

Entwicklung von Kriterien zur Bewertung der Fahrzeugbeleuchtung im Hinblick auf ein NCAP für aktive Fahrzeugsicherheit

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Fahrzeugtechnik Heft F 65

The logo for 'bast' is written in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are closely spaced and have a slight shadow effect, giving it a three-dimensional appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page.

Entwicklung von Kriterien zur Bewertung der Fahrzeugbeleuchtung im Hinblick auf ein NCAP für aktive Fahrzeugsicherheit

von

Karl Manz
Dieter Kooß
Karsten Klinger
Sven Schellinger

Universität Karlsruhe
Lichttechnisches Institut
Prüfstelle für lichttechnische Einrichtungen an Fahrzeugen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 65

bast

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

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

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

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

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 82.222/2002:
Entwicklung von Kriterien zur Bewertung der Fahrzeugbeleuchtung im Hinblick auf ein NCAP für aktive Fahrzeugsicherheit

Projektbetreuung
Oliver Bartels

Herausgeber

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

Redaktion

Referat Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9307
ISBN 978-3-86509-736-1

Bergisch Gladbach, Oktober 2007

Kurzfassung – Abstract

Entwicklung von Kriterien zur Bewertung der Fahrzeugbeleuchtung im Hinblick auf ein NCAP für aktive Fahrzeugsicherheit

Einleitung

Das **New Car Assessment Program**, kurz „NCAP“, befasst sich mit der Bewertung von Neufahrzeugen. Dabei gehen die Bewertungskriterien über die vom Gesetzgeber geforderten Mindestvoraussetzungen hinaus und sollen dem Verbraucher als Hinweise für die Kaufentscheidung beim Neuwagenkauf dienen und die Sicherheit in der gesamten Fahrzeugflotte erhöhen.

Im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen wurden deshalb unterscheidbare Beleuchtungsmerkmale, welche direkt die Sicherheit des Fahrzeuglenkers berühren, erarbeitet und daraus ein Bewertungssystem für die Beleuchtung am Fahrzeug entwickelt.

Ziel der Entwicklung eines Bewertungsverfahrens

Die gesetzlichen Bestimmungen erlauben es dem Hersteller von lichttechnischen Einrichtungen, sich innerhalb einer gewissen Bandbreite zu bewegen, die ein unterschiedliches Design und Erscheinungsbild der Kraftfahrzeuge ermöglicht. Heutige Systeme gehen meist deutlich über diese Mindeststandards hinaus. Gerade diese Situation rechtfertigt es, Bewertungskriterien zu erarbeiten, welche sich z. B. mehr an der Erkennbarkeit von Hindernissen und der Blendung anderer Verkehrsteilnehmer, also an zusätzlicher Sicherheit, orientieren.

Unterteilung der Bewertung

Bei der Bewertung von Fahrzeugen werden zwei grundsätzliche Aspekte unterschieden, die aktive und die passive Sicherheit. Jeder dieser beiden Aspekte kann wiederum in verschiedene Teile aufgespalten werden. Die Fahrzeugbeleuchtung ist ein Teilaspekt der aktiven Sicherheit. Im Rahmen dieses Projektes ist die Beleuchtung in folgende vier in der Bewertung unterschiedlich gewichtete Teilbereiche unterteilt worden, die wiederum in weitere Unterkategorien untergliedert wurden:

1. **Leistung:** (maximal 40 % der Gesamtpunktzahl)
Bewertet die Straßen- und Umfeldbeleuchtung, dient dem Sehen.
2. **Sicherheit:** (maximal 40 % der Gesamtpunktzahl)
Bewertet die Sichtbarkeit und Signalqualität, dient dem Sehen und Gesehenwerden.
3. **Verträglichkeit:** (maximal 10 % der Gesamtpunktzahl)
Bewertet soziale, ökonomische und ökologische Aspekte.
4. **Komfort:** (maximal 10 % der Gesamtpunktzahl).
Bewertet Komponenten, die den Fahrer von Nebenaufgaben entlasten und die Konditionssicherheit betreffen.

Zusammenfassung

Es wurde ein Bewertungssystem für die Beleuchtung des Kraftfahrzeugs erarbeitet und zur Verfügung gestellt. Die einzelnen Bewertungskriterien wurden auf der Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse entwickelt und gehen über die gesetzlich vorgeschriebenen Mindestwerte hinaus. Somit ergibt sich unter anderem für ein NCAP die Möglichkeit, verschiedene Beleuchtungskonzepte von Fahrzeugen zu vergleichen.

Development of criteria for the rating of vehicle lighting with respect to an NCAP for active vehicle safety

Introduction

The **New Car Assessment Program** (NCAP) deals with the rating of new vehicles. The rating criteria thereby go beyond the minimum requirements of legislation and are meant to serve as a hint for the buying decision of the consumer and to improve safety of the whole vehicle fleet.

On behalf of the German “Federal Highway Research Institute” therefore distinguishable characteristics of automobile lighting were acquired, which directly touch the safety of the

driver, to develop a rating system for vehicle lighting.

Aim of the development of a rating system

The legal requirements permit the manufacturer of technical equipment for lighting to use a specific bandwidth, which allow a different design and outward appearance of the vehicles. Systems of today mostly go far beyond these minimum requirements. It is this situation, which justifies it to acquire rating criteria, which are more orientated for example at the perceptibility of obstacles and glaring of other road users, and therefore on additional safety.

Categorization of the rating

Within the rating of vehicles two basic aspects are distinguished, active and passive safety. Both of these aspects can be divided again in different parts. The vehicle lighting is a partial aspect of the active safety. Within the framework of this project the vehicle illumination is classified into the following four categories, which are subdivided further. Each categorie has a different weighting within the rating scheme.

1. Performance: (max. 40% of the total points)
Rates the illumination of the road and surrounding, serves for the vision.
2. Safety: (max. 40% of the total points)
Rates the perceptibility and signal quality, serves for the vision and the ability to be seen.
3. Social convenience: (max. 10% of the total points)
Rates social, economical and ecological aspects.
4. Comfort: (max. 10% of the total points)
Rates components, which relieve the driver from secondary tasks.

Conclusion

A rating system for the illumination of vehicles was elaborated and provided. The different rating criteria are developed on the basis of scientific knowledge and go beyond the minimum legal requirements. With this tool, there is the possibility to compare different concepts for the illumination of a vehicle e.g. within a NCAP rating.

Inhalt

Vorwort	11	2.13	Anzeigen	21
Motivation	11	2.14	Farbdifferenzen	22
1 Gesetzliche Vorschriften	13	2.15	Lichtassistent (Automatische Lichteinschaltfunktion/Dämmerungs- schalter)	22
1.1 Nationale Bestimmungen	13	2.16	Sensoren	22
1.2 Europäische Bestimmungen und ECE-Regelungen	13	2.17	Lebensdauer, Wartbarkeit, Ersatz- funktion, Lampenwechsler	22
1.2.1 Beleuchtungs- und Lichtsignal- einrichtungen an der Fahrzeug- front von Pkw	13	2.18	Scheinwerferreinigungsanlage	22
1.2.2 Beleuchtungs- und Lichtsignal- einrichtungen an der hinteren Fahrzeugseite von Pkw	14	2.19	Leuchtweitenregulierung (manuell, statisch automatisch) bei Scheinwerfern	23
1.2.3 Seitlich angebrachte Beleuchtungs- einrichtungen an Pkw	14	2.20	Scheinwerfereinstellung (dynamisch automatisch)	23
2 Stand der Entwicklung im Hinblick auf ein NCAP der Beleuchtung	14	2.21	Blendung	24
2.1 Rechnergestützte Bewertungssysteme	14	2.21.1	Lichtfarbe und Blendung	24
2.2 Bewertung der Beleuchtung in den USA	15	2.22	Erkennbarkeit	24
2.3 Europäische Bewertung	16	2.23	Sichtweite	25
2.3.1 Allgemein	16	3 Unterteilung der Sicherheits- bewertung von Kraftfahr- zeugen		25
2.3.2 TRL-Report	16	4 Leistung		29
2.4 GTB-Aktivität	16	4.1	Bewertungskriterium	29
2.5 Gleichzeitiges Leuchten der Scheinwerfer und der Signal- leuchten	17	4.2	Unterteilung des Sichtfeldes	29
2.6 Blenden anderer Verkehrsteil- nehmer durch Signalleuchten	17	4.3	Reichweite	30
2.7 Qualität der Signalleuchten	18	4.3.1	Einfluss des Vorfeldes	31
2.8 Künftige Einrichtungen	18	4.3.2	Helligkeit – Nahfeld	31
2.8.1 Bremsstärkeanzeige, Notbrems- signal	18	4.3.3	Reichweite – Hell-Dunkel-Grenze	31
2.8.2 Gesetzliche Regelungen	18	4.3.4	Reichweite – Rechter Straßenrand ...	32
2.8.3 Stand der Technik	18	4.4	Breite	32
2.8.4 Wirkungsbewertung	19	4.5	Adaptive Frontlighting System (AFS)	33
2.9 Unfallstatistik	19	4.6	Nebelscheinwerfer – Selbstblen- dung bei Regen, Nebel, Schnee	33
2.10 Komforterhöhung durch getönte Scheiben	20	4.7	Erkennbarkeit von Rückstrahlern	34
2.11 (Dynamische) Innenbeleuchtung	20	4.8	Straßenschilderanlage	35
2.12 (Dynamische) Instrumenten- beleuchtung	21	4.9	Fernlicht	35
		4.10	Rückfahrcheinwerfer	36
		4.11	Schärfe der Hell-Dunkel-Grenze	37
		4.12	Seitlicher Gradient	37
		5 Sicherheit		37
		5.1	Seitliches Signalbild	38
		5.1.1	Seitenmarkierungsleuchten	38
		5.1.2	Seitliche Rückstrahler	40

5.1.3	Seitlich angebrachte Blinkleuchten	40	6.2	Funktionsbeleuchtung und Instrumentenbeleuchtung	59
5.1.4	Seitlich austretendes Licht von vorderen oder hinteren Leuchten	40	6.3	Komfortaußenbeleuchtung	60
5.2	Rückwärtiges Signalbild	41	6.3.1	Umfeldbeleuchtung	60
5.2.1	Vorhandene Signalleuchten	41	6.3.2	Türen-Markierungsleuchten	60
5.2.2	Adaptive Leuchten	41	6.3.3	Bewertung der Komfortaußenbeleuchtung	61
5.2.3	Leuchtenanzahl	41	6.4	Harmonie der Beleuchtung	61
5.2.4	Vorhandene Signalleuchten, adaptive Leuchten und Leuchtenanzahl	42	6.4.1	Lichtfarbe	61
5.2.5	Farbsättigung	42	6.4.2	Farbwiedergabe	61
5.2.6	Lichtstärke	42	6.5	Gleichmäßigkeit	62
5.2.7	Lichtstärkeverteilung	43	6.6	Wartbarkeit	64
5.2.8	Leuchtdichte	44	6.6.1	Auswechselbarkeit	64
5.2.9	Hinterer Rückstrahler	47	6.6.2	Handhabung der Auswechselbarkeit, Zugänglichkeit	64
5.3	Vorderes Signalbild	47	6.6.3	Einstellbarkeit der Scheinwerfer, Touristenlösung	65
5.3.1	Vorhandene Signalleuchten	47	6.7	Abblendende Spiegel	65
5.3.2	Lichtstärke	48	6.8	Windschutzscheibe	65
5.3.3	Lichtstärkeverteilung	48	7	Verträglichkeit	66
5.3.4	Leuchtdichte	49	7.1	Leuchtweitenregelung	66
5.3.5	Vordere Rückstrahler	49	7.2	Blendung	67
5.4	Umschaltzeiten Abblendlicht – Fernlicht	49	7.2.1	Blendung von Fußgängern und Radfahrern	67
5.5	Ansprechzeiten	50	7.2.2	Blendung über Außenspiegel und Innenspiegel	68
5.6	Ausfallanzeigen	50	7.2.3	Blendung des Gegenverkehrs	69
5.7	Lebensdauer	51	7.3	Blendung durch Signalleuchten	70
5.7.1	Abhängigkeit der Lampenlebensdauer von der Betriebsspannung	51	7.4	Wirkungsgrad	73
5.7.2	Fahrzeugspannung	51	7.5	Wiederverwertbarkeit	73
5.7.3	Zusammenfassung Lebensdauer	52	8	Zusammenführung der Ergebnisse	73
5.8	Lichtassistenten-Systeme	52	8.1	Gewichtung der Oberbegriffe	74
5.9	Scheinwerfer-Reinigungsanlage	53	8.2	Gewichtung der Unterbegriffe	74
5.10	Ersatzfunktion	53	8.3	Endgültige Bewertung	75
5.11	Kurvenlicht	53	9	Verifizierung	76
5.12	Anordnung der Signale	54	9.1	Versuchsaufbau Scheinwerfervergleich	76
5.12.1	Vorderes Signalbild	54	9.2	Vorgehensweise zur Beurteilung	77
5.12.2	Seitliches Signalbild	55	9.3	Versuchsaufbau Scheinwerfervergleich mit Fragebögen	77
5.12.3	Hinteres Signalbild	55	9.4	Versuchsaufbau Fahrzeugvergleich	78
5.12.4	Bewertung der Anordnung der Signale	55	9.5	Konstante Spannungsversorgung	79
6	Komfort	56			
6.1	Innenbeleuchtung	56			
6.1.1	Innenraumbelichtung	57			
6.1.2	Ambiente Lichtfunktionen und Orientierungsbeleuchtung	57			
6.1.3	Leselicht	59			

9.6	Stabilisierung der Lampenlichtströme	80
9.7	Messung von Leuchtdichten	80
9.8	Messung von Beleuchtungsstärken	80
9.9	Messung blinkender Leuchten	81
9.10	Messung von Lichtstärken	81
9.11	Messung von Rückstrahlwerten	82
9.12	Messung von Gradienten	83
9.13	Versuchsdurchführung zur Messung der Wirkung von Scheinwerferreinigungsanlagen	83
9.14	Versuchsaufbau in einer Messhalle	83
9.15	Versuchsaufbau Fahrzeuggoniometer	84
9.15.1	Nahfeldgoniophotometrie	85
9.15.2	Leuchtdichtemessung mit Messschirm	85
9.16	Versuchsdurchführung mit Ausbau der Scheinwerfer	86
9.16.1	Ausbau aus dem Fahrzeug	86
9.16.2	Montage auf dem Goniometer	86
9.16.3	Systematische Messfehler	86
9.16.4	Vergleich verschiedener Scheinwerfer	86
9.17	Beispielhafte Bewertung eines kompletten Fahrzeugs	89
9.18	Verringerung des Bewertungsumfangs	91
9.18.1	Bewertungsformel	91
9.18.2	Grundlegende Messungen	91
9.18.3	Reduzierter Bewertungsumfang	91
9.18.4	Alternative Bewertungsumfänge	93
10	Vorschlag für einen praxisnahen Bewertungsablauf	93
11	Zusammenfassung und Ausblick	94
11.1	Motivation	94
11.2	Unterteilung der Bewertung	94
11.3	Bewertungssystem auf wissenschaftlicher Grundlage	95
11.4	Beweis der Gültigkeit des Verfahrens	95
Literatur	95

Begriffsdefinitionen

Reaktionszeit t_r

Zeit, die verstreicht, bis der Fahrer auf ein erkanntes Ereignis reagiert. Allgemein wird für die Reaktionszeit die Dauer von einer Sekunde angenommen

$$t_r = 1 \text{ sec.}$$

Reaktionsweg s_r

Strecke, die ein Fahrzeug mit einer bestimmten Geschwindigkeit in der Zeit t_r zurücklegt.

Bremsweg s_b

Strecke, die ein Fahrzeug benötigt, um von der aktuellen Geschwindigkeit bis zum Stillstand abzubremsen.

Als Faustformel gilt:

$$s_b = (v/10)^2$$

mit v : aktuelle Geschwindigkeit (in km/h)

Dies entspricht nicht der Strecke, die heutige Fahrzeuge unter Idealbedingungen für eine Vollbremsung benötigen. Die Formel hat sich jedoch in der Praxis bewährt und liegt daher einigen Berechnungen in diesem Bericht zu Grunde.

Als neue Faustformel wird derzeit empfohlen:

$$s_{b,neu} = (1/2) \cdot (v/10)^2$$

mit v : aktuelle Geschwindigkeit (in km/h)

Dies entspricht annähernd der Strecke, die heutige Fahrzeuge unter Idealbedingungen für eine Vollbremsung benötigen. Dabei wird davon ausgegangen, dass der Fahrer das Bremspedal fest genug betätigt oder das Fahrzeug über einen entsprechenden Bremsassistenten verfügt. Die Formel spiegelt den heutigen Technikstand der Fahrzeuge besser wieder als die alte, in der Fahrausbildung noch gebräuchliche Faustformel (ohne den Faktor $1/2$). Die mittlere Verzögerung ist bei der herkömmlichen Faustformel mit $3,86 \text{ m/s}^2$ angenommen [PLE., 2003] im Gegensatz zu der neuen, oben angegebenen Formel, bei der die mittlere Verzögerung mit $7,72 \text{ m/s}^2$ angenommen ist. Die neue Formel stellt die aktuelle Empfehlung für eine zeitgemäße Faustformel der Bremswegberechnung für trockene Fahrbahn bei Fahrsicherheitstrainings dar.

Anhalteweg s

Summe aus Reaktions- und Bremsweg.

$$s = s_r + s_b$$

Maximal angepasste Geschwindigkeit

Geschwindigkeit, die so schnell ist, dass Sichtweite und Anhalteweg gleich groß sind.

Anbauhöhe von Scheinwerfern

In einigen Formeln wird die tatsächliche Anbauhöhe nach ECE-R 48 [ECE, 2002b] (Abstand von der Straßenoberfläche bis Unterkante der sichtbaren leuchtenden Fläche des Scheinwerfers) verwendet. Wenn dies nicht explizit angegeben wird, so wird eine durchschnittliche Anbauhöhe von 650 mm über der Fahrbahn angenommen, wie dies allgemein üblich ist. Laut sehr umfangreichen Untersuchungen aus dem Jahr 1993 von DAMASKY [Dam., 1993b] liegt die tatsächliche Anbauhöhe in einem Bereich von 520 mm bis 730 mm mit einem Mittelwert von 640 mm. Neueren Untersuchungen von KLINGER [Kli., 2004c] aus dem Jahr 2004 zufolge variiert die Anbauhöhe zwischen 530 mm und 820 mm mit einem Mittelwert bei 610 mm.

Augenhöhe

Wenn nicht explizit angegeben, so wird eine durchschnittliche Augenhöhe des Fahrers von 1.280 mm über der Fahrbahn angenommen. Dieser Wert entstammt den Arbeiten von DAMASKY [Dam., 1993], der einen Wertebereich von 1.000 mm bis 1.400 mm mit 1.280 mm als Mittelwert ermittelte. Er vermaß die Augenhöhe von Autofahrern auf städtischen Straßen und Landstraßen. Diese Augenhöhe wird als Grundlage der Berechnungen für Sichtbarkeit und Erkennbarkeit benutzt.

Die exakte Position der Augenhöhe ist für etliche lichttechnische Sachverhalte nicht notwendig. So haben systematische Untersuchungen [LLAB, 2006] gezeigt, dass eine Variation der Augenhöhe von 1.150 mm zu 1.550 mm keinen signifikanten Unterschied in der Erkennbarkeitsentfernung liefert.

Normierter Augenpunkt

Die tatsächliche Augenhöhe oder genauer der normierte Augenpunkt ist für jedes zu prüfende Fahrzeug in diesem zu ermitteln. Dazu wird entsprechend der ECE-Regelung 46, 13.2 [ECE, 2001] der

Augenpunkt mit der 3DH-Einrichtung ermittelt. Notwendig ist hierzu die Angabe des R-Punktes durch den Fahrzeughersteller. Ist dies nicht möglich, wird, wie in ECE-R 46, Anhang 8, 2.3 der H-Punkt als R-Punkt benutzt und mit diesem der normierte Augenpunkt ermittelt.

Bewertungsindex I

Mathematisch positiver Zahlenwert, der die Bewertung als Ergebnis einer Formel angibt. Es gibt für jeden Unterpunkt einen Bewertungsindex.

Zur Berechnung des Bewertungsindex I wird das Ergebnis mit der jeweiligen Formel errechnet und mathematisch korrekt auf- bzw. abgerundet. Wenn das Ergebnis außerhalb des für die Formel gültigen Wertebereiches liegt, wird der Bewertungsindex auf den jeweiligen Grenzwert des Wertebereiches beschränkt. Dadurch wird sichergestellt, dass die Gesamtbewertung eines Fahrzeuges nicht durch einen einzigen Unterpunkt übermäßig stark geprägt wird.

Gewichtungsfaktor G

Mathematisch positiver Zahlenwert, der die gewichtete Bewertung eines Unterpunktes (z. B.: Leistung-Reichweite) angibt.

Koordinatensystem

Die X-Achse des gewählten Koordinatensystems ist in Fahrtrichtung gerichtet. Der Nullpunkt ($x = 0$) befindet sich an der Fahrzeugfront.

Die Y-Achse ist quer zur Fahrtrichtung ausgerichtet. Der Nullpunkt ($y = 0$) ist in der Fahrzeuglängsmittlebene. Positive Werte werden nach rechts aufgetragen.

Die Z-Achse steht senkrecht auf der Fahrbahn. Der Nullpunkt ($z = 0$) befindet sich auf der Straßenoberfläche. Positive Werte werden nach oben aufgetragen.

Spannungsfaktor

Die ECE-Regelungen geben häufig eine obere bzw. untere Grenze der gesetzlich möglichen Beleuchtungsstärken an.

Innerhalb dieser Regelungen muss man zwei unterschiedliche Technologien unterscheiden:

- Leuchten oder Scheinwerfer, die bei der Prüfung nach ECE mit einer Spannung von 12 V betrie-

ben werden, wie z. B. Scheinwerfer mit Glühlampen,

- Leuchten oder Scheinwerfer, die mit 13,2 V (Scheinwerfer), 13,5 V (Leuchten) oder einer eigenen Spannungsversorgung betrieben werden.

Da der Lichtstrom Φ und damit die Beleuchtungsstärke und Lichtstärke abhängig von der angelegten Spannung sind, muss dies beim Vergleich der Scheinwerfer berücksichtigt werden.

Es gilt:

$$(U/U_0)^{3,2} = \Phi/\Phi_0$$

Innerhalb der ECE-Regelungen geht man davon aus, dass die tatsächliche Spannung (U) an den Glühlampen etwa 13,2 V beträgt. Beziehen sich die Werte der Beleuchtungsstärke auf eine Prüfspannung (U_0) von 12 V, so ergibt sich damit ein Korrekturfaktor K_U von ungefähr 1,4.

$$K_U = 1,4 \quad \text{für Werte bei 12 V Prüfspannung}$$

$$K_U = 1 \quad \text{sonst}$$

Leuchtdichte

Leuchtdichtespitzen tragen erheblich zum Blendeeindruck von Leuchten bei. Es besteht noch Forschungsbedarf, um konkrete Aussagen über zulässige Werte und Gradienten von lokalen Leuchtdichten treffen zu können.

Die Ermittlung eines aussagekräftigen Einzelwertes für die Leuchtdichte einer orts aufgelöst gemessenen Leuchte kann zu Mehrdeutigkeiten führen. Daher wird als „Leuchtdichte“ die mittlere Leuchtdichte einer Kreisfläche mit dem Radius 30 mm definiert. Dieser Radius entspricht dem für die „patch luminance“ durch die GTB gewählten Wert und sollte bei den meisten Leuchten zu aussagekräftigen Werten führen. Wenn die Lichtaustrittsfläche der Leuchte größer als der Messkreis ist, so ist der Messkreis so auf der Leuchte anzuordnen, dass die maximale mittlere Leuchtdichte der leuchtenden Fläche gemessen wird.

Standardstraße

Als Grundlage für die Erstellung einiger Formeln wird eine Standardstraße, bestehend aus einer Fahrbahn und einer Gegenfahrbahn, benutzt, deren Fahrbahnbreite 3,5 m beträgt, [FSV, 1982].

In einigen Fällen wird dann noch ein gleich breiter rechter Seitenstreifen hinzugerechnet.

Standardfahrzeug

Als Breite des Fahrzeuges wird 2 m gewählt. Das Fahrzeug steht mittig auf der Fahrbahn, somit ist zwischen rechtem Fahrzeugrand und Straßenrand ein Abstand von 0,75 m, ebenso zwischen linkem Fahrzeugrand und der Mittelmarkierung.

„Stand der Technik“-Faktor

Die vorliegende Bewertung geht von den Bedürfnissen des Nutzers aus. Diese können im Einzelfall stark von dem derzeitigen Stand der Technik abweichen. Die Bewertung der Beleuchtung soll die Hersteller nicht vor unlösbare Schwierigkeiten stellen, sondern ermuntern, die Entwicklung kundenorientierter Scheinwerfer und Leuchten voranzutreiben. Deshalb wird bei Anwendung der Bewertungskriterien ein „Stand der Technik“-Faktor (SdT-Faktor) in kritischen Formeln eingefügt, der im Laufe der Zeit vom Startwert auf den Wert 1 angehoben wird.

Beispiel:

Stand der Technik 2004:

Scheinwerfer 1-lx-Grenze bei 60 m

Nutzerbedürfnis:

Scheinwerfer 1-lx-Grenze bei 150 m

Formel:

$$I = s/150m$$

Mit s : Sichtweite (1-lx-Grenze)

$$\text{SdT-Faktor 2004: } \text{SdT} = 0,4$$

$$\text{SdT-Faktor 20xx: } \text{SdT} = 1$$

Formel:

$$I = (s/150 m) \cdot 1/\text{SdT}$$

Als Bezug sollte ein durchschnittlicher Scheinwerfer herangezogen werden und die Anpassung sollte gleitend erfolgen.

Messbedingungen

Die Messbedingungen werden unterteilt in Bedingungen für den Messraum, das Messfahrzeug und die Messperson.

Messraum

Der Messraum soll bei allen Laboratorien vergleichbare Grundvoraussetzungen erfüllen:

- Umgebungstemperatur 23 ± 5 °C (Standard-Temperatur nach ECE-R 112, Anhang 4.1 [ECE, 2002/]),
- abgedunkelter Raum, kein Fremdlicht, Wände und Decke möglichst mattschwarz,
- Empfänger vor Streulicht ausreichend schützen,
- Scheinwerfer und Leuchten zum Messen nicht ausbauen,
- als Messgeräte sind solche mit Laborqualität zu wählen,
- Die Messungen sollten von einem akkreditierten Labor durchgeführt werden.

Um Reflexionen der Straße, bzw. des Hallenbodens zu vermeiden, wird das Fahrzeug 0,2 m bis 1 m über dem Boden angeordnet. Auf dem Boden sind vertikale Antireflexblenden anzubringen.

Zur Visualisierung der Messwerte können an wichtigen Punkten personenähnliche Sehzeichen (Pappkameraden) aufgestellt werden.

Prüffahrzeug

Als Prüffahrzeug im Rahmen dieser Bewertungsvorschriften sind nur Pkw zu wählen. Motorisierte Zweiräder besitzen andere Möglichkeiten und Einschränkungen. Auch Lkw und Omnibusse benötigen auf sie angepasste lichttechnische Einrichtungen. Der Bremsweg ist wesentlich länger, die Augenhöhe teilweise wesentlich höher.

Das zu prüfende Fahrzeug, Prüffahrzeug genannt, muss für die Messungen vorbereitet werden.

Das Gewicht des Fahrzeuges soll dem realen Anwendungsfall entsprechen. Angelehnt an ECE-R 46, 13.4 [ECE, 2001] sind dazu folgende Punkte zu beachten:

- Der Benzintank ist zu 90 % mit der im Fahrzeughandbuch angegebenen Treibstoffart zu befüllen.
- Die Füllstände der Kühlmittel-, Schmiermittel-, Hydraulikflüssigkeits- und Waschwasserbehälter sind zu kontrollieren und gegebenenfalls an den Wert im Fahrzeughandbuch anzupassen.

- Die Batterie muss vor den Tests vollständig geladen sein. Dazu ist sie 24 h mit einem passenden Ladegerät zu laden.
- Der vorgeschriebene Reifenluftdruck ist bei kalten Reifen einzustellen.
- Scheinwerfer, Leuchten und Scheiben sind zu reinigen.
- Es dürfen keine Leuchtmittel gewechselt werden, d. h., es dürfen für die lichttechnischen Messungen keine Prüflampen benutzt werden.
- Die Scheinwerfer sind am Fahrzeug, ohne Ladung und ohne Fahrer, vorschriftsmäßig einzustellen.
- Für die Messungen ist der Fahrersitz mit 75 kg zu belasten.

Bei den von EuroNCAP durchgeführten Crashtests wird der Kofferraum mit 36 kg beladen [Eur., 2004]. Dies wird für die Bewertung der Beleuchtung nicht gefordert, da im Unterpunkt „Verträglichkeit – Leuchtweitenregulierung“ der Einfluss der Beladung des Kofferraumes separat getestet wird.

Messverfahren

Für die Bewertung werden standardisierte Messdaten benötigt. Hierzu ist ein Messfeld mit fest vorgegebenem Winkel- oder Entfernungsraster festzulegen. Die Messentfernung von Objekt (Fahrzeug) zum Empfänger (Messzelle) ist mit einer Toleranz eindeutig zu definieren.

Je nach Bewertungsmethode sind vertikale oder horizontale Beleuchtungsstärken zu messen, die ineinander umgerechnet werden können.

Der Einsatz von einer bildauflösenden Leuchtdichtekamera wird in die Untersuchung mit einbezogen und ist insbesondere dann sinnvoll, wenn mittlere Beleuchtungsstärken oder Gradienten ermittelt werden müssen.

Vorwort

Mobilität ist ein Schlüsselfaktor in der immer größer werdenden europäischen Union. Man schätzt, dass ca. 80 % der Personen-Kilometer mit dem Kraftfahrzeug zurückgelegt werden. Es ist deshalb nur logisch, dass dabei der Sicherheit im stetig wachsenden Straßenverkehr ein besonderes Augenmerk gilt.

Zweifellos ergibt sich z. B. durch die Einführung von Elektronischem-Stabilitäts-Programm (ESP) oder Antiblockiersystem (ABS) ein volkswirtschaftlicher Nutzen auf Grund verringerter Unfallzahlen. Diese Systeme helfen mit, das gesetzte Ziel der Europäischen Union umzusetzen, die Unfallzahlen bis 2010 zu halbieren [EU, 2001]. Häufig werden diese neuen Sicherheitssysteme jedoch zunächst nur gegen Aufpreis angeboten. Um dennoch eine Wirkung zu erzielen, bedarf es der Bereitschaft der Verbraucher, diesen Mehrpreis auch zu bezahlen. Hierzu müssen die Mitgliedsstaaten der EU, Automobilclubs, der Gesetzgeber, Versicherer und besonders die Automobilhersteller das Bewusstsein für den Sinn solcher Systeme beim Verbraucher stärken.

Vor dem Hintergrund der zahlreichen und in ihrer durchschnittlichen Schwere schlimmeren Nachunfälle werden zurzeit große Anstrengungen unternommen, das Fahren bei Nacht sicherer zu machen (Infrarot-Nachtsichtsysteme, Radar etc.). Diese Systeme werden aber zweifellos zunächst nur in den Luxusklassen angeboten werden, da ihr Aufpreis ansonsten einen wesentlichen Kostenfaktor beim Fahrzeugkauf ergeben wird.

Sicherheitsgewinn ohne Aufpreis scheint wirtschaftlich nicht möglich zu sein, da jede neue Entwicklung Kosten verursacht, die der Fahrzeughersteller wieder über die Kunden einnehmen muss. Hier kann jedoch ein NCAP (New Car Assessment Programme) der Fahrzeugbeleuchtung eingreifen. Solch ein Programm bewertet anhand eines exakt festgelegten Messvorgehens die Scheinwerfer, Leuchten und Rückstrahler von Neufahrzeugen. Die einzelnen Bewertungsvorschriften entsprechen dabei dem Stand der Technik und werden diesem regelmäßig angepasst. Das Ergebnis liefert eine Aussage, wie gut die jeweilige Beleuchtung ist, und liefert so wesentlich mehr Information als eine Typgenehmigung, die nur angibt, ob das Fahrzeug aktuellen Vorschriften entspricht oder nicht.

Während der Kostendruck die Automobilhersteller und deren Zulieferer zwingt, immer preiswerter zu fertigen, erhält man mit dem NCAP der Beleuchtung ein Werkzeug, mit dem eine gute Fahrzeugbeleuchtung werbewirksam dem Verbraucher nahegebracht werden kann. Der Vorteil liegt vor allem darin, dass sich der Sicherheitsgewinn auf Grund der Konkurrenzsituation unter den Fahrzeugherstellern und den allgemeinen Grundsätzen von EuroNCAP durch alle Fahrzeugklassen hindurch zieht, ohne dass hierfür ein spezieller Aufpreis für eine Sonderausstattung für das einzelne Fahrzeug verbunden ist, da alle Fahrzeuge des Herstellers um einen geringfügigen Betrag teurer werden. Damit wird es für die Automobilhersteller noch interessanter, eine gute Beleuchtung am Fahrzeug anzubieten und nicht nur die gesetzlich vorgeschriebenen Mindestwerte zu erfüllen, da dem Kunden damit ein nachweisbarer Mehrwert verkauft werden kann.

Ein NCAP der Beleuchtung hat also durchaus das Potenzial, einen Beitrag zur Verkehrssicherheit und letztlich zur Senkung der Unfallzahlen zu liefern.

Der vorliegende Bericht stellt Bewertungsvorschriften für ein NCAP der Beleuchtung vor, die den Stand der Technik zu Projektbeginn (2003) berücksichtigen. Diese Vorschriften wurden im Rahmen des Projektes zur Entwicklung von Kriterien zur Bewertung der Fahrzeugbeleuchtung im Hinblick auf ein NCAP für aktive Fahrzeugsicherheit entwickelt.

Motivation

Verbraucherschutz in Form einer Produktbewertung mit Hilfe von Testverfahren ist in den letzten Jahren seitens der Medien ein fester Bestandteil der Informationen für Verbraucher geworden. Diese Bewertungen der Sicherheit eines Fahrzeugs im Falle eines Unfalls haben einen entscheidenden Einfluss auf das Kaufverhalten der Verbraucher genommen. Bezüglich der Automobilwerbung haben sich die EuroNCAP-(European-New-Car-Assessment-Programme-)Crashtests bei einigen Marken mittlerweile fest etabliert. Hiermit soll dem Verbraucher vermittelt werden, dass das Auto eine sehr gute Sicherheit bei einem Unfall gewährleistet. Diese Information dient letztlich dazu, die Kaufentscheidung hinsichtlich eines Autos zu fördern.

Somit sind einige Hersteller bemüht, gute Ergebnisse für die Werbung nutzen zu können.

Nach Umfragen in Spanien und Schweden zeigte sich jedoch, dass der Einfluss auf das Käuferverhalten über die Printmedien bei weitem nicht so relevant ist, wie man dies bisher angenommen hatte [SRG, 2006].

Bisher sind reale Testverfahren noch die einzigen objektiven Bewertungskriterien für sicherheitsrelevante Funktionen im Fahrzeug. Es besteht deshalb ein berechtigtes Interesse, ein solches Bewertungssystem auch für den Bereich der aktiven Sicherheit im Fahrzeug, der Unfälle vermeiden soll, zu etablieren.

Obwohl die Beleuchtung am Kraftfahrzeug dem unbedarften Betrachter als alltäglich erscheint, so gibt es doch auch hier erhebliche Unterschiede sowohl unter den einzelnen Automobilmarken als auch zwischen den einzelnen Modellen einer einzigen Automobilmarke. Dabei muss ein Mittelklassewagen nicht notwendigerweise schlechter beleuchtet sein als ein Wagen der Oberklasse.

Der Aspekt Styling ist vorrangig, d. h., die Gestaltung des optischen Designs wird maßgebend von dem nach außen sichtbaren Aufbau der Optik beeinflusst. Dabei sind Unterschiede hinsichtlich der Qualität zwischen einzelnen Beleuchtungskonzepten visuell nur schwer zu erkennen. Da das menschliche Sehsystem auf Grund seiner Fähigkeit, sich an unterschiedliche Lichtverhältnisse anzupassen, keine „Gedächtnisfunktion“ für Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten besitzt, ist eine objektive und absolute Beurteilung einer lichttechnischen Einrichtung oder einer beleuchteten Szene durch eine einfache visuelle Beobachtung nicht möglich.

Auf Grund der trivialen Erkenntnis, dass wir Dinge, die wir nicht sehen können auch real nicht sehen, bleibt die Frage, ob ein Beleuchtungssystem so gut ausgelegt ist, um alles sehen zu können, was wir sehen sollten oder zu sehen wünschen, damit zunächst unbeantwortet. Dennoch unterscheidet sich die bei Dunkelheit tatsächlich auf Landstraßen gefahrene Geschwindigkeit eines Kleinwagens nicht von der eines Wagens der Oberklasse. Das bedeutet, dass ein Kraftfahrer mit einem „schlechten Licht“ einen Mangel in der Erkennbarkeit von Hindernissen besitzt, ohne dass er sich dessen bewusst ist. Zahlreiche Studien belegen, dass die Unfallzahlen im Verhältnis zum Verkehrsaufkommen in den Dunkelstunden wesentlich höher sind als am Tage [Bäu., 1997]. Die häufigste Ursache hierfür ist dabei zweifellos „nicht angepasste Geschwindigkeit“.

Die Geschwindigkeit sollte aber immer an die entsprechende Sichtweite (Erkennbarkeits-Entfernung) und damit auch an die konkrete Leistungsfähigkeit der Scheinwerfer angepasst sein.

Hinsichtlich aktiver Signale ermöglichen „gute“ Signalleuchten, dass das eigene Fahrzeug oder andere Verkehrsteilnehmer leichter erkannt werden. Sie tragen somit ebenfalls dazu bei, die Unfallzahlen zu reduzieren.

Psychophysikalische Messmethoden und die physikalische Messtechnik sind heute in der Lage, auf der Basis der Physiologie des Sehens Entscheidungskriterien für eine gute Beleuchtung zu liefern. Der Gesetzgeber orientiert sich zwar an diesen Erkenntnissen, kann aber immer nur ein Mindestmaß an Sicherheit verlangen. Jeder Hersteller ist sicherlich bestrebt, eine gute Beleuchtung zu konstruieren, er wird aber durch den Kostendruck gezwungen, Abstriche zu machen.

Von all dem erfährt der Verbraucher meist nichts und hat somit kaum die Möglichkeit, die Beleuchtung am Kraftfahrzeug zu beurteilen. Hier greift das Konzept eines NCAP für die Fahrzeugbeleuchtung ein. Auf der Basis wissenschaftlicher Daten werden Kriterien erarbeitet, die einen Vergleich der Beleuchtung am Kraftfahrzeug ermöglichen sollen und so eine Bewertung erlauben, die über die gesetzlichen Bestimmungen hinausgeht.

Durch Messung bestimmter Parameter ist es möglich, ein objektives Kriterium für die jeweilige Komponente zu erhalten beziehungsweise die Beleuchtungssysteme des Kraftfahrzeugs damit insgesamt zu beurteilen.

Mit der hier vorliegenden Arbeit werden Bewertungskriterien für die gesamte am Kraftfahrzeug vorhandene Beleuchtung vorgestellt. Dabei wird unterschieden zwischen Bewertungskriterien hinsichtlich der Gesichtspunkte:

- Leistung,
- Sicherheit,
- Komfort,
- Verträglichkeit.

Somit wird eine umfassende Bewertung der Beleuchtung vorgeschlagen, die alle wesentlichen Aspekte berücksichtigt.

1 Gesetzliche Vorschriften

Um einen Überblick über die gesetzlich vorgeschriebenen Mindestwerte lichttechnischer Einrichtungen zu erhalten, wird im Folgenden ein Überblick über die derzeit relevanten Regelungen und Richtlinien gegeben. Für eine NCAP-Bewertung der Beleuchtung am Kfz geben diese Werte den Mindestwert vor, der wenigstens erreicht werden muss, bzw. den Höchstwert, der maximal erreicht werden kann. Die zu bewertenden Teile entsprechen ansonsten nicht den gesetzlichen Anforderungen.

Nicht alle Regelungen und Richtlinien, die lichttechnische Themen behandeln, sind für ein NCAP zu beachten. Das NCAP bewertet nur die Beleuchtung von Pkw, nicht die von Lkw oder Bussen, da hier unter anderem die Augenhöhe der Fahrer deutlich unterschiedlich ist. Auch die Beleuchtung von (motorisierten) Zweirädern wird nicht bewertet, da unter anderem die Möglichkeiten der Anbringung von lichttechnischen Einrichtungen an diesen einspurigen Fahrzeugen sehr eingeschränkt ist.

Es ist jedoch zu beachten, dass diese gesetzlich vorgegebenen Grenzwerte nur für Prüfmuster und eine Messung mit Prüflampen bei Prüfspannung gelten.

Serienteile dürfen hiervon um bis zu 20 Prozent abweichen. Weiterhin muss berücksichtigt werden, dass die Prüfspannung und die Spannung am jeweiligen Bauteil im Kfz erheblich voneinander abweichen können. Soweit dies notwendig erscheint, muss dies in den einzelnen Anforderungen berücksichtigt werden.

1.1 Nationale Bestimmungen

In § 22a StVZO „Bauartgenehmigung für Fahrzeugteile“ werden alle Teile am Kfz aufgeführt, für die eine Bauartgenehmigung erforderlich ist. Dabei fällt auf, dass hierunter sämtliche lichttechnischen Einrichtungen am Fahrzeug fallen.

Grundlagen für die Prüfungen beziehen sich in den meisten Fällen auf die entsprechenden Regelungen der ECE (Economic Commission for Europe) oder sind den ECE-Regelungen [ECE, 2004] sehr ähnlich, weshalb eine Berücksichtigung der nationalen Vorschriften keinen Gewinn für die Bewertung bringen wird.

In einigen wenigen Fällen existieren noch besondere Vorschriften, nach denen eine Genehmigung für lichttechnische Einrichtungen auf rein nationaler Basis erfolgen könnte (z. B. Bremsleuchte). Da aber dort immer geringere Werte angesetzt werden als in der ECE, führt dies im Extremfall im Hinblick auf eine NCAP-Bewertung nur zu schlechteren Ergebnissen.

1.2 Europäische Bestimmungen und ECE-Regelungen

Die in der Europäischen Union geltenden Richtlinien hinsichtlich der Beleuchtung an Kraftfahrzeugen wurden seit ihrer ersten Veröffentlichung von Zeit zu Zeit an den Regelungsstand der ECE angepasst. Seit dem 24. März 1998 [ECE, 2004d] ist die EU selbst Mitglied der ECE und somit aktiv an der Entwicklung der ECE-Regelungen beteiligt.

Abweichungen von den ECE-Regelungen zu EWG-Richtlinien existieren im Wesentlichen auf administrativer Ebene. Die technischen Anforderungen sind aufgrund der ECE Mitgliedschaft angeglichen, sodass in den EWG-Richtlinien für technische Anforderungen lediglich auf die jeweiligen ECE-Regelungen verwiesen wird. Es ist deshalb ausreichend, sich für NCAP-relevante Anforderungen an die Fahrzeugbeleuchtung auf die Bestimmungen der ECE zu konzentrieren.

1.2.1 Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtungen an der Fahrzeugfront von Pkw

1. Vorgeschriebene Einrichtungen
 - a) Scheinwerfer für Abblendlicht
 - i) mit Glühlampe
 - ii) mit Gasentladungslampe
 - b) Scheinwerfer für Fernlicht
 - i) mit Glühlampe
 - ii) mit Gasentladungslampe
 - c) Begrenzungslicht
 - d) Fahrtrichtungsanzeiger
2. Zusätzliche Einrichtungen (aktueller Stand)
 - a) Kurvenlicht
 - b) Abbiegelicht

- c) Nebelscheinwerfer
- d) zusätzliche Fernlichtscheinwerfer

3. Künftige Einrichtungen

- a) Stadtlicht
- b) Autobahnlicht
- c) Schlechtwetterlicht
- d) neuer Nebelscheinwerfer (New Front Foglamp, NFF)

4. Neue Technologien

- a) LED
- b) Pixellicht (Pixellight)
- c) Lichtleitersysteme

1.2.2 Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtungen an der hinteren Fahrzeugseite von Pkw

1. Vorgeschriebene Einrichtungen

- a) Schlussleuchten
- b) Bremsleuchten
 - i) Bremsleuchten (ECE-Klasse S1)
 - ii) Bremsleuchten (ECE-Klasse S2)
 - 1) mit einem Lichtstärkepegel
 - 2) mit zwei Lichtstärkepegeln
 - iii) Bremsleuchten (ECE-Klasse S3)
- c) Fahrtrichtungsanzeiger
 - i) mit einem Lichtstärkepegel
 - ii) mit zwei Lichtstärkepegeln
- d) Rückfahrcheinwerfer
- e) Nebelschlussleuchten
- f) Rückstrahler
- g) Kennzeichenbeleuchtung

2. Zusätzliche Einrichtungen (aktueller Stand)

keine

3. Künftige Einrichtungen

- a) Brake Force Display/erweiterte Bremsstärkenanzeige/Notbremsignal

- b) adaptive Leuchten

4. Neue Technologien

- a) LED
- b) Lichtleitersysteme

1.2.3 Seitlich angebrachte Beleuchtungseinrichtungen an Pkw

1. Vorgeschriebene Einrichtungen

keine

2. Zusätzliche Einrichtungen (aktueller Stand)

- a) Blinkleuchten
- b) Seitenmarkierungsleuchten
- c) seitliche Rückstrahler

3. Künftige Einrichtungen

Konturmarkierungen

4. Neue Technologien

- a) LED
- b) Lichtleitersysteme

2 Stand der Entwicklung im Hinblick auf ein NCAP der Beleuchtung

Die folgende Aufstellung zeigt einen Überblick über den derzeitigen Stand der Entwicklung und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sofern notwendig, werden weitere Literaturangaben in den einzelnen Punkten der NCAP-Bewertung angegeben.

Die Literatur zur Bewertung der Beleuchtung von Kraftfahrzeugen konzentriert sich, wie sich zeigt, größtenteils auf die Bewertung der Scheinwerfer. Mit der Verfügbarkeit leistungsfähiger Rechner wurden Simulationsprogramme entwickelt, die alsbald den Wunsch erzeugten, eine Bewertung der Scheinwerfer vorzunehmen, die über das gesetzliche Maß hinausgeht.

2.1 Rechnergestützte Bewertungssysteme

HOFMANN [Hof., 2003] führt in seiner Dissertation die Programme PCDETECT und CHESS an, die bei Ford um 1977 entwickelt wurden. Hiermit konn-

ten Sehweiten von Sichtzeichen wie Fußgänger und Fahrbahnmarkierungen in dem Modell vorhergesagt werden. Selbst die Blendung durch entgegenkommende Fahrzeuge wird berücksichtigt.

Eine Weiterentwicklung dieses Programms mit Fuzzylogik ermöglichte bei ICHICOH-Kriterien wie Blendung und Sehweite zusammenfassend durch das subjektive Kriterium „Zufriedenheit“ zu beschreiben. Diese Programme gestatteten jedoch auf Grund der begrenzten Rechenleistung keine Visualisierung.

Heute besitzen nahezu alle größeren Scheinwerfer- und Automobilhersteller Visualisierungsprogramme z. B. [Web., 2001], [Son., 2001], [Hog., 1997], [Hog., 2000]. Diese Programme gestatten die Visualisierung der Lichtverteilung, um dem Ingenieur möglichst frühzeitig einen Eindruck über die Leistungsfähigkeit der Scheinwerfer zu geben. Die Beurteilung wird dabei dann aber wiederum durch ein subjektives Urteil geprägt und hängt von der Erfahrung der jeweiligen Person ab.

Ein objektives Kriterium wird hierbei nicht vorgeschlagen, obwohl immer wieder durch Bilder belegt wird, dass sich eine Verbesserung der Erkennbarkeit einstellt.

2.2 Bewertung der Beleuchtung in den USA

Im Jahre 1999 [FBO, 1999] hat die NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) ein Projekt aufgelegt, in dem die Durchführbarkeit eines Bewertungssystems für Scheinwerfer geprüft werden sollte. Hierbei wurde festgestellt, dass es weitere Kriterien, die über die gesetzlichen Vorschriften hinausgehen, geben muss. Es wurde vorgeschlagen ein Bewertungssystem zu erarbeiten, um die Anzahl guter Scheinwerfersysteme zu erhöhen.

FLANNAGAN und SIVAK [Fla., 2001] von der University of Michigan Transport Research Institute (UMTRI) wurden mit dieser Aufgabe betraut. Sie forderten unter anderem, dass ein Bewertungssystem keinesfalls dazu führen darf, dass die Scheinwerfer nur gezielt auf eine gute Bewertungserfüllung konstruiert werden, ohne dabei auch allgemeine Eigenschaften für ein hohes Maß an Komfort und Sicherheit zu besitzen.

Als kritisch wird hierbei die Einbeziehung der Blendung bewertet, da die Akzeptanz einer Beleuchtung vor allem auf die eigene gute Sicht von lichttech-

Wichtig	Sichtweite bei Abblendlicht
Weniger wichtig	Sichtweite bei Fernlicht, Abblendlichtcharakteristik, Breite, Beleuchtung von Schildern, Blendung, Vorfeldbeleuchtung

Tab. 2.1: Bewertungskriterien nach FLANNAGAN

nisch unbedarften Autofahrern zurückzuführen ist. Außerdem fordern sie, dass auf alle Fälle das Fernlicht bewertet wird, um zu verhindern, dass bei der Konstruktion ein optimales Abblendlicht auf Kosten des Fernlichtes entsteht.

Interessanterweise plädieren sie dafür, den Einfluss des Alters der Fahrzeugführers außer Acht zu lassen, da ein guter Scheinwerfer nicht nur bei erhöhter Blendempfindlichkeit und verminderter Kontrastempfindlichkeit Vorteile bringt. Außerdem sind sie dafür, die Beleuchtung fahrzeugbezogen zu beurteilen.

Erarbeitet wurde schließlich ein Bewertungssystem, welches ausgehend von der Lichtverteilung des Scheinwerfers bestimmte Parameter berechnet [Fla., 2003] und daraus eine Bewertungsskala ermittelt. FLANNAGAN unterscheidet dabei zwischen wichtigen und weniger wichtigen Kriterien, wobei einzig die Sichtweite als wichtiges Kriterium gesehen wird (Tabelle 2.1).

Bereits 1997 haben O'DAY et al. [Oda., 1997] versucht, messbare Größen einer Scheinwerferlichtverteilung mit dem objektiven Urteil über Scheinwerfer in Einklang zu bringen. Sie haben dabei mehrere Formeln für diesen Zusammenhang entwickelt, die in folgende Gruppen unterteilt waren:

- Gleichmäßigkeit der Lichtverteilung,
- Scheinwerfereinstellung,
- Reichweite,
- Form,
- Komfort.

Zwischenzeitlich wurde von der NHTSA eine Umfrage zum Thema Blendung durchgeführt. Es ergaben sich einige tausend Rückmeldungen. Diese führen nun dazu, dass sich die NHTSA ausführlich mit dem Thema Blendung beschäftigt. Hierzu wurde am 15. Juli 2004 in Washington ein Workshop „Blendung“ durchgeführt, der zur Basis weiterer Diskussionen und Forschungsvorhaben dienen soll.

2.3 Europäische Bewertung

2.3.1 Allgemein

Schon 1995 wurde von BERTHING [Ber., 1995] eine Methode vorgeschlagen, wie die Lichtverteilung eines Scheinwerfers über die gesetzlichen Bestimmungen hinaus bewertet werden kann. Es wurden hier die Beleuchtungsstärken in 25 m Entfernung mit einer Gewichtungsfunktion integriert und so eine Maßzahl für den „Verbrauchernutzen“ ermittelt.

DAHLEM [Dah., 1996] hat 1996 Scheinwerfer aus dem SAE-Raum und ECE-Raum verglichen. Er konnte dabei die folgenden Kriterien

- Helligkeit,
- Homogenität,
- Inhomogenitäten,
- Reichweite,
- Hell-Dunkelgrenze,
- Auslauf der Scheinwerferausleuchtung

als wichtig für die Beurteilung eines Scheinwerfers durch Befragungen und Fahrversuche identifizieren. Im Jahre 1998 zeigten HAMM et al. [Ham., 1998], dass inhomogene Zonen in der Scheinwerfer-Lichtverteilung durch die Bestimmung der Leuchtdichte auf einer diffus reflektierenden Wand erfasst werden können. Damit verbanden sie damals die Hoffnung, aussagekräftige Parameter für eine gute Lichtverteilung zu bekommen. Ebenfalls von HAMM et al. [Ham., 2001] stammt ein Vorschlag, in dem sie die Leistungsfähigkeit eines Scheinwerfers in Sicherheit und Komfort unterteilen. Zur Sicherheit zählen neben dem Lichtstrom, der Reichweite und den Beleuchtungsstärkewerten auch die seitliche Ausleuchtung und die Fläche, welche die 1-lx-Isoluxlinie auf der Straße umschließt, sowie deren maximale Entfernung vom Scheinwerfer. Die seitliche Ausleuchtung darf dabei keine scharfe Hell-Dunkel-Grenze besitzen. Der seitliche Gradient sollte nicht zu groß sein. Der Komfort einer Lichtverteilung wird mit einer homogenen Leuchtdichteverteilung auf der Straße in Verbindung gebracht.

Ein weiterer Vorschlag stammt von BOEBEL [Boe., 2003]. Sie unterscheidet dabei verschiedene Einflussfaktoren und unterteilt in unterschiedliche Klassen, die jeweils getrennt bewertet werden:

- beleuchtete Fläche der Fahrbahn, Leuchtwerte,

- seitliche Ausleuchtung, deren Gradient und Gleichmäßigkeit,
- Selbstblendung, Hell-Dunkel-Grenze, Einstellung,
- Leuchtweitenregelung, Spannungsversorgung, Reinigungsanlage,
- Fußgängerschutz, Wartung, visuelle Erscheinung.

2.3.2 TRL-Report

Das TRL in England hat zusammen mit ICE, ABD und BSI bereits konkrete Vorstellungen erarbeitet, wie eine NCAP-Bewertung aussehen könnte [TRL, 2002]. Die Scheinwerfer werden in einem Messraster in 0,5°-Schritten gemessen (Beleuchtungsstärke in 25 m Messentfernung). Aus diesen Messwerten werden alle relevanten Parameter ermittelt. Die Scheinwerfer werden bei der Spannung gemessen, die sich bei einer Motordrehzahl von 2.000 U/min einstellt. Die Erkennbarkeit von Hindernissen hat dabei zunächst Priorität, wobei dem Visibility-Level nach ADRIAN [Adr., 1989] eine große Bedeutung zukommt.

Objektive Größe, Blendung und Altersabhängigkeit gehen dabei in die Berechnungen ein. Unterstützt werden die Berechnungen durch Feldversuche. Die Autoren stellen fest, dass für das Erkennen von Objekten wenigstens 3 lx (in 25 m Messentfernung) notwendig sind. Hinsichtlich der Blendung anderer Verkehrsteilnehmer wird festgestellt, dass die Beurteilung selbst von heute zulässigen Beleuchtungsstärken negativ ausfallen kann, was eine Bewertung im Sinne von NCAP erschwert.

2.4 GTB-Aktivität

Der Arbeitskreis „Front Lighting – Working Group, EuroNCAP Task Force“ der GTB beschäftigt sich seit Mitte 2003 mit dem Thema „Bewertung der Fahrzeugbeleuchtung“. Bis Juni 2005 ist in diesem Kreis nur die Beleuchtung durch Scheinwerfer („Crossing Beam“ und „Driving Beam“) diskutiert worden [GTB, 2003a], [GTB, 2005].

Zur Ermittlung der Messwerte werden die Scheinwerfer aus dem Fahrzeug ausgebaut und mit einem Goniometer vermessen. Dabei wird eine Spannung von $13,2 \pm 0,05$ V an die Lampe angelegt und der auf dem Scheinwerfer vermerkte Einstellwinkel ein-

gestellt. Es wird keine spezielle Prüflampe benutzt, sondern die im Fahrzeug eingebaute verwendet.

Ein wichtiges Anliegen der GTB ist die Wiederholgenauigkeit der Messungen. Weiterhin soll das Bewertungsverfahren nicht eine bestimmte Technologie (z. B. Xenon) bevorzugen.

Die Bewertung des Abblendlichtes wird unterteilt in Sichtbarkeit und Blendung.

Bei Sichtbarkeit werden 5 Kriterien untersucht:

- Reichweite, notwendig zur Erkennung des Straßenverlaufes und von Fußgängern. Als Messwert wird der Lichtstrom jenseits von 50 m herangezogen.
- Breite, notwendig zur Erkennung des Straßenverlaufes auf Geraden und besonders in Kurven und zur Erkennung von Fußgängern. Als Bewertungsgrundlage wird die Breite der 3-lx-Isoluxlinie im Bereich von 30 bis 50 m vor dem Fahrzeug benutzt.
- Breite der Ausleuchtung an Kreuzungen. Auch hier wird die Breite der 3-lx-Isoluxlinie benutzt, allerdings im Bereich von 10 bis 20 m vor dem Fahrzeug.
- Kontrast, zur Erkennung von Hindernissen. Zur Bewertung werden Verhältnisse von Beleuchtungsstärken an verschiedenen Orten im Sichtfeld gebildet [GTB, 2003b].
- Lichtstrom, unter anderem zur Bestimmung des Wirkungsgrades der Scheinwerfer. Der gesamte Lichtstrom, abgegeben in einen beschränkten Raumwinkel vor dem Fahrzeug, wird gemessen.

Die Blendung unterteilt sich in Selbstblendung bei widrigen Wetterverhältnissen und Blendung des Gegenverkehrs. Auch die Blendung des Vordermanns über dessen Rückspiegel wird durch Bewertung der Anbauhöhe der Scheinwerfer bewertet. Hierbei besteht jedoch noch Diskussionsbedarf.

Die Bewertung des Fernlichtes orientiert sich an der Bewertung der Sichtbarkeit des Abblendlichtes. Blendung wird bei dem Fernlicht nicht bewertet und die genauen lichttechnischen Werte zur Beurteilung der Sichtbarkeit werden noch festgelegt.

Da die Festlegung der Bewertungsvorschriften durch die GTB noch nicht abgeschlossen sind, können sich noch Änderungen zu dem hier vorgestellten Testverfahren ergeben.

2.5 Gleichzeitiges Leuchten der Scheinwerfer und der Signalleuchten

In der Vergangenheit ist es aufgrund fehlender Regelungen bezüglich der Sichtbarkeit von Signalleuchten, die sehr nahe beim Scheinwerfer angebracht sind, zu Fehlentwicklungen gekommen. So werden vordere Signalleuchten (gelbe Fahrtrichtungsanzeiger bzw. Warnblinker) sehr schlecht erkannt, wenn diese sehr nah beim Scheinwerfer montiert sind und zudem einen zu geringen Kontrast zum Scheinwerfer aufweisen. Der Unterschied im Farbort reicht nicht für die Erkennbarkeit aus. Die Signalleuchte ist bestenfalls örtlich vom Scheinwerfer getrennt und hat eine ausreichend große Leuchtfläche und Leuchtdichte. Die ausreichenden Größen sollten noch näher verifiziert werden. Hierzu wird derzeit ein Vorschlag durch die GTB erarbeitet. In Abschnitt „Sicherheit – Anordnung der Signale“ wird derzeit auf die Arbeiten von ALFERDINCK [Alf., 1996] zurückgegriffen.

2.6 Blenden anderer Verkehrsteilnehmer durch Signalleuchten

In seinem Bericht [Kan., 2003] beschreibt KANEKO die Problematik, dass die immer häufiger in Signalleuchten eingesetzten Leuchtdioden (LED) eine neue Betrachtungsweise des Themas Blendung erfordern.

Die Vorteile der LED liegen klar auf der Hand: schnelleres Ein- und Ausschalten der Leuchte, größere Freiheit im Design und geringerer Platzbedarf. Da die Leuchtdichte der LED heute noch nicht die der herkömmlichen Lampen erreicht hat, werden zur Erzeugung der gleichen Gesamtlichtstärke mehrere LED pro Leuchte benötigt. Aber schon in naher Zukunft werden LED gleiche und sogar höhere Leuchtdichten erreichen. Dann kann die herkömmliche Lampe vollständig durch eine LED ersetzt werden. Der Lichtaustritt und die Abstrahlcharakteristik der LED können wie bei allen Lichtquellen im Fall von ungünstigem optischem Design die Blendeigenschaften der Signalleuchte negativ beeinflussen. Bei den heutzutage häufig verwendeten konstruktiv bedingten Auslegungen kommt die kleinere leuchtende Fläche der LED direkt zum Tragen.

KANEKO zeigt die Gemeinsamkeiten zwischen dem entwickelten „Blendtest für Signalleuchten“

und der existierenden Berechnungsmethode für Blendung durch Scheinwerfer auf.

Bei seinen Tests fand KANEKO einen engen Zusammenhang zwischen Leuchtdichte und Blendung und empfiehlt daher, bei dem in Zukunft zunehmenden Einsatz von LED in Signalleuchten die Übernahme des existierenden „Discomfort-Glare Index“ nach WESTERMANN für die Bewertung der Blendung von Signalleuchten. Jedoch sollte auch bedacht werden, dass einzelne Funktionen wie z. B. Bremslicht und Fahrtrichtungsanzeiger einen gewissen „Störgrad“ (Blendungsgrad) erreichen sollen, um eine deutlich überschwellige Wirkung zu erreichen.

2.7 Qualität der Signalleuchten

Derzeit wird in den ECE-Regelungen nur die Lichtstärke von Signalleuchten zu deren Beurteilung herangezogen.

Bei RIPPERGER [Rip., 2001] findet man Untersuchungen darüber, dass die Leuchtdichte eine entscheidende Größe für die Erkennbarkeit durch die anderen Verkehrsteilnehmer ist. Weiterhin stellte er im Vergleich von 70 Autoleuchten fest, dass trotz unterschiedlicher Signalfunktion (Schlussleuchte oder Bremsleuchte) oftmals die Leuchtdichte in der gleichen Größenordnung liegt. Damit ist die Unterscheidung zwischen Schlussleuchte und Bremsleuchte für den nachfolgenden Verkehrsteilnehmer kaum mehr möglich.

In seinen Tests stellte er fest, dass Versuchspersonen unter nächtlichen Testbedingungen die optimale Leuchtdichte von Schlussleuchten bei 50 cd/m^2 und die von Bremsleuchten bei 1.100 cd/m^2 finden. Diese Ergebnisse hat er allerdings noch nicht unter realen Verkehrsbedingungen verifiziert.

ARMBRUSTER [Arm., 2001] bestimmte in seiner Arbeit in zahlreichen Labor-, Stand- und Fahrversuchen die für die optimale Funktionserkennung von Schlussleuchten notwendigen Leuchtdichten bei Tag und in der Nacht. Er schlägt u. a. vor, als Prüfgrundlage innerhalb der ECE nicht mehr Lichtstärken, sondern Leuchtdichten als Grundgröße heranzuziehen, da diese eine wesentlich größere Aussagekraft hinsichtlich der Erkennung von Signalen besitzen.

2.8 Künftige Einrichtungen

Künftige mögliche Einrichtungen sollten bei den Untersuchungen zumindest mit betrachtet werden, da hieraus teilweise auch Erkenntnisse für die derzeit geltenden Anforderungen abgeleitet werden können.

2.8.1 Bremsstärkeanzeige, Notbremsignal

Beim Aufleuchten eines konventionellen Bremslichtes kann der nachfolgende Fahrer nicht erkennen, ob das vorausfahrende Fahrzeug stark oder schwach abgebremst wird. Bei zunehmend höheren Geschwindigkeiten, kürzeren Fahrzeugabständen und höheren Bremsverzögerungen (Bremsassistent) erscheint ein aussagefähigeres Bremslichtsignal erforderlich, um die Gefahr von Auffahrunfällen zu verringern. So zeigte zum Beispiel BARSKE auf dem PAL-Symposium 2003 die Vorteile des Integral-Bremslichtes (IBL) [Bar., 2003] auf. Weitere Systeme werden in einem Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen [BAS, F39] behandelt. Inwieweit solche Systeme zulassungsfähig sind beziehungsweise werden, ist jedoch abzuwarten.

2.8.2 Gesetzliche Regelungen

Die derzeitigen Gesetze lassen Informationen über die Höhe der durch einen Bremsvorgang verursachten Gefahr praktisch nur eingeschränkt zu. Voraussetzung für die Zulassung eines weiterentwickelten Bremslichts ist neben dem Nachweis seiner Vorteile auch der Nachweis, dass es zu keinerlei Verschlechterung gegenüber dem konventionellen Bremslicht kommen kann, wie z. B. Verwechslungen, Irritationen, Reizüberflutung oder gar falschen Signalen.

2.8.3 Stand der Technik

Die ECE-Regelung Nr. 7 [ECE, 2005c] lässt eine Tag-Nacht-Schaltung zu, die jedoch bisher nicht umgesetzt wurde. Hier könnte eine positive Bewertung solcher Tag-Nacht-Systeme der Verkehrssicherheit dienen.

In einer BAS-Studie [BAS, F39] wird gezeigt, dass es Möglichkeiten gibt, die Aufmerksamkeit des Signalbildes bei Gefahrenbremsung zu erhöhen. Diese Vorschläge erfordern allerdings, wie schon oben erwähnt, eine Änderung der ECE-Regelungen.

2.8.4 Wirkungsbewertung

Bei der Bewertung von Leuchten sollten über die in den einschlägigen ECE-Regelungen festgelegten Mindest- und Maximalwerte hinaus folgende Parameter mit in die Bewertung einbezogen werden:

- Leuchtdichte,
- Form der Leuchte,
- leuchtende Fläche,
- Position der Leuchte,
- Anzahl der leuchtenden Flächen,
- Frequenz,
- Farbe.

Hierzu können zum Beispiel die Tests von FENK [Fen., 1997] im Fahrsimulator herangezogen werden. Ähnlich wie in den Ergebnissen der BAST [BAS, 1979] stellt er fest, dass eine optimale Bremsleuchte als 3-stufige Anzeige ausgeführt sein müsste, die je nach Bremssituation eine der drei Stufen darstellt. Dabei werden sowohl die leuchtende Fläche als auch die Leuchtdichte mit steigender Bremskraft vergrößert und die Form der dritten hochgesetzten Bremsleuchte je nach Bremskraft verändert (keine Anzeige, die halbe 3. Bremsleuchte, die ganze 3. Bremsleuchte).

ARMBRUSTER [Arm., 2001] hat in seiner Dissertation die für den Helligkeitseindruck im Nahbereich relevante Leuchtdichte von Schluss- und Bremsleuchte ermittelt und auf Basis dieser Erkenntnisse ein adaptives Signalleuchtsystem definiert. Dabei berücksichtigt er sowohl die Anordnung als auch die Farbe bzw. den Farbabstand der einzelnen Signallichter sowie den Einfluss von Blendung durch entgegenkommende Kraftfahrzeuge.

2.9 Unfallstatistik

Für die Gewichtung sollten, wenn möglich, Ergebnisse der Unfallstatistik herangezogen werden.

Der Anteil der Nachtunfälle am insgesamt rückläufigen Gesamtunfallaufkommen hat stark zugenommen. LANGWIEDER kommt in seiner Studie [Lan., 1997] zu dem Ergebnis, das die Hälfte aller tödlich verlaufenden Verkehrsunfälle in der Nacht passieren, obwohl das Verkehrsaufkommen in den Nachtstunden nur ein Bruchteil dessen in den Tagstunden beträgt.

Die Dunkelheit und die Dämmerung sind vor allem durch ihre schwerwiegenden Unfälle gekennzeichnet, wohl auch deshalb, weil der Mensch 90 % seiner Informationen über seine Umgebung über das Auge aufnimmt. Die schlechten Sichtverhältnisse bei Dunkelheit gefährden vor allem Pkw-Insassen, Fußgänger, Mofa- und Mopedfahrer. Schlechte Witterungsbedingungen (Regen, Schnee) wirken zusätzlich unfallbegünstigend.

Pkw-Insassen sind dabei besonders außerorts gefährdet, da dort die Kollisionsgeschwindigkeit deutlich höher als innerorts ist. Außerorts überwiegen die Fahrunfälle, sprich Kollisionen, bei denen der Fahrer die Beherrschung über sein Fahrzeug verloren hat, und Unfälle im Längsverkehr (meistens Überholunfälle). Innerorts geschehen die meisten Unfälle beim Einbiegen, Kreuzen und Abbiegen, aber auch im Längsverkehr. Weitere unfallbegünstigende Faktoren sind innerorts und nachts aggressive Fahrweise (überhöhte Geschwindigkeit, Überholen ohne ausreichende Sicht) und Fahren im alkoholisierten Zustand oder unter Einfluss anderer Drogen.

So stellt LANGWIEDER als dominierende Unfallursachen bei Dunkelheit folgende heraus:

Innerorts:

- Vorfahrtverletzung,
- Abbiegefehler,
- Abweichen vom Rechtsfahrgebot.

Außerorts:

- nicht angepasste Geschwindigkeit,
- Abweichen vom Rechtsfahrgebot,
- Vorfahrtverletzungen,
- Überholfehler.

Fußgängerunfälle mit Todesfolge ereignen sich innerorts zur Hälfte nachts und außerorts zu fast 80 % nachts. Das zeigt, dass Fußgänger, weil sie zum größten Teil nur tagsüber unterwegs sind, nachts einem extremen Unfallrisiko ausgesetzt sind. Deshalb ist laut LANGWIEDER davon auszugehen, dass Wahrnehmungs- und Sichtprobleme eine wichtige Rolle bei der Unfallentstehung spielen. Ungünstige Witterungsverhältnisse, vor allem Regen (Streulicht, erniedrigte Umgebungsleuchtdichte, verstärkte Blendung), und dunkle Kleidung von Fußgängern wirken hier unfallbegünstigend.

Unfallhäufungen treten an Fußgängerfurten, Haltestellen des ÖPNV und vor Lokalen bzw. Diskotheken auf.

BÄUMLER bemerkt in [Bäu., 1997], dass die meisten Unfälle Überschreitensunfälle sind, also solche, bei denen der Fußgänger die Fahrbahn queren möchte.

Zusammenfassend kommt LANGWIEDER zu dem Schluss, dass verbesserte Beleuchtungseinrichtungen am Fahrzeug, gerade bei ungünstigen Wahrnehmungsbedingungen, ohne eine Erhöhung der Blendung anderer Verkehrsteilnehmer, helfen können, schwere Unfälle zu vermeiden.

Auch BÄUMLER sieht die Möglichkeit der Verminderung der häufig auftretenden Abbiege- und Längsverkehrsunfälle durch eine Verbesserung der Lichtanlage an Kfz.

Auch OTTE stellte bei der Auswertung von Nachtunfällen [Ott., 1995] fest, dass diese durch eine besondere Schwere gekennzeichnet sind. Mit zunehmender Dunkelheit nimmt laut OTTE nicht nur der Anteil der Unfälle mit Schwerverletzten und auch Getöteten zu, sondern auch die Schwere der Verletzungen. Auch OTTE kommt zu dem Ergebnis, dass sich innerorts die Nachtunfälle zu fast gleichen Teilen auf Geraden, Einmündungen und Kreuzungen verteilen. Außerorts passieren mehr als die Hälfte der Unfälle auf meist unbeleuchteten Geraden.

OTTE unterscheidet die Unfallarten nach den Kollisionspartnern:

- Unfälle ohne Beteiligung eines anderen Verkehrsteilnehmers (über 10 % aller Unfälle innerorts und fast 50 % aller Unfälle außerorts),
- Kollision zweier Pkw (über 20 % aller Unfälle innerorts und über 20 % aller Unfälle außerorts),
- Kollision eines Pkw mit einem Fußgänger oder Radfahrer (25 % aller Unfälle innerorts),
- Kollision zwischen einem Pkw und einem Lkw (über 5 % aller Unfälle außerorts).

Als Ergebnis stellt OTTE heraus, dass Nachtunfälle insbesondere bei jungen Fahrern durch nicht angepasste Geschwindigkeit und physiologisch bedingte Verkehrsuntüchtigkeit der Fahrer infolge von Alkohol geprägt sind. Aber auch die Nichtanpassung der Geschwindigkeit an schlechtere Sichtverhältnisse oder schlechtere Fahrbahnverhältnisse

(Nässe, Glätte) führt zu einer vermehrten Zahl schwerer Nachtunfälle.

2.10 Komforterhöhung durch getönte Scheiben

Die Verwendung von eingefärbtem Glas im Automobilbau ist mit dem Wunsch nach Komfort und Ästhetik begründet. Der Komfort erhöht sich durch die bessere Wärmedämmung. Das ästhetische Empfinden favorisiert die Abstimmung der Farbe des Glases mit der Lackierung des Fahrzeugs. Eingefärbte Glasscheiben weisen im Gegensatz zu nicht eingefärbten Glasscheiben eine geringere Lichttransmission auf. Im Bericht [Bas., 1979] stellt die BAST die Frage nach der Veränderung der Sicherheit im Straßenverkehr aufgrund der veränderten Lichtdurchlässigkeit.

In den ECE-Vorschriften [ECE, 2004b], Regelung 43, ist als minimale Transmission von Windschutzscheiben 75 % angegeben. Die Transmission ist von der Neigung der Scheibe abhängig und nimmt mit zunehmender Neigung gegen die Senkrechte ab. Bei einem Einbauwinkel der Windschutzscheibe zwischen 30 und 60 Grad kann somit die von der DIN geforderte Transmission im eingebauten Zustand nicht mehr erreicht werden.

2.11 (Dynamische) Innenbeleuchtung

Moderne Kraftfahrzeuge besitzen häufig eine Beleuchtung des Innenraums, die während der nächtlichen Fahrt eingeschaltet ist. Dies soll dem Fahrer ein angenehmes Arbeitsumfeld vermitteln sowie die Orientierung innerhalb des Fahrzeugs ermöglichen.

Die Arbeiten von GRIMM [Gri., 2002], [Gri., 2003a], [Gri., 2003b] behandeln das Thema von optimalen und maximalen Leuchtdichten, die im Kraftfahrzeug bei Nacht nicht überschritten werden sollten. Die beschriebenen Untersuchungen im Labor und im realen Straßenverkehr erlauben eine Ableitung einer Empfehlung. Diese Empfehlung kann sowohl für die Prüfung bestehender Systeme als auch für die Entwicklung neuer Fahrzeuginnenraumbeleuchtungen genutzt werden.

Festzuhalten ist nach GRIMM, dass eine ambiente Innenraumbeleuchtung zu einem entspannteren und komfortableren und damit sichereren Fahren beiträgt, solange eine gewisse Leuchtdichte, ab-

hängig vom Ort im Fahrzeug, nicht überschritten wird.

Die Bewertung der Fahrzeuginnenbeleuchtung wird im Wesentlichen durch drei Parameter charakterisiert:

- Die Störung des Fahrers steigt mit zunehmender Leuchtdichte an. Diese Leuchtdichte lässt sich für die einzelnen Bereiche des Fahrzeuges angeben.
- Je größer die leuchtende Fläche im Fahrzeug ist, desto größer ist auch der Einfluss auf den Fahrer.
- Die Störung wird mit zunehmendem Darbietungswinkel geringer.

Dies lässt bei der Bewertung der Störgröße Fahrzeuginnenbeleuchtung die Unterscheidung zwischen Fahrer- und Passagierbereich zu.

Eine ambiente Innenbeleuchtung wirkt sich positiv auf das Adaptionsniveau des Fahrers aus. Hindernisse werden früher erkannt und es kann ein Reaktionszeitgewinn von bis zu 2,5 Sekunden in kritischen Verkehrssituationen erreicht werden.

Wird der Fahrzeugraum farbig beleuchtet, stellt sich das für die Farbvalenzen Grün bis Blau problematisch dar, da der Fahrer in diesen Fällen deutlich mehr durch die Beleuchtung beeinflusst wird. Bei den Farbvalenzen Rot und Orange ist der entgegengesetzte Effekt zu erkennen. Die in diesem Farbbereich begrenztere Gesichtsfeldgröße wirkt sich positiv aus, da peripher dargebotene Objekte den Fahrer weniger beeinflussen.

Als wesentliche Erkenntnis stellt GRIMM die Notwendigkeit der Anpassung der ambienten Lichtfunktion an die Umgebungsbeleuchtungsstärke heraus.

In Bereichen mit ortsfester Straßenbeleuchtung werden die ambienten Leuchtdichten durch die sekundären Leuchtdichten im Fahrzeug überstrahlt. Dadurch wird die Wirkung der ambienten Innenraumbeleuchtung stark reduziert. Als wichtig erachtet GRIMM daher für zukünftige Konzepte die Anpassung an unterschiedliche Situationen, wie Stadtverkehr, Landstraßen- oder Autobahnsituationen.

Des Weiteren sollte die Fahrzeuginnenbeleuchtung an die Innenausstattung angepasst sein. Messungen von GRIMM haben ergeben, dass verschiede-

ne Reflexionseigenschaften der Innenausstattung aufgrund unterschiedlicher Materialien den Störgrad beeinflussen.

Zusätzlich sollte dem Fahrer die Möglichkeit gegeben werden, das Leuchtdichtenniveau innerhalb von vorgegebenen Grenzen an die individuellen Bedürfnisse anzupassen, da zum Beispiel ältere Fahrer grundsätzlich ein leicht erhöhtes Leuchtdichtenniveau im Fahrzeug fordern.

Schlussendlich stellt GRIMM fest, dass die Beleuchtung im Fahrzeuginneren sowohl ein Komfortmerkmal als auch ein Sicherheitsfeature für künftige Fahrzeugkonzepte darstellt.

Dieser Sachverhalt muss in ein Bewertungskonzept übertragen werden.

2.12 (Dynamische) Instrumentenbeleuchtung

Für die Instrumentenbeleuchtung, die schon heute in den meisten Fällen auch zur Fahrzeuginnenbeleuchtung beiträgt, gelten ähnliche Vorgaben wie GRIMM sie für die ambiente Fahrzeuginnenbeleuchtung vorschlägt. Auch die Instrumentenbeleuchtung sollte sich an unterschiedliche Situationen wie Stadtverkehr, Landstraßen- oder Autobahnsituationen und somit unterschiedlichen Umfeldbeleuchtungssituationen anpassen.

2.13 Anzeigen

Gesetzlich vorgeschriebene Anzeigen im Fahrzeugcockpit sind [ECE, 2002b]:

- Fernlichtanzeige,
- (Warn-)Blinkeranzeige,
- Nebelscheinwerferanzeige,
- Nebelschlussleuchtenanzeige,
- Abblendlichtanzeige,
- Ausfallanzeige für Lampen.

Die Farbe und Form der Symbole sind in den ECE Regelungen festgelegt. Unter anderem sind die Farben und Formen in der ECE-Regelung 60, Anhang 4 [ECE, 1996] vermerkt und durch die EWG-Richtlinie 78/316/EWG [EWG, 1978] festgelegt.

2.14 Farbdifferenzen

Als harmonisch wird eine Beleuchtung bezeichnet, wenn verschiedene Lichtfunktionen, die Licht gleichen Farbbereiches abstrahlen, auch gleichfarbiges Licht abgeben. So unterscheidet sich zum Beispiel eine weiße vordere Begrenzungsleuchte mit gelblichem Glühlampen-Weiß von einem weißen Abblendlicht mit bläulichem Xenonlampen-Weiß. Eine harmonische Beleuchtung würde nur Licht gleichen Weißtones abstrahlen. Die Farbunterschiede sind visuell leicht festzustellen.

Messtechnisch ergeben sich jedoch einige Probleme. FISCHER beschreibt in seinem Artikel [Fis., 1999] die Probleme beim Umrechnen von CIE-Farbwerten [CIE, 1978] in Luv-Farbwerte, denen die ECE-Farbwerte zugrunde liegen. Nach einer solchen Umrechnung stimmt zum Beispiel „Gelb“ nach ECE-Regeln nicht mit dem nach CIE-Regeln überein. Dies macht eine Bewertung bezüglich des Farbnamens der Beleuchtung problematisch, da so zum Beispiel die Zuordnung zu „Gelb“, „Orange“ oder „Rot“ von der Wahl des Farbkoordinatensystems abhängt.

2.15 Lichtassistent (Automatische Lichteinschaltfunktion/ Dämmerungsschalter)

Lichtassistenten erhöhen die Sicherheit im Verkehr, da sie bei einem vom Fahrzeughersteller festgelegten Wert der Umgebungshelligkeit das Abblendlicht des Fahrzeugs selbsttätig einschalten. Dadurch wird in vielen Fällen das Licht schon bei größerer Helligkeit eingeschaltet, da Menschen erst dann daran denken, das Licht einzuschalten, wenn es für sie zu Sichtbeeinträchtigungen kommt. Dem können Lichtassistentensysteme entgegenwirken, indem sie rechtzeitig das Licht automatisch einschalten. Assistenzsysteme sind auf Daten von Sensoren angewiesen. Ohne Sensoren lassen sich nur rudimentäre Einschaltautomatiken realisieren, wie sie unter anderem bei Tagfahrleuchten genutzt werden.

Einige europäische Länder [Com., 2004] sind der Meinung, dass ein Tagfahrlicht vorhanden sein muss, da damit selbst am Tag eine bessere Erkennbarkeit gegeben ist, die zu einer erhöhten Sicherheit führen soll. Auch in Deutschland [Sch., 2005] ist eine deutliche Verbesserung der Verkehrssicherheit bei dem Einsatz von Tagfahrleuchten zu erwarten.

2.16 Sensoren

Sensoren wie Dunkelheitssensoren, Regensenoren, Nebelsensoren, Sensoren für eine Abblendautomatik und zur Tunnelerkennung werden für aktuelle Fahrzeuge angeboten. Ziel dieser Sensoren ist es, den Fahrer so weit wie möglich zu entlasten, damit er sich auf die Hauptaufgabe, das sichere Fahren, konzentrieren kann.

Der Dunkelheitssensor schaltet beim Erreichen einer gewissen Dunkelheit das Abblendlicht automatisch ein. Dies kann auch der Sensor zur Tunnelerkennung, nachdem er einen solchen detektiert hat.

Die Abblendautomatik schaltet das Fernlicht beim Erkennen von Gegenverkehr aus und das Abblendlicht ein. Nachdem der Gegenverkehr vorbeigefahren ist, schaltet die Automatik das Fernlicht wieder selbstständig ein.

Der Nebelsensor schaltet bei Bedarf die Nebelscheinwerfer und die Nebelschlussleuchte ein, der Regensor den Scheibenwischer.

2.17 Lebensdauer, Wartbarkeit, Ersatzfunktion, Lampenwechsler

Kaufentscheidend für den Käufer eines Kfz ist auch die Servicefreundlichkeit. So sollte in eine Bewertung der Beleuchtungsanlage eines Kfz auch die Wartbarkeit der Lampen und Leuchten einfließen. Erstrebenswertes Ziel für den Käufer wird hier der folgende Ablauf sein: Die Lebensdauer der Lampen ist größer als die Lebensdauer des Gesamtfahrzeugs. Sollte dennoch eine Lampe defekt sein, so sollte der Fahrer im Display des Armaturenbretts in Klartext darauf hingewiesen werden, welche Lampe defekt ist. Diese sollte dann mit wenigen Handgriffen und ohne Werkzeug ausgetauscht werden können, um einen teuren Werkstattaufenthalt zu vermeiden.

Des Weiteren ist eine automatische Ersatzfunktion denkbar, die bis zum Austausch der defekten Lampe ein ähnliches Erscheinungsbild erzeugt.

2.18 Scheinwerferreinigungsanlage

CHUDASKA stellt die bestehenden Scheinwerferreinigungssysteme und die Trends für die Zukunft in seiner Ausarbeitung [Chu., 2001] vor. Die in den Anfangszeiten der Scheinwerferreinigungsanlagen

verwendeten Miniaturscheibenwischer kommen seit der Verwendung von Kunststoffen für die Frontscheibe des Scheinwerfers nicht mehr zum Einsatz, da diese Wischer die Kunststoffe verkratzen würden. Die neueren Systeme arbeiten mit Hochdruck-Düsen-Systemen. Dabei unterscheidet man heute statische Düsen und ausfahrbare Teleskop-Düsen, die erst bei der Inbetriebnahme in die eigentliche Position zum Reinigen der Scheinwerfer gebracht werden. Ziel der derzeitigen Weiterentwicklungen ist die Reduzierung der Baugröße und des Gewichtes der Reinigungsanlagen, die Reduktion der Reinigungsmittelmenge und die Integration bzw. Adaption an Netz- und Spannungsstrukturen in zukünftigen Kraftfahrzeugen.

Heutige Fahrzeugdesigns lassen immer seltener den Einbau statischer Reinigungsanlagen in den Stoßfängern zu, da sich diese in einem ungünstigen Winkel zum Scheinwerfer befinden.

Bestrebungen gehen dahin, den Hubzylinder und die Düse nicht mehr in die Umgebung des Scheinwerfers einzubauen, sondern direkt in den eigentlichen Scheinwerfer. Dort haben sich als besonders vorteilhaft die untere Mitte und die obere innere Ecke als Einbauort für den Hubzylinder mit Düse herausgestellt.

Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Reinigung der Scheinwerfer ist die Zielsetzung, dass während der Reinigung dem Fahrer nicht die gesamte Sicht bzw. Beleuchtung genommen werden darf. Dazu werden die beiden Scheinwerfer abwechselnd nacheinander gereinigt.

Die Frage, die CHUDASKA aufwirft und nicht abschließend klärt, ist, wann die Scheinwerferreinigung erfolgt. Ist der Fahrer selbst dafür verantwortlich, die Scheinwerfer seines Fahrzeugs in regelmäßigen Abständen zu reinigen, geschieht dies automatisch mit dem Betätigen des Windschutzscheibenreinigers oder die Überwachung der Sauberkeit der Scheinwerfer übernimmt ein eigener Sensor.

Die zunehmenden Anforderungen an ein blend- und schlierenfreies Licht, das immer die gleiche Leuchtdichte erzeugt, macht die Scheinwerferreinigungsanlage zu einem wichtigen System auf dem Weg, die aktive Sicherheit der Kraftfahrzeuge zu erhöhen.

Doch nicht nur die äußere Verschmutzung der Scheinwerfer bereitet den Scheinwerferdesignern Probleme, sondern auch die innere. Dieses kom-

plexe Problem könnte nur durch Testfahrten unter definierten Randbedingungen erforscht werden.

2.19 Leuchtweitenregulierung (manuell, statisch automatisch) bei Scheinwerfern

Die Leuchtweitenregulierung dient der Einstellung der Leuchtweite des Scheinwerfers. Liegt das Kfz aufgrund von Beladung im Kofferraum hinten tiefer, so würde der Scheinwerfer ohne Leuchtweitenregulierung den Gegenverkehr und Vorausfahrende blenden. Die Leuchtweitenregulierung reduziert die Leuchtweite des Scheinwerfers, indem die Neigung des Scheinwerfers verändert wird. Sie ist bei Scheinwerfern mit Gasentladungslampe vorgeschrieben.

Da bei der manuellen Regelung die Rückstellung nach dem Entnehmen der Ladung leicht vergessen wird, ist dann die Leuchtweite unnötigerweise reduziert, was zu einer Verschlechterung der Sichtverhältnisse für den Fahrer führt. Zudem stellt ein Handrad für die manuelle Einstellung eine Gefahr dar, wenn es sich beim Einstellen der Scheinwerfer nicht in „Nullposition“ befindet.

Die automatische Leuchtweitenregulierung nimmt dem Fahrer die Regelung ab, indem sie eine Neigung des Fahrzeugs durch ein quasistatisches Nachneigen der Scheinwerfer in die entgegengesetzte Richtung ausgleicht.

2.20 Scheinwerfereinstellung (dynamisch automatisch)

Eine automatische Leuchtweitenregulierung, die auch in dynamischen Situationen die Scheinwerfereinstellung an die aktuelle Verkehrssituation anpasst, ist deutlich aufwändiger in der Realisierung als eine statische. HUHN zufolge lohnt sich jedoch der zusätzliche Aufwand. Denn Untersuchungen von HUHN [Huh., 2003] zeigen, dass im normalen Straßenverkehr das Fahrzeug häufig durch Beschleunigung und Bremsen Nickbewegungen durchführt. Beim Beschleunigen leuchten die Scheinwerfer deutlich nach oben, sodass andere Verkehrsteilnehmer geblendet werden. Er empfiehlt deshalb eine dynamische Leuchtenweitenregelung.

Eine falsche Scheinwerfereinstellung ist im Übrigen die Hauptursache MACE [Mac., 2001] für die Blendung des Gegenverkehrs.

2.21 Blendung

Unzählige Veröffentlichungen befassen sich mit der Problematik der Blendung mit teilweise widersprüchlichen Aussagen. Einige neuere Artikel seien hier nachfolgend aufgeführt.

Scheinwerfer mit Gasentladungslampen standen lange Zeit in Verdacht, für eine erhöhte Blendwirkung verantwortlich zu sein. Mit Einführung dieser Lichtquelle wurden jedoch etliche EU-geförderte Forschungsprojekte gestartet. Eine Studie von TNO [VED, 1991] zeigte dabei, dass keine besondere Blendgefahr von Gasentladungsscheinwerfern ausgeht.

MACE et al. [Mac., 2001] stellten in ihrer Untersuchung fest, dass 50 % aller Fahrzeuge falsch eingestellte Scheinwerfer haben. Zu hoch eingestellte Scheinwerfer erhöhen dabei die Blendgefahr entgegenkommender Kraftfahrer, erhöhen andererseits aber auch die Sichtweite, sodass Kraftfahrer ihre eigenen Scheinwerfer gerne etwas „höher“ einstellen. Weiterhin stellen sie fest, dass die Anbauhöhe entscheidend für die Blendung über den Außenspiegel ist. Sie stellen ebenfalls fest, dass die Größe der Scheinwerfer ebenfalls eine entscheidende Rolle spielt. Große Scheinwerfer, die weniger blenden als kleine, widersprechen aber dem gegenwärtigen Trend, immer kompaktere Scheinwerfer zu bauen.

Von SCHMIDT-CLAUSEN [Sch., 1974], [Sch., 1977] stammt eine Formel für die psychologische Blendwirkung. Die Untersuchungen hierzu stammen aus der Zeit, als die H4-Lampe eingeführt wurde und die Blendung durch Autoscheinwerfer das Interesse der Bevölkerung weckte. Die dabei abgeleitete Formel ist abhängig von der Blendbeleuchtungsstärke am Auge, dem Winkel, unter dem die Lichtquelle gesehen wird, sowie der Adaptionsleuchtdichte.

Auf der 48. GTB-Tagung stellte WESTERMANN eine Modifikation der Blendungsgleichung vor, in der er die Lichtaustrittsfläche der Scheinwerfer einführte. KANEKO et al. [Kan., 2003] konnten die Richtigkeit dieser Modifikation bestätigen und zeigen, dass diese Gleichung auch für LED-Leuchten Gültigkeit hat.

Eine zusammenfassende Darstellung der Problematik der Blendung wurde von MANZ [Man., 2001] präsentiert. WEINHOLD et al. [Wei., 2001] zeigten, dass durch die Aufhellung der Umgebung der Linse von Projektionsscheinwerfern das Signalbild

verbessert und die Blendung reduziert werden kann.

Eine falsche Scheinwerfereinstellung ist im Übrigen die Hauptursache für die Blendung des Gegenverkehrs.

2.21.1 Lichtfarbe und Blendung

Untersuchungen von FLANNAGAN [Fla., 1999] und BULLOUGH et al. [Bul., 2002] zeigen, dass die physiologische Blendung unabhängig davon ist, ob das Licht einer Halogenleuchte oder einer Gasentladungslampe die Blendung verursacht, solange nur die Beleuchtungsstärke konstant gehalten wird.

Gleichzeitig bemerkten sie aber, dass die psychologische Blendung sehr wohl davon beeinflusst ist, welche Lichtquelle die Blendung verursacht. In einer weiteren Untersuchung konnten BULLOUGH et al. [Bul., 2003] zeigen, dass die psychologische Blendung dabei unabhängig davon ist, ob der Betrachter einen bestimmten Punkt anvisiert oder seine Blickrichtung frei wählen kann. Van DERLOFSKE et al. [Der., 2003a] kommen zum gleichen Ergebnis. Danach wird kurzwelliges Licht als störender empfunden als langwelliges. In einer anderen Studie [Der., 2003b] zeigen van DERLOFSKE und BULLOUGH aber auch, dass periphere Objekte etwas besser erkannt werden können, wenn Gasentladungslampen als Lichtquelle verwendet werden. In einer weiteren Untersuchung konnte van DERLOFSKE [Der., 2003c] zeigen, dass dies auch für Halogenlampen mit bläulichem Kolben gilt.

2.22 Erkennbarkeit

Zahlreiche Dokumente befassen sich mit der Erkennbarkeit von Objekten. Im CIE-Report 19.2 [Cie, 1981] wird der so genannte „Visibility Level (VL)“ eingeführt. Er stellt das Verhältnis von tatsächlichem Kontrast zum Schwellenkontrast dar. ADRIAN, z. B. [Adr., 1989], wendet dieses Modell an, um für die Erkennbarkeit von Objekten verschiedener Größe den Mindestkontrast zu berechnen, der notwendig ist, um ein Objekt zu erkennen. Dabei berücksichtigt er sowohl die Blendung als auch die Altersabhängigkeit des VL. Untersuchungen von NARISADA [Nar., 2001] zeigen, dass dabei allerdings der Einfluss der adaptionsbestimmenden Beleuchtungsstärke am Auge für reale Szenen zu berücksichtigen ist.

Eine UMTRI-Studie aus dem Jahre 1990 von OLSON et al. [Ols., 1990] befasst sich ausführlich mit der Erkennbarkeit von Fußgängern und Verkehrszeichen. Sie berücksichtigten dabei sowohl das Adaptionsniveau als auch die Blendung. Dabei wird festgestellt, dass Vorhersagen bei retroreflektierenden Objekten noch sehr ungenau sind. Die Ursache hierfür konnten sie jedoch nicht identifizieren.

Die Erkennbarkeit von Fußgängern wurde von ECKERT [Eck., 1993] als sehr komplexes Modell mit 11 verschiedenen Messpunkten erarbeitet.

Die Erkennbarkeit von normalen Sehzeichen ist ebenfalls in zahlreichen Veröffentlichungen beschrieben worden [Boe., 1956], [Adr., 1969], [Kok., 2000].

2.23 Sichtweite

Die meisten Autoren definieren die Sichtweite in Zusammenhang mit einem Kraftfahrzeugscheinwerfer durch die Reichweite. Dabei legen sie gewöhnlich die 1-lx-Isolinie auf der Straße zu Grunde. [Ber., 1997], [Ham., 2001], [Boe., 2003]. Wirkliche Erkennbarkeitsmodelle, wie sie z. B. von ADRIAN [Adr., 1969] vorgeschlagen wurden, finden kaum Verwendung.

Ein weiterer Effekt wird von SCHMIDT-CLAUSEN [Sch., 1979] genannt, der einen Vorschlag erarbeitet hat, bei dem im Übergang von Fern- auf Abblendlicht durch Dimmen des Fernlichtes eine Erhöhung der Sichtweite durch die Anpassung an die Adaption des Auges erreicht wird. Dieser Vorschlag wurde bisher aber nicht umgesetzt.

3 Unterteilung der Sicherheitsbewertung von Kraftfahrzeugen

Bei der Bewertung von Fahrzeugen werden zwei grundsätzliche Aspekte unterschieden:

Passive Sicherheit und Aktive Sicherheit

Jeder dieser Aspekte kann wiederum in verschiedene Themengebiete aufgeteilt werden. Ein Teil der Bewertung der aktiven Sicherheit befasst sich mit der Beleuchtung. Die Unterteilung wird weiter verfeinert, sodass die Beleuchtung zwar durch eine

einzig Zahl gewertet, jedoch nicht nur als Ganzes betrachtet werden kann. Sie ist unterteilt in die Bereiche:

Leistung, Sicherheit, Komfort und Verträglichkeit

Unter diesen vier Oberbegriffen werden etliche Unterpunkte zusammengefasst. Jeder Unterpunkt wird durch eine Formel bewertet. Das Schaubild (Bild 3.1) verdeutlicht die vorgenommene Hierarchie.

Die Leistung bewertet die Straßen- und Umfeldbeleuchtung. Sie dient dazu zu sehen. Dieser Oberbegriff bewertet die eingebauten Scheinwerfer. Das Schema in Bild 3.2 zeigt alle Unterpunkte mit Bewertung auf.

Die Sicherheit bewertet die Sichtbarkeit und Signalqualität. Sie dient dazu, zu sehen und gesehen zu werden. Die meisten Unterpunkte treffen Aussagen über Signalleuchten, Rückstrahler und elektronische Assistenzsysteme. Viele Punkte dieser Kategorie stehen für guten aktiven Schutz und Selbstschutz. Das Schema in Bild 3.3 zeigt alle Unterpunkte mit Bewertung auf.

Zum Komfort zählen jene Punkte, die den Fahrer von Nebenaufgaben entlasten, sodass er sich besser auf den Verkehr konzentrieren kann. Fahrzeuge, die hierbei eine hohe Punktzahl erreichen, besitzen hohen Bedienkomfort, sind leicht wartbar, handhabbar und damit komfortabel. Das Schema in Bild 3.4 zeigt alle Unterpunkte mit Bewertung auf.

Die Verträglichkeit bewertet soziale, ökonomische und ökologische Aspekte. Sie dient dazu, dass an-

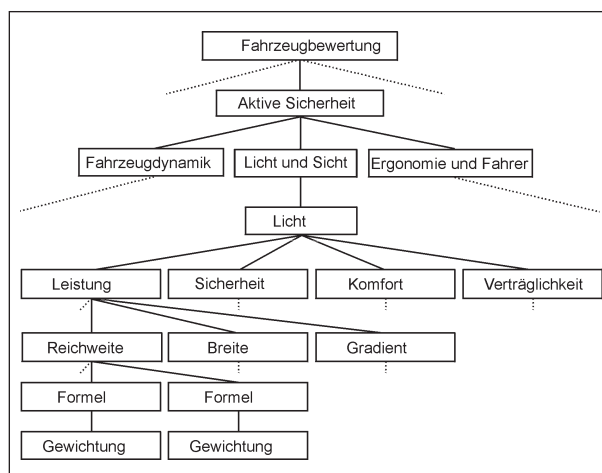


Bild 3.1: Hierarchie der Bewertung

dere Verkehrsteilnehmer und die Umwelt möglichst wenig durch das Fahrzeug beeinträchtigt werden. Weiterhin bewertet sie die Wirtschaftlichkeit der Lichtanlage. Das Hauptaugenmerk bei diesem Oberbegriff richtet sich auf die Blendung anderer Verkehrsteilnehmer. Eine große Punktzahl spricht für ein Fahrzeug mit defensiven, sozialen, umweltfreundlichen und sparsamen Eigenschaften. Das Schema in Bild 3.5 zeigt alle Unterpunkte mit Bewertung auf.

Die Zuordnung der einzelnen Unterpunkte zu einem der vier Oberbegriffe ist nicht immer eindeutig. Teilweise werden Begriffe für die Unterpunkte verwendet, die sowohl zu dem einen als auch zu dem anderen Oberbegriff zugeordnet werden können. Jeder Unterpunkt darf aber nur einmal bewertet werden, sodass er letztlich auch nur einem Oberbegriff zugeordnet wird.

Die Bilder 3.2 bis 3.5 nennen an der Wurzel des Graphen den Oberbegriff, der durch den Graphen beschrieben wird.

Ausgehend von diesem Oberbegriff sind die Unterpunkte (und davon ausgehend die zu bewertende Lichtfunktion) mit ihrer jeweiligen Gewichtung aufgelistet.

Ist ein Unterpunkt in mehrere zu bewertende Lichtfunktionen unterteilt, so ist bei jeder einzelnen Funktion deren Teilgewichtung innerhalb des Unterpunktes angegeben.

Für jede Lichtfunktion ist eine Kurzfassung der jeweiligen mathematischen Bewertungsfunktion angegeben. Die jeweilige ausführliche Bewertung wird in den folgenden Kapiteln erläutert.

Am Endpunkt des Graphen ist die Gewichtung jeder einzelnen Lichtfunktion in Bezug auf die Gesamtbewertung der Beleuchtung angegeben.

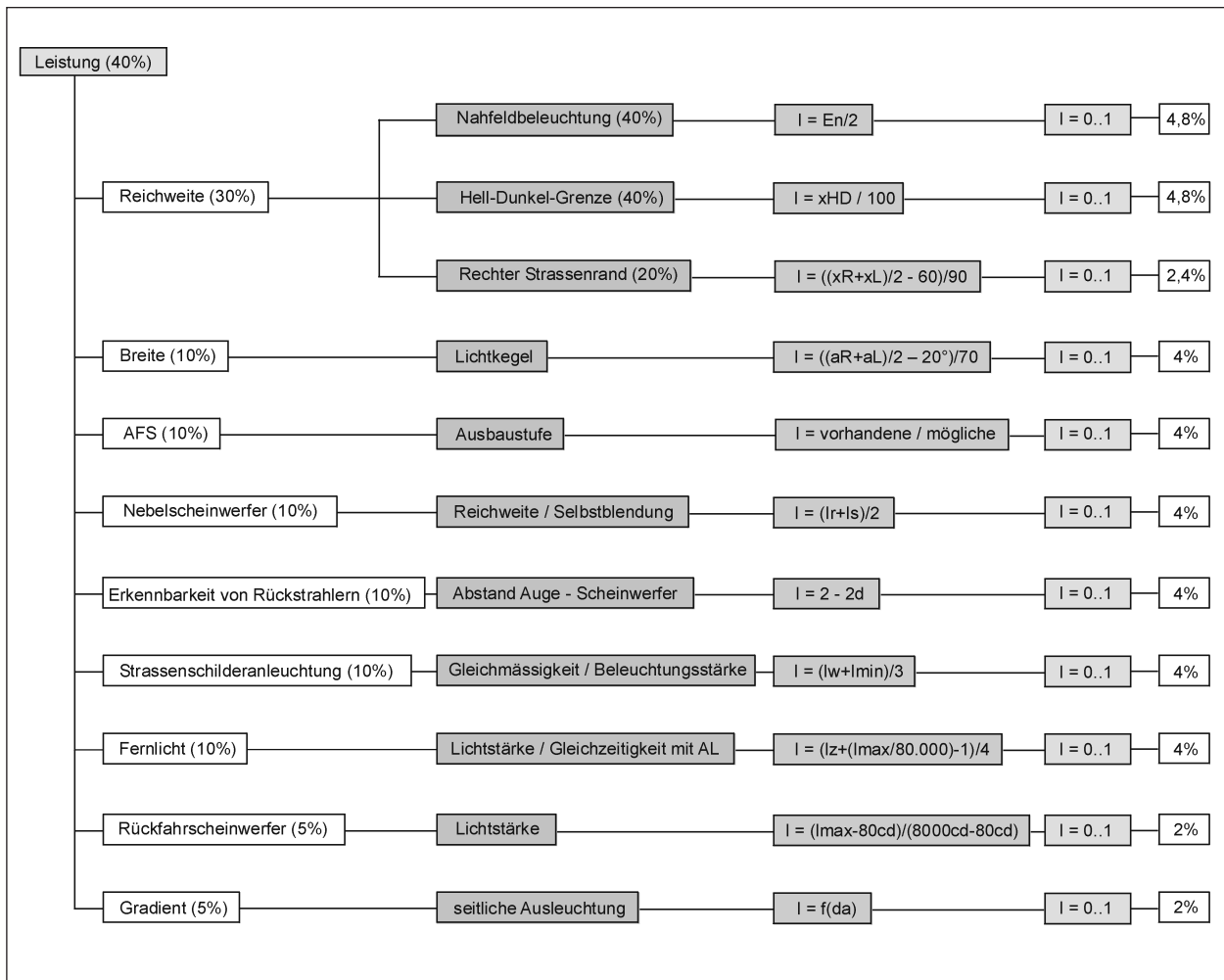


Bild 3.2: Oberbegriff Leistung

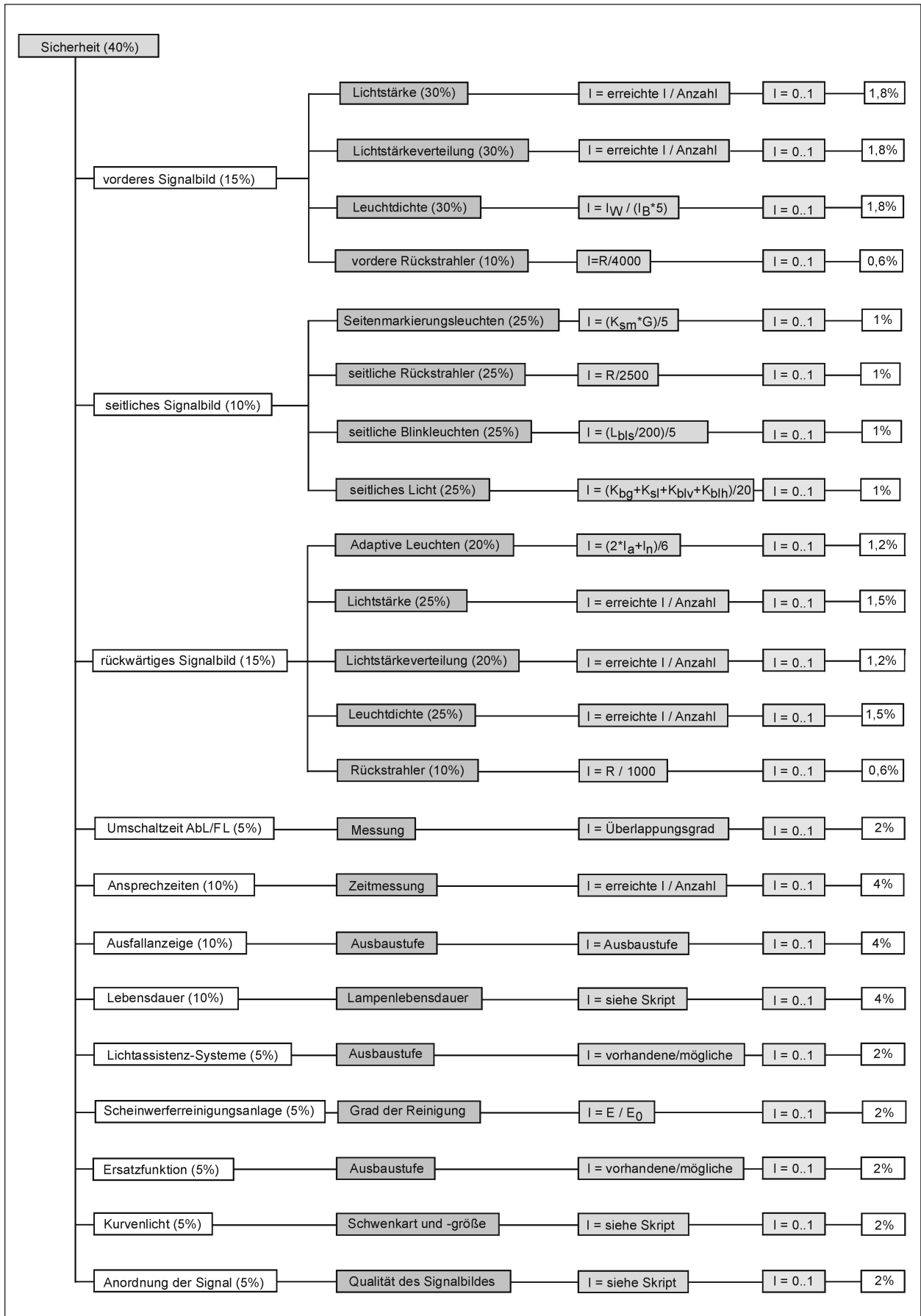


Bild 3.3: Oberbegriff Sicherheit

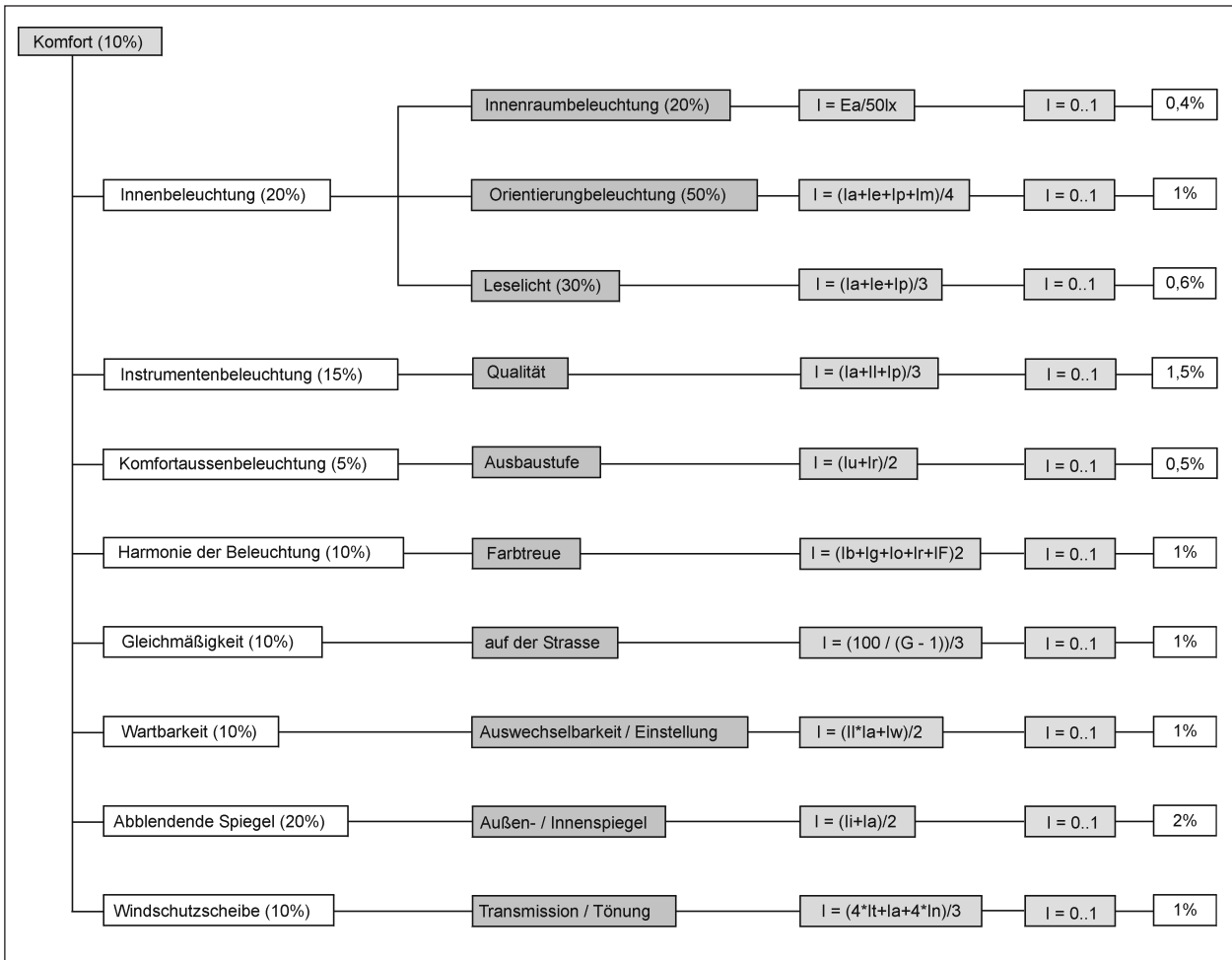


Bild 3.4: Oberbegriff Komfort

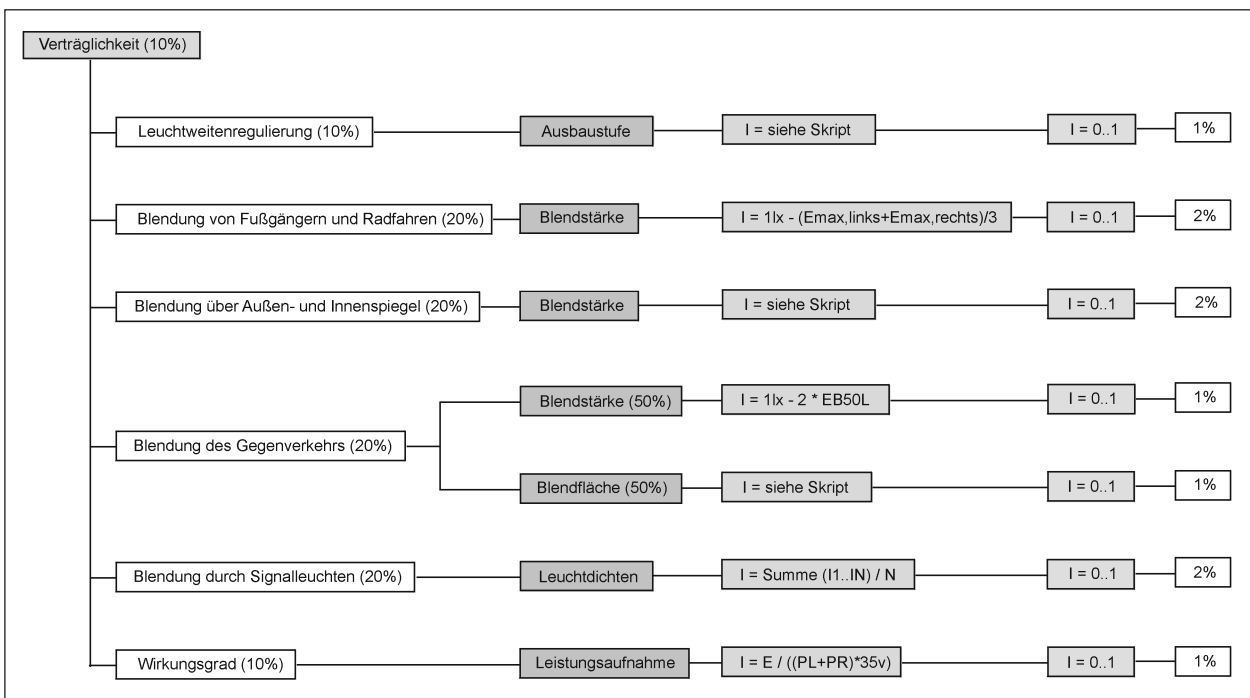


Bild 3.5: Oberbegriff Verträglichkeit

4 Leistung

4.1 Bewertungskriterium

Als Bewertungskriterium der Leistung von Scheinwerfern stellt aus wissenschaftlicher Sicht der Kontrast das wichtigste Kriterium dar. Zur Ermittlung des Kontrastes werden Reflexionswerte der zu detektierenden Objekte und der Straße benötigt.

Etlche Experimente zur Untersuchung der Sichtbarkeit von Objekten sind von verschiedenen Personen durchgeführt worden. Jedoch wurden keine einheitlichen Objekteigenschaften gewählt, sodass die verschiedenen Untersuchungen nicht miteinander vergleichbar sind. Als wichtige Objekteigenschaften zählen hierbei die Größe, die Farbe und das Reflexionsverhalten. In der Literatur wurden sehr abweichende Angaben für diese Eigenschaften gefunden. Die Werte schwanken zwischen 5 % und 25 % Reflexionsgrad [Wol., 2002], [Ewr., 2001] und [Gri., 2001]. Die Größe ist einigermaßen gleich und bewegt sich zwischen $30 \times 30 \text{ cm}^2$ und $40 \times 40 \text{ cm}^2$.

Die Reflexionswerte für die Straße können [FSS, 1995] entnommen werden. Jedoch schwanken die Werte in der Realität stark und verändern sich durch Abnutzung. Auch die Wettersituation nimmt starken Einfluss auf die Reflexionswerte. So verändert sich das Reflexionsverhalten bei nasser Oberfläche von diffuser zu gerichteter Reflexion.

Da, wie gezeigt, sehr viele Parameter vorliegen, stützt sich die Bewertung der Fahrzeugbeleuchtung auf Erfahrungswerte der Beleuchtungsstärke. Die Wichtigkeit des Kontrastes zur Beurteilung wird anerkannt, ist jedoch derzeit noch nicht weit genug erforscht, um als praktische Bewertung eingesetzt zu werden. Durch Benutzung der Beleuchtungsstärke kann ein Schema erstellt werden, das erlaubt, verschiedene Fahrzeuge miteinander zu vergleichen. Dieses Schema gibt nicht die absolute Wertung der Leistung, sondern nur eine relative Wertung an. Wenn die Forschung weiter fortgeschritten ist, kann diese relative Wertung an die absoluten Werte angeschlossen werden, sodass sich insgesamt eine absolute Wertung, auch rückwirkend, ergibt.

Die zu bewertenden Fahrzeuge sind nach ECE zugelassen. Daher dürfen keine Forderungen an die Beleuchtung gestellt werden, die außerhalb des von den ECE-Regelungen festgelegten Wertebereichs liegen. Die Werte der Beleuchtungsstärke, die als Grundlage der Bewertungsformeln gewählt

werden, orientieren sich meist an den Werten der ECE.

4.2 Unterteilung des Sichtfeldes

Das Sichtfeld des Fahrzeugführers wird in vier Zonen unterteilt:

Blindfeld, Vorfeld, Nahfeld und Fernfeld

Die Berechnung der Zonen geschieht auf Basis des Standardfahrzeuges mit 0,65 m Anbauhöhe der Scheinwerfer, 1,28 m Augenhöhe des Fahrers, einer Motorhaubenlänge von 1 m, einer Fahrzeugbreite von 2 m, das heißt, dass die Scheinwerfer für die Bewertung der Leistung als Punktlichtquellen angenommen werden. (Bei der Bewertung der Blendung unter dem Oberbegriff Verträglichkeit sind es keine Punktlichtquellen.)

Mit Blindfeld wird der unmittelbar vor der Fahrzeugfront befindliche Straßenabschnitt bezeichnet, der vom Fahrer aus durch die Verdeckung der Motorhaube nicht gesehen werden kann. Alles Licht, das in diesen Bereich abgestrahlt wird, verschlechtert den Beleuchtungswirkungsgrad der Scheinwerfer. Das Blindfeld erstreckt sich von $x = 0 \text{ m}$ bis $x = 1 \text{ m}$.

Das Vorfeld des Fahrzeuges trägt bei nasser Fahrbahn stark zur Blendung des Gegenverkehrs bei. Andererseits erhöht ein helles Vorfeld das Sicherheitsempfinden der Fahrzeuginsassen.

Das Vorfeld erstreckt sich von $x = 1 \text{ m}$ bis $x = 20 \text{ m}$.

Vor einem Hindernis, das erst in dieser Zone erkannt wird, kann nur angehalten werden, wenn die Geschwindigkeit kleiner 30 km/h ist.

Bei dem zugrunde liegenden Standardfahrzeug entspricht der Bereich des Vorfeldes in etwa der Zone 1 in ECE-R 112 [ECE, 2002].

Das Nahfeld umfasst den Bereich von dem Vorfeld bis zu der Hell-Dunkel-Grenze. Im Stadtverkehr bei Geschwindigkeiten um 50 km/h entspricht dies dem Anhalteweg. Durch die Nickbewegungen des Fahrzeuges verändert sich die Entfernung der Hell-Dunkel-Grenze ständig. Dies kann bei einer zu scharfen Hell-Dunkel-Grenze als störend empfunden werden.

Um bei allen Fahrzeugen in allen Situationen von dem gleichen Bereich sprechen zu können, wird die Grenze des Nahfeldes auf 40 m begrenzt, statt auf den variablen Abstand zu der Hell-Dunkel-Grenze.

Das Nahfeld erstreckt sich von $x = 20$ m bis $x = 40$ m.

Das Fernfeld ist der Bereich jenseits der Hell-Dunkel-Grenze. Im Stadtverkehr wird dieser Bereich meist nicht benötigt. Auf der Landstraße ist er zwingend notwendig, damit sich der Anhalteweg bei den dort erlaubten Geschwindigkeiten innerhalb der Sichtweite befindet. Die Beleuchtung des Fernfelds bestimmt die Reichweite des Scheinwerfers. Das Fernfeld wird auf $x = 150$ m festgelegt. Dies ist etwas größer als der Anhalteweg und reicht für sicheres Fahren mit einer Geschwindigkeit von 100 km/h aus.

Das Fernfeld erstreckt sich von $x = 40$ m bis $x = 150$ m.

4.3 Reichweite

Die Reichweite der Scheinwerfer ist notwendig für:

- Detektion des Straßenverlaufes,
- Detektion von Objekten (parkende Fahrzeuge, Radfahrer, Fußgänger, Tiere, Gegenstände, ...),
- Identifikation von Verkehrsschilderaufschriften.

Der Begriff Reichweite wird seit Jahren in der Lichttechnik benutzt. Im Englischen entspricht ihm der Begriff „range“. In neuesten wissenschaftlichen Arbeiten [Völ., 2006] wird anstelle Reichweite der Begriff Erkennbarkeitsentfernung vorgeschlagen, um den Sachverhalt genauer zu spezifizieren.

Bei der Detektion des Straßenverlaufes müssen die beiden verschiedenen Straßenbelagsarten unterschieden werden. Es gibt Straßen mit hellem Straßenbelag und mit sehr dunklem Belag.

Bei hellem Belag kann der Straßenverlauf erkannt werden, wenn der Kontrast zwischen Straßenoberfläche und Umgebung (z. B. Wiesenoberfläche) ausreichend groß ist. Die Breite des zu erkennenden Objektes ist somit die Straßenbreite. Dies entspricht bei der Standardstraße 7 m. Bei optimaler Beleuchtung (Tagfall) liegt die Sichtweite der Standard-Versuchsperson mit einer Sehschärfe von 1,0 weit jenseits von $x = 1.000$ m. Zur Berechnung der Sichtweite kann Formel 4.1 nach [Kok., 1997] benutzt werden.

$$x = \frac{a}{\tan \frac{1}{s \cdot 60}}$$

Formel 4.1: Sichtweite

Hierbei bedeuten:

a: Objekt Abmessung in m

x: Objekt Entfernung (Sichtweite) in m

s: Sehschärfe

Bei Nacht beträgt die Breite des zu erkennenden Objektes jedoch nur 0,15 m, da fast kein Kontrast zwischen Straßenoberfläche und Umfeld besteht. Der sicher zu erkennende Kontrast besteht zwischen der dunklen Straßenoberfläche und der hellen, retroreflektierenden Fahrbahnmarkierung. Die Breite von dieser beträgt 0,15 m [DIN 1436]. Damit ergibt sich bei optimaler Beleuchtung, d. h. bei Bedingungen wie am Tage, eine Sichtweite von 500 m. Ein Scheinwerfer (Fernlicht) mit einer größeren Reichweite bringt keinen Leistungsgewinn, da die Grenze des Auflösungsvermögens des menschlichen Auges der begrenzende Faktor ist, nicht die Beleuchtungssituation.

Bei der Detektion von Objekten ist bei optimaler Beleuchtung die Größe des Objektes der begrenzende Faktor. Für die Bewertung der Leistung der Beleuchtung beschränken wir uns auf das Erkennen von Objekten mit Abmessungen größer 0,15 m, da diese ernsthaften Schaden am Fahrzeug anrichten können bzw. nicht überfahren werden dürfen. (Ein flach auf der Straße liegender Mensch wird erkannt, da mindestens eine sichtbare Kante wesentlich länger als 0,15 m ist.) Für diese Detektionsaufgabe ergibt sich somit wieder ein Wert von 500 m für die Reichweite.

Für die Identifikation von Aufschriften auf Verkehrszeichen wird laut [Kok., 2003] die Schrift in wichtige Details unterteilt. Als akzeptable Näherung kann hierfür das große „E“ in fünf Details unterteilt werden: oberer schwarzer Balken, weißer Freiraum, Mittelbalken, weißer Freiraum und unterer schwarzer Balken. Definiert man diese fünf Details als gleich groß, so kann man die Schriftgröße durch fünf teilen und erhält somit die Abmessung des kleinsten zu erkennenden Details. Bei einer Schriftgröße von 300 mm [Fra., 2001], [DIN 1456], [NOS, 2004] für Verkehrsschilder ergibt sich daher 60 mm als Objektgröße.

Da in den vier genannten Sichtfeldern unterschiedliche Sehaufgaben geleistet werden müssen, werden zu der Bewertung der Reichweite verschiedene Formeln benutzt.

4.3.1 Einfluss des Vorfeldes

Wenn die Straßenoberfläche im Fahrzeugvorfeld zu hell beleuchtet wird, ist zu erwarten, dass sich die Sichtweite verringert, da sich die Augen des Fahrers an ein helleres Umfeld (Vorfeld) adaptieren. Als Messwert bietet sich die mittlere horizontale Beleuchtungsstärke im Vorfeld an, da diese über die Reflexionseigenschaften der Straße für die adaptionsbestimmende Leuchtdichte im Wesentlichen verantwortlich ist.

Neuere Untersuchungen von VÖLKER [Völ., 2004] weisen darauf hin, dass der Einfluss des Vorfeldes nicht groß ist. Dies wurde bisher allgemein angenommen. Da weitere Untersuchungen hierzu abgewartet werden sollten, wird derzeit von einer Bewertung Abstand genommen.

4.3.2 Helligkeit – Nahfeld

Das Nahfeld muss gut ausgeleuchtet sein, da hier wichtige Sehaufgaben zu leisten sind. Oft wird die Ausleuchtung des Nahfeldes bezeichnet als die Helligkeit des Scheinwerfers.

Prinzipiell gilt, je heller die Beleuchtung, desto besser die Leistung. Trotzdem wird der erreichbare Wertebereich für die Bewertung nach oben begrenzt, um diesen Unterpunkt gegenüber den anderen nicht überzubewerten. Diese Bewertung dient weiterhin als Ausgleich für die folgende Formel der Position der Hell-Dunkel-Grenze. Denn wenn bei gleichem Scheinwerfer einfach die Hell-Dunkel-Grenze angehoben wird, so wird automatisch die mittlere Beleuchtung im Nahfeld schwächer. Deshalb sorgt die Bewertung des Nahfeldes dafür, dass die Formel für die Hell-Dunkel-Grenze nicht die Beleuchtung verschlechtert.

Als Bereich genügt es, das Nahfeld in der Breite der eigenen Fahrspur zu bewerten. Es ist davon auszugehen, dass in diesem Gebiet die mittlere Beleuchtungsstärke größer als in den seitlichen Bereichen ist.

So ergeben sich die Grenzen des Messfeldes zu $x = 20...40$ m und $y = -1,75...+1,75$ m.

Die mittlere horizontale Beleuchtungsstärke E_N im Nahfeld sollte möglichst groß sein. Als Obergrenze ist derzeit 2 lx festgelegt.

Bewertung:

$$I = E_N/2$$

Wertebereich:

$$I = 0...1$$

Als weiteres Kriterium wurde untersucht, die Anbauhöhe der Scheinwerfer mit in die Bewertung einfließen zu lassen, da das Nahfeld gerade im innerstädtischen Bereich von großer Bedeutung ist. Hier kann es vorkommen, dass verkehrsberuhigende Bodenschwellen das Licht des Fahrzeuges abschatten. Durch Rechnung mit einer maximalen Hindernishöhe von $0,15$ m über der Fahrbahn hat sich gezeigt, dass der Einfluss der Anbauhöhe vernachlässigbar klein ist. Eine viel hilfreiche Eigenschaft des Fahrzeuges für diese Situation stellt eine schnelle dynamische Leuchtweitenregulierung dar. Diese wird im Abschnitt Komfort bewertet.

4.3.3 Reichweite – Hell-Dunkel-Grenze

Die Lage der Hell-Dunkel-Grenze liefert einen wichtigen Beitrag zur Leistung der Scheinwerfer im Nahfeld. Sie wird beeinflusst durch die Anbauhöhe der Scheinwerfer am Fahrzeug und durch den Einstellwinkel. Für beide Variablen sind nach ECE weite Bereiche erlaubt. Als Richtwert für den Einstellwinkel ist laut [Huh., 1996] $1,2$ % angegeben. Die Anbauhöhe an dem Standardfahrzeug beträgt $0,65$ m. Die Abhängigkeit der Reichweite x von diesen beiden Größen wird mit folgender Formel angegeben:

$$x_{HD} = \frac{h_a}{e} \cdot 100$$

Hierbei bedeuten:

h_a : Anbauhöhe in m

e : Einstellwinkel in Prozent (laut Fahrzeughandbuch)

x_{HD} : Lage der Hell-Dunkel-Grenze auf der Straßenoberfläche in m

Bei Betrachtung der ECE-R 48, Abschnitt 6.2.4.2, Anbau der Beleuchtungseinrichtungen [ECE, 2002b] wird die für Neuwagen erlaubte Reichweite mit Abblendlicht ersichtlich [Kli., 2004]. So gilt allgemein für Fahrzeuge: $x_{HD} = 33...100$ m.

Bewertung:

$$I = x_{HD}/100$$

Wertebereich:

$$I = 0...1$$

Der Faktor von 100 wird benutzt, da dies die maximal erlaubte Reichweite darstellt. Dieser Faktor ist keine Gewichtung.

4.3.4 Reichweite – Rechter Straßenrand

Die Ausleuchtung des Fernfeldes durch die Scheinwerfer kann mit Hilfe der Reichweite am rechten Straßenrand beurteilt werden. Genauer ausgedrückt, ist die Reichweite der Scheinwerfer auf der eigenen Fahrbahn von Interesse. Daher werden zwei Linien (Linie L: $x = 50 \dots \infty$ m, $y = -1$ m, Linie R: $x = 50 \dots \infty$ m, $y = +1$ m) definiert. Die Reichweite (der x -Wert) wird bestimmt, indem auf der Straßenoberfläche ($h = 0$ m) die Position der vertikalen Beleuchtungsstärke mit dem Wert 1 lx ermittelt wird. Die Reichweite x_L auf der Linie L wird wesentlich geringer als x_R auf der Linie R sein.

Angelehnt an die ECE-Regelungen 98 und 112 [ECE, 2005d], [ECE, 2002] wird von einer Minimalentfernung von $x = 60$ m und einer Maximalentfernung von $x = 210$ m ausgegangen. Die Maximalentfernung für die Bewertung wird zu $x = 150$ m festgelegt, da diese Strecke größer als der Anhalteweg beim Fahren auf Landstraßen (Höchstgeschwindigkeit 100 km/h) ist.

Bewertung:

$$I = ((x_R + x_L)/2 - 60)/90$$

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

Als Grenzwert wird 90 gewählt, da die maximale Reichweite $x = 150$ m minus die minimale Reichweite $x = 60$ m den Wert 90 m ergibt.

4.4 Breite

Die Breite der Fahrbahnausleuchtung ist notwendig für die Detektion von kreuzenden Radfahrern, Fußgängern und Tieren. Auch Tiere, die sich nahe der Fahrbahn befinden, sollten erkannt werden, um deren Bewegungsrichtung abschätzen zu können oder um zu entscheiden, ob sie spontan auf die Straße laufen können. Die Detektion des Straßenverlaufes in Kurven und bei Kreuzungen verlangt auch nach einem breiten Scheinwerferkegel. Gerade in dunklen Städten und auf unbeleuchteten Straßen außerhalb geschlossener Ortschaften müssen beide Straßenränder und Gehwege ausgeleuchtet werden. Im Falle von Notsituationen (Ausweichmanöver, Panne,...) ist es wichtig, die Be-

schaffenheit des Straßenseitenstreifens zu erkennen. Ist er befahrbar oder nicht (z. B. Sandstreifen, ebene Weide, Kiesstreifen, Steilabhang, See, ...)?

Zur Erkennbarkeit von Radfahrern und Fußgängern wird gefordert, dass sie bis zur Hüfte beleuchtet werden. Dadurch wird sichergestellt, dass nicht zwei unzusammenhängende vertikale feststehende „Rohre“, sondern ein Mensch mit zwei unter der Hüfte zusammengehörenden Beinen erkannt wird. Dies ist wichtig, da man bei einem Menschen eine abrupte Richtungsänderung einkalkulieren muss und das eigene Fahrverhalten darauf abzustimmen hat. Zur Erkennbarkeit wird daher gefordert, dass die Breite in einer Höhe von $h = 0,8$ m (Hüfthöhe) [DIN, 33402], [Rot., 2000] gemessen wird.

Zur Erkennung von kreuzenden Radfahrern und Fußgängern wurde durch Rechnung herausgefunden, dass kein Bereich mit Ausdehnung in x - und y -Richtung definiert werden muss, sondern dass die Angabe eines Winkelbereiches ausreichend ist. Als Grundlage der Rechnung wurde als maximale Geschwindigkeiten von Fußgängern $v_F = 8$ km/h und von Radfahrern $v_R = 20$ km/h gewählt. Für Kraftfahrzeuge wurden die Bereiche überprüft für eine Geschwindigkeit von $v_A = 30$ km/h, $v_A = 50$ km/h und $v_A = 100$ km/h. Dabei hat sich gezeigt, dass der Winkelbereich für die Geschwindigkeit $v_A = 30$ km/h am größten ist, da hierbei die Relativgeschwindigkeit zwischen dem Fahrzeug und der kreuzenden Person am kleinsten ist.

Zur besseren Lesbarkeit wird im Folgenden nur der Fußgänger erwähnt. Die Rechnungen wurden jedoch für Fußgänger und Radfahrer durchgeführt.

Der notwendige Winkelbereich wird festgelegt, indem der Treffpunkt von dem querenden Fußgänger mit dem Fahrzeug ermittelt wird. Von diesem Treffpunkt ausgehend wird zurückgerechnet, wo sich beide Teilnehmer befunden haben, wenn das Fahrzeug einen Abstand von s (Anhalteweg) zu diesem Treffpunkt hat. Von diesem Ort aus muss der Fahrzeugführer den Fußgänger gerade noch erkennen können, damit er reagieren kann und es nicht zum Unfall kommt.

Es existiert kein Unterschied zwischen dem Sichtbereich nach rechts oder links, da es nicht als wichtig erachtet wird, ob ein Fußgänger die Straße betritt, sondern ob er sich in Richtung des Fahrstreifens des Fahrzeuges bewegt.

Als Winkelbereich wird anhand der erläuterten Rechnungen ermittelt, dass das Sichtfeld mindes-

tens 17,4° nach beiden Seiten betragen muss, gerechnet von den Fahrzeugkanten aus. Daher wird als Winkel inklusive Sicherheitsreserven ein Wert von 20° festgelegt.

Aufgrund dieser Überlegungen wird zur Bewertung der Breite unter dem Oberbegriff Reichweite als Messwert die vertikale Beleuchtungsstärke auf einem Kreis mit dem Radius 25 m und dem Ursprung $x = 0$ m und $y = 0$ m gewählt. Als Breite wird der Winkel α von der X-Achse nach rechts und links gewählt, an dem mindestens 0,5 lx in einer Höhe von 800 mm auf dem 25 m Kreis gemessen werden.

Der Wert von 0,5 lx wird gewählt, da der Fußgänger möglichst hell beleuchtet werden soll.

Bewertung:

$$I = ((\alpha_R + \alpha_L)/2 - 20^\circ)/70$$

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

4.5 Adaptive Frontlighting System (AFS)

Das AFS ist ein situationsabhängiges Scheinwerfersystem. Für die Bewertung des AFS wird die Existenz der folgenden Systeme überprüft. Dabei sind noch nicht alle unten aufgeführten Funktionen in den derzeitigen Regelungen enthalten:

Stadtlicht	$I_1 = 1,$
Autobahnlicht	$I_2 = 1,$
Statisches Kurvenlicht	$I_3 = 1$
oder	
Dynamisches Kurvenlicht	$I_3 = 2,$
Abbiegelicht	$I_4 = 1,$
Straßenschilderbeleuchtung (für Schilderbrücken)	$I_5 = 1,$
Schlechtwetterlicht	$I_6 = 1.$

Für jedes im Fahrzeug enthaltene System werden ein oder zwei Punkte im Bewertungsindex vergeben. Im Bereich Leistung – AFS können, wie auch in jedem anderen Unterpunkt, zwischen null und einem Punkt erzielt werden. Dies geschieht durch die Normierung auf die maximal mögliche Punktzahl von derzeit $X = 7$ Punkte. Wenn der technische

Fortschritt weitere AFS-Systeme erlaubt bzw. derzeitige AFS-Systeme zum Standard werden, kann dieser Teil entsprechend angepasst werden, ohne dass sich dabei die Bewertung ändert. Sollen der Anteil am Gesamtergebnis und somit die Wichtigkeit von AFS-Funktionen erhöht werden, so kann dies durch die Erhöhung des Gewichtungsfaktors G erreicht werden.

Bewertung:

$$I = (I_1 + I_2 + \dots + I_N)/X$$

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

Ein weiterführendes Projekt sollte die detailliertere Bewertung des AFS vornehmen, da hier noch ein großes Potenzial zur Steigerung der Sicherheit im Straßenverkehr liegt.

4.6 Nebelscheinwerfer – Selbstblendung bei Regen, Nebel, Schnee

Der Nebelscheinwerfer unterstützt den Fahrer bei der Erfüllung seiner Sehaufgaben bei schlechtem Wetter. In solchen Situationen besteht keine freie Sicht auf die Fahrbahn. Die in der Luft befindlichen Partikel, Schneeflocken, große Wassertropfen oder kleinste Tröpfchen, reflektieren, brechen und absorbieren das vom Fahrzeug ausgestrahlte Licht. Nach Untersuchungen von [Bul., 2001] und ROSENHAHN [Ros., 1999] sind die wichtigsten Kriterien für möglichst gute Sicht bei schlechtem Wetter:

- Streulichtbegrenzung,
- Streuvolumen des Strahlbündels,
- Scheinwerfer (Lichtschwerpunkt),
- Montagehöhe,
- Einstellwinkel,
- Farbe/spektrale Verteilung.

Die Farben Gelb und Weiß erreichen fast gleich gute Leistungswerte. Somit ist die Variable „Farbe“ nicht als Bewertungskriterium zu gebrauchen.

Die Streuvolumen des Strahlbündels haben einen starken Einfluss auf die Selbstblendung, können jedoch nicht direkt für die Bewertung benutzt werden.

Das Kriterium Scheinwerferanbauhöhe kann in Verbindung mit der Lichtstärke des Scheinwerfers zur

vergleichenden Bewertung herangezogen werden. Als Formel findet sich hier in [Bul., 2001]

$$V_f = I_{\max} \cdot d$$

Hierbei bedeuten:

I_{\max} : maximale Lichtstärke

d: Abstand von Scheinwerfer zu den Augen des Fahrers

V_f : Sichtbarkeit

Für den Anwendungsfall Nebel ist vorrangig der Streulichtschleier der Eigenblendung in Relation zur Beleuchtung der eigenen Fahrbahn zu sehen. ROSENHANN stellt hier in seinen Untersuchungen klar heraus, dass der Streulichtanteil in den hier für den Fahrer relevanten Bereichen in Proportion zur Fahrbahnbeleuchtung steht, d. h., eine gute Fahrbahnbeleuchtung gestattet einen höheren Streulichtanteil. Dies gilt zumindest für nicht zu hohe Nebeldichten. Die Sichtweite eines Fahrers kann für solche Scheinwerfer optimiert werden, wenn zugleich die Einstellung der Scheinwerfer proportional zu der Nebeldichte (Sichtweite) adaptiv eingestellt wird, wobei das Letztere AFS-Systemen vorbehalten sein wird. Nach den Ergebnissen von ROSENHANN könnte eine Bewertung eines Nebelscheinwerfers folgendermaßen vorgenommen werden.

Die zu messenden Lichtstärken sind die beider Nebelscheinwerfer zusammen.

Bewertung der Reichweite:

$$I_R = I_{\max}/16.000 \text{ cd}$$

Mit I_{\max} : maximale Lichtstärke

Bewertung der Selbstblendung:

$$I_S = \frac{640 \cdot B - I_O}{640 \cdot B}$$

Mit I_O : maximale Lichtstärke auf der Linie 2° oberhalb der von der ECE festgelegten Linie hh und horizontal $\pm 10^\circ$

$$B = \sqrt{\frac{I_{\max}}{5000}}$$

Die Kombination dieser beiden Kriterien hat den Vorteil, unabhängig von künftigen Entwicklungen bei Nebelscheinwerfern zu sein.

Bewertung Nebelscheinwerfer:

$$I = (I_R + I_S)/2$$

$I = 0$, falls keine Nebelscheinwerfer vorhanden sind

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

Der Anbau von Nebelscheinwerfern an Fahrzeugen ist fakultativ. Sie unterstützen den Fahrer bei schlechten Sichtverhältnissen zusätzlich zu der obligatorischen Fahrzeugbeleuchtung. Sind keine Nebelscheinwerfer vorhanden, ist dies schlechter als Nebelscheinwerfer mit Selbstblendung, da diese bei zu starker Blendung in Abhängigkeit der Sichtverhältnisse ausgeschaltet werden können. Daher wird die Abwesenheit von Nebelscheinwerfern mit 0 Punkten bewertet.

4.7 Erkennbarkeit von Rückstrahlern

Die Beleuchtung am Fahrzeug dient auch zur Anleuchtung von Rückstrahlern. Das Erkennen von Rückstrahlern ist notwendig, um unbeleuchtet abgestellte Fahrzeuge auf der Straße und die zur Straßenmarkierung aufgestellten Leitpfosten zu erkennen. Je kleiner der Winkel zwischen den Linien Scheinwerfer zu Objekt und Fahrer zu Objekt ist, desto besser sind retroreflektierende Materialien und Rückstrahler zu erkennen.

Dieser Sachverhalt beruht auf den gleichen Grundlagen, auf denen auch die Bewertung der Selbstblendung im Abschnitt Nebelscheinwerfer aufgebaut ist. Dort ist möglichst wenig, hier möglichst viel Reflexion erwünscht.

Die Bewertung erfolgt wiederum anhand des Abstandes der Scheinwerfer (Abblendlicht) von dem tatsächlichen Augenpunkt des Fahrzeugführers.

Bewertung:

$$I = 2 - 2d$$

Mit d: vertikaler Abstand Auge – Scheinwerfer in Meter

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

4.8 Straßenschilderbeleuchtung

Straßenschilder müssen detektiert und die Beschriftung identifiziert werden. Dazu sind verschiedene Anforderungen an die Beleuchtung notwendig: Die Fläche der Straßenschilder muss vom Fahrzeug ausgeleuchtet werden. Dies gilt sowohl für Straßenschilder, die am Fahrbahnrand stehen, sowie für Straßenschilder, die über der Fahrbahn angebracht sind. Die Beleuchtung kann hierbei direkt durch Anstrahlen mit dem Scheinwerfer geschehen als auch indirekt über die Reflexion auf der Straße. In dieser Bewertung wird nur der direkte Anteil bewertet, da dieser von den Witterungsbedingungen (nasse und trockene Fahrbahn besitzen unterschiedliches Reflexionsverhalten) weitestgehend unabhängig ist. Als Kriterium werden die Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung und die minimale vertikale Beleuchtungsstärke festgelegt. Diese beiden Kriterien sollten ausreichen, um eine relative Wertung zwischen verschiedenen Fahrzeugen durchführen zu können, die als Maß für die Leistung der Straßenschilderbeleuchtung geeignet ist.

Die Position von Straßenschildern wurde diversen Literaturen entnommen [Dam., 1995b], [Nos., 2004], [Fra., 2001], [Joh., 2001]. Für die Bewertung werden für Überkopfschilder eine Anbauhöhe von 7 m und eine Schilderhöhe von 3 m gewählt. Dies führt auf einen Bereich von $h = 5,5 \dots 8,5$ m über die gesamte Straßenbreite. Als seitliche Schilder (am rechten Straßenrand) gibt es einfache Schilder (z. B. Stoppschild) und beschriftete Schilder zu unterscheiden. Erstere sind in 2,5 m Höhe neben dem Straßenrand angebracht. Letztere sind in bis zu 4 m Höhe und 3 m rechts des Straßenrandes angebracht.

Zur Ermittlung der Messwerte wird die vertikale Beleuchtungsstärke in den Bereichen, in denen sich Straßenschilder befinden können, in einem Rasterverfahren gemessen. Die oben angegebenen Bereiche für Schilder sind bei Tage in Entfernungen von $x = 500$ m zu erkennen. Nach FRANK [Fra., 1994] wird für die Autobahn bei Nacht ein Bereich von 100 m bis 300 m angesetzt, wobei dieser von der Leuchtdichte auf dem Schild und somit von der Art des retroreflektierenden Materials abhängt. Daraus ergeben sich die Anforderungen auf dem Messschirm in 25 m Entfernung: $x = 25$ m, $y = \pm 6,5$ m, $h = 2 \dots 8$ m. In diesem Bereich wird die minimale, maximale und mittlere vertikale Beleuchtungsstärke gemessen.

Bewertung Gleichmäßigkeit:

$$I_W = \frac{E_{\min}}{E_{\text{mittel}}} + \frac{E_{\text{mittel}}}{E_{\max}}$$

und

$$I_W = 0 \quad \text{für } E_{\min} < 0,05 \text{ lx}$$

Wertebereich:

$$I_W = 0 \dots 2$$

Hierbei bedeutet der Wert 2 „sehr gleichmäßig“, kleinere Werte sind schlechter.

Die Bewertung der minimalen Beleuchtungsstärke auf den Schildern orientiert sich an den von der ECE festgelegten maximalen Beleuchtungsstärken. Für die Identifikation der Schilderbeschriftungen sind zwar höhere Werte wünschenswert, können jedoch aufgrund der damit verbundenen Blendung des Gegenverkehrs nicht benutzt werden. Die vertikale Beleuchtungsstärke ist daher auf den Bereich von $0,1 \text{ lx} < E < 1 \text{ lx}$ pro Scheinwerfer beschränkt. Da E_{\min} für zwei Scheinwerfer ermittelt wird, wird für die Bewertung durch den Faktor „2“ dividiert.

Bewertung Beleuchtungsstärke:

$$I_{\min} = E_{\min}/2$$

Wertebereich:

$$I_{\min} = 0 \dots 1$$

Zur Bewertung der Beleuchtung von Straßenschildern unter dem Oberbegriff Leistung werden beide Teilbewertungen zusammengefasst.

Bewertung gesamt:

$$I = (I_W + I_{\min})/3$$

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

4.9 Fernlicht

Nach ECE-Regelung Nr. 48 [ECE, 2002b] darf die größte Lichtstärke aller Scheinwerfer, die für Fernlicht gleichzeitig eingeschaltet werden dürfen, 225.000 cd nicht überschreiten. Damit existiert eine Obergrenze, die nicht überschritten werden kann. Diese Lichtstärke entspricht einer Kennzahl von 75 nach ECE-R 112, Abschnitt 6.3.2.1.2 [ECE, 2002].

Es ist nicht ausreichend, die Kennzahlen auf den Scheinwerfern zu addieren, denn

- die Kennzahlen werden in Stufen von 2,5 Einheiten und mehr vergeben, wobei jeweils ein Lichtstärkebereich durch die Kennzahl gekennzeichnet wird,
- unterschiedliche Glühlampen ermöglichen eine Variation um bis zu 2 Stufe,
- die Angabe stellt eine Maximalzahl dar. Es kommt vor, dass für die Scheinwerfer eine höhere Zahl vergeben wird, als sich auf Grund der Lichtstärke ergibt. Dies ist möglich, da der Sinn der Kennzeichnung – die maximale Lichtstärke aller Scheinwerfer zu begrenzen – dadurch nicht verletzt wird.

Es ist deshalb notwendig, auch die Fernlichtscheinwerfer im Betrieb zu testen.

Bei einer Zweifadenglühlampe wird normalerweise von der Abblendlichtwendel auf die Fernlichtwendel umgeschaltet, d. h., Fern- und Abblendlicht leuchten nicht gleichzeitig. Dadurch geht, im Gegensatz zu Scheinwerfern, bei denen das Fernlicht gleichzeitig mit dem Abblendlicht leuchtet, Licht verloren und die Ausleuchtung in die Breite ist geringer. Daher wird ein Zusatzpunkt vergeben, falls das Fernlicht gleichzeitig mit dem Abblendlicht betrieben wird.

Bewertung:

$I_z = 1$, falls Fern- und Abblendlicht gleichzeitig betrieben werden

$I_z = 0$, falls Fern- und Abblendlicht nicht gleichzeitig betrieben werden

Die minimale Beleuchtungsstärke für das Fernlicht beträgt 32 lx (gemessen in 25 m Entfernung) für Scheinwerfer der Klasse A und 48 lx für Scheinwerfer der Klasse B. Scheinwerfer der Klasse A entsprechen nicht mehr dem neuesten Stand der Technik. Für die Bewertung wird demzufolge eine minimale Beleuchtungsstärke von 48 lx, entsprechend 30.000 cd, angesetzt.

Der obige Grenzwert der minimalen Lichtstärke gilt bei der Prüfspannung nach ECE von etwa 12 V und für Scheinwerfer mit Glühlampe. Es ist deshalb notwendig, diesen Wert mit dem Spannungsfaktor $K_u = 1,4$ (siehe Begriffsdefinitionen) zu korrigieren. Dies entspricht dann auch etwa der minimalen Lichtstärke eines Fernlichtscheinwerfers mit Gasentladungslampe. Dieser Wert kann ohne weiteres auf 40.000 cd gerundet werden.

Bewertung:

$$I = \frac{I_z + \left(\frac{I_{\max}}{80.000} \right) - 1}{4}$$

Mit I_{\max} : maximale Lichtstärke der Scheinwerfer

Der Wert von 80.000 cd ergibt sich, da mindestens zwei Scheinwerfer verwendet werden. Die maximal zulässige Lichtstärke aller Fernlichtscheinwerfer beträgt 225.000 cd. Zusammen mit der Lichtstärke der Abblendscheinwerfer können theoretisch mehr als 320.000 cd erzeugt werden. Der Korrekturterm „-1“ ist notwendig, um den Wertebereich bei 0 beginnen zu lassen.

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

4.10 Rückfahrscheinwerfer

Die Leistung des Rückfahrscheinwerfers hängt von der Lichtstärke des Lichtes, das Hindernisse beleuchtet, und der Verteilung der Lichtstärke ab. Je größer die Lichtstärke, desto größer ist die Leistung eines Rückfahrscheinwerfers zu bewerten. Seit einiger Zeit ist die maximal erlaubte Lichtstärke auf 8.000 cd angehoben worden. Diese obere Grenze ist hinsichtlich der Leistung anzustreben. Diese Lichtstärke sollte im gesamten rückwärtigen Sichtfeld für die Beleuchtung sorgen.

Das rückwärtige Sichtfeld erstreckt sich von 0 bis 10 m hinter dem Fahrzeug. Eine Entfernung von 10 m entspricht dem Anhalteweg bei einer Geschwindigkeit von 20 km/h. Dies sollte für langsames rückwärtiges Fahren ausreichen.

Die Lichtstärkeverteilung von Rückfahrscheinwerfern kann derzeit nicht bewertet werden, da sie durch die gesetzlichen Vorgaben stark eingeschränkt ist. Unterhalb der Horizontalen bis zu 5° nach unten sind nur Lichtstärken bis zu 600 cd erlaubt. Lichtstärken bis zu 8.000 cd sind erst unterhalb 5° erlaubt. Diese Lichtstärken sind jedoch mindestens notwendig, um langsames Rückwärtsfahren mit guter Sicht zu gewährleisten. Dies ist unter anderem in Sackgassen ohne Wendemöglichkeit erforderlich. Die derzeitigen Regelungen beschränken die Nutzung der Rückfahrscheinwerfer auf das Rangieren bei langsamer Geschwindigkeit und kurzer Straßenausleuchtung. Bei einer An-

bauhöhe von 0,65 m wird die Sicht auf 7,5 m beschränkt. Eine Anhebung des Grenzwinkels von 5° auf 2° seitens des Gesetzgebers würde die Sicht verbessern.

Bewertung:

$$I = (I_{\max} - 80 \text{ cd}) / (8.000 \text{ cd} - 80 \text{ cd})$$

Mit I_{\max} : die maximale Lichtstärke, die im gesamten Winkelbereich der Ausstrahlung gemessen wird. 80 cd gibt die minimal geforderte Lichtstärke an

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

4.11 Schärfe der Hell-Dunkel-Grenze

Derzeit werden in der GTB Vorschläge für die Schärfe der Hell-Dunkel-Grenze erarbeitet. Dabei wird innerhalb eines Schnittes senkrecht zur Hell-Dunkel-Grenze der Gradient ermittelt, indem die Beleuchtungsstärke in 0,1-Grad-Schritten gemessen wird.

$$G = (\log E_V - \log E_{(V + 0.1^\circ)})$$

Der Wert dieses Gradienten darf dann 0,13 für Scheinwerfer der Klasse B und 0,08 für Scheinwerfer der Klasse A, C und D nicht unterschreiten. [GTB, 2003c]. Weiterhin wird auf Nachfrage der GRE von der GTB der Wert 0,35 für einen maximalen Gradienten vorgeschlagen. Die optische Schärfe der Hell-Dunkel-Grenze wäre dann hinsichtlich einer guten Einstellbarkeit im Widerstreit zu einem guten Fahrkomfort zu sehen und liegt zwischen 0,13 und 0,35. Damit ist bereits die Schärfe der Hell-Dunkel-Grenze zumindest für neue Scheinwerfer streng reglementiert.

Größere Werte des Gradienten als diese Mindestwerte, also weniger scharfe Hell-Dunkel-Grenzen, werden bereits in anderen Teilen indirekt bewertet und müssen deshalb hier nicht mehr extra untersucht werden.

4.12 Seitlicher Gradient

Die Ausleuchtung des seitlichen Bereiches der Straße ist für die Orientierung im Straßenraum notwendig. Es hat sich allerdings gezeigt [Ham., 2001], dass ein zu schneller Übergang des seitlichen ausgestrahlten Lichtes von hellen Bereichen in den nahezu unbeleuchteten Rand zu einer schlechten Be-

urteilungen der Lichtverteilung eines Scheinwerfers führt. Besonders in leichten Kurven und Kreuzungen können sich durch die enge Nachbarschaft von Bereichen mit hoher und niedriger Leuchtdichte „Tarnzonen“ mit deutlich reduziertem Informationsgehalt für den Kraftfahrer ergeben. Die Bereiche hoher und niedriger Beleuchtungsstärken dürfen also nicht zu nahe beieinander liegen.

Einer Idee von HAMM folgend kann dieser Abstand als Winkeldifferenz zweier Beleuchtungsstärken definiert werden. Im Kapitel „Leistung – Breite“ wurden bereits 0,5 lx als Minimalwert für das Erkennen von Fußgängern und Radfahrern auf einem Kreis um das Fahrzeug in 25 m Entfernung und 0,8 m Höhe über dem Boden gefordert. Diese 0,5 lx werden unter einem bestimmten Winkel zum Fahrzeug erreicht. Danach beginnt die Zone, welche den Gradienten der seitlichen Ausleuchtung definiert. In dieser Zone nimmt die vertikale Beleuchtungsstärke mit zunehmendem Winkel kontinuierlich ab. Vergleicht man den Winkelabstand von 0,5 lx bis zu 0,1 lx, erhält man ein Maß für den Gradienten.

Nimmt man an, dass dieser Übergangsbereich wenigstens 1,5 m in 25 m Entfernung betragen soll, dann erhält man eine Winkeldifferenz von etwa 3°. Für die Bewertung ist der Mittelwert der Winkeldifferenzen der rechten und linken Seite zu wählen.

Bewertung:

$$I = 0 \quad \text{für } \Delta\alpha \leq 3^\circ$$

$$I = 1 \quad \text{für } \Delta\alpha > 3^\circ$$

$$\text{Mit } \Delta\alpha = \alpha_{E = 0,5 \text{ lx}} - \alpha_{E = 0,1 \text{ lx}}$$

Wertebereich:

$$I = 0; 1$$

5 Sicherheit

Leuchten am Kraftfahrzeug sollen einen nachfolgenden Fahrer aus möglichst großer Entfernung auf das eigene Fahrzeug aufmerksam machen und auf das Verzögern oder einen Spurwechsel hinweisen. So kann der Nachfolgende seine Fahrweise entsprechend anpassen. Dies gilt umso mehr, je langsamer ein Fahrzeug ist, d. h., je größer die Geschwindigkeitsdifferenz beider Fahrzeuge ist.

5.1 Seitliches Signalbild

Die seitliche Erkennbarkeit von Leuchten ist nur für Situationen innerhalb geschlossener Ortschaften und in Kreuzungen und Einmündungen auf Landstraßen notwendig, nicht jedoch für Autobahnen und Schnellstraßen. Damit ist eine maximal zulässige Geschwindigkeit von 100 km/h zu betrachten. Die heute üblichen Anhaltewege bei dieser Geschwindigkeit betragen etwa 80 m. Eine solche Leuchte sollte daher aus wenigstens 80 m Entfernung erkennbar sein, sodass das Fahrzeug seitlich sichtbar ist.

Damit ein Lichtreiz wahrgenommen werden kann, muss er eine bestimmte Schwelle überschreiten, der von der Umfeldleuchtdichte, dem Sehwinkel und der Leuchtdichte des Objektes selbst abhängt. Die Umfeldleuchtdichte reicht dabei von ca. 10^{-3} cd/m² über Mondlicht bis zur Dämmerung mit ca. 1 cd/m². Bei höheren Umgebungsleuchtdichten wird die Beleuchtung am Kraftfahrzeug in der Regel nicht aktiviert.

Der Sehwinkel, also der Winkel, unter dem die Leuchte gesehen wird, hängt dabei von der Größe der Leuchte und der Entfernung zu ihr ab. Aus Bild 5.1 wird ersichtlich, dass damit Sehwinkel von etwa 1' bis 3' auftreten werden, da größere Ausdehnungen der seitlich angebrachten Leuchten selten 7 cm übersteigen.

Gemäß einer Untersuchung von ADRIAN [Adr., 1969] liegt bei Umfeldleuchtdichten von 1 cd/m² der Grenzwinkel, bis zu dem das Ricco'sche Gesetz gilt, unterhalb einer Bogenminute. In diesem Ricco'schen Bereich ist die Erregung eines Rezeptors proportional zum auftreffenden Lichtstrom. Die Schwellenbeleuchtungsstärke am Auge des Beobachters ist hier unabhängig von der Objektgröße,

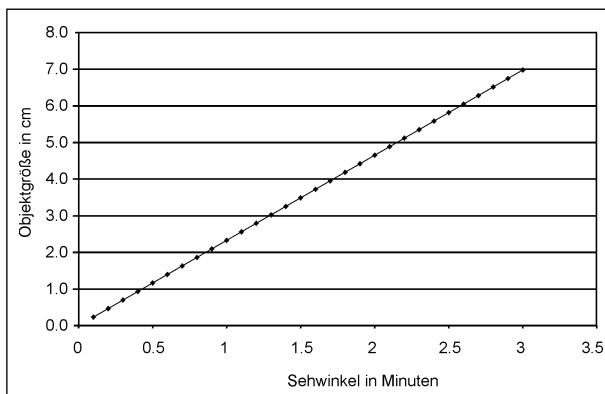


Bild 5.1: Abhängigkeit der Objektgröße vom Sehwinkel, Beobachterentfernung 80 m

d. h. dem Sehwinkel. Bei den vorliegenden Sehwinkeln darf deshalb bereits von ausgedehnten Objekten gesprochen werden für welche die Erregung eines Rezeptors proportional zur Leuchtdichte des Objektes ist.

$$E_n = \text{konst. } L_A A_P$$

Mit

E_n : Beleuchtungsstärke auf der Netzhaut

L_A : Leuchtdichte des Objektes

A_P : Pupillenfläche

5.1.1 Seitenmarkierungsleuchten

Eine Untersuchung von 30 Seitenmarkierungsleuchten, die zwischen 1993 und 2002 am Lichttechnischen Institut geprüft wurden, ergab eine berechnete Leuchtdichte von ca. 3.000 cd/m² bis 100.000 cd/m², wobei die Mehrzahl zwischen 10.000 cd/m² und 25.000 cd/m² ist (Bild 5.2). Dabei zeigte sich außerdem, dass hinsichtlich der Leuchtdichte kein Unterschied zwischen Seitenmarkierungsleuchten der Kategorie SM1 oder SM2 besteht. Die Leuchtdichte wurde berechnet, indem die Lichtstärke in Hauptabstrahlrichtung dividiert wird durch die leuchtende Fläche. Die leuchtende Fläche wird nach ECE bestimmt.

Da die maximal zulässige Lichtstärke von Seitenmarkierungsleuchten 25 cd beträgt, kann man die maximal gesetzlich mögliche Leuchtdichte der jeweiligen Leuchte berechnen. Es zeigt sich, dass dabei Werte weit über 100.000 cd/m² erreicht werden könnten. Für die Mehrzahl der Leuchten (23 Stück) ergeben sich aber dennoch Werte unter 100.000 cd/m².

Bei der Ermittlung der leuchtenden Fläche nach ECE wird bei Seitenmarkierungsleuchten aufgrund

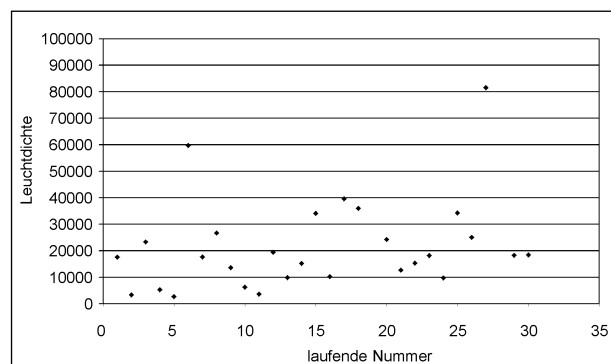


Bild 5.2: Leuchtdichten von Seitenmarkierungsleuchten

der kleinen Bauform meist nur eine Fläche in der Größe des Leuchtmittels ermittelt. Die damit berechnete Leuchtdichte entspricht ungefähr der Spitzenleuchtdichte, die visuell oder mit bildgebenden Verfahren ermittelt wird.

Die mittlere Leuchtdichte, gemessen entsprechend der Vorgabe bei den Begriffsdefinitionen, ist bei typischen Seitenmarkierungsleuchten ca. um den Faktor 100 geringer als die oben angegebenen berechneten Leuchtdichten. Diese mittlere Leuchtdichte ist für die visuelle Bewertung die entscheidende Größe und wird zur Bewertung benutzt.

Leuchtdichte

Den Autoren sind keine Veröffentlichungen bekannt, aus denen hervorgeht, welche Leuchtdichte eine Seitenmarkierungsleuchte am Kraftfahrzeug tatsächlich haben sollte, um sicher gesehen zu werden. Es wird deshalb vorgeschlagen, den häufigsten Wert der berechneten Leuchtdichte, ca. 20.000 cd/m², als ausreichend zu betrachten. Als mittlere Leuchtdichte ergibt sich mit dem Faktor 100 eine Leuchtdichte von 200 cd/m².

Bewertung:

$$K_{SM} = L_{SM}/200$$

Mit

L_{SM} : mittlere Leuchtdichte der Seitenmarkierungsleuchte

Wertebereich:

$$K_{SM} = 0...5$$

Mit dieser Bewertung erhält man einen Faktor, der auf maximal 5 begrenzt werden sollte, d. h., für Werte größer als 5 sollte auf 5 abgerundet werden. Dies entspricht einer Wertung, bei der berechnete Leuchtdichten größer als 100.000 cd/m², mittlere Leuchtdichten von 1.000 cd/m² keinen weiteren Gewinn an Sicherheit mehr bringen werden. Damit kann man sicherstellen, dass die Leuchtdichten von Seitenmarkierungsleuchten nicht unnötig hoch werden, nur um eine gute Bewertung zu erzielen.

Geometrische Sichtbarkeit

Fahrtrichtungsanzeiger, Schlussleuchten und Begrenzungsleuchten müssen zur Fahrzeugaußenseite bis zu einem Winkel von 80° zur Fahrzeuginnenachse noch erkennbar sein. Wenn durch den Anbau der Leuchte aber Hindernisse, wie

Blechkanten oder Ähnliches, die Sichtbarkeit einschränken, was innerhalb des Winkelbereiches 45° bis 80° durchaus zulässig ist, dann müssen diese Bereiche durch das Licht einer Seitenmarkierungsleuchte ergänzt werden.

Seitenmarkierungsleuchten werden also aus zweierlei Gründen am Kraftfahrzeug verbaut:

- allgemein zur besseren seitlichen Erkennbarkeit,
- zur Ergänzung der geometrischen Sichtbarkeit von Fahrtrichtungsanzeigern, Begrenzungsleuchten und Schlussleuchten.

Im Falle a) erhält man einen Gewinn der Erkennbarkeit des Fahrzeugs, während im Fall b) nur der Mangel einer anderen Leuchte ausgeglichen wird und kein tatsächlicher Gewinn an Sicherheit gegenüber einer Leuchtenkombination erreicht wird, die eine seitliche Erkennbarkeit gewährleistet.

Ein weiterer Bewertungsfaktor soll dies berücksichtigen:

$K_G = 1$, wenn die geometrische Sichtbarkeit von Fahrtrichtungsanzeigern, Schlussleuchten oder Begrenzungsleuchten nicht ergänzt werden soll

$K_G = 0$, sonst.

Zur Bestimmung ob Fall a) oder b) vorliegt, ist die Lichtstärke in der Höhe der Leuchte unter einem Winkel von 80° zur Fahrzeuginnenachse zu messen. Solange die gesetzlich vorgeschriebenen Mindestwerte erreicht werden, kann man davon ausgehen, dass die Seitenmarkierungsleuchte allgemein die Erkennbarkeit verbessert, also Fall a) vorliegt.

Gesamtbewertung von Seitenmarkierungsleuchten

Für die Bewertung der Seitenmarkierungsleuchte wird die Leuchtdichte zusammen mit der geometrischen Sichtbarkeit von Fahrtrichtungsanzeiger, Schlussleuchte oder Begrenzungsleuchte bewertet.

Bewertung:

$$I = \frac{K_{SM} \cdot K_G}{5} = \frac{L_{SM}}{200} \cdot K_G$$

Wertebereich:

$$I = 0...1$$

Durch die Multiplikation mit dem Faktor K_G (0 oder 1) wird sichergestellt, dass die Seitenmarkierungsleuchte nur bewertet wird, wenn sie nicht zur Ergänzung der Sichtbarkeit angebaut wurde.

5.1.2 Seitliche Rückstrahler

Rückstrahler sind passive Beleuchtungseinrichtungen an Fahrzeugen. Sie dienen zur Kenntlichmachung bei Dunkelheit, wenn das Fahrzeug abgestellt, inaktiv ist und sämtliche Lichtquellen des Fahrzeuges ausgeschaltet sind. Weiterhin ersetzen sie die Begrenzungsleuchten von Fahrzeugen, falls diese einen Defekt aufweisen.

Rückstrahler müssen durch fremde Lichtquellen angeleuchtet werden. Es ist wünschenswert, dass Rückstrahler im angeleuchteten Zustand ähnliche Lichtstärken abstrahlen, wie es für die Begrenzungsleuchten gefordert wird. Überschlägige Rechnungen haben ergeben, dass Lichtstärken von Rückstrahlern bei Anleuchtung durch Scheinwerfer deutlich unter den in diesem Bewertungsschema geforderten Lichtstärken von Begrenzungsleuchten liegen. Da die anleuchtenden Lichtquellen nicht näher spezifiziert werden können, besteht nicht die Möglichkeit, feste Werte anzugeben. Es steht aber außer Frage, dass die Rückstrahlwerte möglichst hoch sein sollten.

Heutige rote Rückstrahler besitzen Rückstrahlwerte im Bereich von 400 bis 1.100 mcd/lx bei einer Messfläche von 10 x 10 cm [Prü., 2005]. Für die Bewertung von Rückstrahlern werden möglichst hohe, technisch mögliche Rückstrahlwerte gefordert. Als Obergrenze wird 1.000 mcd/lx, gemessen nach ECE-R 3 [ECE, 2004c], festgelegt.

Die Rückstrahlwerte sind farbabhängig. Gemäß den in ECE-R 3 angegebenen Verhältnissen ergeben sich folgende Maximalwerte für die hier betrachteten Rückstrahler der Kategorie IA bei einem Beobachtungswinkel von 20 Minuten:

Rot: 1.000 mcd/lx,

Gelb: 2.500 mcd/lx,

Weiß: 4.000 mcd/lx.

Neben den hinteren Rückstrahlern werden manche Leuchten mit seitlichen Rückstrahlern ausgerüstet. Diese werden dabei vom Gesetzgeber wie hintere Rückstrahler behandelt. Damit gelten auch die gleichen Unterscheidungsmerkmale wie bei hinteren Rückstrahlern, sie tragen also in gleichem Maße

zur Erkennbarkeit des Fahrzeuges bei und werden wie folgt bewertet.

Bewertung:

$$I = R/2.500$$

$I = 0$, falls keine seitlichen Rückstrahler vorhanden sind

Mit R: Rückstrahlwert in mcd/lx bei 20' Beobachtungswinkel und 0° Beleuchtungswinkel

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

5.1.3 Seitlich angebrachte Blinkleuchten

Neben den vorderen und hinteren Blinkleuchten besteht noch die Möglichkeit, das Fahrzeug mit seitlich angebrachten Blinkleuchten der Kategorie 5 auszurüsten. Obwohl diese seitlich angebracht werden, wirken sie nach hinten in einem Winkelbereich von mindestens 60° zur Fahrzeuglängsachse. In den meisten Fällen ist die tatsächliche Erkennbarkeit aber weitaus größer und kann, wie im Falle der Blinkleuchte im Außenspiegel, sogar dazu benutzt werden, ein zusätzliches Signal zur Seite und nach vorne zu geben.

Solange es keine gesetzlichen Vorschriften gibt, dient als Maßstab die Seitenmarkierungsleuchte. Damit hat man ein Bewertungskriterium für das zur Seite ausgestrahlte Licht.

Bewertung:

$$I = (L_{BLS}/200) / 5$$

Mit L_{BLS} : mittlere Leuchtdichte der seitlichen Blinkleuchte, horizontal und orthogonal zur Fahrzeugachse gemessen

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

5.1.4 Seitlich austretendes Licht von vorderen oder hinteren Leuchten

Auch hier gilt das Gleiche wie bei der seitlichen Blinkleuchte. Der Gesetzgeber verlangt nur, dass die Leuchten bis zu einem Winkel von 80° zur Fahrzeuglängsachse vorgeschriebene Mindestwerte einhalten müssen. Darüber hinaus, also für Winkel größer als 80° oder gar 90°, werden keine Aussagen getroffen. Dennoch kann es zweifellos von Vorteil sein, wenn diese Leuchten auch von der Seite

eine erkennbare Wirkung hervorrufen. Deshalb werden sie, wie schon der seitliche Fahrtrichtungsanzeiger, orthogonal zur Fahrzeugachse gemessen, sodass die Flächennormale der senkrechten Fahrzeugseite parallel zur Messrichtung ist.

Bewertung der Einzelfunktionen:

$$K_{BG} = L_{BG}/200$$

$$K_{SL} = L_{SL}/200$$

$$K_{BLV} = L_{BLV}/200$$

$$K_{BLH} = L_{BLH}/200$$

Mit:

L_{BG} : mittlere Leuchtdichte der vorderen Begrenzungsleuchte, seitlich gemessen

L_{SL} : mittlere Leuchtdichte der Schlussleuchte, seitlich gemessen

L_{BLV} : mittlere Leuchtdichte der Blinkleuchte vorne, seitlich gemessen

L_{BLH} : mittlere Leuchtdichte der Blinkleuchte hinten, seitlich gemessen

Bewertung:

$$I = (K_{BG} + K_{SL} + K_{BLV} + K_{BLH})/20$$

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

5.2 Rückwärtiges Signalbild

5.2.1 Vorhandene Signalleuchten

Das hintere Signalbild von Kraftfahrzeugen setzt sich aus den gesetzlich vorgeschriebenen Signalleuchten zusammen. Den Fahrzeugherstellern sind gewisse Grenzen vorgegeben, innerhalb derer sie Gestaltungsfreiheit haben. Daher können verschiedene Fahrzeugtypen unterschiedliche Lichtstärken, unterschiedliche Typen von Bremsleuchten und Fahrtrichtungsanzeigern (mit oder ohne Tag-Nacht-Schaltung) und eine unterschiedliche Anzahl von Nebelschlussleuchten und Rückfahrscheinwerfern besitzen.

Diese Unterschiede betreffen die Sicherheit und sind bei einer Bewertung der aktiven Sicherheit von Kraftfahrzeugen zu berücksichtigen. Im Folgenden sind die hinteren Leuchten aufgelistet.

- Schlussleuchten (hintere Umrissleuchten)

- Bremsleuchten (S2 ist besser als S1)

- S1

oder

- S2

- Bremsleuchte S3

- Fahrtrichtungsanzeiger (2b ist besser als 2a)

- 2a

oder

- 2b

- Nebelschlussleuchten (zwei sind besser als eine)

- Rückfahrscheinwerfer (zwei sind besser als einer)

5.2.2 Adaptive Leuchten

Eine Art adaptiver Bremsleuchten und Fahrtrichtungsanzeiger darf schon seit Jahren an Fahrzeugen angebaut werden. In den Regelungen wird diese Möglichkeit „Tag-Nacht-Schaltung“ genannt. Die Adaptivität sollte die vorherrschende Umfeldhelligkeit berücksichtigen und die Leuchten entsprechend schalten. Ein Fahrzeug, das mit S2 statt S1 Bremsleuchten ausgerüstet ist, wird besser bewertet.

Bewertung:

$I_S = 1$, falls Bremsleuchten des Typs „S2“ vorhanden sind

$I_S = 0$, falls Bremsleuchten des Typs „S1“ vorhanden sind

$I_2 = 1$, falls Fahrtrichtungsanzeiger des Typs „2b“ vorhanden sind

$I_2 = 0$, falls Fahrtrichtungsanzeiger des Typs „2a“ vorhanden sind

$$I_A = I_S + I_2$$

Wertebereich:

$$I_A = 0; 1; 2$$

5.2.3 Leuchtenanzahl

Die Anzahl der angebauten Nebelschlussleuchten hängt indirekt mit adaptiven Leuchten zusammen. In der Arbeit von ARMBRUSTER [Arm., 2001] wird

vorgeschlagen, die Nebelschlussleuchten nicht als zusätzliche Signale aufzufassen, sondern als ein Zustand der adaptiven Schlussleuchten. In diesem Fall werden die „Nebelschlussleuchten“ durch die Schlussleuchten gebildet, daher sind zwei Nebelschlussleuchten angebracht.

Die herkömmlichen Nebelschlussleuchten sollen die Sichtbarkeit des Fahrzeuges, normalerweise durch die Schlussleuchten gegeben, bei schlechter Sicht gewährleisten. Es sind zwei Schlussleuchten am Fahrzeug angebracht, die das Signalbild eines zweispurigen Fahrzeuges bilden. Da die Nebelschlussleuchten die „Schlussleuchten bei Nebel“ sind, sollten auch zwei Nebelschlussleuchten vorhanden sein, da das Fahrzeug nach wie vor zweispurig ist. Daher wird das Fahrzeug besser bewertet, wenn an ihm zwei Nebelschlussleuchten statt einer angebracht sind.

Die Rückfahrscheinwerfer sollen anderen Verkehrsteilnehmern anzeigen, dass ein zweispuriges Fahrzeug sich entgegen der normalen Bewegungsrichtung bewegt. Das hintere Signalbild für ein rückwärts fahrendes zweispuriges Fahrzeug muss aus weißen Leuchten bestehen, denn in Fahrtrichtung des Fahrzeuges ist die Signalfarbe Weiß. Das Signalbild sollte aus zwei Leuchten bestehen, denn es ist das Signalbild eines zweispurigen Fahrzeuges.

Bewertung:

$I_F = 1$, falls zwei Nebelschlussleuchten vorhanden sind

$I_F = 0$, falls nur eine Nebelschlussleuchte vorhanden ist

$I_R = 1$, falls zwei Rückfahrscheinwerfer vorhanden sind

$I_R = 0$, falls nur ein Rückfahrscheinwerfer vorhanden ist

$I_N = I_F + I_R$

Wertebereich:

$I_N = 0; 1; 2$

5.2.4 Vorhandene Signalleuchten, adaptive Leuchten und Leuchtenanzahl

Die Bewertung der vorhandenen Signalleuchten des hinteren Signalbildes von Kraftfahrzeugen berücksichtigt das Vorhandensein adaptiver Leuchten und die Leuchtenanzahl.

Bewertung:

$$I = (2 \cdot I_A + I_N) / 6$$

Wertebereich:

$I = 0 \dots 1$

5.2.5 Farbsättigung

Die verschiedenen Signalfunktionen werden unter anderem anhand der Farbe voneinander unterschieden. Der Farbort von Signalleuchten ist durch gesetzliche Regelungen in engen Bereichen festgelegt. Dadurch ist auch die Farbsättigung festgelegt; die Farben müssen fast vollständig gesättigt sein.

Der Farbort und die Farbsättigung werden nicht bewertet, da die Autoren der Meinung sind, dass die gesetzlichen Regelungen ausreichend enge Grenzen setzen. Auch sind keine wissenschaftlichen Untersuchungen bekannt, die zu so kleinen Farbänderungen Aussagen liefern.

Obwohl keine Bewertung der Farbsättigung durchgeführt wird, bedeutet dies nicht, dass bei Fahrzeugen im Straßenverkehr keine Leuchten mit Farben schwacher Sättigung anzutreffen sind. Dies sind meist Alterserscheinungen der Abschlusscheiben. Da die Bewertung Neufahrzeuge bewerten soll, kann dies nicht durch eine NCAP-Bewertung verhindert werden.

5.2.6 Lichtstärke

Die Erkennbarkeit aus großem Abstand hängt von der Lichtstärke der Signalleuchten ab. Je größer die Lichtstärke, desto besser werden die Signalleuchten erkannt.

Die Bewertung der Signalleuchten kann für alle Signalfunktionen allgemein festgelegt werden. Der beste zu erreichende Wert (I_{max}) ist der gesetzlich erlaubte Maximalwert bei Leuchten mit mehreren Lichtquellen (zum Beispiel 17 cd für eine Schlussleuchte). Der schlechteste zu erreichende Wert (I_{min}) ist die gesetzlich geforderte Mindestlichtstärke (zum Beispiel 4 cd für eine Schlussleuchte). Die maximale Lichtstärke jeder einzelnen Signalleuchte wird gemessen und dieser Wert I_x für die Bewertung herangezogen.

Bewertung:

$$I_i = \frac{I_x - I_{min}}{I_{max} - I_{min}}$$

Wertebereich:

$$I_i = 0 \dots 1$$

Der gesetzlich erlaubte Maximalwert I_{\max} kann in der Praxis nicht ganz erreicht werden, da aufgrund der Toleranzen ein gewisser Abstand zu diesem eingehalten werden muss. Es kann trotzdem volle Punktzahl bei der Bewertung erreicht werden, da die Zuordnung von den Punkten I_i zu den Bewertungspunkten so gestaltet ist, dass der obere „Bereich“ volle Punktzahl gibt. Somit wird keine „Punktlandung“ von Seiten der Fahrzeughersteller gefordert.

Die Bewertung wird für jede einzelne Signalleuchte (Index i) durchgeführt. Die Gesamtanzahl der Signalleuchten ist N . Die Gesamtbewertung setzt sich aus allen Einzelbewertungen zusammen. Derzeit sind sechs Signalleuchten, aufgelistet in Abschnitt „Vorhandene Signalleuchten“, zu bewerten. Bei Leuchten, die paarweise angebaut sind, wird die rechts angebaute Leuchte gemessen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die entsprechende linke Leuchte gleiche Werte aufweist.

Bewertung:

$$I = \frac{I_1 + I_2 + \dots + I_i + \dots + I_N}{N}$$

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

5.2.7 Lichtstärkeverteilung

Die in den ECE-Regelungen [ECE, 2004] geforderten Lichtstärkeverteilungen geben den Mindeststandard vor. Wesentlich sinnvoller im Sinne der Sicherheit ist, wenn die Signalleuchten in einen möglichst großen Winkel eine möglichst hohe Lichtstärke ausstrahlen.

Der vertikale Winkelbereich sollte dabei $\pm 5^\circ$ betragen. Dies entspricht einer Fahrsituation an einer Steigung von ca. 10 Prozent (Bild 5.3), womit die meisten Fahrsituationen abgedeckt sind. (Gefährliche Gefällestrrecken haben ca. 15 Prozent Gefälle [Ada, 2000].)

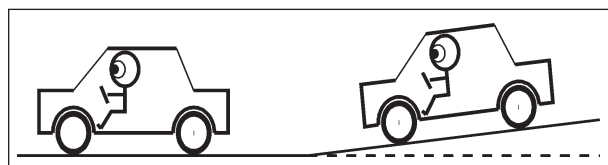


Bild 5.3: Fahrsituation bei 10 Prozent Gefälle

Die Signalleuchten von Fahrzeugen sollten bei einer Fahrsituation auf einer Kurve mit dem Radius 400 m und einem Fahrzeug-Fahrzeug-Abstand auf der Kurvenbahn von 150 m (Länge des Fernfeldes) noch gut erkannt werden. Der Kreisbogenabschnitt von 150 m entspricht einem Kreisbogenwinkel von $22,5^\circ$. Damit die Signalleuchte des vorderen Fahrzeuges von dem Hintermann gesehen werden kann, muss sie unter einem Winkel von ca. 10° (exakt $11,25^\circ$; in Bild 5.4 gestrichelt eingezeichnet) gegen die Fahrzeugachse (auch gestrichelt eingezeichnet) abgestrahlt werden. In Bild 5.5 ist ein Kartenausschnitt [Top., 2002] einer solchen Fahrsituation gezeigt. Ein Fahrzeug ist auf dieser Landstraße bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h über 17 Sekunden auf Kurvenfahrt. Dies ist eine Zeitspanne, in der nicht auf die Sichtbarkeit des Vordermanns verzichtet werden kann.

Bei einem Kurvenradius von 300 m und gleichem Fahrzeugabstand beträgt der geforderte Abstrahl-

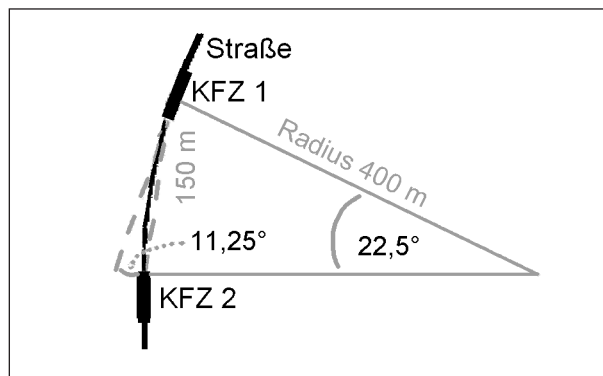


Bild 5.4: Blickwinkel bei Kurvenfahrt, Kurve einer Landstraße mit 400 m Radius

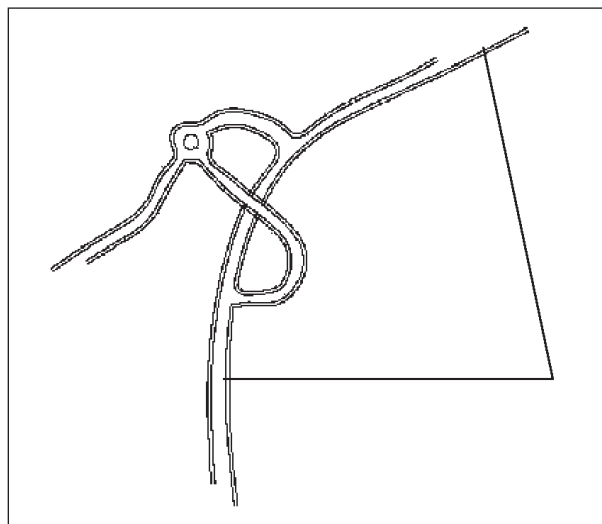


Bild 5.5: Kartenausschnitt, Kurve einer Landstraße mit 400 m Radius

winkel 15° . Daher sollte der horizontale Winkelbereich $\pm 15^\circ$ betragen.

Die Lichtstärke in dem Winkelbereich horizontal $\pm 15^\circ$ und vertikal $\pm 5^\circ$ sollte möglichst überall dem Maximalwert I_x aus Abschnitt „Lichtstärke“ entsprechen, gemessen in der optischen Achse der Leuchte. Aus technischen Gründen wird derzeit nur der gesetzlich festgelegte axiale Minimalwert I_{\min} (z. B.: 4 cd für Schlussleuchten) gefordert. Dies kann entsprechend dem Stand der Technik angepasst werden, bis die Lichtstärke in dem Winkelbereich gleichmäßig der Maximallichtstärke entspricht. Für die Bewertung wird die Lichtstärke der Signalleuchte bei folgenden Winkeln gemessen:

- horizontal 0° , vertikal 0° : I_x ,
- horizontal 0° , vertikal -5° : I_{v-5} ,
- horizontal 0° , vertikal $+5^\circ$: I_{v+5} ,
- horizontal -15° , vertikal 0° : I_{h-15} ,
- horizontal $+15^\circ$, vertikal 0° : I_{h+15} .

Bewertung:

$$I_i = \frac{\frac{I_{v-5}}{I_{\min}} + \frac{I_{v+5}}{I_{\min}} + \frac{I_{h-15}}{I_{\min}} + \frac{I_{h+15}}{I_{\min}}}{4} = \frac{I_{v-5} + I_{v+5} + I_{h-15} + I_{h+15}}{4 \cdot I_{\min}}$$

Wertebereich:

$$I_i = 0 \dots 1$$

Die Bewertung wird für jede einzelne Signalleuchte (Index i) durchgeführt. Die Gesamtanzahl der Signalleuchten ist N . Die Gesamtbewertung setzt sich aus allen Einzelbewertungen zusammen. Derzeit sind sechs Signalleuchten, aufgelistet in Abschnitt „Vorhandene Signalleuchten“, zu bewerten. Bei Leuchten, die paarweise angebaut sind, wird die rechts angebaute Leuchte gemessen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die entsprechende linke Leuchte gleiche Werte aufweist.

Gesamtbewertung:

$$I = \frac{I_1 + I_2 + \dots + I_i + \dots + I_N}{N}$$

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

5.2.8 Leuchtdichte

Als die heute gültigen Gesetze [StV, 1988] über Leuchten an Kraftfahrzeugen festgelegt wurden, war die Verkehrsdichte auf den Straßen wesentlich geringer, als dies heute der Fall ist. Auch die zur Verfügung stehenden Messgeräte gaben dem Lichttechniker längst nicht die Vielfalt an Messmöglichkeiten, wie wir sie heute kennen. Unter anderem aus diesen Gründen wurde als Festlegung des Lichtaustrittes aus Kraftfahrzeugrückleuchten als Messgröße die Lichtstärke bestimmt.

Befindet sich der Fahrer des nachfolgenden Kraftfahrzeuges in geringem Abstand zu der Signalleuchte, so wird sein Lichteindruck durch die lichttechnische Größe Leuchtdichte der Leuchte bestimmt. In großem Abstand zu der Leuchte ist jedoch die Lichtstärke maßgeblich. Nach den Untersuchungen von ARMBRUSTER [Arm., 2001] erstreckt sich der Nahbereich der Leuchte bis zu einer Entfernung von ca. 100 m. [Rip., 2001] erkannte durch seine Untersuchungen einen Bereich von 0 bis 63 m als gültigen Nahbereich bei Signalen mit einer leuchtenden Fläche von 100 cm^2 an. Auch andere Autoren, unter anderem OLSON [Ols., 1996], gehen davon aus, dass sich der Nahbereich bis mindestens 50 m erstreckt. Gemessen wurde bei OLSON in Entfernungen von 15,2 m und 42,6 m, um Ergebnisse über das Verhalten im Nahbereich zu erhalten.

Nach dem heutigen Stand der Wissenschaft hängt die Erkennbarkeit von Signalleuchten im Nahbereich von der Leuchtdichte ab. Je größer die Leuchtdichte, desto besser werden die Signalleuchten erkannt. Zu geringe Leuchtdichten müssen als schlecht bewertet werden, da sie schlecht erkannt werden.

Wenn die Leuchtdichten zu groß sind, werden Verkehrsteilnehmer durch die Leuchten geblendet. Zu große Leuchtdichten müssen daher als schlecht bewertet werden. Diese Bewertung wird im Abschnitt „Verträglichkeit – Blendung durch Signalleuchten“ berechnet.

Bei der Wahl der richtigen Leuchtdichte von Signalleuchten kommt es auf einen guten Kompromiss von Erkennbarkeit und Blendung an. RIPPERGER [Rip., 2001b] hat in seiner Arbeit Bereiche guter Leuchtdichten der hinteren Signalleuchten definiert. Die von ihm gefundenen Werte sind von ARMBRUSTER [Arm., 2001] hinsichtlich weiterer Kriterien untersucht und entsprechend korrigiert worden.

Die Umsetzung in entsprechende gesetzliche Regelungen steht jedoch noch aus.

Bei der Bewertung der Signalleuchten werden die von RIPPERGER und ARMBRUSTER gefundenen Werte als Optimalwerte zugrunde gelegt.

Für die Schlussleuchten bei Nacht erstreckt sich der optimale Bereich der Leuchtdichte von 100 bis 400 cd/m². Für die hier vorgenommene Bewertung in Bezug auf die Sicherheit wird nur der Minimalwert (100 cd/m²) betrachtet, da der Maximalwert (400 cd/m²) in der Bewertung der Verträglichkeit Berücksichtigung findet.

Bewertung:

$$I_{\text{Schl}} = 1, \text{ falls } I_{\text{XS}} > 100 \text{ cd/m}^2$$

$$I_{\text{Schl}} = 0 \text{ sonst}$$

Mit

I_{XS} : Leuchtdichte der Schlussleuchte am zu bewertenden Fahrzeug, Mittelwert aus rechter und linker Signalleuchte.

Wertebereich:

$$I_{\text{Schl}} = 0; 1$$

Bei Bremsleuchten geht RIPPERGER von einer Tag-Nacht-Schaltung aus. Er schlägt als Leuchtdichte für den Tagpegel den Bereich von 11.000 bis 44.000 cd/m² und für den Nachtpegel den Bereich von 1.000 bis 4.000 cd/m² vor. Daher gilt für Bremsleuchten mit Tag-Nacht-Schaltung folgende Bewertungsformel.

Bewertung:

$$I_{\text{BrT}} = 1, \text{ falls } I_{\text{xT}} > 11.000 \text{ cd/m}^2 \\ (\text{Tag bei Tag-Nacht-Schaltung})$$

$$I_{\text{BrT}} = 0 \text{ sonst}$$

$$I_{\text{BrN}} = 1, \text{ falls } I_{\text{xN}} > 1.000 \text{ cd/m}^2 \\ (\text{Nacht bei Tag-Nacht-Schaltung})$$

$$I_{\text{BrN}} = 0 \text{ sonst}$$

Mit

I_{xT} : Leuchtdichte der Bremsleuchte am zu bewertenden Fahrzeug, Mittelwert aus rechter und linker Signalleuchte, Messung der Leuchtdichte bei Tagpegel der Tag-Nacht-Schaltung

I_{xN} : Leuchtdichte der Bremsleuchte am zu bewertenden Fahrzeug, Mittelwert aus

rechter und linker Signalleuchte, Messung der Leuchtdichte bei Nachtpegel der Tag-Nacht-Schaltung

Wertebereich:

$$I_{\text{BrT}} = 0; 1$$

$$I_{\text{BrN}} = 0; 1$$

Wenn keine Tag-Nacht-Schaltung vorhanden ist, sollte ein Kompromiss gefunden werden.

Das Verhältnis der Leuchtdichte von Tag- zu Nacht-Pegel beträgt bei den obigen Werten 11.

Das Verhältnis der minimalen zu der maximalen Leuchtdichte nach RIPPERGER beträgt 4. Dies gilt sowohl für den Tag- als auch für den Nachtpegel.

Bei den Lichtstärkewerten der aktuellen ECE-Regelungen für die Tag-Nacht-Schaltung [ECE, 2005c] ist das Verhältnis von Tag- zu Nacht-Pegel ca. 4 (Tagpegel von 130 bis 728 cd, Nachtpegel von 30 bis 112 cd). Das Verhältnis von der minimalen zu der maximalen Lichtstärke beträgt bei ECE im Mittel 5. Die in den ECE-Regelungen angegebenen Werte bei Leuchten ohne Tag-Nacht-Schaltung (60 bis 260 cd) sind doppelt so groß wie die Nacht-Werte und halb so groß wie die Tag-Werte.

Legt man die Leuchtdichtewerte auch in die Mitte der Tag-Nacht-Werte, kann man folgende Werte festlegen: Die minimale Leuchtdichte bei Leuchten ohne Tag-Nacht-Schaltung ist 3,3-mal so groß wie die Nacht-Werte und ein Drittel so groß wie die Tag-Werte. Als Verhältnis von Minimal- zu Maximalwert wird weiterhin 4 gewählt. Somit wird ein Bereich von 3.500 bis 14.000 cd/m² vorgeschlagen.

Bewertung:

$$I_{\text{BrT}} = I_{\text{BrN}} = 1, \text{ falls } I_{\text{x}} > 3.500 \text{ cd/m}^2 \\ (\text{ohne Tag-Nacht-Schaltung})$$

$$I_{\text{BrT}} = I_{\text{BrN}} = 0 \text{ sonst}$$

Mit

I_{x} : Leuchtdichte der Bremsleuchte am zu bewertenden Fahrzeug, Mittelwert aus rechter und linker Signalleuchte

Wertebereich:

$$I_{\text{BrT}} = I_{\text{BrN}} = 0; 1$$

Für Bremsleuchten des Typs S3 ist in den ECE-Regelungen keine Tag-Nacht-Schaltung vorgesehen, daher wird der gleiche Bereich von 3.500 bis

14.000 cd/m², wie im vorhergehenden Abschnitt, vorgeschlagen.

Bewertung:

$$I_{S3} = 1, \quad \text{falls } I_x > 3.500 \text{ cd/m}^2 \\ \text{(ohne Tag-Nacht-Schaltung)}$$

$$I_{S3} = 0, \quad \text{sonst}$$

Mit

I_x : Leuchtdichte der Bremsleuchte S3 am zu bewertenden Fahrzeug

Wertebereich:

$$I_{S3} = 0; 1$$

Bei der Bewertung der Fahrtrichtungsanzeiger können der Bewertung nicht direkt Werte von RIPPERGER und ARMBRUSTER zugrunde gelegt werden, da sie nur rote Leuchten untersucht haben. Jedoch können die Leuchtdichtewerte der Bremsleuchte als Anhalt dienen.

Wenn die Fahrtrichtungsanzeiger über eine Tag-Nacht-Schaltung verfügen, gilt folgende Bewertungsformel.

Bewertung:

$$I_{FT} = 1, \quad \text{falls } I_{xT} > 11.000 \text{ cd/m}^2 \\ \text{(Tag bei Tag-Nacht-Schaltung)}$$

$$I_{FT} = 0 \quad \text{sonst}$$

$$I_{FN} = 1, \quad \text{falls } I_{xN} > 1.000 \text{ cd/m}^2 \\ \text{(Nacht bei Tag-Nacht-Schaltung)}$$

$$I_{FN} = 0 \quad \text{sonst}$$

Mit

I_{xT} : Leuchtdichte des Fahrtrichtungsanzeigers am zu bewertenden Fahrzeug, Mittelwert aus rechter und linker Signalleuchte, Messung der Leuchtdichte bei Tagpegel der Tag-Nacht-Schaltung

I_{xN} : Leuchtdichte des Fahrtrichtungsanzeigers am zu bewertenden Fahrzeug, Mittelwert aus rechter und linker Signalleuchte, Messung der Leuchtdichte bei Nachtpegel der Tag-Nacht-Schaltung

Wertebereich:

$$I_{FT} = 0; 1$$

$$I_{FN} = 0; 1$$

Wenn keine Tag-Nacht-Schaltung vorhanden ist, gilt folgende Bewertungsformel:

Bewertung:

$$I_{FT} = I_{FN} = 1, \quad \text{falls } I_x > 3.500 \text{ cd/m}^2 \\ \text{(ohne Tag-Nacht-Schaltung)}$$

$$I_{FT} = I_{FN} = 0 \quad \text{sonst}$$

Wertebereich:

$$I_{FT} = I_{FN} = 0; 1$$

Die Nebelschlussleuchte ist laut ARMBRUSTER eine Schlussleuchte, die an besondere Bedingungen, wie verringerte Sichtweite durch Nebel, adaptiert. Der Einfluss des Nebels wird in drei Stufen unterteilt, entsprechend den meteorologischen Sichtweiten. In allen Bereichen wird als maximale Leuchtdichte ein Wert kleiner 10.000 cd/m² gefordert. Diese Werte können mit heutigen Nebelschlussleuchten nicht erreicht werden, da die ECE-Regelungen dies verbieten.

Bei der Nebelschlussleuchte muss die maximal erlaubte Fläche berücksichtigt werden. Sie beträgt 140 cm². Eine homogene Leuchtdichte vorausgesetzt, sind die Leuchtdichtewerte durch die in der Regelung ECE-R 38 [ECE, 2005e] definierten Lichtstärken beschränkt auf den Bereich oberhalb von 10.500 cd/m². Die von ARMBRUSTER geforderten Werte können in der Praxis nicht erreicht werden. Andere Verkehrsteilnehmer werden geblendet.

Als Kriterium für die Bewertung wird vorgeschlagen, nach ECE dunkle und nach ARMBRUSTER helle Nebelschlussleuchten als gut zu bewerten. Dieser Kompromiss muss gewählt werden, bis die ECE-Regelungen Nebelschlussleuchten mit geringerer Leuchtdichte bei gleicher Lichtstärke erlauben.

Bewertung:

$$I_{NL} = 1 + \frac{10.000 - I_x}{10.000}$$

Mit

I_x : Leuchtdichte der Nebelschlussleuchte, wenn zwei vorhanden, Mittelwert aus rechter und linker Signalleuchte

Wertebereich:

$$I_{NL} = 0...1$$

Der Rückfahrscheinwerfer soll anderen Verkehrsteilnehmern anzeigen, dass das Fahrzeug entgegen der normalen Fahrtrichtung fährt. Wenn die Rückfahrscheinwerfer aufleuchten, müssen sie mindestens so gut sichtbar sein, wie die Schlussleuchten. Wesentlich besser ist, wenn die Leuchtdichten der Rückfahrscheinwerfer mindestens fünfmal so groß wie die der Schlussleuchten sind. Dann ist als Signalbild Weiß statt Rot zu erkennen. Dieses hintere Signalbild (zwei weiße Leuchten) ist für ein rückwärts fahrendes zweispuriges Fahrzeug das korrekte Signalbild, denn die weißen Rückleuchten leuchten dann in Fahrtrichtung.

Der Faktor von fünf wird gewählt, da ab diesem Wert die Farbe der helleren Leuchten eindeutig dominiert, wie unter anderem in der Arbeit von KLINGER [Kli., 2004b] erkannt wurde. In dem Bericht [Bol., 1971] wird darauf hingewiesen, dass das Verhältnis von Bremsleuchte zu Schlussleuchte größer fünf sein soll, um die verschiedenen Funktionen voneinander zu unterscheiden. Es wird davon ausgegangen, dass ein Faktor von fünf ein praktikabler Wert zur Unterscheidung von Signalleuchten ist.

Bewertung:

$$I_R = \frac{I_x}{5 \cdot I_{xS}}$$

Mit

I_x : Leuchtdichte des Rückfahrscheinwerfers, wenn zwei vorhanden Mittelwert aus rechter und linker Signalleuchte

I_{xS} : Leuchtdichte des Schlusslichtes, Mittelwert aus rechter und linker Signalleuchte

Wertebereich:

$$I_{RS} = 0 \dots 1$$

Die Bewertung der Leuchtdichte des hinteren Signalbildes setzt sich aus den einzelnen oben vorgestellten Bewertungen zusammen. Derzeit sind insgesamt sechs Signalleuchten zu berücksichtigen, die in den oben stehenden Abschnitten einzeln bewertet sind.

Bewertung:

$$I = \frac{I_{Schl} + \frac{I_{BrT} + I_{BrN}}{2} + I_{SS} + \frac{I_{FT} + I_{FN}}{2} + I_{NL} + I_{RS}}{6}$$

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

5.2.9 Hintere Rückstrahler

Hintere Rückstrahler müssen durch fremde Lichtquellen angeleuchtet werden. Die Rückstrahlwerte der Rückstrahler sollten, wie in dem Abschnitt über seitliche Rückstrahler ausgeführt, möglichst hoch sein.

Bewertung:

$$I = R/1.000$$

Mit

R: Rückstrahlwert in mcd/lx bei 20' seitlichem Beobachtungswinkel und 0° Beleuchtungswinkel

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

5.3 Vorderes Signalbild

5.3.1 Vorhandene Signalleuchten

Das vordere Signalbild von Kraftfahrzeugen setzt sich aus den gesetzlich vorgeschriebenen Signalleuchten und Scheinwerfern zusammen. Den Fahrzeugherstellern sind gewisse Grenzen vorgegeben, innerhalb derer sie Gestaltungsfreiheit haben. Daher können verschiedene Fahrzeugtypen unterschiedliche Lichtstärken, unterschiedliche Typen von Begrenzungsleuchten und Fahrtrichtungsanzeigern (je nach Abstand zu dem Scheinwerfer) und eine unterschiedliche Anzahl von Scheinwerfern (zusätzliche Fernlichtscheinwerfer, Nebelscheinwerfer) besitzen.

Das vordere Signalbild wird aus mindestens zwei weißen Leuchten gebildet. Eine ist möglichst nahe an dem rechten Fahrzeugrand angebracht, die andere an dem linken. Unter normalen Bedingungen werden von weitem die Scheinwerfer für Abblendlicht oder Fernlicht, je nach Schaltungszustand, als diese beiden weißen Lichtquellen wahrgenommen. Bei Ausfall eines Scheinwerfers wird die entsprechende Fahrzeugseite durch die Begrenzungsleuchte kenntlich gemacht. Die Begrenzungsleuchten sind immer eingeschaltet, wenn die Scheinwerfer leuchten. Da die Lebensdauer von Scheinwerferleuchtmitteln sehr begrenzt ist, muss mit dem Ausfall gerechnet werden.

Das vordere Signalbild besteht aus folgenden Leuchten und Scheinwerfern:

- Scheinwerfer (Abblendlicht und Fernlicht),
- Nebelscheinwerfer,
- Begrenzungsleuchten (vordere Umrissleuchten),
- Fahrtrichtungsanzeiger,
- Warnblinklicht.

5.3.2 Lichtstärke

Die Erkennbarkeit aus großem Abstand hängt von der Lichtstärke der Signalleuchten ab. Je größer die Lichtstärke, desto besser werden die Signalleuchten erkannt.

Bei den Scheinwerfern muss die Lichtstärke hinsichtlich „Sicherheit“ nicht bewertet werden, da die Lichtstärke schon bei den Kriterien „Leistung“ bewertet wird. Bei den Begrenzungsleuchten und Fahrtrichtungsanzeigern ist der beste zu erreichende Wert (I_{\max}) der gesetzlich erlaubte Maximalwert bei Leuchten mit mehreren Lichtquellen (zum Beispiel 100 cd für eine Begrenzungsleuchte). Der schlechteste zu erreichende Wert (I_{\min}) ist die gesetzlich geforderte Mindestlichtstärke (zum Beispiel 4 cd für eine Begrenzungsleuchte). Die maximale Lichtstärke jeder einzelnen Signalleuchte wird gemessen und dieser Wert I_x für die Bewertung herangezogen.

Bewertung:

$$I_i = \frac{I_x - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}}$$

Wertebereich:

$$I_i = 0 \dots 1$$

Die Bewertung wird für jede einzelne Signalleuchte (Index i) durchgeführt. Die Gesamtanzahl der Signalleuchten ist N . Die Gesamtbewertung setzt sich aus allen Einzelbewertungen zusammen. Derzeit sind zwei Signalleuchten zu bewerten:

- Fahrtrichtungsanzeiger,
- Begrenzungsleuchte.

Es wird die rechts angebaute Leuchte gemessen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die entsprechende linke Leuchte gleiche Werte aufweist.

Bewertung:

$$I = \frac{I_1 + I_2 + \dots + I_i + \dots + I_N}{N}$$

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

5.3.3 Lichtstärkeverteilung

Die Bewertung der Lichtstärkeverteilung der Signalleuchten des vorderen Signalbildes wird genauso vorgenommen wie die Bewertung bei dem hinteren Signalbild.

Bewertung:

$$I_i = \frac{\frac{I_{v-5} + I_{v+5} + I_{h-15} + I_{h+15}}{4}}{4 \cdot I_{\min}} = \frac{I_{v-5} + I_{v+5} + I_{h-15} + I_{h+15}}{4 \cdot I_{\min}}$$

Mit

I_{\min} : der gesetzlich festgelegte axiale Minimalwert der jeweiligen Signalleuchte

Wertebereich:

$$I_i = 0 \dots 1$$

Die Bewertung wird für jede einzelne Signalleuchte (Index i) durchgeführt. Die Gesamtanzahl der Signalleuchten ist N . Die Gesamtbewertung setzt sich aus allen Einzelbewertungen zusammen. Derzeit sind zwei Signalleuchten zu bewerten:

- Fahrtrichtungsanzeiger,
- Begrenzungsleuchte.

Es wird die rechts angebaute Leuchte gemessen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die entsprechende linke Leuchte gleiche Werte aufweist.

Bewertung:

$$I = \frac{I_1 + I_2 + \dots + I_i + \dots + I_N}{N}$$

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

5.3.4 Leuchtdichte

Nach dem heutigen Stand der Wissenschaft hängt die Erkennbarkeit von Signalleuchten im Nahbereich von der Leuchtdichte ab. Je größer die Leuchtdichte, desto besser werden die Signalleuchten erkannt. Zu kleine Leuchtdichten müssen als schlecht bewertet werden, da sie schlecht erkannt werden. Wenn die Leuchtdichten zu groß sind, werden Verkehrsteilnehmer durch die Leuchten geblendet. Zu hohe Leuchtdichten müssen daher als schlecht bewertet werden.

Es ist bekannt, dass bei dem heutigen Signalbild Kombinationen erlaubt sind, welche die Sichtbarkeit der Fahrtrichtungsanzeiger bei gleichzeitigem Betrieb der Abblendscheinwerfer stark verringern. Dies hängt mit dem Abstand zwischen Fahrtrichtungsanzeiger und Scheinwerfer und den Leuchtdichten beider zusammen. Dieser Abstand wird derzeit nicht bewertet, da im Moment die Diskussionen über diesen Sachverhalt noch nicht sehr weit fortgeschritten sind. Unter anderem beschäftigt sich eine Arbeitsgruppe der GTB [GTB, 2004] seit Juli 2004 mit diesem Problem.

Die Bewertung der Leuchtdichten bei dem vorderen Signalbild ist derzeit nur für den Spezialfall „Warnblinklicht und Begrenzungsleuchten gleichzeitig an“ möglich. Wenn ein Fahrzeug liegen geblieben ist und das Warnblinklicht eingeschaltet ist, muss diese Funktion besser gesehen werden als die Begrenzungsleuchten. Die Funktion dieser ist anzuzeigen, dass ein Fahrzeug vorhanden ist. Die Funktion der Warnblinklichter ist anzuzeigen, dass ein Fahrzeug mit Problemen vorhanden ist.

Damit die Warnblinklichter bei eingeschalteten Begrenzungsleuchten gut sichtbar sind, sollte die Leuchtdichte mindestens fünfmal so hell wie die der Begrenzungsleuchten sein. Der Faktor von fünf wird gewählt, da ab diesem Wert die Farbe der helleren Leuchten eindeutig dominiert, wie unter anderem in der Arbeit von KLINGER [Kli., 2004b] erkannt wurde. In dem Bericht [Bol., 1971] wird darauf hingewiesen, dass das Verhältnis von Bremsleuchte zu Schlussleuchte größer fünf sein soll, um die verschiedenen Funktionen voneinander zu unterscheiden. Es wird davon ausgegangen, dass ein Faktor von fünf ein praktikabler Wert zur Unterscheidung von Signalleuchten ist.

Bewertung:

$$I = \frac{L_W}{5L_B}$$

Mit

L_W : Leuchtdichte des Warnblinklichtes

L_B : Leuchtdichte der Begrenzungsleuchte

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

5.3.5 Vordere Rückstrahler

Neben den hinteren Rückstrahlern werden manche Fahrzeuge mit vorderen Rückstrahlern ausgerüstet. Es gelten die gleichen Unterscheidungsmerkmale wie bei seitlichen und hinteren Rückstrahlern. Sie tragen also in gleichem Maße zur Erkennbarkeit des Fahrzeuges bei und werden wie folgt bewertet:

Bewertung:

$$I = R/4.000$$

$I = 0$, falls keine vorderen Rückstrahler vorhanden sind

Mit

R : Rückstrahlwert in mcd/lx bei 20' Beobachtungswinkel und 0° Beleuchtungswinkel

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

5.4 Umschaltzeiten Abblendlicht – Fernlicht

Bei dem Umschalten von Fernlicht auf Abblendlicht wird die Sehweite des Fahrers reduziert, sodass ein sicheres Fahren nur durch Verringerung der Geschwindigkeit möglich ist. Beim Abblenden wird die Sehweite für kurze Zeit noch weiter durch die Umadaptation und Umakkommodation verringert. Die Bewertung dieses Bereiches soll sicherstellen, dass es zu keinem Einbruch des Lichtstromes bei der Auf- oder Abblendung kommt. Dies kann entweder dadurch gewährleistet werden, dass sich Abblendlicht und Fernlicht zeitlich überlappen oder im Fernlichtbetrieb beide Lampen leuchten.

Eine Untersuchung von SCHMIDT-CLAUSEN [Sch., 1979] stellt die Technik des kontinuierlichen Abblendens durch ein Dimmen des Fernlichtes vor. Da die Dunkeladaptation langsamer als die Helladaptation geschieht, sieht SCHMIDT-CLAUSEN Vorteile in einem langsamen und der Verkehrssituation

angepassten Dimmen, gegenüber der harten Umschaltung zwischen Fernlicht und Abblendlicht.

Bewertung:

$I = 1$, falls zeitliche Überlappung bei der Umschaltung von Abblendlichtlampe zu Fernlichtlampe bzw. umgekehrt

$I = 1$, falls im Fernlichtbetrieb beide Leuchten an sind

$I = 0$, falls Lichtstrom bei Umschaltung kurzzeitig zusammenbricht

Wertebereich:

$I = 0; 1$

5.5 Ansprechzeiten

Die Ansprechzeiten von Signalleuchten betragen heute meist deutlich mehr als 100 Millisekunden, da meist Glühlampen als Lichtquellen eingesetzt werden. Diese lange Ansprechzeit entspricht bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h ca. 3 Meter Fahrstrecke.

Die mögliche Verbesserung der Reaktionszeiten nachfolgender Fahrer bei dem Einsatz von LED, die Ansprechzeiten deutlich unter einer Millisekunde aufweisen, anstelle von Glühlampen beträgt ca. 0,2 Sekunden. Obwohl dieser Einfluss auf die Verkehrssicherheit allgemein bekannt ist, werden dennoch immer noch häufig die wesentlich kostengünstigeren Glühlampen für sicherheitsrelevante Signalaufgaben eingesetzt.

Die Ansprechzeiten sind bei folgenden Leuchten sicherheitsrelevant:

- Bremsleuchten (S1 oder S2),
- Bremsleuchte (S3).

Wenn die Ansprechzeit einer Signalleuchte deutlich kleiner als 10 msec ist, trägt dies wesentlich zur Verkehrssicherheit bei.

Bewertung:

$I_i = 1$, falls $t < 10$ msec

$I_i = 0$ sonst

Derzeit sind zwei Signalleuchten entsprechend der oberen Auflistung zu bewerten. Für die Gesamtbewertung werden alle gleichwertig bewertet.

Bewertung:

$$I = \frac{I_1 + I_2 + \dots + I_i + \dots + I_N}{N}$$

Wertebereich:

$I = 0 \dots 1$

5.6 Ausfallanzeigen

Fällt ein Leuchtmittel aus, so sollte der Fahrer darüber benachrichtigt werden, um es selbst austauschen zu können oder in einer Werkstatt austauschen zu lassen. In den Anfängen der Kraftfahrzeuge beschränkte sich die „Ausfallanzeige“ darauf, dass der Fahrer eine defekte Lampe des Fahrtrichtungsanzeigers anhand des schnelleren Blinkrhythmus hörte bzw. den schnelleren Blinkrhythmus in der Kontrollleuchte im Armaturenbrett sah. Ein defekter Scheinwerfer konnte nur anhand der eingeschränkten Sicht durch die Abnahme der Helligkeit erkannt werden.

Heutige Fahrzeuge warnen auf einem Display im Armaturenbrett über den Ausfall eines Leuchtmittels. Die höchste Ausbaustufe der Ausfallanzeigen beschreibt dem Fahrer den Ort des ausgefallenen Leuchtmittels im Klartext und stellt bis zum Austausch des Leuchtmittels eine Ersatzfunktion zur Verfügung. Der Klartext, bzw. eine Grafik mit der Lage des Defekts, bringt den Vorteil, dass der Fahrer bereit ist, dieses Leuchtmittel, ohne lange nach dem Ort des Ausfalls suchen zu müssen, bereitwillig und zügig austauscht.

Bewertung:

$I = 1$ Ausfallanzeige mit Lagebeschreibung (z. B. „Bremslicht rechts ausgefallen“)

$I = 0,5$ allgemeine Ausfallanzeige ohne Lagebeschreibung (z. B. Warnsymbol Lampenausfall)

$I = 0$ keine Ausfallanzeige vorhanden (bzw. nur indirekt, z. B. schnellerer Blinkrhythmus)

Wertebereich:

$I = 0; 0,5; 1$

Getestet wird die Ausfallanzeige, indem eine beliebige Lampe aus dem Fahrtrichtungsanzeiger, der Brems-, Begrenzungs- oder Schlussleuchte, dem

Fern- oder Abblendlichtscheinwerfer oder dem Nebelscheinwerfer ausgebaut wird. Fall die entsprechende Lichtquelle keine auswechselbare Lampe ist, die entfernt werden kann, so wird der Lichtquellen ausfall simuliert, indem Teile der Lichtquelle oder die gesamte Lichtquelle vom Bordnetz getrennt werden. Im Armaturenbrett wird nach der entsprechenden Fehlermeldung gesucht. Ist für diesen Ausfall eine Lagebeschreibung im Klartext oder als Grafik vorhanden, kann davon ausgegangen werden, dass alle wichtigen Leuchten mit dieser Funktion ausgestattet sind. Die Ersatzfunktion für einen ausgefallenen Scheinwerfer oder eine ausgefallene Signalleuchte wird in Kapitel „Ersatzfunktion“ bewertet.

5.7 Lebensdauer

5.7.1 Abhängigkeit der Lampenlebensdauer von der Betriebsspannung

Wenn Halogenleuchtungen an einer höheren als der Spannung betrieben werden, für die sie ausgelegt wurden (Prüfspannung nach ECE R 37 [ECE, 2005b]), vermindert sich die Lebensdauer erheblich. Andererseits vergrößert sich die Lebensdauer, wenn eine niedrigere Spannung angelegt wird.

Nach ALBRECHT [Alb., 1997] lässt sich der Zusammenhang zwischen der Lebensdauer und der Betriebsspannung durch Gleichung 5.1 näherungsweise bestimmen.

$$\frac{L}{L_0} = \left(\frac{U}{U_0} \right)^{-14}$$

Formel 5.1: Lebensdauer von Glühlampen

Das bedeutet, dass bereits eine Überspannung um 5 % die Lebensdauer auf 50 % verkürzt.

Eine Verringerung der Spannung um mehr als 10 % verkürzt die Lebensdauer der Lampe ebenfalls deutlich, da dann unter Umständen der Halogen-Kreisprozess nicht mehr optimal ablaufen kann. Veröffentlichungen genauer Daten sind den Autoren jedoch nicht bekannt, es sei hierbei auf diverse Hinweise in den einschlägigen Leuchtenkatalogen der Hersteller verwiesen. Dieser Effekt soll deshalb hier zunächst nicht berücksichtigt werden.

5.7.2 Fahrzeugspannung

Die Spannung am Fahrzeug variiert mit der Motordrehzahl und der Leistungsaufnahme zugeschalteter

Verbraucher. Die Batterie (üblicherweise 12 V, 42-V-Bordnetze sind in Vorbereitung) arbeitet dabei auch als Puffer, der kurzzeitige Spannungsschwankungen ausgleicht.

Die Spannung an den Lampen schwankt dabei etwa zwischen 11 V und 14 V [Huh., 1996], [VDI, 2003], höhere Bordspannungen sind teilweise in der Diskussion. Bei der Verwendung des 42-V-Bordnetzes werden nach heutiger Erkenntnis spezielle Vorschaltgeräte für die Leuchten und Scheinwerfer bereitgestellt, welche die Spannung auf ca. 13,5 V reduzieren.

Obwohl kurzzeitige Spannungsschwankungen die Akzeptanz der Beleuchtung verringern [VDI, 2003], ist dies eine Eigenschaft des Bordnetzes und geht über die Anforderungen an eine gute Beleuchtung hinaus.

Die Messung der Scheinwerfer und Leuchten sollte deshalb bei einer bestimmten Spannung durchgeführt werden, die sich auch im Fahrbetrieb tatsächlich ergibt.

Der TRL-Vorschlag [TRL, 2002], bei einer Motordrehzahl von 2.000 U/min zu messen, ist dabei nicht auf alle Fahrzeugtypen anwendbar. Fahrzeuge mit Benzinmotor, Diesel-Motor oder gar Wankelmotor werden je nach Leistungsklasse in unterschiedlichen Drehzahlbereichen gefahren. Bei modernen Antriebskonzepten wie Hybridfahrzeugen oder Fahrzeugen mit automatischen stufenlosen Getrieben hat der Fahrer nur indirekt Einfluss auf die Drehzahl, da diese in Abhängigkeit von der Leistungsanforderung automatisch eingestellt wird.

Sinnvoller ist deshalb, statt der Drehzahl eine bestimmte Geschwindigkeit, z. B. 100 km/h, zu definieren. Die Messung der Geschwindigkeit kann mit dem im Fahrzeug eingebauten Tachometer durchgeführt werden, der für die Ermittlung der Bordspannung eine ausreichend exakte Messung der Geschwindigkeit erlaubt. Bei Fahrzeugen mit Automatikgetriebe stellt sich damit eine bestimmte Motordrehzahl ein. Bei Schaltgetrieben ist dann jeweils der Gang zu wählen, der eine normale Fahrt ohne Beschleunigungsphase erlaubt. Dies wird im Zweifel durch den Gang mit der längsten Übersetzung erreicht.

Bewertung:

$$I_L = 1, \quad \text{falls } L_{\text{Lampe}} \geq L_{\text{Fahrzeug}}$$

$$I_L = L_{\text{Lampe}}/L_{\text{Fahrzeug}}, \quad \text{falls } L_{\text{Lampe}} < L_{\text{Fahrzeug}}$$

$$I_L = 0, \quad \text{falls } L_{\text{Lampe}} < L_{\text{min}}$$

Mit

$$L_{\text{Lampe}} = L_0 \left(\frac{U}{U_0} \right)^{-14}$$

Es bedeuten:

L_0 : mittlere Lampenlebensdauer der Lampe, Datenblatt

L_{Fahrzeug} : Nutzungsdauer der Funktion während der Fahrzeuglebensdauer nach Angabe des Fahrzeugherstellers

I_L : NCAP-Faktor

U : Effektivwert der Spannung an der Lampe bzw. an dem im Scheinwerfer integrierten Betriebsgerät bei 100 km/h

U_0 : Betriebsspannung (Prüfspannung) der Lampe, Datenblatt

L_{min} : minimale Lampenlebensdauer, 100 h

Eine Lampenlebensdauer, die größer als die Nutzungsdauer während der Fahrzeuglebensdauer ist, führt nicht zu einem zusätzlichen Sicherheitsgewinn. Deshalb reicht es, den Faktor auf 1,0 zu beschränken.

Für eine kürzere Lampenlebensdauer ergibt sich ein Wert, mit dem sich verschiedene Fahrzeuge vergleichen lassen. Dies macht nur bis zu einer gewissen Mindestlebensdauer Sinn. Eine noch kleinere Lebensdauer stellt ein Sicherheitsrisiko dar und muss dementsprechend mit dem Wert 0 in die Bewertung eingehen.

Derzeit ist die minimale Lampenlebensdauer L_{min} auf 100 h festgelegt. Diesen Wert erfüllen die heute gebräuchlichen Lampen schon seit Jahren [DIN, 72601], wenn sie bei Prüfspannung betrieben werden. Besonders langlebige Lampen erreichen heute mittlere Lebensdauern größer 500 h [OSR, 2002].

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

5.7.3 Zusammenfassung Lebensdauer

Die im vorhergehenden Kapitel gefundene Bewertungsformel gilt für sämtliche Lampen am Fahrzeug und kann somit auch für jede Lichtfunktion (Scheinwerfer, Bremsleuchte, Blinkleuchte etc.) getrennt erfolgen. Dabei sollen die Armaturenbeleuchtung

und ein eventuell vorhandenes Leselicht sowie die allgemeine Innenraumbelichtung in die Bewertung einbezogen werden, da diese einen wesentlichen Einfluss auf den Komfort des Fahrzeugs besitzen.

Jede Funktion ergibt somit einen eigenen Wertungsfaktor I . Insgesamt lässt sich dann der folgende NCAP-Bewertungsfaktor ermitteln:

Bewertung:

$$I_{L\text{-ges}} = \sum_N I_{L\text{-Einzelfunktion}}^N$$

Mit

$I_{L\text{-ges}}$: NCAP-Bewertungsfaktor Lebensdauer

$I_{L\text{-Einzelfunktion}}$: Bewertungsfaktor einer einzelnen Funktion

N : Anzahl der zu bewertenden Funktionen

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

5.8 Lichtassistenz-Systeme

Wenn der Fahrer sich nicht mehr um das Einschalten des Lichtes kümmern muss, bietet dies nicht nur einen erhöhten Fahrkomfort, sondern erhöht außerdem die Sicherheit.

In Frage kommen:

- automatisches Abblenden/Aufblenden in Abhängigkeit von der Verkehrssituation,
- automatisches Einschalten/Ausschalten bei Dämmerung,
- automatisches Einschalten/Ausschalten bei Tunneldurchfahrten,
- Sensor für verschmutzte Windschutzscheibe,
- Sensor für verschmutzte Scheinwerfer,

Die Anzahl der Punkte sollte dem jeweiligen Stand der Technik angepasst werden.

Derzeitiger Wert von $N = 5$

Bewertung:

$$I = \frac{I_1 + I_2 + \dots + I_n}{N}$$

Mit $I_x = 1$, falls Funktion vorhanden, sonst $I_x = 0$

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

Um die Qualität einer solchen Schaltung zu ermitteln, wären weitere Untersuchungen nötig, die z. B. auch die Handhabung durch den Fahrer berücksichtigen. In der SAE wird derzeit ein älterer Standard neu überarbeitet (J 565 [SAE, 2005]), jedoch ist der überarbeitete Stand abzuwarten, um die Ergebnisse in die Bewertung einfließen zu lassen.

5.9 Scheinwerfer-Reinigungsanlage

Verschmutzte Scheinwerfer mindern die Wirkung des Lichtes erheblich. Eine Scheinwerferreinigungsanlage sollte deshalb generell als positiver Nutzen in die Bewertung eingehen. Es gibt jedoch auch unter den Reinigungsanlagen deutliche Unterschiede. Die gesetzliche Anforderung in ECE-Regelung 45 [ECE, 2003] garantiert nur eine Reinigungswirkung von wenigstens 70 %. Dabei werden die Punkte 50 R oder 50 L (50 L bei linksasymmetrischen Scheinwerfern) beurteilt. Diese Punkte sind für den Bereich bis zu der Hell-Dunkel-Grenze sicherlich ausreichend repräsentativ, darüber hinaus wird aber keine Aussage getroffen. Ein besserer Vergleich der Wirksamkeit wird erreicht, indem man die mittlere Beleuchtungsstärke innerhalb des Nahfeldes bewertet. Da während der Verschmutzung des Scheinwerfers dieser jedoch fortlaufend gemessen werden muss, kann nicht das ganze Nahfeld vermessen werden. Daher wird an einem charakteristischen Punkt auf der Fahrzeugachse in 25 m Entfernung vor dem Fahrzeug bei eingeschaltetem Abblendlicht unterhalb der Hell-Dunkel-Grenze ($x = 25 \text{ m}$, $y = 0 \text{ m}$, $z = 0,3 \text{ m}$) die vertikale Beleuchtungsstärke gemessen.

Bei einer Vorgehensweise für Verschmutzung und Reinigung entsprechend der ECE-Regelung 45 lässt sich dann dieser Wert in die Bewertung einbeziehen.

Bewertung:

$$I = \frac{E}{E_0}$$

Mit: vertikale Beleuchtungsstärke nach Verschmutzung auf 10 % E_0 und Reinigung

E_0 : vertikale Beleuchtungsstärke vor dem Verschmutzen

Die Reinigung muss sich dabei auf 2 Zyklen innerhalb 10 s beschränken.

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

5.10 Ersatzfunktion

Als Ersatzfunktion für einen Scheinwerfer oder eine Leuchte gilt jede Funktion, die bei Ausfall die gleiche oder eine ähnliche Wirkung aufweist (ECE-R 48, 5.23 [ECE, 2002b]). Der Ausfall der Funktion muss dem Fahrer dabei eindeutig und dauerhaft angezeigt werden. Die Ersatzfunktion muss dabei in direkter räumlicher Nähe zur ausgefallenen Funktion sein. Damit ergeben sich 5 räumlich getrennte Orte am Fahrzeug:

- vorne rechts,
- vorne links,
- hinten rechts,
- hinten links,
- hinten Mitte.

Denkbar sind folgende Funktionen, für die ein Ersatz bewertet werden kann:

- Abblendlicht,
- Positionslicht,
- Schlusslicht,
- Bremslicht.

Bewertung:

$$I = \frac{I_1 + I_2 + \dots + I_x + \dots + I_N}{N}$$

Mit $I_x = 1$, falls Funktion vorhanden, sonst $I_x = 0$

Derzeitiger Wert von $N = 4$

Die Anzahl der Funktionen kann dem Stand der Technik angepasst werden.

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

5.11 Kurvenlicht

Die Ausrüstung eines Kraftfahrzeuges mit Kurvenlicht sollte in jedem Fall positiv bewertet werden. Es

sollten jedoch dabei die heute schon üblichen maximalen Lenkwinkel zugrunde gelegt werden. Der übliche Schwenkbereich von 7° nach innen und 15° nach außen sollte nur unwesentlich unterschritten werden [Hof., 2002].

Schwenkbereich nach innen $\leq 5^\circ$: $I_{S,1} = 0,25$,

Schwenkbereich nach außen $\leq 12^\circ$: $I_{S,2} = 0,25$,

Schwenkbereich nach innen $> 5^\circ$: $I_{S,3} = 0,5$,

Schwenkbereich nach außen $> 12^\circ$: $I_{S,4} = 0,5$.

Die Schwenkstrategie spielt ebenfalls eine Rolle. Es hat sich herausgestellt, dass das divergente Schwenken der Scheinwerfer Vorteile bietet. Dabei werden der linke und rechte Scheinwerfer nicht mit dem gleichen Winkel geschwenkt.

Ein zusätzlicher Punkt wird für divergentes Schwenken vergeben:

Scheinwerfer schwenkt divergent: $I_{S,5} = 1$

Ein Fahrzeug ohne Kurvenlicht wird mit $I = 0$ bewertet.

Bewertung:

$$I = \left(\sum I_{s,i} \right) / 2$$

Wertebereich:

$I = 0 \dots 1$

5.12 Anordnung der Signale

Die Qualität der einzelnen Signalleuchten ist nicht ausreichend dafür, dass die Signale gut erkannt werden. Die einzelnen Signalleuchten müssen darüber hinaus gut am Fahrzeug platziert sein. Wenn verschiedene Signale zu gleicher Zeit gegeben werden, dürfen sich die einzelnen Signalleuchten in ihrer Wirkungsweise gegeneinander nicht negativ beeinflussen. Die Sichtbarkeit der einzelnen Signalfunktionen muss auch dann gegeben sein, wenn nicht nur weitere Signalleuchten, sondern auch Scheinwerfer gleichzeitig mit Signalleuchten in Betrieb sind.

Als Oberbegriff für diese Problematiken wird der Begriff „Überlappung“ gewählt. Er umfasst das gleichzeitige Aufleuchten mehrerer Signale an glei-

chen Orten und das „Übersprechen“ von Signalen, die örtlich nahe angeordnet sind. Im Folgenden sind zwei Beispiele angegeben, die überlappende Signale beschreiben:

1. Bei den VW-Phaeton-Fahrzeugen der ersten Modellreihe befindet sich der Fahrtrichtungsanzeiger an derselben Stelle wie ein Segment der Schlussleuchte. Da der Fahrtrichtungsanzeiger eine wesentlich höhere Leuchtdichte besitzt, überstrahlt er die Schlussleuchte. Die Wirkungsweise der Schlussleuchte wird eingeschränkt. Diese Situation stellt jedoch keine Beeinträchtigung der Sicherheit dar, da mit der Schlussleuchte lediglich das Vorhandensein des Fahrzeuges angezeigt wird. Der Fahrtrichtungsanzeiger gibt eine voraussichtliche Zustandsänderung des Fahrzeuges (Richtungsänderung) an, die das Vorhandensein des Fahrzeuges impliziert.
2. Bei den VW-Golf-Fahrzeugen der Modellreihe vier sind in der Standardausführung der Fahrtrichtungsanzeiger und das Abblendlicht sehr nah aneinander gebaut. Für andere Verkehrsteilnehmer gibt das Abblendlicht das Signal „Fahrzeug vorhanden“. Der Fahrtrichtungsanzeiger zeigt eine voraussichtliche Richtungsänderung an. Wenn beide Lichter gleichzeitig eingeschaltet sind, wird aus manchen Beobachterwinkeln der Fahrtrichtungsanzeiger von dem Licht des Abblendscheinwerfers überstrahlt. Der Beobachter kann die Anzeige der Richtungsänderung nicht mehr wahrnehmen.

5.12.1 Vorderes Signalbild

Der Abstand zwischen Abblendlicht und Fahrtrichtungsanzeiger muss groß genug sein, damit das gelbe Signallicht einwandfrei erkannt wird. Hierzu liegen Untersuchungen von ALFERDINCK [Alf., 1996] vor. Er hat bei einer Kombination von HID-Abblendscheinwerfer mit einem Fahrtrichtungsanzeiger erkannt, dass die Erkennbarkeit von diesem abhängig ist von der Größe des Abstandes des Zentrums des HID-Scheinwerfers zu dem Zentrum des Fahrtrichtungsanzeigers. Weiterhin hat die Größe des Scheinwerfers nachweislich Einfluss auf die Erkennbarkeit des Fahrtrichtungsanzeigers. Dieser Einfluss ist jedoch so gering, dass er bei der Bewertung nicht berücksichtigt wird.

Als minimaler Abstand der Zentren des Fahrtrichtungsanzeigers und des Abblendlichtes wird von ALFERDINCK 22 cm angegeben. Dies garantiert eine

Erkennbarkeit des Fahrtrichtungsanzeigers bis zu einem Beobachterwinkel von 25° bei ungünstigen Leuchtdichteverhältnissen, wenn sich die Lichtstärken innerhalb der gesetzlichen Grenzen befinden.

Bewertung:

$I_V = 1$, falls der Abstand der Zentren des Fahrtrichtungsanzeigers und des Abblendlichtes mindestens 22 cm beträgt

$I_V = 0$ sonst

Wertebereich:

$I_V = 0; 1$

5.12.2 Seitliches Signalbild

Bei dem seitlichen Signalbild gibt es keine Anordnung, die ein Übersprechen von Signalen verursachen kann.

Das seitliche Signalbild wird dominiert von den Seitenmarkierungsleuchten. Sie zeigen das Vorhandensein eines Fahrzeuges an. Wenn die Fahrtrichtungsanzeiger eingeschaltet werden, können die Seitenmarkierungsleuchten zusätzlich blinken und somit nicht nur die Anwesenheit des Fahrzeuges, sondern auch einen Zustand, die Richtungsänderung, anzeigen.

Diese Zusatzfunktion der Seitenmarkierungsleuchten verbessert eine Bewertung des Fahrzeuges.

Bewertung:

$I_S = 1$, falls alle Seitenmarkierungsleuchten blinken

$I_S = 0$ sonst

Wertebereich:

$I_S = 0; 1$

5.12.3 Hinteres Signalbild

Die Schlussleuchte zeigt das Vorhandensein eines Fahrzeuges an. Wenn weitere Leuchten eingeschaltet sind und die Schlussleuchten überstrahlen, stellt dies keine Beeinträchtigung des Signalbildes dar, da weiterhin die Anwesenheit des Fahrzeuges angezeigt wird. Die Erkennbarkeit des Fahrtrichtungsanzeigers und der Bremsleuchte darf nicht beeinträchtigt werden, da die jeweilige Funktion nicht von anderen Signalen angezeigt wird. Laut dem Batelle-Bericht [Bol., 1971] ist ein Abstand zwi-

schen Bremsleuchte und Fahrtrichtungsanzeiger von mindestens 15 cm anzustreben. Untersuchungen von KLINGER [Kli., 2004b] haben gezeigt, dass bei gleichen Leuchtdichten von Fahrtrichtungsanzeiger und Bremsleuchte, wenn diese an derselben Stelle platziert sind, die Reaktionszeiten nachfolgender Fahrer um 0,3 Sekunden verlängert werden. Gleiche Leuchtdichte liegt vor, wenn sich die Leuchtdichten der beiden Signalleuchten um nicht mehr als zehn Prozent unterscheiden. Stand der Technik sind derzeit Bremsleuchten, die mit Glühlampen bestückt sind. Die Ansprechzeit dieser Bremsleuchten beträgt 0,2 Sekunden. Die Ansprechzeit des Fahrtrichtungsanzeigers ist von untergeordneter Bedeutung, da der Fahrer des Wagens die Signalfunktion bewusst einschalten muss. Dies kann er zu jedem beliebigen Zeitpunkt.

Der Abstand wird als minimale Strecke zwischen den nächsten Grenzen der beiden Signalleuchten definiert. (Diese Definition unterscheidet sich demnach elementar von der Definition bei dem vorderen Signalbild.)

Bewertung:

$I_H = 1$, falls der Abstand zwischen Fahrtrichtungsanzeiger und Bremsleuchte mindestens 15 cm beträgt.

$I_H = 0,5$, falls der Abstand weniger als 15 cm beträgt und die Ansprechzeit der Bremsleuchte geringer als 0,1 Sekunden ist und die Leuchtdichten von Fahrtrichtungsanzeiger und Bremsleuchte gleich sind

$I_H = 0$ sonst

Wertebereich:

$I_H = 0; 0,5; 1$

5.12.4 Bewertung der Anordnung der Signale

Die Bewertung der Anordnung aller Signale wird vorgenommen, indem die Bewertungen des vorderen, seitlichen und hinteren Signalbildes gleichgewichtet zu einer Bewertung zusammengefasst werden.

Bewertung:

$$I = \frac{I_V + I_S + I_H}{3}$$

Wertebereich:

$I = 0 \dots 1$

6 Komfort

Die Bewertung des Komforts einer Beleuchtungsanlage ist bei vielen Kraftfahrzeugführern unbewusst der Maßstab, nach dem sie eine Anlage qualifizieren. Dabei spielen subjektive Beurteilungskriterien eine Rolle. Es gibt jedoch einige Kriterien, die schon im Vorfeld eindeutig dem Komfort zugeordnet werden können, dessen sich aber die meisten Fahrer gar nicht bewusst sind. Hierzu zählen u. a.

- dynamische Innenraumbelichtung,
- dynamische Instrumentenbeleuchtung,
- Umfeldbeleuchtung,
- Harmonie der Beleuchtung (Erscheinungsbild bei Nacht),
- Gleichmäßigkeit,
- Breite der Lichtverteilung,
- Stabilität des Bordnetzes,
- Lampenlebensdauer,
- Wartbarkeit,
- Lichtassistentzfunktionen,
- Scheinwerferreinigungsanlage,
- Leuchtweitenregulierung,
- Ersatzfunktionen für ausgefallene Leuchtenteile,
- in Zukunft AFS-Funktionen.

Die Liste ist sicherlich noch erweiterbar und somit nicht vollständig.

Ob und wie die einzelnen Teile in die Bewertung der Beleuchtungsanlage eingehen, soll im Folgenden behandelt werden.

6.1 Innenbeleuchtung

An den Innenraum von Fahrzeugen werden verschiedene Anforderungen bezüglich der lichttechnischen Gestaltung gestellt. Dabei beeinflussen verschiedene Einflussfaktoren laut GRIMM [Gri., 2003] das Sicherheitsgefühl des Fahrers. Diese Einflussfaktoren sind bei den leuchtenden Flächen im Fahrzeuginneren die Leuchtdichte, die Größe und Form der leuchtenden Fläche, die Optik, Farbe und Lichtstärkeverteilung der Leuchten, die Textur und die Anordnung, Erkennbarkeit und der Kontrast der Bedienelemente.

Die positiven Eigenschaften guter Fahrzeuginnenbeleuchtungen können kaum gemessen werden. Vielmehr werden schlecht konzipierte Fahrzeuginnenbeleuchtungen von den Fahrern und Mitfahrern als anstrengend oder ermüdend empfunden. In äußerst schlechten Fällen behindern sie sogar die Sicht.

Grundsätzlich kann die Innenraumbelichtung in 4 Bereiche unterteilt werden, die auch zur Bewertung hinsichtlich eines EuroNCAP herangezogen werden sollen:

- zentrale Innenleuchte,
- ambiente Lichtfunktionen, Orientierungsbeleuchtung,
- Leselicht,
- Funktionsbeleuchtung.

Folgende Auszüge aus der Arbeit von KRASS [Kra., 1998] verdeutlichen, warum die angenommenen Werte für sinnvoll gehalten werden:

Dimensionierungsgrundlage für den Entwurf von Fahrzeugcockpits ist, dass kein kritisches Detail kleiner als die Gebrauchssehschärfe von 3 Bogenminuten sein soll.

Freie Blickbewegungen verlaufen sprunghaft (Sakkaden und Fixationen), Folgebewegungen verlaufen kontinuierlich. Die Informationsaufnahme erfolgt im Wesentlichen während der Fixation, nicht während des Sakkadensprungs.

Die Fixationsdauer variiert mit der Sehaufgabe. Ein typischer Wert für die Bildschirmarbeit liegt bei 200 ms. Allerdings liegt hierbei die gesamte Bildschirmfläche im Gesichtsfeld. Für das Ablesen von Anzeigen im Pkw wurden Fixationsdauern von wenigstens 1 s festgestellt.

Die Sehschärfe des Auges hängt von der Leuchtdichte und von dem Kontrast ab. Sie beträgt bei günstigen Bedingungen etwa eine Bogenminute. Die so genannte Gebrauchssehschärfe beträgt 3 Bogenminuten zuzüglich eines Zuschlages für Alter und Fehlsichtigkeit.

Hohe Leuchtdichteunterschiede im Gesichtsfeld führen zu Blendung. Man unterscheidet:

- Adaptationsblendung (zeitliche Leuchtdichteänderung),
- Relativblendung (Kontrastverhältnisse über 100:1),

- Absolutblendung (sehr hohe Leuchtdichtewerte).

Empfohlene Leuchtdichteänderungen im Gesichtsfeld sind:

Infeld : Umfeld : Umgebung

im Verhältnis 10 : 3 : 1

Schnelle Leuchtdichteänderungen (wie zum Beispiel bei der Pulsweitenmodulation (PWM) zur Helligkeitsregelung von LED) werden als Flimmern empfunden, sofern die kritische, zur Bildverschmelzung nötige Frequenz nicht erreicht wird. Die notwendige Flimmerverschmelzungsfrequenz (englisch: Critical Flicker Frequency, CFF) ist stark leuchtdichteabhängig (Bild 6.1). In Flugzeugcockpits wird zum Beispiel eine Bildwiederholfrequenz von 70 Hz verwendet.

Im peripheren Gesichtsfeld liegt die CFF deutlich höher. Des Weiteren macht der Fahrer Kopfbewegungen und Augenbewegungen (Fixation und Sakkaden), die die Lichtquellen auf verschiedene Rezeptoren abbilden. Deshalb sollte die Frequenz, mit

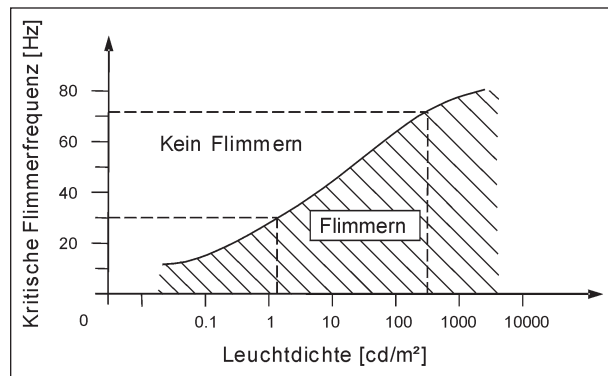


Bild 6.1: Flimmerverschmelzungsfrequenz als Funktion der Leuchtdichte

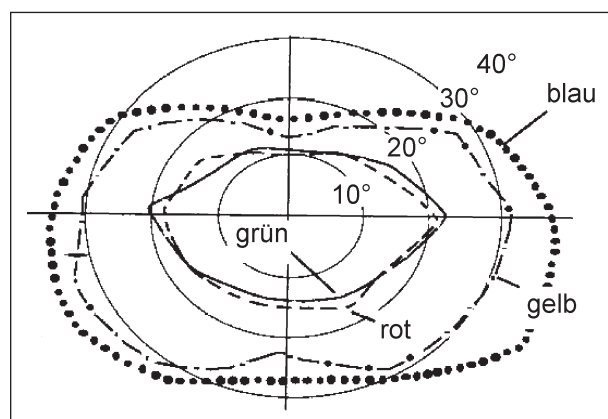


Bild 6.2: Größe des Farbgesichtsfelds für verschiedene Farben [Kra., 1998]

der Leuchten im und am Fahrzeug betrieben werden, mindestens bei 100 Hz liegen.

Die Grenzen des Farbgesichtsfelds sind durch die Verteilung der Zapfen auf der Retina bedingt. Sie sind bei der Anordnung zum Beispiel von Signallampen zu beachten. Rot und Grün sollen nur innerhalb eines Blickwinkels von 20° verwendet werden (Bild 6.2).

6.1.1 Innenraumbeleuchtung

Die Innenleuchten im Fahrzeug, meist als eine zentrale Innenleuchte realisiert, haben die Funktion, das Fahrzeuginnere im Stillstand zu beleuchten. Da diese Leuchten einen relativ hohen Lichtstrom zur Verfügung stellen, ist von der Benutzung während der Fahrt dringend abzuraten, da hier von einer negativen Beeinflussung durch die Blendwirkung zum einen und dem erhöhten Adaptationsgrad des Auges zum anderen auszugehen ist.

Die Innenleuchte sollte im Stand so hell wie möglich sein, um Sehaufgaben möglichst gut zu unterstützen. Eine horizontale Beleuchtungsstärke von 50 lx auf den Sitzflächen hat sich als ausreichend hell, manchmal sogar schon als blendend herausgestellt [Hel., 2005].

Für die Bewertung der Innenleuchten wird die horizontale Beleuchtungsstärke in Sitzflächenmitte gemessen. Diese Messung wird für alle vorhandenen Sitze durchgeführt. Die Bewertungsgröße E_A ist der Mittelwert aller dieser gemessenen Beleuchtungsstärken. Als Maximalwert wird 50 lx gewählt.

Bewertung:

$$I = E_A/50$$

Mit

E_A : mittlere horizontale Beleuchtungsstärke auf Höhe der Sitzflächenoberfläche, Mittelwert aus den Messwerten von allen Sitzflächen

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

6.1.2 Ambiente Lichtfunktionen und Orientierungsbeleuchtung

Diese Lichtfunktionen werden während der Fahrt betrieben und sollten deshalb so beschaffen sein, dass sie den Fahrer nicht negativ beeinflussen. Ihre Aufgabe ist das Schaffen einer angenehmen At-

mosphäre und das Verbessern der Wahrnehmung des Fahrzeuginnenraumes. Durch die angepasste Adaptation des Auges stellt sich ein Reaktionszeitgewinn ein.

Die ambiente Beleuchtung wird heute schon in Oberklassefahrzeugen durch Leuchtdioden (LED) angeboten. Bei der Verwendung von LED ist grundsätzlich zu beachten, dass die Frequenz, mit der die LED betrieben bzw. gedimmt (Puls-Weiten-Modulation (PWM)) werden, ausreichend hoch ist. Gerade im peripheren Blickfeld reagiert das menschliche Auge sehr empfindlich auf flackernde bzw. blinkende Lichtquellen. Da das Auge ständig Mikro-Sakkaden ausführt, stören diese blinkenden Lichtquellen, indem sie in kürzester Zeit verschiedene Rezeptoren im Auge ansprechen.

Die Orientierungsbeleuchtung hilft den Passagieren des Fahrzeugs, sich zurechtzufinden. Dabei dient es der Orientierung, um beispielsweise das Kartenfach, den Schalthebel oder den Handbremshebel zu erkennen. Auch hilft eine ambiente Innenbeleuchtung bei der Schätzung der Abmessungen des Fahrzeugs.

Zur lichttechnischen Optimierung der Orientierungsbeleuchtung findet zurzeit eine Untersuchung an dem lichttechnischen Institut der Universität Karlsruhe statt, da es in der Literatur noch keine gesicherten Erkenntnisse gibt. Erste Gespräche mit der Firma Hella Innenleuchtensysteme [Hel., 2005] haben folgende Werte ergeben:

Auf der Sitzfläche des Fahrersitzes muss an jedem Punkt mindestens eine horizontale Beleuchtungsstärke von 10 lx erreicht werden. Im Fußraum bis zu den Sitzen sind an jedem Punkt mindestens 5 lx zu messen.

Bewertung der Fläche:

$I_A = 1$ Auf dem Fahrersitz werden 10 lx und im Fußraum werden 5 lx erreicht.

$I_A = 0,5$ Auf dem Fahrersitz werden 10 lx oder im Fußraum werden 5 lx erreicht. Der jeweils andere Wert liegt darunter.

$I_A = 0$ Sonst

Wertebereich:

$I_A = 0; 0,5; 1$

Der im Folgenden mit 1 lx vertikaler Beleuchtungsstärke auf normierter Augenhöhe als Obergrenze für die Orientierungsbeleuchtung angegebene Wert

wird in einer laufenden Untersuchung am lichttechnischen Institut der Universität Karlsruhe auf seine Praxisrelevanz überprüft und muss eventuell an neue Erkenntnisse angepasst werden. Diese Obergrenze wird festgelegt, damit das Kontrastsehvermögen des Fahrers nicht durch die ambiente Beleuchtung geschwächt wird.

Bewertung der Beleuchtungsstärke:

$I_E = 1 \text{ lx} - E_A$

Mit

E_A : vertikale Beleuchtungsstärke im normierten Augenpunkt des Fahrer, wenn Zündung und Abblendlicht eingeschaltet sind und die Innenbeleuchtung, bis auf die ambiente Beleuchtung, ausgeschaltet ist. Die Messfläche ist in Fahrtrichtung auszurichten

Wertebereich:

$I_E = 0 \dots 1$

Bezüglich der Auswirkungen von peripherem Flimmern wird für die optimale Ansteuerung von Leuchtmitteln angenommen, dass diese entweder mit Gleichspannung oder mit einer Pulsweitenmodulation (PWM) mit Frequenzen oberhalb 100 Hz zu versorgen sind. Gemessen wird die Frequenz des emittierten Lichtes.

Bewertung der Modulation:

$I_P = f(\text{PWM})/100 \text{ Hz}$

$I_P = 1$ für DC (Gleichspannung)

Wertebereich:

$I_P = 0 \dots 1$

Bewertung der Materialien:

$I_M = 1$, falls ausschließlich matte Materialien im Sichtbereich des Fahrers verwendet werden

$I_M = 0$, falls glänzende Materialien im Sichtbereich des Fahrers verwendet werden (glänzende Stellen im Messprotokoll benennen)

Wertebereich:

$I_M = 0; 1$

Gesamtbewertung der ambienten Beleuchtung:

$I = (I_A + I_E + I_P + I_M)/4$

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

6.1.3 Leselicht

Das Leselicht ermöglicht dem Beifahrer bzw. den Mitfahrern im Fond das Lesen bzw. Arbeiten im Fahrzeug. Es sollte so ausgelegt sein, dass der Fahrer nicht negativ beeinflusst wird.

Bewertung der Anzahl:

$$I_A = \text{Anzahl der Leselichter} / \text{Anzahl der Sitzplätze}$$

Wertebereich:

$$I_A = 0 \dots 1$$

Bewertung der Beleuchtungsstärke:

$$I_E = 1 \text{ lx} - E_A$$

Mit

E_A : vertikale Beleuchtungsstärke im normierten Augenpunkt des Fahrer, wenn alle Leselichter, bis auf das Leselicht für den Fahrer, angeschaltet sind. Die Messfläche ist in Fahrtrichtung auszurichten

Wertebereich:

$$I_E = 0 \dots 1$$

Bewertung der Modulation:

$$I_P = f(\text{PWM}) / 100 \text{ Hz}$$

$$I_P = 1 \text{ für DC (Gleichspannung)}$$

Wertebereich:

$$I_P = 0 \dots 1$$

Gesamtbewertung Leselicht:

$$I = (I_A + I_E + I_P) / 3$$

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

6.2 Funktionsbeleuchtung und Instrumentenbeleuchtung

Um Schalter und Taster im Fahrzeug sichtbar zu machen, existiert die Funktionsbeleuchtung. Sie hinterleuchtet Taster, Schalter und Armaturen, wie

z. B. den Tachometer. Diese Beleuchtung sollte so eingesetzt werden, dass Bedienelemente gut zu erkennen und ihre Funktion und Anwendung schnell zu realisieren sind. Bei reinen Ablesinstrumenten geht der Trend dahin, mechanische Anzeigen durch Displays (z. B. TFT) zu ersetzen. Auch Bedienelemente werden heute schon aufgeteilt in einen Informationsträger (z. B. ein zentrales Display) und das eigentliche Bedienelement. Dies ist entweder als eigenständiger Schalter bzw. Taster oder als Multifunktionsbedienelement ausgeführt, mit dem viele Einstellungen über ein Menü vorgenommen werden können.

Die Instrumentenbeleuchtung sollte in ihrer Helligkeit regulierbar sein, damit der Fahrer diese im Fall der Blendung dimmen bzw. bei schlechter Ablesbarkeit aufgrund mangelnder Helligkeit erhöhen kann. Geschieht dies automatisch und dynamisch in Abhängigkeit von der Umgebungshelligkeit, ist der Fahrer von dieser Aufgabe befreit und kann sich besser auf seine Fahraufgabe konzentrieren. Diese Adaption der Instrumentenbeleuchtung wird im Folgenden bewertet.

Bewertung Adaption:

$I_A = 1$ falls Instrumentenbeleuchtung dynamisch an Helligkeit angepasst wird

$I_A = 0,5$ falls Instrumentenbeleuchtung manuell geregelt werden kann. Regler in Stellung Minimum: $0 \text{ lx} < E_{\text{ver}} < 1 \text{ lx}$ am Auge des Fahrers

$I_A = 0$ sonst

Wertebereich:

$$I_A = 0; 0,5; 1$$

Instrumentenbeleuchtungen sollten eine Mindestleuchtdichte in Abhängigkeit von der Umfeldleuchtdichte besitzen, um die Ablesbarkeit der dargestellten Informationen zu gewährleisten. Wird ein Display verwendet (z. B. LCD), sollten auch hier die unten geforderten Leuchtdichten eingehalten werden. Die Leuchtdichte ist, zumindest für den Nachtbetrieb, nach oben zu begrenzen, damit der Fahrer nicht zu hell adaptiert und dadurch Hindernisse auf der Fahrbahn zu spät erkennt oder übersieht.

Im Tagbetrieb, bei heller Umgebung, sollte das Display, wie in der Bildschirmarbeitsverordnung vorgegeben [Win., 2001], [BSA, 2003], eine mittlere Leuchtdichte von mindestens 100 cd/m^2 und maximal 1.000 cd/m^2 aufweisen.

Im Nachtbetrieb, während des mesopischen Sehens (3 cd/m^2 bis $0,01 \text{ cd/m}^2$), sollte die Bedingung erfüllt sein, dass sich die Leuchtdichte des Innenfeldes (Display) zur Leuchtdichte des Umfeldes nach [Kra., 1998] wie 10:1 verhält. Daraus ergibt sich die mittlere Leuchtdichte für das Display im Nachtbetrieb von $0,1 \text{ cd/m}^2$ bis 30 cd/m^2 .

Bewertung der Leuchtdichte:

$I_L = 1$, falls die mittlere Leuchtdichte im Tagbetrieb zwischen 100 cd/m^2 und 1.000 cd/m^2 und im Nachtbetrieb zwischen $0,1 \text{ cd/m}^2$ und 30 cd/m^2 liegt

$I_L = 0,5$, falls die mittlere Leuchtdichte im Tagbetrieb zwischen 100 cd/m^2 und 1.000 cd/m^2 oder im Nachtbetrieb zwischen $0,1 \text{ cd/m}^2$ und 30 cd/m^2 liegt

$I_L = 0$ sonst

Wertebereich:

$I_L = 0; 0,5; 1$

Bewertung der Modulation:

$I_P = f(\text{PWM})/100 \text{ Hz}$

$I_P = 1$ für DC (Gleichspannung)

Wertebereich:

$I_P = 0 \dots 1$

Natürlich sollte eine Bewertung der Ergonomie aller Displays und der Fahrzeugbedienung vorgenommen werden. Hierbei sind die Zeichengröße, die intuitive Zuordnung von Symbolen, der Kontrast zwischen Anzeigehintergrund und Zeichenfarbe und die Komplexität von eventuell vorhandenen Menüs zu untersuchen. Dies wird jedoch bei einer möglichen Bewertung der Ergonomie und nicht hier bei der Bewertung der Fahrzeugbeleuchtung behandelt.

Gesamtbewertung der Funktionsbeleuchtung:

$I = (I_A + I_L + I_P)/3$

Wertebereich:

$I = 0 \dots 1$

6.3 Komfortaußenbeleuchtung

6.3.1 Umfeldbeleuchtung

Die Umfeldbeleuchtung sorgt für eine helle Fahrzeugumgebung rund um das gesamte Fahrzeug. Sie beleuchtet eventuell vorhandene Pfützen, Hindernisse, den aktuellen Straßenzustand (Nässe, Eisglätte, Schnee, ...) und vermittelt ein Gefühl der Sicherheit.

Die Umfeldbeleuchtung ist nicht als Funktion in den ECE-Regelungen aufgeführt. Manche Leuchten, die für diese Funktion benutzt werden, sind durch Regelungen spezifiziert, manche Leuchten aber auch nicht. Als lichttechnische Eigenschaft der Umfeldbeleuchtung kann die durch alle beteiligten Leuchten und Scheinwerfer hervorgerufene horizontale Beleuchtungsstärke auf der Straßenoberfläche bis mindestens im Umkreis von 1 m um das gesamte Fahrzeug gewählt werden. In dieser Bewertung werden keine lichttechnischen Anforderungen an diese Leuchten gestellt, sondern nur die Bereitstellung der Funktion „Umfeldbeleuchtung“ bewertet, wenn sie mindestens bei Dunkelheit eingeschaltet werden kann.

Bewertung:

$I_U = 1$, falls vorhanden

$I_U = 0$ sonst

Wertebereich:

$I_U = 0; 1$

6.3.2 Türen-Markierungsleuchten

Bei Dunkelheit geöffnete Fahrzeugtüren, die seitlich aus dem Fahrzeug ausschwenken, sind für andere Verkehrsteilnehmer potenzielle Gefahrenquellen. Es ist hilfreich, wenn in den Türen Markierungsleuchten angebracht sind. Sie weisen auf die Gefahrenquelle der offenen Türe hin. Diese Leuchten sind keine außen am Fahrzeug angebrachten Leuchten, da sie sich während des Normalzustandes des Fahrzeuges innerhalb dessen befinden. Sie sind nicht in den ECE-Regelungen aufgeführt.

Als lichttechnische Eigenschaften können die gleichen Werte wie für Begrenzungs- bzw. Schlussleuchten gewählt werden. In dieser Bewertung werden keine lichttechnischen Anforderungen an diese Leuchten gestellt, sondern nur das Vorhandensein

der Leuchten bewertet, wenn sie mindestens bei Dunkelheit und geöffneter Türe leuchten.

Bewertung:

$I_R = 1$, falls in allen seitlich zu öffnenden Türen Markierungsleuchten vorhanden sind

$I_R = 0,5$, falls in der Fahrer- und Beifahrertüre Markierungsleuchten vorhanden sind

$I_R = 0$ sonst

Wertebereich:

$I_R = 0; 0,5; 1$

6.3.3 Bewertung der Komfortaußenbeleuchtung

Die Umfeldbeleuchtung und die Türen-Markierungsleuchten werden in dieser Bewertung als Komfortbeleuchtung zusammengefasst.

Bewertung:

$I = (I_U + I_R)/2$

Wertebereich:

$I = 0...1$

6.4 Harmonie der Beleuchtung

6.4.1 Lichtfarbe

Scheinwerfer mit Gasentladungslampe besitzen eine andere Lichtfarbe als Scheinwerfer mit Halogenglühlampe. Die Lichtfarbe zukünftiger LED-Scheinwerfer lässt sich bisher nur vermuten, da zugelassene Scheinwerfer bisher nicht existieren.

Das Erscheinungsbild eines Kraftfahrzeuges bei Nacht hängt in erheblichem Maße von der Lichtfarbe der gleichzeitig eingeschalteten Funktionen ab. Unterschiedliche Lichtfarben von Gasentladungslampen und Halogenlampen werden dann oft durch Austausch der Halogenglühlampe durch eine bläulich eingefärbte Variante kaschiert. Diese Lampen haben aber häufig eine geringere Lebensdauer und/oder einen geringeren Lichtstrom, der an der unteren Grenze des zulässigen Bereiches liegt. Ist der Farbabstand klein genug, besteht kein Bedarf, die Lampe auszutauschen.

Nach MacADAMS [Kok., 1997b] können Farbabstände nicht mehr unterschieden werden, wenn der Farbabstand kleiner als 2 MA (Mac-Adams-Schwell-

lenwerte) ist. Diese Abstände lassen sich nach der Messung des Spektrums oder des Farbortes des Scheinwerfers berechnen.

Mit den Farbkoordinaten x_1, y_1 und x_2, y_2 zweier Lichtquellen errechnet sich die Differenz der Farborte zu $\Delta x = |x_1 - x_2|$, $\Delta y = |y_1 - y_2|$. Mit dieser Differenz der Farborte kann der Farbabstand MA in Mac-Adams-Einheiten nach [Wys., 1982] berechnet werden.

$$MA = \sqrt{g_{11} \cdot \Delta x^2 + 2 \cdot g_{12} \cdot \Delta x \cdot \Delta y + g_{22} \cdot \Delta y^2}$$

Die Koeffizienten g_{11}, g_{12}, g_{22} können unter anderem in den Tafeln von [Mac., 1981] nachgeschlagen werden.

Für die Bewertung der Farbe des Abblendlichtscheinwerfers vergleicht man seine Farbe mit der Farbe jeder nach ECE weißen Leuchte des vorderen Signalbildes an dem jeweiligen Fahrzeug. Damit werden zu große Farbunterschiede der weißen Leuchten (Begrenzungsleuchte, Nebelscheinwerfer, Kurvenscheinwerfer usw.) am Fahrzeugvorderteil schlechter bewertet. Die Farbe des Tagfahrlichtes wird nicht bewertet, da es nie gleichzeitig mit den anderen vorderen weißen Leuchten oder dem Abblendlicht eingeschaltet ist.

Bewertung der Farbunterschiede:

$I_F = 1$, falls Farbabstand aller vorderen weißen Leuchten $< 2 MA$

$I_F = 0$, falls Farbabstand aller vorderen weißen Leuchten $> 2 MA$

Wertebereich:

$I_F = 0; 1$

6.4.2 Farbwiedergabe

Für die korrekte Erkennbarkeit von Verkehrszeichen ist neben der Form auch die Farbe von Bedeutung. Nach Untersuchungen von MANZ [Man., 1999], [Man., 2003] lässt sich die Farbwiedergabe, wie sie in der CIE-Publikation Nr. 13, 3 [CIE, 1995] angegeben wird, aber nicht ohne weiteres auf die Anforderungen für den Straßenverkehr übertragen. Vielmehr erscheint es sinnvoll, bestimmte Bewertungsfunktionen einzuführen, um den entsprechenden spektralen Anteil im Verhältnis zum Gesamtlichtstrom zu klassifizieren.

Ein solches Messverfahren existiert bereits in der ECE-Regelung 37 (Glühlampen, [ECE, 2005b] für den UV-Anteil und der ECE-Regelung 99 (Gasentladungslampen, [ECE, 2005f] für den UV-Anteil und den Rotanteil der Strahlung.

$$K_{\text{color}} = \frac{\int_{\lambda=a}^b E_e(\lambda)V(\lambda)d\lambda}{\int_{\lambda=380\text{nm}} E_e(\lambda)V(\lambda)d\lambda} > X_{\text{color}}$$

Formel 6.1: Digitale Filter-Funktion

In Formel 6.1 ist E_e die spektrale Ausstrahlung des Abblendlichtscheinwerfers, gemessen in HV oder mit Hilfe einer U-Kugel. $V(\lambda)$ gibt die spektrale Empfindlichkeit des Auges an.

Mit diesem Verfahren könnte eine Farbbewertung am Abblendlichtscheinwerfer unabhängig von der verwendeten Lichtquelle erfolgen.

Die Integrationsintervalle lassen sich je nach Farbe spezifizieren (s. Tabelle 6.1).

Aus der Arbeit von MANZ können weiterhin Grenzwerte für den Wert X_{color} aus Formel 6.1 abgeleitet werden, wenn man als Basis die Lichtart A wählt und fordert, dass der Wert X_{color} nur unwesentlich von diesem verschieden sein darf. Als Vergleichsmaß ist jedoch eine Farbtemperatur von ca. 3.000 K – 3.100 K vorzuziehen, da diese auf heutige Halogenlampen bezogen ist.

Integrationsgrenzen	Integrationsintervall in nm im Farbbereich			
	Blau	Gelb	Orange	Rot
a	380	505	560	610
b	505	780	655	780

Tab. 6.1: Integrationsgrenzen verschiedener Farbbereiche für Formel 6.1

Lichtquelle	Farben			
	Blau	Gelb	Orange	Rot
D2	0,053	0,967	0,636	0,088
A	0,049	0,962	0,613	0,198
X_{color}	0,050	0,950	0,600	0,150

Tab. 6.2: Ergebnisse der Formel 6.1 für verschiedene Lichtquellen (D2, A) und festgelegte Grenzwerte (X_{color})

Bewertung der Farbwiedergabe:

$$I_{\text{blau}} = 0,25, \quad \text{falls } K_{\text{blau}}/X_{\text{blau}} > 1$$

$$I_{\text{gelb}} = 0,25, \quad \text{falls } K_{\text{gelb}}/X_{\text{gelb}} > 1$$

$$I_{\text{orange}} = 0,25, \quad \text{falls } K_{\text{orange}}/X_{\text{orange}} > 1$$

$$I_{\text{rot}} = 0,25, \quad \text{falls } K_{\text{rot}}/X_{\text{rot}} > 1$$

Gesamtbewertung der Harmonie

$$I_{\text{Harmonie}} = (I_{\text{blau}} + I_{\text{gelb}} + I_{\text{orange}} + I_{\text{rot}} + I_F)/2$$

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

6.5 Gleichmäßigkeit

Untersuchungen zeigen, dass die Gleichmäßigkeit der Straßenausleuchtung durch die Scheinwerfer, oft als Homogenität bezeichnet, bei der Beurteilung der Kraftfahrzeugscheinwerfer eine Rolle spielt. Nach HUHN [Huh., 1996] führen Inhomogenitäten im Vorfeld zu häufigen, unnötigen Blickwendungen, was zu einer schnellen Ermüdung des Kraftfahrers führt. HAMM et al. [Ham., 2001] entwickelte ein Softwaremodell, welches die Leuchtdichte auf der Straße und daraus Werte für Kontraste und Gradienten der Lichtverteilung ermittelt. Diese werden in Beziehung zu visuellen Eindrücken gesetzt. Einen ähnlichen Weg gingen KLEINKES et al. [Kle., 2002], indem sie Bereiche der Straße einer Gradientenanalyse unterzogen und die erhaltenen Daten mit dem Urteil von Versuchspersonen verglichen. Es zeigte sich dabei, dass eine Korrelation mit dem subjektiven Urteil „akzeptabel“ oder „nicht akzeptabel“ zwar nicht in Fahrtrichtung, aber quer zur Fahrtrichtung existiert.

Ausgehend von diesen Untersuchungen kann die Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung vor dem Kraftfahrzeug folgendermaßen erfolgen.

Der Bereich vor dem Fahrzeug wird in 3 x 3 Zonen unterteilt (Bild 6.3). Die Breite jeder Zone entspricht

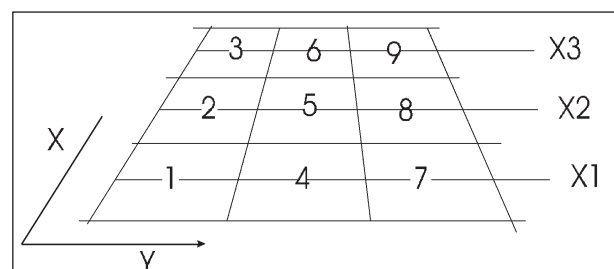


Bild 6.3: Bewertungsfelder

mit 3,5 m einer durchschnittlichen Fahrbahnbreite. In der Fahrtrichtung reicht die Zone von dem Fahrzeug bis zu der Linie, an der die Hell-Dunkel-Grenze auf den Boden trifft. Diese wird durch die Anbauhöhe der Scheinwerfer und deren Neigung bestimmt.

Das Fahrzeug befindet sich vor dem Feld 4.

Breite des Bewertungsfeldes: 3 x 3,5 m

Abstände x_i : $x_i = s/3(i - 1/2)$ mit $s =$ Abstand zur Hell-Dunkel-Grenze

Das Fahrzeug wird vor dem ersten mittleren Feld (Feld Nr. 4) positioniert. In der Mitte jedes Feldes wird nun der Gradient der horizontalen Beleuchtungsstärke entlang einer Linie senkrecht zur Fahrtrichtung bestimmt.

$$G_i = \left| \frac{E_k - E_{k-1}}{y_k - y_{k-1}} \right|$$

Ist G_i^{\max} der größte Gradient im Feld i . Dann erhält man ein Maß für die Gleichmäßigkeit mit

$$G = \sum_{j=1}^9 a_j G_j^{\max}$$

Mit a_j : Gewichtungsfaktor

Mit dem Gewichtungsfaktor a_j lässt sich dabei die Bedeutung der einzelnen Felder für die subjektive Beurteilung der Gleichmäßigkeit festlegen. Ein großer Wert resultiert dabei aus einem großen Gradienten und bedeutet somit eine geringe Gleichmäßigkeit.

Zur Klärung des Wertebereiches wurden 12 Scheinwerfer in einem Winkelbereich von horizontal -45 bis 45 Grad und vertikal -10 bis +5 Grad gemessen und daraus die Gradienten in den oben aufgeführten 9 Zonen berechnet. Es ergaben sich Werte für den maximalen Gradienten zwischen 0,3 und 13,1. In Bild 6.4 sind diese Werte für jede Zone getrennt dargestellt, wobei der dargestellte Bereich auf 10 begrenzt wurde.

Man erkennt, dass vor allem im mittleren und obersten Streifen die Gradienten geringer sind als auf der linken oder rechten Seite. Der mittlere Teil besteht im Wesentlichen aus der eigenen Fahrspur und wird somit am häufigsten beobachtet. Der rechte Teil ist für die Orientierung wichtig, wobei der Gradient hier nur wichtig wird, wenn rechts neben der eigenen Fahrbahn eine weitere Fahrbahn vorhanden ist. In allen anderen Fällen sind die Leuchtdichteunterschiede im Wesentlichen durch den Auf-

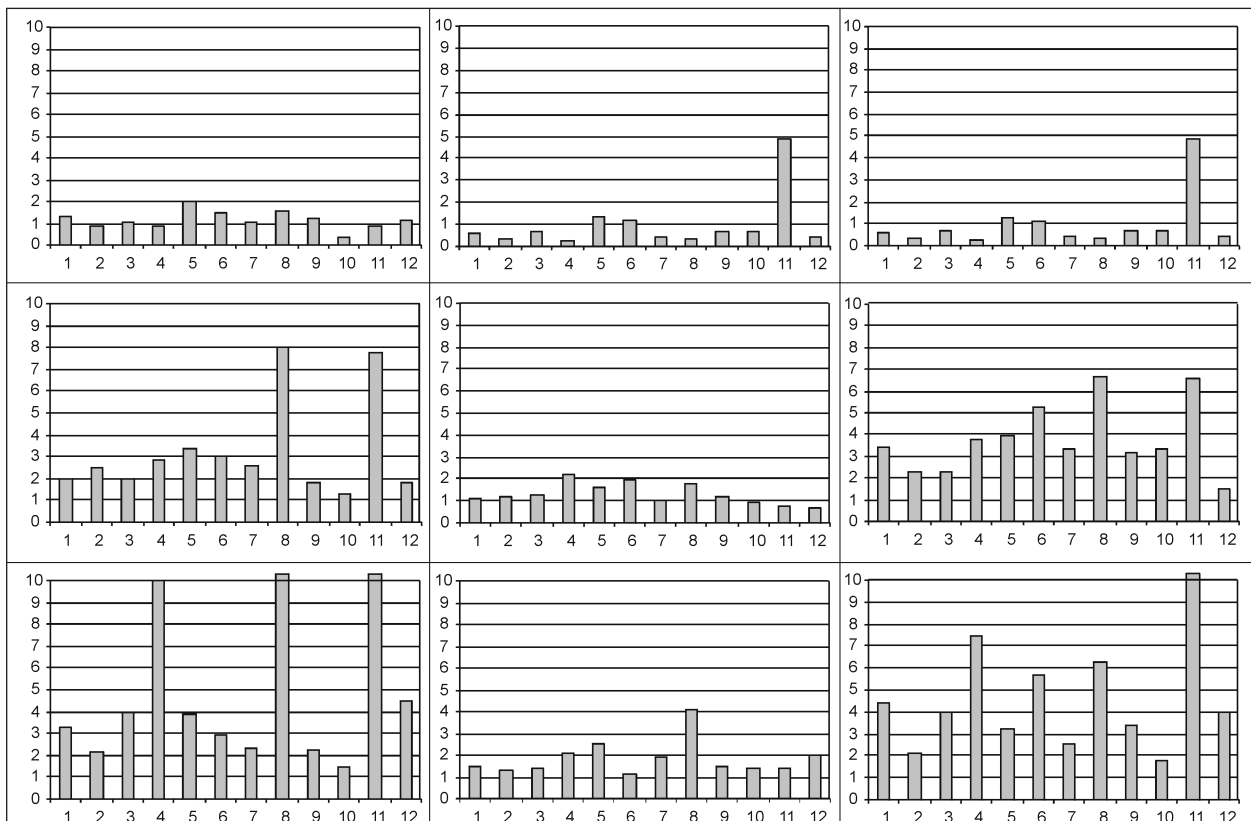


Bild 6.4: Verteilung der maximalen Gradienten auf die 9 Zonen

3	3	3
2	3	2
1	2	1

Tab. 6.3: Gewichtungsfaktoren a_j für die neun Felder

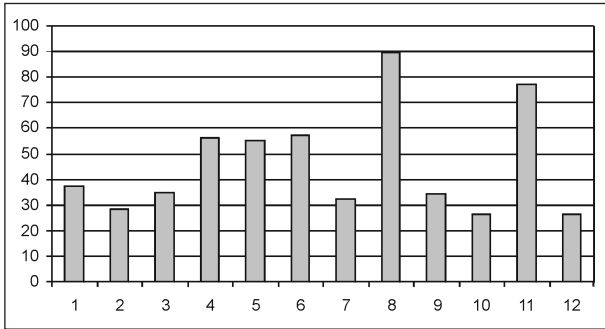


Bild 6.5: Gleichmäßigkeit von 12 Scheinwerfern

bau des Seitenstreifens bestimmt. Der linke Teil ist wiederum bis auf dreispurige Straßen die Gegenfahrbahn.

Direkt unter der Hell-Dunkel-Grenze ist eine gleichmäßige Beleuchtung ebenfalls notwendig, um Hindernisse sicher zu erkennen.

Durch diese Überlegungen lässt sich ein T-förmiger Bereich erkennen, in dem eine gleichmäßige Beleuchtung besonders wichtig erscheint. Es wird deshalb der Ansatz (wie in Tabelle 6.3 dargestellt) für die Gewichtungsfaktoren a_j gewählt.

Dabei wurde ebenfalls angenommen dass näher am Fahrzeug liegende Bereiche nicht so wichtig sind wie Bereiche direkt unterhalb der Hell-Dunkel-Grenze.

Mit dieser Annahme ergeben sich für die 12 untersuchten Scheinwerfer Werte zwischen 26 und 90 (Bild 6.5) für die Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung.

Bewertung:

$$I = \frac{\frac{100}{G} - 1}{3}$$

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

6.6 Wartbarkeit

Das Auswechseln der Lichtquelle ist in manchen Fahrzeugen nur mit erheblichem Aufwand oder sogar nur in der Werkstatt zu vollziehen. Zu einer

guten Beleuchtung gehört eine gute Zugänglichkeit der Verschleißteile.

6.6.1 Auswechselbarkeit

Alle Lampen, deren Lebensdauer kleiner als die Fahrzeuglebensdauer ist, müssen auswechselbar sein. Werden Lampen verwendet, die nicht in der ECE-Regelung erfasst sind, so müssen sie fest mit dem Reflektor verbunden sein. Bei einem Ausfall ist also die gesamte Einheit, bestehend aus Reflektor, Lampe und Gehäuse, auszutauschen.

Bewertung:

$I_L = 1$, falls alle Lampen austauschbar sind (ausgenommen solche mit einer Lebensdauer größer der Fahrzeuglebensdauer)

$I_L = 0$, falls nicht alle Lampen austauschbar sind, deren Lebensdauer kürzer als die Fahrzeuglebensdauer ist

Eine Sonderstellung nehmen dabei Light-Source-Module ein, die zu den austauschbaren Lampen gezählt werden dürfen. Bei ihnen wird nur ein Teil der Leuchte oder des Scheinwerfers ersetzt. Dies ist notwendig, da die Leuchten und Scheinwerferhersteller damit Lampen verwenden können, die zwar Vorteile bieten, aber noch nicht in die ECE-Regelung 37 [ECE, 2005b] aufgenommen wurden. Um den technischen Fortschritt nicht zu behindern, dürfen diese nicht negativ bewertet werden.

6.6.2 Handhabung der Auswechselbarkeit, Zugänglichkeit

Obwohl das leichte Einsetzen der Glühlampen in den entsprechenden ECE-Regelungen zwar ausdrücklich verlangt wird (siehe z. B. ECE-Regelung 112, Nr. 5.4. [ECE, 2002]), herrschen hierüber noch große Meinungsunterschiede, wie dies zu interpretieren ist. Eine genaue Vorschrift hierüber existiert nicht, erscheint jedoch dringend notwendig. Je leichter ein Auswechseln von Glühlampen erfolgen kann, desto eher wird dies auch bei einem kurzen Stopp an der Tankstelle oder auf einem Parkplatz erfolgen.

Zum Test über leichte Auswechselbarkeit wird ein flexibler Schlauch mit einem Durchmesser von 100 mm und einer Länge von 2 m benutzt (Bild 6.6). Der Schlauch ist an einem starren, senkrechten Arm in 1 m Höhe befestigt. Die leichte Zugänglichkeit gilt als erfüllt, wenn man mit diesem Schlauch bis auf



Bild 6.6: Schema der Vorrichtung zur Überprüfung der Zugänglichkeit

100 mm an die Lampenhalterung auf Seiten der Wartungsöffnung herankommt. Teile, die ohne Werkzeug hierzu entfernt werden können, dürfen hierzu abgenommen werden.

Bewertung:

$I_a = 1$, falls erfüllt

$I_a = 0$, falls nicht erfüllt

6.6.3 Einstellbarkeit der Scheinwerfer, Touristenlösung

Scheinwerfer müssen leicht einstellbar sein. Hierzu gehört auch, dass der Kraftfahrzeugführer in der Lage ist, den Scheinwerfer selbst einzustellen. Dafür müssen folgende Anforderungen erfüllt sein:

- gute Erreichbarkeit der Einstellvorrichtungen,
- Erklärung im Benutzerhandbuch.

Die obige Feststellung trifft insbesondere auf die so genannte Touristenlösung zu.

Hier muss im Handbuch eine genaue Anweisung stehen, wie die Scheinwerfer zu behandeln sind, wenn in ein Land eingefahren wird, in dem sich der Verkehr auf der anderen Straßenseite befindet als in dem Land, für das das Fahrzeug konstruiert worden ist.

Bewertung:

$I_w = 1$, falls erfüllt

$I_w = 0$, falls nicht erfüllt

Für die Wartbarkeit ergeben sich somit 3 Unterpunkte, die zu berücksichtigen sind:

$$I = \frac{I_L \cdot I_a + I_w}{2}$$

Wertebereich:

$I = 0; 0,5; 1$

6.7 Ablblendende Spiegel

Die Blendung des Fahrers während der Nachtfahrt über die Spiegel durch andere Verkehrsteilnehmer beeinträchtigt seine Sehleistung erheblich. Deshalb bietet der Innenspiegel in allen Fahrzeugen die Möglichkeit, ihn mechanisch so zu verkippen, so dass das Licht nicht direkt über die Spiegelschicht, sondern zusätzlich durch eine Tönungsschicht ins Auge des Fahrers gelangt. Eine andere Möglichkeit, die Blendung des Fahrers zu minimieren, ist die des automatisch abblendenden Spiegels. Basis für die automatische Abblendfunktion ist ein transparentes leitfähiges Material, das beim Anlegen einer elektrischen Spannung seine Lichtdurchlässigkeit verliert. Eine Steuerelektronik passt den Grad des Abblendens sehr schnell und stufenlos an die aktuellen Lichtverhältnisse an.

Muss sich der Fahrer selbst um die mechanische Verkippung bzw. Ablblendung des Spiegels kümmern, verringert das seine Aufmerksamkeit für seine eigentliche Aufgabe, das sichere Führen des Fahrzeugs. Deshalb sollten automatisch abblendende Spiegel, sowohl innen als auch außen, positiv bewertet werden.

Bewertung Innenspiegel:

$I_I = 0$, falls Spiegel manuell abblendbar ist

$I_I = 1$, falls Spiegel automatisch abblendet

Bewertung Außenspiegel:

$I_A = 0$, falls der Spiegel nicht abblendbar ist

$I_A = 1$, falls der Spiegel automatisch abblendet

Gesamtbewertung der Spiegel

$$I = (I_I + I_A)/2$$

Wertebereich:

$I = 0; 0,5; 1$

6.8 Windschutzscheibe

Im Unterbereich der aktiven Sicherheit, der Fahrzeugbeleuchtung spielt der Transmissionsgrad der Windschutzscheibe eine ausschlaggebende Rolle.

Tagsüber darf der Transmissionsgrad der Windschutzscheibe nach DIN 5036 [DIN 5036] auch bei maximaler Sonneneinstrahlung im sichtbaren Bereich (380 nm bis 780 nm) nicht unter 75 % liegen. Selbsttönende Scheiben unterliegen der Gefahr, die Transmission zu weit zu verringern. Dies kann aber nicht im Rahmen der Beleuchtung bewertet werden, sondern bedarf der Bewertung in einem anderen Unterbereich der aktiven Sicherheit, möglicherweise in dem Bereich Sicht. Hier kann nur die Windschutzscheibe mit einem hohen Transmissionsgrad belohnt werden.

Ein Faktor, der in den Bereich der Beleuchtung fällt, ist das Einfahren in einen Tunnel am Tage. Hier wird dem Fahrer die Sicht genommen, da die selbsttönende Windschutzscheibe die Verdunkelung nicht schnell genug zurücknimmt. Es sollte eine Bewertung stattfinden, die diejenige Windschutzscheibe besser bewertet, die beim Einschalten des Lichtes den maximalen Transmissionsgrad zur Verfügung stellt.

In der Nacht oder bei Dunkelheit liefern alle Windschutzscheiben ihren maximalen Transmissionsgrad. Um dies sicherzustellen bzw. einen guten Nachttransmissionsgrad zu fördern, sollte eben dieser gemessen und bewertet werden.

Bewertung des Transmissionsfaktors T bei Beleuchtung (bei selbsttönender Windschutzscheibe zu messen, wenn sich die minimale Transmission eingestellt hat):

$$I_T = T - 0,75$$

Wertebereich:

$$I_T = 0 \dots 0,25$$

Bewertung der Abschaltung der Selbsttönung:

$I_A = 1$, falls mit dem Einschalten des Lichtes, die Tönung der Windschutzscheibe beseitigt wird

$I_A = 1$, falls Windschutzscheibe nicht selbsttönend ist

$I_A = 0$ sonst

Bei dieser Bewertung wird festgestellt, ob eine Abschaltung der Selbsttönung möglich ist.

Wertebereich:

$$I_A = 0; 1$$

Bewertung des Transmissionsfaktors T bei Dunkelheit:

$$I_N = T - 0,75$$

Bei selbsttönender Windschutzscheibe ist maximale Transmission gegeben.

Wertebereich:

$$I_N = 0 \dots 0,25$$

Für eine Gleichbewertung der einzelnen Unterpunkte werden die Bewertungsindizes I_T und I_N mit vier multipliziert.

Gesamtbewertung der Tönung der Windschutzscheibe:

$$I = (4 * I_T + I_A + 4 * I_N)/3$$

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

7 Verträglichkeit

7.1 Leuchtweitenregelung

Scheinwerfer mit Gasentladungslampe benötigen schon heute eine Leuchtweitenregelung. Zweifellos ist eine dynamische Leuchtweitenregelung von Vorteil. Akzeptabel ist auch eine automatische Leuchtweitenregelung (Niveauregulierung). Im einfachsten Fall besteht nur eine manuelle Leuchtweitenregelung. Neufahrzeuge müssen aber zumindest mit einer manuellen Leuchtweitenregelung ausgerüstet sein.

Prüfung der Funktionsfähigkeit durch Beladen des Kofferraumes mit einem Gewicht von 100 kg:

- dynamische Leuchtweitenregelung Prüfung, bei laufendem Motor und gegebenenfalls einer Geschwindigkeit von 100 km/h (Rollenprüfstand),
- automatische Leuchtweitenregelung, Prüfung vor dem Start, anschließend den Motor starten,
- manuelle Leuchtweitenregelung Prüfung, im Stand und manueller Nachführung der Hell-Dunkelgrenze.

Die Lage der Hell-Dunkel-Grenze darf sich dabei um nicht mehr als ± 2 cm auf einer 10 m entfernten Wand verstellen. Diese Verstellung entspricht der Ablesegenauigkeit eines Scheinwerfereinstellgerätes (siehe auch StVZO, § 50, 6).

Bewertung:

$I = 1$, falls Funktion dynamisch realisiert

$I = 0,5$, falls Funktion automatisch realisiert

$I = 0$, falls Funktion manuell realisiert

$I = 0$ sonst

Wertebereich:

$I = 0; 0,5; 1$

Eine Leuchtweitenregelung ist vorgeschrieben, wobei die manuelle Funktion das unterste Niveau darstellt und nicht selten zu Missbrauch führt oder aus Unwissenheit nicht verwendet wird. Zudem wird der Wert 0 benötigt, wenn laut Hersteller eine entsprechende Funktion zwar vorhanden ist, der obige Test aber nicht bestanden wird.

7.2 Blendung

Blendung beschreibt die Minderung der Wahrnehmung von Objekten (Signale, Hindernisse, Personen etc.) in Abhängigkeit vom jeweiligen Adaptionszustand, d. h. in Abhängigkeit von der Umgebungshelligkeit bzw. der Leuchtdichte des Umfeldes.

Die physiologische Blendung ist eine Form von Blendung, welche die Wahrnehmung von visueller Information objektiv messbar reduziert. Sie wird durch Streulicht innerhalb des Auges verursacht, welches die wahrnehmbaren Kontraste durch seine Schleierleuchtdichte reduziert. Diese Art der Blendung ist durch gesetzliche Vorgaben minimal gehalten.

Die psychologische Blendung ist eine Form von Blendung, welche als unangenehm oder ablenkend empfunden wird und somit vermieden werden sollte. Sie stört häufig unbewusst die Aufnahme von visueller Information, ohne die Wahrnehmung von Details wirklich zu verhindern. Sie stellt somit eine Belastung dar, erzeugt Stress und reduziert die Konzentration. Sie ist objektiv nur mit der Messung der Arbeitsleistung bzw. deren Verminderung messbar oder durch subjektive Bewertungsskalen (De-Boer-Skala), was jedoch psychophysikalische Methoden voraussetzt.

Oft wird davon ausgegangen, dass höher angebrachte Scheinwerfer stärker blenden. Dies gilt jedoch erst ab einem bestimmten Wert. Nach ECE-R 48 [ECE, 2002b] kann die Entfernung der Hell-

Dunkel-Grenze vor dem Fahrzeug von 33 m bis 100 m variieren. Dies wird erreicht durch Kombination der erlaubten Anbauhöhen der Scheinwerfer und der dabei vorgeschriebenen Einstellwinkel [Kli., 2004]. Um Blendung über Spiegel zu vermeiden, sollte die Anbauhöhe, wie weiter unten erläutert, nicht höher als 0,85 m sein. Eine weitere Einschränkung der Anbauhöhe muss jedoch nicht vorgenommen werden, da die Regelungen in ECE-R 48 dafür sorgen, dass höher angebaute Scheinwerfer mit einem steileren Einstellwinkel einzustellen sind.

Ein höher angebaute Scheinwerfer blendet bei Entfernungen größer seiner Hell-Dunkel-Grenze weniger als ein tiefer angebaute Scheinwerfer mit gleichem Abstand der Hell-Dunkel-Grenze, da dessen Strahlenbündel flacher abfällt. Wenn sich der Geblendete jedoch näher als die Hell-Dunkel-Grenze am Blendefahrzeug befindet, kann ein höher angebaute Scheinwerfer stärker blenden.

Bei unebener Fahrbahn und Fahrzeugen ohne dynamische Leuchtweitenregelung ist die Gefahr, geblendete zu werden, bei Scheinwerfern mit flachen Einstellwinkeln größer als bei steilen Winkeln. Eine Nickbewegung des Fahrzeuges bei flachen Scheinwerferbündeln ruft eine deutlich stärkere Verschiebung der Hell-Dunkel-Grenze hervor.

7.2.1 Blendung von Fußgängern und Radfahrern

Die Augenhöhe von Fußgängern variiert während der Bewegung im Verkehrsraum gering. Die Augenhöhe des durchschnittlich großen Fußgängers beträgt 1,60 m [DIN 7250]. Bei Radfahrern ist die Augenhöhe abhängig von der Art des Fahrrades (Rennrad, Tourenrad, „Cruiser“, „Hollandrad“), der Art der Sitzhaltung (vornübergebeugt, möglichst gestreckt), Sattelhöhe und Lenkerhöhe.

Messungen der Augenhöhe eines Radfahrers auf einem Fahrrad mit gleicher Sattel- und Lenkerhöhe ergaben einen Bereich von 1,33 m bis 1,78 m für die Augenhöhe, abhängig von der jeweiligen Sitzhaltung. Bei der typischen Sitzhaltung im Straßenverkehr beträgt die Augenhöhe 1,58 m, als Fußgänger das Rad schiebend 1,68 m. Die Testperson war insgesamt 1,76 m groß.

Zur Bewertung der Blendung wird eine Augenhöhe von 1,60 m als durchschnittliche Augenhöhe von Fußgänger und Radfahrer herangezogen.

Die Messung der maximalen vertikalen Beleuchtungsstärke E_{\max} auf einer Geraden in 25 m Entfernung vor dem Fahrzeug, von der Fahrzeugmitte bis 5,25 m zur rechten und linken Seite (noch eine weitere Fahrbahnbreite) in 1,60 m Höhe ist die Grundlage der Bewertung für Fußgängerblendung ($x = 25$, $y = -5,25 \dots +5,25$, $z = 1,6$). Dabei muss zwischen der linken und rechten Seite unterschieden werden, da durch das asymmetrische Abblendlicht unterschiedliche Beleuchtungsstärken zwangsläufig vorhanden sind.

Für die linke Fahrbahnseite lautet die Bewertungsformel:

$$I_L = 1 \text{ lx} - E_{\max, \text{ links}}$$

Wertebereich:

$$I_L = 0 \dots 1$$

Dabei ist 0,5 lx der in den ECE-Regeln festgelegte Wert für die Blendung. Ein Faktor 2 ist notwendig, um den Einfluss beider Scheinwerfer zu berücksichtigen. So ergibt sich ein Wert von 1 lx.

Für die rechte Fahrbahnseite erhält man entsprechend:

$$I_R = 2 \text{ lx} - E_{\max, \text{ rechts}}$$

Wertebereich:

$$I_R = 0 \dots 2$$

Hierbei wurde berücksichtigt, dass die Linie 1,6 m über dem Boden in der Zone III der Scheinwerferlichtverteilung nach ECE liegt. Dort wird ein auf 13,2 V bezogener Maximalwert der Beleuchtungsstärke von 1 lx zugelassen. Auch hier ist wieder ein Faktor von 2 für beide Scheinwerfer zu berücksichtigen.

Zusammenfassend lässt sich folgender Zusammenhang bilden:

Bewertung:

$$I = \frac{I_L + I_R}{3} = (1 - E_{\max, \text{ links}} + 2 - E_{\max, \text{ rechts}}) / 3$$

$$I = 1 - (E_{\max, \text{ links}} + E_{\max, \text{ rechts}}) / 3$$

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

7.2.2 Blendung über Außenspiegel und Innen-spiegel

Die stärkste Blendung des Vorausfahrenden findet im Kolonnenverkehr, bei Überholvorgängen, im Stau bzw. an der Ampel statt, wenn die beiden Fahrzeuge leicht versetzt direkt hintereinander fahren bzw. stehen. Der Abstand zwischen den Scheinwerfern des hinteren Fahrzeuges und den Rückspiegeln des vorderen Fahrzeuges kann verhältnismäßig gering werden. In diesem Fall trifft ein Teil des Scheinwerferlichtes direkt auf den Spiegel und so in das Gesichtsfeld des vorausfahrenden Fahrers.

Aus einer Untersuchung von KOSMATKA, deren Ergebnisse in einem SAE-Bericht [SAE, 1996] veröffentlicht wurden, geht klar hervor, dass die Anbauhöhe der Scheinwerfer am Fahrzeug entscheidend für die Blendung über den Rückspiegel eines vorausfahrenden Fahrzeugführers ist. KOSMATKA ging sogar so weit vorzuschlagen, die maximale Anbauhöhe von Scheinwerfern für Fahrzeuge in den USA zu niedrigeren Werten hin zu verschieben, obwohl dies gegen den allgemeinen Trend, die Anbauhöhe immer häufiger in den oberen erlaubten Wertebereich zu legen, ging.

Diesem Ansatz folgend werden die durchschnittlichen Anbauhöhen von Scheinwerfern und Außenspiegeln für verschiedene Fahrzeugarten ermittelt. DAMASKY [Dam., 1993] hat die Anbauhöhe von Innenspiegeln ermittelt. Bei seinem Messverfahren wird die Höhe in Grad in Bezug auf einen Standardscheinwerfer angegeben. Er erhält Werte von ca. 0° bis 1° bei einer Entfernung von 100 m. Dies entspricht bei einer angenommenen Scheinwerferhöhe von 650 mm einer Spiegelhöhe von 650 mm bis 2.350 mm. KLINGER [Kli., 2004c] hat als mittlere Anbauhöhe von Außenspiegeln 970 mm ermittelt, wobei sich der Wertebereich von 850 mm bis 1.280 mm erstreckt.

Aus den Messwerten lässt sich eine „verträgliche“ oder optimale Anbauhöhe h_{opt} ermitteln. Dazu werden die geringsten Anbauhöhen der Außenspiegel gewählt, um die Fahrer in möglichst keinen Fahrzeugen zu blenden. Es ergibt sich ein Wert von $h_{\text{opt}} = 850$ mm.

Sobald die tatsächliche Anbauhöhe größer als dieser Wert ist, besteht Blendefahr.

Bewertung:

$$I = 1, \quad \text{falls } h \leq h_{\text{opt}}$$

$$I = 0, \quad \text{falls } h > h_{\text{opt}}$$

Mit h : tatsächliche Anbauhöhe des Scheinwerfers

Wertebereich:

$$I = 0; 1$$

7.2.3 Blendung des Gegenverkehrs

Für die Bewertung der Blendung des Gegenverkehrs wird nur das Abblendlicht herangezogen.

Dazu werden die Beleuchtungsstärke am Blendpunkt B50L und die Größe der leuchtenden Fläche des Scheinwerfers gemessen.

Nach der ECE-R 98 [ECE, 2005d] ist die erlaubte Beleuchtungsstärke beim Blendpunkt $E = 0,5 \text{ lx}$ (Entfernung 25 m für einen Scheinwerfer; 1,5 m nach links; 0,25 m nach oben, von HV ausgehend) und wird deshalb als Maßstab angesetzt. Je geringer die Beleuchtungsstärke an diesem Punkt ist, desto besser wird das Fahrzeug bezüglich der Blendung bewertet. Da zwei Scheinwerfer angebaut sind, kann in diesem Punkt bis zu 1 lx erwartet werden.

Bewertung:

$$I_B = 1 - E_{B50L}$$

Mit

E_{B50L} : horizontale Beleuchtungsstärke beider Scheinwerfer zusammen, gemessen am Blendpunkt B50L in 25 m Entfernung von dem Fahrzeug

Wertebereich:

$$I_B = 0 \dots 1$$

Weiterhin stellt sich die Frage, ob die Größe der Scheinwerfer eine entscheidende Rolle für das Blendverhalten spielt oder nicht. Dabei ist es vor allem die psychologische Blendung, die hier zu betrachten ist. Bei MANZ [Man., 2001] findet sich ein Überblick über Versuche, die psychologische Blendwirkung von Kfz-Scheinwerfern ermitteln.

LINDAE [Lin., 1970], [Lin., 1976], [Lin., 1970] brachte dies auf die einfache Formel: Je größer die leuchtende Fläche (Scheinwerfer mit Positionslicht) ist, desto geringer ist die Blendwirkung des Scheinwerfers. Im Gegensatz dazu fanden jedoch OLSONS et al. [Ols., 1984] bei dem Vergleich von Pro-

jektionsscheinwerfern und konventionellen Scheinwerfern keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Blendung und der Größe der Lichtaustrittsfläche.

MANZ [Man., 2001] konnte in seiner Arbeit jedoch zeigen, dass folgender Zusammenhang zwischen der Beleuchtungsstärke am Auge und der Fläche eines Scheinwerfers wenigstens näherungsweise besteht:

$$E \leq 0,15\sqrt{D} + \frac{1}{D - 33} + 0,1 \text{ [lx]}$$

also

$$E \leq f(D)$$

Dabei ist D der Durchmesser eines vergleichbaren runden Scheinwerfers in cm und E die maximal erlaubte Beleuchtungsstärke bei B50L ($E = 0,5 \text{ lx}$).

Er schlägt weiterhin vor, für die Fläche des Scheinwerfers die gesamte Lichtaustrittsfläche des Scheinwerfers (gegebenenfalls inklusive Begrenzungsleuchte) zu bestimmen. Diese Fläche erhält man, indem man jene Fläche bestimmt, innerhalb derer der Kontrast zwischen den dunklen zu den hellen Bereichen Werte kleiner 100 annimmt.

$$K = L_{\text{hell}}/L_{\text{dunkel}} = 100$$

Diese Fläche lässt sich mit einer bildgebenden Leuchtdichtekamera bestimmen, indem die Leuchtdichte des hellen Bereiches bestimmt wird, wie es bei den Begriffsdefinitionen beschrieben wird. Die minimale Leuchtdichte der zu ermittelnden Fläche ist der hundertste Teil davon. Daraus wird dann der äquivalente Durchmesser D bestimmt und mit der Beleuchtungsstärke am Auge verglichen. Ist die Bedingung $E \leq f(D)$ erfüllt, d. h., ist die Fläche groß genug, blenden die Scheinwerfer nicht.

Damit kommt man zu folgender Bewertung für den Einfluss der Fläche des Scheinwerfers:

$$I_F = 1, \quad \text{falls } f(D) \geq 0,5 \text{ lx}$$

$$I_F = 0, \quad \text{falls } f(D) < 0,5 \text{ lx}$$

Mit $f(D)$: Beleuchtungsstärke bei vergleichbarer Fläche eines runden Scheinwerfers.

Wertebereich:

$$I_F = 0; 1$$

Zusammenfassend ergibt sich somit folgende Bewertung für die Blendung durch die Scheinwerfer.

Bewertung:

$$I = (I_B + I_F)/2$$

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

7.3 Blendung durch Signalleuchten

Blendung durch Signalleuchten wird durch eine zu hohe Leuchtdichte hervorgerufen. Der Abschnitt „Sicherheit – rückwärtiges Signalbild – Leuchtdichte“ erläutert die Grundlagen der Bewertung von Signalleuchten bezüglich der Leuchtdichte. In dem folgenden Abschnitt wird der Teilaspekt Blendung behandelt. Diese Blendung kann in verschiedenen Verkehrssituationen auftreten, wenn die Leuchtdichte der einzelnen Leuchten zu hoch ist oder die Leuchten in falschen Situationen genutzt werden:

- Ständiges Betätigen der Betriebsbremse bei Stop-and-Go-Verkehr, oft bei Fahrzeugen mit Automatikgetriebe.
- Warten in Fahrzeugschlangen vor Verkehrsampeln in der Stadt, speziell bei Dämmerung. Hierbei kann sowohl die Bremsleuchte als auch der Fahrtrichtungsanzeiger zu hell sein.
- Warten in vorderster Stelle an einer Ampel gegenüber dem Gegenverkehr bei schmalen Querstraßen. In dieser Situation kann die Tagfahrleuchte des Gegenverkehrs Blendung hervorrufen.
- Unsachgemäße Benutzung der Nebelschlussleuchte (z. B.: bei dichtem Verkehr ohne Sichtbehinderung).

Es sind hierbei zwei Arten von Situationen zu unterscheiden:

1. Die unsachgemäße Benutzung von Leuchten (und Scheinwerfern) kann nur durch entsprechende, nicht umgehbare, Automaten verhindert werden. Die entsprechende Automatenfunktion muss dem Fahrzeugführer als Komfortfunktion und nicht als Bevormundung oder Einschränkung nahegebracht werden. Eine Bewertung von Komfortfunktionen ist in vorhergehenden Abschnitten vorgenommen worden.
2. Die Blendung durch hohe Leuchtdichten muss bei der Leuchtenentwicklung berücksichtigt werden: Eine Leuchte ist so zu gestalten, dass sie ihre Funktion sehr gut erfüllt. Dafür muss sie

eine große Leuchtdichte aufweisen, die jedoch nicht so hoch sein darf, dass sie Blendung hervorruft. Dies wird im Folgenden bewertet. Bei geringem Abstand zu einer Leuchte (z. B.: in stockendem Verkehr) ist es überflüssig, die Signalfunktion mit gleich bleibender Qualität darzustellen. Dem nachfolgenden Fahrer ist in stehendem Verkehr bewusst, dass das Fahrzeug vor ihm steht, und er ist nicht mehr auf die Darstellung des Bremslichtes angewiesen. LUCE [Luc., 2004] und BERLITZ [Ber., 2004] haben zusammen eine Leuchte entwickelt, die den Abstand zu dem nachfolgenden Fahrzeug misst und nach kurzer Zeit selbstständig die Helligkeit herunterdimmt. Solche Leuchten sind derzeit aufgrund der aktuellen Gesetzeslage noch nicht zulassungsfähig, jedoch weisen sie genau in die richtige Richtung, in welche die Entwicklung von modernen Signalleuchten gehen muss. Die Entwicklung der ECE-Regelungen in Bezug auf die Freigabe solcher Funktionalität ist genau zu verfolgen und bei erfolgter Freigabe sind diese Funktionen unverzüglich in die Bewertung aufzunehmen, da sie effektiv die Blendung durch Signalleuchten verhindern können.

Bei der Bewertung der Signalleuchten hinsichtlich der Blendung, hervorgerufen durch zu hohe Leuchtdichten, werden die von RIPPERGER und ARMBRUSTER gefundenen Werte als Optimalwerte zugrunde gelegt. Genaue Erläuterungen sind in Abschnitt „Sicherheit – rückwärtiges Signalbild – Leuchtdichte“ zu finden.

Für Schlussleuchten bei Nacht erstreckt sich der optimale Bereich von 100 bis 400 cd/m².

Bewertung:

$$I_{Schl} = 1, \text{ falls } I_{xS} < 400 \text{ cd/m}^2$$

$$I_{Schl} = 0 \text{ sonst}$$

Mit I_{xS} : Leuchtdichte der Schlussleuchte am zu bewertenden Fahrzeug, Mittelwert aus rechter und linker Signalleuchte.

Wertebereich:

$$I_{Schl} = 0; 1$$

Seitenmarkierungsleuchten haben die gleiche Funktion wie Schlussleuchten. Sie sollen anzeigen, dass ein Fahrzeug vorhanden ist. Daher wird der gleiche Wert als maximale Leuchtdichte gewählt.

Bewertung:

$$I_{Se} = 1, \quad \text{falls } I_x < 400 \text{ cd/m}^2$$

$$I_{Se} = 0 \quad \text{sonst}$$

Mit I_x : Leuchtdichte der Seitenmarkierungsleuchte am zu bewertenden Fahrzeug, Mittelwert aus allen rechten und linken Signalleuchten.

Wertebereich:

$$I_{Se} = 0; 1$$

Bei Bremsleuchten geht RIPPERGER von einer Tag-Nacht-Schaltung aus. Wenn diese vorhanden ist, gilt folgende Bewertungsformel.

Bewertung:

$$I_{BrT} = 1, \quad \text{falls } I_{xT} < 44.000 \text{ cd/m}^2 \\ \text{(Tag bei Tag-Nacht-Schaltung)}$$

$$I_{BrT} = 0 \quad \text{sonst}$$

$$I_{BrN} = 1, \quad \text{falls } I_{xN} < 4.000 \text{ cd/m}^2 \\ \text{(Nacht bei Tag-Nacht-Schaltung)}$$

$$I_{BrN} = 0 \quad \text{sonst}$$

Mit I_{xT} : Leuchtdichte der Bremsleuchte am zu bewertenden Fahrzeug, Mittelwert aus rechter und linker Signalleuchte, Messung der Leuchtdichte bei Tagpegel der Tag-Nacht-Schaltung.

Mit I_{xN} : Leuchtdichte der Bremsleuchte am zu bewertenden Fahrzeug, Mittelwert aus rechter und linker Signalleuchte, Messung der Leuchtdichte bei Nachtpegel der Tag-Nacht-Schaltung.

Wertebereich:

$$I_{BrT} = 0; 1$$

$$I_{BrN} = 0; 1$$

Wenn keine Tag-Nacht-Schaltung vorhanden ist, wird die Leuchte nachts meist blenden. Als Kompromiss wird in dem Abschnitt „Sicherheit – rückwärtiges Signalbild – Leuchtdichte“ ein Wertebereich von 3.500 bis 14.000 cd/m^2 vorgeschlagen. Da in dem Abschnitt hier nur die Blendung, nicht die Sicherheit bewertet wird, wird der anzustrebende Maximalwert auf 4.000 cd/m^2 festgelegt, um sowohl nachts als auch tags keine Blendung zu verursachen. Der anzustrebende Wertebereich für eine

Bremsleuchte ohne Tag-Nacht-Schaltung liegt demnach zwischen 3.500 und 4.000 cd/m^2 . Dies scheinen enge Vorgaben für Bremsleuchten zu sein. Jedoch gilt zu beachten, dass eine Bremsleuchte mit Tag-Nacht-Schaltung mehr Sicherheit und mehr Verträglichkeit bei einem weiteren Wertebereich bietet.

Bewertung:

$$I_{BrT} = I_{BrN} = 1, \quad \text{falls } I_x < 4.000 \text{ cd/m}^2 \\ \text{(ohne Tag-Nacht-Schaltung)}$$

$$I_{BrT} = I_{BrN} = 0,5, \quad \text{falls } I_x < 14.000 \text{ cd/m}^2 \\ \text{(ohne Tag-Nacht-Schaltung)}$$

$$I_{BrT} = I_{BrN} = 0 \quad \text{sonst}$$

Mit I_x : Leuchtdichte der Bremsleuchte am zu bewertenden Fahrzeug, Mittelwert aus rechter und linker Signalleuchte.

Wertebereich:

$$I_{BrT} = I_{BrN} = 0; 0,5; 1$$

Bei der hochgesetzten dritten Bremsleuchte S3 ist keine Tag-Nacht-Schaltung nach ECE erlaubt. Daher werden die gleichen Werte benutzt wie bei S1-Leuchten ohne Tag-Nacht-Schaltung.

Bewertung:

$$I_{S3} = 1, \quad \text{falls } I_x < 4.000 \text{ cd/m}^2 \\ \text{(ohne Tag-Nacht-Schaltung)}$$

$$I_{S3} = 0,5, \quad \text{falls } I_x < 14.000 \text{ cd/m}^2 \\ \text{(ohne Tag-Nacht-Schaltung)}$$

$$I_{S3} = 0 \quad \text{sonst}$$

Mit I_x : Leuchtdichte der Bremsleuchte S3 am zu bewertenden Fahrzeug.

Wertebereich:

$$I_{S3} = 0; 0,5; 1$$

Wenn die Fahrtrichtungsanzeiger über eine Tag-Nacht-Schaltung verfügen, gilt folgende Bewertungsformel.

Bewertung:

$$I_{FT} = 1, \quad \text{falls } I_{xT} < 44.000 \text{ cd/m}^2 \\ \text{(Tag bei Tag-Nacht-Schaltung)}$$

$$I_{FT} = 0 \quad \text{sonst}$$

$I_{FN} = 1$, falls $I_{xN} < 4.000 \text{ cd/m}^2$
(Nacht bei Tag-Nacht-Schaltung)

$I_{FN} = 0$ sonst

Mit I_{xT} : Leuchtdichte des Fahrtrichtungsanzeigers am zu bewertenden Fahrzeug, Mittelwert aus rechter und linker Signalleuchte, Messung der Leuchtdichte bei Tagepegel der Tag-Nacht-Schaltung.

Mit I_{xN} : Leuchtdichte des Fahrtrichtungsanzeigers am zu bewertenden Fahrzeug, Mittelwert aus rechter und linker Signalleuchte, Messung der Leuchtdichte bei Nachtpegel der Tag-Nacht-Schaltung.

Wertebereich:

$I_{FT} = 0; 1$

$I_{FN} = 0; 1$

Wenn keine Tag-Nacht-Schaltung vorhanden ist, gilt folgende Bewertungsformel:

Bewertung:

$I_{FT} = I_{FN} = 1$, falls $I_x < 4.000 \text{ cd/m}^2$
(ohne Tag-Nacht-Schaltung)

$I_{FT} = I_{FN} = 0,5$, falls $I_x < 14.000 \text{ cd/m}^2$
(ohne Tag-Nacht-Schaltung)

$I_{FT} = I_{FN} = 0$ sonst

Mit I_x : Leuchtdichte des Fahrtrichtungsanzeigers am zu bewertenden Fahrzeug, Mittelwert aus rechter und linker Signalleuchte.

Wertebereich:

$I_{FT} = I_{FN} = 0; 0,5; 1$

Die Leuchtdichte von Nebelschlussleuchten muss laufend den aktuellen Witterungsverhältnissen angepasst werden, um keine Blendung hervorzurufen und trotzdem die Funktionalität zu erhalten. Mit einer kontinuierlichen Anpassung ist der Fahrzeugführer überfordert. Dies muss durch eine Automatik erfolgen. Eine solche wird in dem Abschnitt „Sicherheit“ bewertet.

Eine Nebelschlussleuchte, die bei Sichtbehinderung mit einem der Stärke der Behinderung entsprechenden Level dargeboten wird bzw. erst ab einer entsprechenden Nebeldichte eingeschaltet wird, blendet nicht. Eine Nebelschlussleuchte, die

bei besseren Sichtweiten eingeschaltet ist, blendet immer.

Daher erfolgt keine Bewertung der Blendung dieser Leuchten. Derzeit ist der Fahrzeugführer durch Ein- bzw. Ausschalten der Nebelschlussleuchte für die Blendung verantwortlich.

Bezüglich der Blendung durch Rückfahrcheinwerfer ist den Autoren keine Verkehrssituation bewusst, bei der die Blendung unerwünscht ist. Es wird daher keine Bewertung vorgenommen.

Die Bewertung der Blendung durch Signalleuchten aufgrund hoher Leuchtdichte setzt sich aus den einzelnen Bewertungen zusammen. Derzeit sind fünf Signalleuchten zu berücksichtigen, in den oben stehenden Abschnitten einzeln bewertet.

Bewertung:

$$I = \frac{I_{Schl} + I_{Se} + \frac{I_{BT} + I_{BN}}{2} + I_{S3} + \frac{I_{FT} + I_{FN}}{2}}{5}$$

Wertebereich:

$I = 0 \dots 1$

Mit den Minimalwerten für die Leuchtdichte aus der Bewertung der Sicherheit und den Maximalwerten aus der Bewertung der Verträglichkeit ergeben sich für die jeweiligen Signalfunktionen folgende Wertebereiche:

Die Schlussleuchte sollte eine Leuchtdichte zwischen 100 und 400 cd/m^2 aufweisen.

Die Seitenmarkierungsleuchte sollte eine Leuchtdichte zwischen 200 und 400 cd/m^2 aufweisen.

Die Bremsleuchte sollte über eine Tag-Nacht-Schaltung verfügen und eine Leuchtdichte zwischen 11.000 und 44.000 cd/m^2 am Tag und zwischen 1.000 und 4.000 cd/m^2 in der Nacht aufweisen. Wenn keine Tag-Nacht-Schaltung vorhanden ist, sollte die Leuchtdichte zwischen 3.500 und 4.000 cd/m^2 liegen.

Die dritte hochgesetzte Bremsleuchte des Typs S3 sollte eine Leuchtdichte zwischen 3.500 und 4.000 cd/m^2 aufweisen. Dieser Wertebereich ist sehr eng. Wenn adaptive Systeme für Rückleuchten, Tag-Nacht-Schaltung und andere Schaltungen, auf den Markt kommen, sollte die Regelung für S3-Leuchten angepasst werden, sodass diese auch adaptiv betrieben werden können. Dann kann ein größerer Wertebereich festgesetzt werden.

Der Fahrtrichtungsanzeiger sollte über eine Tag-Nacht-Schaltung verfügen und eine Leuchtdichte zwischen 11.000 und 44.000 cd/m² am Tag und zwischen 1.000 und 4.000 cd/m² in der Nacht aufweisen. Wenn keine Tag-Nacht-Schaltung vorhanden ist, sollte die Leuchtdichte zwischen 3.500 und 4.000 cd/m² liegen.

Die Nebelschlussleuchte sollte innerhalb der derzeitigen gesetzlichen Rahmenbedingungen eine möglichst geringe Leuchtdichte erreichen. Angestrebt wird ein Wert nahe 10.000 cd/m².

Der Rückfahrscheinwerfer sollte eine mindestens um den Faktor 5 höhere Leuchtdichte aufweisen als die Schlussleuchte. Mit deren vorgeschlagenem Maximalwert von 400 cd/m² ergibt sich ein Mindestwert von 2.000 cd/m² für den Rückfahrscheinwerfer. Ein Maximalwert wird nicht angegeben, da dies ein Scheinwerfer ist, dessen Abstrahlung in den oberen Verkehrsraum gesetzlich eingeschränkt ist, sodass es zu keiner unerwünschten Blendung kommt.

7.4 Wirkungsgrad

Bei der Bewertung des Wirkungsgrades lichttechnischer Einrichtungen darf nicht nur der gesamte Lichtstrom im Verhältnis zur aufgenommenen Leistung berechnet werden, da damit auch Licht aus Zonen bewertet wird, in denen möglichst wenig eingestrahlt werden sollte, wie z. B. das Licht, das für die Selbstblendung im Nebel verantwortlich ist. Vielmehr ist es sinnvoll, hierbei nur das Licht zu bewerten, das auch für die Beleuchtung der Fahrbahn verwendet wird.

Als Maß bietet sich hierbei die mittlere horizontale Beleuchtungsstärke des Nahfeldes an, da diese schon bei der Bewertung der Reichweite ermittelt wurde.

Die aufgenommene Leistung der Scheinwerfer beträgt bei Scheinwerfern mit Glühlampen derzeit etwa 60 W bis 80 W und bei Gasentladungslampen etwa 35 W.

Bewertung:

$$I = E \frac{35}{(P_L + P_R)}$$

Mit E: mittlere horizontale Beleuchtungsstärke des Nahfeldes in Lux

P_L : Lampenleistung in Watt des linken Scheinwerfers

P_R : Lampenleistung in Watt des rechten Scheinwerfers

Als Nebenbedingung sollte gelten: $I = 0$ für $P_L + P_R > 150$ W, um allzu hohe Leistungsaufnahmen zu unterbinden.

Wertebereich:

$$I = 0 \dots 1$$

Der obige Wertebereich ergibt sich bei den derzeit üblichen Technologien und Grenzwerten. Ein Fahrzeug mit Gasentladungsscheinwerfer (2 · 35 W) und einer mittleren horizontalen Beleuchtungsstärke von 2 lx erhält derzeit die Höchstpunktzahl. Bei Scheinwerfern mit LED ist dieser Wertebereich gegebenenfalls zu überdenken, da dann die Leistungsaufnahme deutlich geringer werden kann.

7.5 Wiederverwertbarkeit

Für den Käufer eines Kraftwagens ist es von Vorteil, wenn möglichst alle Fahrzeugteile wiederverwertbar sind. So können die Kosten für eine Verschrottung des Fahrzeuges minimiert werden. Dabei ist das gesamte Recyclingsystem zu bewerten, da eine leichte Demontage von Teilen keinen Nutzen bringt, wenn die Infrastruktur, die diese Teile zweckmäßig weiterverwertet, nicht vorhanden ist.

Die Wiederverwertbarkeit von Leuchten- und Scheinwerferteilen wird nicht bewertet, da es sinnvoller ist, die Wiederverwertbarkeit des gesamten Fahrzeuges einheitlich zu bewerten und in dem Gesamtkontext zu betrachten. Dafür wird kein lichttechnisches, sondern materialtechnisches Wissen zur Erstellung einer solchen Bewertung benötigt.

8 Zusammenführung der Ergebnisse

Um auf eine aussagekräftige Kennzahl im Sinne einer NCAP-Bewertung zu kommen, müssen die gewonnenen Bewertungsindizes I jetzt in geeigneter Weise zusammengeführt werden, damit im Ergebnis eine einzige Kennzahl für die gesamte Beleuchtung am Kraftfahrzeug entsteht. Hierfür müssen zunächst die Oberbegriffe Leistung, Sicherheit, Komfort und Verträglichkeit gewichtet und danach

diese Gewichtung auf die einzelnen Unterpunkte verteilt werden.

8.1 Gewichtung der Oberbegriffe

Leistung und Sicherheit sind zweifellos wesentlich stärker als Komfort und Verträglichkeit zu bewerten. Sowohl Leistung, als auch Sicherheit tragen in gleichem Maße zum sicheren Fahren bei. Aus diesem Grund wird folgende Unterteilung vorgenommen:

- Leistung 40 %,
- Sicherheit 40 %,
- Komfort 10 %,
- Verträglichkeit 10 %.

Dies bedeutet, dass eine volle Punktzahl innerhalb der Oberbegriffe Leistung und Sicherheit eine um den Faktor 4 höhere Gewichtung bekommt, als eine volle Punktzahl bei Komfort oder Verträglichkeit.

8.2 Gewichtung der Unterbegriffe

Im Weiteren werden nun die zu einem Oberbegriff gehörenden Unterpunkte gewichtet, da hier entsprechende Unterschiede innerhalb der Relevanz zu verzeichnen sind. Dabei ist es zunächst zweckmäßig, die Maximalzahl, die bei dem jeweiligen Oberbegriff erreicht werden kann, wieder als 100 % anzusehen und diese auf die Unterpunkte zu verteilen.

Leistung:

Reichweite	30 %
Schärfe der Hell-Dunkel-Grenze	40 %
Helligkeit – Nahfeld	40 %
Rechter Straßenrand	20 %
Breite	10 %
Adaptive Frontlighting System (AFS)	10 %
Nebelscheinwerfer	10 %
Erkennbarkeit von Rückstrahlern	10 %
Straßenschilderanlage	10 %
Fernlicht	10 %
Rückfahrscheinwerfer	5 %
Gradient	5 %

Dabei wird, wie schon erwähnt, der Unterpunkt Reichweite selbst wieder aufgeteilt in 3 weitere Unterpunkte, deren Bewertung, ebenfalls wieder bei 100 % für volle Punktzahl beginnend, aufgeteilt wird.

Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, dass man den Gewichtungsfaktor jedes einzelnen zu messenden Punktes erhält, indem man alle Faktoren bis zu dem Oberbegriff multipliziert.

So erhält z. B. das Merkmal „Leistung – Reichweite – Rechter Straßenrand“ die Gewichtung:

$$G = 0,2 \cdot 0,3 \cdot 0,4 = 0,024$$

Die anderen Merkmale werden auf die gleiche Art und Weise gewichtet.

Die Gewichtung der einzelnen Unterpunkte erfolgt dabei auf rein subjektiver Basis. Eine Anpassung ist aber gegebenenfalls einfach vorzunehmen.

Sicherheit:

seitliches Signalbild	10 %
Seitenmarkierungsleuchte	25 %
seitliche Rückstrahler	25 %
seitliche Blinkleuchte	25 %
seitliches Licht	25 %
rückwärtiges Signalbild	15 %
Leuchtenzahl/Adaptivität	20 %
Lichtstärke	25 %
Lichtstärkeverteilung	20 %
Leuchtdichte	25 %
hintere Rückstrahler	10 %
vorderes Signalbild	15 %
Lichtstärke	30 %
Lichtstärkeverteilung	30 %
Leuchtdichte	30 %
vordere Rückstrahler	10 %
Umschaltzeiten	5 %
Ansprechzeiten	10 %
Ausfallanzeige	10 %
Lebensdauer	10 %
Lichtassistenzsysteme	5 %
Scheinwerferreinigungsanlage	5 %
Ersatzfunktion	5 %
Kurvenlicht	5 %
Anordnung der Signale	5 %

Komfort:

Innenbeleuchtung	20 %
Innenraumbeleuchtung	20 %
Orientierungsbeleuchtung	50 %
Leselicht	30 %
Instrumentenbeleuchtung	15 %
Komfortaußenbeleuchtung	5 %
Harmonie der Beleuchtung	10 %
Gleichmäßigkeit	10 %
Wartbarkeit	10 %
Abblendende Spiegel	20 %
Windschutzscheibe	10 %

Verträglichkeit:

Leuchtweitenregulierung	10 %
Blendung von Fußgängern	20 %
Blendung über Außenspiegel	20 %
Blendung des Gegenverkehrs	20 %
Blendung durch Signalleuchten	20 %
Wirkungsgrad	10 %

Die Tabelle 8.1 fasst alle Gewichtungsfaktoren nochmals zusammen. Insgesamt müssen alle Faktoren zusammen 100 % ergeben. Dies ist in der Zeile Gesamtsumme zu sehen.

8.3 Endgültige Bewertung

Für die abschließende Bewertung kann die erreichte Punktzahl, wie bei den EuroNCAP-Crashtests bereits üblich, durch eine leicht zu verstehende Symbolik ersetzt werden. Damit keine Verwechslungen mit anderen NCAP-Bewertungsverfahren entstehen, sollten auch die verwendeten Symbole verschieden sein. Es bietet sich eine Glühlampe oder Kerze als Symbol für die Bewertung der Beleuchtung an.

Oberbegriff	Unterpunkte	Gewichtung		Gesamtgewichtung		
Leistung	Reichweite	Schärfe der Hell-Dunkel-Grenze	30 %	40 %	0,048	
		Helligkeit – Nahfeld		40 %	0,048	
		Rechter Straßenrand		20 %	0,024	
		Breite	10 %		0,040	
	40 %	Adaptive Frontlighting System (AFS)	10 %		0,040	
		Nebelscheinwerfer	10 %		0,040	
		Erkennbarkeit von Rückstrahlern	10 %		0,040	
		Straßenschilderbeleuchtung	10 %		0,040	
		Fernlicht	10 %		0,040	
		Rückfahrcheinwerfer	5 %		0,020	
		Gradient	5 %		0,020	
	Sicherheit	Seitliches Signalbild	10 %			
			Seitenmarkierungsleuchte		25 %	0,010
Seitliche Rückstrahler				25 %	0,010	
Seitliche Blinkleuchte				25 %	0,010	
Seitliches Licht				25 %	0,010	
40 %		Rückwärtiges Signalbild	15 %			
			Leuchtenanzahl/Adaptive Leuchten		20 %	0,012
			Lichtstärke		25 %	0,015
			Lichtstärkeverteilung		20 %	0,012
			Leuchtdichte		25 %	0,015
		Vorderes Signalbild	Hintere Rückstrahler		10 %	0,006
			15 %			
			Lichtstärke		30 %	0,018
			Lichtstärkeverteilung		30 %	0,018
		5 %	Leuchtdichte		30 %	0,018
			Vordere Rückstrahler		10 %	0,006
			Umschaltzeiten	5 %		0,020
			Ansprechzeiten	10 %		0,040
			Ausfallanzeige	10 %		0,040
			Lebensdauer	10 %		0,040
Lichtassistenzsysteme	5 %			0,020		
Scheinwerferreinigungsanlage	5 %			0,020		
Ersatzfunktion	5 %			0,020		
Kurvenlicht	5 %			0,020		
Anordnung der Signale	5 %		0,020			
Komfort	Innenbeleuchtung	20 %				
		Innenraumbeleuchtung		20 %	0,004	
		Orientierungsbeleuchtung		50 %	0,010	
	10 %	Leselicht		30 %	0,006	
		Instrumentenbeleuchtung	15 %		0,015	
		Komfortaußenbeleuchtung	5 %		0,005	
		Harmonie der Beleuchtung	10 %		0,010	
		Gleichmäßigkeit	10 %		0,010	
		Wartbarkeit	10 %		0,010	
		Abblendende Spiegel	20 %		0,020	
		Windschutzscheibe	10 %		0,010	
Verträglichkeit	10 %	Leuchtweitenregulierung	10 %		0,010	
		Blendung von Fußgängern	20 %		0,020	
		Blendung über Außenspiegel	20 %		0,020	
		Blendung des Gegenverkehrs	20 %		0,020	
		Blendung durch Signalleuchten	20 %		0,020	
		Wirkungsgrad	10 %		0,010	
		Gesamtsumme			1,000	

Tab. 8.1: Zusammenfassung der Bewertungsfaktoren

In der vorgestellten Bewertungsskala entstehen Werte zwischen 0 und 1 (0 und 100 %). Diesen Bereich kann man linear in 6 Teile untergliedern und kommt so zu folgender abschließender Bewertungsskala:

0,00 bis 0,16	0 % bis 16 %	0 Kerzen
0,17 bis 0,33	17 % bis 33 %	1 Kerze
0,34 bis 0,50	33 % bis 50 %	2 Kerzen
0,51 bis 0,66	51 % bis 66 %	3 Kerzen
0,67 bis 0,83	67 % bis 83 %	4 Kerzen
0,84 bis 1,00	84 % bis 100 %	5 Kerzen

9 Verifizierung

In den vorangegangenen Kapiteln wurde ein System von Messvorschriften vorgestellt, das, auf die Beleuchtung am Kraftfahrzeug angewendet, eine objektive Bewertung ergeben soll. Dieses System wurde rein theoretisch mit wissenschaftlich fundierten Erkenntnissen entwickelt. Darüber hinaus muss es aber das Unfallgeschehen und für die Akzeptanz beim Verbraucher möglichst auch die subjektive Beurteilung von Kraftfahrern widerspiegeln.

Die Basis für die Beurteilung der seitlichen und hinteren Beleuchtungseinrichtungen am Fahrzeug bildeten im Wesentlichen wissenschaftlich fundierte Erkenntnisse zur Erkennbarkeit bzw. zur Blendung von Signalleuchten. Bei Scheinwerfern gibt es aber immer noch Interpretationsspielraum zur Definition einer „guten Beleuchtung“. Deshalb wird in einer Versuchsreihe festgestellt, ob die Klassifizierung der Scheinwerfer, wie sie bei dem hier vorgestellten Verfahren gemessen und errechnet wurde, sich mit der Erfahrung und dem subjektiven Empfinden deckt.

Auf die Verifizierung der hinteren und seitlichen Beurteilung sowie der Innenbeleuchtung anhand von Versuchsreihen wurde verzichtet, da der Umfang einer solchen Untersuchung durch die Vielzahl von Funktionen innerhalb einer solchen Arbeit kein vernünftiges Ergebnis liefern kann. Die Demonstration der technischen Machbarkeit der vorgestellten Beurteilung wird exemplarisch an der Vermessung der seitlichen und hinteren Lichteinrichtungen sowie der Innenbeleuchtung eines Fahrzeuges erbracht.

Zur Verifizierung der Bewertung der Scheinwerfer sollen mehrere Scheinwerfer durch Versuchspersonen in ihrer Wirkung beurteilt werden. Das Ergebnis sollte sich mit der Berechnung decken. Nur dann

kann von einer korrekten Beurteilung ausgegangen werden.

Die vorgestellten Bewertungsvorschriften sind nicht an einen bestimmten Versuchsaufbau geknüpft. Im Folgenden werden zwei Versuchsaufbauten vorgestellt, mit denen die Verifikation durchgeführt worden ist. Weitere Messmöglichkeiten werden erläutert.

9.1 Versuchsaufbau Scheinwerfervergleich

Das hier vorgestellte Verfahren geht von kompletten Fahrzeugen aus, bei denen die Scheinwerfer nicht ausgebaut werden, sondern im Fahrzeug verbleiben. Da das menschliche „Gedächtnis“ für die Beleuchtung durch Scheinwerfer sehr schlecht ist, wird versucht, die Bedingungen möglichst einfach, reproduzierbar und in schnellem Wechsel zu gestalten.



Bild 9.1: Messgestell mit einer aufgesetzten Scheinwerferhalterung



Bild 9.2: Messgestell mit aufgesetzten Scheinwerferhalterungen

Hierzu wurde ein Messgestell entwickelt, auf das in kürzester Zeit verschiedene Scheinwerfer in der gleichen Position wie am Fahrzeug montiert werden können. Das Gestell ist in Bild 9.1 zu sehen. Bild 9.2 zeigt es mit einem aufgesetzten Scheinwerferpaar.

9.2 Vorgehensweise zur Beurteilung

Mehrere Personen können gleichzeitig am Versuch teilnehmen und stellen sich hinter dem Gestell mit den Scheinwerfern auf. Das Licht wird eingeschaltet und den Versuchspersonen Zeit gegeben, sich über die Güte des Scheinwerfers ein Bild zu machen. Dabei sollen sie bewusst die Merkmale wie Reichweite, seitliche Ausleuchtung, Gleichmäßigkeit usw. beobachten. Danach wird das Licht ausgeschaltet, ein zweites Scheinwerferpaar montiert und dieses eingeschaltet. Die Umbauzeit sollte möglichst kurz gehalten werden. Die Personen müssen nun ein Urteil abgeben, welcher Scheinwerfer der bessere war; Scheinwerfer A oder Scheinwerfer B. Es werden immer nur zwei Scheinwerfertypen miteinander verglichen. Durch geschickte Zusammenfassung von Paaren lässt sich eine Rangfolge unter den Scheinwerfern ermitteln.

Im Falle von vier Scheinwerfern bedeutet dies:

1. Beurteilung:
Scheinwerfer 1 ↔ Scheinwerfer 2
2. Beurteilung:
Scheinwerfer 3 ↔ Scheinwerfer 4
3. Beurteilung:
Scheinwerfer 1 ↔ Scheinwerfer 3
4. Beurteilung:
Scheinwerfer 2 ↔ Scheinwerfer 4
5. Beurteilung:
Scheinwerfer 2 ↔ Scheinwerfer 3
6. Beurteilung:
Scheinwerfer 1 ↔ Scheinwerfer 4

Man kann erkennen, dass alle Permutationen (ohne Wiederholung) vorhanden sind. Wenn man jeweils einen Punkt für den besseren Scheinwerfer vergibt, erhält im Idealfall der Beste drei Punkte, der Nächste zwei Punkte, der darauf Folgende einen Punkt und der Schlechteste keinen Punkt.

Diese Rangfolge müsste dann die bewertete Rangfolge nach der hier vorgestellten Methode widerspiegeln.

Der Nachteil dieser Beurteilung ist der stark steigende Zeitaufwand bei einer gering steigenden Anzahl von Scheinwerferpaaren. Um eine größere Zahl von Scheinwerfern beurteilen zu können, wird der folgende Versuchsaufbau benutzt.

9.3 Versuchsaufbau Scheinwerfervergleich mit Fragebögen

Das Messgestell ist auf einem ebenen Platz aufgestellt. Der Raum vor den Scheinwerfern ist auf einer Breite von insgesamt 20 m frei. Links und rechts dieser Gasse sind mit einem seitlichen Abstand von 5 m und einem frontalen Abstand von 10 m Sehobjekte in Entfernungen von 10 m, 20 m, 30 m, 40 m und 50 m aufgestellt, siehe Bild 9.3. Diese Sehobjekte bestehen aus einer 40 x 40 cm großen schwarzen Fläche mit einem Reflexionsgrad von 5 Prozent. Die Tiefe der Sehobjekte ist minimal, so dass die sichtbare Fläche nicht durch Seitenteile verändert wird.

Die Scheinwerfer werden auf den in Bild 9.1 gezeigten Gestellen montiert. Pro Beurteilung wird nur ein Scheinwerferpaar montiert und eingeschaltet. Die Versuchspersonen notieren ihre Eindrücke in einem Fragebogen. Als Anhaltspunkte benutzen sie die Erkennbarkeit der verteilten Sehobjekte. Sie tragen in den Fragebögen für jede der fünf Entfernun-

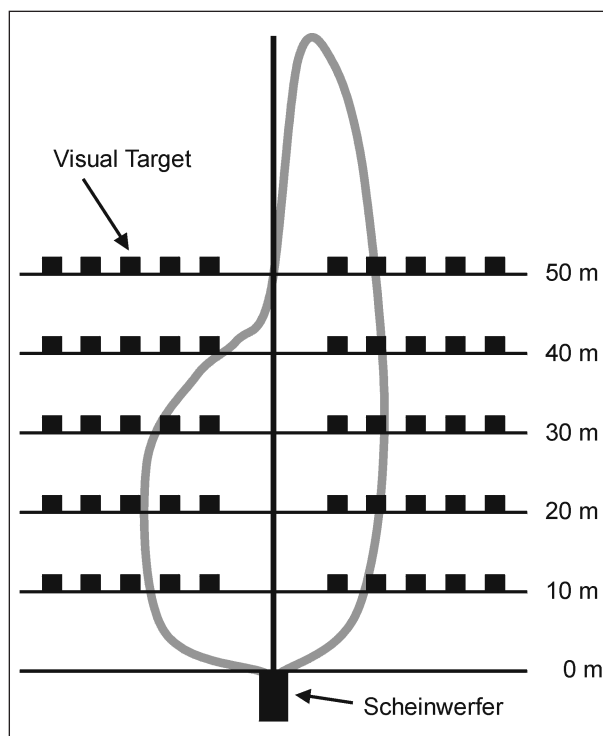


Bild 9.3: Anordnung der Sehobjekte und Scheinwerfer

Scheinwerferpaar	Bewertung durch Personen	Bewertung durch Messung
A	6	4
B	5	6
C	1	2
D	3	3
E	2	5
F	2	1
G	4	6

Tab. 9.1: Bewertung von Leistung – Breite

gen die Anzahl der Sehobjekte ein, die sie auf der rechten, und die Anzahl, die sie auf der linken Seite sehen. Entgegen der weiter oben vorgestellten Beurteilung können sie nicht mehr fast unmittelbar Scheinwerferpaare miteinander relativ vergleichen, sondern müssen ein einziges Scheinwerferpaar absolut bewerten.

Durch Vergleich der Beurteilungen aller Versuchspersonen kann anhand der ausgewerteten Fragebögen eine Reihenfolge aufgestellt werden, die mit der Reihenfolge der mit der hier vorgestellten Bewertungsmethode errechneten Werte übereinstimmen sollte. Diese beiden Reihenfolgen sind in Tabelle 9.1 für die Bewertung der Breite des Abblendlichtes in der Rubrik Leistung gezeigt. Dabei beginnt die Ordnung in den Tabellenspalten Bewertung mit 1 für den besten Scheinwerfer. Sind zwei Scheinwerfer gleich bewertet worden, so erhalten sie die gleiche Ordnungszahl.

Die Reihenfolge zwischen subjektiver und objektiver Bewertung stimmt nicht exakt überein. Wenn jedoch eine Toleranzbreite von einem Bewertungsschritt gewählt wird, dann ist die Bewertung für die Scheinwerferpaare B, C, D und F identisch.

9.4 Versuchsaufbau Fahrzeugvergleich

Die Bewertung eines einzelnen Fahrzeuges nach der im Folgenden vorgestellten Methode erfordert das Vermessen aller lichttechnischen Einrichtungen. Im Folgenden wird eine Vorgehensweise erläutert, bei der für diese Messungen keine Bauteile aus dem Fahrzeug entfernt werden müssen.

Die jeweilige zu messende Lichtfunktion muss die einzige aktive Lichtquelle darstellen. Daher müssen die Messungen bei Dunkelheit durchgeführt werden. Als dunkel kann eine Fahrzeugumgebung aufgefasst werden, wenn sowohl die vertikalen als

auch die horizontalen Beleuchtungsstärken im gesamten Messfeld bei ausgeschalteter Fahrzeugbeleuchtung maximal 0,03 lx betragen. Dadurch ist gewährleistet, dass der kleinste zu erwartende Messwert eine Zehnerpotenz größer als diese Umfeldhelligkeit ist.

Als Messorte empfehlen sich daher Straßenabschnitte in Tunneln, wobei hier die Lichtreflexion an den Tunnelwänden und der Decke durch entsprechende Blenden zu unterdrücken ist. Geeignet sind auch Straßenabschnitte in entsprechend großen Hallen. Auch hier ist durch entsprechende Blenden das Streulicht zu unterdrücken.

Bei dunkler, trockener Nacht (kein Vollmond, kein Niederschlag, kein Nebel) kann auch auf freien, gesperrten Straßenabschnitten oder Flugfeldern gemessen werden. Zu beachten sind hierbei jedoch die notwendige Messzeit und der Zeitbedarf für den Auf- und Abbau der Blenden und weiterer Hilfsmittel, sodass für eine Bewertung meist mehrere Nächte benötigt werden.

Für die Messung wird das Fahrzeug auf eine 20 cm hohe Rampe gefahren. Diese befindet sich auf einem geraden Straßenabschnitt oder einer anderen ebenen Fläche ausreichender Ausdehnung (minimal 150 m lang entsprechend der Messung für „Leistung – Reichweite – Rechter Straßenrand“ und minimal 25 m breit zu beiden Seiten entsprechend der Messung für „Leistung – Breite“). Das Fahrzeug wird auf der Rampe mit seiner Fahrzeuglängsachse parallel zu der Straßenlängsrichtung ausgerichtet. Für die horizontale Ausrichtung ist das Fahrzeug eventuell durch Unterlegen von dünnen Platten unter den Rädern zu justieren.

Die Straße wird vor dem Fahrzeug mit vertikalen Blenden versehen. Diese sind so aufzustellen, dass sich die Straßenoberfläche vollständig im Schatten befindet (Bild 9.4). So trifft kein direktes Licht auf die Straße, das reflektiert werden könnte. Die Oberfläche der Blenden muss mattschwarz sein. Eventuell sind auf jeder Blende weitere Blenden als Lichtfalle anzubringen, sodass kein Licht von den Blenden auf die Straße zurückreflektiert wird. Die Höhe der Blenden ist möglichst hoch zu wählen, jedoch müssen alle Blenden unterhalb der virtuellen Straßenoberfläche enden. Daher bietet sich eine Blendenhöhe inklusive Standfüße der Blenden von 20 cm an.

Die Qualität dieser Streulichtunterdrückung wird kontrolliert, indem in 20 m Entfernung ($x = 20$ m) vor

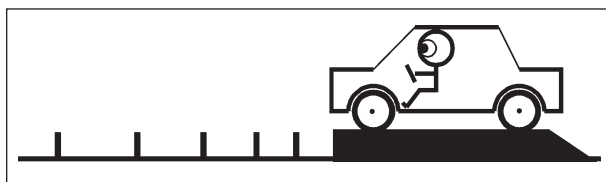


Bild 9.4: Fahrzeug auf Rampe mit vertikalen Blenden

dem Fahrzeug bei eingeschalteten Scheinwerfern die vertikale Beleuchtungsstärke $E_{\text{direkt} + \text{indirekt}}$ in Fahrzeugmitte ($y = 0$ m) in einer Höhe von 60 cm ($z = 0,6$ m) gemessen wird.

Darauf werden bei $x = 10$ m zwei Blenden in Höhe der Scheinwerfer aufgestellt, die von Größe und Position so zu wählen sind, dass kein direktes Licht von den Scheinwerfern auf den Messempfänger bei $x = 20$ m auftrifft. Die beiden Scheinwerferblenden müssen also größer als die größte Ausdehnung der leuchtenden Fläche der Scheinwerfer sein. Als Richtwert für die Größe dieser beiden Scheinwerferblenden wird 0,4 m auf 0,4 m gewählt. Der Messwert E_{indirekt} dieser indirekten Bestrahlung wird verglichen mit dem bei direkter und indirekter Bestrahlung $E_{\text{direkt} + \text{indirekt}}$ erhaltenen. Durch Variation der Positionen der vertikalen Blenden auf der Straße kann der Anteil der indirekten Bestrahlung minimiert werden. Bei dieser Variation der Blenden werden die beiden Scheinwerferblenden und der Messempfänger nicht verändert. Die vertikale Beleuchtungsstärke E_{indirekt} des Streulichtanteils sollte von der Größenordnung nicht größer sein als die Umfeldhelligkeit.

Bei allen Messungen mit aufgebocktem Fahrzeug ist zu beachten, dass das Koordinatensystem auf das Fahrzeug und die virtuelle Straße, 20 cm oberhalb der realen, bezogen ist. Der Messempfänger bei der Messung der Streulichtunterdrückung befindet sich daher 80 cm oberhalb der realen Straße.

Die Ausrichtung des Fahrzeuges in Bezug auf die Straße wird kontrolliert, indem am Fahrzeug ein Positionierlaser angebracht wird, der sein Licht parallel zu der Fahrzeuglängsachse abstrahlt. Ausgehend von diesem Laserstrahl wird bei Messungen der Y-Achsenabschnitt bestimmt.

Die Fahrzeuglängsachse kann bestimmt werden, indem ein Laser auf dem hinteren Ende des Kofferraumdeckels montiert wird. Der Laser ist exakt mittig ausgerichtet, gemessen von rechter Kante der Kofferraumöffnung zu linker Kante. Mit diesem

Laser wird ein Punkt auf der Motorhaube angepeilt, der dort wieder genau mittig zwischen rechter Kante der Motorraumöffnung zu linker ermittelt wird. Der Laserstrahl befindet sich dann auf einer senkrechten Ebene, auf der auch die Fahrzeuglängsachse ist. Wird anstelle eines Laserstrahls ein vertikaler Laserfächer eingesetzt, so wird die X-Achse des Fahrzeuges auf die Straße projiziert. Alternativ kann die Fahrzeuglängsachse bestimmt werden, indem die Verbindung der Mitten zwischen den Reifenaufstandsflächen oder den Achsenenden, auf der Standfläche vermessen, verlängert wird.

Wenn die Straßenoberfläche nicht eben ist, wird für die Markierung der virtuellen Straßenoberfläche ein Nivellierlaser eingesetzt. Dieser wird seitlich von dem Fahrzeug positioniert, sodass er kein Licht abschattet. Seine Höhe wird auf $z = 0$ m eingestellt. Ausgehend von diesem Laserstrahl, der in der Z-Ebene rotiert werden kann, wird bei Messungen der Z-Achsenabschnitt, die Höhe über der Straße, bestimmt.

9.5 Konstante Spannungsversorgung

Die Bordspannung kann je nach Leuchtmittel einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Messwerte ausüben. Dies wird näher bei den Begriffsdefinitionen unter dem Stichwort Spannungsfaktor erläutert. Für die Reproduzierbarkeit der Messungen ist es notwendig, bei einer festgelegten Spannung zu messen. In dem Abschnitt „Sicherheit – Lebensdauer“ wird beschrieben, dass die Spannung bei einer konstanten Geschwindigkeit von 100 km/h gemessen wird. Da die lichttechnischen Messungen nicht bei dieser Geschwindigkeit durchgeführt werden können, wird die Klemmenspannung der Batterie bei dieser Geschwindigkeit gemessen.

Für die lichttechnischen Messungen ist der Motor des Fahrzeuges ausgeschaltet, die Zündung jedoch ein. Die Batterie ist abgeklemmt. An ihre Anschlussleitungen werden die Leistungsleitungen eines Labornetzteiles angeschlossen, das auf die Batterieklemmenspannung bei 100 km/h eingestellt ist. Auch die Spannungsmessleitungen (Sense-Leitungen) des Netzteiles sind an die Klemmen der Batterieleitungen anzuschließen, damit das Netzteil die Spannungsverluste, die entlang der Leitung von Netzteil zu Batterieklemmen entstehen, ausgleichen kann.

9.6 Stabilisierung der Lampenlichtströme

Die Reproduzierbarkeit der Messwerte bedingt, dass die Lampenlichtströme konstant sind. Dies wird erreicht, indem die Messungen nicht sofort nach Einschalten der Lampen durchgeführt werden, sondern erst nach der jeweiligen Stabilisierungsphase. Diese ist für unterschiedliche Lampentechnologien und Leuchtenkonstruktionen sehr unterschiedlich.

Bei Glühlampen sind mindestens 15 Minuten, bei Halogenglühlampen 30 Minuten abzuwarten. Gasentladungslampen, zu denen die so genannten Xenon-Lampen zählen, benötigen mindestens 70 Minuten Stabilisierungszeit [LTI, 2005].

Dies bedeutet jedoch nicht, dass Lampen im Fahrzeug erst nach etlichen Minuten Brenndauer einsatzfähig sind. Schon nach Sekunden wird über 80 % des Lichtstromes im stabilisierten Betrieb abgegeben. Dies ist in Bild 9.5 zu sehen. Aus diesem Bild ist jedoch auch ersichtlich, dass für reproduzierbare Messungen mit minimalen Messfehlern erst nach Ende des Stabilisierungsvorgangs mit Messungen begonnen werden sollte.

Im Zweifelsfall ist die relative Lichtstromänderung der Leuchte über die Zeit aufzunehmen und mit den Messungen erst zu starten, wenn die Änderungen während zehn Minuten deutlich kleiner ein Prozent sind.

9.7 Messung von Leuchtdichten

Für die Messung der Leuchtdichten sind keine Blenden auf der Straße erforderlich. Durch die Konstruktion der Messgeräte bedingt wird nur Licht innerhalb eines festen Raumwinkels, in dem sich das Messfeld befindet, gemessen. Streulicht hat keinen Einfluss auf das Ergebnis. Da das Messfeld eventuell größer als die Fläche der zu messenden Leuchte ist, sind alle angrenzenden Leuchten auszuschalten.

Die Fläche des Messfeldes ist in dem Abschnitt „Begriffsdefinitionen – Leuchtdichte“ angegeben. Bei einer Leuchtdichtemessung ist durch das Messgerät der Raumwinkel vorgegeben. Licht innerhalb dessen wird bei einer Messung berücksichtigt. Durch Variation des Abstandes von Messgerät zu Messobjekt wird die Größe des Messfeldes eingestellt. Um den benötigten Abstand möglichst schnell

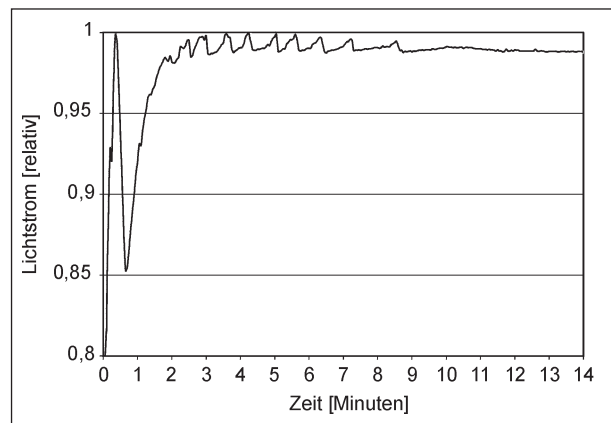


Bild 9.5: Einschaltverhalten einer D2S-Lampe eingebaut im Fahrzeugscheinwerfer

zu finden, ist es hilfreich, eine Schablone anzufertigen, die einer Kreisfläche mit dem Radius 30 mm entspricht. Diese Schablone wird neben einer zu messenden Leuchte angebracht. Mit dem Messgerät wird auf die Schablone gezielt. Der Abstand wird so lange variiert, bis der Raumwinkel des Messgerätes die Schablone exakt umfasst. Dann wird mit dem Messgerät auf die Leuchte gezielt und die Messung der Leuchtdichte durchgeführt.

9.8 Messung von Beleuchtungsstärken

Viele der vorgestellten Bewertungsvorschriften beruhen auf gemessenen Beleuchtungsstärken. Als Messgeräte bieten sich portable Geräte mit einer Mindestempfindlichkeit von 0,01 lx an.

Direkt an dem Messkopf ist ein Positionierlaser anzubringen, der Licht parallel zu der Flächennormalen des Empfängers abstrahlt. Während der Messungen vertikaler Beleuchtungsstärken außerhalb des Fahrzeuges wird der Empfänger so positioniert, dass der Laserstrahl immer auf den Koordinatenursprung ($x = 0 \text{ m}$, $y = 0 \text{ m}$, $z = 0 \text{ m}$, das ist die Mitte der Fahrzeugvorderkante auf der virtuellen Straßenoberfläche) leuchtet. Die Empfängerfläche ist dabei parallel zur x-z-Ebene. Die so gemessenen Beleuchtungsstärken sind genau betrachtet keine vertikale Beleuchtungsstärken, da bei Messungen über der Straßenoberfläche ($z > 0 \text{ m}$) der Messempfänger etwas nach unten gekippt wird. Die Flächennormale der Empfängerfläche ist dabei parallel zu dem Radius der Kugel um den Koordinatenursprung. Die durch diese Verkippung entstehende Messungenauigkeit ist jedoch klein gegenüber anderen Messunsicherheiten, da nur um kleine Winkel nahe 0° verkippert wird und die Winkelab-



Bild 9.6: Beleuchtungsstärkemessgerät mit Ziellaser

hängigkeit der Beleuchtungsstärke einer Cosinus-Funktion entspricht. Für den eigentlichen Messvorgang ist der Laserstrahl auszuschalten. In Bild 9.6 ist eine mögliche Realisierung von solch einem Messgerät aufgezeigt. Der Beleuchtungsstärkemesskopf selbst ist innerhalb der gezeigten Röhre untergebracht und so vor Streulicht geschützt.

Für die Messung horizontaler Beleuchtungsstärken außerhalb des Fahrzeuges ist ein Laser parallel zu der Empfängerfläche anzubringen. Auch hier wird der Empfänger so positioniert, dass der Laser den Koordinatenursprung anpeilt.

Für einige Messungen (z. B. Reichweite – Rechter Straßenrand) ist die Position eines bestimmten Ortes zu ermitteln, an dem eine vorgegebene Beleuchtungsstärke vorliegt. Dazu ist es praktisch, den Beleuchtungsstärkemesser bei der vorgegebenen Höhe auf einem Wagen zu befestigen und diesen auf der Straße zu bewegen. So kann die Position des Ortes schnell gefunden werden. Für die Vermessung einer Kreisbahn ist der Wagen an eine Schnur zu binden, die im Kreismittelpunkt (dem Koordinatenursprung) befestigt ist.

9.9 Messung blinkender Leuchten

Die Messung der Beleuchtungsstärken, Lichtstärken und Leuchtdichten von Fahrtrichtungsanzeigern wird durchgeführt, während diese blinken. Die Messung hat anhand ECE-R 6 Abschnitt 6.3 [ECE, 2005] zu erfolgen, wobei auch Glühlampen blinkend zu messen sind. Als Messgerät wird hierbei ein schnelles Photometer benötigt. Mit einer

entsprechenden Blende direkt vor der Leuchte kann somit auch die gemittelte Leuchtdichte gemessen werden. Bei den Messungen, die mit Blinklicht vorgenommen werden, ist die angegebene lichttechnische Größe (Beleuchtungsstärke, Lichtstärke oder Leuchtdichte) die maximale lichttechnische Größe.

Technisch gesehen bietet sich die Alternative, die Spannung an der Leuchte im blinkenden Betrieb mit einem Oszilloskop zu messen. Die Leuchte wird darauf vom Bordnetz getrennt und die gemessene Spannung mit einer externen Spannungsversorgung nicht blinkend an der Leuchte angelegt. Nun kann der Fahrtrichtungsanzeiger mit den gleichen Messgeräten gemessen werden, mit denen die nicht blinkenden Leuchten gemessen werden. Bei diesem Messverfahren wird das Problem der Messung blinkender Größen von den lichttechnischen auf die elektrischen Signale verlagert. Daher wird anstelle eines schnellen Photoempfängers ein Oszilloskop benötigt.

Bei Messungen im nicht blinkenden Betrieb werden bei einigen Leuchten deutliche Unterschiede der Messwerte im Vergleich zu den im blinkenden Betrieb ermittelten festzustellen sein. So wird die Lichtstärke von LED im blinkenden Betrieb höher als im nicht blinkenden Betrieb sein. Daher ist für alle Messungen das gleiche Messverfahren zu benutzen. Da das Messverfahren möglichst nahe am realen Geschehen im Verkehr orientiert sein soll, ist blinkend mit dem im Fahrzeug eingebauten Blinkgeber zu messen.

9.10 Messung von Lichtstärken

Lichtstärke und Beleuchtungsstärke sind über das Entfernungsquadrat miteinander verknüpft, wie in Formel 9.1 ersichtlich ist.

$$I = E \cdot r^2$$

Formel 9.1: Photometrisches Entfernungsgesetz

Daher kann zur Messung der Lichtstärken das oben vorgestellte Messgerät zur Messung vertikaler Beleuchtungsstärken benutzt werden. Der Abstand r kann festgelegt werden, indem ein Draht mit 25 m Länge an dem Koordinatenursprung und dem Messgerät befestigt wird.

Der Abstand r sollte entsprechend dem photometrischen Entfernungsgesetz und dessen Fehlerbeurteilung gewählt werden. Dies bedeutet, dass der

minimale Messabstand abhängig von der Art der zu messenden Leuchte ist.

Als Faustformel gilt, dass der Abstand r das Zehnfache der maximalen Leuchtausdehnung, dies ist meist die Diagonale der leuchtenden Fläche, aufweisen muss. Bei diesem Verhältnis beträgt der durch die Messgeometrie vorgegebene Messfehler 1 %.

Bei Flächen, die nicht mit lambertförmiger Charakteristik abstrahlen, gilt dieses Gesetz nicht, da in solchen Fällen von der virtuellen Leuchtenfläche auszugehen ist. Daher ist bei der Messung von Scheinwerfern ein deutlich größerer Messabstand erforderlich.

Die als Abstand r vorgeschlagenen 25 m entsprechen dem derzeit in den ECE-Regelungen gewählten Wert für Scheinwerfer.

Für Leuchten wird 5 m als Messabstand vorgeschlagen. Daher ist zur Messung der rückwärtigen Leuchten ein entsprechend kürzerer Draht zwischen Fahrzeug und Messgerät zu wählen. Bei 25 m Messabstand kann oft ein zu schwaches Signal am Messgerät anliegen. Vorgeschlagen werden 5 m Messabstand mit Befestigung des Drahtes an der zu messenden Leuchte. Dies entspricht einer typischen Messgeometrie zur Messung von Leuchten auf Goniometern. Die karosserie seitige Befestigung des Drahtes kann mit starken Magneten oder Saugnäpfen geschehen, die auf der Fahrzeugkarosserie haften und eine Befestigungsöse für den Draht besitzen.

9.11 Messung von Rückstrahlwerten

Unter Laborbedingungen ist die Messung von Rückstrahlwerten mit besonderer Vorsicht durchzuführen, da die Rückstrahlfähigkeit stark vom Beleuchtungs- und Beobachtungswinkel abhängig ist. Die Einstellgenauigkeit dieser Winkel sollte im Winkelminutenbereich liegen. Wenn die Rückstrahler im Fahrzeug eingebaut sind, fällt es sehr schwer, eine hohe Winkelgenauigkeit zu erreichen. Dadurch kann keine hohe Genauigkeit bei der Bestimmung von Rückstrahlwerten erreicht werden.

Für die praktische Durchführung von Rückstrahlwertmessungen wird ein Messgerät benötigt, das von Hand positioniert werden kann. Vorgeschlagen wird ein Messgerät, bei dem eine Taschenlampe (der hellere Stab in Bild 9.7) mit einem stark gebündelten Lichtstrahl direkt an einem Beleuch-

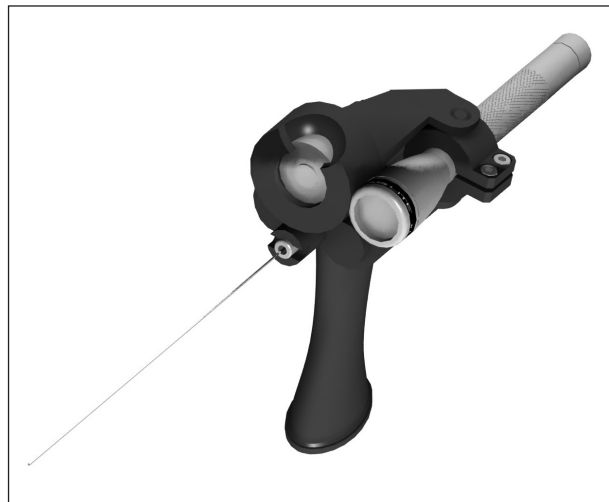


Bild 9.7: Rückstrahlwertmessgerät

tungsstärkemesskopf befestigt ist. Die Flächennormale des Messkopfes und der Lichtstrahl der Lampe sind parallel zueinander ausgerichtet. Der Abstand des Lichtstrahlmittelpunktes und des Messkopfes beträgt 30 mm. Wenn die Messentfernung zwischen Rückstrahler und Messgerät 5 m beträgt, ist der Beobachtungswinkel durch diese Geometrie auf 20 Minuten festgelegt. Als Zielhilfe ist ein Laser an dem Messkopf angebracht, mit dessen Hilfe der zu messende Rückstrahler angepeilt werden kann.

Die Messung eines Rückstrahlwertes erfolgt in zwei Schritten.

Zuerst wird der Beleuchtungsstärkemesskopf dem Messgerät entnommen und in 5 m Entfernung vor dem Messgerät positioniert, sodass er sich im Lichtkegel der Beleuchtungseinheit befindet. Die Beleuchtungsstärke E wird gemessen.

Darauf wird der Messkopf wieder im Messgerät installiert, der zu messende Rückstrahler in der Messentfernung $r = 5$ m angepeilt und die reflektierte Beleuchtungsstärke E_R gemessen. Der Lichtkegel darf nur den Rückstrahler beleuchten. Andere Fahrzeug- oder Leuchtenteile im Lichtkegel sind mit absorbierenden Materialien (zum Beispiel schwarzem Stoff) abzudecken.

Der Rückstrahlwert R errechnet sich laut Formel 9.2 aus den beiden gemessenen Beleuchtungsstärken und dem Messabstand $r = 5$ m.

$$R = \frac{E_R \times r^2}{E}$$

Formel 9.2: Rückstrahlwert

Die Beleuchtungseinheit (Taschenlampe) muss während der beiden Messschritte konstant leuchten. Das Messfeld muss gleichmäßig ausgeleuchtet sein. Das Spektrum der Lichtquelle muss der Normlichtart A entsprechen. Diese Anforderungen erreicht eine nach dem Projektionsprinzip konstruierte Beleuchtungseinheit, bestückt mit einer Glühlampe, am leichtesten.

9.12 Messung von Gradienten

Für die Messung der Gleichmäßigkeit muss der Gradient des Beleuchtungsstärkeverlaufes auf einer Linie gemessen werden. Dies kann durchgeführt werden, indem in gleichmäßigen Abständen eine bestimmte Anzahl von Messwerten mit einem portablen Beleuchtungsstärkemessgerät aufgenommen wird.

Halbautomatisiert werden kann die Messung mit einem speziellen Gradientenmessgerät, bei dem in einem Abstand von 100 mm zwei Photometerköpfe angebracht sind. Die Anzeige des Messgerätes zeigt die Differenz zwischen den Messwerten beider Messköpfe an. Wird dieses Messgerät auf einer Linie entlang geführt, so kann direkt der maximale Gradient abgelesen werden.

Vollautomatisiert werden kann die Messung durch ein Abscannen des betreffenden Bereiches.

9.13 Versuchsdurchführung zur Messung der Wirkung von Scheinwerferreinigungsanlagen

Es gibt verschiedene Funktionsprinzipien für Scheinwerferreinigungsanlagen. Bei Scheinwerfern mit Glasabschlussscheibe werden Scheibenwischer und Niederdruck-Wasserdüsen eingesetzt. Bei Kunststoffscheiben werden Hochdruck-Wasserdüsen eingesetzt. Die Abstrahlrichtung des Wassers kann durch ein Verdrehen der Düsenköpfe eingestellt werden. Die Düsen sind meist als Kugelhöcker ausgebildet, die durch Einführen einer dünnen Nadel in die Sprühöffnung verdreht werden können.

Die Reinigungswirkung ist stark von der DüsenEinstellung abhängig. Derzeit liegen keine Daten vor, in welchem Maße die Düsen bei Neuwagen korrekt eingestellt sind. Sind die Düsen bei Neuwagen nicht korrekt eingestellt, können bei der Ermittlung der Reinigungswirkung leicht Werte unter den ge-

setzlich geforderten 70 % gemessen werden. Bei der Messung nach ECE werden die Düsen exakt eingestellt. Bei einer Messung für ein NCAP sind die Düsen im Auslieferungszustand des Fahrzeugs zu belassen. Daher sind Reinigungswirkungen bis hinab zu 0 % bei komplett fehlerhaft eingestellten Düsen möglich.

Durch die Verschmutzung der Scheinwerfer erhitzen sich diese sehr stark. Bei der Reinigung trifft kaltes Wasser auf die erhitzte Abschlussscheibe. Dabei kann es zu thermischen Spannungen kommen, die den Scheinwerfer beschädigen. Dieses Problem ist bei Abschlussscheiben aus Glas bekannt. Die Überprüfung der Reinigungswirkung sollte daher als letzte Bewertung erfolgen. Ein Scheinwerfer, der bei dieser Prüfung zerstört wird, ist mit 0 Punkten zu bewerten.

9.14 Versuchsaufbau in einer Messhalle

Ziel einer lichttechnischen Messung für die Fahrzeugbewertung ist, alle relevanten Größen eines Fahrzeuges ohne Demontage von Leuchten möglichst schnell messen zu können. Die in den vorangegangenen Abschnitten erläuterten Methoden sind anzuwenden, falls sehr wenige Fahrzeuge zu bewerten sind.

Die Justierung des Fahrzeuges exakt parallel zur Straßenachse ist zeitaufwändig. Durch die Messung im Freien bedingt, kann es zu erheblichen Zeitplanverschiebungen kommen, da nur nachts und bei trockener Straße gemessen werden kann. Auch finanziell ist solch eine Messung für eine große Anzahl von Fahrzeugen nicht akzeptabel, da sie mit einem enormen Zeitaufwand, viel Nacharbeit und damit hohen Personalkosten verbunden ist. Weiterhin muss ein geeignetes Straßenteilstück zur Verfügung stehen und für den Messzeitraum für jeglichen Verkehr gesperrt werden.

Um unabhängig von Umwelteinflüssen (Regen, Nebel, Schnee, Störlicht durch Mondschein) und tagsüber messen zu können, ist es zwingend erforderlich, in einem Gebäude zu messen. Aufgrund des photometrischen Entfernungsgesetzes und der vorgestellten Bewertungsvorschriften muss ein Messradius von 25 m zur Verfügung stehen. Die Strecke vor dem Fahrzeug muss 150 m betragen. Diese Fläche (50 x 150 m) muss frei von Stützen sein.

Die gesamte Bewertung eines Fahrzeuges mit den vorgestellten Hilfsmitteln in einer geeigneten Halle dauert ca. zwei Mannarbeitstage. Jedoch steht derzeit keine Halle mit den geforderten Abmessungen für lichttechnische Messungen zur Verfügung, die vollständig verdunkelt werden kann.

9.15 Versuchsaufbau Fahrzeuggoniometer

Die exakte Positionierung des Fahrzeuges auf der Messebene und das Einstellen der Lage der einzelnen Messpunkte können durch ein Fahrzeuggoniometer, montiert in einer Messhalle, erheblich vereinfacht werden.

Im Koordinatenursprung der Messebene, am Anfang der 150-m-Strecke und in der Mitte der Hallenbreite, wird das Fahrzeug auf einer Plattform positioniert. Wie schon bei den Messungen auf der Straße wird sämtliches Streulicht durch Blenden unterbunden. Die Plattform, auf der das Fahrzeug abgestellt wird, ist in X- und Y-Richtung um mindestens 0,1 m verschiebbar, um das Fahrzeug exakt positionieren zu können. Weiterhin ist die Plattform um die vertikale Achse drehbar und eben.

Die Realisierung einer solchen Plattform kann kostengünstig durchgeführt werden. Der Unterbau eines Kranes mitsamt Drehkranz erfüllt die Anforderungen und ist stabil genug, um sogar Lkw aufnehmen zu können.

Sämtliche Seitenwände der Halle sind mit Blenden versehen, die jedes eintreffende Licht vollständig absorbieren.

Mit solch einer Messeinrichtung sieht ein möglicher Messablauf folgendermaßen aus:

1. Ermitteln der Batteriespannung

Dazu ist das Fahrzeug mit einem kalibrierten Spannungsmessgerät zu bestücken, das die Spannung direkt an den Batterieklemmen abgreift. Die Messleitungen können frei am Fahrzeug verlegt werden. (Z. B.: Die Batterie befindet sich im Motorraum. Die Kabel werden durch den Kühlergrill nach außen geführt und an der Karosserie mit Klebeband fixiert. Durch ein Fenster werden sie in den Fahrgastraum gelegt.) Die Anzeige des Messgerätes wird gut sichtbar für den Fahrer angebracht, sodass dieser die Änderung der Spannung in Abhängigkeit von Drehzahl und Geschwindigkeit beurteilen kann. Dies gibt ihm

einen Anhaltspunkt, wie genau und wie lange er die vorgeschriebenen 100 km/h erreichen muss, um einen repräsentativen Spannungswert ablesen zu können. Das genaue Messvorgehen ist in Kapitel 5.7.2 Fahrzeugspannung beschrieben.

Bei der praktischen Durchführung dieser Messung an einem Oberklassefahrzeug änderte sich die Spannung während der Fahrt um deutlich weniger als 0,1 V, unabhängig von starker Beschleunigung, großen Steigungen und Einsatz der Motorbremse.

Der Zeitbedarf für diesen Punkt des Messablaufes beträgt ca. 45 Minuten, abhängig von der Entfernung des Labors zur nächsten Schnellstraße oder Autobahn.

2. Positionieren des Fahrzeuges auf der Drehplattform. Das Fahrzeug wird auf die Plattform gefahren und der Motor abgestellt. Die Batterie wird abgeklemmt und das Labornetzteil inklusive Sense-Leitungen angeschlossen. Die Zündung und das Licht wird eingeschaltet, damit sich die Lampen stabilisieren können.

An dem Fahrzeug wird ein Positionierlaser befestigt und das Fahrzeug durch die Verschiebetische und die Drehplattform auf die Hallenachse ausgerichtet.

Der Zeitbedarf beträgt ca. 30 Minuten.

3. Die lichttechnischen Messungen außerhalb des Fahrzeuges werden durchgeführt.

Dabei werden die Beleuchtungsstärkeempfänger automatisch auf den entsprechenden Bahnen bewegt. Wenn die Beleuchtungsstärkewerte und die zu messenden Lichtstärkewerte scannend gemessen werden, so ist für die Messung der Scheinwerfer horizontal mindestens 20° nach beiden Seiten zu messen. Zur Erfassung des Nahfeldes ist vertikal von 3° unterhalb der horizontalen Achse zu beginnen und zur Bewertung der Beleuchtung der Überkopf-Verkehrszeichen bis 16,5° oberhalb der Achse zu messen.

Der Zeitbedarf beträgt bei scannender Messung ca. 90 Minuten

Die Leuchtdichtemessungen werden mit einem Handmessgerät durchgeführt.

Der Zeitbedarf beträgt ca. 50 Minuten.

Der gesamte Zeitbedarf für die lichttechnischen Messungen außerhalb des Fahrzeuges beträgt ca. 140 Minuten

4. Messung des Innenraumes

Die mit Messempfängern bestückte Messpuppe wird auf den Fahrersitz gesetzt und damit die Bewertung des Innenraumes bezüglich vertikaler Beleuchtungsstärken durchgeführt. Alternativ kann die vertikale Beleuchtungsstärke ohne Messpuppe mit einem vertikal in Fahrtrichtung ausgerichteten Beleuchtungsstärkemesskopf bestimmt werden.

Die horizontalen Beleuchtungsstärken werden direkt vom Messpersonal ermittelt.

Der Zeitbedarf beträgt ca. 20 Minuten.

5. Bewertung der Zusatzfunktionen

Einige Bewertungsschritte werden durchgeführt, indem das Vorhandensein von Funktionen untersucht wird. Dies wird vom Messpersonal vorgenommen.

Der Zeitbedarf beträgt ca. 20 Minuten.

6. Ende der Bewertung

Die Zündung wird ausgeschaltet und das Labornetzteil abgeklemmt. Die Batterie wird angeklemt und das Fahrzeug von der Plattform heruntergefahren.

Der Zeitbedarf beträgt ca. 10 Minuten.

Der gesamte Messablauf inklusive Vorbereitung dauert vier bis fünf Stunden, wenn das Fahrzeug auf einem Goniometer montiert wird und die meisten Messpunkte durch Messgeräte aufgenommen werden, die automatisch auf den entsprechenden Bahnen bewegt werden.

9.15.1 Nahfeldgoniophotometrie

Der Punkt 3 des Messablaufes kann anstelle der oben beschriebenen Vorgehensweise, bestehend aus automatischer und manueller Messung, auch vollautomatisch durchgeführt werden. Dazu wird in geringer Entfernung zu dem Fahrzeug (ca. 2 m horizontaler Abstand) eine vertikale Verschiebeeinheit angebracht. Auf dieser wird eine Leuchtdichtekamera befestigt.

Das Fahrzeug wird auf der Drehplattform um diskrete Winkel gedreht. Die Kamera nimmt für jede Winkelposition in verschiedenen Höhen Leucht-

dichtebilder auf. Dabei ist die Kamera auf das Fahrzeug gerichtet. Zusammengesetzt kann aus diesen Bildern die Lichtstärkeverteilung jeder Leuchte ermittelt werden. Aus diesen Werten wiederum kann die Beleuchtungsstärke an jedem Ort berechnet werden.

Sowohl die Messung als auch die Berechnung können vollautomatisch durchgeführt werden. Somit lässt sich mit höheren Investitionskosten für die kalibrierte Kamera und eine speziell angepasste Software die Messzeit senken und der benötigte Platzbedarf enorm reduzieren. Es werden nur noch eine Drehplattform mit 6 m Durchmesser und eine Kamera in 2 m Entfernung benötigt, die in einem Raum der Größe 8 m auf 6 m platzierbar sind.

9.15.2 Leuchtdichtemessung mit Messschirm

Das vorgenannte Verfahren ist derzeit noch nicht „Stand der Technik“. Daher existiert noch keine dafür speziell angepasste Software. Die einzusetzenden mathematischen Verfahren sind sehr komplex und somit zeit- und kostenaufwändig.

Wenn derzeit vorhandene Messverfahren genutzt werden sollen, muss von Nahfeldgoniophotometrie auf Messung von Leuchtdichten auf einem planem Messschirm übergegangen werden. Dieses Verfahren ist schon heute im Einsatz.

Vor der Drehplattform ist ein Messschirm aufgestellt. Seine Entfernung beträgt 10 m für Scheinwerfer und 3 m für Leuchten. Der Messschirm wird von den Fahrzeugscheinwerfern beleuchtet. Die Kamera, angebracht nahe dem Koordinatenursprung, ist in Richtung Messschirm ausgerichtet. Aus den aufgenommenen Bildern kann die Lichtstärkeverteilung jeder Leuchte berechnet werden.

Dieses Messverfahren hat den Vorteil, dass es bei einigen Firmen schon aufgebaut und etabliert ist. Dort müssen eventuell nur Software-Updates eingespielt werden, um Messungen nach dem hier vorgestellten Bewertungsverfahren durchführen zu können.

Der Zeitbedarf beträgt zwei bis drei Minuten pro Leuchte oder Scheinwerfer. Der Messschirm darf jeweils nur von einer Leuchte beleuchtet werden. Die Umrüstzeit von einer Leuchte zu der nächsten beträgt eine Minute. Bei einem Pkw mit linkem und rechtem Scheinwerfer für Fern- und Abblendlicht, zwei Nebelscheinwerfern, vorderen und hinteren Fahrtrichtungsanzeigern, vorderen und hinteren

Begrenzungsleuchten, rechter, mittlerer und linker Bremsleuchte, zwei Nebelschlussleuchten und zwei Rückfahrcheinwerfern werden für Messzeit, Leuchtenumrüstzeit und Umrüstzeit des Messschirmes von 10 m auf 3 m ungefähr 90 Minuten benötigt.

Die Umrüstzeit zwischen den einzelnen Leuchten ist gering, da alle Leuchten am Anfang der Messung eingeschaltet und mit schwarzer, lichtundurchlässiger Folie abgedeckt werden. Die Folie kann mit Magneten bestückt werden und ist so sehr schnell an- und abmontierbar. Nur die zu messende Leuchte ist nicht abgedeckt.

9.16 Versuchsdurchführung mit Ausbau der Scheinwerfer

Die derzeit gängige Messmethode für eine Bewertung der Scheinwerfer stellt die Messung mit einem Scheinwerfergoniometer dar. Dafür müssen die Scheinwerfer aus dem Fahrzeug ausgebaut und auf einem Goniometer montiert werden.

9.16.1 Ausbau aus dem Fahrzeug

Vor dem Ausbau der Scheinwerfer aus dem Fahrzeug ist die Lage der Hell-Dunkel-Grenze zu dokumentieren. Dazu ist das Fahrzeug in 10 m Abstand vor einer weißen Wand zu positionieren. Die Höhe der Hell-Dunkel-Grenze über dem Boden wird für jeden Scheinwerfer einzeln gemessen.

9.16.2 Montage auf dem Goniometer

Der aus dem Fahrzeug ausgebaute Scheinwerfer wird von der Messperson auf dem Goniometer befestigt. Darauf wird das Abblendlicht eingeschaltet und die Lage der Hell-Dunkel-Grenze eingestellt. Auch hier strahlt der Scheinwerfer auf eine weiße Wand in 10 m Abstand und die Höhe der Hell-Dunkel-Grenze wird auf den gleichen Wert eingestellt, zusätzlich zu dem Offset der Goniometerhöhe wie im eingebauten Zustand. Diese Einstellung wird visuell vorgenommen und unterscheidet sich von Messperson zu Messperson.

9.16.3 Systematische Messfehler

Daher entstehen bei dieser Methode systematische Messfehler. So hängt die ermittelte Reichweite eines Scheinwerferpaares unter anderem von dem Messpersonal ab.

Versuchsperson	Messung	Reichweite
1	1	73 m
1	2	68 m
2	1	66 m
2	2	68 m
3	1	65 m
3	2	68 m
4	1	87 m
4	2	87 m

Tab. 9.2: Messung der Hell-Dunkel-Grenze durch vier verschiedene Messpersonen

Exemplarisch wurde dieser Einfluss mit einem Scheinwerfer untersucht, eingestellt durch vier verschiedene Messpersonen. Dabei stellt jede Messperson die Lage der Hell-Dunkel-Grenze des Scheinwerfers ein. Daraufhin wird der Scheinwerfer vermessen. Die Messung wird mit einer Messauflösung von $0,01^\circ$ durchgeführt. Bedingt durch die Messauflösung ergibt sich eine maximale Genauigkeit der Bestimmung der Reichweite von 1 m. Anhand der Messwerte wird die Lage der Hell-Dunkel-Grenze auf der Straße berechnet. Die Abweichungen, bedingt durch die unterschiedliche Einstellung des Scheinwerfers, sind in Tabelle 9.2 zu sehen.

Bei Betrachtung der Werte der Reichweite wird deutlich, dass eine visuelle Einstellung der Scheinwerfer mit zu großen Toleranzen verbunden ist. Deshalb muss der Scheinwerfer zwingend elektronisch eingestellt werden. Das Vorgehen ist in einem Vorschlag für Anmerkungen zur ECE-R 112, Annex 9 beschrieben [GRE, 2005].

9.16.4 Vergleich verschiedener Scheinwerfer

Die Scheinwerfer von sieben verschiedenen Fahrzeugen (Tabelle 9.3) werden mit einem Scheinwerfergoniometer gemessen. Dabei werden der rechte und der linke Scheinwerfer getrennt untersucht. Ein Scheinwerfer wird auf dem Messgerät montiert. Dann wird die Lage der Hell-Dunkel-Grenze visuell eingestellt und gewartet, bis sich die Lampe stabilisiert hat.

Es wird eine grobe Messung mit einer Auflösung von $0,5^\circ$ in dem Winkelbereich horizontal von -60° bis $+60^\circ$ und vertikal von -8° bis $+16,5^\circ$ durchgeführt. Die erhaltenen Messwerte werden benutzt, um die Zonen innerhalb von 25 m um das Fahrzeug zu bewerten. Darauf wird eine feine Messung mit einer Winkelauflösung von $0,05^\circ$ in dem Winkelbereich horizontal von -3° bis $+3^\circ$ und vertikal von -3°

Fahrzeug	Scheinwerfertechnologie
BMW 5er	Halogen Reflektor
Fiat Panda	Halogen Reflektor
Renault Modus	Halogen Reflektor
Citroën C4	Xenon Projektor
Ford Focus	Xenon Projektor
Mercedes A-Klasse	Xenon Projektor
Volvo V70	Xenon Reflektor

Tab. 9.3: Versuchsfahrzeuge

bis $+1^\circ$ durchgeführt. Mit diesen Werten wird die Reichweite der Scheinwerfer bestimmt.

Aus den ermittelten Lichtstärkeverteilungen errechnet eine Spezialsoftware die Beleuchtung verschiedener virtueller Ebenen. Dafür müssen die genauen Anbaupositionen, Scheinwerferanbauhöhe, Scheinwerferabstand und Scheinwerfereinstellwinkel der Software mitgeteilt werden.

Die Bewertung der Scheinwerfer findet anhand der vertikalen oder horizontalen Beleuchtungsstärkewerte auf den verschiedenen Ebenen statt. So wird für jede Bewertungsvorschrift die entsprechende Ebene erzeugt, die Beleuchtungsstärkeverteilung auf dieser errechnet und die Beleuchtungsstärkewerte für die Bewertung den Ebenen entnommen.

Als Beispiel ist in Tabelle 9.4 eine Ebene in 50 m Entfernung vor dem Fahrzeug angegeben. Auf dieser Ebene kann für die Bewertung der Blendung durch das Abblendlicht der Punkt B50L (vertikale Beleuchtungsstärke in 50 m Entfernung vor dem Fahrzeug am Auge des entgegenkommenden Fahrers) abgelesen werden. B50L befindet sich bei dem Fahrzeugkoordinatensystem an Position $x = 50$ m, $y = -3$ m. Die Höhe des Punktes befindet sich 0,45 m über dem Scheinwerfer. Im Beispiel wird das Fahrzeug „Volvo“ bewertet. Mit einer Scheinwerferanbauhöhe von 0,637 m errechnet sich die Z-Koordinate von B50L zu $z = 1,087$ m. Der Wert der vertikalen Beleuchtungsstärke bei B50L liest sich somit zu 0,16 lx aus der Tabelle ab.

Die Übereinstimmung der so ermittelten Werte mit den auf der realen Straße gemessenen ist exemplarisch an einem Scheinwerferpaar durchgeführt worden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 9.5 dargestellt.

Um einen Vergleich zu erhalten, wie relevant diese Unterschiede sind, sind in Tabelle 9.6 die Bewertungen der Scheinwerfer aller sieben Versuchsfahrzeuge angegeben. Es ist festzustellen, dass der

Volvo	0,637	0,750	0,862	0,975	1,087
4,000	5,39	5,39	1,67	1,67	1,67
3,500	7,14	7,14	1,06	1,06	1,06
3,000	7,58	7,58	0,37	0,37	0,37
2,500	4,57	4,57	0,24	0,24	0,24
2,000	3,27	3,27	0,25	0,25	0,25
1,500	1,09	1,09	0,23	0,23	0,23
1,000	0,38	0,38	0,22	0,22	0,22
0,500	0,37	0,37	0,21	0,21	0,21
0,000	0,35	0,35	0,20	0,20	0,20
-0,500	0,34	0,34	0,19	0,19	0,19
-1,000	0,34	0,34	0,17	0,17	0,17
-1,500	0,33	0,33	0,17	0,17	0,17
-2,000	0,32	0,32	0,16	0,16	0,16
-2,500	0,31	0,31	0,16	0,16	0,16
-3,000	0,30	0,30	0,16	0,16	0,16
-3,500	0,29	0,29	0,16	0,16	0,16
-4,000	0,28	0,28	0,16	0,16	0,16

Tab. 9.4: Vertikale Beleuchtungsstärkeverteilung auf einer Ebene bei $x = 50$ m, $y = -4...+4$ m, $z = 0,637...1,087$ m, Versuchsfahrzeug „Volvo“

Bewertung	Straße	Labor
4.3.2	1,63 %	2,47 %
4.3.3	2,54 %	2,55 %
4.3.4	0,14 %	0,21 %
4.4	0,44 %	0,13 %
4.8	1,40 %	1,43 %
6.5	1,00 %	1,00 %
7.2.1	0,20 %	0,03 %
7.2.2	2,00 %	2,00 %
Gesamt	9,35 %	9,82 %

Tab. 9.5: Vergleich der Bewertung basierend mit auf der Straße ermittelten Werten und mit Goniometer und Software ermittelten, Versuchsfahrzeug „Volvo“

Unterschied zwischen den auf der Straße und den im Labor ermittelten Messwerten desselben Scheinwerfers bei einigen Bewertungen genauso groß sind wie die Unterschiede zwischen verschiedenen Fahrzeugen. Dies ist bei den Punkten 4.3.2 und 4.4 der Fall.

Das Ergebnis der Bewertung von 4.3.2 ist stark von der Scheinwerfereinstellung und dem Rechenverfahren abhängig. So ergibt sich bei einer Absenkung des Scheinwerfers um 0,2 % eine Verringerung der Bewertung um 25 %. Bei gleicher Scheinwerfereinstellung (im Rahmen der Einstellgenauigkeit) und einer Verfeinerung des Mess- und Rechenverfahrens (deutlich mehr Messpunkte pro Fläche) ergibt sich eine um 20 % höhere Bewertung.

Die Messung der Ausleuchtungsbreite (für Bewertung von 4.4) gestaltet sich auf einer Straße, die keine 50 m breit ist, als sehr schwierig, da der Messempfänger auf zumeist unebenem Gelände auf der Kreisbahn mit dem Radius 25 m bewegt werden muss. Abweichungen der Höhe des Empfängers von den geforderten 0,8 m über der Fahrbahn sind nicht zu vermeiden.

An zwei unterschiedlichen Nächten wurde mit demselben Scheinwerferpaar jeweils die gleiche Messung durchgeführt. Die Breite der gemessenen Ausleuchtung auf der linken Seite des Fahrzeuges variierte dabei von 22° zu 29°. Der im Labor ermittelte Wert beträgt 18°. Die Werte für die Ausleuchtung der rechten Seite sind zwischen Straßen- (17°) und Labormessung (16°) fast gleich.

Das Ergebnis der Bestimmung im Labor ist in Bild 9.8 dargestellt. Dabei ist die 0,5-lx-Isoluxlinie durch die dünne Linie gekennzeichnet, die Fahrzeugachse und der Kreis mit 25 m Radius durch die dicke

Linie. Die Isoluxlinie ist gezackt dargestellt, da die Messwerte der scannenden Scheinwerfermessung nicht interpoliert wurden.

Der Schnittpunkt der Isoluxlinie mit dem Kreis gibt den Winkel der Ausleuchtung zur jeweiligen Fahrzeugseite an. Von diesem Schnittpunkt ist eine Linie zur Fahrzeugmitte eingezeichnet (schräge dicke Linie), um den Ausstrahlwinkel aufzuzeigen.

Die Schlussfolgerung aus diesen und anderen Messunsicherheiten wird im letzten Kapitel gezogen. In diesem Kapitel werden nur jeweils verschiedene Messverfahren und deren Ergebnisse vorgestellt. So ist in Bild 9.9 die Gesamtbewertung aus Tabelle 9.6 grafisch dargestellt. Je besser die Bewertung, desto weiter vom Zentrum des Vielecks entfernt befindet sich der Bewertungspunkt des einzelnen Scheinwerfersystems. Es ist zu sehen, dass die Reflektorsysteme den Projektionsystemen (Citroën, Ford, Mercedes) deutlich unterlegen sind.

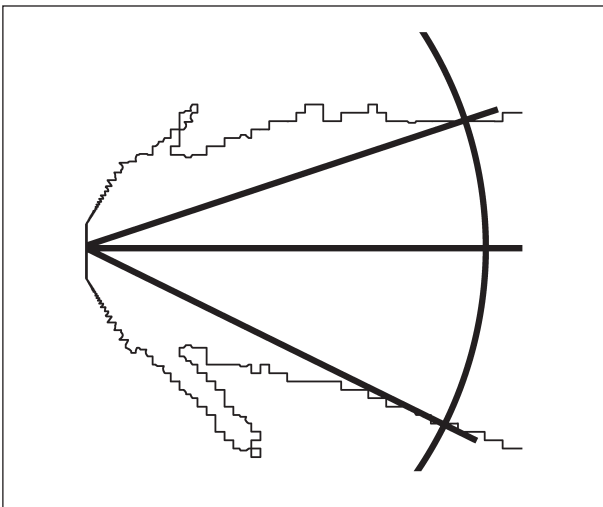


Bild 9.8: 0,5-lx-Isoluxlinie des Versuchsfahrzeuges Volvo, gemessen im Labor

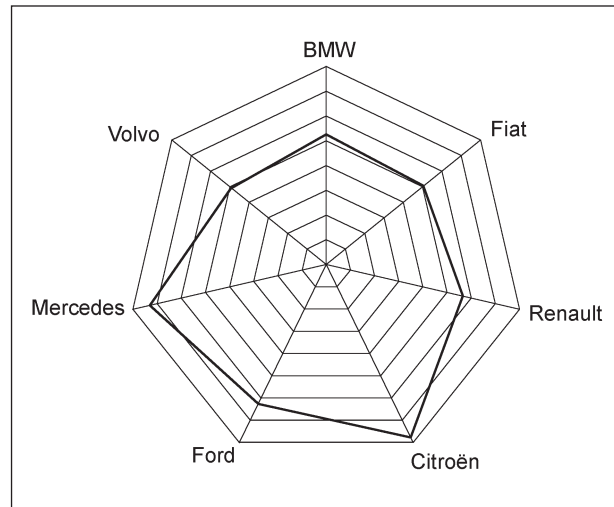


Bild 9.9: Gesamtbewertung der Scheinwerfer der sieben Versuchsfahrzeuge

Bewertung	BMW	Fiat	Renault	Citroën	Ford	Mercedes	Volvo
4.3.2	2,21 %	1,63 %	1,68 %	4,30 %	3,17 %	3,50 %	2,47 %
4.3.3	3,02 %	2,72 %	3,36 %	3,34 %	3,43 %	3,19 %	2,55 %
4.3.4	0,19 %	0,45 %	0,52 %	0,95 %	0,79 %	0,84 %	0,21 %
4.4	0,00 %	0,41 %	0,00 %	1,54 %	0,03 %	1,26 %	0,13 %
4.8	0,97 %	1,24 %	1,55 %	1,36 %	0,94 %	1,44 %	1,43 %
6.5	1,00 %	1,00 %	1,00 %	1,00 %	1,00 %	1,00 %	1,00 %
7.2.1	1,18 %	0,61 %	1,21 %	1,04 %	1,14 %	1,37 %	0,03 %
7.2.2	2,00 %	2,00 %	2,00 %	2,00 %	2,00 %	2,00 %	2,00 %
Gesamt	10,57 %	10,06 %	11,32 %	15,53 %	12,50 %	14,60 %	9,82 %

Tab. 9.6: Bewertung aller sieben Scheinwerferpaare der Versuchsfahrzeuge im Labor unter Benutzung des Scheinwerfergoniometers und Software

9.17 Beispielhafte Bewertung eines kompletten Fahrzeugs

Zur Demonstration der prinzipiellen Machbarkeit der vorgestellten Bewertungsvorschriften wird ein komplettes Fahrzeug untersucht. Dieses Fahrzeug (Mercedes-Benz S 500 W140) besitzt nicht alle lichttechnischen Einrichtungen (zum Beispiel keine AFS-Scheinwerfer), für die Bewertungsvorschriften angegeben sind. Nicht-existierende Lichtfunktionen werden mit 0 bewertet. Da es ein Fahrzeug der Oberklasse ist, sollte die Bewertung gut ausfallen. Eine volle Punktezahl wird jedoch nicht erwartet, da das Fahrzeug nicht hinsichtlich dieser Bewertungsvorschrift konzipiert wurde.

Als Scheinwerfertechnologie ist ein Gasentladungssystem mit Streuscheibenoptik eingesetzt. Die Lichtaustrittsfläche ist groß im Vergleich zu üblichen Gasentladungsscheinwerfern mit Projektionssystem. Daher wird erwartet, dass nur geringe Blendung vorhanden ist und nicht die maximal mögliche Leistung erreicht wird.

Das Fahrzeug ist zehn Jahre vor seiner Bewertung hergestellt worden und in diesem Zeitraum in Benutzung gewesen. Dies hat Einfluss auf die lichttechnischen Einrichtungen genommen. Größere Veränderungen (Verformungen, Farbveränderungen, ...) gegenüber dem Originalzustand sind nicht aufzufinden. Jedoch sind nicht alle heute üblichen und in der Bewertung berücksichtigten Sicherheits- und Komfortfunktionen vorhanden.

Entsprechend Tabelle 8.1 werden die Bewertungen in den Tabellen 9.8 bis 9.11 vorgestellt. Die Punktezahl in der Spalte Bewertung gibt die absolute gewichtete Bewertung an.

Die absolute Bewertung der Oberbegriffe ist in Tabelle 9.7 zusammengefasst. Das Gesamtfahrzeug erreicht 40 % aller möglichen Punkte. Dies entspricht 2 Kerzen entsprechend der Bewertung in Kapitel 8.

Oberbegriff	Bewertung
Leistung	0,159
Sicherheit	0,128
Komfort	0,065
Verträglichkeit	0,048
Gesamtfahrzeug	0,400

Tab. 9.7: Zusammenfassung der Bewertung eines Komplettfahrzeuges

Etwas abweichend von dieser Darstellung wird in den Tabellen 9.12, 9.13, 9.14 und 9.15 die Bewer-

Oberbegriff	Unterpunkte	Bewertung
Leistung	Reichweite	
	Schärfe der Hell-Dunkel-Grenze	0,0326
	Helligkeit – Nahfeld	0,0228
	Rechter Straßenrand	0,0101
	Breite	0,0014
	Adaptive Frontlighting System	0,0000
	Nebelscheinwerfer	0,0192
	Erkennbarkeit von Rückstrahlern	0,0384
	Straßenschilderanlage	0,0066
	Fernlicht	0,0064
	Rückfahrcheinwerfer	0,0002
Gradient	0,0200	

Tab. 9.8: Zusammenfassung der Bewertung eines Komplettfahrzeuges, Oberbegriff Leistung

Oberbegriff	Unterpunkte	Bewertung
Sicherheit	Seitliches Signalbild	
	Seitenmarkierungsleuchte	0,0000
	Seitliche Rückstrahler	0,0000
	Seitliche Blinkleuchte	0,0037
	Seitliches Licht	0,0100
	Rückwärtiges Signalbild	
	Leuchtenanzahl/Adaptive Leuchten	0,0020
	Lichtstärke	0,0023
	Lichtstärkeverteilung	0,0097
	Leuchtdichte	0,0102
	Hintere Rückstrahler	0,0060
	Vorderes Signalbild	
	Lichtstärke	0,0000
	Lichtstärkeverteilung	0,0180
	Leuchtdichte	0,0180
	Vordere Rückstrahler	0,0000
	Umschaltzeiten	0,0200
	Ansprechzeiten	0,0000
	Ausfallanzeige	0,0200
	Lebensdauer	0,0000
	Lichtassistenzsysteme	0,0000
Scheinwerferreinigungsanlage	0,0072	
Ersatzfunktion	0,0000	
Kurvenlicht	0,0000	
Anordnung der Signale	0,0067	

Tab. 9.9: Zusammenfassung der Bewertung eines Komplettfahrzeuges, Oberbegriff Sicherheit

tung der einzelnen Oberbegriffe Leistung, Sicherheit, Komfort und Verträglichkeit aufgezeigt, angegeben in Prozent der jeweils erreichbaren Maximalpunktzahl bei dem jeweiligen Unterpunkt.

Oberbegriff	Unterpunkte	Bewertung
Komfort	Innenbeleuchtung	
	Innenraumbeleuchtung	0,0008
	Orientierungsbeleuchtung	0,0045
	Leselicht	0,0054
	Instrumentenbeleuchtung	0,0125
	Komfortaußenbeleuchtung	0,0050
	Harmonie der Beleuchtung	0,0025
	Gleichmäßigkeit	0,0100
	Wartbarkeit	0,0100
	Abblendende Spiegel	0,0100
Windschutzscheibe	0,0033	

Tab. 9.10: Zusammenfassung der Bewertung eines Komplettfahrzeuges, Oberbegriff Komfort

Oberbegriff	Unterpunkte	Bewertung
Verträglichkeit	Leuchtweitenregulierung	0,0050
	Blendung von Fußgängern	0,0046
	Blendung über Außenspiegel	0,0200
	Blendung des Gegenverkehrs	0,0132
	Blendung durch Leuchten	0,0000
	Wirkungsgrad	0,0039

Tab. 9.11: Zusammenfassung der Bewertung eines Komplettfahrzeuges, Oberbegriff Verträglichkeit

Unterpunkte	Bewertung
Reichweite	
Schärfe der Hell-Dunkel-Grenze	68 %
Helligkeit – Nahfeld	48 %
Rechter Straßenrand	42 %
Breite	3 %
Adaptive Frontlighting System	0 %
Nebelscheinwerfer	48 %
Erkennbarkeit von Rückstrahlern	96 %
Straßenschilderanlage	16 %
Fernlicht	16 %
Rückfahrcheinwerfer	1 %
Gradient	100 %
Summe Leistung	39 %

Tab. 9.12: Bewertung der Leistung, in Prozent der maximal erreichbaren Punktezah

Unterpunkte	Bewertung
Seitliches Signalbild	
Seitenmarkierungsleuchte	0 %
Seitliche Rückstrahler	0 %
Seitliche Blinkleuchte	37 %
Seitliches Licht	100 %
Rückwärtiges Signalbild	
Leuchtenanzahl/Adaptive Leuchten	17 %
Lichtstärke	15 %
Lichtstärkeverteilung	81 %
Leuchtdichte	68 %
Hintere Rückstrahler	100 %
Vorderes Signalbild	
Lichtstärke	0 %
Lichtstärkeverteilung	100 %
Leuchtdichte	100 %
Vordere Rückstrahler	0 %
Umschaltzeiten	100 %
Ansprechzeiten	0 %
Ausfallanzeige	50 %
Lebensdauer	0 %
Lichtassistenzsysteme	0 %
Scheinwerferreinigungsanlage	36 %
Ersatzfunktion	0 %
Kurvenlicht	0 %
Anordnung der Signale	33 %
Summe Sicherheit	32 %

Tab. 9.13: Bewertung der Sicherheit, in Prozent der maximal erreichbaren Punktezah

Unterpunkte	Bewertung
Innenbeleuchtung	
Innenraumbeleuchtung	20 %
Orientierungsbeleuchtung	45 %
Leselicht	90 %
Instrumentenbeleuchtung	83 %
Komfortaußenbeleuchtung	100 %
Harmonie der Beleuchtung	25 %
Gleichmäßigkeit	100 %
Wartbarkeit	100 %
Abblendende Spiegel	50 %
Windschutzscheibe	33 %
Summe Komfort	64 %

Tab. 9.14: Bewertung des Komforts, in Prozent der maximal erreichbaren Punktezah

Unterpunkte	Bewertung
Leuchtweitenregulierung	50 %
Blendung von Fußgängern	23 %
Blendung über Außenspiegel	100 %
Blendung des Gegenverkehrs	66 %
Blendung durch Signalleuchten	0 %
Wirkungsgrad	39 %
Summe Verträglichkeit	47 %

Tab. 9.15: Bewertung der Verträglichkeit, in Prozent der maximal erreichbaren Punktezahl

Die Ergebnisse der Bewertung der Leistung in Tabelle 9.12 zeigen, dass bei diesem Fahrzeug keine Punkte für AFS vergeben werden. Das System ist nicht vorhanden. Die Breite der Ausleuchtung ist bei diesem Scheinwerfer gering. Bei anderen Scheinwerfern auf dem Markt werden über 35 % der maximal möglichen Punktezahl erreicht.

Bei den Ergebnissen hinsichtlich der Sicherheit fallen die nicht vorhandenen und daher mit 0 bewerteten Lichtfunktionen seitlicher Rückstrahler, vorderer Rückstrahler Lichtassistenzsysteme, Ersatzfunktion und Kurvenlicht auf. Dies ist durch das Alter des bewerteten Fahrzeugs bedingt. Bei heute aktuellen Fahrzeugen sind höhere Punktzahlen erreichbar.

9.18 Verringerung des Bewertungsumfangs

Je nach Messvorgehen dauert die Messung eines kompletten Fahrzeuges bis zu zwei Tage. Diese Zeit kann nicht nur durch geschicktere Messverfahren verkürzt werden, wie in den vorangehenden Abschnitten vorgestellt, sondern auch durch das Entfernen einiger Bewertungspunkte aus dem Gesamtumfang. Es bietet sich an, diejenigen Funktionen nicht zu erfassen, die bei geringer Gewichtung einen großen Zeitaufwand erfordern.

9.18.1 Bewertungsformel

Die Auswahl erfolgt rechnerisch über eine Formel, deren Eingabeparameter die Gewichtung des Messpunktes und der Zeitaufwand in Minuten sind. Das Ergebnis gibt die „Wirtschaftlichkeit“ der Bewertung des Punktes an.

Bewertung der Wirtschaftlichkeit:

$$W = (G \cdot 1.000)/Z$$

Mit G: Gewichtung des Messpunktes

Z: Zeitaufwand in Minuten

W: Wirtschaftlichkeit der Bewertung des Punktes

Die Gewichtung wird mit einem Faktor von 1.000 multipliziert, um gleiche Wertebereiche für Zeitaufwand und Gewichtung zu erhalten.

9.18.2 Grundlegende Messungen

Unabhängig von den Ergebnissen der Berechnung der Wirtschaftlichkeit müssen jedoch einige grundlegende Messungen durchgeführt werden.

So müssen die Leistung des Abblendlichtes mit Werten für Reichweite und Breite der Ausleuchtung, die Leistung des Fernlichtes und die Leistung der Nebelscheinwerfer bewertet werden, um in allen Fahrsituationen über gutes Licht verfügen zu können.

Für die Sichtbarkeit von vorne und hinten muss von den Signalleuchten die Leuchtdichte bewertet werden, da diese im kritischen Verkehrsraum, dem Nahbereich, die relevante Größe darstellt.

Bei der Bewertung der Sicherheit ist auf jeden Fall der Ausfall der Systeme zu bewerten. Denn als lichttechnisch gut bewertete Systeme sind nutzlos, wenn sie langsam reagieren, ausfallen oder nicht sofort wieder in Stand gesetzt werden können. Daher sind Ansprechzeit, Lebensdauer, Ausfallanzeigen, Ersatzfunktion und Wartbarkeit zu bewerten.

Die Verträglichkeit der Lichtfunktionen für andere Verkehrsteilnehmer ist auch zu bewerten, da sonst die Scheinwerfer nur Richtung Leistung optimiert werden. Daher ist als weitere grundlegende Funktion die Blendung des Gegenverkehrs zu bewerten.

9.18.3 Reduzierter Bewertungsumfang

Die Formel für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit allein genügt noch nicht zur Reduzierung des Bewertungsumfanges. Ihr ist noch ein Schwellwert zuzuordnen. Alle Punkte deren Wirtschaftlichkeit W kleiner als der Schwellwert ist, werden in der reduzierten Bewertung nicht gemessen. Als Schwellwert wird fünf Prozent der Summe aller Wirtschaftlichkeiten eines Oberbegriffes, Leistung, Sicherheit, Komfort oder Verträglichkeit, festgelegt.

Mit einem Schwellwert von 5 % reduziert sich die Messzeit pro Oberbegriff wie in Tabelle 9.16 angegeben.

	Gesamt [h]	Reduziert [h]
Leistung	2	1
Sicherheit	3	1
Komfort	3	1,5
Verträglichkeit	1,5	1
Summe	9,5	4,5

Tab. 9.16: Reduzierung der Messzeiten

Bei dem Oberbegriff Sicherheit ist bei beiden Messzeiten der Zeitaufwand für die Ermittlung der Lampenlebensdauern nicht berücksichtigt, da dieser Zeitaufwand so groß ist, dass noch eine geschicktere Ermittlung der Messwerte oder eine stark begrenzte Auswahl der zu untersuchenden Lampen erfolgen muss.

In Tabelle 9.17 sind alle Punkte angegeben, die bei einem Schwellenwert von 5 % zu messen sind.

Durch Änderung des Schwellenwertes kann eine fast beliebige Auswahl der zu untersuchenden Punkte erfolgen. Untersuchungen, die sehr schnell durchzuführen sind, zum Beispiel „Komfort – Abblendende Spiegel“, werden Bestandteil bei jedem reduzierten Bewertungsumfang sein, da sie erst bei Schwellenwerten um 50 % nicht mehr bewertet werden.

Grundlegende Messungen werden auch Bestandteil jedes reduzierten Bewertungsumfanges sein, wie im vorhergehenden Abschnitt aufgeführt.

Durch die Reduzierung des Bewertungsumfanges ändert sich die Gewichtung innerhalb der Bewertung. So ist die Gewichtung bei vollem Messumfang für den Punkt „Leistung – Breite“ 4 % und für den Punkt „Verträglichkeit – Blendung des Gegenverkehrs“ 2 %. Dies entspricht einem Verhältnis untereinander von 2:1. Bei dem vorgestellten reduzierten Messumfang ist die Gewichtung für den Punkt „Leistung – Breite“ und für den Punkt „Verträglichkeit – Blendung des Gegenverkehrs“ jeweils 5 %. Dies entspricht einem Verhältnis untereinander von 1:1.

Durch eine Reduzierung des Bewertungsumfanges verschieben sich zwangsläufig die Verhältnisse zwischen den einzelnen Punkten. In dem vorgestellten Beispiel verändert sich dadurch die Zielrichtung bei der Entwicklung von Scheinwerfern, die eine gute NCAP-Bewertung bekommen sollen. Für die Erreichung der maximalen Punktzahl der vorgestellten reduzierten Bewertung würde der

Oberbegriff	Unterpunkte	Wichtung
Leistung	Reichweite	
	Hell-Dunkel-Grenze	0,075
	Helligkeit – Nahfeld	0,075
	Breite	0,050
	Leistung AFS	0,050
	Nebelscheinwerfer	0,050
	Erkennbarkeit von Rückstrahlern	0,050
	Fernlicht	0,050
Sicherheit	Seitliches Signalbild	
	Leuchtdichte Blinkleuchte	0,047
	Rückwärtiges Signalbild	
	Leuchtdichte	0,071
	Vorderes Signalbild	
	Lichtstärke	0,035
	Leuchtdichte	0,035
	Umschaltzeiten	0,024
	Ansprechzeiten	0,047
	Ausfallanzeige	0,047
	Lebensdauer	0,047
	Ersatzfunktion	0,024
Anordnung der Signale	0,024	
Komfort	Innenbeleuchtung	
	Zentrale Innenleuchte	0,022
	Instrumentenbeleuchtung	0,017
	Komfortaußenbeleuchtung	0,006
	Gleichmäßigkeit	0,011
	Wartbarkeit	0,011
	Abblendende Spiegel	0,022
Windschutzscheibe	0,011	
Verträglichkeit	Blendung über Außenspiegel	0,050
	Blendung des Gegenverkehrs	0,050
Gesamtsumme		1,000

Tab. 9.17: Reduzierter Bewertungsumfang

Scheinwerfer sehr viel stärker entblendet werden, was sich auf die Leistung auswirken würde.

Diese Verschiebung der Verhältnisse kann durch eine neue Normierung der verbleibenden Unterpunkte ausgeglichen werden, um wiederum die ursprüngliche Intension der Bewertung zu erhalten. Allgemein kann durch eine andere Gewichtung die Zielrichtung der Bewertung in die gewünschte Richtung verändert werden.

Der bessere Weg zur Reduzierung der Bewertungszeit ist die Optimierung des Messvorgehens,

nicht die Reduzierung von Bewertungspunkten. Das entwickelte Gesamtkonzept einer Fahrzeugbewertung kann nur bei einem vollständigen Bewertungsumfang zum Tragen kommen.

9.18.4 Alternative Bewertungsumfänge

Statt die Reduzierung der Anzahl der Bewertungen auf Grund des Zeitbedarfes der einzelnen Untersuchungen vorzunehmen, kann als Kriterium auch die Nutzungsdauer der jeweiligen Funktion durch den Fahrzeugkäufer herangezogen werden. Für eine solche Bewertung müssen durchschnittliche Nutzungsdauern der einzelnen Funktionen ermittelt werden.

Die Verfügbarkeit dieser Daten ist auch zur Optimierung des Bedienkonzeptes von Fahrzeugen nutzbar. Denn jede vorhandene Funktion muss geschaltet werden können und erhöht dadurch die Komplexität der Mensch-Maschine-Schnittstelle im Fahrzeug. Wenn Funktionen vorhanden sind, die wenig oder nicht genutzt werden, können die oberen Ebenen der Mensch-Maschine-Schnittstelle von Schaltern für diese Funktion bereinigt oder die gesamte Funktion entfernt werden.

Der reduzierte Bewertungsumfang würde sich nicht an der Wirtschaftlichkeit der Bewertung einzelner Punkte, sondern an der Nutzungsdauer orientieren. Als Bewertungsformel ist folgende Formel vorstellbar:

Bewertung der Nutzungsrelevanz:

$$N = (G \cdot 1000) \cdot (D/20)$$

Mit G: Gewichtung des Messpunktes

D: Nutzungsdauer durch Käufer
(Angabe in Stunden)

N: Nutzungsrelevanz des Punktes

Der Wertebereich der Gewichtung erstreckt sich von 0,004 bis 0,048, der Wertebereich der Nutzungsdauer von 1 bis 1.000. Daher wird die Gewichtung mit einem Faktor von 1.000 multipliziert und die Nutzungsdauer durch einen Faktor von 20 dividiert, um gleiche Wertebereiche von ca. 1 bis 50 für Nutzungsdauer und Gewichtung zu erhalten.

Weitere Reduzierungen des Bewertungsumfanges mit anderen, hier nicht vorgestellten Kriterien sind denkbar.

10 Vorschlag für einen praxisnahen Bewertungsablauf

Die hohen Investitionskosten für eine geeignete Messhalle, wie sie im vorhergehenden Kapitel beschrieben ist, könnten die Einführung einer Bewertung der Fahrzeugbeleuchtung verzögern. Daher sollte die Bewertung mit möglichst geringen Investitionen durchführbar sein. Um dies zu erreichen, wird vorgeschlagen, den Teil der Messungen, der mit moderater Genauigkeit zu erfolgen hat, mit den vorgestellten Handmessgeräten durchzuführen.

Die Bewertungen des Abblendlichtes jedoch, die auf lichttechnischen Messwerten beruhen, werden mit Hilfe eines üblichen Scheinwerfer-Goniometers und angepasster Software durchgeführt, da hier hohe Messgenauigkeiten für den Vergleich verschiedener Fahrzeugteile erforderlich sind.

Einige Bewertungen werden auf Grundlage von geometrischen Gegebenheiten durchgeführt, wie zum Beispiel die Bewertung der Reichweite des Abblendlichtes. Diese werden zentimetergenau mit handelsüblichen Meterstäben und einem Nivellierlaser am stehenden Fahrzeug vorgenommen.

Das Fernlicht wird am Fahrzeug vermessen. Der Scheinwerfer verbleibt eingebaut im Fahrzeug. Als Messplatz wird eine dunkle Halle mit ausreichender Länge (30 m), präpariert mit Blenden auf dem Boden, der Decke und an den Wänden, gewählt. Als Messgerät wird das im vorherigen Kapitel beschriebene Handmessgerät für vertikale Beleuchtungsstärken benutzt. Durch die geometrische Anordnung der Blenden und des vorgesetzten Tubus kann mit diesem Gerät auch die Lichtstärke ermittelt werden.

Die Lichtstärken und Leuchtdichten der Leuchten werden am Fahrzeug vermessen. Dazu wird das gleiche Messumfeld wie für die Messung des Fernlichts gewählt.

Die rückstrahlenden Elemente werden mit dem Handmessgerät, vorgestellt im letzten Kapitel, gemessen. Auch hier wird das gleiche Messumfeld wie für die Messung des Fernlichts gewählt.

Die erreichbare Messgenauigkeit bei der Rückstrahlungsmessung muss noch untersucht werden. Dazu sind verschiedene Reflektoren mit herkömmlichen Rückstrahlgoniometern und mit dem Handmessgerät zu messen.

Allgemein ist festzuhalten, dass bei etlichen Messverfahren noch Fehlerbetrachtungen durchzuführen sind. Der Einfluss der Fehler auf die Bewertung ist zu ermitteln und eventuell die Messverfahren zu verfeinern.

Auf die Ermittlung des Wirkungsgrades wird verzichtet, da hierzu in die Bordelektrik eingegriffen werden müsste. Es sind Kabel zu unterbrechen, um den Strom zu messen. Dazu müssen die Kabelbelegungen bekannt sein und teilweise die Fehlerüberprüfungen moderner Bordelektronik ausgeschaltet werden.

Die Messung des Farbabstandes wird nicht durchgeführt, da keine einfach handhabbaren Verfahren existieren, sondern die Werte aus Diagrammen ermittelt werden müssen. Die Relevanz der Bewertung für die aktive Sicherheit ist nicht so stark, dass dieser Aufwand gerechtfertigt wäre.

Die Lampenlebensdauern haben einen entscheidenden Einfluss auf die aktive Sicherheit, da jeder Lampenausfall für eine zeitweilige signifikante Verschlechterung sorgt. Das vorgeschlagene Verfahren zur Ermittlung der tatsächlichen Lebensdauern erfordert jedoch Spannungsmessungen an vielen Messstellen im Fahrzeug und fordert somit einen großen Zeitbedarf. Hier muss noch eine geschicktere Ermittlung der Messwerte oder eine stark begrenzte Auswahl der zu untersuchenden Lampen erfolgen.

Bei Einführung eines NCAP der Fahrzeugbeleuchtung sollte mit einem reduzierten Bewertungsumfang, vorgeschlagen im vorhergehenden Kapitel, begonnen werden. Nach Etablierung des Verfahrens auf dem Markt kann die Bewertung schrittweise auf den vollen Umfang erweitert werden.

Da der Fahrzeuginnenraum immer mehr in den Fokus der Kaufinteressenten rückt und dadurch in zunehmendem Maße ambiente Innenraumbeleuchtungen angeboten werden, ist zu überlegen, ob für die Innen- und die Außenbeleuchtung zwei getrennte Bewertungen erstellt werden. So könnte die Innenbeleuchtung der Bewertung der Fahrzeugergonomie hinzugefügt werden.

11 Zusammenfassung und Ausblick

11.1 Motivation

Seitens der Medien ist ein Verbraucherschutz in Form einer Produktbewertung mit Hilfe von Testverfahren fester Bestandteil der Informationen für Verbraucher geworden. Bewertungen der Sicherheit eines Fahrzeugs im Falle eines Unfalls haben einen entscheidenden Einfluss auf das Kaufverhalten der Verbraucher genommen. Bezüglich der Automobilwerbung haben sich die EuroNCAP-Crashtests bei einigen Marken mittlerweile fest etabliert.

Es ist davon auszugehen, dass bei geschickter Lancierung auch ein NCAP der Fahrzeugbeleuchtung entsprechend dem vorgestellten Bewertungsverfahren einen entscheidenden Einfluss auf das Kaufverhalten nehmen wird. Da das vorgestellte Verfahren letztlich als Ziel die Reduzierung der Unfallzahlen vor allem in den Dunkelstunden hat, kann dieses NCAP der Fahrzeugbeleuchtung einen Beitrag liefern, das von der EU gesteckte Ziel einer Reduzierung der Verkehrstoten im Straßenverkehr um 50 Prozent (KOM 2006) zu erreichen.

11.2 Unterteilung der Bewertung

Bei der Bewertung von Fahrzeugen werden zwei grundsätzliche Aspekte unterschieden:

- Aktive und passive Sicherheit

Jeder dieser beiden Aspekte wird wiederum in verschiedene Teile aufgespalten. Dabei ist die Fahrzeugbeleuchtung ein Teilaspekt der aktiven Sicherheit. In dem vorgestellten Bewertungsverfahren ist die Beleuchtung in die folgenden vier Teilbereiche unterteilt worden: Leistung, Sicherheit, Verträglichkeit, Komfort.

Diese Teilbereiche erhalten unterschiedliche Gewichtungen, wobei Leistung und Sicherheit gleich stark gewichtet werden und viermal so stark wie Verträglichkeit und Komfort. Alle Teilbereiche sind wiederum in weitere Unterkategorien untergliedert.

11.3 Bewertungssystem auf wissenschaftlicher Grundlage

Es wurde ein Bewertungssystem für die Beleuchtung des Kraftfahrzeugs erarbeitet und zur Verfügung gestellt. Die einzelnen Bewertungskriterien wurden auf der Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse entwickelt und gehen über die gesetzlich vorgeschriebenen Mindestwerte hinaus. Somit ergibt sich unter anderem für ein NCAP die Möglichkeit, verschiedene Beleuchtungskonzepte von Fahrzeugen zu vergleichen.

11.4 Beweis der Gültigkeit des Verfahrens

Die exemplarisch an einem Fahrzeug vorgenommene Verifizierung der vorgestellten Bewertungsdienste zur Verbesserung des Messvorgehens für die einzelnen Messgrößen. Auch wurde kontrolliert, ob die Anforderungen praxisrelevant sind und die Wertebereiche sinnvoll gewählt wurden. Etwaige Unstimmigkeiten wurden korrigiert, sodass der vorliegende Bericht ein schlüssiges Bewertungsschema präsentiert.

Doch die bei den meisten Bewertungspunkten vorgenommene Beschränkung der Verifikation auf nur ein Fahrzeug bietet nicht die anzustrebende Sicherheit für ein allgemein gültiges Bewertungsverfahren. Daher wird als nächster Schritt vorgeschlagen, sechs Neufahrzeuge, je zwei Kleinwagen, Mittelklasse- und Oberklassemodelle, zu bewerten. Nach den Messungen sind die Wertebereiche der einzelnen bewerteten Unterpunkte zu kontrollieren und gegebenenfalls anzupassen.

Die bewerteten Fahrzeuge sollten weiterhin von Laien und Experten auf dem Gebiet der automobilen Lichttechnik subjektiv bewertet werden, wie dies schon für einige Merkmale bezüglich des Abblendlichtes durchgeführt worden ist. Diese subjektiven Bewertungen sind mit den durch Messung erhaltenen Werten zu vergleichen.

Mit diesem Vorgehen kann eine allgemeine Gültigkeit des Bewertungsverfahrens bewiesen werden. Die Ergebnisse der objektiven und subjektiven Bewertungen dieser Pilotphase sind mit Fachleuten zu diskutieren und danach in der Automobilpresse zu veröffentlichen.

Literatur

- [Ada, 2000], ADAC-Straßenkarten 1:400.000 Alpenstraßen, Mittlerer Teil. Verlag Ed. Hölzel, Wien, 2000
- [Adr., 1969], ADRIAN, W.: Die Unterschiedsempfindlichkeit des menschlichen Auges und die Möglichkeit ihrer Berechnung, Lichttechnik, 1969, H1, S. 11-71
- [Adr., 1989], ADRIAN, W.: Visibility of targets: Model for calculation. Lighting Research and Technology, 21 (4) 181-188, 1989
- [Alf., 1996], ALFERDINCK, J. W. A. M.: Traffic Safety aspects of high-intensity discharge headlamps; discomfort glare and direction indicator conspicuity. Vision in Vehicles, TNO Human Factors Research Institute, 1996
- [Arm., 2001], ARMBRUSTER, D.: Optimierung der visuellen Informationsübermittlung durch adaptive Kraftfahrzeugsignalleuchten. Dissertation, Elektrotechnik und Informationstechnik, TU Darmstadt. Herbert Utz Verlag, München, 2001
- [Bäu., 1997], BÄUMLER, H.: Typische Auftretensformen von Nachtunfällen. PAL Proceedings of Progress in Automotive Lighting 1997, S. 49-61
- [Bar., 2003], BARSKE, H.: The Integral Brake Light IBL. PAL Proceedings of Progress in Automotive Lighting 2003, S. 70-91
- [BAS, F39], Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen: Optimierung des rückwärtigen Signalbildes zur Reduzierung von Auffahrunfällen bei Gefahrbremsung. BAST-Bericht F 39, 2002
- [BAS, 1979], Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen. Bereich Unfallforschung: Sicht aus Kraftfahrzeugen, Literaturstudie, – Einfluss eingefärbter Scheiben bei Dunkelheit. BAST-Bericht 36 zum Forschungsprojekt 7718
- [Ber., 1995], BERTLING, H.: Scheinwerfer-Lichtqualität objektiv bewertet. Automobiltechnische Zeitschrift 97 (1995) 3, Seite 182-185
- [Ber., 2004], BERLITZ, St.: Lighting Innovations in Concept Cars. Photonics in Automobile, Geneve 2004
- [Boe., 1956], De BOER: Berechnung der Sichtweite aus der Lichtverteilung von Automobilscheinwerfern. Lichttechnik 8, 1956, H 4, S. 433-437

- [Boe., 2003], BOEBEL, D.: Criteria for a „5 Candles“ Rated Headlamp System PA.L Proceedings of Progress in Automobile Lighting 2003, Darmstadt, 2003
- [Bol., 1971], BOL, J., DECKER, H.-J.: Verbesserung der Heckbeleuchtung von Kraftfahrzeugen. Battelle-Bericht für den Bundesminister für Verkehr. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1971
- [BSA, 2003], Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit an Bildschirmgeräten. Ausfertigungsdatum 4. Dezember 1996, Verkündungsfundstelle BGBl I 1996, 1843, Sachgebiet: FNA 805-3-3, zuletzt geändert durch Art. 304 V v. 25.11.2003 I 2304
- [Bul., 2001], BULLOUGH, J. D., REA, M. S.: Forward Vehicular Lighting and Inclement Weather Conditions, PAL Proceedings of Progress in Automotive Lighting 2001, S. 79 ff., Darmstadt, 2001
- [Bul., 2002], BULLOUGH, J. D., Fa. Z., DERLOFSKE, J. V.: Discomfort and Disability Glare from Halogen and HID Headlamp systems. SAE Technical Papers Series 2002-01-0010
- [CIE, 1978], CIE: Internationale Beleuchtungskommission. Empfehlungen für empfindungsgemäß gleichförmige Farbräume, Farbabstandsformeln und zugehörige Begriffe. Supplement No. 2 zur CIE-Publikation No. 15, 1978
- [CIE, 1981], CIE-Report 19.2.1, Vol. 1: An analytic Model for describing the influence of lighting Parameters upon Performance, Vol. I: Technical foundations, 1981
- [CIE, 1995], CIE-Publikation No. 1303, 1995
- [Coh., 1987], COHEN, A. S.: Blickverhalten und Informationsgehalt von Kraftfahrern. Bericht zum Forschungsprojekt 8300/3 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Bergisch Gladbach, November 1987
- [Com., 2004], COMMANDEUR, J., MATHIJSSSEN, R., ELVIK, R., JANSSEN, W., KALLBERG, V.: Scenarios for the implementation of daytime running lights in the European Union. SWOV Institute for Road Safety Research, Leidschendam, 2004
- [Chu., 2001], CHUDASHA, A.: Headlamp Clearing Systems – Trends of Development and Future Demands. PAL Proceedings of Progress in Automotive Lighting 2001, S. 119-126, Darmstadt, 2001
- [Dah., 1996], DAHLEM, T.: Methodischer Vergleich von Kraftfahrzeugscheinwerfern des Abblendlichtes. 40 Jahre Lichttechnik. Darmstadt, Band 2, S. 56-62.
- [Dam., 1995], DAMASKY, J.: Einsatz der Gasentladungsscheinwerfer in Kfz-Scheinwerfern. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Fahrzeugtechnik, Heft F 10
- [Dam., 1995b], DAMASKY, J.: Lichttechnische Entwicklung von Anforderungen an Kraftfahrzeug-Scheinwerfer. Dissertation, TH Darmstadt, 1995
- [Dam., 1993], DAMASKY, J.: CIE 4.22, draft chapter 7.1 for final report 1993
- [Dam., 1993b], DAMASKY, J.: Positions headlamps, Autobahn, Bundesstrasse, urban road, world wide uniform light distribution Technical University Darmstadt, 1993
- [Der., 2003], DERLOFSKE, J. V., BULLOUGH, J., DEE, P., CHEN, J., AKASHI, Y.: Effects of Vehicle Forward Lighting Spectrum on Glare. PAL Proceedings of Progress in Automotive Lighting 2003, Darmstadt, 2003
- [Der., 2003b], DERLOFSKE, J. v., BULLOUGH, J.: Spectral Effects of High Intensity Discharge Automotive Forward Lighting on Visual Performance. SAE International Journal 2003-01-0559
- [Der., 2003c], DERLOFSKE, J. v., DYER, D., BULLOUGH, J.: Visual Benefits of Blue Coated Lamps for Automotive Forward Lighting. SAE Technical Papers, 2003-01-0930
- [Die., 2009], DIEM, C.: Blicherfassung von Kraftfahrern im dynamischen Straßenverkehr. Tagungsband, Licht 2000, S. 800-809
- [DIN 1436], DIN EN 1436: Straßenmarkierungsmaterialien. Anforderung an Markierungen auf Straßen (enthält Änderung 1: 2003); Deutsche Fassung prEN 1436:1997 und A1: 2003, Juli 2003
- [DIN 1451], DIN 1451, Teil 2 Schriften: Serifenlose Linear-Antiqua; Verkehrsschrift DIN 1451-2; Ausgabe 1986-02

- [DIN 5036], DIN 5036: Strahlungsphysikalische und lichttechnische Eigenschaften von Materialien; Begriffe, Kennzahlen DIN 5036; 1980
- [DIN 7259], DIN EN ISO 7250: Wesentliche Maße des menschlichen Körpers für die technische Gestaltung ISO 7250:1996, Deutsche Fassung EN ISO 7250:1997
- [DIN 33402], DIN 33402, Teil 2: Körpermaße des Menschen; Teil 2: Werte Oktober 1986
- [DIN 72601], DIN 72601: Lampen für Straßenfahrzeuge, Blatt 1 bis 9, September 1992
- [ECE, 1996], ECE-Regelung R 60: Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von zweirädrigen Kraftfahrzeugen und Mopeds hinsichtlich der vom Fahrzeugführer betätigten Bedienteile sowie der Kennzeichnung von Bedienteilen, Kontrollleuchten und Anzeigen. Fahrzeugtechnik EWG/ECE, Kirschbaum Verlag, Grundwerk mit 28. Ergänzungslieferung, 1996
- [ECE, 2001], ECE-Regelung R 46: Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Rückspiegeln und der Kraftfahrzeuge hinsichtlich der Anbringung von Rückspiegeln. Fahrzeugtechnik EWG/ECE, Kirschbaum Verlag, Grundwerk mit 41. Ergänzungslieferung, 2001
- [ECE, 2002], ECE-Regelung R 112: Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Kraftfahrzeugscheinwerfer für asymmetrisches Abblendlicht und 7 oder Fernlicht, die mit Glühlampen ausgerüstet sind Fahrzeugtechnik. EWG/ECE, Kirschbaum Verlag, Grundwerk mit 45. Ergänzungslieferung, 2002
- [ECE, 2002b], ECE-Regelung R 48: Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Fahrzeuge hinsichtlich des Anbaus der Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtungen. Fahrzeugtechnik EWG/ECE, Kirschbaum Verlag, Grundwerk mit 44. Ergänzungslieferung, 2002
- [ECE, 2003], ECE-Regelung R 45: Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Scheinwerfer-Reinigungsanlagen und der Kraftfahrzeuge hinsichtlich der Scheinwerfer-Reinigungsanlagen. Fahrzeugtechnik EWG/ECE, Kirschbaum Verlag, Grundwerk mit 47. Ergänzungslieferung, 2003
- [ECE, 2004], ECE Regulations (1958 Agreement and addenda): www.unece.org/trans/main/wp29/wp29regs.html. United Nations Economic Commission for Europe, Transport Division, World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations (WP.29), 2004
- [ECE, 2004b], ECE-Regelung R 43: Einheitliche Vorschriften für die Genehmigung der Sicherheitsverglasungswerkstoffe und ihres Einbaus in Fahrzeuge. Fahrzeugtechnik EWG/ECE, Kirschbaum Verlag, Grundwerk mit 50. Ergänzungslieferung, 2004
- [ECE, 2004c], ECE-Regelung R 3: Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Rückstrahler für Fahrzeuge und ihre Anhänger Fahrzeugtechnik. EWG/ECE, Kirschbaum Verlag, Grundwerk mit 50. Ergänzungslieferung, 2004
- [ECE, 2004d], ECE-Allg. 4: Fahrzeugtechnik. EWG/ECE, Kirschbaum Verlag, Grundwerk mit 49. Ergänzungslieferung, 2004
- [ECE, 2005], ECE-Regelung R 6 Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Fahrtrichtungsanzeigern für Kraftfahrzeuge und ihre Anhänger Fahrzeugtechnik. EWG/ECE, Kirschbaum Verlag, Grundwerk mit 52. Ergänzungslieferung, 2005
- [ECE, 2005b], ECE-Regelung R 37: Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Glühlampen zur Verwendung in genehmigten Leuchten von Kraftfahrzeugen und ihren Anhängern Fahrzeugtechnik. EWG/ECE, Kirschbaum Verlag, Grundwerk mit 54. Ergänzungslieferung, 2005
- [ECE, 2005c], ECE-Regelung R 7: Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Begrenzungsleuchten, Schlussleuchten, Bremsleuchten und Umrissleuchten für Kraftfahrzeuge (mit Ausnahme von Kraftfahrzeugen) und ihre Anhänger. Fahrzeugtechnik EWG/ECE, Kirschbaum Verlag, Grundwerk mit 52. Ergänzungslieferung, 2005
- [ECE, 2005d], ECE-Regelung R 98: Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Kraftfahrzeug-Scheinwerfern mit Gasentladungslichtquellen. Fahrzeugtechnik EWG/ECE, Kirschbaum Verlag, Grundwerk mit 54. Ergänzungslieferung, 2005
- [ECE, 2005e]: ECE-Regelung R 38: Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Nebelschlussleuchten für Kraftfahrzeuge und deren Anhänger. Fahrzeugtechnik EWG/ECE, Kirsch-

- baum Verlag, Grundwerk mit 52. Ergänzungslieferung, 2005
- [ECE, 2005f]: ECE-Regelung R 99: Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Gasentladungs-Lichtquellen für genehmigte Gasentladungs-Leuchteneinheiten von Kraftfahrzeugen. Fahrzeugtechnik EWG/ECE, Kirschbaum Verlag, Grundwerk mit 53. Ergänzungslieferung, 2005
- [Eck., 1993], ECKERT, M.: Lichttechnik und optische Wahrnehmungssicherheit im Straßenverkehr, 1993
- [EU, 2001], White Paper Transport Policy for 2010 time to decide, COM (2001) 370, 12.09.2001
- [Eur., 2004], www.euroncap.com European-New-Car-Assessment-Programme (EuroNCAP). Frontal Impact Testing Protocol, Version 4.1, March 2004
- [EWG, 1978], europa.eu.int Richtlinie 78/316/EWG des Rates vom 21. Dezember 1977 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Innenausstattung der Kraftfahrzeuge (Kennzeichnung der Betätigungseinrichtungen, Kontrollleuchten und Anzeiger), 28.03.1978
- [Ewr., 2001], EWERHART, F., WOLF, St., GALL, D.: Video Based Curve Light System – Sensor, System and Results. PAL Proceedings of Progress in Automotive Lighting 2001, S. 252 ff., Darmstadt, 2001
- [FBO, 1999], Commerce Business Daily Issue of April 19, 1999 PSA #2327: Feasibility of Developing a Vehicle Headlight Rating System for New Car Buyers, Loren Data Corp's CBD Archives, 19 April 1999, B-Special Studies and Analyses
- [Fen., 1997], FENK, J.: Efficiency of a Braking Intensity Indicator PAL. Proceedings of Progress in Automotive Lighting 1997 S. 189-199
- [Fen., 1999], FENK, J.: Evaluation of braking performance with a Brake Force Display in a following-car situation, Proceedings of Progress in Automotive Lighting 1999, PAL, S. 272-286, Darmstadt 1999
- [Fis., 1999], FISCHER, D.: Colour Boundary of Signal Lamps. Proceedings of Progress in Automotive Lighting 1999, PAL, S. 296-300, Darmstadt 1999
- [Fis., 2005], SCHMIDT, F.: Realisierungsmöglichkeiten diverser Methoden zur Messung einer Vielzahl von Fahrzeugleuchten im eingebauten Zustand mittels einer Leuchtdichtekamera, persönliche Mitteilung. Karlsruhe, 2005
- [Fla., 1999], FLANNAGAN, M. J.: Subjective and Objective Aspects of Headlamp Glare: Effects of Size and Spectral Power Distribution, UMTRI-99-36
- [Fla., 2001], FLANNAGAN, M. J.; SIVAK, M.: Feasibility of Developing a Headlighting Rating System. Proceedings of Progress in Automotive Lighting 2001, Vols. 8.9, S. 275-282, Darmstadt 2001
- [Fla., 2003], FLANNAGAN, M. J., FLANIGAN Ch.: Development of a Headlighting Rating System. Proceedings of Progress in Automotive Lighting 2003, PAL, S. 261-280, Darmstadt 2003
- [Fra., 2001], FRANK, H.: New Aspects for the Photometric Characterisation of Microprismatic Retroreflective Sheeting. Proceedings of Progress in Automotive Lighting 2001, PAL, S. 283 ff., Darmstadt 2001
- [Fra., 1994], FRANK, H.: Lichttechnische Anforderungen an vertikale Verkehrszeichen bei Dunkelheit. Dissertation, Elektrische Energietechnik, TU Darmstadt
- [FSS, 1995], Forschung, Straßenbau und Straßenverkehrstechnik: Bestimmung und meßtechnische Erfassung des Reflexionsverhaltens von Fahrbahnoberflächen bei Kfz-eigener Beleuchtung, Heft 699, 1995
- [FSV, 1982], Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die Anlage von Straßen RAS, Teil: Querschnitte RAS-Q 1982
- [GRE, 2005], Working Party on Lighting and Light-Signalling (GRE): Proposal for Draft Amendments to Regulation No. 112 (Headlamps emitting an asymmetrical passing beam), TRANS/WP.29/GRE/2005/20, 18 February 2005
- [Gri., 2001], GRIMM, M.: Improved Nighttime Visibility for Drivers through Dynamic Bend Lighting. PAL Proceedings of Progress in Automotive Lighting 2001, S. 339 ff.

- [Gri.,2002], GRIMM, M.: Anforderungen an eine ambiante Innenraumbeleuchtung von Kraftfahrzeugen, Herbert Kfz Verlag Wissenschaft
- [Gri., 2003a], GRIMM, M.: Drivers' Physiological Needs for an Interior Lighting of Vehicles. PAL Proceedings of Progress in Automotive Lighting. S. 324-330, Darmstadt 2003
- [Gri., 2003b], GRIMM, M.: Method to Assess Ambient Interior Lighting. PAL Proceedings of Progress in Automotive Lighting 2003, S. 342-350, Darmstadt 2003
- [GTB, 2002], GTB – Working Document TRNS/WP.29/GRE/2002/41
- [GTB, 2003a], private Mitteilung der GTB-Arbeitsgruppe NCAP, 2003
- [GTB, 2003b], private Mitteilung der GTB-Arbeitsgruppe NCAP, 2003
- [GTB, 2003c], GTB CE-3586 Working Group Savety and Visual Performance (SVP), 18.4.2003
- [GTB, 2004], GTB Working group front lighting Report of 1st meeting Frankfurt, GTBNCAP006, 2004
- [GTB, 2005], GTB Working group front lighting Report of 16th meeting Lippstadt, GTBN-CAP125, 2005
- [Ham., 1998], HAMM, M., LAMPEN, M.: Luminance Measurement, Contrast Sensitivity, Homogeneity. New Approaches of Defining the Quality of Headlamps. SAE technical Paper Series 980324, 1998
- [Ham., 2001], HAMM, M., SCHOLL, M.: Headlamp Performance Specification: A Summary of New and Comprehensive Evaluation Methods. PAL Proceedings of Progress in Automotive Lighting 2001. Darmstadt, 2001
- [Hel., 2005], Hella Innenleuchten-Systeme GmbH: Erfahrungswerte Fahrzeug-Innenbeleuchtung, Private Mitteilung, 2005
- [Hil., 1976], HILLIS, B. L.: Visibility under night driving Conditions 1976
- [Hof., 2002], HOFFMANN, A. v.: Lichttechnische Anforderungen an adaptive Kraftfahrzeugscheinwerfer für trockene und nasse Fahrbahnoberflächen. Dissertation an der Fakultät für Maschinenbau der TU Ilmenau, Ilmenau 2002
- [Hog., 2009], HOGREFE, H.: Adaptive Frontlighting Systems for Optimum Illumination of Curved Roads, Highway Lanes and Other Driving Situations
- [Hog., 1997], HOGREFE, H.: Modern Simulation Tools for Headlamp Lighting. Proceedings of Progress in Automotive Lighting, PAL, S. 260-264, Darmstadt 1997
- [Huh., 1996], HUHN, W.: Bewertung von Scheinwerferlichtverteilungen in der Automobilindustrie. 40 Jahre Lichttechnik Darmstadt, S. 183-186
- [Huh., 2003], HUHN, W.: Influence of Dynamic Car Parameters on Lighting – Position of the Cut-Off-Line in real traffic – Headlamp Voltages in Real Traffic. Proceedings of Progress in Automotive Lighting, PAL, 2003, Darmstadt 2003
- [Joh., 2001], JOHNSON, N. L., BIBLE, R. C.: A Comparison of Retroreflective Sign Performance in Europe and the United States. PAL Proceedings of Progress in Automotive Lighting 2001, S. 461 ff., Darmstadt, 2001
- [Kann., 2003], KANEKO, A., YOSHIDA, S.: Examination of Glare Evaluation Methods for LED Signalling Lights. PAL Proceedings of Progress in Automotive Lighting 2003, S. 479-486. Darmstadt, 2003
- [Kle., 2002], KLINKES, M., VÖLKER, S.: Leuchtdichte-basierte Homogenitätsanalyse von Scheinwerfer-Lichtverteilungen. Tagungsband Licht 2002 15. Gemeinschaftstagung der lichttechnischen Gesellschaften der Niederlande, Deutschlands, Österreichs und der Schweiz, Maastricht 2002
- [Kli., 2004], KLINGER, K.: Lage der Hell-Dunkel-Grenze in Abhängigkeit der Anbauhöhe und des Einstellwinkels von Scheinwerfern, <http://www.lti.uni-karlsruhe.de>, 2004
- [Kli., 2004b], KLINGER, K.: Untersuchungen zur Überlappung von Lichtsignalen bei Kraftfahrzeugen. Tagungsband Licht 2004. 16. Gemeinschaftstagung der lichttechnischen Gesellschaften der Niederlande, Deutschlands, Österreichs und der Schweiz, Dortmund, 2004

- [Kli., 2004c], KLINGER, K.: Mounting height Data. GTB paper „GTBNCAP062 Mounting height Data“, Karlsruhe, 2004
- [Kok., 1997], KOKOSCHKA, S.: Physiologie des Sehens. Lichttechnisches Institut der Universität Karlsruhe, 1997, Vorlesungsmanuskript
- [Kok., 1997b], KOKOSCHKA, S.: Photometrie und Farbmeterik, Lichttechnisches Institut der Universität Karlsruhe, 1997. Vorlesungsmanuskript
- [Kok., 2009], KOKOSCHKA, S., GALL, D.: Projekt Fasival – Entwicklung und Validierung eines Sichtweitenmodells zur Bestimmung der Fahrer-sichtweite. Abschlussbericht 2000, Uni-Karlsruhe, TU-Ilmenau
- [Kok., 2003], KOKOSCHKA, S.: Script zur Vorlesung „Grundlagen der Lichttechnik“, <http://www.lti.uni-karlsruhe.de>, Karlsruhe 2003
- [KOM 2006], Kommission der europäischen Gemeinschaften: Für ein mobiles Europa – Nachhaltige Mobilität für unseren Kontinent, Halbezeitbilanz zum Verkehrsweißbuch der Europäischen Kommission von 2001. KOM (2006) 314, endgültig Brüssel, 22.06.2006
- [Kra., 1998], KRAISS, K.-F.: Script zur Vorlesung „Mensch-Maschine-Systeme I“, RWTH-Aachen, 1998
- [Lan., 1997], LANGWIEDER, K., BÄUMLER, H.: Charakteristik von Nachtunfällen. PAL Proceedings of Progress in Automotive Lighting, S. 326-339, Darmstadt 1997
- [Lin., 1967], LINDAE, G.: Einige Möglichkeiten zur Verbesserung des Abblendlichtes, insbesondere unter Berücksichtigung der psychologischen Blendung. Automobiltechnische Zeitschrift, ATZ 67 (1967), S. 225
- [Lin., 1979], LINDAE, G.: Optimale Scheinwerfergröße für europäisches Abblendlicht. Automobiltechnische Zeitschrift, ATZ 72 (1970), S. 427
- [LLAB, 2006], L-LAB Kompetenzzentrum Licht, KLIEBISCH, D., STRAUSS, St.: private Mitteilung über den aktuellen Forschungsstand der am L-LAB stattfindenden Untersuchungen der Erkennbarkeitsentfernung, 14.2.2006
- [LTI, 2005], Lichttechnisches Institut: Interne Untersuchungen über den Lichtstromrückgang von HID-Lampen, Karlsruhe, 2005
- [LTI, 2006], Lichttechnisches Institut: Interne Untersuchungen über die Leuchtdichten von Seitenmarkierungsleuchten. Karlsruhe, 2006
- [Luc., 2004], LUCE, Th.: Intelligent Rear Lamps – A Breakthrough for Safety and Comfort Photonics in the Automobile, Geneve 2004
- [Mac., 1981], MacADAM, D. L.: Color Measurement – Theme and Variations, 1981
- [Mac., 2001], MACE, D., GARVEY, P., PORTER, R. J., SCHWAB, R., ADRIAN, W.: Countermeasures for Reducing the Effects of Headlight Glare. The AAA Foundation for Traffic Safety www.aaafoundation.org.
- [Man., 1999], MANZ, K.: Thoughts about Acceptable Colour “Tolerance” Areas. Proceedings of Progress in Automotive Lighting PAL, S. 526-532, Darmstadt 1999
- [Man., 2009], MANZ, K.: Are Measurements for the Cut-off Gradient of Headlamps in Different Measurement Distances Possible. SAE Technical Paper Series 2000-01-0803
- [Man., 2001], MANZ, K.: The Influence by Size of Headlamp on Discomfort Glare. Proceedings of Progress in Automotive Lighting PAL, S. 618-630, Darmstadt 2001
- [Man., 2003], MANZ, K.: Color Rendering for Verification of the Color White of Light Sources. Proceedings of Progress in Automotive Lighting PAL, S. 621-630, Darmstadt 2003
- [Nar., 2001], NARINADA, K.: Role of Adaption in Perception under Traffic Lighting Conditions. PAL Proceedings of Progress in Automotive Lighting 2001, Darmstadt, 2001
- [Nos., 2004], NOßKE, T.: Verkehrsschilder ab 1934: Umleitungsschilder, http://www.fh.merseburg.de/~nosske/Epochell/Verkehr/e2v_vs4.html
- [Ols, 1984], OLSENS, P., SIVAK, M.: Discomfort glare from automobile headlights. Journal IES, 1984, S. 296
- [OSR, 2002], OSRAM: Schön, Sie zu sehen! Fahren mit Licht am Tag schafft Sicherheit. <http://www.osram.de/pdf/produkte/allgemein/lightatday.pdf>
- [Ott., 1995], OTTE, D.: Charakteristika von Nachtunfällen. PAL Proceedings of Progress in Automotive Lighting 1995, S. 141-145

- [Oda., 1997], O'DAY, S. M., STONE, L. H., JACK, D. D., BHISE, V. D.: Headlighting – Toward a Model of Customer Pleasing Beam Pattern. SEA Technical Paper Series 970906
- [Ple., 2003], PLEWKA, M.: Lehrbuch Klassen B, BE & A, A1, M & L, T, Grund- und Zusatzwissen für die theoretische Prüfung, Wendel-Verlag 2003
- [Pol., 1998], POLLACK, W.: Position and Quality of the Cut-off in the luminous intensity Distribution of Automobile Headlamps ATZ, Worldwide p. 24-28 und ATZ, Vol. 100, No. 1, 1998, S. 58-64
- [Prü., 2005], Prüfstelle für lichttechnische Einrichtungen an Fahrzeugen: Übersicht über Messwerte aktueller Rückstrahler für Pkw-Internes Dokument, Mai 2005
- [Ren., 1986], RENDU, R.: Proposition d'une méthode objective pour la détermination de la position de la coupure d'un faisceau croisement. Réalisation pratique d'un appareillage Rapport n° 86.14.16. 622/337 1986
- [Rip., 2001], RIPPERGER, J.: Luminance: The Future Photometric for Rear- and Brake-lights. PAL, Proceedings of Progress in Automotive Lighting 2001, S. 810-816m Darmstadt, 2001
- [Rip., 2001b], RIPPERGER, J.: Lichttechnische Anforderungen an Schluss- und Bremsleuchten für Kraftfahrzeuge. Dissertation, Elektrotechnik und Informationstechnik, TU Darmstadt, Herbert Utz Verlag, München, 2001
- [Ros., 1999], ROSENHAHN, E.-O.: Entwicklung von lichttechnischen Anforderungen an Kraftfahrzeugscheinwerfer für Schlechtwetterbedingungen. Dissertation, Elektrotechnik und Informationstechnik, TU Darmstadt, Herbert Utz Verlag, München, 1999
- [SAE, 1996], Recommendations of the SAE Task Force on Headlamp Mounting Height. SAE, Surface Vehicle Draft Technical Report J2338, Oct 96
- [SAE, 2005], SAE J565 draft proposal Developed by the SAE Auxiliary Devices Standards Committee. SAE, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001 Feb 2005
- [Rot., 2009], ROTHBAUER, M.-F.: Arbeitnehmerschutz und Ergonomie bei der Gestaltung von Fahrerständen von Light-Rail-Vehicles (LRVs). Februar 2000
- [Sch., 1974], SCHMIDT-CLAUSEN, H.-J., BINDELS, J.: Assessment of discomfort glare in motor vehicle lighting Lighting Research and Technology Vol. 6, no. 2, 1974, S. 79 –88
- [Sch., 1977], SCHMIDT-CLAUSEN, H.-J., BINDELS, J. Th.: The Increase in Threshold Luminance as a criterion for evaluation of glare Lichttechnik 23, Nr. 10, 1977, S. 547
- [Sch., 1979], SCHMIDT-CLAUSEN, H.-J.: Über die Verbesserung der Sehleistung im Begegnungsverkehr durch das kontinuierliche Abblenden (Dimmen) des Fernlichtes ATZ, Automobiltechnische Zeitschrift 81, 1979, 9, S. 439 – 450
- [Sch., 1995], SCHMIDT-CLAUSEN, H.-J.: Bewertung der Hell-Dunkel-Grenze bezüglich ihrer Qualität und Linearität Proceedings of Progress in Automobile Lighting, Darmstadt 1995
- [Sch., 2005], SCHÖNEBECK, S., ELLMERS, U., GAIL, J., KRAUTSCHEID, R., TEWS, R.: Abschätzung möglicher Auswirkungen von Fahren mit Licht am Tag (Tagfahrleuchten/Abblendlicht) in Deutschland BAST – Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 2005
- [Son., 2001], SONG, H.-J., LEE, CH.-H., HA, Y.-H.: Calculation of Night-time Road Image Under Automotive Head Lights SAE Technical Paper Series, 2001-01-0300 Warrendale 2001
- [SRG, 2006], Safety Rating Group: private Kommunikation, 2006
- [StV, 1988], Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung Verlag C. H. Beck, Loseblattsammlung, 1988
- [Top., 2002], Topographische Karte 1 : 25 000 Graben-Neudorf (6816) Landesvermessungsamt Baden-Württemberg 5. Auflage, 2002
- [TRL., 2002], Primary safety new car assessment programme anual report 2001/2002
- [VED., 1991], VEDILIS Research Report No. 2 TND, Institute for Reception: Discomfort Glare from D1 Headlamps of Different Size
- [VDI, 2003], VISCIDO, T., GROßE, R., DEUTSCH, E., GAEDT, L., LEYTEN, M. J. A., KOK, D.: VDI Berichte 1789 Spannungsschwankungen in zukünftigen Fahrzeugbordnetzen – Methodische Untersuchung der Auswirkungen auf Frontbeleuchtungssysteme Elektronik im Kfz., 2003

- [Völ., 2004], VÖLKER, S.: Bewertungssystem für Scheinwerfer. 3. CTI-Fachkonferenz Lichttechnik Stuttgart, 2004
- [Völ., 2006], VÖLKER, S.: Hell- und Kontrastempfindung – ein Beitrag zur Entwicklung von Ziel-funktionen für die Auslegung von Kraftfahrzeug-Scheinwerfern. Universität Paderborn, 2006
- [WAL., 2002], WALLENTOWITZ, H.: Automotive Engineering III (10th Edition). Lecture Script Automotive Engineering. Schriftenreihe Automobiltechnik, Aachen, October 2002
- [Web., 2001], WEBER, Th.: Virtual Night Drive. Proceedings of Progress in Automobile Lighting, PAL, S. 1062-1069, Darmstadt, 2001
- [Wie., 2001], WEINHOLD, H., BOEBEL, D., FRÖHLICH, H.: Signal Image Enhancement of Projection Type Headlamps by Additional Optics. Lighting Technology Developements for Automobiles. SAE 2001-01-0455
- [Win., 2001], WINDEL, A.: Bildschirm und Tastatur: Behalten Sie den Durchblick. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, www.baua.de/prax/buero/bildtast.htm, 2001
- [Wol., 2002], WOLF, S., BLANKENHAGEN, C., HAHN, W., GALL, D.: Fahrersichtweiten bei Nebelbedingungen im Feldexperiment. Zeitschrift Licht 3/2002, S. 238 ff.
- [Wys., 1982], WYSZECKI, G., STILES, W. S.: Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae. 1982

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

1994

F 5: Nutzen durch fahrzeugseitigen Fußgängerschutz
Bamberg, Zellmer € 11,00

F 6: Sicherheit von Fahrradanhängern zum Personentransport
Wobben, Zahn € 12,50

F 7: Kontrastwahrnehmung bei unterschiedlicher Lichttransmission von Pkw-Scheiben

Teil 1: Kontrastwahrnehmung im nächtlichen Straßenverkehr bei Fahrern mit verminderter Tagessehschärfe
P. Junge

Teil 2: Kontrastwahrnehmung in der Dämmerung bei Fahrern mit verminderter Tagessehschärfe
Chmielarz, Siegl

Teil 3: Wirkung abgedunkelter Heckscheiben - Vergleichsstudie
Derkum € 14,00

F 8: Anforderungen an den Kinnschutz von Integralhelmen
Otte, Schroeder, Eidam, Kraemer € 10,50

F 9: Kraftschlußpotentiale moderner Motorradreifen unter Straßenbedingungen
Schmieder, Bley, Spickermann, von Zettelmann € 11,00

1995

F 10: Einsatz der Gasentladungslampe in Kfz-Scheinwerfern
Damasky € 12,50

F 11: Informationsdarstellung im Fahrzeug mit Hilfe eines Head-Up-Displays
Mutschler € 16,50

F 12: Gefährdung durch Frontschutzbügel an Geländefahrzeugen
Teil 1: Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern
Zellmer, Schmid

Teil 2: Quantifizierung der Gefährdung von Fußgängern
Zellmer € 12,00

F 13: Untersuchung rollwiderstandsarmer Pkw-Reifen
Sander € 11,50

1996

F 14: Der Aufprall des Kopfes auf die Fronthaube von Pkw beim Fußgängerunfall – Entwicklung eines Prüfverfahrens
Glaeser € 15,50

F 15: Verkehrssicherheit von Fahrrädern
Teil 1: Möglichkeiten zur Verbesserung der Verkehrssicherheit von Fahrrädern

Heinrich, von der Osten-Sacken
Teil 2: Ergebnisse aus einem Expertengespräch „Verkehrssicherheit von Fahrrädern“
Nicklisch € 22,50

F 16: Messung der tatsächlichen Achslasten von Nutzfahrzeugen
Sagerer, Wartenberg, Schmidt € 12,50

F 17: Sicherheitsbewertung von Personenkraftwagen – Problemanalyse und Verfahrenskonzept
Grunow, Heuser, Krüger, Zangemeister € 17,50

F 18: Bremsverhalten von Fahrern von Motorrädern mit und ohne ABS
Präckel € 14,50

F 19: Schwingungsdämpferprüfung an Pkw im Rahmen der Hauptuntersuchung
Pullwitt € 11,50

F 20: Vergleichsmessungen des Rollwiderstands auf der Straße und im Prüfstand
Sander € 13,00

F 21: Einflußgrößen auf den Kraftschluß bei Nässe
Fach € 14,00

1997

F 22: Schadstoffemissionen und Kraftstoffverbrauch bei kurzzeitiger Motorabschaltung
Bugsel, Albus, Sievert € 10,50

F 23: Unfalldatenschreiber als Informationsquelle für die Unfallforschung in der Pre-Crash-Phase
Berg, Mayer € 19,50

1998

F 24: Beurteilung der Sicherheitsaspekte eines neuartigen Zweiradkonzeptes
Kalliske, Albus, Faerber € 12,00

F 25: Sicherheit des Transportes von Kindern auf Fahrrädern und in Fahrradanhängern
Kalliske, Wobben, Nee € 11,50

1999

F 26: Entwicklung eines Testverfahrens für Antriebsschlupf-Regelsysteme
Schweers € 11,50

F 27: Betriebslasten an Fahrrädern
Vötter, Groß, Esser, Born, Flamm, Rieck € 10,50

F 28: Überprüfung elektronischer Systeme in Kraftfahrzeugen
Kohlstruck, Wallentowitz € 13,00

2000

F 29: Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen
Teil 1: Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen
Glaeser
Teil 2: Verkehrssicherheit runderneuerter Lkw-Reifen
Aubel € 13,00

F 30: Rechnerische Simulation des Fahrverhaltens von Lkw mit Breitreifen
Faber € 12,50

F 31: Passive Sicherheit von Pkw bei Verkehrsunfällen
Otte € 12,50

F 32: Die Fahrzeugtechnische Versuchsanlage der BAST – Einweihung mit Verleihung des Verkehrssicherheitspreises 2000 am 4. und 5. Mai 2000 in Bergisch Gladbach € 14,00

F 33: Sicherheitsbelange aktiver Fahrdynamikregelungen
Gaupp, Wobben, Horn, Seemann € 17,00

2001

F 34: Ermittlung von Emissionen im Stationärbetrieb mit dem Emissions-Mess-Fahrzeug
Sander, Bugsel, Sievert, Albus € 11,00

F 35: Sicherheitsanalyse der Systeme zum Automatischen Fahren
Wallentowitz, Ehmanns, Neunzig, Weilkes, Steinauer, Bölling, Richter, Gaupp € 19,00

F 36: Anforderungen an Rückspiegel von Krafträdern
van de Sand, Wallentowitz, Schrüllkamp € 14,00

- F 35: Sicherheitsanalyse der Systeme zum Automatischen Fahren
Wallentowitz, Ehmanns, Neunzig, Weilkens, Steinauer,
Bölling, Richter, Gaupp € 19,00
- F 36: Anforderungen an Rückspiegel von Krafträdern
van de Sand, Wallentowitz, Schrüllkamp € 14,00
- F 37: Abgasuntersuchung - Erfolgskontrolle: Ottomotor – G-Kat
Afflerbach, Hassel, Schmidt, Sonnborn, Weber € 11,50
- F 38: Optimierte Fahrzeugfront hinsichtlich des Fußgänger-
schutzes
Friesen, Wallentowitz, Philipps € 12,50

2002

- F 39: Optimierung des rückwärtigen Signalbildes zur Reduzierung
von Auffahrunfällen bei Gefahrenbremsung
Gail, Lorig, Gelau, Heuzeroth, Sievert € 19,50
- F 40: Prüfverfahren für Spritzschutzsysteme an Kraftfahrzeugen
Domsch, Sandkühler, Wallentowitz € 16,50

2003

- F 41: Abgasuntersuchung: Dieselfahrzeuge
Afflerbach, Hassel, Mäurer, Schmidt, Weber € 14,00
- F 42: Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstieg-
systems bei Reisebussen
Krieg, Rüter, Weißgerber € 15,00
- F 43: Testverfahren zur Bewertung und Verbesserung von Kin-
derschutzsystemen beim Pkw-Seitenaufprall
Nett € 16,50
- F 44: Aktive und passive Sicherheit gebrauchter Leichtkraftfahr-
zeuge
Gail, Pastor, Spiering, Sander, Lorig € 12,00

2004

- F 45: Untersuchungen zur Abgasemission von Motorrädern im
Rahmen der WMTC-Aktivitäten
Steven € 12,50
- F 46: Anforderungen an zukünftige Kraftrad-Bremssysteme zur
Steigerung der Fahrsicherheit
Funke, Winner € 12,00
- F 47: Kompetenzerwerb im Umgang mit Fahrerinformation-
ssystemen
Jahn, Oehme, Rösler, Krems € 13,50
- F 48: Standgeräuschmessung an Motorrädern im Verkehr und
bei der Hauptuntersuchung nach § 29 STVZO
Pullwitt, Redmann € 13,50
- F 49: Prüfverfahren für die passive Sicherheit motorisierter Zwei-
räder
Berg, Rücker, Mattern, Kallieris € 18,00
- F 50: Seitenairbag und Kinderrückhaltesysteme
Gehre, Kramer, Schindler € 14,50
- F 51: Brandverhalten der Innenausstattung von Reisebussen
Egelhaaf, Berg, Staubach, Lange € 16,50
- F 52: Intelligente Rückhaltesysteme
Schindler, Kühn, Siegler € 16,00
- F 53: Unfallverletzungen in Fahrzeugen mit Airbag
Klanner, Ambios, Paulus, Hummel, Langwieder, Köster € 15,00
- F 54: Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern an Kreu-
zungen durch rechts abbiegende Lkw
Niewöhner, Berg € 16,50

2005

- F 55: 1st International Conference on ESAR „Expert Symposium
on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on
3rd/4th September 2004 at Hannover Medical School € 29,00

2006

- F 56: Untersuchung von Verkehrssicherheitsaspekten durch die
Verwendung sphärischer Außenspiegel
Bach, Rüter, Carstengerdes, Wender, Otte € 17,00
- F 57: Untersuchung von Reifen mit Notlaufesigenschaften
Gail, Pullwitt, Sander, Lorig, Bartels € 15,00
- F 58: Bestimmung von Nutzfahrzeugemissionsfaktoren
Steven, Kleinebrahm € 15,50
- F 59: Hochrechnung von Daten aus Erhebungen am Unfallort
Hautzinger, Pfeiffer, Schmidt € 15,50
- F 60: Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme
aus Sicht der Verkehrssicherheit
Vollrath, Briest, Schießl, Drewes, Becker € 16,50

2007

- F 61: 2nd International Conference on ESAR „Expert Symposium
on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on
1st/2nd September 2006 at Hannover Medical School € 30,00
- F 62: Einfluss des Versicherungs-Einstufungstests auf die Be-
lange der passiven Sicherheit
Rüter, Zopke, Bach, Carstengerdes € 16,50
- F 63: Nutzerseitiger Fehlgebrauch von Fahrerassistenzsystemen
Marberger € 14,50
- F 64: Anforderungen an Helme für Motorradfahrer zur Motor-
radsicherheit
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig
unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Schüler, Adolph, Steinmann, Ionescu € 22,00
- F 65: Entwicklung von Kriterien zur Bewertung der Fahrzeugbe-
leuchtung im Hinblick auf ein NCAP für aktive Fahrzeugsicherheit
Manz, Kooß, Klinger, Schellinger € 17,50

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.