

Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg  
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau  
Berliner Tor 9  
20099 Hamburg

In Zusammenarbeit mit:

TÜV Nord Mobilität GmbH & Co. KG  
Am TÜV 1  
30519 Hannover

Verfasser: Daniel Jungblut  
Abgabedatum: 11.11.2014

1.Prüfer: Prof.-Dr. Christoph Großmann  
2.Prüfer: Dipl.-Ing Norbert Stanislawski

Industrieller Betreuer : Dipl.-Ing Norbert Stanislawski

## 1. Einleitung

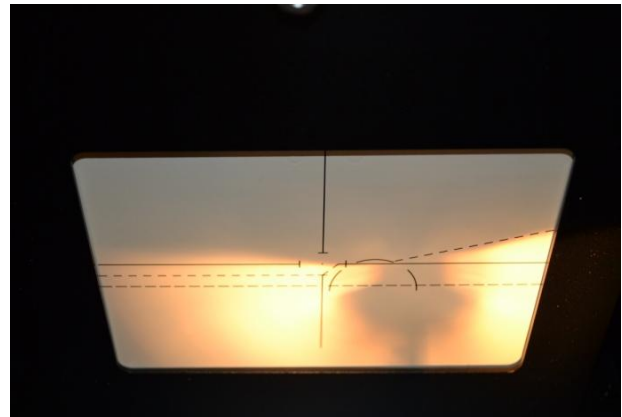
HAW Hamburg  
Department  
Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau  
Berliner Tor 9  
20099 Hamburg

TÜV Nord Mobilität GmbH & Co. KG  
Am TÜV 1  
30519 Hannover

**Bachelorarbeit:** Physikalische Hintergründe der Strahlformung bei Halogen Abblendlicht und Auswirkungen von Beschädigungen und Abdeckungen der Streuscheibe

Abgabedatum: 11.11.2014  
Verfasser: Daniel Jungblut  
1.Prüfer: Prof.-Dr. C. Großmann  
2.Prüfer: Dipl.-Ing N. Stanislowski  
Industrieller Betreuer: Dipl.-Ing N. Stanislowski

### 1.1 Abstract



Beschädigungen an Scheinwerferabschlußscheiben stellen einen wiederkehrenden Mangel bei Hauptuntersuchungen dar. Durch die Änderung des Lichtausfalles wird die Verkehrssicherheit maßgeblich beeinflusst.

Der Stand der Technik wird ermittelt und die rechtlichen Vorgaben im Scheinwerferbau werden erarbeitet.

Durch die Analyse verschiedener Abdeckungen und Beschädigungen an Streuscheiben wird diskutiert in welcher Art und in welchem Ausmaß eine Beanstandung sinnvoll ist. Es wird erklärt, welche Beschädigungen für die Sichtverhältnisse ausschlaggebend sind und in welcher Form andere Verkehrsteilnehmer beeinflusst werden.

Damages at the discs of headlights are deficiency of the main investigation of vehicles. There is a high risk for the safety to traffic, if the beam of light on the street is changed to an incorrect position.

At the moment the status of technology will be detected and the right and conditionals of headlight contractions will be prepared.

The analysis of lenses with different covers and damages is discussed in which kind and which magnitude an objection is reasonable. It explains which damages are deciding for the view relations and in witch way other road users being affected.

## **1.2 Danksagung**

Zunächst möchte ich mich an dieser Stelle bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Bachelorarbeit unterstützt und motiviert haben.

Ganz besonders gilt dieser Dank Herrn Dipl.-Ing. Stanislawski, der meine Arbeit und somit auch mich betreut hat. Er gab mir immer wieder durch kritisches Hinterfragen wertvolle Hinweise. Desweiteren möchte ich meinen Dank Herrn Prof.-Dr. Großmann aussprechen, er hat mich dazu gebracht, über meine Grenzen hinaus zu denken.

Daneben gilt mein Dank meiner Lebenspartnerin Sonja Schade, die in zahlreichen Stunden Korrektur gelesen hat. Sie wies auf Schwächen hin und konnte als Fachfremde immer wieder zeigen, wo noch Erklärungsbedarf bestand.

Desweiteren möchte ich meiner Tochter Lene, danken. Sie ließ mich während der Arbeit niemals vergessen, wie wertvoll das Leben ist und motivierte mich jeden Tag aufs Neue.

Außerdem möchte ich meinem Kommilitonen und Freund, Sascha Weinowski, für die wertvollen Diskussionen rund um die Bachelorarbeit danken, sie waren immer zielorientiert und gaben den entsprechenden Denkanstoß.

Auch meine Vorgesetzten und Kollegen des TÜV Nord, besonders Herr Peters, haben maßgeblich dazu beigetragen, dass diese Bachelorarbeit nun so vorliegt. Vielen Dank, dass Sie mir die Möglichkeit gegeben haben, Ihre Räumlichkeiten und Messgeräte zu nutzen.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>2</b>
1.1 Abstract	2
1.2 Danksagung	3
<b>2. Allgemeines</b>	<b>6</b>
2.1 Abkürzungen	6
2.2 Symbolverzeichnis	7
2.3 Abbildungsverzeichnis	8
<b>3. Einführung</b>	<b>12</b>
3.1 Aufgabenstellung	12
3.2 Beschreibung der Vorgehensweise	12
3.3 Geschichte des Scheinwerfers	13
3.4 Grundlagen der Kraftfahrzeugbeleuchtung	14
<b>4. Rechtliche Grundlagen</b>	<b>15</b>
<b>5. Physikalische Grundlagen</b>	<b>16</b>
5.1 Begriffe der Optik	16
5.2 Grundlagen der Optik	17
5.2.1 Modell Lichtstrahl	17
5.2.2 Modell Lichtwelle	17
5.2.3 Wellenlänge	18
5.2.4 Das menschliche Auge	19
5.3 Prisma	20
5.4 Reflexion	20
5.5 Lichtbrechung	21
5.6 Linsen	22
<b>6. Die Beleuchtungsanlage</b>	<b>23</b>
6.1 Reflexionssysteme von Abblendscheinwerfern	23
6.1.1 Paraboloid	23
6.1.2 Stufenreflektor	23
6.1.3 Freiformreflektor	24
6.2 Asymmetrische Abstrahlung	25
6.3 Hell-Dunkel-Grenze	26
6.4 Streuscheibe	28
6.5 Adaptive Scheinwerfersysteme	29
6.5.1 Abbiegelicht	29
6.5.2 Kurvenlicht	30
6.5.3 Adaptive Hell-Dunkel-Grenze	30
6.6 LED-Scheinwerfer	30
6.7 Leuchtmittel	31
6.7.1 Halogenleuchtstofflampen	32
6.7.2 Gasentladungslampen	34

<b>7. Versuch</b>	<b>35</b>
7.1 Prüfstandsmodell	35
7.1.1 Scheinwerfer	35
7.1.2 Leuchtmittel	36
7.1.3 Streuscheibe	37
7.2 Messgerät	38
7.3 Versuchsaufbau	39
7.4 Versuchsvorbereitung	40
7.5 Untersuchungsgegenstände	47
7.5.1 Abdeckung am Scheinwerfer (diagonal 50%)	47
7.5.2 Abdeckung am Scheinwerfer (diagonal 25%)	47
7.5.3 Beschädigte Streuscheiben	48
7.5.4 Vergleich reale / künstliche Beeinträchtigungen	49
7.6 Versuchsdurchführung / Versuchsauswertung	50
<b>8. Ergebnisse</b>	<b>53</b>
8.1 Interpretation	53
8.1.1 Abdeckungen	53
8.1.2 Beschädigungen in Form von Steinschlägen	54
8.1.3 Beschädigungen in Form von Kratzern	54
8.2 Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer	55
<b>9. Fazit und Ausblick</b>	<b>56</b>
<b>10. Literaturverzeichnis</b>	<b>58</b>
<b>11. Eidesstattliche Erklärung</b>	<b>60</b>

## 2. Allgemeines

### 2.1 Abkürzungen

BMVI:	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
ECE:	Economic Commission for Europe
LED:	Light Emitting Diode
HDG:	Hell-Dunkel-Grenze
aHDG:	Adaptive Hell-Dunkel-Grenze
StVZO:	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
EU:	Europäische Union

## 2.2 Symbolverzeichnis

$n$	:	Brechungszahl
$\alpha$	:	Eintrittswinkel
$\beta$	:	Brechungswinkel
nm	:	Nanometer
lm	:	Lumen
W	:	Watt
V	:	Volt
$\Phi$	:	Lichtstrom
I	:	Lichtstärke
$E_v$	:	Beleuchtungsstärke
$L_v$	:	Leuchtdichte
$\eta$	:	Lichtausbeute
cd	:	Candela
lx	:	Lux
m	:	Meter
mm	:	Millimeter
$m^2$	:	Quadratmeter

## 2.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 : Ausbreitung eines Lichtstrahles

Abbildung 2 : Beugung eines Lichtstrahles

Abbildung 3 : Darstellung der Wellenlänge

Abbildung 4 : Lichteinfassung im menschlichen Auge

Abbildung 5 : Funktion der Linse im menschlichen Auge

Abbildung 6 : Umlenkung eines Lichtstrahles durch ein Prisma

Abbildung 7 : Totalreflexion eines Lichtstrahles durch ein Prisma

Abbildung 8 : Eintreffwinkel und Austrittswinkel eines Lichtstrahles

Abbildung 9 : Lichtstrahlen treffen auf undurchsichtiges Medium

Abbildung 10: Brechung von Lichtstrahlen

Abbildung 11: Beispiel von Sammellinsen

Abbildung 12: Beispiel von Zerstreuungslinsen

Abbildung 13: Aufbau eines Paraboloid-Scheinwerfers

Abbildung 14: Aufbau eines Stufenreflektors

Abbildung 15: Scheinwerfer mit Freiformreflektor

Abbildung 16: Freiformreflektor – Lichtverteilung

Abbildung 17: Scheinwerfer mit Freiformreflektor

Abbildung 18: Freiformreflektor - Lichtverteilung

Abbildung 19: Lichtverteilung bei asymmetrischem Abblendlicht

Abbildung 20: Glühwendel und Strahlenblende

Abbildung 21: Hell-Dunkel-Grenze weich

Abbildung 22: Hell-Dunkel-Grenze scharf

Abbildung 23: Erzeugung der HDG eines Parabolscheinwerfers

Abbildung 24: Erzeugung der HDG eines Freiformscheinwerfers

Abbildung 25: Optische Elemente einer Streuscheibe

Abbildung 26: Linsenelemente an Streuscheiben

Abbildung 27: Prismenelemente an Streuscheiben

Abbildung 28: Kombinationen von Linsen und Prismen an Streuscheiben

Abbildung 29: Abbiegelicht im Scheinwerfermodul

Abbildung 30: Scheinwerfer mit Kurvenlicht

Abbildung 31: Vergleich: Abbiegelicht und Kurvenlicht



Abbildung 32: LED-Scheinwerfer

Abbildung 33: Vergleich des Einschaltverhaltens zwischen LED-Lampen und herkömmlichen Glühlampen

Abbildung 34: Lichtstromvergleich: LED / Xenon / Halogen

Abbildung 35: H4 Halogenlampe

Abbildung 36: Prozess innerhalb einer Halogenlampe

Abbildung 37: Spannungsabhängigkeit der Betriebsparameter von Halogenglühlampen bei anlegen einer Prüfspannung

Abbildung 38: Gasentladungslampe

Abbildung 39: Vergleich Glühwendel und Gasentladungslampe

Abbildung 40: Prüfstandsmodell H4 Scheinwerfer

Abbildung 41: Erzeugung einer Hell-Dunkel-Grenze eines H4 Scheinwerfers

Abbildung 42: Quasi parallele Abstrahlung des Fernlichtes eines H4 Scheinwerfers

Abbildung 43: Kennzeichnungen auf dem Sockel einer H4 Halogenlampe

Abbildung 44: Eigenschaften von Materialien für Scheinwerferabdeckscheiben

Abbildung 45: Einfluss der Streuscheibenlage auf die HDG

Abbildung 46: Scheinwerfereinstellgerät

Abbildung 47: Sichtfester im Einstellprüfgerät

Abbildung 48: Ausrichtung des Scheinwerfereinstellgerätes

Abbildung 49: Prüffläche für Scheinwerferlicht

Abbildung 50: Versuchsaufbau in der Prüfhalle

Abbildung 51: Unterteilung der Streuscheibe in verschiedene Zonen

Abbildung 52: Montierte Streuscheibe mit Unterteilung

Abbildung 53: Scheinwerfer ohne Streuscheibe

Abbildung 54: Lichtbild ohne Streuscheibe

Abbildung 55: Scheinwerfer mit Abdeckungen der Zonen 1,2,3,4,5,6,7,8,9,11

Abbildung 56: Lichtbild mit Abdeckungen der Zonen 1,2,3,4,5,6,7,8,9,11

Abbildung 57: Scheinwerfer mit Abdeckungen der Zonen 1,2,3,4,5,6,7,8,9

Abbildung 58: Lichtbild mit Abdeckungen der Zonen 1,2,3,4,5,6,7,8,9

Abbildung 59: Scheinwerfer mit Abdeckungen der Zonen 1,2,3,4,5,6,7,8

Abbildung 60: Lichtbild mit Abdeckungen der Zonen 1,2,3,4,5,6,7,8

Abbildung 61: Scheinwerfer mit Abdeckungen der Zonen 1,2,3,4,5,6,7

Abbildung 62: Lichtbild mit Abdeckungen der Zonen 1,2,3,4,5,6,7

Abbildung 63: Scheinwerfer mit Abdeckungen der Zonen 1,2,3,4,5,6

Abbildung 64: Lichtbild mit Abdeckungen der Zonen 1,2,3,4,5,6

Abbildung 65: Scheinwerfer mit Abdeckungen der Zonen 1,2,3,4,5

Abbildung 66: Lichtbild mit Abdeckungen der Zonen 1,2,3,4,5

Abbildung 67: Scheinwerfer mit Abdeckungen der Zonen 1,2,3,4

Abbildung 68: Lichtbild mit Abdeckungen der Zonen 1,2,3,4

Abbildung 69: Scheinwerfer mit Abdeckungen der Zonen 1,2,3

Abbildung 70: Lichtbild mit Abdeckungen der Zonen 1,2,3

Abbildung 71: Scheinwerfer mit Abdeckungen der Zonen 1,2

Abbildung 72: Lichtbild mit Abdeckungen der Zonen 1,2

Abbildung 73: Scheinwerfer mit Abdeckungen der Zonen 1

Abbildung 74: Lichtbild mit Abdeckungen der Zonen 1

Abbildung 75: Scheinwerfer ohne Abdeckung

Abbildung 76: Lichtbild ohne Abdeckung

Abbildung 77: Abdeckung der Streuscheibe diagonal 50%

Abbildung 78: Lichtbild bei Abdeckung diagonal 50%

Abbildung 79: Abdeckung der Streuscheibe diagonal 25%

Abbildung 80: Lichtbild bei Abdeckung diagonal 25%

Abbildung 81: Stein als Geschoss

Abbildung 82: Beschädigung Zone 6

Abbildung 83: Beschädigung Zone 4

Abbildung 84: Beschädigung Zone 1

Abbildung 85: Beschädigung Zone 2

Abbildung 86: Beschädigung Zone 3 und 5

Abbildung 87: Beschädigung Zone 4

Abbildung 88: Steinschlag Zone 6

Abbildung 89: Lichtbild bei Steinschlag Zone 6

Abbildung 90: Steinschlag Zone 4

Abbildung 91: Lichtbild bei Steinschlag Zone 4

Abbildung 92: Steinschlag Zone 1

Abbildung 93: Lichtbild bei Steinschlag Zone 1

Abbildung 94: Steinschlag Zone 2

Abbildung 95: Lichtbild bei Steinschlag Zone 2

Abbildung 96: Steinschlag Zone 3

Abbildung 97: Lichtbild bei Steinschlag Zone 3

Abbildung 98: Kratzer Zone 4

Abbildung 99: Lichtbild bei Steinschlag Zone 4

Abbildung 100: Abstrahlbereich eines Stufenreflektors

### **3. Einführung**

#### **3.1 Aufgabenstellung**

Scheinwerfer am Kraftfahrzeug müssen zur Erreichung einer ausreichenden Sicht nach vorne und der Vermeidung des Blendens von entgegen kommenden Fahrzeugen mit einer Ablendeinrichtung versehen sein. Es ist zu erläutern wie Scheinwerfer eine Hell-Dunkel-Grenze erzeugen und wie asymmetrisches Abblendlicht abgestrahlt werden kann.

Die Vorschriftenlage ist zu erklären und die physikalischen Hintergründe zur Strahlformung des Abblendlichts sind zu erläutern.

In einem Versuch soll experimentell ermittelt werden, wie sich Teil-Abdeckungen und Schäden, in Form von Steinschlägen und Rissen, an der Streuscheibe von H4 Scheinwerfern auswirken. Verschiedene Schadensbilder sind zu erzeugen und deren Auswirkungen auf die Sichtverhältnisse sind zu beurteilen. Es ist festzustellen, ob ungewünschte Streuwirkung auftritt.

#### **3.2 Beschreibung der Vorgehensweise**

Um ein aussagekräftiges Ergebnis, im Bezug auf die Auswirkungen von Beschädigungen der Streuscheibe zu erreichen, ist es notwendig, die Gesetzmäßigkeiten und rechtlichen Grundlagen zu erarbeiten und die physikalischen Grundlagen der Lichtbrechung darzustellen.

Die Bauart des Scheinwerfers wird explizit erörtert und die Funktionsweise detailliert erläutert.

Im zweiten Teil der Ausarbeitung (Versuch, Kapitel 7) werden verschiedene Beeinträchtigungen an Scheinwerfern untersucht, diese lassen nur dann Schlüsse zu, welche sich bewerten lassen, wenn die Versuchsreihen reproduzierbar durchgeführt und fehlerfrei dokumentiert werden. Dazu werden unterschiedliche Beschädigungen und Abdeckungen an den Streuscheiben herbeigeführt. Diese werden an einem Messgerät, zur Erfassung der Hell-Dunkel-Grenze, sowie Darstellung des asymmetrischen Lichtausfalles, ausgewertet.

Der Bezug auf die Auswirkungen im Straßenverkehr wird hergestellt. Hierzu wird analysiert, welche Bereiche der Streuscheibe welchen Einfluss auf das Lichtbild haben und durch welches Beschädigungsausmaß eine Veränderung des Lichtbildes auftritt. Daraus lassen sich Schlüsse auf die Bewertung solcher „Mängel“ bei der Hauptuntersuchung ableiten.

Als Ausblick ist die Bewertung, solcher Beeinträchtigungen, auf andere Scheinwerferbauarten zu übertragen.

### 3.3 Geschichte des Scheinwerfers

Zu Beginn der Automobilgeschichte waren Maßstäbe des Kutschbaus die Grundlage der Scheinwerferkonstruktion, daher wurden Petroleumlampen oder Gasbrenner, besser bekannt als Acetylenlaternen, zur Erhellung des Weges genutzt. Nachteil war der hohe Verbrauch (bis zu 35 Liter Acetylen je Stunde) und die nur bedingt gute Ausleuchtung.

- 1910: Der erste Scheinwerfer, welcher seinem Namen gerecht wurde, funktionierte elektrisch nach dem Prinzip eines Dynamos und wurde von Mercedes-Benz erstmals in einem Automobil verbaut. <sup>[1]</sup>
- 1913: Bosch entwickelte ein komplettes System, mit Lichtmaschine, Regler und Scheinwerfer, welches in Verbindung mit einer Batterie dauerhaft für eine bessere Sicht sorgte. <sup>[1]</sup>
- 1924: Die erste Zweifaden-Glühlampe wurde vom Hersteller Osram auf den Markt gebracht, welche ein Abblendlicht und ein Fernlicht in einem Reflektor vereinte, dessen Bezeichnung war Bilux-Lampe. <sup>[1]</sup>
- 1956: Der erste Scheinwerfer mit einer Hell-Dunkel-Grenze wurde entwickelt, dieser nutzte zum ersten Mal auch ein asymmetrisches Abblendlicht. <sup>[1]</sup>
- 1962: Erfindung der H1 Glühlampe, welche als Halogen Glühlampe zunächst nur als Zusatzscheinwerfer erhältlich war. <sup>[1]</sup>
- 1965: Die von Hella entwickelte Halogen H1 Lampe hielt Einzug in den Hauptscheinwerfer. <sup>[1]</sup>
- 1971: Die H4 Glühlampe wurde auf den Markt gebracht, sie vereint zwei Fäden in einer Glühlampe und bietet damit die Umschaltmöglichkeit von Abblendlicht auf Fernlicht. <sup>[1]</sup>
- 1983: Der erste Projektionsscheinwerfer wurde in Serie gefertigt, dieser arbeitet nach dem Funktionsprinzip eines Diaprojektors und kann damit durch Linsentechnik eine höhere Lichtausbeute realisieren. <sup>[1]</sup>
- 1991: Mercedes-Benz präsentierte den Xenon Scheinwerfer. Bei dieser Technik wird mit Hilfe des Gases Xenon ein Plasmabogen erzeugt, welcher den Glühfaden ersetzt. <sup>[1]</sup>
- 2006: Das intelligent-Light-System wurde von Daimler auf den Markt gebracht, es verbindet einerseits das Kurvenlicht mit einem Abbiegelicht und bietet ein spezielles Landstraßenlicht, sowie ein Autobahnlicht. Diese unterschiedlichen Funktionen werden auf die äußeren Bedingungen voll variabel angepasst. <sup>[1]</sup>



Abbildung 1 [7]: Scheinwerfer im Wandel der Zeit

### 3.4 Grundlagen der Kraftfahrzeugbeleuchtung

Das Abblendlicht dient einerseits der Ausleuchtung der Fahrbahn um eine gute Sicht für die Fahrzeuginsassen zu gewährleisten, sowie die Sichtbarkeit des eigenen Fahrzeuges durch andere Verkehrsteilnehmer sicher zu stellen. In jedem Scheinwerfer ist zusätzlich ein Standlicht verbaut, welches bei Ausfall einer Glühlampe das Fahrzeug als Mehrspurfahrzeug kenntlich macht. Zusätzlich wird in Scheinwerfern eine Vorrichtung vorgesehen, welche dem Fahrer bestmögliche Sicht ermöglichen soll, diese nennt sich Fernlicht und ist nur auf ungenügend ausgeleuchteten Straßen ohne Gegenverkehr, anzuwenden. Den Gesetzesgrundlagen (siehe Kapitel 4:Rechtliche Grundlagen <sup>[2,3]</sup>) ist zu entnehmen, dass die ausgeleuchtete Fläche im hundertfachen Abstand der Anbauhöhe enden muss, dabei ist ein einprozentiges Gefälle einzuhalten.

Das Fern- und Abblendlicht ist meist in einem gemeinsamen Scheinwerfer untergebracht, zur Realisierung werden verschiedenste Bauarten von Glühlampen mit unterschiedlichen Leistungen verwendet. Beim Abblendlicht ist eine zusätzliche Vorrichtung notwendig um eine Hell-Dunkel-Grenze zu erzeugen und damit den Gegenverkehr vor unerwünschtem Blenden zu schützen, aber auch um dem Fahrzeugführer eine optimale Sicht zu ermöglichen.

Heutige Scheinwerfer leuchten im Betrieb mit Abblendlicht die Fahrbahn asymmetrisch aus, das bedeutet der Lichtkegel wird stärker auf die rechte Seite (bei Rechtsverkehr) abgelenkt und macht dadurch Seitenbebauung und Straßenschilder besser sichtbar, desweiteren können Fußgänger und Wildwechsel früher erkannt werden. Dies wird durch speziell gemusterte Streuscheiben verwirklicht, wobei der Reflektor die entsprechenden geometrischen Eigenschaften aufweist.

Grundsätzlich werden Scheinwerfer bei Mehrspurfahrzeugen paarweise an der Fahrzeugfront angebracht, dabei ist eine Symmetrie zur Fahrzeugmittelebene, sowie gleiche Leuchtintensität einzuhalten.

## 4 Rechtliche Grundlagen

Es gibt in Deutschland und der Europäischen Union (EU) mehrere Rechtsnormen, die das Straßenverkehrsrecht regeln. Durch diese Normen wird die Verkehrssicherung, das Verhalten der Verkehrsteilnehmer oder die Zulassung von Fahrzeugen im Straßenverkehr geregelt. Lichttechnische Einrichtungen werden durch die Bau- und Betriebsvorschriften festgelegt. Darüber hinaus gibt es gesonderte Regelungen für die Zulassung von Fahrzeugen. Folgende Richtlinien sind zu beachten:

- Glühlampen für Kraftfahrzeuge (ECE-R37) <sup>[2]</sup>
- Scheinwerfer für Kraftfahrzeuge (ECE-R8/20) <sup>[2]</sup>
- Anbau lichttechnischer Einrichtungen (ECE-R48) <sup>[2]</sup>
- Scheinwerfer für Fern- und Abblendlicht (§50 StVZO) <sup>[3]</sup>

### Fernlicht:

Es sind mindestens zwei, höchstens vier Fernscheinwerfer zulässig. Die Farbe der vorgeschriebenen Kontrollleuchte im Fahrzeuginnenraum muss blau oder gelb sein. Das Lichtmaximum muss sich in der Mittelachse des Scheinwerfers befinden. Es ist eine symmetrische Verteilung vorgeschrieben. Höchste zulässige Lichtstärke als Summe der Einzelstärken aller am Fahrzeug verbauten Fernscheinwerfer ist 225000cd <sup>[7]</sup>.

### Abblendlicht:

Für asymmetrisches Abblendlicht gibt es in Deutschland internationale Richtlinien und Regelungen, die genaue Vorschriften für die photometrische Messung der Art des Abblendlichtes (mit Glüh-, Halogen-, oder Gasentladungslampe) enthalten. Bei der Kontrolle der Blendwirkung wird §50 StVZO (6) angewendet. Danach gilt die Blendung als behoben, wenn die Beleuchtungsstärke in einer Entfernung von 25m in Höhe der Scheinwerfermitte nicht mehr als 1lx beträgt <sup>[7]</sup>.

### Schaltung:

Beim Abblenden müssen alle Scheinwerfer des Fernlichtes gleichzeitig erlöschen. Das Abblendlicht darf in der Schalterstellung „Lichthupe“ zusammen mit dem Fernlicht brennen (Simultanschaltung). Im Allgemeinen sind H4 Glühlampen für einen kurzzeitigen Zwei-Wendel-Betrieb geeignet <sup>[7]</sup>.

## 5 Physikalische Grundlagen

### 5.1 Begriffe der Optik

#### Lichtstrom $\Phi$ :

Einheit: Lumen [lm]

Als Lichtstrom bezeichnet man die gesamte von einer Lichtquelle abgestrahlte Lichtleistung. Es wird die Wellenlängenabhängige Empfindlichkeit des menschlichen Auges berücksichtigt.

#### Lichtstärke I:

Einheit: Candela [cd]

Als Lichtstärke bezeichnet man einen Teil des Lichtstromes, der auf einen bestimmten Abstrahlwinkel bezogen wird. Sie bezeichnet die Strahlungsleistung einer Lichtquelle pro Raumwinkel.

#### Beleuchtungsstärke $E_v$ :

Einheit: Lux [lx]

Die Beleuchtungsstärke beschreibt den auf einen Körper auftreffenden Lichtstrom bezogen auf die auszuleuchtende Fläche.

#### Leuchtdichte $L_v$ :

Einheit: Candela pro Quadratmeter  $[\frac{cd}{m^2}]$

Die Leuchtdichte berücksichtigt Orts- und Richtungsabhängigkeit eines Lichtstromes im Bezug auf die Wahrnehmung von Helligkeit einer Fläche des menschlichen Auges.

#### Lichtausbeute $\eta$ :

Einheit: Lumen pro Watt  $[\frac{lm}{W}]$

Die Lichtausbeute beschreibt den abgegebenen Lichtstrom im Bezug auf die aufgenommene Leistung, sie wird häufig aus Wirtschaftlichkeitsgründen ausgewertet.



## 5.2 Grundlagen der Optik

### 5.2.1 Modell Lichtstrahl

Bei diesem Modell breitet sich das Licht gradlinig aus und behält seine Richtung bei, bis es auf einen lichtundurchlässigen Körper trifft. Hinter dem Gegenstand ist es dunkel, da die Lichtstrahlen den Körper nicht passieren können. Lichtstrahlen, welche den Körper mit dem geringsten Abstand passieren werden Randstrahlen genannt (siehe Abbildung 2). Der Bereich der Randstrahlen wird im Folgenden als Hell-Dunkel-Grenze (siehe Kapitel 6.3) bezeichnet.

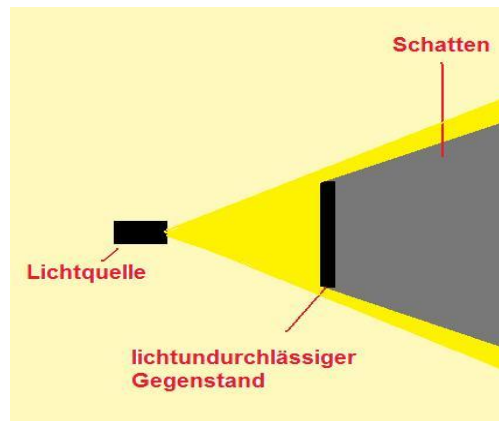


Abbildung 2 [4]: Ausbreitung eines Lichtstrahles

### 5.2.2 Modell Lichtwelle

Bei diesem Modell werden besondere Eigenschaften des Lichtes deutlich, welche allein durch die Strahlentheorie nicht zu erklären sind. Dringt das Licht einer Lichtquelle durch eine Öffnung, ist zu erkennen, dass auch seitlich der gedachten geraden Linien Helligkeit entsteht, wodurch die rein gradlinige Ausbreitungstheorie erweitert wird (siehe Abbildung 3). Dieses Verhalten kann durch die „Beugung“ der Lichtstrahlen begründet werden, denn Licht hat eine Welleneigenschaft, welche das Eindringen in Schattenbereiche durch Ablenkung beschreibt.

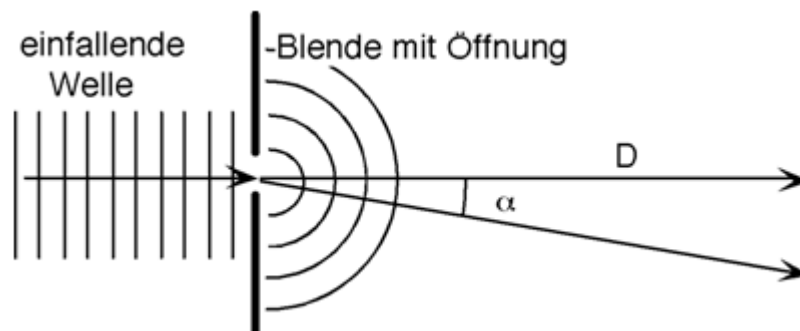








Abbildung 3 [9]: Beugung eines Lichtstrahles

### 5.2.3 Wellenlänge

Als Lichtquellen sind beispielsweise Glühlampen, Leuchtstofflampen, Leuchtdioden, Laser und chemisches Licht, aber auch die Sonne zu nennen. Als Licht wird in der Physik der Bereich der elektromagnetischen Strahlung bezeichnet, welche das menschliche Auge wahrnehmen kann. Das menschliche Auge kann in der Regel Licht mit einer Wellenlänge von 380 Nanometern (nm) bis 780 nm wahrnehmen. Die folgende Tabelle zeigt, welche Wellenlänge zur welcher Farbwahrnehmung führt.

<u>Farbton</u>	<u>Wellenlänge</u>	<u>Farbe</u>
Violett	380-420nm	
Blau	420-490nm	
Grün	490-575nm	
Gelb	575-585nm	
Orange	585-650nm	
Rot	650-750nm	

Die Wellenlänge wird als Abstand zwischen zwei aneinander liegenden Maxima bezeichnet (siehe Abbildung 4).

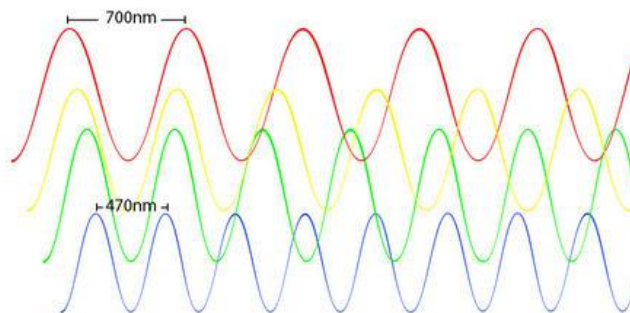


Abbildung 4 [8]: Darstellung der Wellenlänge

Da eine Erklärung mittels Zahlenwerten des erfassbaren Lichtes schwierig ist, gibt es eine spektrale Hellempfindlichkeitsfunktion (siehe Abbildung 5). Die Empfindlichkeit ist demnach bei etwa 555nm (entspricht Gelbgrün) am größten und nimmt in beiden Richtungen ab.

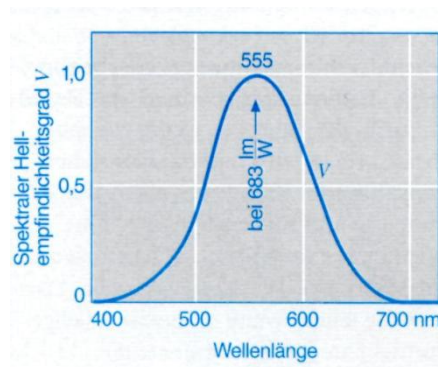


Abbildung 5 [7]: Hellempfindlichkeit im Bezug auf die Wellenlänge

### 5.2.4 Das menschliche Auge

Das menschliche Auge, kann sich herrschenden Lichtverhältnissen, durch verschiedene Mechanismen, zum Beispiel durch Anpassung der Netzhautempfindlichkeit, anpassen. Desweiteren kann sich die Iris, welche die Linse im Auge umschließt, auf die Helligkeit einstellen, dies geschieht durch weiten oder verschließen der Pupille. Bei einer plötzlichen Lichteinwirkung auf das Auge kann sich der Augenmuskel verkrampfen und die Wahrnehmungsfähigkeit nimmt durch das automatische Schließen der Augenlider ab.

Das menschliche Auge verhält sich technisch wie eine Sammellinse (siehe Abbildung 6), das eintretende Licht wird umgekehrt auf die Netzhaut übertragen. Das Gehirn dreht diese Bilder um. Der Abstand bis zu 25cm wird als deutliche Sehweite bezeichnet, in diesem Bereich werden Gegenstände scharf gesehen.

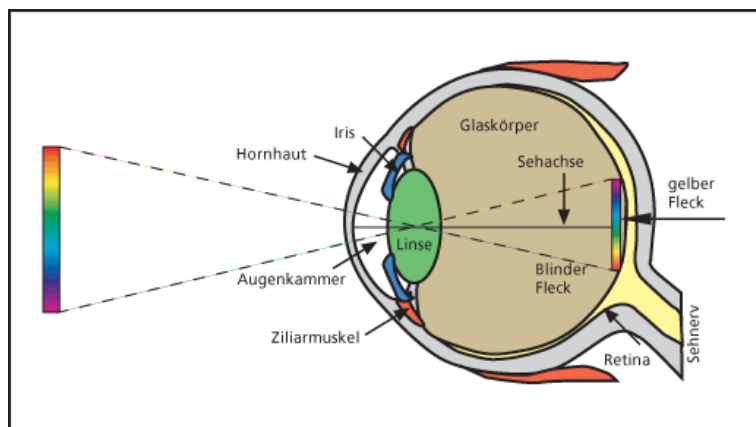


Abbildung 6 [10]: Lichterfassung im menschlichen Auge

Die Linse im menschlichen Auge bündelt parallele Lichtstrahlen und lässt Sie durch einen Brennpunkt (F) laufen (siehe Abbildung 7). Der Gegenstand, welcher das Licht reflektiert ist auf der linken Seite dargestellt.

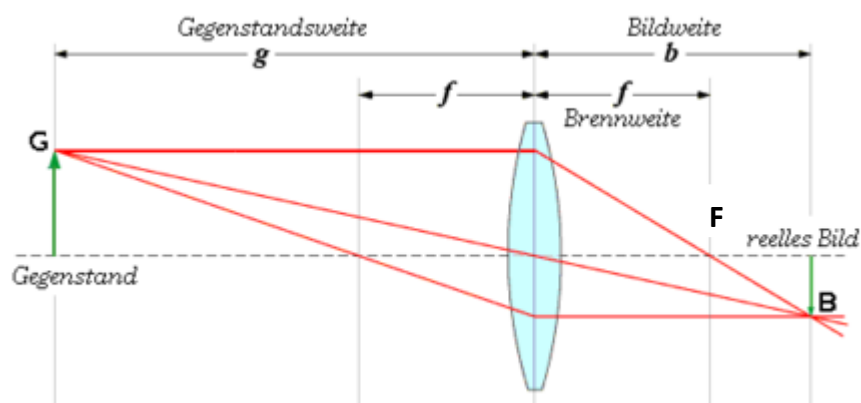


Abbildung 7 [11]: Funktion der Linse im menschlichen Auge

### 5.3 Prisma

Unter einem Prisma versteht man einen geometrischen Körper, welcher eine Lichtbrechung bzw. Aufspaltung in seine Wellenlängen ermöglicht, diese werden im Folgenden nicht weiter behandelt. Es gibt allerdings auch Prismen, die eine Umlenkung (Abbildung 8) oder eine Reflexion (Abbildung 9) des Lichtstrahles bewirken. Diese Prismen finden auch im Scheinwerferbau Einzug.

Prisma mit Umlenkung:

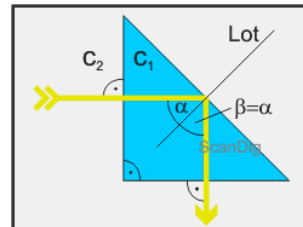


Abbildung 8 [4]:

Umlenkung des Lichtstrahles durch ein Prisma

Prisma mit Totalreflexion:

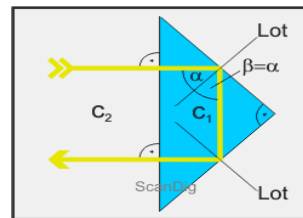


Abbildung 9 [4]:

Totalreflexion eines Lichtstrahles durch ein Prisma

### 5.4 Reflexion

Für den Menschen werden Gegenstände dadurch sichtbar, dass Licht von ihnen in das Auge gelangt. Beleuchtete Körper werfen demnach Licht von ihrer Oberfläche in das Auge zurück. Man unterscheidet dabei prinzipiell zwei unterschiedliche Arten der Reflexion an Oberflächen. Diffuse Reflexion, hierbei wird von einer beleuchteten Fläche das Licht nach allen Seiten und in alle Richtungen zerstreut.

Außerdem gibt es noch die regelmäßige oder reguläre Reflexion. Bei dieser trifft das Licht auf ein Objekt auf und wird reflektiert und zwar so, dass Einfallswinkel und Ausfallwinkel gleich groß sind. Der Strahl, der auf den Gegenstand trifft wird einfallender Strahl genannt. Der Strahl weg vom Gegenstand wird reflektierter Strahl genannt (siehe Abbildung 10).

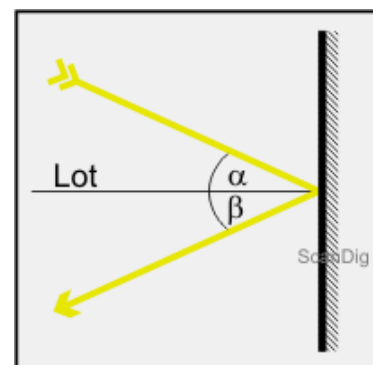


Abbildung 10 [4]:

Eintreffwinkel und Austrittswinkel eines Lichtstrahles

Weitere Möglichkeiten beim Auftreffen eines Lichtstrahles auf ein undurchsichtiges Medium (siehe Abbildung 11):

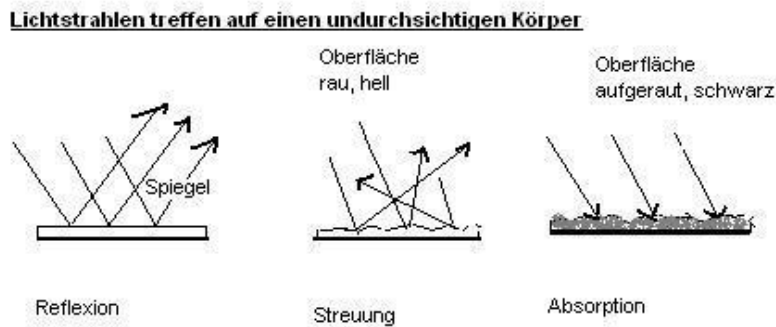


Abbildung 11 [5]: Lichtstrahlen treffen auf ein undurchsichtiges Medium

Das Verhältnis von einfallender Strahlung zu reflektierter Strahlung in Prozent wird Reflexionsgrad genannt.

Beispiele für den Reflexionsgrad<sup>[12]</sup>:

- Silber, poliert = 92...93%
- Aluminium, poliert = 70...80%
- Straßenbelag, hell = 20...30%
- Straßenbelag, dunkel = 5...15%

### 5.5 Lichtbrechung

Zur Beschreibung der Brechung des Lichtes gibt es ein sogenanntes Brechungsgesetz, welches Bezug auf unterschiedliche Materialien nimmt. Hierbei ist die Brechungszahl des Mediums entscheidend. Die Brechungszahl selber ist abhängig von der Dichte des jeweiligen Stoffes.

Brechungszahlen:

- Luft: n=1,00
- Wasser: n=1,33
- Glas: n=1,53

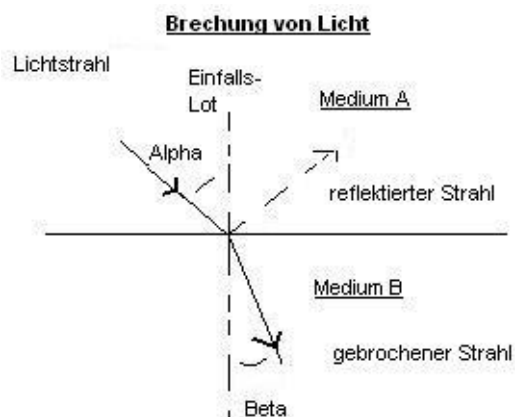


Abbildung 12 [5]: Brechung von Lichtstrahlen

In Abbildung 12 ist zu erkennen, dass die Winkel Alpha (Einfallswinkel) und Beta (Brechungswinkel) nicht identisch sind, sondern der Lichtstrahl an der Grenzfläche zwischen den Medien gebrochen wird. Mit Hilfe der Brechungszahlen können diese Winkel rechnerisch auf folgende Weise ermittelt werden.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_B}{n_A} \tag{Gl.01}$$

### 5.6 Linsen

Eine Linse hat zwei gewölbte Begrenzungsflächen, welche mathematisch exakt erfasst werden können. Damit ist es möglich, bei entsprechendem Einfallswinkel, den Austrittswinkel vorherzusagen. Es finden drei verschiedene Schliffarten technische Verwendung (siehe Abbildung 13).

#### Sammellinsen:

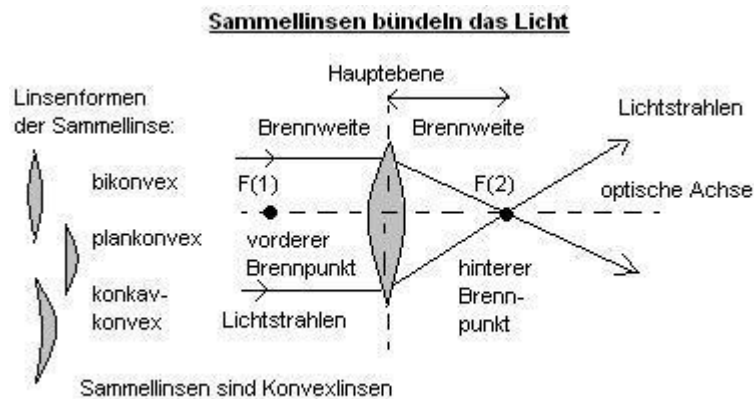


Abbildung 13 [5]: Beispiel von Sammellinsen

Bei Sammellinsen werden einseitig eintreffende Lichtstrahlen auf der anderen Seite der Linse zusammengeführt. Dieser Punkt nennt sich hinterer Brennpunkt und hat eine dem Schlibbild folgende Brennweite.

#### Zerstreuungslinsen:

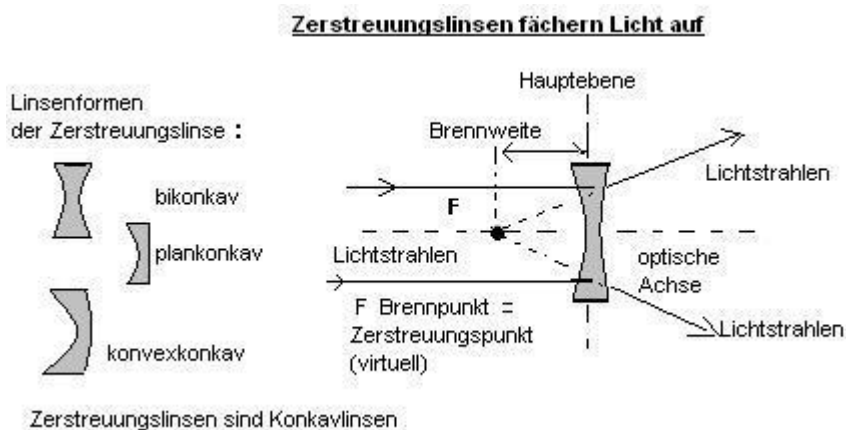


Abbildung 14 [5]: Beispiel von Zerstreuungslinsen

## 6 Die Beleuchtungsanlage

Lichttechnische Anlagen im Kraftfahrzeug haben mehrere Aufgaben:

Aufgabe:	Einrichtungsbeispiel:
a) Ausleuchtung der Fahrbahn gewährleisten	- Scheinwerfer
b) Sichtbarkeit der Fahrzeugkonturen ermöglichen	- Begrenzungsleuchten
c) Bewegungsabsichten des Fahrzeugführers anzeigen	- Blinkleuchten
d) Warnung anderer Verkehrsteilnehmer	- Warnblinker
e) Schaltzustände technischer Einrichtungen vermitteln	- Kontrollleuchten

Im Folgenden wird Punkt a) näher erläutert.

### 6.1 Reflexionssysteme von Ablendscheinwerfern

#### 6.1.1 Paraboloid Scheinwerfer

Ein Paraboloid beschreibt die Form einer Parabel, welche um Ihre Achse rotiert. Dabei bildet die Rotationsachse auch die optische Achse des Scheinwerfers. Innerhalb der Paraboloides gibt es einen Brennpunkt (siehe Abbildung 15).

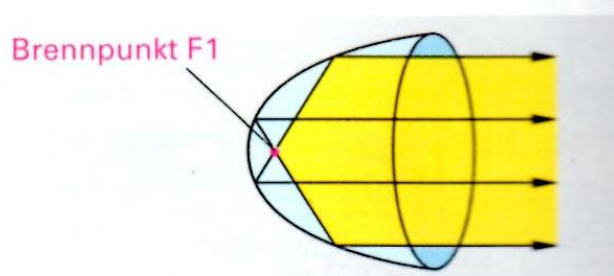


Abbildung 15 [6]: Aufbau eines Paraboloid-Scheinwerfers

#### 6.1.2 Stufenreflektor

Im Scheinwerferbau werden meist Abwandlungen des Paraboloides verwendet, welche aus mehreren rotierten Parabeln zusammengesetzt sind, diese nennen sich Stufenreflektoren oder auch Multifocus-Reflektoren (siehe Abbildung 16), da jede Einzelfläche eine unterschiedliche Brennweite hat. Durch die unterschiedlichen Bezeichnungen der Reflektorflächen ( $A_1$ ,  $A_2$ , B, C) wird deutlich, dass die Grundparabel jeder Stufe eine andere Form besitzt.

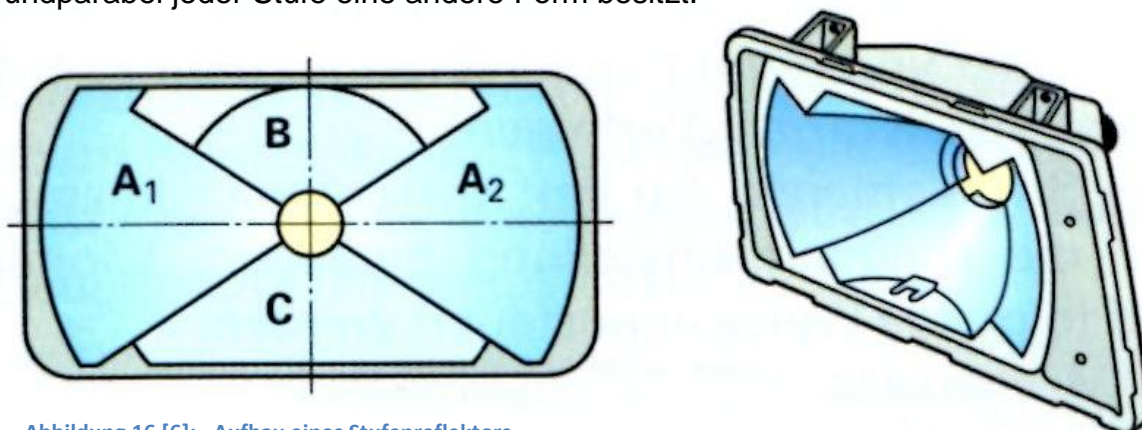


Abbildung 16 [6]: Aufbau eines Stufenreflektors

### 6.1.3 Freiformreflektor

Bei Freiformreflektoren (Abbildung 17) handelt es sich um eine Reflektorbauart mit stufenlos variablem Brennpunkt. Die Aufteilung erfolgt in vier Zonen (siehe Auflistung unten). Mit Hilfe von Computerprogrammen werden die Reflektorflächen in kleinste Teilflächen zerlegt und entsprechend der geforderten Brennweiten ausgelegt, dies geschieht mit Hilfe von numerischen Berechnungsverfahren.

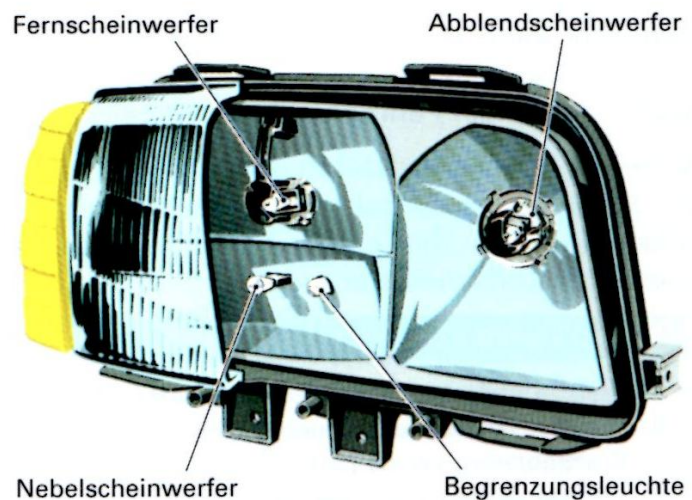


Abbildung 17 [6]: Scheinwerfer mit Freiformreflektor

Die Ausleuchtung der Fahrbahn wird folgendermaßen in Zonen unterteilt:

- Zone I: Asymmetrischer Sektor (Ausleuchtung der entfernten Zone, der rechten Fahrbahnseite).
- Zone II: Symmetrischer Sektor (Ausleuchtung der Zone unmittelbar unter der Hell-Dunkel-Grenze).
- Zone III: Nahfeldsektor (Primär zur Fahrbahnausleuchtung)
- Zone IV: Nahfeldsektor (Primär zur Kulissenausleuchtung)

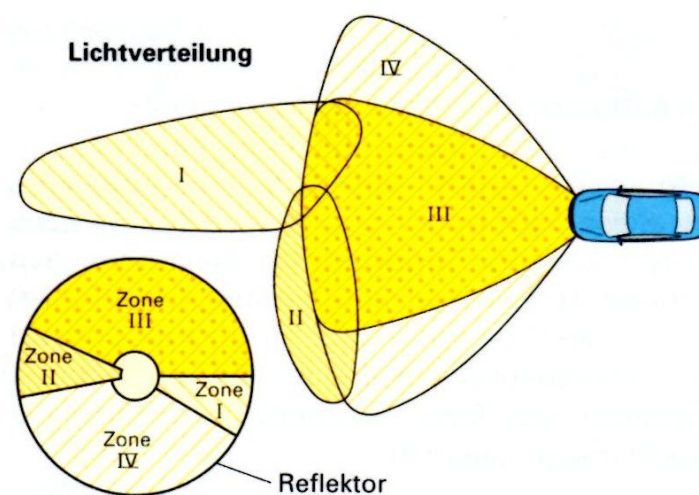
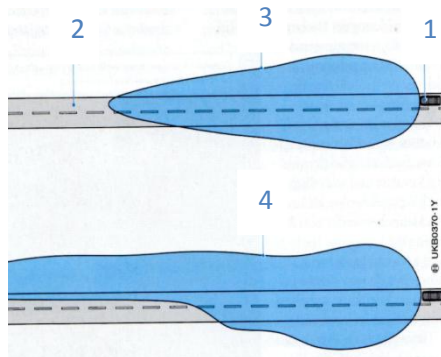


Abbildung 18 [6]: Freiformreflektor - Lichtverteilung



## 6.2 Asymmetrische Abstrahlung

Die asymmetrische Lichtverteilung beschreibt eine nach rechts (bei Rechtsverkehr) ansteigende Hell-Dunkel-Grenze, im Gegensatz zu einer waagrecht verlaufenden Hell-Dunkel-Grenze bei symmetrischer Lichtverteilung. Dies ermöglicht eine beträchtliche Erweiterung der Reichweite am rechten Fahrbahnrand, ohne dabei den Gegenverkehr zu blenden (siehe Abbildung 19).



- 1: Fahrzeug
- 2: Fahrbahn
- 3: Symmetrisches Abblendlicht
- 4: Asymmetrisches Abblendlicht

Abbildung 19 [7]: Lichtverteilung bei asymmetrischem Abblendlicht

Bei Parabolscheinwerfern wird die asymmetrische Ausleuchtung durch schräges Absetzen der Strahlenblende an der Glühlampe verwirklicht (siehe Abbildung 20). Die im  $15^\circ$  Winkel verlaufende Schräge wird auf den Reflektor und damit in Richtung der optischen Achse des Scheinwerfers projiziert. Die Blende hat damit einen Umschließungswinkel von weniger als  $180^\circ$ . Bei Betrieb von Freiformscheinwerfern wird die asymmetrische Ausleuchtung durch die Form des Reflektors vorgegeben, die Strahlenblende dient lediglich der Abschirmung des Lichtes in Fahrtrichtung.



- 1: Glühlampe
- 2: Strahlenblende

Abbildung 20 [7]: Glühlampe und Strahlenblende

### 6.3 Hell-Dunkel-Grenze

Sie beschreibt die Grenze zwischen zwei Zonen unterschiedlich starker Ausleuchtung. Die Hell-Dunkel-Grenze (HDG) ist für die Scheinwerfereinstellung und der daraus resultierenden Ausleuchtung der Straße maßgeblich. Es wird von Qualität einer HDG gesprochen, hierbei ist die Abgrenzungsschärfe zwischen den beiden Zonen gemeint. Die Qualität der HDG lässt sich Graphisch durch die Beleuchtungsstärke über dem Vertikalwinkel (Abstrahlwinkel) darstellen (siehe Abbildung 21,22).

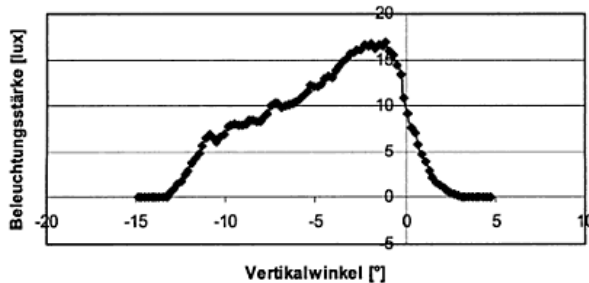


Abbildung 21 [17]: HDG weich

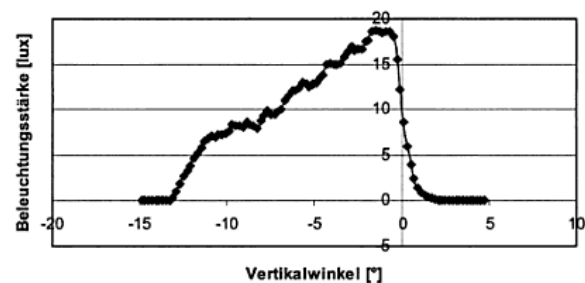
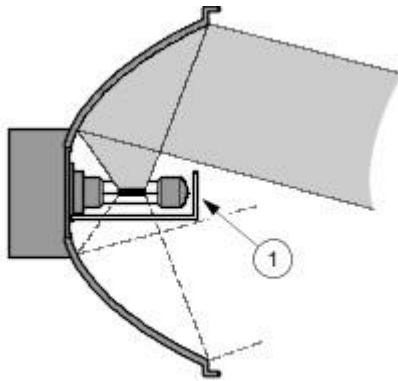


Abbildung 22 [17]: HDG scharf

Die Hell-Dunkel-Grenze wird durch die Anordnung der Glühlampe im Scheinwerfer realisiert. Die Lichtstrahlen werden vom Lichtaustrittspunkt gegen den Reflektor geworfen und von dort aus in Fahrtrichtung abgestrahlt.

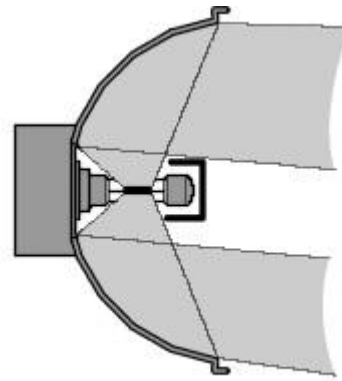
Bei Parabolscheinwerfern wird die Glühlampe vor dem Brennpunkt des Reflektors positioniert, um die Lichtstrahlen in einem Winkel, abweichend zur optischen Achse, zu bündeln. Dieser Winkel entspricht den gesetzlichen Anforderungen und verhindert bei Abblendlichtschaltung, die Blendung des Gegenverkehrs bei bestmöglicher Fahrbahnausleuchtung. An der Glühlampe ist eine Strahlenblende notwendig, um eine scharfe Hell-Dunkel-Grenze zu erzeugen, diese lässt das Licht nur auf den oberen Teil des Reflektors strahlen.

Bei Freiformscheinwerfern wird die HDG auf gleiche Weise erzeugt, jedoch ist der Scheinwerfer nicht nur mit einem Brennpunkt versehen, sondern hat durch die bereits beschriebene Geometrie unendlich viele Brennpunkte, welche aufgrund der präzisen Berechnungsverfahren und Fertigungsmechanismen eine bessere Lichtausbeute ohne Blendwirkung ermöglichen. Die verbesserte Lichtausbeute ist dadurch zu erklären, dass der Scheinwerfer die gesamte Reflektorfläche nutzen kann um das Licht gebündelt in Richtung Fahrbahn zu lenken. Hierbei ist auch zu beachten, dass eine wesentlich verbesserte Seitenausleuchtung, in Verbindung mit einer Hell-Dunkel-Grenze besserer Qualität, verwirklicht werden kann. Dazu kann die gläserne Streuscheibe mit optischen Elementen entfallen, was einerseits eine Gewichtersparnis zur Folge hat und andererseits dem Fahrzeugdesign entgegen kommt.



TIE41642

Abbildung 23 [18]: Erzeugung HDG eines Parabolcheinwerfers



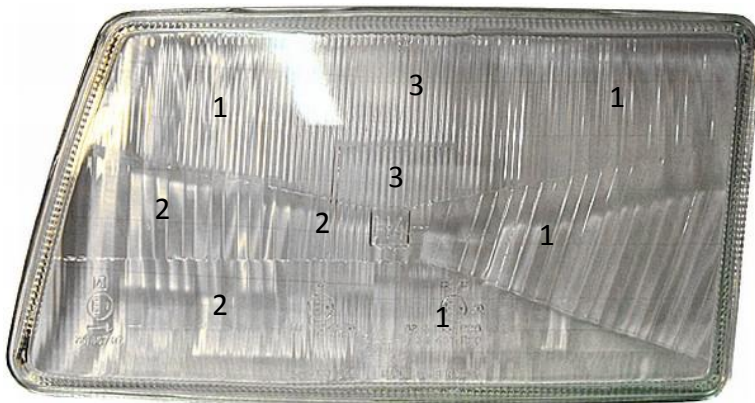
TIE41647

Abbildung 24 [18]: Erzeugung HDG eines Freiformscheinwerfers

Im direkten Vergleich (siehe Abbildung 23,24) wird deutlich, aus welchem Grund die Lichtausbeute bei einem Scheinwerfer mit Freiformreflektor wesentlich höher ist. Die Strahlenblende (1) der H4 Glühlampe deckt den im unteren Bereich auftreffenden Lichtkegel (siehe gestrichelte Linie) ab. Die Glühlampe des Freiformscheinwerfers besitzt lediglich eine Blende, um das Abstrahlen in Richtung der optischen Achse, also in Fahrtrichtung zu vermeiden. Diese Abschirmung ist notwendig, um die direkte Sicht auf das austretende Lichtbündel zu vermeiden und damit die Blendung zu minimieren.

## 6.4 Streuscheibe

Die Streuscheibe bildet die Abschlussscheibe des Scheinwerfers und ist mit optischen Elementen wie Linsen, Prismen und Kombinationen aus diesen ausgestattet (siehe Abbildung 25,26,27,28).



- 1: Linsenelemente
- 2: Prismenelemente
- 3: kombinierte Elemente

Abbildung 25: Optische Elemente einer Streuscheibe

### Linsenelemente:



Abbildung 26 [7]: Linsenelemente an Streuscheiben

### Prismenelemente:



Abbildung 27 [7]: Prismenelemente an Streuscheiben

### Kombinierte Elemente:

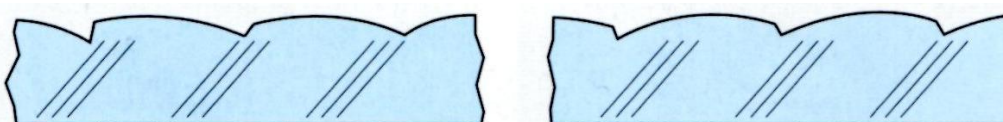


Abbildung 28 [7]: Kombination von Linsen und Prismen an Streuscheiben

Eine Streuscheibe soll das vom Reflektor abgegebene Licht gezielt ablenken, streuen oder bündeln, sodass ein Ausleuchtungseffekt auf der Fahrbahn entsteht.

Bei der Fertigung von Streuscheiben wird mit höchster Präzision gearbeitet und eine sehr genaue Oberflächenqualität angestrebt, um eine Blendung des Gegenverkehrs auszuschließen.

Zur Ausstrahlung des Lichtes aus dem Scheinwerfer müssen durchsichtige Medien wie Luft und / oder Glas verwendet werden, allerdings ist hierbei zu berücksichtigen, dass bei einem Übertritt von einem Medium in das andere auch eine Brechung es Lichtes (gemäß Brechungsgesetz, Kapitel 5.4) entsteht, daher ist der Auftreffwinkel entsprechend auszulegen. Der Grad der Reflexion beträgt beim Übergang zwischen Luft auf Glas bzw. von Glas auf Luft jeweils etwa 4,3% <sup>[7]</sup>, bei geradem Auftreffen.

Durch die bestimmt angeordneten Flächen (Prismen und Linsen) innerhalb der Streuscheibe werden ein weit reichendes Fernlicht und ein nicht blendendes Abblendlicht mit guter Fahrbahnausleuchtung verwirklicht, wobei die Güte der Fahrbahnausleuchtung von der Brennweite des Reflektors, aber auch von Art und Anordnung der optischen Elemente der Streuscheibe abhängig ist. An der Außenseite der Streuscheibe wird stets eine möglichst glatte Fläche angestrebt, um ein Ansetzen von Schmutzpartikeln zu vermeiden.

#### Streuscheibenwerkstoffe:

Streuscheiben bestehen aus einem Glas mit hohem Reinheitsgrad, welches blasenfrei sein muss, da Luftblasen innerhalb des Glases eine unerwünschte Brechungswirkung haben. Bei modernen Streuscheiben (ab 1992 <sup>[7]</sup>) werden Kunststoffe eingesetzt, um das Gewicht zu minimieren. Hierbei ist es notwendig, dass eine Lackschicht aufgetragen wird, um die Abschlussscheibe unempfindlich gegen Kratzer und Steinschläge zu machen. Bei Kunststoffscheiben ist vor allem die Formgebung beim Produktionsprozess vorteilhaft und weniger kostenintensiv.

### **6.5 Adaptive Scheinwerfersysteme**

Adaption bedeutet Anpassungsfähigkeit, das heißt der Scheinwerfer, bzw. das Lichtbild und die entsprechende Ausleuchtungsrichtung werden dem Straßenverlauf oder dem Fahrerwunsch nach Erfassung des Lenkwinkels angepasst.

#### **6.5.1 Abbiegelicht**

Bei Abbiegelicht wird eine Ausleuchtung der Fahrbahn schräg vor dem Fahrzeug (in Abbiegerichtung) ausgeleuchtet und gewährleistet damit eine bessere seitliche Ausleuchtung.

Das Abbiegelicht wird durch ein Extra zugeschaltetes Leuchtelement verwirklicht (siehe Abbildung 29), dies kann eine zusätzliche Glühlampe im Scheinwerfer sein, aber auch das Schalten des Nebelscheinwerfers auf der betreffenden Seite ist möglich.



Abbildung 29 [6]: Abbiegelicht im Scheinwerfermodul

### 6.5.2 Kurvenlicht

Das Kurvenlicht verwirklicht dieselben Merkmale wie das oben beschriebene Abbiegelicht, allerdings bei Kurvenfahrt und damit bei höherer Geschwindigkeit. Bei diesem System werden schwenkbare Optiken verwendet (siehe Abbildung 30), das heißt es gibt eine Blende, welche durch einen Elektromotor, oder einen Magnetschalter gedreht werden kann.

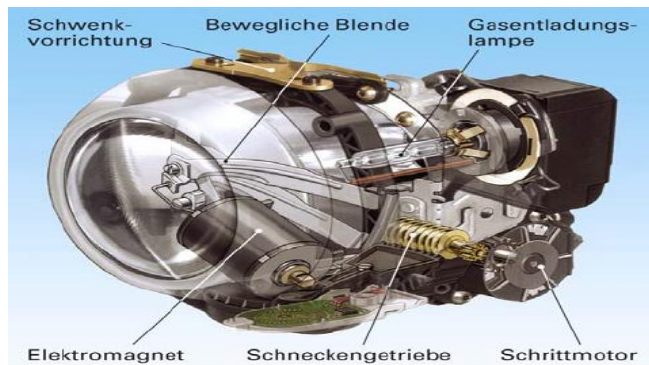


Abbildung 30 [6]: Scheinwerfer mit Kurvenlicht

#### Vergleich von Abbiegelicht und Kurvenlicht:

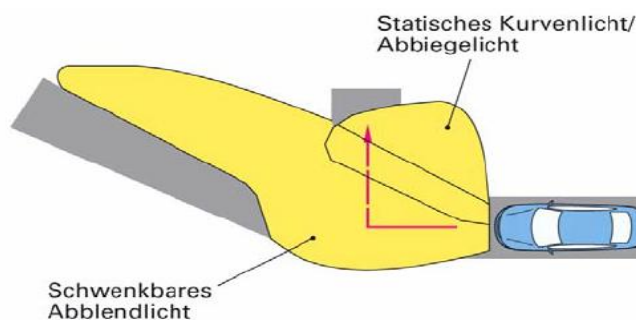


Abbildung 31 [6]: Vergleich: Abbiegelicht und Kurvenlicht

### 6.5.3 Adaptive Hell-Dunkel-Grenze (aHDG)

Hierbei wird zur Erzeugung der Lichtverteilungen auf Daten aus dem Fahrzeugumfeld zurückgegriffen. Eine Kamera detektiert entgegenkommende und vorausfahrende Fahrzeuge und mithilfe eines Schrittmotors wird die Walze eines Verstell-Moduls innerhalb weniger Millisekunden in die benötigte Position gedreht. Somit endet der Lichtkegel immer direkt vor den entgegenkommenden bzw. hinter den vorausfahrenden Fahrzeugen. <sup>[19]</sup>

## 6.6 LED-Scheinwerfer (Light Emitting Diode)

Durch die besondere Lichtfarbe kommt das LED-Licht dem natürlichen Licht der Sonne am nächsten und kommt somit den Gewohnheiten des Menschen entgegen. Hierdurch lässt sich ein hohes Maß an Sicherheit gewährleisten, weil die Ermüdungserscheinungen erst nach längeren Fahrzeiten bei Dunkelheit eintreten.



Abbildung 32 [6]: LED-Scheinwerfer

Bei LED-Scheinwerfern (siehe Abbildung 32) werden 40-70 Leuchtdioden parallel geschaltet und nebeneinander positioniert. Zum Betrieb dient eine Strombegrenzungselektronik. Zur besseren Lichtausbeute wird eine spezielle Leuchtschicht aufgetragen und ein integrierter Reflektor verwendet.

#### Vorteile eines LED-Scheinwerfers:

- Erhöhte Lebensdauer
- Tageslicht ähnlich
- Hohe Ausfallsicherheit
- Geringer Energiebedarf
- Schnelles Einschaltverhalten

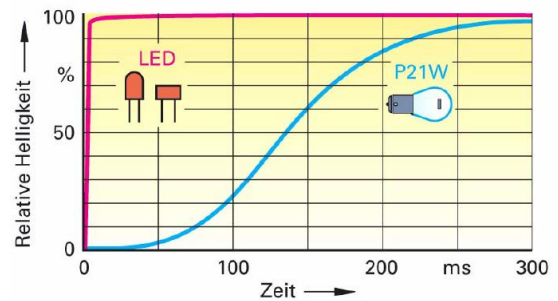


Abbildung 33 [6]: Vergleich des Einschaltverhaltens: LED-Glühlampe und herkömmliche Glühlampe

#### Die Beleuchtungsstärken [Lux] im Vergleich:



Abbildung 34 [6]: Lichtstrom Vergleich: LED / Xenon / Halogen

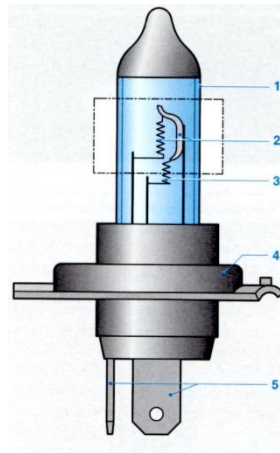
## 6.7 Leuchtmittel

Grundsätzlich werden zwei Arten von Lichtquellen unterschieden, zum einen die Temperaturstrahler, zu denen auch die Glühlampe und die Halogenlampe gehören und zum anderen die Gasentladungslampen, welche einen Lichtbogen durch elektrische Entladung in einem Gas bewerkstelligen.

### 6.7.3 Halogenlampen

Sie bringen eine Glühwendel durch Stromfluss zum Glühen und erzeugen damit durch Wärmeenergie eine Lichtausbeute. Allgemein haben Temperaturstrahler einen schlechten Wirkungsgrad, welcher bei etwa 10% liegt.

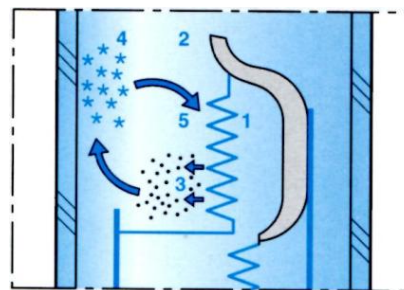
Halogenlampen werden mit einer oder zwei Glühwendeln (siehe Abbildung 35) hergestellt. Bei mehreren Wendeln ist eine Umschaltung auf Fernlicht im selben Scheinwerfer möglich, wenn nur eine Wendel vorhanden ist, muss ein Zusatzscheinwerfer für das Fernlicht vorgesehen werden.



- 1: Lampenkolben (Ausführung Glas)
- 2: Glühwendel für Ablendlicht mit Abdeckkappe
- 3: Glühwendel für Fernlicht
- 4: Lampensockel
- 5: elektrischer Anschluss

Abbildung 35 [7]: H4 Halogenlampe

Der Betrieb erfolgt durch Einsatz von Chlor, Jod oder Brom (Halogenfüllung), als Füllgas (siehe Abbildung 36). Die Abdeckkappe hat die Aufgabe den blendenden Teil des Ablendlichtes abzuschirmen und eine Hell-Dunkel-Grenze zu erzeugen. Die elektrische Leistung liegt bei 55 Watt für das Ablendlicht, bzw. bei 60 Watt für das Fernlicht.



- 1: Wolframglühwendel
- 2: Halogenfüllung
- 3: verdampftes Wolfram
- 4: Wolframhalogenid
- 5: Wolframablagerung

Abbildung 36 [7]: Prozess innerhalb einer Halogenlampe

Eine Halogenlampe hat den Vorteil, dass der Lampenkolben sich nicht durch Wolframablagerungen verfärbt. Die Temperatur des Wolframdrahtes kann bis zu 3400 °C (Schmelzpunkt) betragen. Durch diese hohen Temperaturen kann eine besonders hohe Lichtausbeute ausgenutzt werden. In der Lampe selber verbindet sich Wolfram mit dem Füllgas und bildet Wolframhalogenid, welches durchsichtig ist und damit die Lichtabstrahlung nicht behindert. Kommt dieser Stoff in die Nähe der Glühwendel, bei Temperaturen von mehr als 1400°C, zersetzt es sich und bildet eine gleichmäßige Schicht über dem Draht. Wichtig bei diesem Kreisprozess ist es, dass die Außentemperatur des Lampenkolbens stets über 300°C bleibt. Dazu ist der Raum zwischen Quarzglas und Glühwendel sehr eng gestaltet. Desweiteren wird die Gasfüllung unter Druck gesetzt um ein verdampfen des Wolframs zu verhindern.



## Übersicht der verwendeten Glühlampen in Kraftfahrzeugen<sup>[12]</sup>.

Kategorie	Wendel- anzahl	Leistung P/W	Bemerkungen
R2	2	45/40	Glühlampe der „Vor-Halogenzeit“. Sie findet nur noch selten Verwendung.
H1	1	55	Erste Halogenglühlampe für Kfz-Scheinwerfer.
H2	1	55	Halogenglühlampe in sehr kompakter Bauweise. Sie wird aus thermischen Gründen selten verwendet.
H3	1	55	Querwendel-Halogenglühlampe, häufig in Nebelscheinwerfern verwendet.
H4	2	60/55	Meistverwendete Halogenglühlampe für Zwei-Scheinwerfer-Systeme, d.h. Fernlicht und Abblendlicht sind ineinandergebaut.
HB3	1	60	Halogenglühlampe mit wasserdichter Steckverbindung vor allem für Fernlichtanwendung.
HB4	1	51	Halogenglühlampe mit wasserdichter Steckverbindung vor allem für Abblendlichtanwendung.
H7	1	55	Technischer Nachfolger der H1-Halogenglühlampe. Lichtausbeute, Sockel und Toleranzen wurden verbessert. Hauptanwendung: Freiformscheinwerfer.

Halogenlampen werden auf eine Prüfspannung von 13,2 Volt (laut ECE Richtlinie) ausgelegt, denn dort lässt sich der Beste Kompromiss zwischen Lebensdauer und Lichtausbeute darstellen (siehe Abbildung 37).

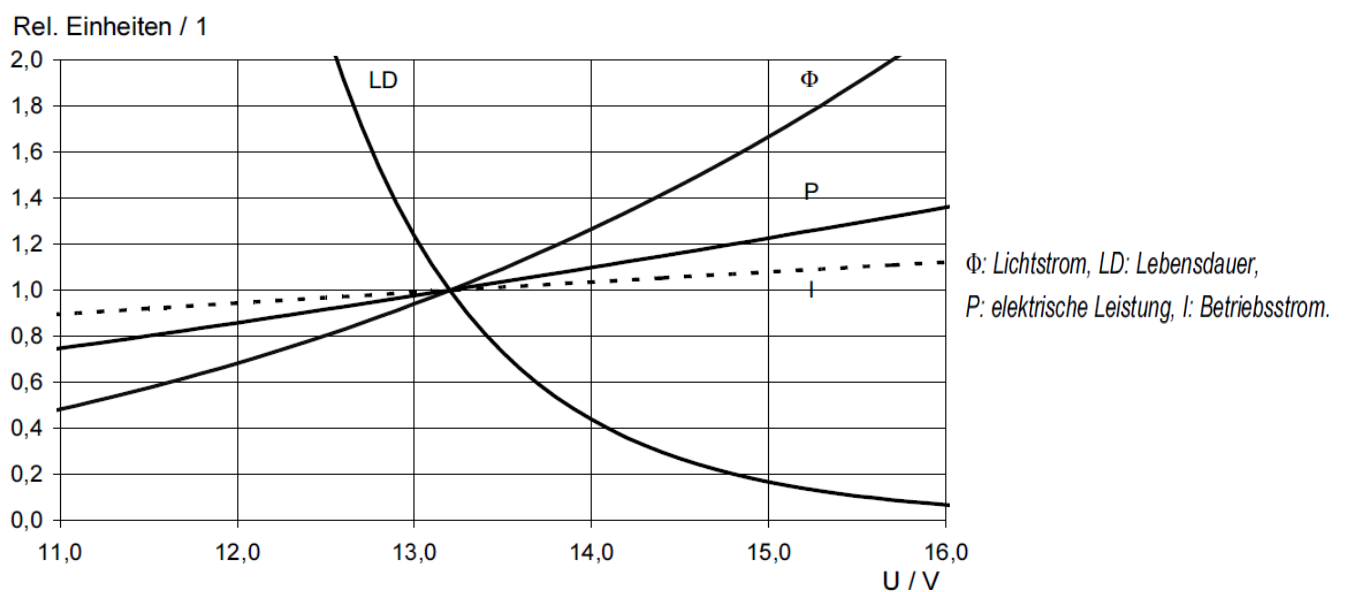
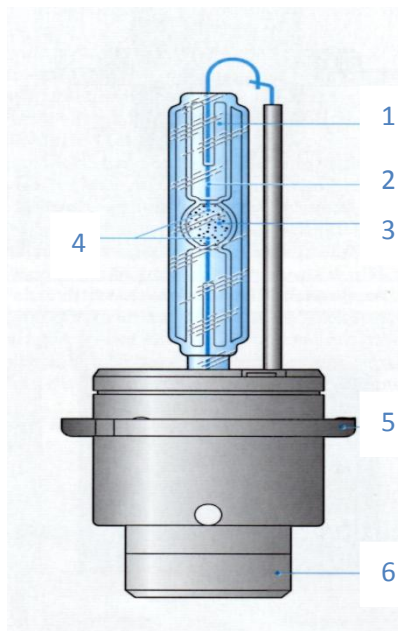


Abbildung 37 [13]: Spannungsabhängigkeit der Betriebsparameter von Halogenglühlampen bei anlegen einer Prüfspannung

### 6.7.4 Gasentladungslampen

Bei einer Gasentladungslampe (siehe Abbildung 38) wird durch eine hohe Spannung ein Gas ionisiert, durch welches sich die Spannung mittels eines Lichtbogens entlädt. Als Medium wird das Gas „Xenon“ verwendet, welches Namensgeber des Beleuchtungssystems ist. Desweiteren werden dem Gas Metallsalze zugeführt, diese verdampfen während des Entladevorganges und setzen Energie, in Form von Wärme und Licht, frei. Zur Zündung wird ein Vorschaltgerät benötigt, welches eine Spannung von ca. 10000 bis 20000 Volt erzeugt und eine Betriebsspannung von 85 Volt bereitstellen kann.



- 1: UV-Schutzglaskolben
- 2: elektrische Durchführung
- 3: Entladungsraum
- 4: Elektroden
- 5: Lampensockel
- 6: elektrischer Anschluss

Abbildung 38 [7]: Gasentladungslampe

#### Vorteile:

- Geringere Leistungsaufnahme
- Tageslicht ähnliche Farbe
- Höhere Lebensdauer
- Höhere Lichtausbeute

#### Nachteile:

- Lange Einschaltdauer (2...5 Sekunden)
- Hohe Kosten

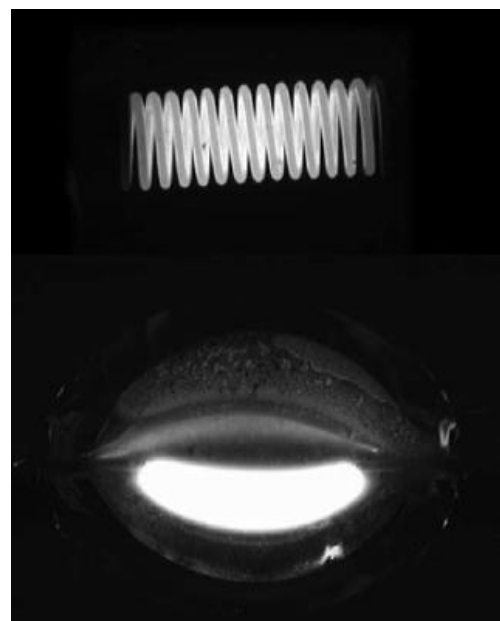


Abbildung 39 [16]: Vergleich Glühwendel und Gasentladungslampe

## 7 Versuch

Im Rahmen des Versuches werden unterschiedliche Beeinträchtigungen der Streuscheibe untersucht, dazu dienen Abschlusscheiben mit unterschiedlichen Beschädigungen und Abdeckungen. Zur Prüfung wird ein Modell verwendet, welches einem Scheinwerfer im Kraftfahrzeug nachempfunden ist (siehe Abbildung 40). Zur Auswertung dient ein Scheinwerfereinstellgerät mit Erfassung von Hell-Dunkel-Grenze und asymmetrischer Lichtverteilung.

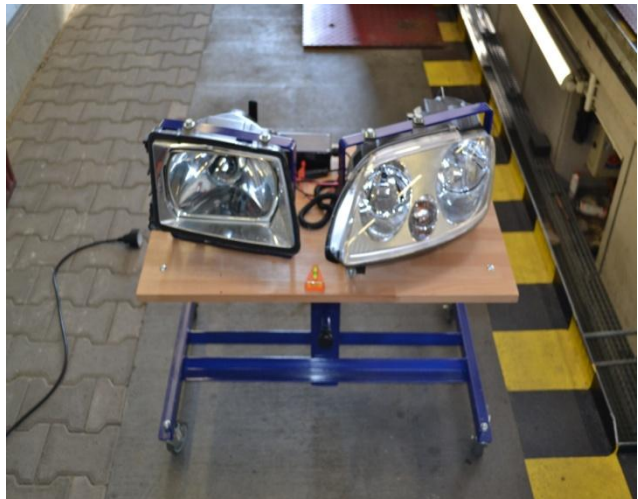


Abbildung 40: Prüfstandsmodell H4 Scheinwerfer

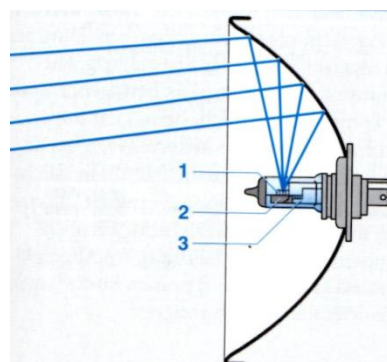
### 7.1 Prüfstandsmodell

#### 7.1.1 Scheinwerfer

Bei dem Scheinwerfer des Prüfstandsmodells handelt es sich um eine Beleuchtungseinheit aus einem Audi 100, Typ C3. Er wurde von August 1982 bis November 1990 hergestellt. Die Ausführung des Scheinwerfers ist ein Parabolscheinwerfer mit Stufenreflektor. Bei der Lichtquelle handelt es sich um eine H4 Halogenlampe. Es ist eine Abschlusscheibe mit Streuoptik montiert, welche die Lichtverteilung beeinflusst.

#### Erzeugung der Hell-Dunkel-Grenze bei Ablendlicht:

Die Hell-Dunkel-Grenze wird durch das Anbringen der H4 Lampe vor dem Brennpunkt des Reflektors hergestellt, zusätzlich ist eine Abdeckung der Glühwendel verbaut, welche ein Abstrahlen (bei Ablendlicht) auf die untere Hälfte des Reflektors verhindert. Die Lichtstrahlen treten somit nicht parallel zur optischen Achse aus dem Scheinwerfergehäuse aus, sondern in einem vorgegebenen Winkel (siehe Abbildung 41). Außerdem wird durch die bestimmte Lage der Abschirmkappe bereits eine Asymmetrie erreicht, welche den geforderten  $15^\circ$  entspricht. Es entstehen allerdings dunkle Zonen, welche durch die Streuscheibe ausgeglichen werden sollen.

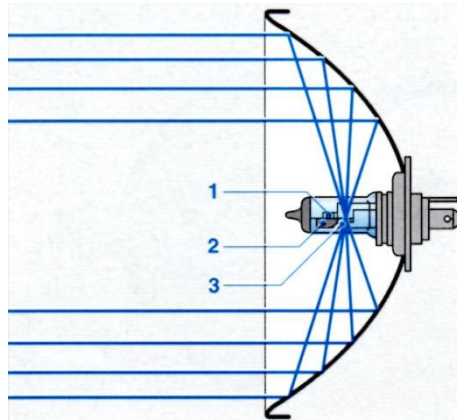


- 1: Wendel für Ablendlicht
- 2: Abdeckkappe / Strahlenblende
- 3: Wendel für Fernlicht

Abbildung 41 [7]: Erzeugung einer Hell-Dunkel-Grenze eines H4 Scheinwerfers

### Fernlichtschaltung:

Die Fernlichtwendel sitzt im Brennpunkt des Reflektors und besitzt keine umlaufende Abschirmkappe, damit wird ein quasi paralleles Lichtbündel (siehe Abbildung 42) abgestrahlt, welches eine bestmögliche Ausleuchtung der Straße ermöglicht. Die Fernlichtschaltung ist bei dem Prüfmodell nicht möglich, da es sich um ein reines Modell zur Abblendlichtverteilung handelt.

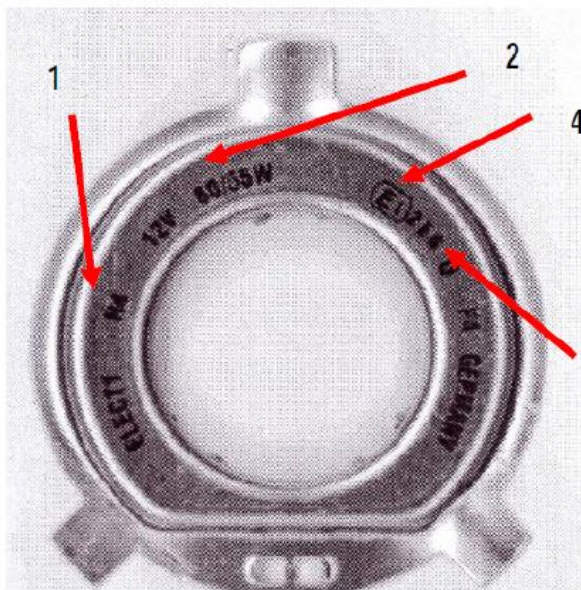


- 1: Wendel für Abblendlicht
- 2: Abdeckkappe / Strahlenblende
- 3: Wendel für Fernlicht im Brennpunkt

Abbildung 42 [7]: Quasi parallele Abstrahlung des Fernlichtes eines H4 Scheinwerfers

### 7.1.2 Leuchtmittel

Bei dem verwendeten Leuchtmittel handelt es sich um eine H4 Lampe (siehe Abbildung 43).



- 1. Internationale Bezeichnung H 4
- 2. Elektrische Merkmale  
12V 60 / 55 Watt
- 3. UV Grenzwerte
- 4. Konformitätskennzeichen EU- Land  
E 1 ..... je nach Herstellerland

Abbildung 43 [12]: Kennzeichnungen auf dem Sockel einer H4 Halogenlampe

### 7.1.3 Streuscheibe

Bei der montierten Abschlusscheibe des Scheinwerfers handelt es sich um eine Glasscheibe, welche mit optischen Elementen versehen ist. Das Glas wird zur Verbesserung der thermischen Belastbarkeit vorgespannt. Dies geschieht während der Fertigung durch thermische Einwirkungen, d.h. die Oberfläche des Glases weist im Grundzustand eine Zugspannung auf und kann somit den auftretenden Druckspannungen beim Abkühlen der Scheibe besser standhalten (siehe Abbildung 44).

Scheibenmaterial	$\Delta T / K$	v-Bruch / km·h <sup>-1</sup>	optische Qualität	Styling-Flexibilität	Kosten
Glas	85	80	mittel	schlecht	gering
Glas thermisch vorgespannt	130	80	mittel	schlecht	mittel
Borsilikatglas	150	80	mittel	schlecht	hoch
Polycarbonat	>>150	>180	gut	gut	hoch

Abbildung 44 [14]: Eigenschaften von Materialien für Scheinwerferabdeckscheiben

<u><math>\Delta T/K</math>:</u>	Temperaturänderung bis zum Eigenbruch in Kelvin
<u>v-Bruch:</u>	Auftreffgeschwindigkeit eines Prüfkörpers (Stahlkugel, 4g) bis zum Bruch in km/h
<u>optische Qualität:</u>	Ansprechendes Aussehen
<u>Styling Flexibilität:</u>	Verformbarkeit / Anpassungsfähigkeit an anspruchsvolle Scheinwerfergeometrien

Die Veränderung der Lichtverteilung, durch die Streuscheibe, lässt sich in zwei Funktionen unterteilen<sup>[15]</sup>.

1. Durch die bestimmte Anordnung der Prismen kann die Ausleuchtung im mittleren Bereich der Fahrbahn gewährleistet und im Fernfeldbereich eine möglichst hohe Lichtausbeute dargestellt werden.
2. Zylinderlinsen optimieren die Ausleuchtung im Nahfeldbereich und dienen der Seitenstreuung.

Durch die Lage der Streuscheibe ist eine Korrektur nur in gewissem Rahmen möglich, denn Faktoren wie Neigung (Drehung um die horizontale Achse) und Pfeilung (Drehung um die vertikale Achse) stellen die Lichtverteilung vor Grenzen (siehe Abbildung 45). Pfeilung und Neigung sind durch das Fahrzeugdesign und die Aerodynamik vorgegeben.

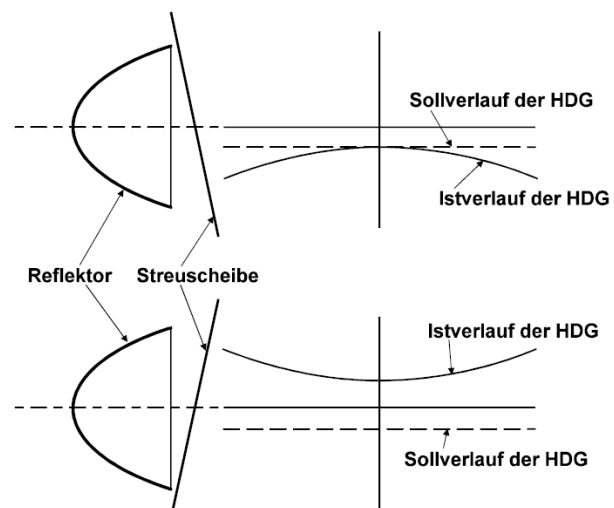
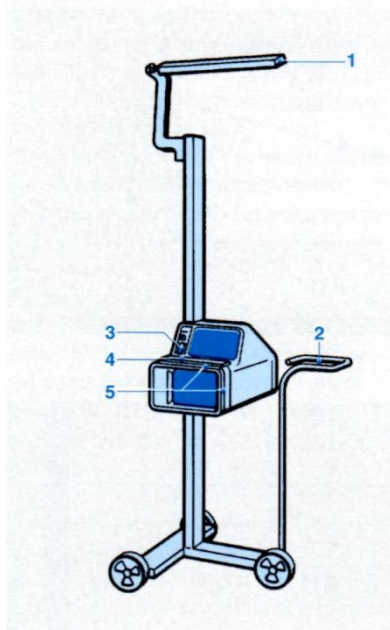


Abbildung 45 [15]: Einfluss der Streuscheibenlage auf die HDG

## 7.2 Messgerät

Zur Analyse des Lichtbildes wird die Lichtverteilung mittels eines Scheinwerfereinstellgerätes mit Kontrollfunktion für asymmetrisches Abblendlicht und Darstellung der Hell-Dunkel-Grenze angewendet. Möglichkeit der Überprüfung des Fernlichtes per Zentralmarke.

Das Scheinwerfereinstellgerät (siehe Abbildung 46) ist eine fahrende Abbildungskammer, es besteht aus einer einfachen Linse und einem damit verbundenen Auffangschirm. Der Auffangschirm mit Sichtfenster (siehe Abbildung 47) liegt im Brennpunkt der Linse, somit kann eine gute Sichtbarkeit des austretenden Lichtbündels gewährleistet werden.



### Technische Daten:

Hersteller: L.E.T Belgien

Typ: LM6

Handelsbezeichnung: Luminoscope

- 1 Ausrichtspiegel
- 2 Fahrgriff
- 3 Luxmeter
- 4 Umlenkspiegel
- 5 Markierungen für Linsenmitte

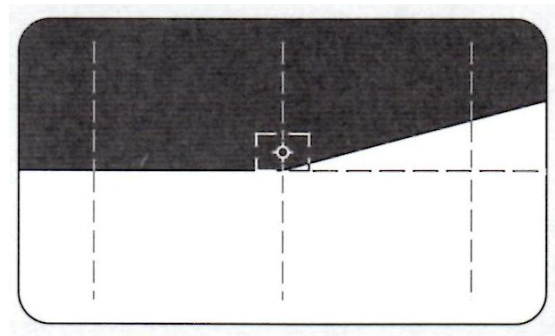


Abbildung 47 [7]: Sichtfenster im Einstellprüfgerät

Abbildung 46 [7]: Scheinwerfereinstellgerät

Das vorgeschriebene Einstellmaß für die Ausrichtung des Einstellgerätes zum Scheinwerfer kann mittels Spiegel und mindestens zwei Fixpunkten justiert werden, hierbei wird das Prüfgerät so gedreht, sodass zwei äußere Bezugsmarken am Fahrzeug visuell erfasst werden und gleichzeitig auf der Visierlinie liegen (siehe Abbildung 48). Das Einstellgerät kann mittels einer Höhenverstelleinrichtung an die Höhe des zu prüfenden Scheinwerfers angepasst werden.

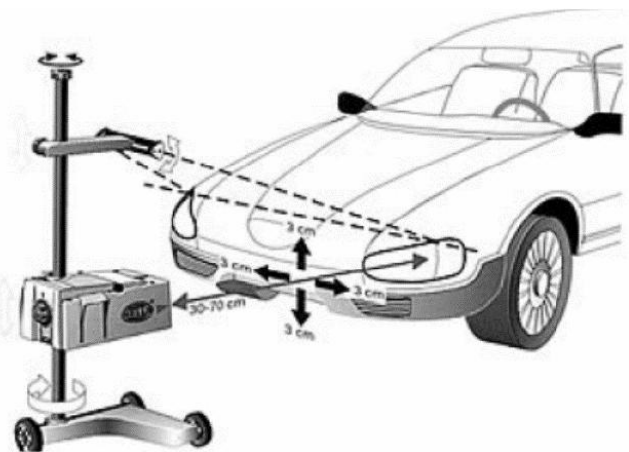


Abbildung 48 [17]: Ausrichtung des Scheinwerfereinstellgerätes

Ist das Gerät ausgerichtet, kann bei eingeschaltetem Ablendlicht die HDG im Sichtfenster kontrolliert werden. Die HDG muss die waagerechte Begrenzungslinie berühren. Der Schnittpunkt zwischen waagrechttem und ansteigendem Teil muss auf der Senkrechten durch die Zentralmarke liegen (siehe Abbildung 49). Das Fernlichtlichtbündel muss innerhalb der Begrenzungsecken um die Zentralmarke liegen.

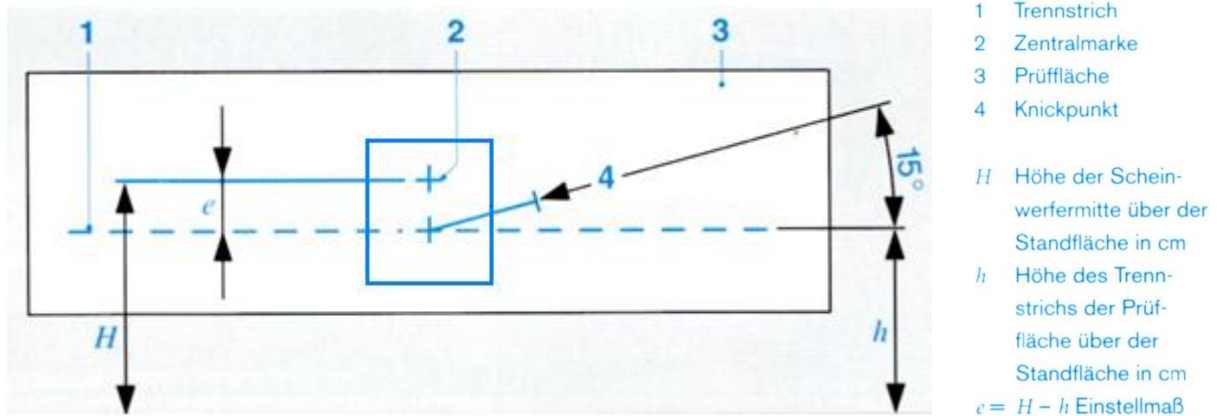


Abbildung 49 [7]: Prüffläche für Scheinwerferlicht

Der Untergrund des Fahrzeuges und Prüfgerätes muss eben sein und auf gleicher Höhe liegen, siehe dazu DIN ISO 10604 (Beschaffenheit und Zustand des Bodens).

### 7.3 Versuchsaufbau

Das Prüfmodell wird wie zuvor beschrieben, auf das Scheinwerfereinstellgerät ausgerichtet. Hierzu wird die Prüfstraße des TÜV-Nord genutzt, welche den Prüfvorschriften entspricht (siehe Abbildung 50).



Abbildung 50: Versuchsaufbau in der Prüfhalle

## 7.4 Versuchsvorbereitung

Da Beschädigungen an der Streuscheibe definiert zugeführt werden sollen, ist es notwendig, die einzelnen Bereiche zu benennen und zu kennzeichnen (siehe Abbildung 51,52). Die Streuscheibe wird in elf Zonen unterteilt und sichtbar nummeriert. Die jeweiligen Zonen weisen unterschiedliche Aufteilungen von optischen Elementen auf, die Bereichsgrenzen schließen mit diesen Elementen ab. Desweiteren muss klar gestellt werden, welche Zone der Abschlusscheibe für welchen Ausleuchtungsbereich sinnvoll sind.

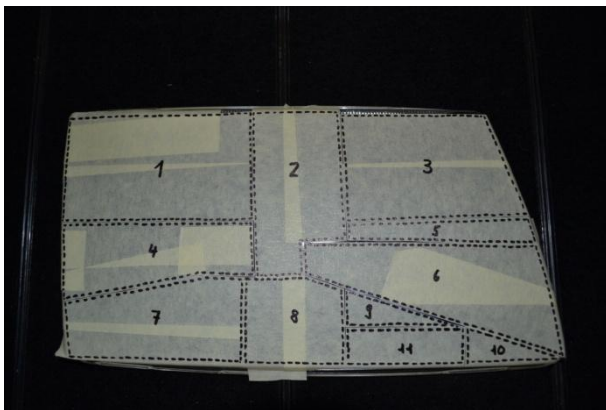


Abbildung 51: Unterteilung der Streuscheibe in verschiedene Zonen

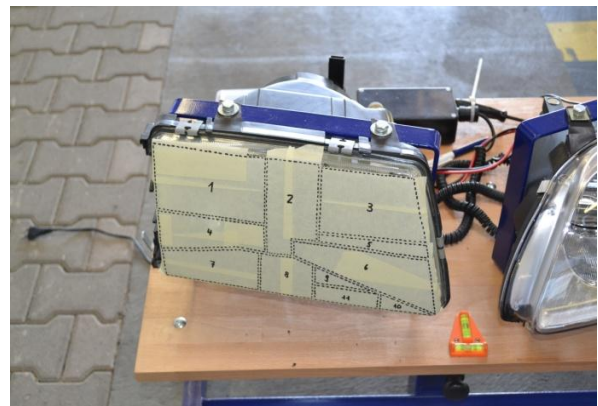


Abbildung 52: Montierte Streuscheibe mit Unterteilung

Der Scheinwerfer wird zunächst ohne Streuscheibe betrieben (siehe Abbildung 53,54). Hierbei ist eindeutig zu entnehmen, dass die Streuscheibe vor allem den nicht ausgeleuchteten Bereich („Dunkler Fleck“) im rechten unteren Feld beeinflusst. Auch der Bereich der HDG auf der linken Seite und die Zone links unten werden ungünstig beeinträchtigt.



Abbildung 53: Scheinwerfer ohne Streuscheibe

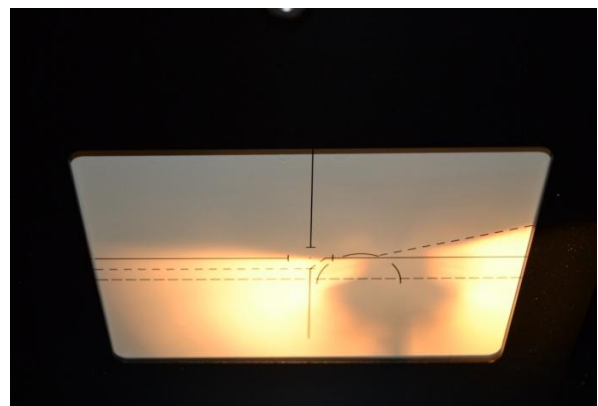


Abbildung 54: Lichtbild ohne Streuscheibe



Um eine Aussage über die Funktion der einzelnen Zonen zu bekommen, werden nun Schrittweise Abdeckungen entfernt und die jeweiligen Ausleuchtungen beschrieben und dokumentiert.

Abdeckung der Zonen: 1,2,3,4,5,6,7,8,9,11

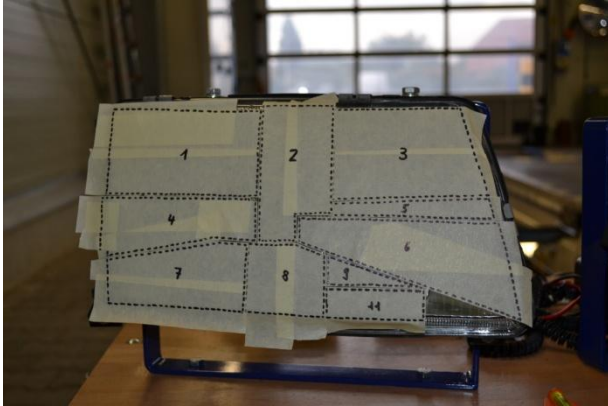


Abbildung 55: Scheinwerfer mit Abdeckung der Zonen 1,2,3,4,5,6,7,8,9,11

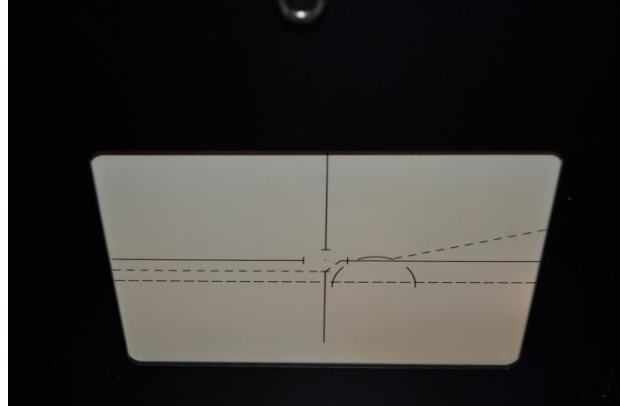


Abbildung 56: Lichtbild mit Abdeckung der Zonen 1,2,3,4,5,6,7,8,9,11

- Ausleuchtung im unteren Bereich leicht verbessert.

Abdeckung der Zonen: 1,2,3,4,5,6,7,8,9

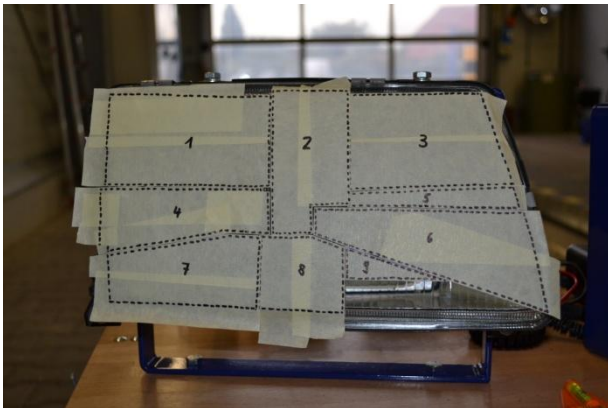


Abbildung 57: Scheinwerfer mit Abdeckung der Zonen 1,2,3,4,5,6,7,8,9

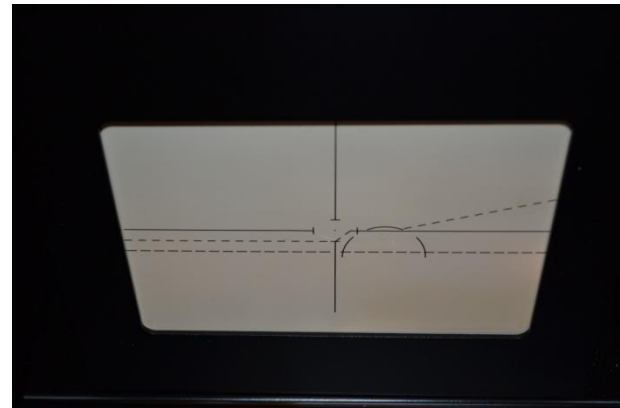


Abbildung 58: Lichtbild mit Abdeckung der Zonen 1,2,3,4,5,6,7,8,9,11

- Keine sichtbaren Veränderungen.

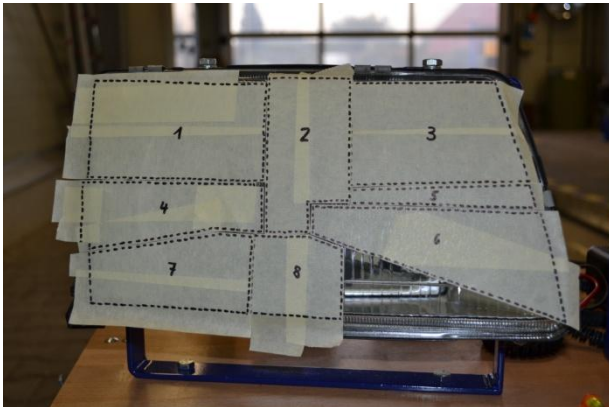
Abdeckung der Zonen: 1,2,3,4,5,6,7,8

Abbildung 59: Scheinwerfer mit Abdeckung der Zonen 1,2,3,4,5,6,7,8

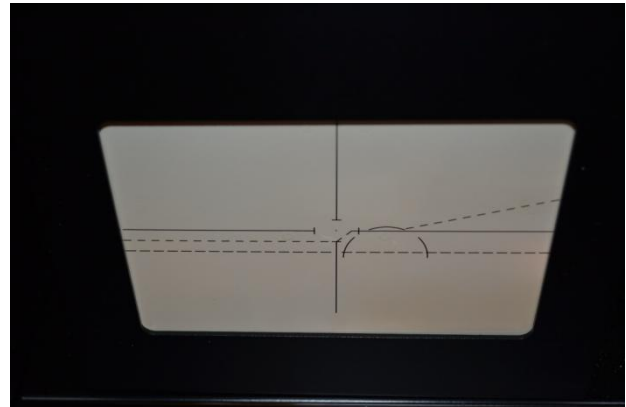


Abbildung 60: Lichtbild mit Abdeckung der Zonen 1,2,3,4,5,6,7,8

- Keine sichtbaren Veränderungen.

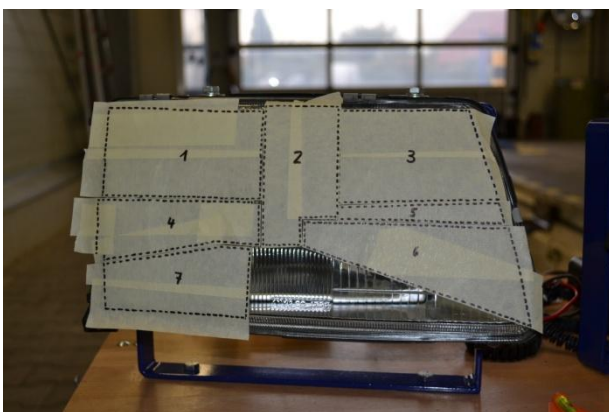
Abdeckung der Zonen: 1,2,3,4,5,6,7

Abbildung 61: Scheinwerfer mit Abdeckung der Zonen 1,2,3,4,5,6,7

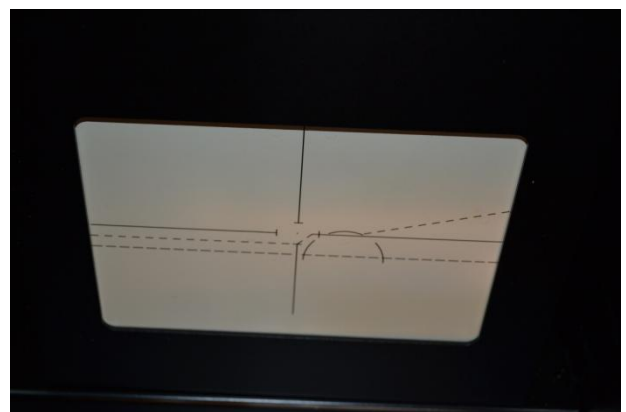


Abbildung 62: Lichtbild mit Abdeckung der Zonen 1,2,3,4,5,6,7

- Bessere Ausleuchtung um die Hell-Dunkel-Grenze.

Abdeckung der Zonen: 1,2,3,4,5,6

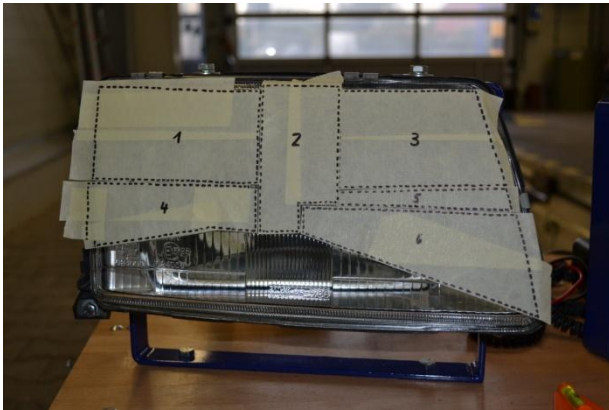


Abbildung 63: Scheinwerfer mit Abdeckung der Zonen 1,2,3,4,5,6

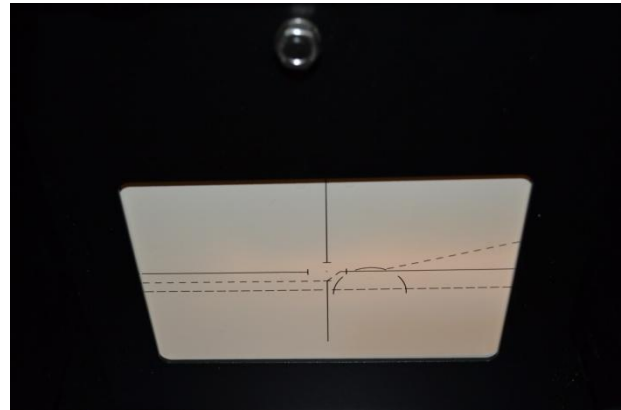


Abbildung 64: Lichtbild mit Abdeckung der Zonen 1,2,3,4,5,6

- Geringe Verbesserung im linken Bereich der HDG.

Abdeckung der Zonen: 1,2,3,4,5

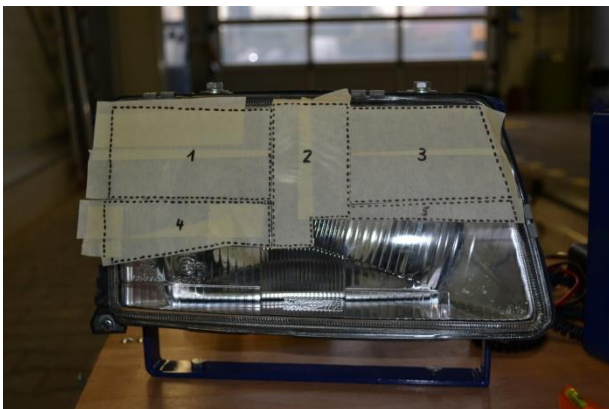


Abbildung 65: Scheinwerfer mit Abdeckung der Zonen 1,2,3,4,5

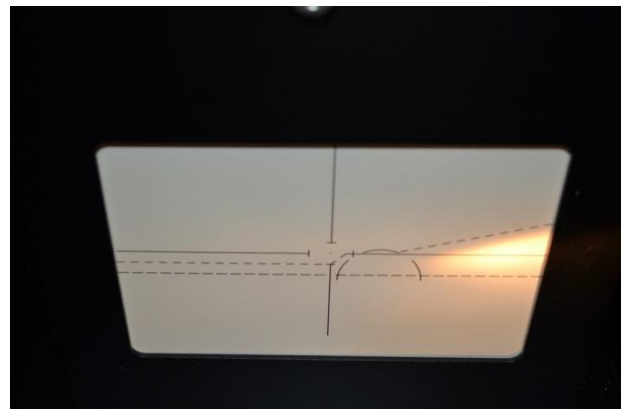


Abbildung 66: Lichtbild mit Abdeckung der Zonen 1,2,3,4,5

- Starke Verbesserung der Lichtausbeute im rechten asymmetrischen Bereich.

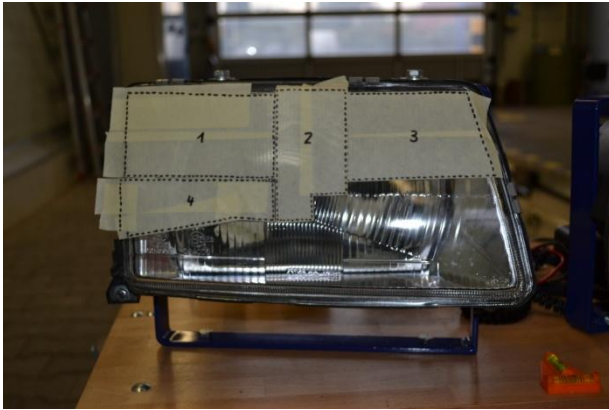
Abdeckung der Zonen: 1,2,3,4

Abbildung 67: Scheinwerfer mit Abdeckung der Zonen 1,2,3,4

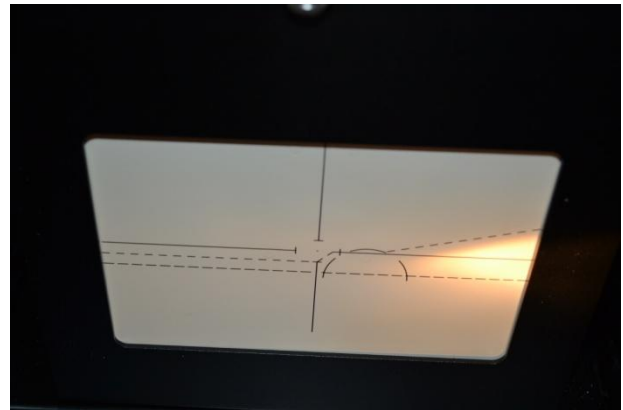


Abbildung 68: Lichtbild mit Abdeckung der Zonen 1,2,3,4

- Bessere Lichtausbeute im linken asymmetrischen Bereich.

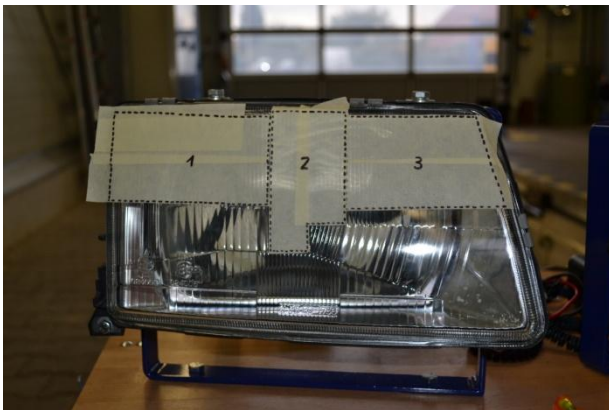
Abdeckung der Zonen: 1,2,3

Abbildung 69: Scheinwerfer mit Abdeckung der Zonen 1,2,3

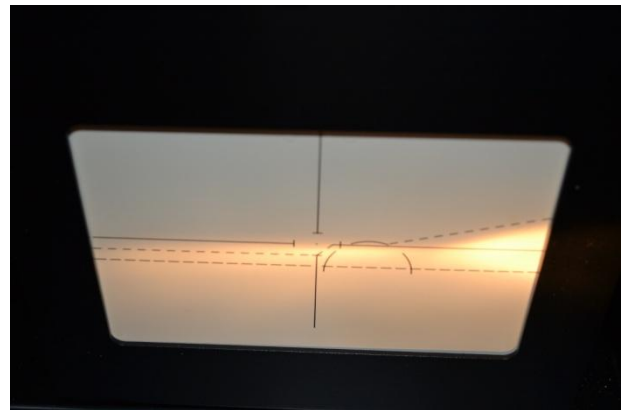


Abbildung 70: Lichtbild mit Abdeckung der Zonen 1,2,3

- Starke Änderung im linken Bereich der HDG.
- Verbesserung der Ausleuchtung im gesamten unteren Bereich.

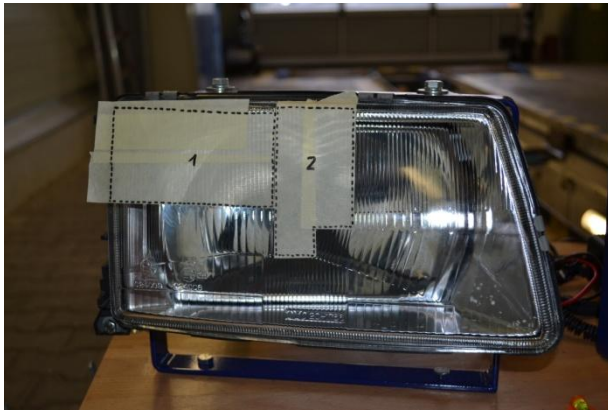
Abdeckung der Zonen: 1,2

Abbildung 71: Scheinwerfer mit Abdeckung der Zonen 1,2

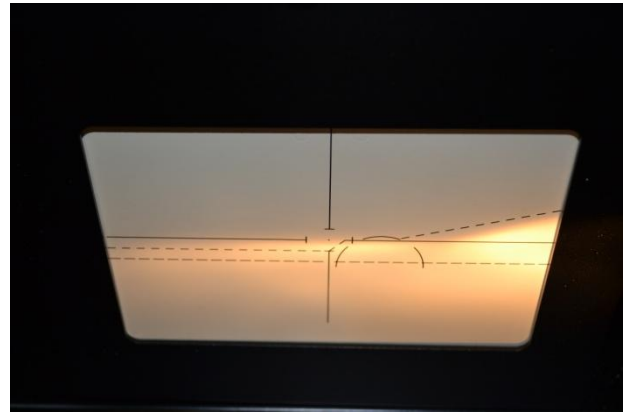


Abbildung 72: Lichtbild mit Abdeckung der Zonen 1,2

- Stärkere Ausleuchtung im unteren rechten Bereich.

Abdeckung der Zone: 1

Abbildung 73: Scheinwerfer mit Abdeckung der Zone 1

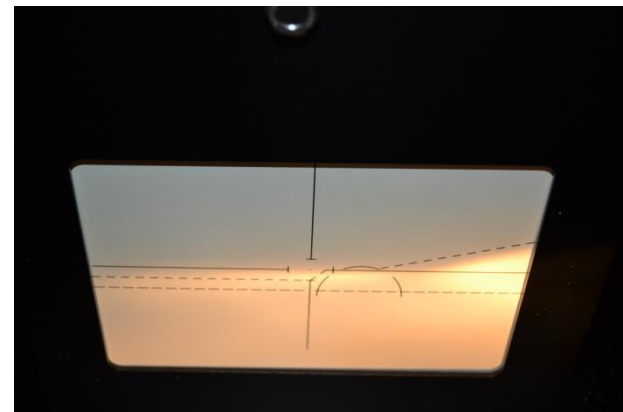


Abbildung 74: Lichtbild mit Abdeckung der Zonen 1

- Bessere Ausleuchtung im unteren linken Bereich.

Keine Abdeckung:

Abbildung 75: Scheinwerfer ohne Abdeckung

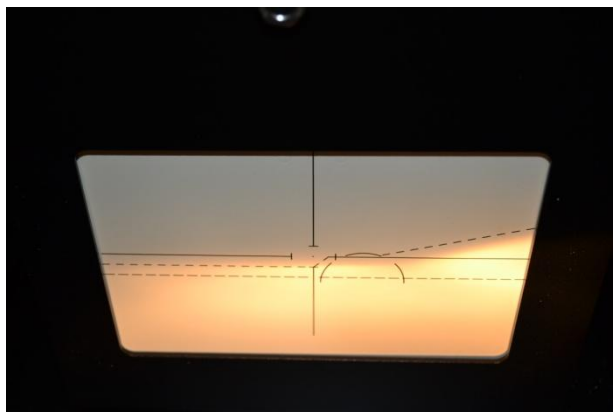


Abbildung 76: Lichtbild ohne Abdeckung

- Ausleuchtungsverbesserung im unteren mittleren Bereich.

Mit diesen gewonnenen Kenntnissen lassen sich Einflüsse von Beschädigungen und Abdeckungen vorhersagen. Vor allem kann ausgeschlossen werden, dass eine Sichtbeeinträchtigung bei Beschädigung in den Bereichen 9,10 und 11 vorliegen wird. Dadurch kann ein negativer Einfluss als Blendefahrer für den Gegenverkehr jedoch nicht ausgeschlossen werden.

Die Beschädigungen lassen sich in drei Gruppen unterteilen:

1. *Beschädigungen ohne Beeinträchtigung der Sichtverhältnisse*  
→ Zonen: 9,10,11
2. *Beschädigungen mit geringem Einfluss auf die Sichtverhältnisse*  
→ Zonen: 5,7,8
3. *Beschädigungen mit hohem Einfluss auf die Sichtverhältnisse*  
→ Zonen: 1,2,3,4,6

Beschädigungen an den Streuscheiben werden demnach in den Bereichen mit hohem Einfluss auf die Sichtverhältnisse zugeführt (siehe Kapitel 7.9.2).

## 7.5 Untersuchungsgegenstände

### 7.5.1 Abdeckung am Scheinwerfer (diagonal 50%)

Abdeckungen an Scheinwerfern können in der Praxis häufig als Zubehör für Fahrzeuge im Fachhandel erworben werden. Wie groß die abgedeckte Fläche ist, hängt im Allgemeinen von der Karosserieform und der Geometrie der Scheinwerferblenden ab. Diese, als „Böser Blick“ bezeichnete „Designmaßnahme“, wird im Folgenden untersucht, um festzustellen, welche Abdeckungen an der Streuscheibe eine Beeinträchtigung im Lichtbild bewirken.



Abbildung 77: Abdeckung der Streuscheibe diagonal 50%

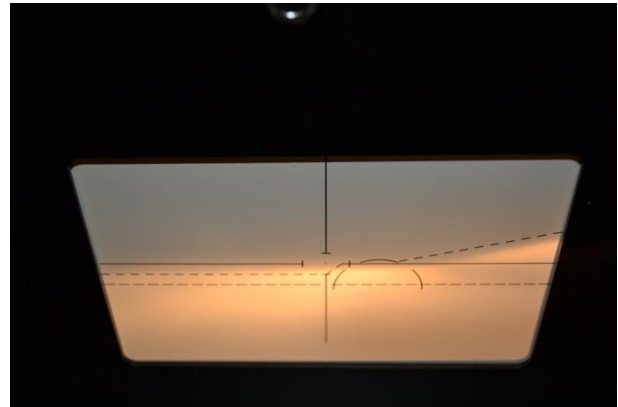


Abbildung 78: Lichtbild bei Abdeckung diagonal 50%

- Es ist eine deutliche Verminderung der Ausleuchtung im unteren Bereich zu erkennen.
- Der asymmetrische Bereich ist stark beeinflusst.

### 7.5.2 Abdeckung am Scheinwerfer (diagonal 25%)



Abbildung 79: Abdeckung der Streuscheibe diagonal 25%

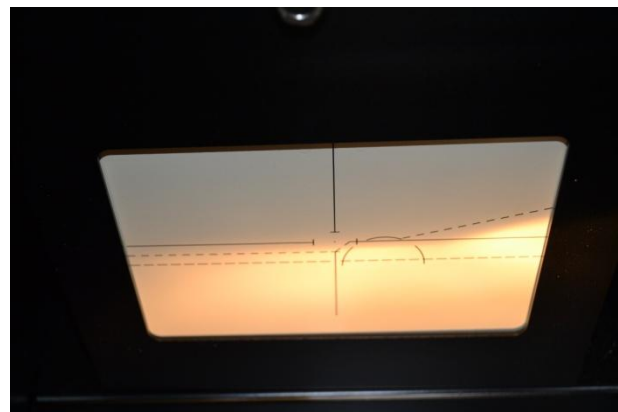


Abbildung 80: Lichtbild bei Abdeckung diagonal 25%

- Im unteren Bereich ist eine leichte Beeinflussung der Ausleuchtung festzustellen.

### 7.5.3 Beschädigte Streuscheiben

Zunächst werden die Streuscheiben definiert beschädigt, dazu werden bestimmte Bereiche festgelegt, in denen von einer Beeinträchtigung auszugehen ist. Die Zonen 1,2,3,4 und 6 haben große Einflüsse auf die Sichtverhältnisse ergeben, daher werden die Beschädigungen in diesen Bereichen zugeführt. Dies geschieht durch Beschuss der Streuscheiben mit Steinen, welche den genannten Prüfkörpern (Stahlkugel,  $m=4g$ ) ähneln. Der verwendete Stein hat einen Durchmesser von ca. 10mm und ein Gewicht von 4,5g. Die Schussgeschwindigkeit wird bis zu einer eintretenden Beschädigung erhöht, um die Abschlusscheibe nicht komplett zu zerstören.



Abbildung 81: Stein als Geschoss



Abbildung 82: Beschädigung Zone 6



Abbildung 83: Beschädigung Zone 4



Abbildung 84: Beschädigung Zone 1



Abbildung 85: Beschädigung Zone 2



Abbildung 86: Beschädigung Zone 3 und 5



Abbildung 87: Beschädigung Zone 4



#### 7.5.4 Vergleich reale und künstliche Beeinträchtigungen

Das Prüfverfahren mit einer Stahlkugel wird bewusst nicht verwendet, da dies lediglich für die Hersteller der Streuscheiben relevant ist, um einen Vergleich möglich zu machen. Durch dieses „Prüfgeschoss“ kann festgelegt werden ab welcher Auftreffgeschwindigkeit ein Glasbruch auftritt, es kann jedoch nicht als realitätsnah bezeichnet werden.

Das Einbringen der Schäden durch Steine kommt der Realität am nächsten, da die meisten Beschädigungen im Fahrbetrieb durch aufgewirbelte Steine des voraus fahrenden Fahrzeuges stammen. Die Größe des Steines variiert hierbei natürlich, schlägt aber dennoch auf ähnliche Weise auf der Streuscheibe auf. Allein der Auftreffwinkel ist, je nach Anbauhöhe des Scheinwerfers und Entfernung des voraus fahrenden Fahrzeuges, variabel. Der Beschuss der Scheibe erfolgt in Richtung der optischen Achse, um die entsprechende Zone korrekt zu treffen, hierbei ist davon auszugehen, dass sich die gesamte kinetische Energie in erster Näherung in die Streuscheibe einprägt und damit in Verformungsenergie umwandelt wird. Durch dieses Verfahren ist es möglich bereits durch geringere Geschwindigkeiten des Projektils Beschädigungen hervorzurufen. Die erreichten Steinschläge haben durch das gerade Auftreffen meist einen kleinen Durchbruch durch das Glas, was für die Lichtausbeute und deren Auswirkung allerdings nicht hinderlich ist (siehe Kapitel 7.4 Versuchsvorbereitung). Das Ausmaß der Beschädigung übersteigt in den meisten Fällen die bekannten Steinschläge an Abschlußscheiben, durch diese Extrembetrachtung lassen sich die Schäden kategorisch besser definieren und ein Einfluss leichter optisch erfassen.

Kratzer an Abschlußscheiben entstehen einerseits durch auftreffende Steine während des Betriebs, aber auch durch Reinigung der Scheinwerfer mittels harter Waschwämme oder unsauberen Tüchern, welche Staub und Schmutz enthalten. Die zugeführten Kratzer wurden ebenfalls durch das Reiben verschiedener Steine herbeigeführt, dadurch ist die Beeinträchtigung sehr realitätsnah.

## 7.6 Versuchsdurchführung / Versuchsauswertung

Beschädigung in Zone 6: Steinschlag mit Rissbildung und kleinem Durchbruch

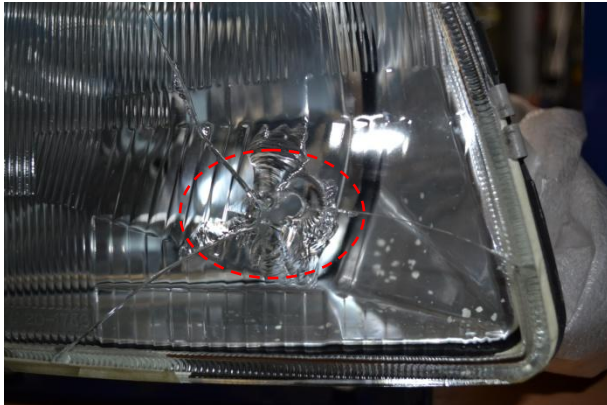


Abbildung 88: Steinschlag Zone 6

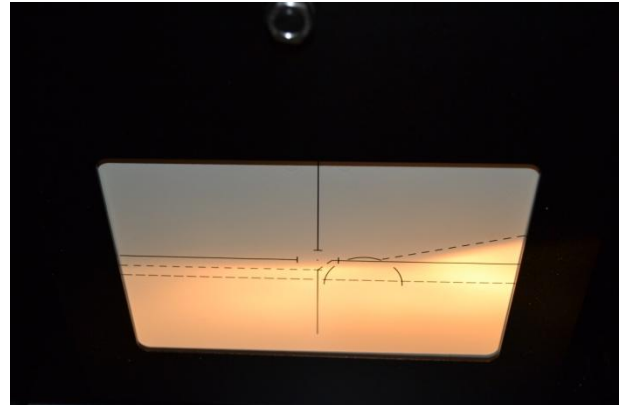


Abbildung 89: Lichtbild bei Steinschlag Zone 6

- Kein Einfluss auf HDG erkennbar
- Leichte Streuwirkung oberhalb der HDG

Beschädigung in Zone 4: Steinschlag mit Rissbildung, Ausbreitung der Risse in den Zonen 2 und 6, großer Durchbruch



Abbildung 90: Steinschlag Zone 4

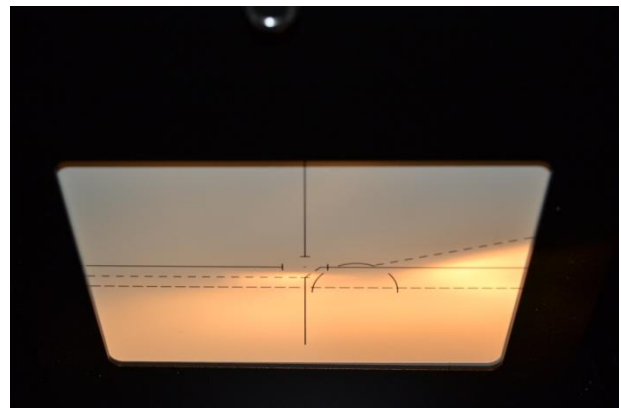


Abbildung 91: Lichtbild bei Steinschlag Zone 4

- HDG auf der linken Seite nicht mehr vorhanden
- Bereich rechts der Mitte („dunkler Fleck“) wird schlecht ausgeleuchtet
- Streuung im oberen Bereich

### Beschädigung in Zone 1: Steinschlag ohne Rissbildung

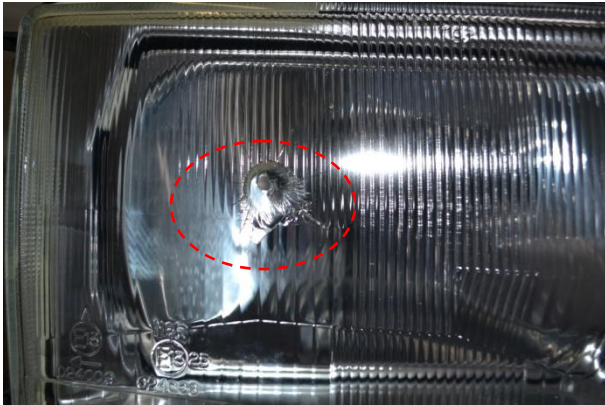


Abbildung 92: Steinschlag Zone 1

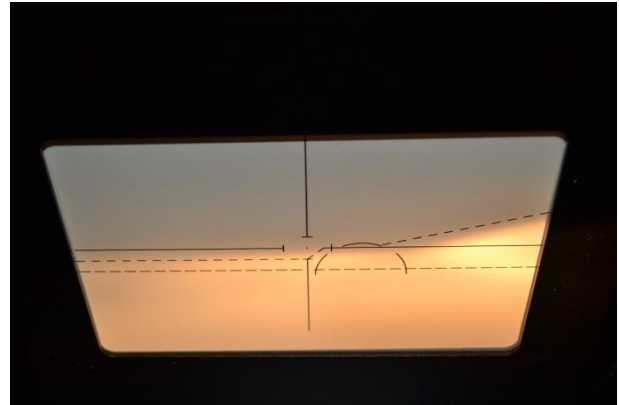


Abbildung 93: Lichtbild bei Steinschlag Zone 1

- Keine Beeinträchtigung zu erkennen
- Keine Streuung des Lichtbündels

### Beschädigung in Zone 2: Steinschlag mit leichter Rissbildung im Nahfeld



Abbildung 94: Steinschlag Zone 2

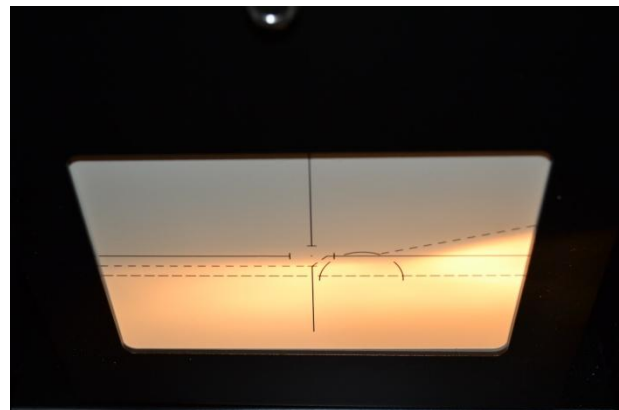


Abbildung 95: Lichtbild bei Steinschlag Zone 2

- Leichte Ausleuchtungsschwäche im unteren linken Bereich
- Leichte Streuung im oberen Bereich

Beschädigung in Zone 3: Steinschlag auch Zone 5 betreffend mit großem Durchbruch und Rissbildung



Abbildung 96: Steinschlag Zone 3

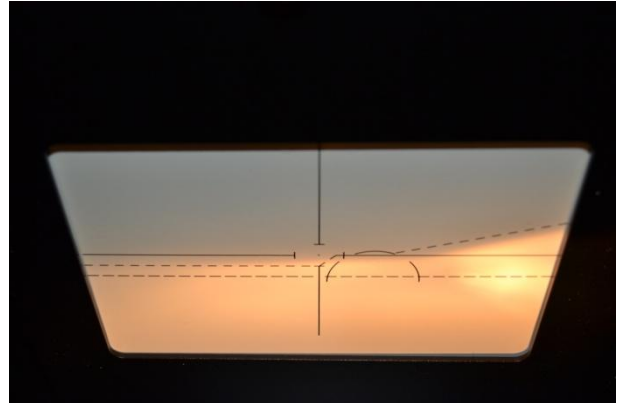


Abbildung 97: Lichtbild bei Steinschlag Zone 3

- Schlechtere Ausleuchtung unten rechts
- Schlechtere Ausleuchtung im Bereich „dunkler Fleck“
- HDG ist unscharf, besonders im beginnenden asymmetrischen Bereich

Beschädigung in Zone 4: Starke Kratzer der gesamten Zone

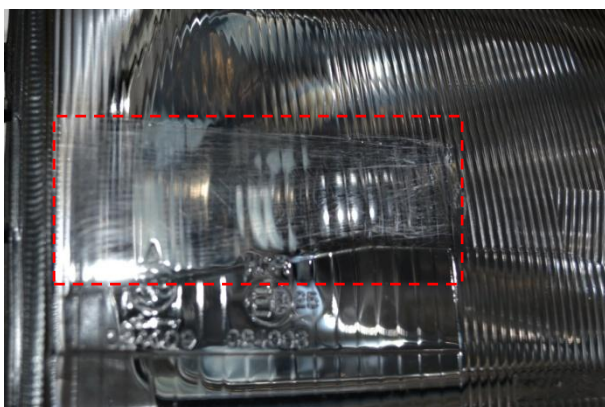


Abbildung 98: Kratzer Zone 4

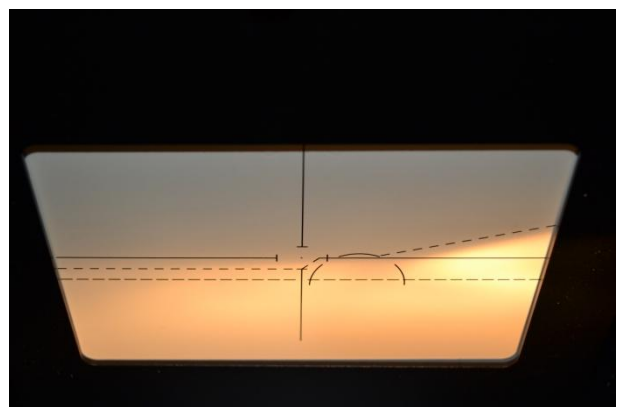


Abbildung 99: Lichtbild bei Kratzer Zone 4

- Qualität der HDG nimmt im linken Bereich ab

## 8 Ergebnisse

### 8.1 Interpretation

Allgemein lässt sich sagen, dass Steinschläge je nach Größe und Rissbildungserscheinungen unterschiedliche Auswirkungen auf das Lichtbild haben. Ist ein Durchbruch vorhanden, kann dies einen Feuchtigkeitseintritt zur Folge haben, wodurch die Reflektorbeschichtung angegriffen wird. Hierbei kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Abstrahlwirkung abnimmt und somit die Ausleuchtung der Fahrbahn nicht ausreichend gewährleistet ist. Desweiteren kann durch Erschütterungen, Stöße und Vibrationen, bei jeglicher Art von Steinschlägen eine Rissbildung einsetzen, welche zur vollständigen Zerstörung der Scheinwerferabschlussscheibe führt und damit auch eine Verletzungsgefahr für Fußgänger und Radfahrer, zum Beispiel bei einem Verkehrsunfall, darstellt.

#### 8.1.1 Abdeckungen

Durch Abdeckungen der Abschlussscheibe im üblichen Rahmen (siehe Kapitel 7.5.1) kann eine Verschlechterung der Ausleuchtung nicht ausgeschlossen werden. Bei diesen Versuchsubjekten war sogar eine wesentliche Beeinträchtigung festzustellen, welche sich durch deutliche Verminderung der Lichtausbeute im Nahfeld, einhergehend mit Abnahme der asymmetrischen Ausleuchtungskraft, darstellt. Bei Teil-Abdeckungen gilt grundsätzlich, je größer die abgedeckte Fläche der Abschlussscheibe, desto geringer die Lichtausbeute. Besonders ist der Bereich der Abdeckung in Bezug auf die Reflektorlage zu betrachten. Der äußere Rand der Streuscheibe kann bedenkenlos als Abdeckung akzeptiert werden, weil das Gehäuse des Reflektors (bei Stufenreflektoren) im äußeren Bereich des Scheinwerfergehäuses keine abstrahlende Wirkung hat (siehe Abbildung 100). Zusätzlich ist der Lichtausfall „fallend“ (Winkel Abweichend zur optischen Achse), wodurch im oberen Bereich eine noch größere abgedeckte Fläche akzeptiert werden kann. Dies machen sich



Abbildung 100: Abstrahlbereich eines Stufenreflektors

die Hersteller diverser Streuscheiben zu Nutze und prägen in diesen Bereichen ihre Firmenlogos und ECE-Prüfzeichen ein. Eine Blendung des Gegenverkehrs kann bei Scheinwerferabdeckungen im oberen Bereich nahezu ausgeschlossen werden, da eine Qualitätsänderung der Hell-Dunkel-Grenze nicht erkennbar ist und keine zusätzliche Streuwirkung einsetzt.

### 8.1.2 Beschädigungen in Form von Steinschlägen

Bei einem Steinschlag in der Abschluss Scheibe muss sehr genau differenziert werden, in welchem Bereich die Beschädigung eingetreten ist und in welchem Ausmaß sie auftritt. Besonders die oberen Zonen (im mittleren und unteren Bereich) der Streuscheibe sind relevant für maßgebliche Änderungen im Lichtbild, vor allem im Bezug auf die Hell-Dunkel-Grenze. Durch Steinschläge im unteren Bereich der Streuscheibe wird die Lichtausbeute im Nahfeld beeinflusst, daher werden diese als Beschädigungen mit geringerer Auswirkung bezeichnet (siehe Kapitel 7.4: Versuchsvorbereitung).

Die untersuchten Beschädigungen befinden sich im oberen Bereich des Scheinwerfers und stellen daher eine eindeutige Lichtbildveränderung dar. Es ist davon auszugehen, dass die Sichtverhältnisse derartige Beeinträchtigung erfahren, dass eine sichere Fahrzeugführung bei Dunkelheit nicht gewährleistet werden kann. Besondere Aufmerksamkeit wurde der Zone 4 zugesprochen, denn hier wird die Hell-Dunkel-Grenze in ihrer Qualität stark herab gesetzt. Im linken Bereich ist eine HDG nicht mehr wahrzunehmen und im rechten Bereich (Beginn der Asymmetrie) ist sie nur noch schemenhaft zu erkennen. Durch die von dieser Lichtausbeute ausgehende Sichtbeeinträchtigung kann die Verkehrssicherheit des Fahrzeuges nicht aufrecht erhalten werden. Dieses Schadensbild stellt eine Gefährdung für alle Verkehrsteilnehmer dar und muss, zum weiteren Betrieb des Fahrzeuges, unter allen Umständen beseitigt werden.

### 8.1.3 Beschädigungen in Form von Kratzern

Sind ausgeprägte Kratzer auf der Streuscheibe vorhanden, so haben diese relevanten Einfluss auf die Qualität der Hell-Dunkel-Grenze. Diese wird zunehmend unschärfer bei höherer Kratzerdichte. Auch hier sind die oberen Bereiche maßgeblich für die Weitsicht und damit für die Sichtverhältnisse des Fahrzeugführers. Das Einbringen der Kratzer auf der Streuscheibe wurde beispielhaft nur im Bereich vier durchgeführt, weil das Grundsätzliche Verhalten von Kratzern untersucht werden sollte. Kratzer in den anderen relevanten Bereichen (Zonen 1,2,3,4, und 6) werden demnach die Sichtverhältnisse auf ähnliche Weise beeinflussen, jedoch ist die optische Wahrnehmung an dem genutzten Messinstrument in den anderen Bereichen schwieriger wahrzunehmen. Es lässt sich feststellen, dass Verschmutzungen der Abschluss Scheibe sich in ähnlichem Ausmaß darstellen werden, denn auch Staub und andere Verunreinigungen, wie beispielsweise tote Insekten, betreffen lediglich die Oberfläche der Streuscheibe. Bei straken Verschmutzungen ist also eine Reinigung zwingend erforderlich, sowie eine Instandsetzung bei hoher Kratzerdichte anzuraten ist.

## 8.2 Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer

Zu anderen Verkehrsteilnehmern zählen nicht nur der Gegenverkehr und vorrausfahrende Fahrzeuge, sondern auch Fußgänger, sowie Radfahrer und alle anderen Personen, die am Straßenverkehr teilnehmen.

Wenn die Ausleuchtungsqualität im linken und / oder rechten Bereich abnimmt, kann der Fahrzeugführer die Seitenbebauung der Straße und somit Verkehrsschilder, aber auch Fußgänger und Radfahrer nicht oder nur schlecht wahrnehmen. Durch diesen Umstand ist eine Gefährdung nicht auszuschließen. Weiter sind besonders scharfe Kanten und gesplittertes Glas für Fußgänger und Radfahrer im Falle eines Zusammenstoßes relevant.

Nimmt die Qualität der Hell-Dunkel-Grenze ab, ist die Sicht nach vorn eingeschränkt. Andere Verkehrsteilnehmer werden zu spät wahrgenommen und die Zeit zur Reaktion auf die Änderung einer Verkehrslage kann unter Umständen nicht oder nur zu spät erfolgen.

Bei Lichtstreuungen oberhalb der Hell-Dunkel-Grenze ist davon auszugehen, dass der Gegenverkehr, sowie Insassen der voraus fahrenden Fahrzeuge eine Blendung erfahren. Bei den Untersuchungsgegenständen hat sich nur in seltenen Fällen leichte Streuwirkung gezeigt, andere Bruchmuster können aber dennoch höhere Streuwerte erzeugen.

## 9 Fazit und Ausblick

Grundlegend lassen sich durch diese Versuchsreihen sehr gut Unterschiede der Lichtverteilung erkennen. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass Beschädigungen an Streuscheiben maßgeblichen Einfluss auf die Verkehrssicherheit haben und damit zu recht Prüfbestandteil der Hauptuntersuchung sind. Die Ergebnisse der Ausarbeitung zeigen eindrucksvoll, welche Beschädigungen an welchen Teilen der Abschlussscheibe relevant sind und wie diese Schäden zu beurteilen sind. Es konnte ebenfalls aufgezeigt werden welche Zonen der Streuscheibe nur geringe Einflüsse auf die Lichtausbeute haben und damit bei Steinschlägen ohne Durchbruch und Rissbildung als geringer Mangel ausgelegt werden können.

Die Ergebnisse dieses Versuchs lassen sich ebenso auf andere Scheinwerfer mit Streuscheiben projizieren, denn bei Streuscheibenscheinwerfern mit Stufenreflektoren erfolgt die Lichtverteilung identisch. Die oberen Zonen der Abschlussscheibe bewirken den maßgeblichen Anteil für die Weitsicht, erzeugen eine Hell-Dunkel-Grenze und bewirken den asymmetrischen Lichtausfall. Sie nehmen damit den größt möglichen Einfluss auf Blendung des Gegenverkehrs und voraus fahrenden Fahrzeugen ein. Die unteren Bereiche der Streuscheibe haben das Ziel eine gute Nahfeldausleuchtung zu bewerkstelligen, damit sind Beschädigungen oder Verschmutzungen in diesen Zonen von geringer Brisanz. Streuscheiben bei anderen Reflektorbauarten haben grundlegend identische Funktionen, es ist jedoch nicht auszuschließen, dass andere Bereiche der Streuscheibe ebenfalls hohen Einfluss auf die Lichtausbeute haben, daher sollten in diesem Bereich weitere Versuche mit entsprechenden Scheinwerfern durchgeführt werden.

Im Bezug auf neuere Scheinwerfermodelle lassen sich jedoch nur bedingt Aussagen treffen, denn die Freiformtechnologie im Scheinwerferbereich verfolgt ein grundlegend anderes Konzept der Hell-Dunkel-Grenzen-Bildung. Es lässt sich festhalten, dass bei Steinschlägen vermutlich die HDG nicht in ihrer Qualität betroffen ist, da diese durch die Anordnung der einzelnen Freiformflächen des Reflektors erzeugt wird, sondern eher durch Ausbrüche in der Linienführung Einfluss nimmt oder unerwünschte Streuung auftritt. Die besagten Ausbrüche und Streuwirkungen sind durch die Brechung der entsprechenden Lichtbündel an der Abschlussscheibe zu erwarten. Um genaue Aussagen treffen zu können, wären Versuche mit einem solchen Scheinwerfer durchzuführen. Diese Untersuchungen sollten sich allerdings vorrangig mit dem Thema Kratzer oder Einfärbungen der Polycarbonatscheibe befassen, da Steinschläge bei diesem Werkstoff eher selten der Fall sind (siehe Kapitel 7.1.3 und zugehörige Abbildung 44).

Um sichere Aussagen bezüglich der Blendefahr zu treffen, wäre für die Zukunft eine Messung der Beleuchtungsstärke anzuraten, denn nur so kann das subjektive Empfinden der Lichtstärke ausgeschlossen werden und ein tatsächlicher „Blendgrenzwert“ ermittelt werden. Auch die rechtlichen Vorgaben bezüglich der Leuchtintensität könnten so ermittelt und verglichen werden. Weiter sollte über die



Schaltung eines Fernlichtes nachgedacht werden, um auch dort die gesetzlichen Vorgaben zu überprüfen und gegebenenfalls als Mangel bewerten zu können.

Eine weitere Versuchsreihe könnte ein Probandenversuch sein welcher bei Fahrt in der Dunkelheit durchgeführt wird. Hierbei sollten verschiedenste Schadenbilder zum Einsatz kommen, um Streuwirkungen und deren Einfluss auf das menschliche Auge zu testen. Die statistische Auswertung dieser Versuche könnte Aufschluss über die tatsächliche Gefährdung der Verkehrsteilnehmer geben.

Abschließend bleibt zu sagen, dass jeder Schaden und dessen Auswirkungen durch das undefinierte Bruchverhalten von Glas unterschiedlich ist. Die Eintreffparameter eines Gegenstandes lassen sich nicht explizit vorhersagen. Dennoch lassen die erzeugten Schadenbilder einen qualitativen Vergleich mit realen Beschädigungen zu.

## 10 Literaturverzeichnis

- [1] - <http://www.heise.de/autos/artikel/Es-werde-Licht-Die-High-Lights-der-Scheinwerfer-Geschichte-469935.html>, 3.9.2014
- [2] - <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/LA/un-ece-regelungen.html>, 7.9.2014
- [3] - [http://www.verkehrsportal.de/stvzo/stvzo\\_50.php](http://www.verkehrsportal.de/stvzo/stvzo_50.php), 7.9.2014
- [4] - <http://www.scandig.info/Strahlenoptik.html>, 15.9.2014
- [5] - <http://topsurfen.org/opti.htm>, 10.9.2014
- [6] - Europa Lehrmittel, Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik 27. Auflage  
Haan-Gruiten: Europa Verlage Lehrmittel 2001
- [7] - Robert Bosch GmbH, Autoelektrik / Autoelektronik 4.Auflage  
Stuttgart: Robert Bosch GmbH 2002
- [8] - <http://www.wisotop.de/lichtwellen-wellenlaenge-farbe.shtml>, 15.9.2014
- [9] - <http://lie.perihel.ch/Repetitorium/Wellen/Interferenz/index.htm>,  
15.9.2014
- [10] - <http://www.teialehrbuch.de/Kostenlose-Kurse/Markup-Sprachen/16369-Die-Wahrnehmung-von-Licht-durch-das-Auge.html>, 15.9.2014
- [11] - <http://de.wikipedia.org/wiki/Linsengleichung>, 15.9.2014
- [12] - Holland + Josenhans Verlag, Tabellenbuch Fahrzeugtechnik  
24. Auflage, Stuttgart 2006
- [13] - Enders M. Lifetime of Automototiv Light Sources, Symposium der TH  
Darmstadt: Fachgebiet Lichttechnik, Darmstadt 1997
- [14] - Michalske T.A. Wie Glas bricht, Spektrum der Wissenschaft  
2.Auflage 1988
- [15] - Schmidt-Klausen, Möglichkeiten und Grenzen der  
Scheinwerferkonstruktion, Lippstadt 1980
- [16] - Wallentowitz H., Handbuch Kraftfahrzeugtechnik  
Wiesbaden 2006

- [17] - Kloos G., Entwurf und Auslegung optischer Reflektoren: Theorie und Anwendung, Renningen 2007
- [18] - <http://www.w311.info/viewtopic.php?p=8868>, 1.10.2014
- [19] - <http://www.hella.com/hella-com/620.html?rdeLocale=de>, 6.10.2014

## 11 Eidesstattliche Erklärung

### Eidesstattliche Erklärung zur Bachelorarbeit

Ich versichere, die Bachelorarbeit selbstständig und lediglich unter Benutzung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel verfasst zu haben.

Ich erkläre weiterhin, dass die vorliegende Arbeit noch nicht im Rahmen eines anderen Prüfungsverfahrens eingereicht wurde.

Linau, den \_\_\_\_\_