mit einer *WENN*-Funktion ein Filter gesetzt werden. Die *WENN*-Funktion beinhaltet z.B. das Argument: *WENN(UND(KORREL > 0,95 und KORREL < 0,95 +0,09); dann schreibe 1; sonst 0)*. Angezeigt zur Berechnung und auch im Diagramm werden dann nur die Messpunkte der Datenreihe, welche parallel zu der Logik-Tabelle mit der

Zellwertausgabe 1 liegen. Die Messpunkte die parallel zu der Zellwertausgabe 0 liegen werden nicht in der „e-Maß“-Berechnung betrachtet sowie im Diagramm angezeigt. Allerdings kann es für verschiedene Datenreihen vorkommen, dass der Graphen mehrere Bereiche aufweist, in welchen die Messpunkte nahe einer Geraden liegen und einen Korrelationskoeffizenten nahe dem Bereich 1 aufweisen. Dies führt zu einer falschen Berechnung des „e-Maßes“. In diesem Fall ist der Anwender / Benutzer aufgefordert die Betrachtung des Filters auf den gewünschten Wegabschnitt einzustellen. Die *KORRELLATION* für die Logik beinhaltet daher auch eine *WENN*-Funktion mit dem Argument: z.B. *WENN(UND(Startwert Weg > 1,5 und Zielwert Weg < 2,75); dann KORREL(Matrix1;Matrix2); sonst schreibe 0).* Damit eine zügige Auswertung der Datenreihen durchgeführt werden konnte, wurde ein Auswertungstool mit den oben beschriebenen mathematischen Ansätzen kreiert. Das folgende, mit dem Tool erstellte, Diagramm zeigt die Gefilde, welche sich aus der Filterung der Datenreihen ergeben haben. Hier ist die Probemessung des Seat Leon mit LED-Scheinwerfer zur Auswertung gekommen.

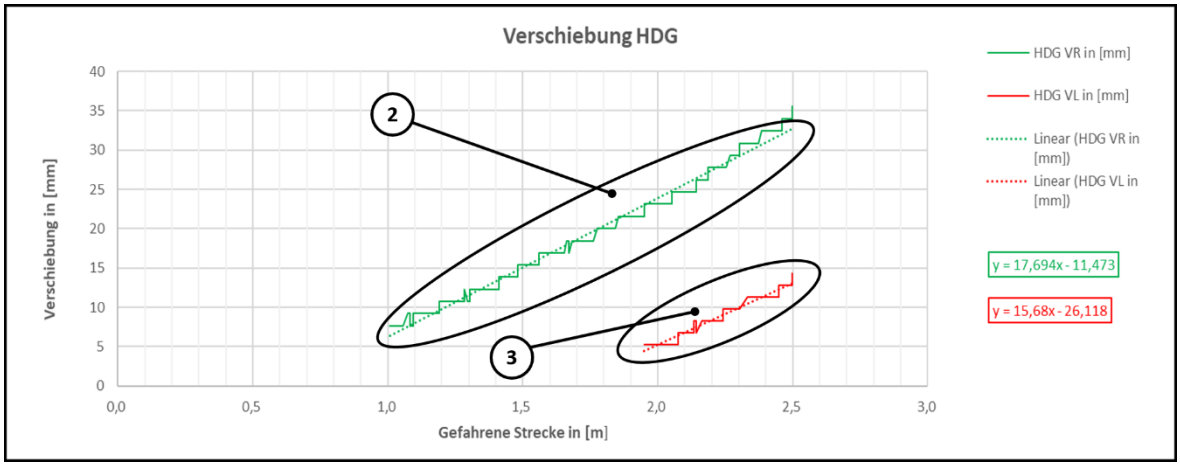


Diagramm 6. 2 Gefilterte Datenreihe für "e-Maß"-Berechnung

Der Wegfilter wurde auf einen Bereich von 1,0 – 2,5 m gesetzt. Der Korrelationswert für die Messpunkte jeder Datenreihe auf > 0,95. Das errechnete „e-Maß“ ergab sich für die Datenreihe HDG VR und HDG VL mit einer Einstellung von:

e(VR) = – 1,77 %

e(VL) = – 1,57 %

Die Referenzmessung der Scheinwerfereinstellung auf dem Scheinwerfereinstellplatz des Seat Leon ergab sich für die HDG VR und HDG VL mit einer Einstellung von:

e(VR) = – 1,0 %

e(VL) = – 1,1 %

Es zeigt sich, dass aus der kamerabasierten Überprüfung des „e-Maßes“ eine größere Neigung ermittelt wird als im Vergleich zur Referenzprüfeinrichtung.

Auch zeigt sich hier eine unterschiedliche Einstellung des Scheinwerferlichts zwischen vorn links und vorn rechts, welche aber mi 0,2 % Differenz relativ gering ist.

Um die Frage zu beantworten, warum eine größere Neigung ermittelt wurde als eingestellt worden ist, musste optisch an der Leinwand der zurückgelegte Weg der Hell-Dunkel-Grenze der Scheinwerfer überprüft werden. Dazu wurde das Fahrzeug mit einem Abstand von 4 m von der Leinwand entfernt positioniert. Mit Markierungsband, aufgebracht auf der Leinwand, wurde die sich abbildende HDG der Lichtverteilung gekennzeichnet. Danach ist das Fahrzeug um 3 m auf die Leinwand hinzu verschoben worden um die sich dann abbildende HDG der Scheinwerfer wieder mit Markierungsband zu kennzeichnen. Mit dem Stahllineal „Vmade“ war dann der Abstand der Markierungen zu messen. In der Theorie hätte sich eine Verschiebung von 3 cm ergeben müssen. Die Wahrnehmung der HDG auf der Leinwand für das menschliche Auge in einer Entfernung von 4 m ist allerdings ein Schätzwert. Die Grenze des Lichtes wird mehr als eine Art Saum wahrgenommen. Daher Unterliegt das Ergebnis dieser Art der Überprüfung nur einer tendenziellen Aussage. Es wurden der BMW 318i E91, der Seat Leon ST und der Audi A4 Limousine auf das Verhalten der Lichtverteilung der Scheinwerfer nach dieser Methode betrachtet. Alle drei Fahrzeuge mit einer Lichteinstellung von 1,0 % kamen zu dem 1,5- bis 2-fachen der theoretischen Verschiebung der HDG auf der Leinwand. Daraus ist zu schließen, dass das Fahrzeug sich nicht auf einer Ebene mit 0 % Neigung befindet in welcher die Bodenunebenheiten keine Rolle spielen. Ehern ist zu behaupten, dass die Bodenunebenheiten das Fahrzeug in eine Neigung versetzt auch wenn die Ebene sich in einer 0 % Steigung befindet oder angenommen wird. Auch die Lage der Leinwand zur Messstrecke kann dabei eine Rolle spielen. Um die aufgestellte These zu untermauern ist unter 6.2 „Kalibrierung der Messstrecke“ ein Verfahren beschrieben, welches die tatsächliche Neigung des Fahrzeuges beschreibt.

6.2 Kalibrierung der Messstrecke

Mit der Kalibrierung der Messstrecke soll ermittelt werden, in welcher Neigung sich das Fahrzeug bei der Überprüfung der Lichteinstellung befindet. Wie unter 4.3.4 „Messrechner“ beschrieben, wäre es möglich ein Drehratenmessgerät zu nutzen um damit die Neigung oder das Nicken des Fahrzeugs zu ermitteln und als Offset zur Berechnung des „e-Maßes“ heranzuziehen. Da ein solches Gerät nicht zur Verfügung stand, musste eine Kalibrierung der Messstrecke erfolgen, welche auf nationale Normale rückführbar ist. In erster Linie wurde die Messstrecke nach den Vorgaben der HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie (3.2.1 „zulässige Unebenheit in Bezug auf Prüfplatzlänge“) untersucht. Da die ermittelten Unebenheiten innerhalb der vorgegebenen Toleranz liegen, kann für die Betrachtung der Steigung der Messstrecke eine Ebene angenommen werden, welche der Referenzebene von 0 % Neigung entspricht. Problem bei dieser Methode ist, dass die Beurteilung zwischen den Messpunkten mit einem Abstand von 1 m unberücksichtigt bleibt, weder dokumentiert wird. Die folgende Abbildung soll den Einfluss der Unebenheiten auf die Neigung des Fahrzeugs verdeutlichen. Unter a wird die Prüfwand dargestellt, auf welcher das Scheinwerferlicht trifft, mit b das zu überprüfende Fahrzeug und unter c die Messstrecke mit den Unebenheiten.

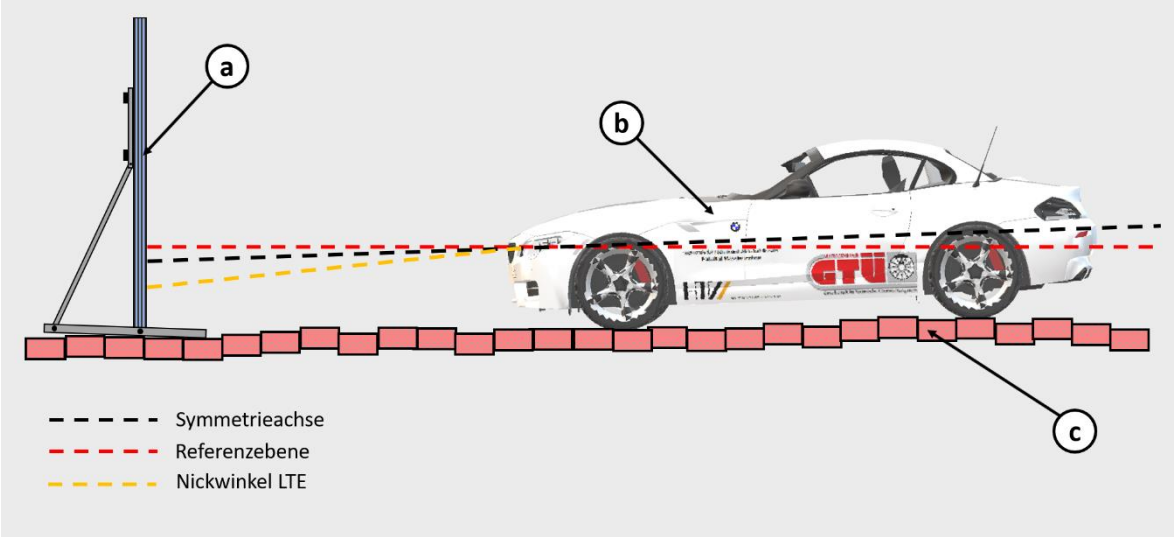


Abbildung 6. 2 Messstrecke mit Unebenheiten und dessen Einfluss

Angestrebt wird die Deckungsgleichheit der Symmetrieachse und der Referenzebene mit 0 % Neigung. Die Symmetrieachse verläuft in Längsrichtung des Fahrzeuges durch die Mitten der Vorder- und Hinterachse und ist in Abb. 6.2 in die Höhe des Lichtaustritts der Scheinwerfer verschoben. Von dieser Achse ausgehend sollte die Einstellung der Scheinwerfer erfolgen, da diese eine ideale Aufstandsfläche für das Fahrzeug imitiert. Hat die Symmetrieachse und damit das zu überprüfende Fahrzeug bei der Lichteinstellung eine Neigung, kommt es zwangsläufig zu einer fehlerhaften Scheinwerferjustage. Die Neigung der Symmetrieachse muss daher bekannt sein und als Offset zur „e-Maß“-Berechnung herangezogen werden. Es ist zu beachten, dass die Unebenheiten der Messstrecke eine feste gegebene Größe darstellen und im Gegensatz die Fahrzeugneigung abhängig von

seinem Radstand ist. Die durchgeführte analoge Kalibrierung mit einem Fahrzeug ist immer nur zu Fahrzeugen mit gleichem Radstand gültig.

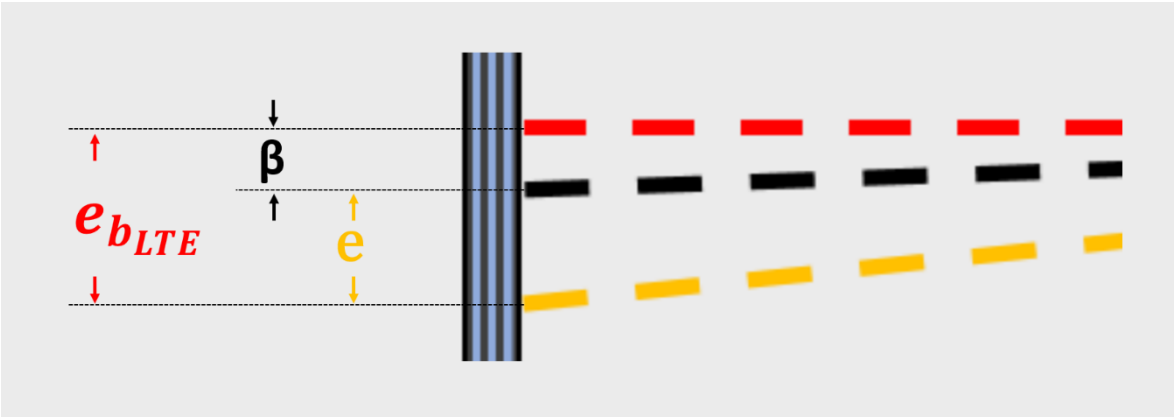


Abbildung 6. 3 Neigungsbemaßung für die Ermittlung des "e-Maßes"

In Abbildung 6.3 ist das Offset *β* dargestellt, welches es gilt aus dem berechneten „e-Maß“ $e_{b_{LTE}}$ zu Filtern um das tatsächlich eingestellte Maß *e* der Scheinwerfer zu bestimmen.

$$e = e_{b_{LTE}} - \beta \tag{6.13}$$

Formel 6. 4 gesuchtes "e-Einstellmaß"

Das „e-Maß“ $e_{b_{LTE}}$ wird nach Gleichung (3.1) berechnet, gibt aber aufgrund der Unebenheiten der Messstrecke nicht den wahren Einstellwert wieder. Mit Gleichung (6.13) kann dann das gesuchte „e-Einstellmaß“ ermittelt werden. Der Neigungswinkel *β* kann einen positiven und einen negativen Wert annehmen. Dabei spielt die Größe des Radstandes eine wesentliche Rolle.

Um den Neigungswinkel *β* bestimmen zu können war es notwendig ein Messraster in Anlehnung an die HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie zu gestalten. Für eine möglichst gute Abbildung des Streckenprofils mit minimalem Aufwand wurde ebenfalls auf 4 m in Längsrichtung aber mit einem Abstand zu den Messpunkten von 0,5 m gemessen. Das entspricht einer Anzahl von neun Messpunkten pro Fahrspur. Dabei erfolgte die Kalibrierung mit einer projizierten Bezugsfläche (Referenzebene), welche mit einem Laserstrahl erzeugt wird. Die Neigungen und Unebenheiten der Messstrecke zur Prüfwand (Leinwand) werden durch das Messen, ausgehend von der Bezugsfläche an der Prüfwand, ermittelt. Dabei befindet sich ein selbstnivellierender und arretierbarer Laser auf dem zu prüfenden Fahrzeug. Als Hilfsmittel wurde eine Justierplatte verwendet. Das zu prüfende Fahrzeug wird über die Messstrecke, von der Leinwand weg, in einem Bereich von 3 bis 4 m von Hand verschoben. Aus dem daraus entstehenden Graphen der Messpunkte wird die tendenzielle auftretende Neigung *β* der Symmetrieachse des Fahrzeuges zur Prüfwand hin ermittelt und als Offset im Auswertungstool zur gemessenen Scheinwerfereinstellung herangezogen.

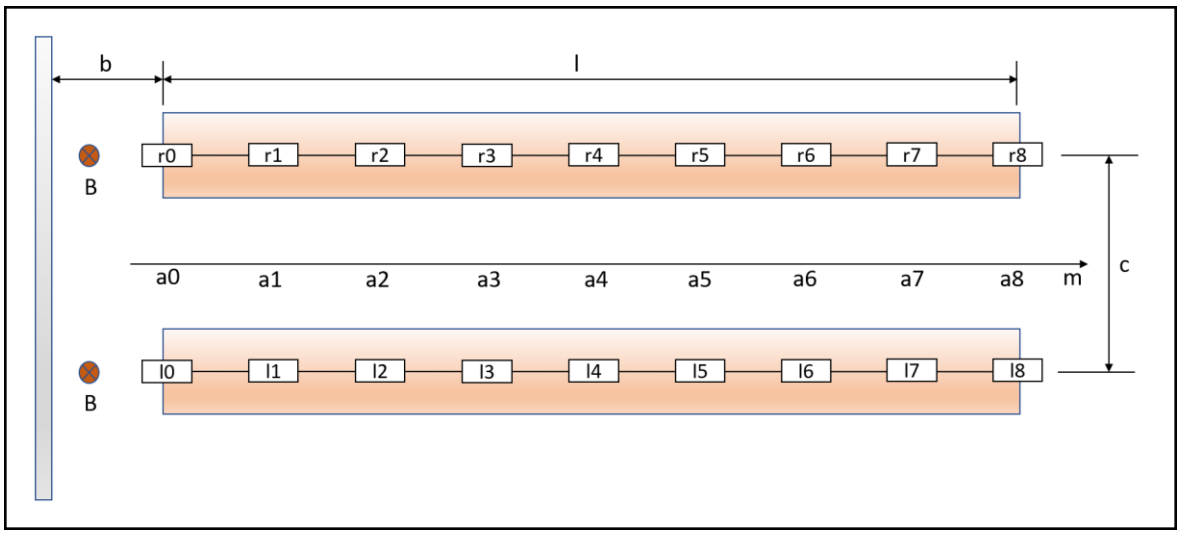


Abbildung 6. 4 Messraster

Der Abstand b wurde so gewählt, dass das Fahrzeug bis zum Stillstand die Prüfwand nicht berührt und sollte zwischen 0,8 m und 1,2 m liegen. Die Bezugspunkte B dienen der Reproduzierbarkeit des Messrasters. Der Anfangspunkt (Nullpunkt) wird durch das erste Wertepaar nahe der Prüfwand definiert. Es gilt zu beachten, dass die Länge der Messstrecke und zusätzlich die Fahrzeuglänge für die Kalibrierung des Messsystems benötigt wird.

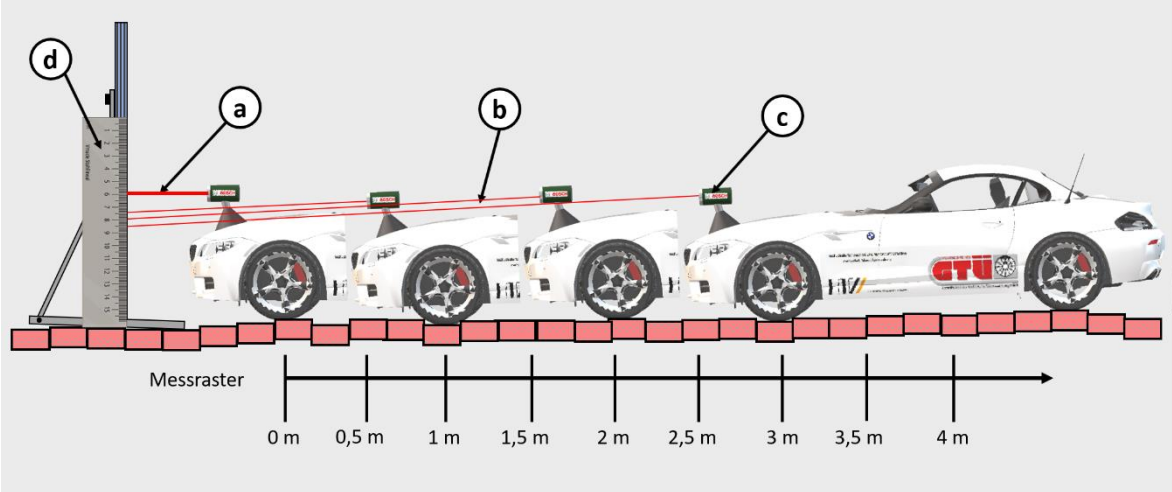


Abbildung 6. 5 Kalibrierprinzip

Abbildung 6.5 zeigt das Prinzip der Kalibrierung auf. Unter a wird die Referenzebene mit einem selbstnivellierenden Laser (c) erzeugt und anschließend arretiert. Die Ebene, auf welcher sich das Fahrzeug befindet wird mit 0 % Neigung angenommen (ermittelt gemäß HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie). Das Fahrzeug wird nach Hinten von der Prüfwand weg per Hand über die Unebenheiten verschoben. Aller 0,5 m wird für die linke und rechte Fahrspur an der Prüfwand die sich einstellende Verschiebung der Referenzebene (b) mit dem Vmade Stahllineal (d) gemessen. Wichtig für die Ablesegenauigkeit ist es, sich einen Bezug der Laserlinie zu definieren. Das heißt, es sollte während der Messung die Ober- oder Unterkannte der Laserlinie genutzt werden. Nach der Aufnahme der Messpunkte ist das

Fahrzeug in die Ausgangsposition zu verbringen und eine Kontrollmessung im Nullpunkt durchzuführen. Entspricht die Kontrollmessung dem ersten Wertepaar, ist von einer erfolgreichen Messdurchführung auszugehen. Damit die Messungen der Prüfrichtlinie entsprechen, sollte das Verfahren dreimal durchgeführt werden. Für die Protokollage ist ein Beispiel für die Kalibrierung als Anlage 6.2 aufgeführt.

Beispiel am Seat Leon Kombi:

	linke FS	**rechte FS**	**Abstand Messpunkte**	**Unebenheit linke FS**	**Unebenheit rechte FS**
MP	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
a0	722	731	0	0	0
a1	721	729	500	1	2
a2	717	725	1000	5	6
a3	711	722	1500	11	9
a4	704	717	2000	18	14
a5	699	710	2500	23	21
a6	691	702	3000	31	29
a7	692	701	3500	30	30
a8	687	697	4000	35	34

Tabelle 6. 2 Unebenheiten Messstrecke für Seat Leon ST

Für die Unebenheit erfolgt eine Verschiebung der Messpunkte a0 in den Koordinatenursprung. Anschließend wird die Differenz der einzelnen Messpunkte immer zu dem ersten Wertepaar a0 gebildet und als Unebenheit in [mm] betrachtet.

$$a0 - a8 = 722\ mm - 687\ mm = 35\ mm \tag{6.14}$$

Formel 6. 5 Berechnung der Unebenheit

Mit Hilfe eines Diagramms wird die Unebenheit über die Messpunkte im Auswertungstool sichtbar gemacht. Mit Hilfe einer anpassbaren Trendlinie kann dann die tendenzielle Neigung der Symmetrieachse β des Fahrzeuges simuliert werden und als Offset zur „e-Maß“-Berechnung herangezogen werden.

$$\beta\ \% = \frac{y(x)[mm]}{a10\ [mm]} * 100\ \% \tag{6.15}$$

Formel 6. 6 Neigung der Symmetrieachse

In Gleichung (6.15) soll *y(x)* einen Bereich von -78,5 mm bis 78,5 mm annehmen können und ist dem feststehenden ficktiefen Messpunkt a10 mit 4500 mm zugeordnet. Die Berechnung erfolgt nach dem Algorithmus der Gleichung (3.1) und lässt eine Anpassung an die Unebenheiten mit einem Neigungsbereich von -1,75 % bis 1,75 % zu.

$$\beta = \frac{45\ mm}{4500\ mm} * (-100\ \%) = -1{,}0\ \% \qquad (6.15.1)$$

Beachte: Bei einer positiven Unebenheit muss die Neigung der Symmetrieachse β negativ erfolgen, da die Betrachtung immer in Fahrtrichtung des Fahrzeuges liegt.

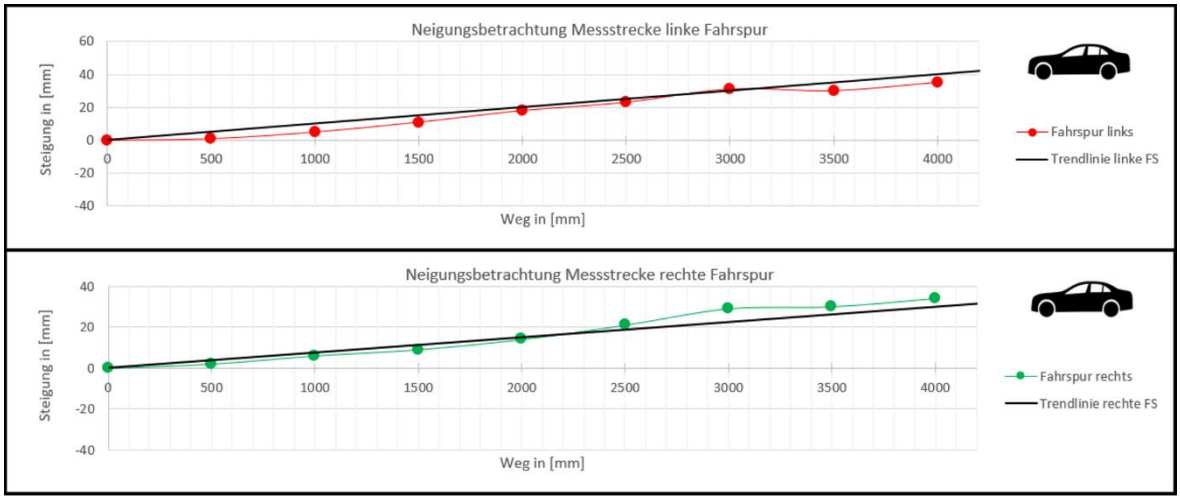


Diagramm 6. 3 Neigung der Symmetrieachse FZ / Fahrspur Seat Leon ST

Für den Seat Leon wurde eine Neigung für die Fahrspur links von -1,0 % und für rechts von jeweils -0,75 % ermittelt. Da die Neigung der Symmetrieachse an zwei Punkten gemessen wird (linke FS und rechte FS) können sich in der Grafik durchaus verschiedene Steigungen der Trendlinien einstellen. Im Regelfall ist das unsinnig, denn das würde bedeuten, dass die sich aufspannende Ebene der Scheinwerfer und damit die Karosserie sich verwindet. Allerdings wäre bei einer dynamischen Leuchtweitenregulierung (Abb. 2.4) die Betrachtung beider Fahrspuren von Bedeutung. Denn dann hätte das eine Anpassung des Scheinwerferlichtes während der Messung mit dem LTE-Programm zur Folge und würde eine Verwindung der gedachten Ebene durch die Scheinwerfer ermöglichen. Das wirft demzufolge die Frage auf, wie sensibel und mit welcher Trägheit die dynamische Leuchtweitenregulierung des jeweiligen Fahrzeugherstellers arbeitet und welche Betriebsart des Scheinwerferlichtes während der Messung einzustellen ist (z.B. Testmodus mit Motorhaube offen oder abdecken der integrierten Frontscheibenkamera für intelligente Lichtsysteme). Der Seat Leon mit LED-Licht ist mit einer dynamischen Leuchtweitenregulierung ausgestattet und soll daher mit den verschiedenen Neigungen der Fahrspuren betrachtet werden.

Nach Gleichung (6.16) konnte mit der ermittelten Neigung der Symmetrieachse für die linke und rechte FS das gesuchte „e-Einstellmaß“ der Scheinwerfer bestimmt werden.

$$e_{VL} = e_{VLb_{LTE}} - \beta_{VL} = -1{,}57\ \% - (-1{,}0\ \%) = -0{,}57\ \% \tag{6.16.1}$$

$$e_{VR} = e_{VRb_{LTE}} - \beta_{VR} = -1{,}77\ \% - (-0{,}75\ \%) = -1{,}02\ \% \tag{6.16.2}$$

Nach Gleichung (6.16.2) entspricht das ermittelte „e-Maß“ für den Scheinwerfer vorn rechts dem Referenzwert von -1,0 %. In Gleichung (6.16.1) würde das ermittelte „e-Maß“ für vorn links zwar in der Toleranz von ± 0,5 % des Einstellwertes gemäß der HU nach §29 StVZO fallen, liegt aber deutlich über dem Referenzwert von -1,1 %.

Auch hier stellt sich die Frage eines systematischen Fehlers bezugnehmend auf die Auswertung der Lichtverteilung des Scheinwerfers vorn links. Unter 6.3 „Auswertung verschiedener Kamerapositionen“ soll im folgenden Verlauf eine Lösung erörtert werden.

6.3 Auswertung verschiedener Kamerapositionen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der verschiedenen Prüffahrzeuge mit unterschiedlichen Scheinwerferarten dargestellt. Zur Anwendung kommt das oben beschriebene Auswertungstool mit der radstandabhängigen Kalibrierung der Unebenheiten, welche die Neigung der Symmetrieachse der Fahrzeuge während der Messaufnahme beschreibt.

6.3.1 Seat Leon ST mit LED-Scheinwerfer

Seat Leon ST Kombi, Erstzulassung 2013 mit LED-Scheinwerfer und einem soll „e-Einstellungsmaß“ von 1,0 %.

Nr.	Kamera-position	Fahrweise	Rückpro-jektion	Besonder-heit	SW	e_{Ber}	e_{Ref}
1	**Kalibrierprotokollnummer**						
	a - seitlich links	-	-	-	VR	-	-
					VL	-	-
2	**Kalibrierprotokollnummer**		**01369_0001_20181022_01**				
	b - mittig der SW	gerade Fahrt	ohne	-	VR	-1,71 ± 0,11 %	-1,6 %
					VL	-0,40 ± 0,06 %	-1,4 %
3	**Kalibrierprotokollnummer**						
	c - seitlich rechts	-	-	-	VR	-	-
					VL	-	-
4	**Kalibrierprotokollnummer**		**01369_0001_20181022_02**				
	d – mittig der SW(α)	gerade Fahrt	ohne	-	VR	-1,99 ± 0,13 %	-1,6 %
					VL	-0,31 ± 0,06 %	-1,4 %
	weiter Positionen						
5	**Kalibrierprotokollnummer**		**01369_0001_20181022_03**				
	d – mittig der SW(α)	Sinus Fahrt	ohne	-	VR	-1,13 ± 0,09 %	-1,6 %
					VL	-0,10 ±0,05 %	-1,4 %
6	**Kalibrierprotokollnummer**		**01369_0001_20181022_04**				
	b - mittig der SW	gerade Fahrt	mit		VR	-1,54 ± 0,12 %	-1,0 %
					VL	-0,10 ± 0,05 %	-1,1 %
7	**Kalibrierprotokollnummer**		**01369_0001_20181022_05**				
	b - mittig der SW	gerade Fahrt	mit	ROI(6) neu definiert	VR	-1,18 ± 0,10 %	-1,0 %
					VL	-0,41 ± 0,07 %	-1,1 %
8	**Kalibrierprotokollnummer**		**01369_0001_20181022_06**				
	b - mittig der SW	gerade Fahrt	mit	tausch der ROI	VR	-0,06 ± 0,04 %	-1,0 %
					VL	-0,96 ± 0,10 %	-1,1 %

Tabelle 6. 3 Auswertung Seat Leon ST

In der Tabelle 6.3 werden die Ergebnisse der ausgewerteten Messreihen mit Bezug auf die Randbedingungen (Kameraposition, Fahrweise und Rückprojektion der Leinwand) sowie Besonderheiten bei der Auswertung mit laufender Nummerierung dargestellt. Die Positionen 2; 4 und 5 sind Messungen, bei denen die Lichtverteilung auf der Front der Leinwand abgebildet ist (ohne Rückprojektion). Das eingestellte „e-Maß“ der Scheinwerfer

wurde nach den Messaufnahmen überprüft und als Referenzwert in der Tabelle 6.3 aufgeführt. Deutlich zeigt sich hier schon der zuvor beschriebene systematische Fehler für die Scheinwerfereinstellung vorn links. Ein gutes Ergebnis erzielte die Messaufnahme unter der Position 2 mit einer orthogonalen Ausrichtung der Kamera (HDG) zur Symmetrieachse des Fahrzeuges. Die Kameraposition in Bodennähe mit einem Anstellungswinkel von α = 20° bis 25° mittig der Scheinwerfer hingegen liefert ein Ergebnis für die Einstellung vorn rechts, welches innerhalb der Toleranz von ± 0,5 % liegt. Allerdings ist dieses Ergebnis grenzwertig und weißt eine größere Messungenauigkeit auf, welche auf die Bildverzerrung durch den Anstellwinkel *α* und Lage der ROI zurückzuführen ist.
Die Sinus Fahrt unter der Position 5 wurde ohne Anwendung des Filters ausgewertet.

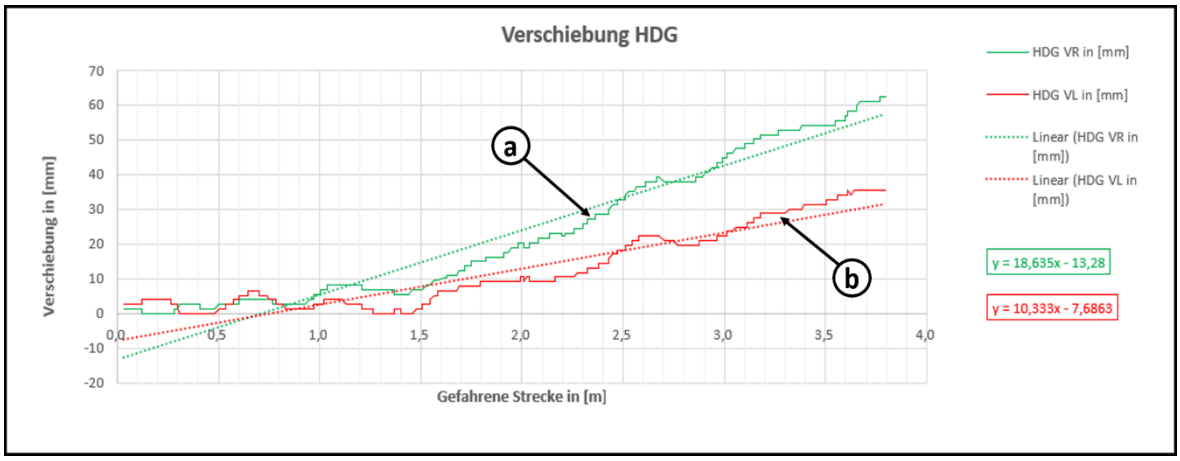


Diagramm 6. 4 Sinus Fahrt Seat Leon ST

So zeigt das Diagramm 6.4 den sinusförmigen Verlauf der Graphen a und b auf, in welchen ein linearer Bereich für die Anwendung des Filters nicht in Frage kommt. Das bedeutet, dass sich zu wenig Korrelationskoeffizenten *r* ergeben, welche im Bereich von 1 oder -1 liegen. Eine Aussage über die tatsächliche Steigung kann daher nicht getroffen werden. Die Sinus-Fahrt sollte bei der Messaufnahme vermieden werden.

Es erfolgten weitere Messaufnahmen mit der Kameraposition b. Die Lichtverteilung wurde auf der Rückseite der Leinwand abgebildet, um die Eigenschaften der Rückprojektion der Leinwand zu nutzen. Dabei spielt der Gain-Faktor eine Rolle. In erster Linie galt es herauszufinden, wo der Fehler für die Lichtverteilung vorn links liegt. Die Messaufnahmen unter der Position 6 und 7 sind identisch. Da unter Nr. 6 die Abweichung zum Referenzwert vorn rechts zu groß ausfällt, wurde unter der Nr. 7 die Auswertung mit dem LTE-Programm erneut durchgeführt. Bei der Definition der ROI im Auswertungsbereich des Programms wurde genau darauf geachtet, dass sich nur die HDG der Scheinwerfer im Detektionsbereich befinden und analysiert werden. Der berechnete Einstellwert für vorn rechts verbesserte sich um ca. 0,25 % in Richtung Referenzwert. Auch für vorn links verbesserte sich der Einstellwert um 0,30 %, zeigt aber immer noch einen systematischen Fehler auf. Um zu überprüfen, ob der Algorithmus zur Liniendetektion im LTE-Programm fehlerhaft sein könnte, erfolgte der Tausch der ROI im Auswertungsbereich. Mit der ROI für vorn links wurde die Lichtverteilung für den Scheinwerfer vorn rechts ausgewertet und für

vorn links die ROI für den rechten Scheinwerfer gewählt. Bei der Auswertung und Berechnung des Einstellmaßes (Nr. 8) zeigt sich der systematische Fehler nun für das Scheinwerferlicht vorn rechts auf. Das bedeutet, dass der Fehler immer noch auf der linken Seite vorhanden ist und der Algorithmus für die Liniendetektion der ROI's funktioniert.

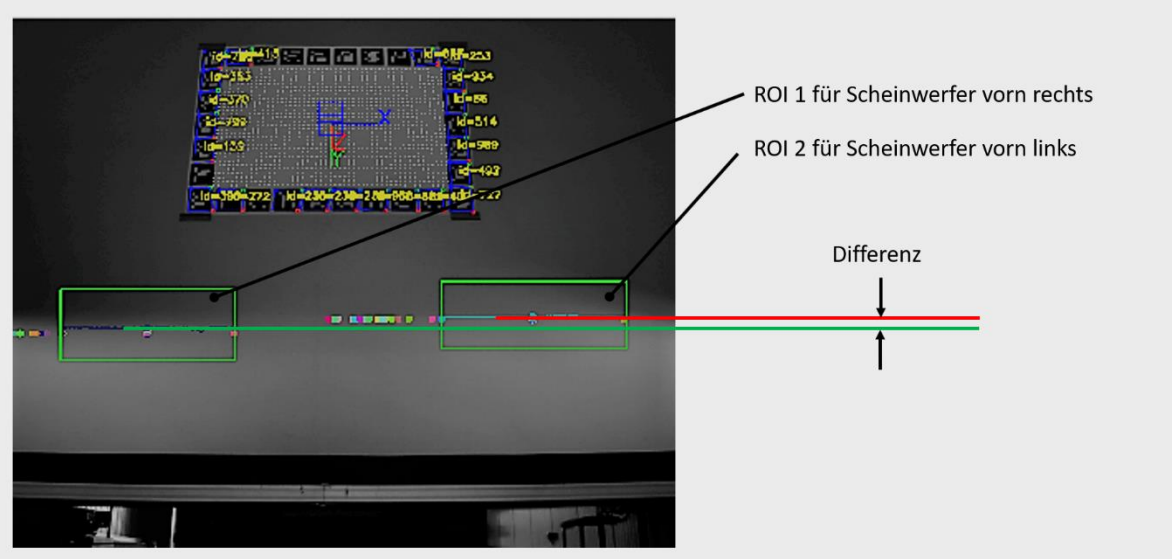


Abbildung 6. 6 ROI für Liniendetektion und systematischen Fehler

In der Abbildung 6.6 wird die erfolgreiche Detektion der Linieninformation der ROI 1 und ROI 2 dargestellt. Erkennbar ist eine deutliche Differenz zwischen den Hell-Dunkel-Grenzen der Lichtverteilung der Scheinwerfer. Diese Differenz ist scheinbar der gesuchte systematische Fehler. Da die Referenzwerte der Einstellwerte sich nur um 0,1 % unterscheiden, scheint die Differenz der Detektion unsinnig zu sein.

Das wirft die Frage auf, welche Grenze des Scheinwerferlichts für vorn links erfasst wurde. Um die Frage beantworten zu können, erfolgte die Positionierung der Kamera (HDG) mittig der abgebildeten Hell-Dunkel-Grenzen der Scheinwerfer. Bisher war die Position der Kamera auf die Mitte des Fahrzeuges ausgerichtet. Mit dieser Positionierung ist es möglich die tatsächlichen Hell-Dunkel-Grenzen für die Auswertung zu erfassen. Zur Überprüfung dieses Ansatzes standen drei Fahrzeuge zur Verfügung. Der Skoda Yeti mit Xenonscheinwerfer, der BMW 318i E91 mit Halogenscheinwerfer und der Audi A4 ebenfalls mit Halogenscheinwerfer. Der Seat Leon ST war zu diesem Zeitpunkt nicht verfügbar. Auch der BMW und der Audi wurden zum Zeitpunkt der Messaufnahmen des Seat auf die Lichtverteilung hin überprüft und wiesen den gleichen systematischen Fehler für die Hell-Dunkel-Grenze vorn links auf wie der Seat.

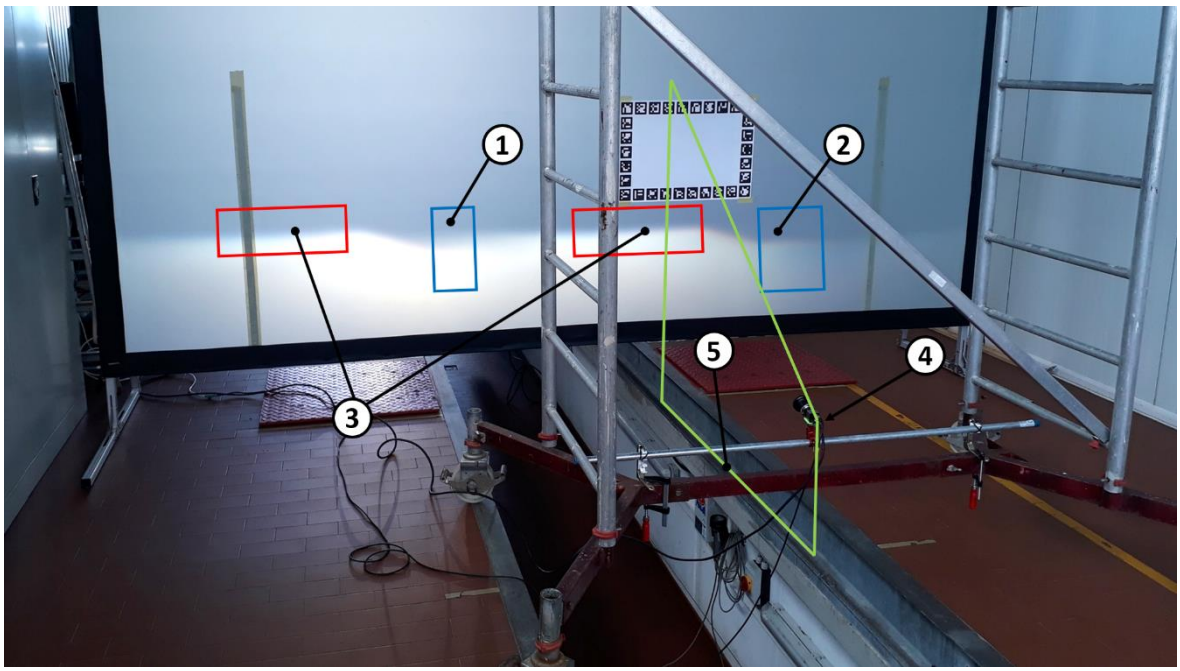


Abbildung 6. 7 resultierende Kamerapositionierung mittig der HDG

1	ROI 1 für HDG VR richtig definiert
2	ROI 2 für HDG VL richtig definiert
3	ROI 1 und 2 falsch definiert
4	Kamera für Lichtverteilung
5	Positionierung der Kamera mittig der HDG

Tabelle 6. 4 resultierende Kameraposition mittig der HDG

Falsch ausgewählte ROI führen zu einer nicht korrekten Berechnung des „e-Maßes“. In Abbildung 6.7 sind diese rot gekennzeichnet. Hier ist deutlich der Höhenunterschied zur tatsächlichen Hell-Dunkel-Grenze (blau gekennzeichnet) zu erkennen. Die Definition der ROI muss akribisch erfolgen und sollte nahe dem Knickpunkt B (Abb. 3.7) ihren Ursprung finden. Es ist darauf zu achten, dass keine andere horizontale und diagonale Lichtgrenze in die Auswertung mit einfließen kann. Die als rot gekennzeichneten Lichtgrenzen werden als Asymmetrischer Sektor bezeichnet und leuchten die entfernteren Zonen der rechten Straßenseite aus [15].

6.3.2 BMW 318i E91 mit Halogenscheinwerfer

BMW 318i E91, Erstzulassung 2011 mit Halogenscheinwerfer und einem soll „e-Einstellungsmaß“ von 1,0 %.

Kalibrierung Unebenheit Messstrecke

	linke FS	rechte FS	Abstand Messpunkte	Unebenheit linke FS	Unebenheit rechte FS
MP	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
a0	688	697	0	0	0
a1	688	695	500	0	2
a2	684	691	1000	4	6
a3	678	687	1500	10	10
a4	672	682	2000	16	15
a5	665	675	2500	23	22
a6	660	670	3000	28	27
a7	660	668	3500	28	29
a8	658	667	4000	30	30

Tabelle 6. 5 Unebenheit Messstrecke für BMW 318i E91

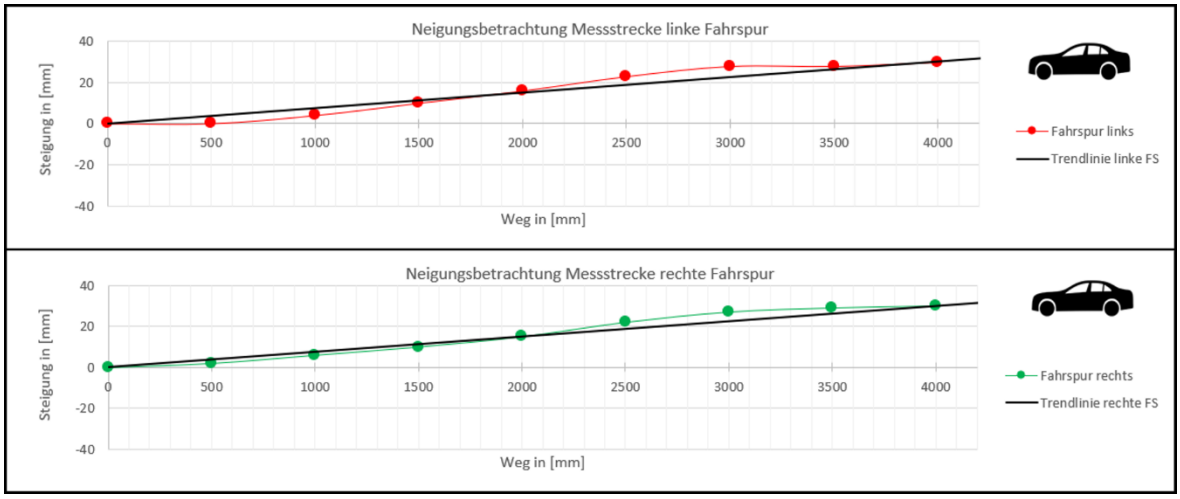


Diagramm 6. 5 Neigung der Symmetrieachse FZ / Fahrspur BMW 318i E91

Für den BMW wurde nach Gleichung (6.15) in Abhängigkeit des Radstandes und den Unebenheiten jeweils eine tendenzielle Neigung der Fahrspuren / Symmetrieachse von -0,75 % ermittelt. Die an die Unebenheiten angepasste Neigung stellt die Offsetgröße bei der Berechnung des „e-Einstellmaßes“ dar.

Nr.	Kamera-position	Fahrweise	Rückpro-jektion	Besonder-heit	SW	e_{Ber}	e_{Ref}
1	**Kalibrierprotokollnummer**		**01369_0002_20181022_06**				
	a - seitlich links	gerade fahrt	mit	-	VR	-1,30 ± 0,10 %	-1,0 %
					VL	-1,36 ± 0,11 %	-1,0 %
2	**Kalibrierprotokollnummer**		**01369_0002_20181022_01**				
	b - mittig der SW	gerade Fahrt	ohne	-	VR	-1,94 ± 0,14 %	-0,9 %
					VL	-0,52 ±0,06 %	-1,0 %
3	**Kalibrierprotokollnummer**		**01369_0002_20181022_07**				
	c - seitlich rechts	gerade Fahrt	mit	-	VR	-1,33 ± 0,10 %	-1,0 %
					VL	-1,12 ± 0,09 %	-1,0 %
4	**Kalibrierprotokollnummer**		**01369_0002_20181022_04**				
	d - mittig der SW(α)	gerade Fahrt	ohne	untersch. HDG	VR	-2,33 ± 0,15 %	-2,0 %
					VL	-0,86 ± 0,08 %	-1,0 %
5	**Kalibrierprotokollnummer**		**01369_0002_20181022_05**				
	e - mittig der HDG	gerade Fahrt	mit	-	VR	-1,09 ± 0,09 %	-1,0 %
					VL	-0,93 ± 0,08 %	-1,0 %
weiter Positionen							
6	**Kalibrierprotokollnummer**		**01369_0002_20181022_02**				
	b - mittig der SW	Sinus Fahrt	ohne	-	VR	-0,88 ± 0,08 %	-0,9 %
					VL	-0,06 ± 0,04 %	-1,0 %
7	**Kalibrierprotokollnummer**		**01369_0002_20181022_03**				
	b - mittig der SW	gerade Fahrt	ohne	untersch. HDG	VR	-2,51 ± 0,16 %	-2,0 %
					VL	-0,44 ± 0,06 %	-1,0 %

Tabelle 6. 6 Auswertung BMW 318i E91

Bei den Positionen 1; 3 und 5 wurde darauf geachtet, dass die ROI bei der Auswertung die tatsächliche HDG erfasst. Das Abbild der Lichtverteilung des BMW ist jedoch schwierig auszuwerten. Ein klarer Verlauf der Hell-Dunkel-Grenze der Scheinwerfer ist schwer nachzuvollziehen. Daher war es erforderlich die ROI in ihrer Definition schmal zu gestallten. Das beste Ergebnis wurde unter der Nr. 5 erzielt. Die dabei ersichtlichen Abweichungen zu den Referenzwerten könnten dabei auf den Beladungszustand der Fahrerseite (Fahrzeugführer) zurückzuführen sein. Aber auch die Positionen der Kamera seitlich links und seitlich rechts lassen ein gutes Ergebnis zu. Wichtig hierbei ist die orthogonale Ausrichtung der Kamera zur Aufstellfläche in der Höhe der Scheinwerfer. Positioniert man die Kamera zu tief oder zu hoch würde die Bildaufnahme einer Drehung unterliegen. Das LTE-Programm wäre dann nicht mehr in der Lage die Linieninformationen zu lesen, sodass eine Auswertung nicht mehr stattfinden könnte.

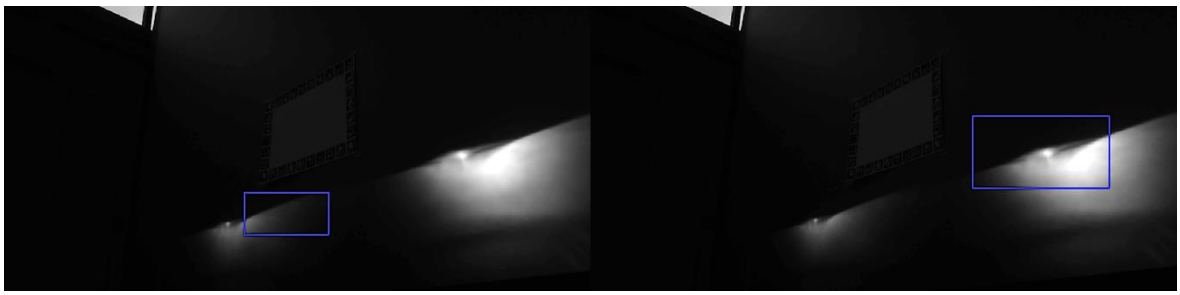


Abbildung 6. 8 Bilddrehung aufgrund falscher Kameraposition

Die Position 2 hingegen zeigt eine große Abweichung zu den Referenzmaßen auf. Hier wurde die ROI für beide Scheinwerfer über die komplette Lichtverteilung definiert. Der Hintergrund ist, dass zukünftig auch die horizontale Lichtverteilung überprüft werden muss und die vertikale Erfassung davon nicht Beeinflusst werden darf. Die Auswahl der ROI muss ohne weiteren Aufwand definierbar sein. Wie aber zuvor schon zur Kenntnis gebracht, führt der Einfluss der Asymmetrie des Scheinwerferlichtes zu einer fehlerhaften Ausgabe des „e-Einstellmaßes“.

Die Sinus Fahrt unter Nr. 6 wurde entsprechend der Sinus Fahrt des Seat ausgewertet. Auch wenn sich für den Scheinwerfer vorn rechts ein Einstellmaß dem Referenzmaß entsprechend ergibt, sollte eine Sinus Fahrt aus zuvor beschriebenen Gründen vermieden werden. Das Messsystem ist in der Lage unterschiedlich eingestellte HDG der Scheinwerfer zu erfassen (Nr. 4 und 7). Die genaue Erfassung der tatsächlichen Hell-Dunkel-Grenze in orthogonaler Ausrichtung zur Prüfwand oder senkrecht ausgerichtet zur Aufstellfläche in Höhe der Scheinwerfer ist dabei die Voraussetzung.

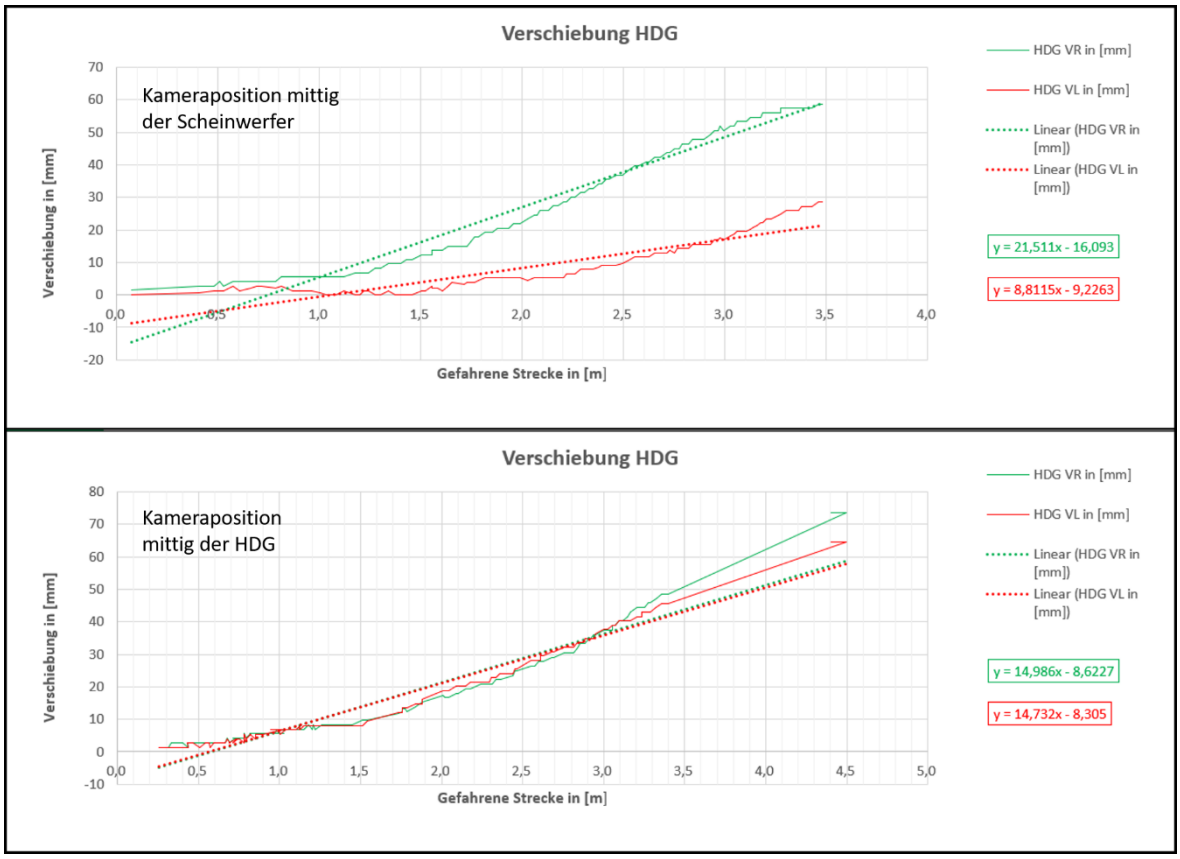


Diagramm 6. 6 Auswirkung einer schlechten Kameraposition BMW 318i

Im Diagramm 6.6 soll der Einfluss der Kameraposition auf die Auswertung der Lichtverteilung verdeutlicht werden. Bei der Positionierung mittig der Scheinwerfer erfolgte die Auswahl der ROI über die gesamte Lichtverteilung wie oben beschrieben. Erst nach der Anordnung mittig der HDG konnte eine gute Auswahl der ROI über die tatsächliche HDG erfolgen und führte schließlich zu einer Ermittlung des „e-Einstellmaßes“, welches den Referenzwerten entspricht.

6.3.3 Audi A4 Limousine mit Halogenscheinwerfer

Audi A4 B6 Limousine, Erstzulassung 2001 mit Halogenscheinwerfer und einem soll „e-Einstellungsmaß“ von 1,0 %.

Kalibrierung Unebenheit Messstrecke

	linke FS	rechte FS	Abstand Messpunkte	Unebenheit linke FS	Unebenheit rechte FS
MP	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
a0	666	676	0	0	0
a1	668	675	500	-2	1
a2	665	673	1000	1	3
a3	660	670	1500	6	6
a4	655	666	2000	11	10
a5	652	661	2500	14	15
a6	645	656	3000	21	20
a7	646	656	3500	20	20
a8	644	652	4000	22	24

Tabelle 6. 7 Unebenheit Messstrecke für Audi A4 Limousine

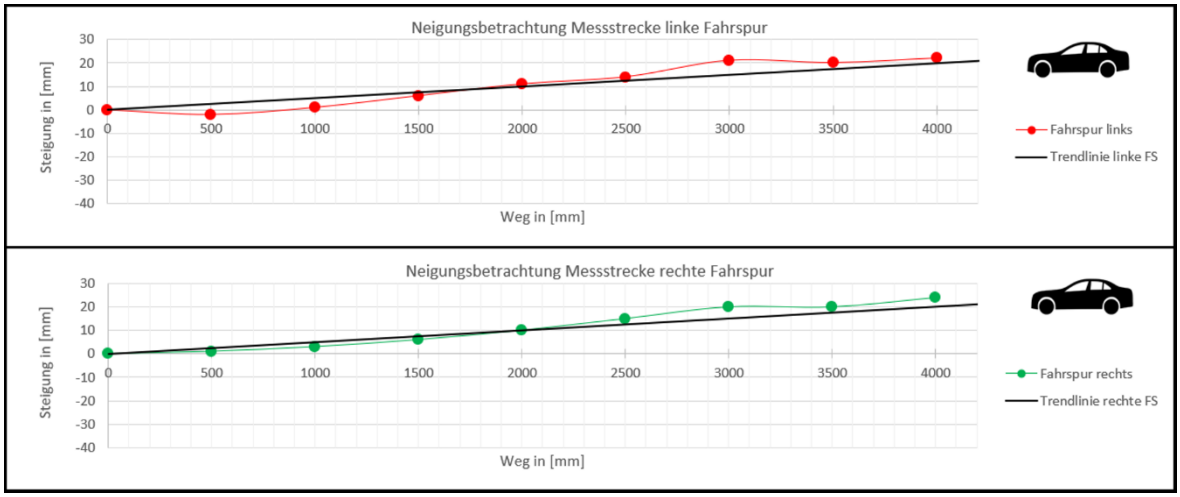


Diagramm 6. 7 Neigung der Symmetrieachse FZ / Fahrspur Audi A4 Limousine

Für den Audi wurde nach Gleichung (6.15) in Abhängigkeit des Radstandes und den Unebenheiten jeweils eine tendenzielle Neigung der Fahrspuren / Symmetrieachse von -0,50 % ermittelt. Die an die Unebenheiten angepasste Neigung stellt die Offsetgröße bei der Berechnung des „e-Einstellmaßes“ dar.

Nr.	Kamera-position	Fahrweise	Rückpro-jektion	Besonder-heit	SW	e_{Ber}	e_{Ref}
1	**Kalibrierprotokollnummer**		**01369_0003_20181022_02**				
	a - seitlich links	gerade fahrt	mit	-	VR	-0,91 ± 0,07 %	-0,7 %
					VL	-1,27 ± 0,09 %	-1,0 %
2	**Kalibrierprotokollnummer**						
	b - mittig der SW	gerade Fahrt	ohne	-	VR	-	-
					VL	-	-
3	**Kalibrierprotokollnummer**		**01369_0003_20181022_03**				
	c - seitlich rechts	gerade Fahrt	mit	-	VR	-0,77 ± 0,04 %	-0,7 %
					VL	-1,35 ± 0,06 %	-1,0 %
4	**Kalibrierprotokollnummer**						
	d - mittig der SW(α)	gerade Fahrt	ohne	-	VR	-	-
					VL	-	-
5	**Kalibrierprotokollnummer**		**01369_0003_20181022_01**				
	e - mittig der HDG	gerade Fahrt	mit	-	VR	-0,72 ± 0,06 %	-0,7 %
					VL	-1,09 ± 0,08 %	-1,0 %

Tabelle 6. 8 Auswertung Audi A4 Limousine

Aus der Tabelle 6.8 sowie im Diagrammist 6.8 ist ersichtlich, dass die mittig der HDG angeordnete Kamera eine Einstellung ermittelt, welche den Referenzwerten sehr gut entspricht. Deutlich ist in der Abbildung 6.8 der Unterschied der Scheinwerfereinstellung zu erkennen, welcher ca. 0,3 % beträgt. Mit der Positionierung der Kamera (HDG) auf die linke und rechte Seite (Diagramm 6.9) nehmen die ermittelten Einstellwerte in negativer Richtung zu. Das berechnete „e-Maß“ bleibt allerdings in der Toleranz des eingestellten Maßes von ± 0,5 %. Das zeigt aber auch, dass wie beim BMW die optimale Kameraposition möglichst mittig der Hell-Dunkel-Grenze in Höhe der Scheinwerfer zu finden ist.

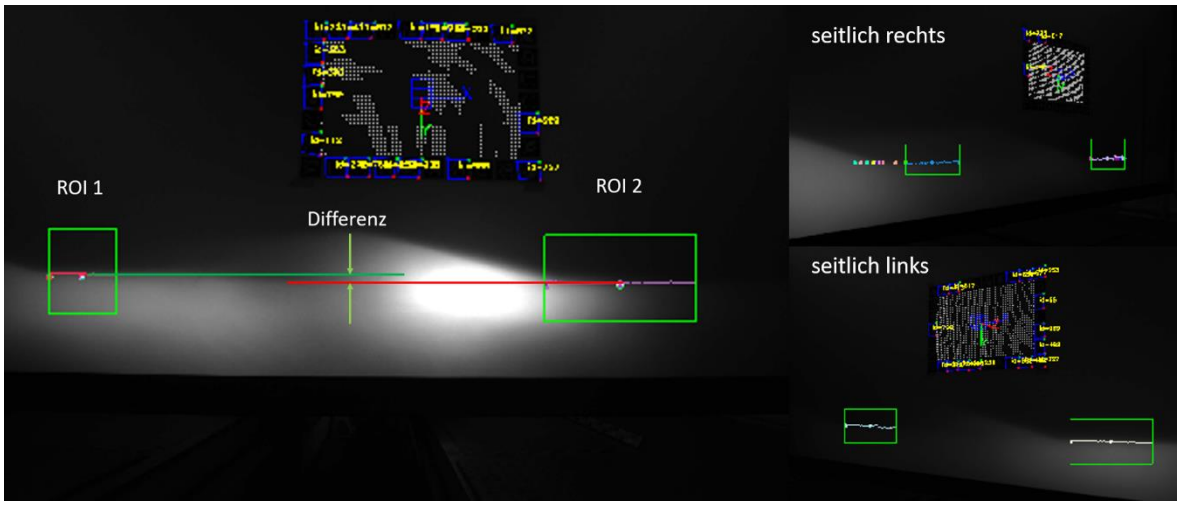


Abbildung 6. 9 Unterschiedliche HDG-Einstellung Audi A4 Limousine

Diagramme Audi A4

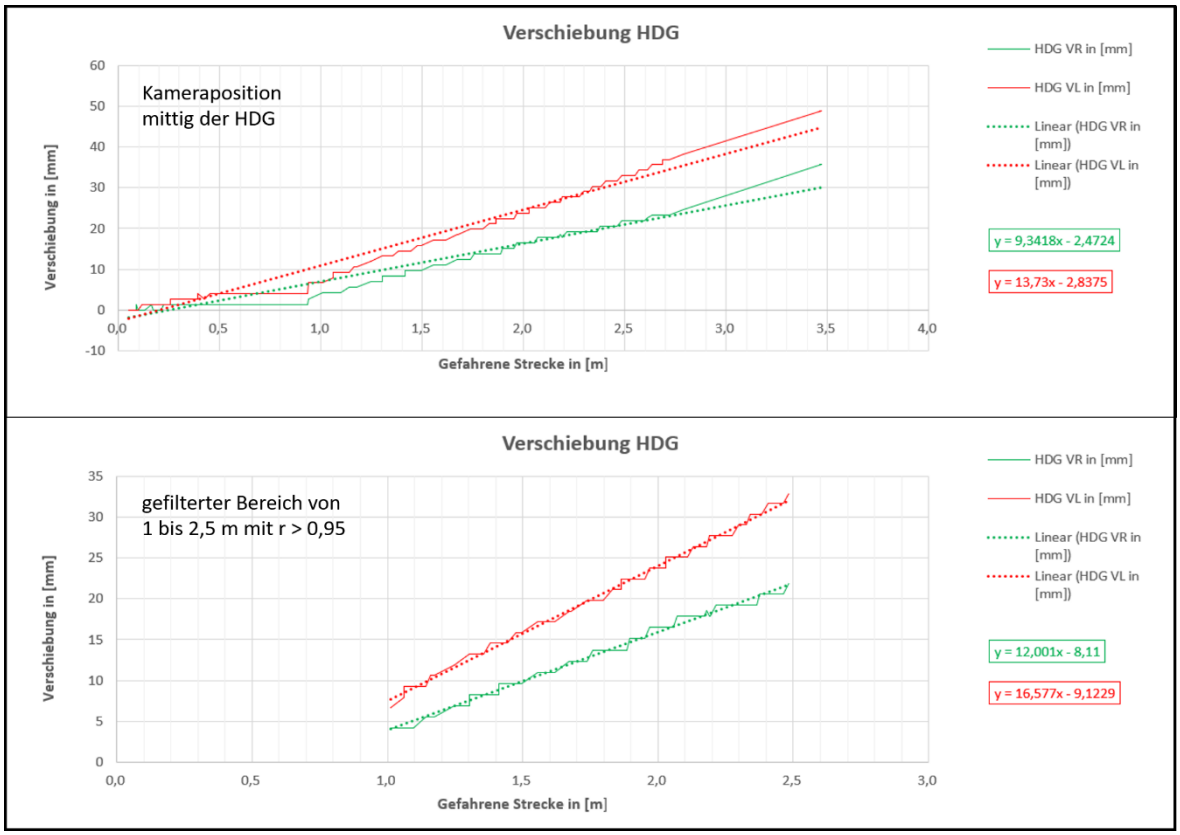


Diagramm 6. 8 Kamera mittig HDG Audi A4

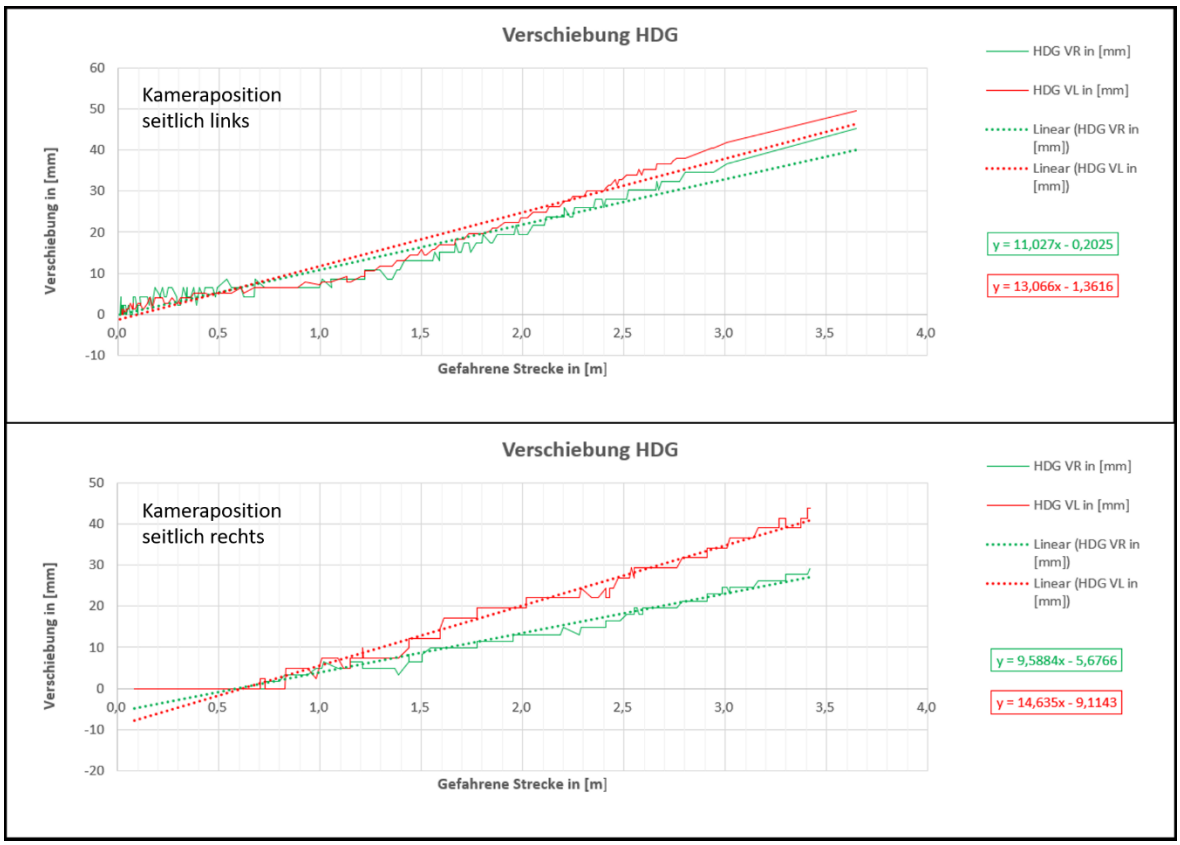


Diagramm 6. 9 Kamera seitlich Angeordnet der Messstrecke Audi A4

6.3.4 Skoda Yeti mit Xenonscheinwerfer

Skoda Yeti, Erstzulassung 2015 mit Xenonscheinwerfer und einem soll „e-Einstellungsmaß“ von 1,0 %.

Kalibrierung Unebenheit Messstrecke

	linke FS	rechte FS	Abstand Messpunkte	Unebenheit linke FS	Unebenheit rechte FS
MP	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
a0	774	782	0	0	0
a1	773	780	500	1	2
a2	769	775	1000	5	7
a3	763	772	1500	11	10
a4	758	768	2000	16	14
a5	751	760	2500	23	22
a6	746	755	3000	28	27
a7	747	754	3500	27	28
a8	745	751	4000	29	31

Tabelle 6. 9 Unebenheit Messstrecke für Skoda Yeti

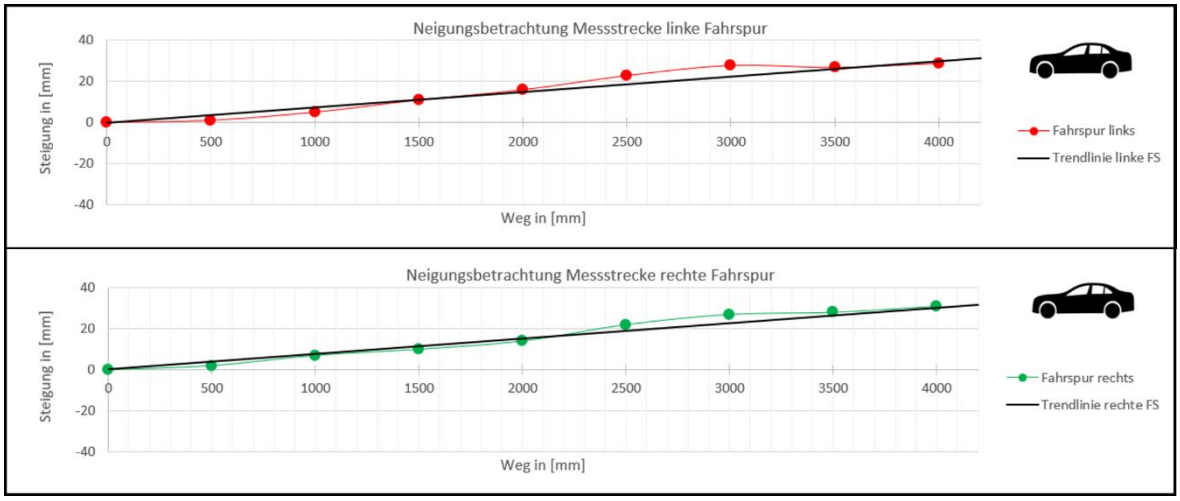


Diagramm 6. 10 Neigung der Symmetrieachse FZ / Fahrspur Skoda Yeti

Für den Skoda wurde nach Gleichung (6.15) in Abhängigkeit des Radstandes und den Unebenheiten jeweils eine tendenzielle Neigung der Fahrspuren / Symmetrieachse von -0,75 % ermittelt. Die an die Unebenheiten angepasste Neigung stellt die Offsetgröße bei der Berechnung des „e-Einstellmaßes“ dar.

Nr.	Kamera-position	Fahrweise	Rückpro-jektion	Besonder-heit	SW	e_{Ber}	e_{Ref}
1	**Kalibrierprotokollnummer**		**01369_0004_20181022_02**				
	a - seitlich links	gerade fahrt	mit	-	VR	-0,97 ± 0,09 %	-1,0 %
					VL	-0,67 ±0,07 %	-1,0 %
2	**Kalibrierprotokollnummer**		**01369_0004_20181022_04**				
	e - mittig der HDG	gerade Fahrt	mit	untersch. HDG	VR	-2,16 ± 0,15 %	-2,0 %
					VL	-2,29 ± 0,15 %	-3,0 %
3	**Kalibrierprotokollnummer**		**01369_0004_20181022_03**				
	c - seitlich rechts	gerade Fahrt	mit	-	VR	-0,11 ± 0,04 %	-1,0 %
					VL	-1,27 ± 0,10 %	-1,0 %
4	**Kalibrierprotokollnummer**						
	d - mittig der SW(α)	gerade Fahrt	ohne	-	VR	-	-
					VL	-	-
5	**Kalibrierprotokollnummer**		**01369_0004_20181022_01**				
	e - mittig der HDG	gerade Fahrt	mit	-	VR	-0,81 ± 0,08 %	-1,0 %
					VL	-0,70 ± 0,07 %	-1,0 %

Tabelle 6. 10 Auswertung Skoda Yeti

Der Skoda Yeti ist ein modernes Fahrzeug und auf dem Stand einer aktuellen sowie funktionierenden Technik. Aufgrund seines Aufbaus liegt der Schwerpunkt (SP) wesentlich höher als bei den Fahrzeugen Seat, BMW, und Audi. Das bewirkt bei Beschleunigungs- und Verzögerungskräften ein größeres Nickmoment um die Querachse des Skodas. Der Skoda und der Seat sind mit einer dynamischen Leuchtweitenregulierung ausgestattet. Diese soll in sehr kurzer Zeit auf die fahrbedingte Neigungsänderung durch Beschleunigen und Verzögern reagieren [18], [28]. Der Skoda ist dabei mit seiner höheren Schwerpunktlage anfälliger als z.B. der Seat und übt damit Einfluss auf die Messungen aus. Die größte Ursache auf die Abweichungen zu den Referenzwerten lässt sich daher auf die Fahrzeugbewegung zurückführen.

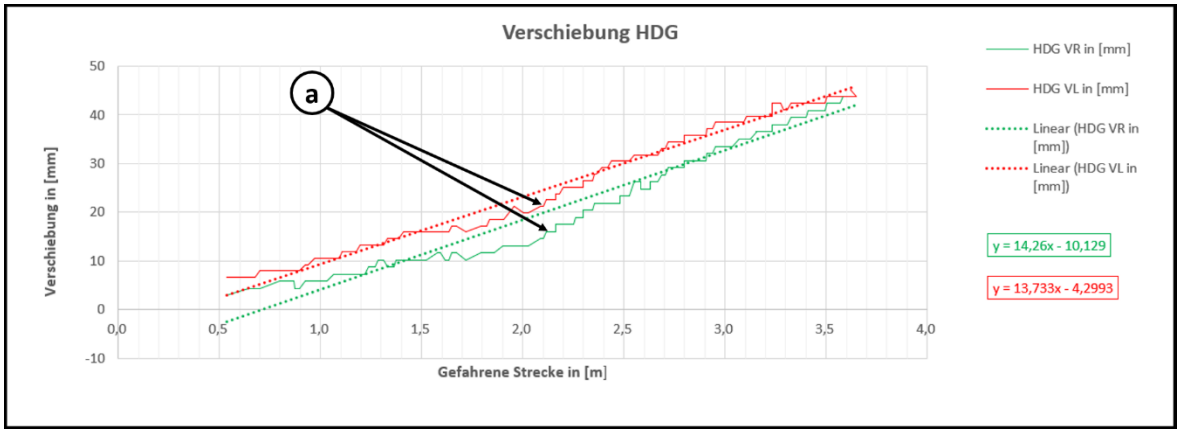


Diagramm 6. 11 Einfluss der fahrbedingten Neigungsänderung /Skoda Yeti

Das Diagramm 6.8 zeigt den Einfluss auf die Messung durch Neigungsänderung auf. Die abgebildeten Graphen a geben die Form einer gestreckten Amplitude wieder. Daraus lässt sich schließen, dass der Skoda sich während der Messung in einem Schwingvorgang aufgrund von Beschleunigungs- und Verzögerungskräften befindet, welcher durch die Lage des SP begünstigt wird. Klare lineare Bereiche der Graphen (siehe Diagramm 6.1) sind daher

schwieriger zu definieren. Des Weiteren beeinflusst ein kreisförmiger Verlauf der Graphen die Korrelation der Datenpunkte. Kommt eine Filterung der Daten zum Einsatz, werden die Abweichung für die „e-Maß“-Berechnung deutlich. Das Diagramm 6.9 zeigt die Filterung der Graphen im Bereich von 2 bis 3 m mit einer Korrelation von > 0,95 auf.

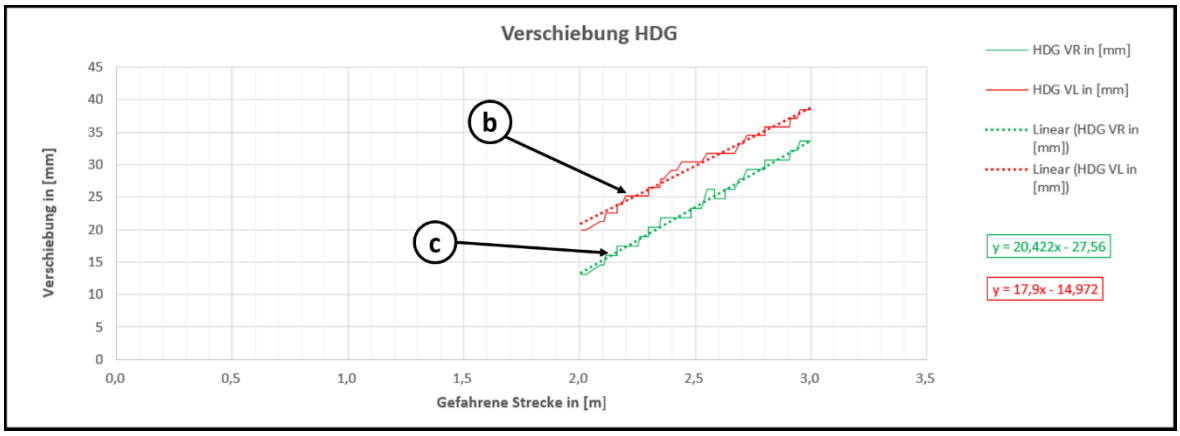


Diagramm 6. 12 Einfluss Neigungsänderung gefiltert / Skoda Yeti

Unter b und c ergeben sich nach Filterung unterschiedliche Steigungen der Geraden. Dadurch wird die Einstellung der HDG falsch interpretiert. Im folgenden Diagramm soll die Messfahrt ohne den Einfluss der Neigungsänderung d verdeutlicht werden. Die Filterung e entspricht den gleichen Einstellungen wie oben und gibt ein sehr gutes Ergebnis der „e-Maßberechnung“ wieder.

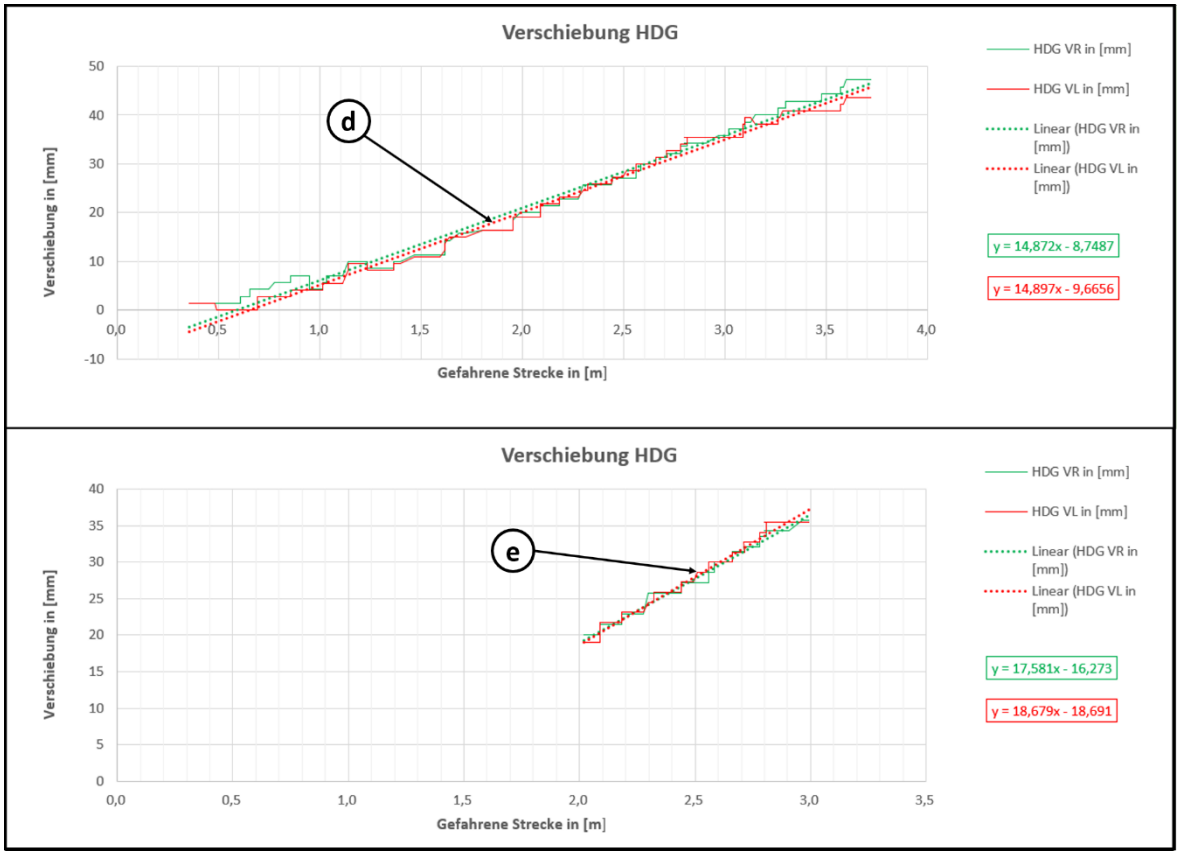


Diagramm 6. 13 Messfahrt ohne Einfluss der Neigungsänderung / Skoda Yeti

Die durch die Unebenheiten erzeugte Neigung der Symmetrieachse des Fahrzeuges übt bei der Leuchtweitenregulierung keinen Einfluss aus. Hier sieht der Gesetzgeber gemäß der HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie eine Toleranz von ± 1,5 % vor. Auch hier zeigt sich wieder in der Auswertung das beste ermittelte Einstellmaß mit der Kameraposition mittig der HDG. Aber auch die seitlich linke Positionierung konnte die Hell-Dunkel-Grenzen gut detektieren. Bei der seitlich rechten Positionierung der Kamera (HDG) nimmt wiederum die asymmetrischen Lichtverteilung des linken Scheinwerfers Einfluss auf die Liniendetektion der HDG vorn rechts.

Des Weiteren wurden die Scheinwerfer des Skodas unterschiedlich eingestellt. Das symmetrische Abblendlicht vorn links hat einen neu eingestellten Wert von - 3,0 % und das rechte von - 2,0 %. Die Einstellung erfolgte manuell an den Scheinwerfern ohne Anwendung eines Testers. Der Einsatz des Testers ist lediglich für die Grundeinstellung der Xenonscheinwerfer nötig [25]. In der Auswertung sowie im Diagramm 6.11 zeigt sich, dass die Einstellung f der Scheinwerfer des Skodas auf ein Maß von ca. - 2,0 % angepasst hat. Die zuvor eingestellte Differenz ist in der Auswertung kaum ersichtlich. Hier könnte das intelligente Lichtsystem Einfluss nehmen. Vor der Messaufnahme mit unterschiedlicher HDG unterlagen die Scheinwerfer einem Selbsttest. Hier könnte das intelligente System bei zu großer Abweichung der Einstellung der Scheinwerfer eine Anpassung der Stellglieder vornehmen. Folglich eine Adaption der HDG. An dieser Stelle müssten weitere Untersuchungen stattfinden, um einen aussagekräftigen Ansatz zu finden.

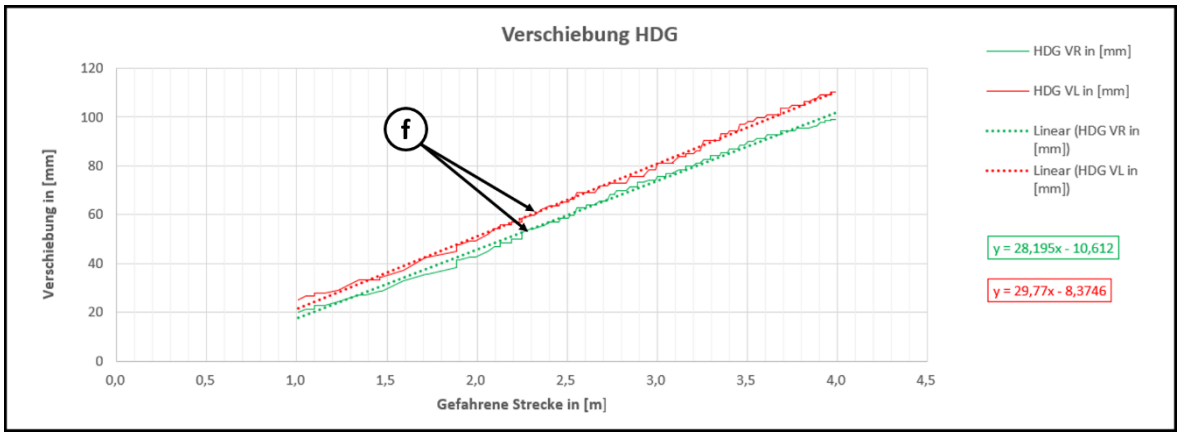


Diagramm 6. 14 angepasste "e-Einstellmaße" der HDG / Skoda Yeti

6.3.5 Ford Transit Custom mit Halogenscheinwerfer

Ford Transit Custom, Erstzulassung 2014 mit Halogenscheinwerfer und einem soll „e-Einstellungsmaß“ von 1,2 %.

Kalibrierung Unebenheiten Messstrecke

	linke FS	rechte FS	Abstand Messpunkte	Unebenheit linke FS	Unebenheit rechte FS
MP	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
a0	441	449	0	0	0
a1	445	452	500	-4	-3
a2	446	453	1000	-5	-4
a3	447	455	1500	-6	-6
a4	449	455	2000	-8	-6
a5	444	457	2500	-3	-8
a6	453	460	3000	-12	-11
a7	455	462	3500	-14	-13
a8			4000		

Tabelle 6. 11 Unebenheit Messstrecke für Ford Transit Custom

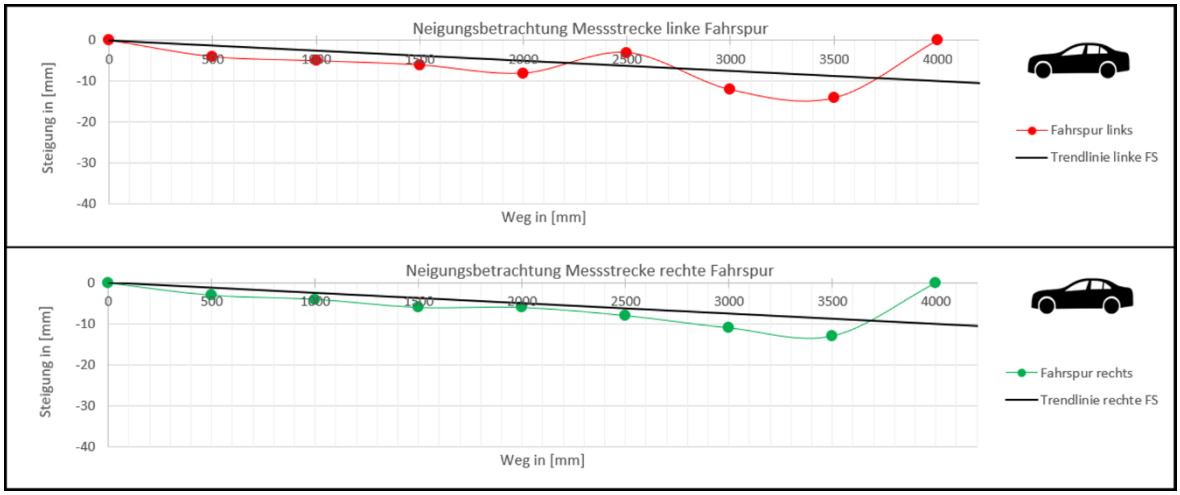


Diagramm 6. 15 Neigung der Symmetrieachse FZ / Fahrspur Ford Transit Custom

Für den Ford wurde nach Gleichung (6.15) in Abhängigkeit des Radstandes und den Unebenheiten jeweils eine tendenzielle Neigung der Fahrspuren / Symmetrieachse von 0,25 % ermittelt. Die an die Unebenheiten angepasste Neigung stellt die Offsetgröße bei der Berechnung des „e-Einstellmaßes“ dar. Aus dem Diagramm 6.15 ist ersichtlich, dass der Ford aufgrund seines Radstandes eine entgegengesetzte Neigung gegenüber dem Einstellmaß einnimmt. Hier spiegelt sich der Zusammenhang von Bodenunebenheiten und Radstand des Fahrzeuges prägnant wieder.

Bei der Positionierung des Bewegungsmarkerboards konnte das LTE-Programm die Liniendetektion nicht erfolgreich durchführen. Das Markerboard befand sich außerhalb des Arbeitsabstandes g, sodass eine erneute Justage der Kamera für die Positionsbestimmung hätte stattfinden müssen. Um das Messsystem nicht in seiner Funktion zu beeinträchtigen, blieb die Justierung der Kamera aus. Daher sind keine verwertbaren Messdaten für den Ford vorhanden.

Abbildung 6. 10 Markerboard nicht detektierbar / Ford Transit Custom

7. Weiterentwicklung und Umsetzung in der Praxis

Im Wesentlichen wird sich die Weiterentwicklung auf den Automatismus beschränken. Dazu ist es erforderlich die Auswertung der aufgezeichneten Messdaten vom LTE-Programm selbst und ohne Einfluss des Bedieners durchführen zu lassen. Es ist notwendig die als Vorschlag genutzte lineare Regression sowie die Korrelation der erfassten Daten als Algorithmus zu integrieren. Es zwingend notwendig die aufgrund der Unebenheiten verursachte Neigung des Fahrzeuges als wesentliche variable Störgröße digital und online zu erfassen. Diese Neigung muss als Offset für die Berechnung des „e-Einstellmaßes“ herangezogen werden. Eine Kalibrierung der Unebenheiten ist immer abhängig vom Radstand des Fahrzeuges. Die unter 6.2 „Kalibrierung der Messstrecke“ vorgestellte Methode ist daher nur auf ein Fahrzeug anwendbar und in der Betrachtung der Praxistauglichkeit zu aufwendig. Zum Beispiel könnte hier der HU-Adapter der Fahrzeugsystemdaten GmbH Anwendung finden. Dieser kann dem Drehratenmessgerät nachempfunden werden. Vorteil dieses Gerätes ist die bereits vorgeschriebene Nutzung bei der Hauptuntersuchung wie z.B. der Verzögerungsmessung. Dabei werden die Daten des Nickmomentes um die Querachse des Fahrzeuges gefiltert. Hier könnte ein Ansatz für die Umsetzung in der Praxis gefunden werden.
Weiterhin muss eine automatische Anpassung der Belichtungszeit der Kameras mit Bezug auf die Lichtstärke der Umgebung stattfinden. Es darf für dieses System weder Dunkelheit noch eine direkte Sonneneinstrahlung Einfluss nehmen. In beiden Fällen ist die Erkennung der Markerboards nicht möglich. Auch die Einstellung des Arbeitsabstandes g muss vom Anwender gewählt werden können bzw. muss automatisch vom Messsystem erkannt werden. Die Position des Bewegungsmarkerboards wird in ihrer Höhe einer variablen technischen Randbedingung unterliegen. Der Marker muss deutlich kleiner ausfallen, nicht immer ist die Möglichkeit der Befestigung mit Hilfe einer Justierplatte an den Fahrzeugen gegeben.

7.1 Weitere Kalibrierungsmöglichkeiten

Unter weitere Kalibrierungsmöglichkeiten soll die Neigung der Fahrbahn / Messstrecke zur Prüfwand verstanden werden. Dabei sollen die Unebenheiten keine Rolle spielen. Bisher wird die Neigung der Fahrbahn bzw. Aufstellfläche für das Fahrzeug nach der HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie ermittelt. Im Wesentlichen wird ausgehend von einer projizierten Referenzebene der Abstand zum Boden gemessen. Die Betrachtung erfolgt statisch auf ein festgelegtes Messraster. Aus den gemessenen Werten werden anschließend Abweichungen zu dem ersten Wertepaar gebildet. Diese Abweichungen können positiv wie auch negativ ausfallen. Sie ergeben sich aus den Unebenheiten und der tatsächlichen Neigung der Aufstellfläche.

Die Neigung, welche ermittelt werden soll, kann dabei unterschiedlich Ausfallen und lässt zudem Spielraum zu. Sie entspricht aber nicht der tatsächlichen Neigung der Ebene, sondern einer Tendenz. Die Neigung des Fahrzeuges ist also nicht gleich die ermittelte Neigung der Aufstellfläche.

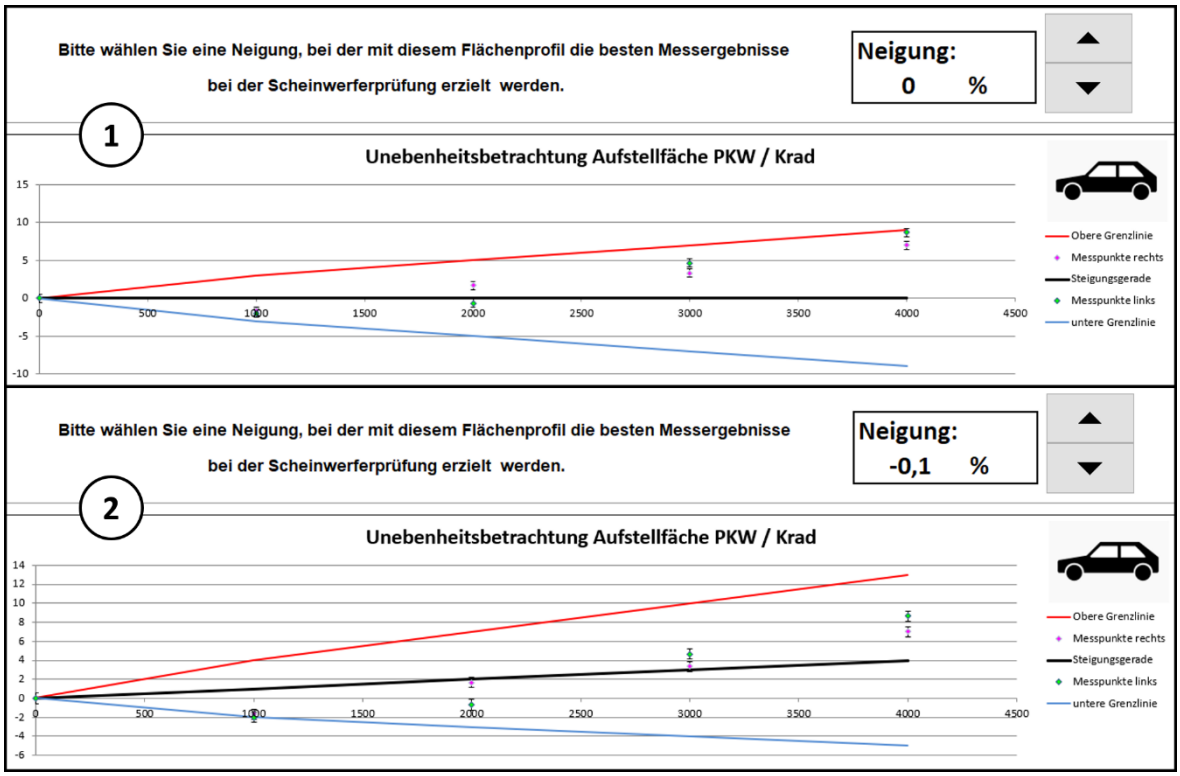


Abbildung 7. 1 variable Neigung der Aufstellfläche
Quelle: Beurteilungstool SEP GTÜ

Einfluss nimmt auch hier die Unebenheit in Abhängigkeit des Radstandes auf die Neigung der Symmetrieachse des Fahrzeuges. Um die Neigung der Fahrbahn besser beschreiben zu können ist die Betrachtung der Lageänderung des Fahrzeuges auf einer definierten Länge nötig.

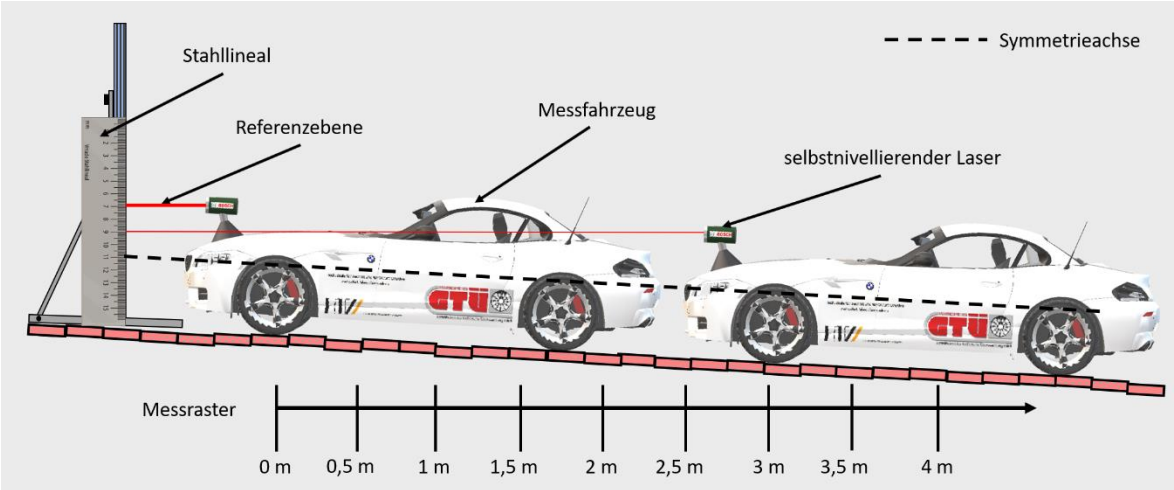


Abbildung 7. 2 Neigungsbetrachtung der Messstrecke

Dazu werden ein selbstnivellierender Laser und ein Stahllineal benötigt. Wie unter 6.2 „Kalibrierung der Messstrecke“ beschrieben, wird das Fahrzeug analog über das Messraster nach hinten, von der Prüfwand weg, von Hand verschoben (Abb. 7.2). Dabei wird der Laser aber nicht arretiert. Es soll dabei die vertikale Veränderung der Referenzebene ermittelt werden. Die Verschiebung in [mm] an der Leinwand wird dann über den Weg in [mm] aufgetragen. Die Leinwand selbst ist vorher senkrecht auszurichten. Nach Gleichung (6.15) erfolgt die Berechnung der Neigung der Fahrbahn / Messstrecke.

$$Neigung\ \% = \frac{y(x)[mm]}{Weg\ [mm]} * 100\ \% \tag{6.15}$$

Zum Beispiel mit y(x) = -6 mm und x = 3000 mm:

$$Neigung\ \% = \frac{-6\ mm}{3000\ mm} * 100\ \% = -0{,}2\ \% \tag{6.15a}$$

Mit der Kenntnis über die Neigung der Messstrecke bedarf es lediglich der Justage der Prüfwand. Diese muss orthogonal um den selbigen ermittelten Wert zur Messstrecke hin ausgerichtet werden. Das Messsystem ist damit kalibriert und umfasst eine Stückprüfung (Anlage 7.1) mit der räumlichen Lage von Prüfwand und Messstrecke zueinander. Diese Kalibrierung könnte von amtlich anerkannten Prüfinstitutionen in einem zwei Jahres Rhythmus durchgeführt werden. Aus rechtlicher Sicht könnten sich folgende Anforderungen an die Prüfwand ergeben:

Anforderungen an Die Prüfwand / Leinwand

- Ist der letzte Prüfbericht vorhanden?
- Ist die Betriebsanleitung vorhanden?
- Sichtprüfung:
    - ggf. Baumusterzulassung vorhanden,
    - Typenschild vorhanden und lesbar,
    - Neigungseinrichtung der Prüfwand gegen Verstellen gesichert,
- Prüfwand senkrecht zur Messstrecke ausgerichtet.

Des Weiteren muss über den ortsfesten Aufbau, der Montage und der Platzierung der Leinwand in einem Prüfcenter ohne Beeinflussung des Prüfablaufs nachgedacht werden.

7.2 Vorschlag zur Erfassung der HDG

Ein großes Problem bei der Ermittlung der Neigung der HDG ist die richtige Auswahl der HDG mit der ROI für die Berechnung. Nur der symmetrische Sektor (Abb. 7.3) darf hier zur Auswertung kommen. Mit der Definition der ROI kann der Anwender unbewusst für eine falsche Berechnung des „e-Einstellmaßes“ sorgen. Für die einfache Handhabung wäre es von Vorteil die komplette Lichtverteilung des Scheinwerfers zu erfassen. Besser das LTE-Programm legt automatisch die Auswertung in das jeweilige Scheinwerferlicht. Für die Detektion müsste dann nur ein Punkt gefunden werden, welcher die horizontale und vertikale Verschiebung der Lichtverteilung beschreibt. Damit könnte der Einfluss des asymmetrischen Sektors sowie der Nahfeldsektoren vermieden werden. Die Erfassung darf daher nicht eine Linie oder Grenze sein, sondern sollte sich auf den Knickpunkt B (Abb. 3.7) bei asymmetrischem Abblendlicht beziehen. So könnte auch der Einfluss des Rollwinkels β ausgeschlossen werden. Wäre das möglich, würde damit eine Fehlbedienung durch den Anwender ausgeschlossen werden und die tatsächlich HDG auf Einstellung immer exakt ausgewertet werden können.

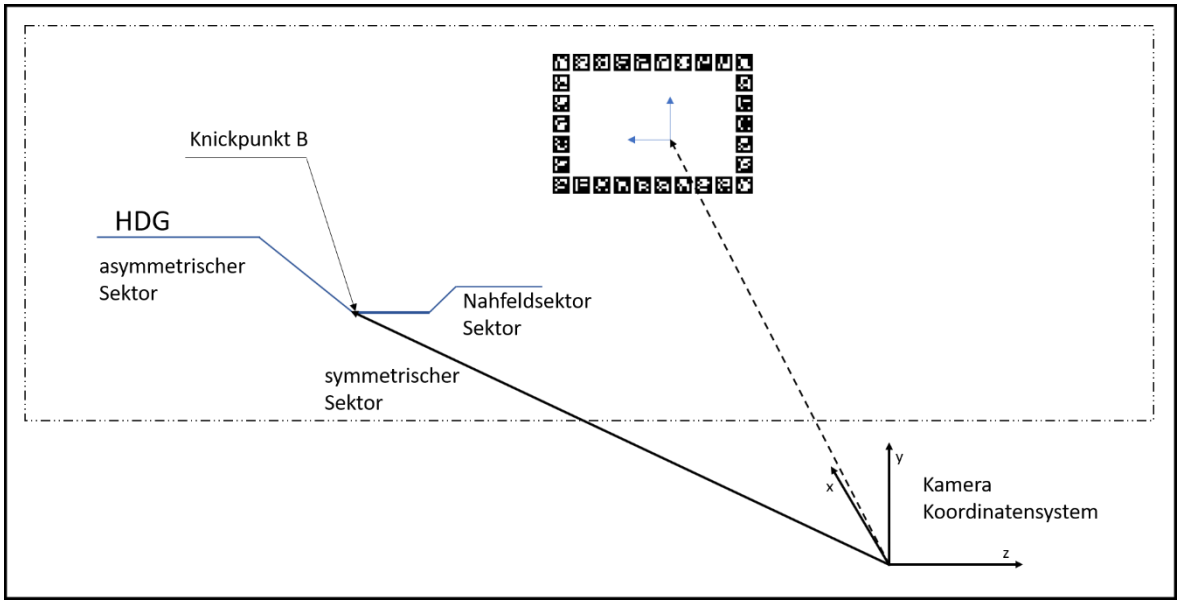


Abbildung 7. 3 Erfassung des Knickpunktes statt HDG

8. Zusammenfassung

Überprüft wurde die Praxistauglichkeit einer videobasierten Ermittlung der Leuchtverteilung von Fahrzeugscheinwerfern. Dazu ist es erforderlich Kenntnis über die Durchführung der Scheinwerfereinstellung zu haben, sowie die rechtlichen Aspekte als gegebene Randbedingung zu beachten. Dem Anwender muss die Gestaltung der Lichtverteilung von Fahrzeugen bekannt sein (Verlauf der HDG). Der Aufbau des Messsystems und dessen Kalibrierung erfolgte in Anlehnung an die aktuelle HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie. Das für die Messung genutzte LTE-Programm ist in der Lage die Bewegung des Fahrzeuges sowie die Verschiebung der Hell-Dunkel-Grenze auf einer Prüfwand synchron aufzunehmen und auszuwerten. Die Berechnung des „e-Einstellmaßes“ muss allerdings extern erfolgen. Daraus ergab sich die Notwendigkeit ein Auswertungstool (Anlage 8) mit Microsoft Excel zu erstellen, welches in der Lage ist aus den aufgenommenen Daten das gesuchte Einstellmaß zu ermitteln. Mit Hilfe von Algorithmen durch lineare Regression und der Korrelation der voneinander abhängigen Messdaten erfolgte eine Filterung und anschließend die Berechnung des „e-Einstellmaßes“. Dabei stellten sich drei wesentliche Einflussfaktoren für die korrekte Betrachtung heraus. Zum einen ist es erforderlich, jedes zu überprüfende Fahrzeug einer Kalibrierung auf die Unebenheiten der Messstrecke hin zu unterziehen. Die durch die Unebenheiten in Neigung versetzte Symmetrieachse des Fahrzeuges überlagert sich mit der Einstellung des „e-Maßes“ der Scheinwerfer und muss als Offset zur Berechnung herangezogen werden. Ebenso muss die Positionierung der Kamera für die Lichtverteilung so gewählt werden, dass die HDG beider Scheinwerfer erfasst werden kann. Die Anordnung mittig zwischen der Hell-Dunkel-Grenze in Höhe der Scheinwerfer hat sich dabei als die Geeignetste herausgestellt. Auch eine seitlich linke Anordnung zur Fahrtrichtung wäre möglich und würde eine Behinderung des zu überprüfenden Fahrzeuges ausschließen. Dabei ist auf eine waagerechte und senkrechte Ausrichtung der Kamera zur Messstrecke hin zu achten. Die Definition der ROI im Auswertungsbereich des LTE-Programms ist von wichtiger Bedeutung. Der Anwender muss akribisch darauf acht die tatsächliche für die „e-Maßeinstellung“ erforderliche HDG auszuwerten. Kommt es bei der Definition zu einer Auswahl, in welcher die asymmetrische Lichtverteilung miterfasst wird, kann das Programm den tatsächlichen Einstellwert nicht ermitteln.

Für eine praxistaugliche Umsetzung gilt es das System weiter zu automatisieren. Kalibrierung der Unebenheiten und Definition der ROI dürfen nicht vom Anwender selbst durchgeführt werden. Der Start der Messung sollte von einem Bediengerät aus erfolgen. Die Integration der Berechnung des Einstellmaßes und dessen Ausgabe ist dabei erforderlich. Lediglich die Stückprüfung der Prüfwand und deren Lage zur Messstrecke als Prüfmittel sollte durch eine Überwachungsorganisation im zwei Jahresrhythmus durchgeführt werden. Die Justage der Kameras aber nur von geschultem Fachpersonal.

Weitere Einstellgrößen die automatisiert werden müssen, sind die Anpassung der Belichtungszeit der Kameras an die Lichtstärke der Umgebung sowie dessen Arbeitsabstand g. Es gilt zu beachten, dass die Position des Markers für die Bewegungserfassung sich, aufgrund verschiedener Fahrzeuge (Fahrzeugklassen), in ihrer Lage zur Höhe verändern wird. Prinzipiell aber wäre eine Integration des Messsystems grundsätzlich möglich und könnte eine schnelle Erfassung des Einstellmaßes der Scheinwerfer bei der Hauptuntersuchung gewährleisten. Der Vorteil gegenüber der herkömmlichen Methode liegt vor allem bei der Dokumentation, welche nicht gänzlich in der Verantwortung des Prüfers liegen würde. Systematische Fehler bei der Positionierung des Scheinwerfereinstellgerätes blieben dabei aus. Zukünftig muss auch über die Größe, die Lage und über die Montage der Prüfwand in einem Prüfcenter nachgedacht werden, mit der Bedingung den Prüfablauf eines Fahrzeuges nicht zu behindern.

Quellen und Literaturverzeichnis

[1] PAL Symposium, Proceedings, TU Darmstadt, 1997/1999/2001/2003/2005/2007/2008.

[2] Hella KGaA, Automotive Lighting, Valeo, Visteon Firmenschriften und Internet.

[3] Bosch, Veröffentlichungen des früheren K2-Bereiches.

[4] Eichhorn, K., Labahn, N., Decker.: Adaptive Lichtsteuerung, Adaptronic Congress 2000, Potsdam, 2000.

[5] Wördenweber, B., Wallaschek, J., Boyce, P.: Automotive Lighting and Human Vision, Berlin: Springer, 2007.

[6] Lichtsysteme in modernen Pkw, Bd. 2. Auflage, Bad Wörishofen: Krafthand Verlag Walter Schulz GmbH, 2013, pp. 5 - 9.

[7] Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik: Scheinwerfer., Wiesbaden: Springer, 2000, 2001, 2003, 2005, 2007, 2011, 2013, pp. 891-898.

[8] Europäische Gemeinschaft Richtlinie E 76/756 EWG.

[9] NHTSA, FMVSS 108.

[10] Bockelmann, W.: Auge - Brille - Auto., Berlin: Springer, 1987.

[11] Robert Bosch GmbH (Hrsg.): Kraftfahrtechnisches Taschenbuch., Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2011.

[12] Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik: Beleuchtung im Kfz., Haan-Gruiten: Europa-Lehrmittel, 2009, p. 552.

[13] Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik: Lichttechnische Begriffe., Wiesbaden: Springer, 2000, 2001, 2003, 2005, 2007, 2011, 2013, p. 891.

[14] Lichtsysteme in modernen Pkw, Bad Wörishofen: Krafthand Verlag Walter Schulz GmbH, 2013, pp. 13 -14.

[15] Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik, Bd. 30. Auflage, Haan-Gruiten: Europa-Lehrmittel, 2013, p. 612.

[16] Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik: Scheinwerfersysteme mit Haligenlampen, Haan-Gruit: Europa-Lehrmittel, 2009, pp. 555 - 556.

[17] Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik: Scheinwerfersysteme mit Gasentladungslampen, Hann-Gruit: Europa-Lehrmittel, 2009, p. 557.

[18] Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik: Bi-Xenon, Wiesbaden: Springer, 2000, 2001, 2003, 2005, 2007, 2011, 2013, p. 898.

[19] Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik: LED-Scheinwerfer, Wiesbaden: Springer, 200, 2001, 2003, 2005, 2007, 2001, 2013, p. 902.

[20] Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik: Scheinwerfersysteme in LED-Technik, Haan-Gruit: Europa-Lehrmittel, 2013, p. 616.

[21] Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik: Adaptive Scheinwerfersysteme, Haan-Gruit: Europa-Lehrmittel, 2013, pp. 613 - 614.

[22] Lichtsysteme in modernen PKW, Bd. 2. Auflage, Bad Wörishofen: Krafthand Verlag Walter Schulz GmbH, 2013, pp. 37 - 46.

[23] *Original-Betriebsanleitung MLT 1000 Scheinwerfer-Einstell-Prüfgerät,* Haldenwang: MAHA, 2016.

[24] *HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie 05/2014,* Verkehrsblatt-Verlag, 2014, pp. 174 - 183.

[25] M. Degenkolbe, „Kamerabasierte Prüfung von Lichttechnischen Einrichtungen," 2015.

[26] „ScanDig," [Online]. Available: www.filmscanner.info/Leuchtdichtefaktor.html.

[27] „DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH," 2010. [Online]. Available: https://www.dakks.de/sites/default/files/71_sd_0_006_rueckfuehrung_20101210_v1.0.pdf.

[28] „Hella," [Online]. Available: www.hella.com/techworld/de/Technik/Beleuchtung/Leuchtweitenregulierung.

Eidesstattliche Erklärung

Das vorliegende Dokument wurde an der Prüfstelle Kfz-Prüfcenter Spantig während des Diplomsemesters unter der Leitung von Dipl.-Ing. (FH) Andreas Neumann und Prof. Dr. rer. nat. Toralf Trautmann angefertigt.

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit zu Thema

Systematische Untersuchung einer viedeobasierten Ermittlung der Leuchtverteilung von Fahrzeugscheinwerfern

selbstständig und ohne Benutzung anderer Quellen und Hilfsmittel als angegeben angefertigt habe. Insbesondere versichere ich, dass ich alle wörtlichen und sinngemäßen Übernahmen als solche kenntlich gemacht habe.

Ferner gestatte ich der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, die vorliegende Belegarbeit unter Beachtung insbesondere urheber-, datenschutz- und wettbewerbsrechtlicher Vorschriften für Lehre und Forschung zu nutzen.

Ort, Datum	Name, Vorname

Anlagenverzeichnis

Anlage 5. 1 Kalibrierung Kreuzlinienlaser ..... - 87 -
Anlage 5. 2 Kalibrierung Stahlmaßstab Vmade ..... - 88 -
Anlage 5. 3 Kalibrierung Maßband ..... - 89 -

Anlage 6. 1 Importierung der CSV-Daten nach Excel ..... - 90 -
Anlage 6. 2 Kalibrierprotokoll LTE ..... - 94 -

Anlage 7. 1 Stückprüfungsmessprotokoll LTE ..... - 100 -

Anlage 8 Datenträger

- Speicherkarte_Diplomarbeit_André_Najort_37864_2018
  - Diplomarbeit als elektronisches Dokument (.PDF)
  - Auswertungstool.LTE.V.1.03 (.xlsm)
  - Messaufnahmen und Auswertungen
    - Lichtverteilung Seat Leon ST (2013) -0001-
    - Lichtverteilung BMW 318i E91 (2011) -0002-
    - Lichtverteilung Audi A4 B6 (2001) -0003-
    - Lichtverteilung Skoda Yeti (2015) -0004-
  - Kalibrierprotokolle
    - Unebenheiten und Lichtverteilung
      - Nr. 01369_0001_20181022_01…06 (.PDF)
      - Nr. 01369_0002_20181022_01…07 (.PDF)
      - Nr. 01369_0003_20181022_01…03 (.PDF)
      - Nr. 01369_0004_20181022_01…04 (.PDF)
  - Bilder
    - Bildschirmabgriff LTE-Programm
    - HU-Prüfrichtlinie
    - Inbetriebnahme
    - Messaufbau
    - Scheinwerfereinstellung Kalibrierung Unebenheit
    - Systemkalibrierung

Anlage 5. 1 Kalibrierung Kreuzlinienlaser

Auftraggeber:	KFZ-Prüfcenter Spantig
Büronummer:	01369
Zertifikatsnummer:	20170915-01369-01

Gegenstand:	
	Laser ohne Neigungsfunktion

Hersteller:	BOSCH
Typ:	GLL 3-80P
Fabrikat/Seriennummer:	001369-607002884/KLL
Nutzer-ID (wenn vorhanden)	

Prüfanweisung für die Kalibrierung von selbstnivellierenden Lasern

Der Laser wird vor zwei Wände gestellt, in einem Abstand von jeweils 2,5m zu jeder Wand. Die Höhe des Lasers kann beliebig sein. Den horizontalen Laser einschalten, an den beiden Wänden werden die Laserlinien sichtbar. Diese an beiden Wänden markieren, mit Hilfe eines Post-It oä.

Dann den Laser um 90° drehen, dann sollten die projizierten Laserlinien wieder die Markierungen auf den Post-It überdecken.

Bewertung:		Ja	Nein
Die projizierten Laserlinien sind deckungsgleich			
		x	
Kalibriermarke angebracht			
		x	
Umgebungsbedingungen:	Temperaturbereich		10-25°C

Datum der Prüfung: 15.09.2017

Prüfer: André Najort

ID: 01369807

Sachkundiger Scheinwerfer-Einstell-Prüfstelle 01369807 GTÜ

1

Anlage 5. 2 Kalibrierung Stahlmaßstab Vmade

CE

EG – Konformitätserklärung
EU – Conformity Declaration

VOGEL GERMANY

Im Sinne der EG-Messgeräte Richtlinie 2004/22/EG, Anhang D, Anhang M008
According to EU-Measuring Directive (MID) 2004/22/EU, Chapter D, Chapter M008

Hersteller: Manufacturer:	**VOGEL GERMANY GmbH & Co. KG** Messwerkzeugfabrik / Manufacturers of Measuring Tools Ossenpass 4 47623 Kevelaer Germany
Artikel-Beschreibung / Article-Describtion	Stahlmaßstab / Steel Rule
Max. Teilungslänge Max. Graduation Length	4000 mm
Funktion / Function	Längenmaß / Linear Measure
EG-Bauartzulassung EU-Type-Approval	DE-14-MI008-PTB0019
Genauigkeitsklasse Accuracy Class	I + II
Hiermit erklärt der Hersteller, dass die Maßstäbe den folgenden Richtlinien entsprechen: --- The manufacturer hereby declares that the graduation of the steel rules correspond to the following directive:	2004/22/EG, Anhang D, Anhang M008 --- 2004/22/EU, Chapter D, Chapter M008

Wir erklären in alleiniger Verantwortung, dass die nachfolgend aufgeführten Produkte in ihren Qualitätsmerkmalen den in unseren Verkaufsunterlagen angegebenen Normen und technischen Daten entsprechen sowie, dass die unten aufgeführten Produkte alle einschlägigen rechtlichen Anforderungen erfüllen. Wir bestätigen, dass die bei der Prüfung verwendeten Prüfmittel, abgesichert durch unser Qualitätssicherungssystem, auf nationale Normale rückführbar sind.

We declare under our sole responsibility that the products listed below in their quality characteristics specified in our sales documentation standards and specifications are the same and that the products listed below comply with all applicable legal requirements. We confirm that the test equipment, backed by our quality assurance system to national standards used in the study are traceable.

Hersteller-Zertifizierung --- Manufacturer Certificate	DIN EN ISO 9001:2008

Kevelaer, 2015-02-15

Bernhard Vogel (CEO)

VOGEL GERMANY GmbH & Co. KG ■ Ossenpass 4 ■ 47623 Kevelaer /Germany
Phone: +49 (0)2832-923910 ■ Fax +49 (0)2832-3621 ■ eMail info@vogel-germany.de
www.vogel-germany.de

Anlage 5. 3 Kalibrierung Maßband

Kessler-QMP
PRÜF- UND KALIBRIERLABOR
Kalibrierlaboratorium für dimensionelle und mechanische Messgrößen
Calibration laboratory for dimensionell and mechanical measuring quantity

Werkskalibrierschein

Proprietary Calibration-Certificate

Kalibrierschein-Nr. **10539665**
Calibration Certificate-No.

Gegenstand *Object*	**Maßband**
Hersteller *Manufacturer*	
Typ *Type*	**20000mm EG II**
Ident-Nr. / *Id.-No.* **Serien-Nr.** / *Serial-No.* **Modell** / *Model*	**RBM00254**
Auftraggeber *Customer*	**Kfz-Prüfcenter Spantig** **Gottlieb-Daimler-Str. 16** **02828 Görlitz**
Auftragsnummer *Order No.*	**10034941**
Anzahl der Seiten *Number of pages*	**3**
Datum der Kalibrierung *Date of calibration*	**21.09.2017**
Bearbeiter *Person in charge*	**S. Langenbach**

Die Kalibrierung erfolgt durch Vergleich mit Bezugsnormalen bzw. Bezugsnormalmesseinrichtungen, die in einer innerhalb der European cooperation for Accreditation (EA) akkreditierten Kalibrierstelle kalibriert wurden und damit rückgeführt sind auf die nationalen Normale, mit denen die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) die physikalischen Einheiten in Übereinstimmung mit dem internationalen Einheitensystem (SI) darstellt. Für die Kalibrierung und deren Dokumentation trägt der Aussteller dieses Kalibrierscheines die alleinige Verantwortung.
Für die Einhaltung einer angemessenen Frist zur Wiederholung der Kalibrierung ist der Benutzer verantwortlich.

The calibration is performed by comparison with reference standards or standard measuring equipment which are calibrated by a Calibration laboratory accredited within the European cooperation for Accreditation (EA) and thus traceable to the national measurement standards maintained by the Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) for the realization of the physical units according to the International system of Units (SI). The issuing company is solely responsible for the performance and the documentation of the calibration.
The user is obliged to have the object retesting at appropriate intervals.

Dieser Kalibrierschein darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung des ausstellenden Kalibrierlaboratoriums. Kalibrierscheine ohne Unterschrift haben keine Gültigkeit.

This calibration certificate may not be reproduced other than in full expect with the permission of the issuing laboratory. Calibration certificates without signature are not valid.

Datum *Date*	Leiter des Kalibrierlaboratoriums *Head of the calibration laboratory*	Unterschrift Bearbeiter *Person in charge*
21.09.2017	J. Vu	S. Langenbach

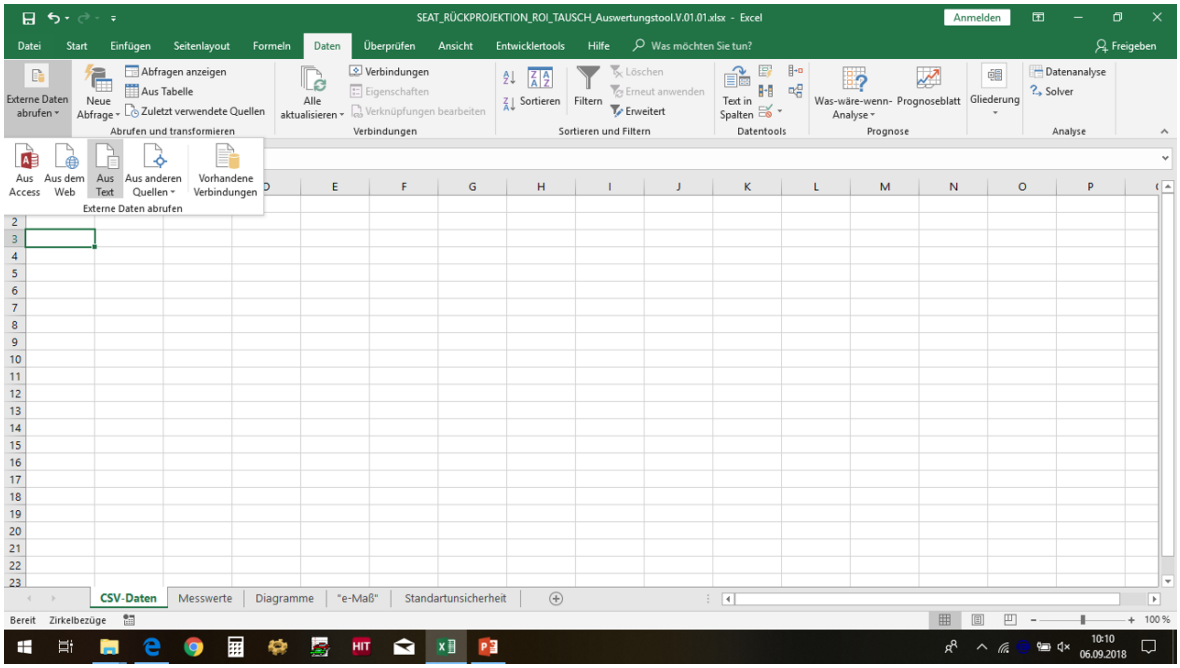
Kessler QMP GmbH
Nisterberger Weg 16
57520 Friedewald

QM-System nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005

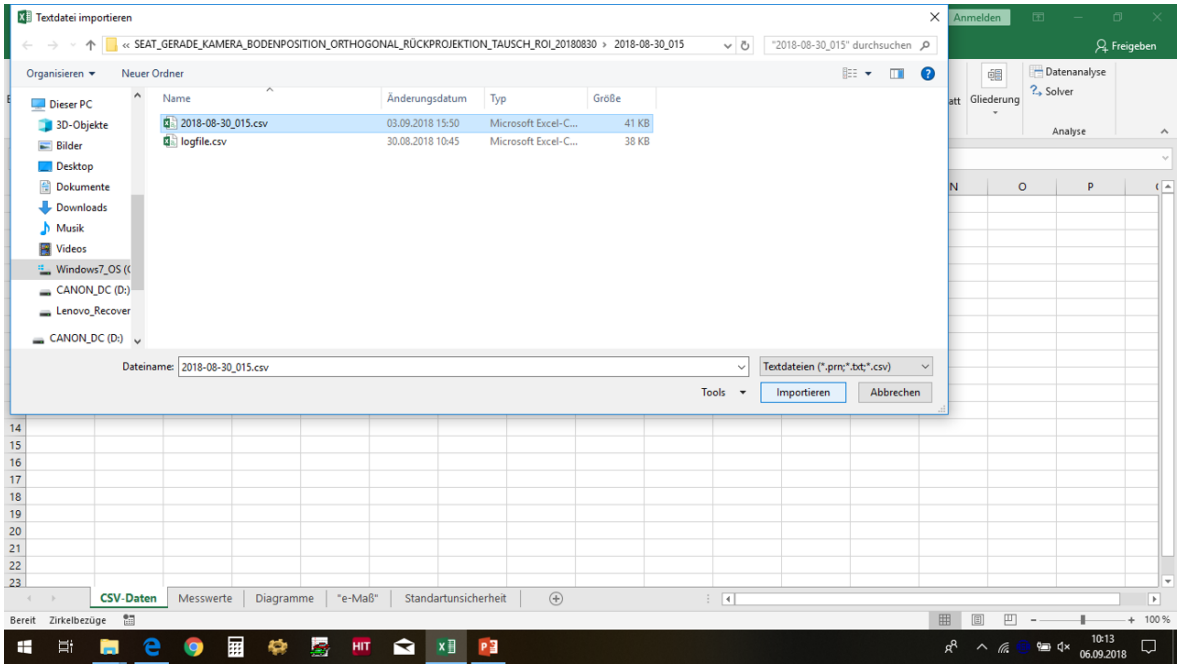
Tel.: 02743 / 933 580
Fax.: 02743 / 933 589
E-Mail: info@kessler-qmp.de

Anlage 6. 1 Importierung der CSV-Daten nach Excel

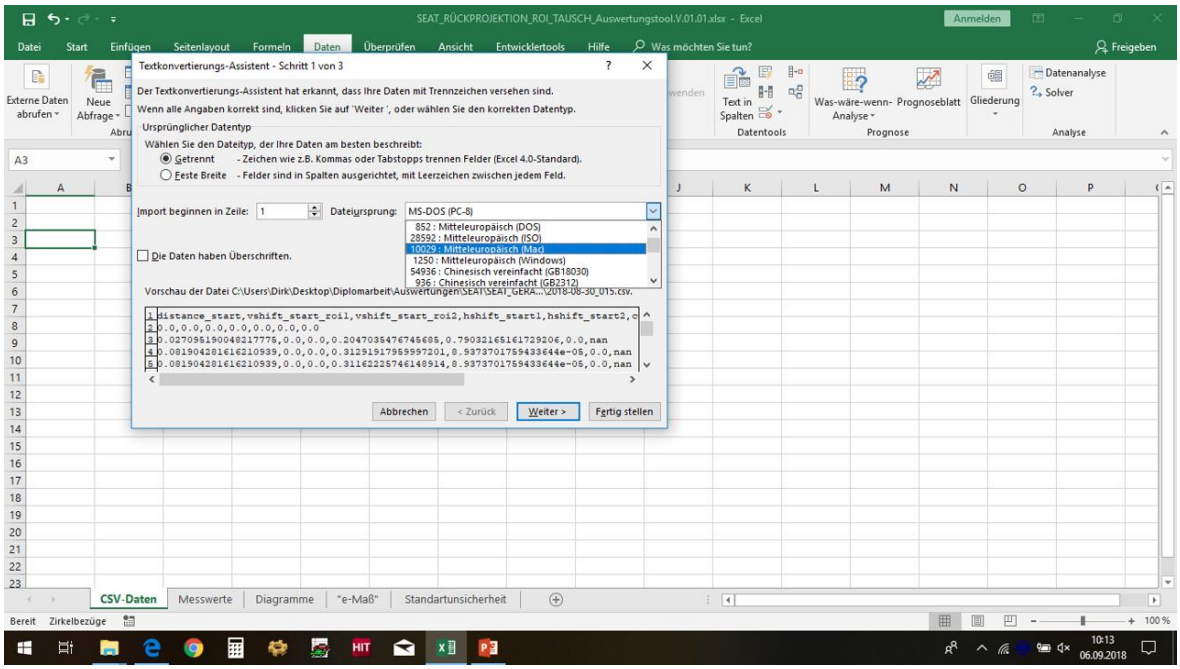
Schritt 1



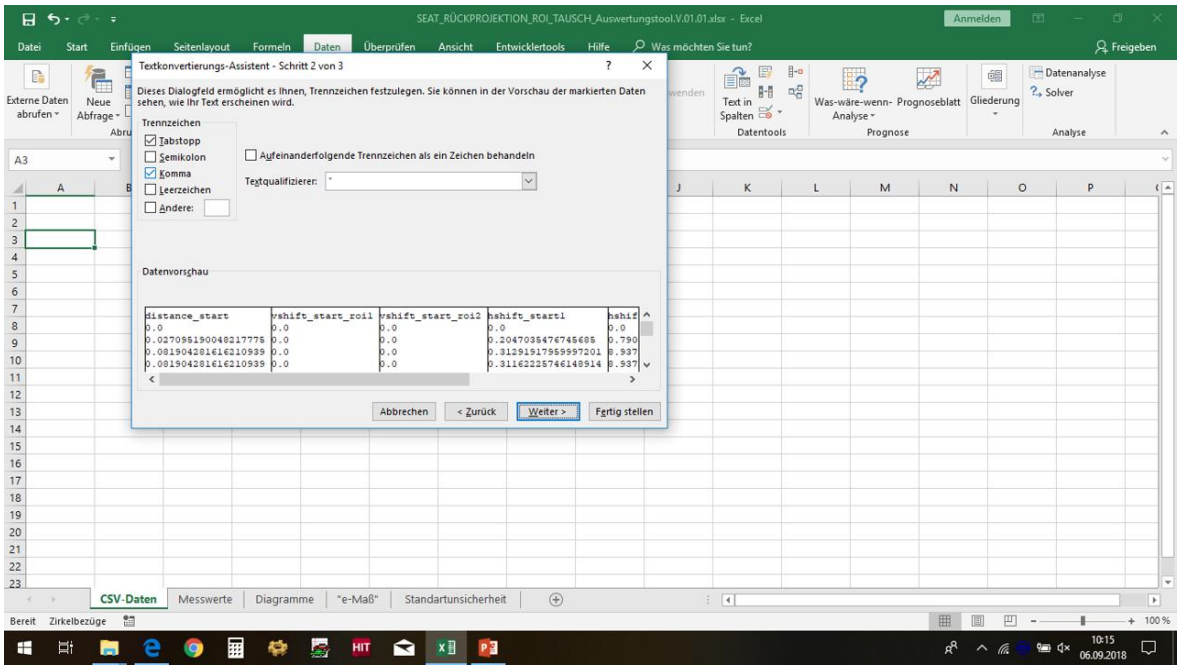
Schritt 2



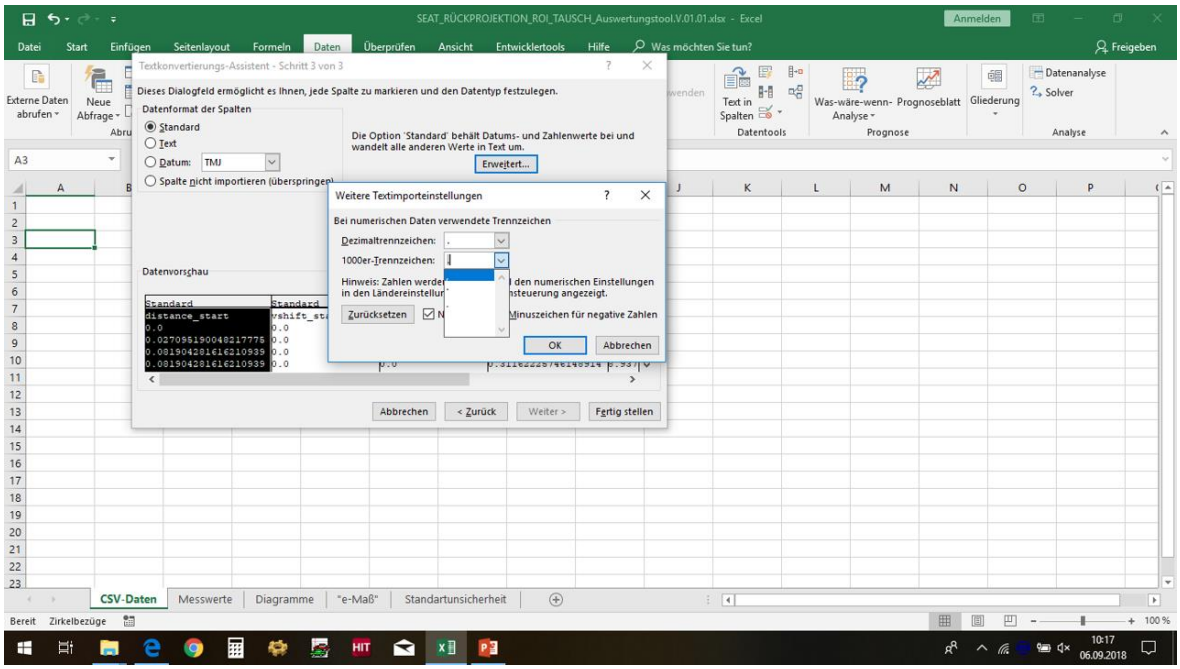
Schritt 3



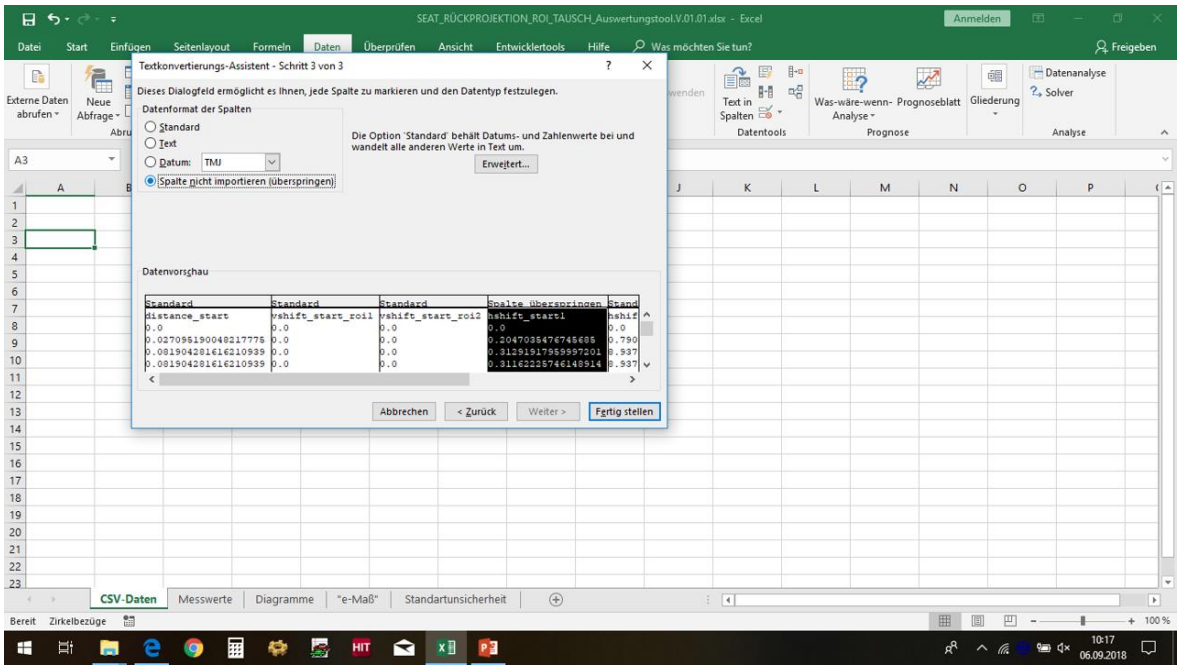
Schritt 4



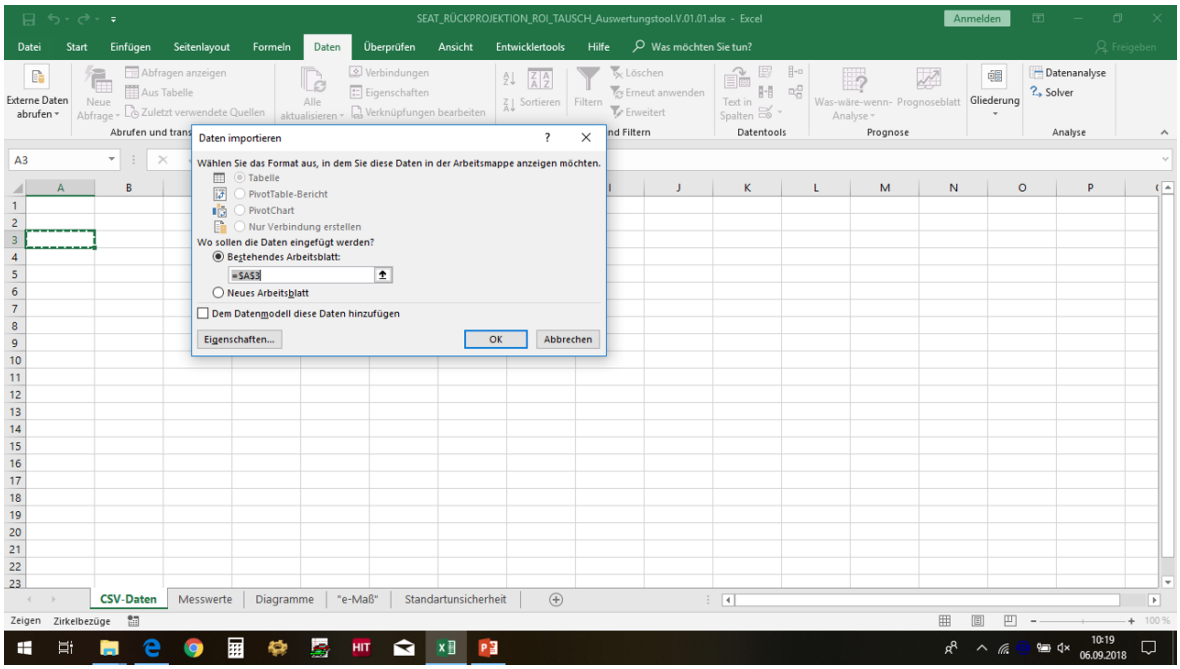
Schritt 5



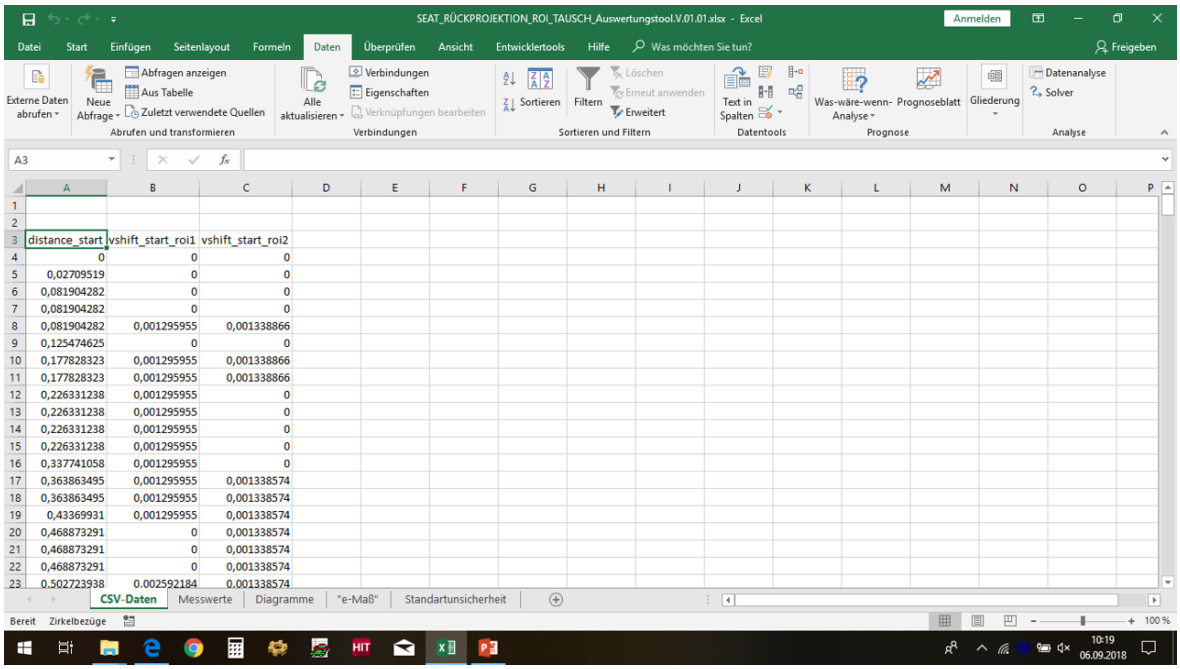
Schritt 6



Schritt 7



Schritt 8



Anlage 6. 2 Kalibrierprotokoll LTE

Kalibrierprotokoll LTE

(Lichttechnische Einrichtung)

Kalibrierprotokollnummer
01396_0001_20181003_01

Anzahl der Seiten 6

Prüfobjekt	**PKW der Fahrzeugklasse M1**	
Hersteller	**AUDI**	
Typ	**A4 Limosine**	
Erstzulassung	**11/2000**	
Scheinwerfertyp	**Halogenscheinwerfer**	
Radstand [mm]	**2860**	mm
Scheinwerfereinstellung [soll]	**1,0 %**	
Datum der Messung	**18.07.2018**	

Kalibrierung Messsystem

Gegenstand	**Messstrecke und Leinwand**
Datum der Kalibrierung	**18.09.2018**

Normalmesseinrichtung	**Messunsicherheit**	
Bosch Kreuzlinienlaser GLL3-80P	0,44	mm
Richter Bandmaß 20 m	1,0	mm
Stahllineal Vmade PTB0019	0,2	mm

Diese Kalibrierung dokumentiert die Rückführung auf nationale Normale zur Darstellung der Einheiten in Übereinstimmung mit dem Internationalen Einheitensystem (SI).

Des Weiteren darf dieser Bericht nur vollständig und unverändert weiterverarbeitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung des ausstellenden Kalibrierlaboratoriums. Kalibrierscheine ohne Unterschrift haben keine Gültigkeit.

Datum	Bearbeiter		Unterschrift
05.10.2018	Najort	André	
Prüfer-ID:	001369807		

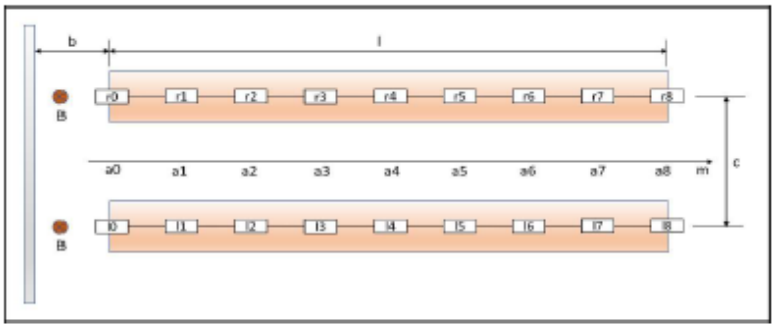
Kalibrierverfahren

Die Überprüfung erfolgte in Anlehnung an die "Richtlinie für die Überprüfung der Einstellung der Scheinwerfer von Kraftfahrzeugen bei der Hauptuntersuchung nach § 29 StVZO (HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie)". Dabei erfolgt die Kalibrierung mit einer projizierten Bezugsfläche, welche mit einem Laserstrahl erzeugt wird. Die Neigungen und Unebenheiten der Messstrecke zur Prüfwand (Leinwand) werden durch messen, ausgehend von der Bezugsfläche an der Prüfwand, ermittelt. Dabei befindet sich ein selbstnivllierender und arretierbarer Laser auf dem zu überprüfendem Fahrzeug. Als Hilfsmittel kann eine Justierplatte verwendet werden. Das zu überprüfende Fahrzeug wird über die Messstrecke in einem Bereich von 3 bis 4 m von Hand verschoben. Aus dem daraus entstehendem Graphen der Messpunkte wird die tendenzielle Neigung der Messstrecke zur Prüfwand ermittelt und als "Offset" zur gemessenen Scheinwerfereinstellung herangezogen.

Messstrecke / Messsystem PKW

Lage der Messpunkte

(Für die Messstrecke werden die Messpunktpaare a0, a1, a2, a3, a4, a5, a6, a7 und a8 bewertet.)



Bei der Auswahl der Messpunkte wurde ein Abstand von 0,5 m festgelegt, um eine möglichst genaue Abbildung der Messstrecke als Graphen widerzugeben. Dieser ist Abhängig vom Radstand des zu Überprüfenden Fahrzeugs. Der Abstand b ist so zu wählen, dass das Fahrzeug bis zum Stillstand die Prüfwand nicht berührt und sollte zwischen 0,8 m und 1,2 m liegen. Abgewichen wurde nur, wenn es für die fachlich korrekte Beurteilung der Messstrecke nötig ist (z.B. Bewertung von Extremstellen oder Berücksichtigung von zulässigen, in der Messstrecke eingebauten technischen Geräten). Die Lage der Bezugspunkte B dienen der Reproduzierbarkeit des Messrasters. Die Messpunktabstände sind in der nachfolgenden Tabelle genannt. Der Anfangspunkt (Nullpunkt) wird durch das erste Wertepaar nahe der Prüfwand definiert.

Seite 3 von 6 zum Kalibrierprotokoll vom
05.10.2018

Kalibrierprotokollnummer
01396_0001_20181003_01

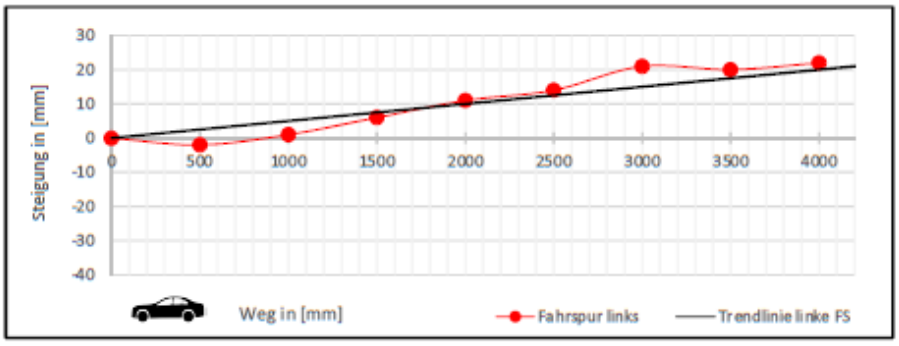
	a0 [mm]	a1 [mm]	a2 [mm]	a3 [mm]	a4 [mm]	a5 [mm]
empfohlen	0	500	1000	1500	2000	2500
gewählt	0	500	1000	1500	2000	2500

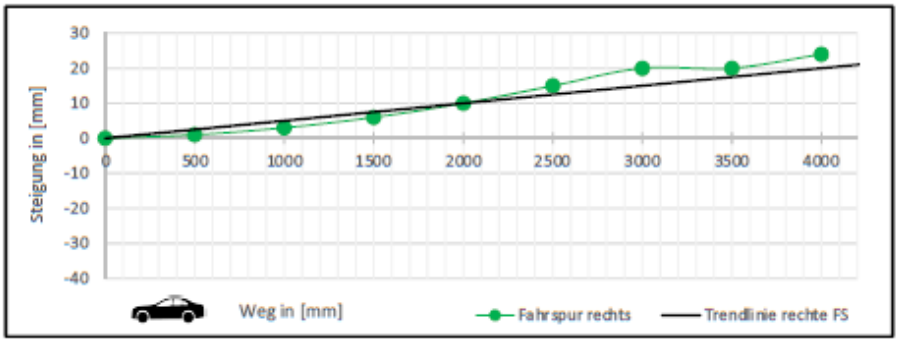
	a6 [mm]	a7 [mm]	a8 [mm]
empfohlen	3000	3500	4000
gewählt	3000	3500	4000

Abstand Prüfwand zu Messstrecke b	900
Länge der Messstrecke l in [mm]	4000
Abstand der Fahrspuren c in [mm]	1500

Lage der Bezugspunkte **B**
Mittig der Fahrspuren mit einem Abstand von 60 cm zur Messstrecke und 30 cm zur Prüfwand.

Neigungsbetrachtung Messstrecke PKW





Längsneigung VL	
Längsneigung [%]	
Ist	zul.
-0,5	± 1,5

Längsneigung VR	
Längsneigung [%]	
Ist	zul.
-0,5	± 1,5

Unebenheitsabweichung der Messpunkte PKW

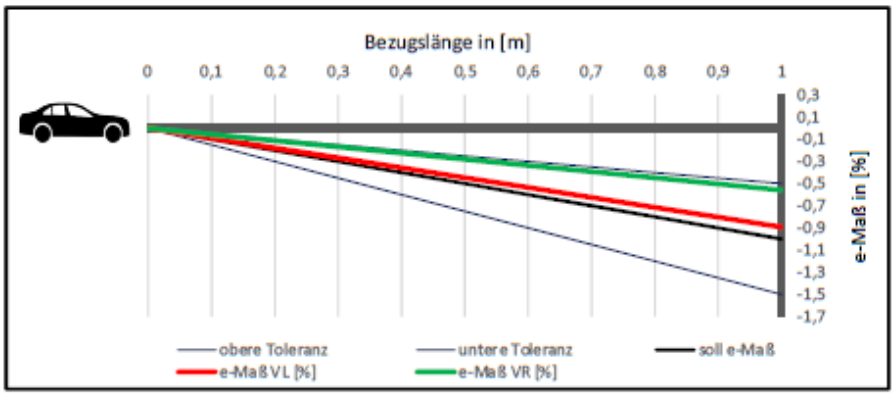
linke Fahrspur		
Messpunkt	Ist-Wert [mm]	Messunsicherheit ± [mm]
I0	0	-
I1	-2	0,54
I2	1	0,54
I3	6	0,54
I4	11	0,54
I5	14	0,54
I6	21	0,54
I7	20	0,54
I8	22	0,54

rechte Fahrspur		
Messpunkt	Ist-Wert [mm]	Messunsicherheit ± [mm]
R0	0	-
R1	1	0,54
R2	3	0,54
R3	6	0,54
R4	10	0,54
R5	15	0,54
R6	20	0,54
R7	20	0,54
R8	24	0,54

Konformitätsbewertung **positiv**

Das Messsystem kann zur Überprüfung der Scheinwerfereinstellung im Rahmen der HU nach §29 StVZO verwendet werden. Die Bewertung der Neigung der Fahrspuren ist positiv und liegt im vorgeschriebenen Toleranzbereich von ± 1,5 % gemäß der HU-Scheinwerfer-Prüfrichtlinie.

Auswertung Scheinwerfereinstellung HDG PKW



	Vertikale Einstellung VL
	vorn links
Messungen	20
gemessen	-1,39%
Offset	-0,50%
Standart-abweichung	0,07%
"e-Maß"	-0,89% ± 0,07%

	Vertikale Einstellung VR
	vorn rechts
Messungen	20
gemessen	-1,06%
Offset	-0,50%
Standart-abweichung	0,05%
"e-Maß"	-0,56% ± 0,05%

Zugrunde liegt hier die ermittelte Verschiebung der Hell-Dunkel-Grenze an der Prüfwand, von welcher die relative Neigung der Fahrspuren in Abhängigkeit des Radstands des Fahrzeuges abgezogen wird. Die Neigung der Fahrspuren (Messstrecke) wird als "Offset" definiert. Unberücksichtigt bleibt die Auswirkung des Beladungszustandes auf der Fahrerseite (Fahrzeugführer), welche je nach Fahrergewicht und Auslegung Fahrwerk 0 % bis (-)0,2 % betragen kann.

erweiterte Messunsicherheit (k=2) Messsystem: **U =** **0,2 mm**

Angegeben ist die erweiterte Messunsicherheit, die sich aus der Standartmessunsicherheit durch Multiplikation mit dem Erweiterungsfaktor k = 2 ergibt. Sie wurde gemäß DKD-3 ermittelt. Der Wert der Messgröße liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % im zugeordneten Werteintervall.

Bewertung der Scheinwerfereinstellung HDG

Lichtverteilung VL **i.O.**

Die Einstellung der Hell-Dunkel-Grenze des Abblendlichts wird positiv bewertet. Das eingestellte "e-Maß" liegt im Toleranzbereich von ± 0,5 % des Soll-Maßes gemäß der HU nach §29 StVZO. Gegebenenfalls ist eine Justierung der Lichtverteilung zu empfehlen!

Lichtverteilung VR **i.O.**

Die Einstellung der Hell-Dunkel-Grenze des Abblendlichts wird positiv bewertet. Das eingestellte "e-Maß" liegt im Toleranzbereich von ± 0,5 % des Soll-Maßes gemäß der HU nach §29 StVZO. Gegebenenfalls ist eine Justierung der Lichtverteilung zu empfehlen!

Korrekturwerte

Das "e-Einstellmaß" vorn links ist um **-0,11%** zu korrigieren, damit die Einstellung der Hell-Dunkel-Grenze den Herstellerangaben entspricht.

Das "e-Einstellmaß" vorn rechts ist um **-0,44%** zu korrigieren, damit die Einstellung der Hell-Dunkel-Grenze den Herstellerangaben entspricht.

Beachte: Das "e-Einstellmaß" wird am Scheinwerfereinstellgerät in einer positiver Zahlenfolge angezeigt. Die positive Skalenfolge entspricht einer negativen Einstellung!

Anlage 7. 1 Stückprüfungsmessprotokoll LTE

Stückprüfungsmessprotokoll LTE

GTÜ

Stammdaten Prüfplatz:

Name		Verwendungsbereich	
Straße		PKW	☐
PLZ/Ort		LKW	☐
Telefon		Kombi	☐
Fax		Krad	☐
Adressnummer aus EGUB			

Prüfungsart:

Erstprüfung:	☐	Kalibrierprotokollnummer Messstrecke / Messsystem:	
Wiederholungsprüfung:	☐		
Herstellungsjahr Messsystem:		Umgebungstemperatur:	°C

Checkliste Sichtprüfung der Messstrecke / des Messsystems:

☐ Prüfbuch liegt vor	☐ Markierung Messstrecke funktionstüchtig*
☐ Baubeschreibung	☐ Festigkeit der Messstrecke*
☐ Letzter Prüfbericht liegt vor	☐ Keine Schäden durch Alterung, etc.*
☐ Kennzeichnung Identifikation eindeutig*	☐ Mindestmaße eingehalten*

*Pflichtfelder sonst Prüfung n.i.O.

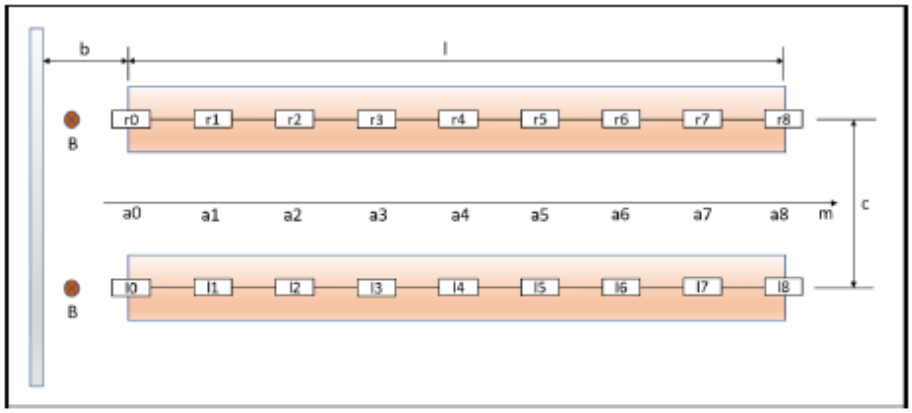
Bemerkung/Mängel:

Identifikation Prüfplatz:

Lage im Prüfstützpunkt:

Seite 1 von 6

Stückprüfungsmessprotokoll LTE



Ggf. Handskizze fertigen!

Beachte: Die Messstrecke / das Messsystem benötigt für den Messstart eine zusätzliche Fz-Aufstellfläche, welche der Länge des Prüfobjekts / Fahrzeugs entspricht!

Stückprüfungsmessprotokoll LTE

Messwerte Messstrecke / Messsystem PKW (in mm erfassen!)

Abstand Prüfwand zu Messstrecke b				MW					
Länge der Messstrecke l				MW					
Abstand der Fahrspuren c				MW					
Radstand [mm]				MW					
MP [mm]	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
MP gewählt [mm]	x								
Fahrspur rechts	MWR	MWR	MWR	MWR	MWR	MWR	MWR	MWR	MWR
MP [mm]	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
MP gewählt [mm]	x								
Fahrspur links	MWL	MWL	MWL	MWL	MWL	MWL	MWL	MWL	MWL

Bemerkung:

Lage der Bezugspunkte, Abstand zu Prüfwand, Abstand zur Fz-Messstrecke:

Stückprüfungsmessprotokoll LTE

Messwerte Messstrecke / Messsystem LKW (in mm erfassen!)

Abstand Prüfwand zu Messstrecke b				MW					
Länge der Messstrecke l				MW					
Abstand der Fahrspuren c				MW					
Radstand [mm]				MW					
MP [mm]	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
MP gewählt [mm]	x								
Fahrspur rechts	MWR	MWR	MWR	MWR	MWR	MWR	MWR	MWR	MWR
MP [mm]	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
MP gewählt [mm]	x								
Fahrspur links	MWL	MWL	MWL	MWL	MWL	MWL	MWL	MWL	MWL

Bemerkung:

Lage der Bezugspunkte, Abstand zu Prüfwand, Abstand zur Fz-Messstrecke:

Stückprüfungsmessprotokoll LTE

Messwerte Messstrecke / Messsystem KRAD (in mm erfassen!)

Abstand Prüfwand zu Messstrecke b				MW					
Länge der Messstrecke l				MW					
Radstand [mm]				MW					
MP [mm]	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
MP gewählt [mm]	x								
Fahrspur	MWR	MWR	MWR	MWR	MWR	MWR	MWR	MWR	MWR

Bemerkung:

Lage der Bezugspunkte, Abstand zu Prüfwand, Abstand zur Fz-Messstrecke:

Stückprüfungsmessprotokoll LTE

Verwendete Prüfmittel: (Kennzeichnung, Zertifikate)

	Kennzeichnung	Zertifikat, DKD Nummer
Kreuzlinienlaser		
Stahllineal		
Bandmaß		

Unterschrift: _____ Ort/Datum: _____

Sachkundiger für Scheinwerfereinstellplätze der GTÜ