

Benötigte Lichtstärken für aktive Scheinwerfer

Alexander Günther¹

Sebastian Schade²

1	Universität Paderborn, L-LAB alexander.guenther@l-lab.de	Salzkottener Straße 1 Tel.: 05251 70434361	33106 Paderborn Fax: 0525170434961
2	TU Berlin, FG Lichttechnik sebastian.schade@tu-berlin.de	Einsteinufer 19 Tel.: 030 31428631	10587 Berlin Fax: 030 31422161

1. Kurzfassung

Der vorliegende Beitrag beinhaltet Anforderungen an die Lichtstärkeverteilungen aktiver Scheinwerfer.

Einen Ausgangspunkt für den Aufbau einer Lichtstärkeverteilung eines aktiven Scheinwerfers stellen die Lichtverteilungen heutiger Abblend- und Fernlichtverteilungen dar. Zu diesem Zweck wurden die Vorgaben der ECE für die Lichtstärkeverteilungen von Scheinwerfern analysiert. Hierbei wurden besonders die Regelungen 98, 112 und 113 betrachtet. Die in diesen Regelungen vorgegebenen Lichtstärken sind keine exakten Werte sondern Bereiche. Um die Lichtstärkeverteilungen weiter zu präzisieren wurden Lichtverteilungen heutiger Scheinwerfer untersucht. Hierbei wurde die Hot-Spot-Lichtstärke ausgewertet und es wurden für gewisse Mindestlichtstärken Streubreiten angegeben.

Weiterhin wurde ein Feldversuch zur Erkennbarkeit von Objekten mit aktiven Lichtfunktionen durchgeführt. Zwei verschiedene Verkehrssituationen wurden dargestellt. Der vorausfahrende Verkehr wurde in 200m Entfernung simuliert, der entgegenkommende in 100m und 200m Entfernung. Der Versuch wurde auf einer langen, geraden und unbeleuchteten Straße durchgeführt. Zur Erzeugung der Lichtverteilung wurden Digitalprojektoren eingesetzt, deren maximale Lichtstärke 175000cd betrug. Drei verschiedene Sehobjekte wurden untersucht, ein Tierpräparat, eine dunkel gekleidete Person und eine Graukarte. Die 40cm x 40cm große Graukarte diente als Referenzobjekt. Die Objekte befanden sich in gleicher Entfernung wie der simulierte Verkehr, jedoch auf der anderen Straßenseite. Die Aufgabe der Testpersonen bestand nun im Detektieren der Sehobjekte, während die Lichtstärke erhöht wurde. Nach Analyse der gewonnenen Daten wurden benötigte Lichtstärken für eine Detektionswahrscheinlichkeit von 50% und 75% angegeben.

2. Anforderungen an heutige Abblend- und Fernlichtverteilungen

2.1. Gesetzliche Anforderungen

Die gesetzlichen Anforderung für Beleuchtungseinrichtungen an Fahrzeugen unterliegen im europäischen Raum den Regelungen der UNECE (United Nation Economic Commission Europe). Für Lichtverteilungen des Scheinwerfers sind die Regelungen 98 [1], 112 [2], 113 [3] und 123 [4] maßgeblich. Diese Regelungen beschreiben die Lichtstärkeverteilungen der Scheinwerfer. Am Beispiel der Regelung Nr. 98, die für Scheinwerfer mit Gasentladungslichtquellen gilt, sollen diese Anforderungen näher betrachtet werden. Zur Beschreibung der Lichtstärkeverteilung definieren diese Regelungen Beleuchtungsstärken auf einer in 25m vor dem Fahrzeug stehenden virtuellen Wand. Abbildung 1 zeigt den Messschirm mit einer Lichtverteilung mit Hell-Dunkel-Grenze für Abblendlicht.

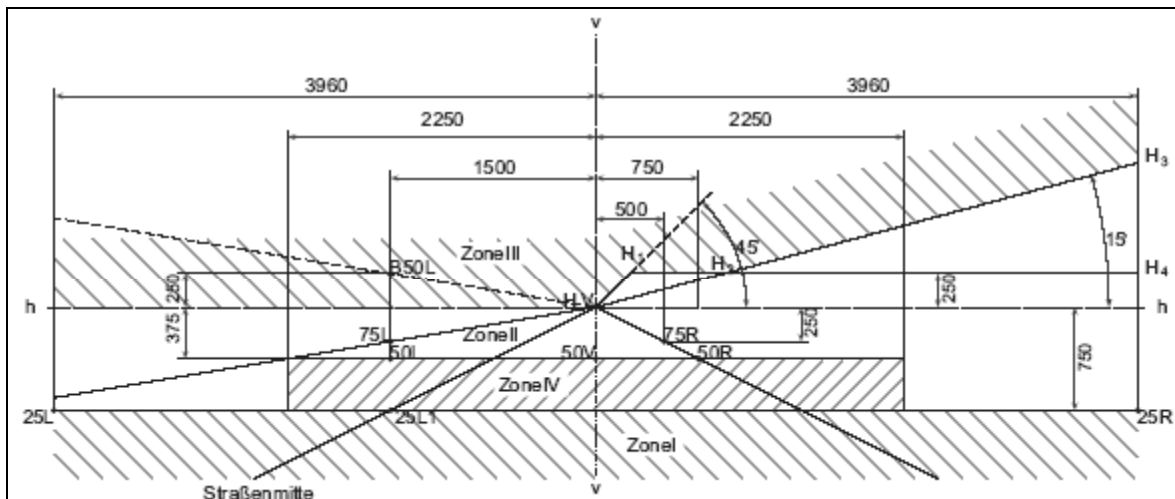


Abbildung 1: Messschirm in 25m Entfernung nach ECE 98 [1]

Nach Regelung 98 sind zwei verschiedene Abblendlichtverteilungen zulässig. Eine Lichtverteilung besitzt einen linearen Anstieg mit 15° auf der rechten Seite. Die andere Lichtverteilung besitzt einen Anstieg von 45° der in einer vertikalen Höhe von 250mm über der Linie HH abgeschnitten wird. Aufgrund Ihres charakteristischen Aussehens wird sie Z-Lichtverteilung genannt. Zusätzlich zur Form der Hell-Dunkel-Grenze gibt diese Regelung für verschiedene Bereiche bzw. Punkte Minimal- bzw. Maximalbeleuchtungsstärken vor. So entsteht eine durch die Hell-Dunkel-Grenze beschnittene Hot-Spot-Lichtverteilung. In Tabelle 1 gibt für einige wichtige Punkte die vorgeschriebenen Beleuchtungsstärken an.

Tabelle 1: Beleuchtungsstärke aus ECE 98 [1]

Bezeichnung	Horizontale Position	Vertikale Position	Beleuchtungsstärke (lx)
HV	0	0	<1
B50L	L150	U25	<0,5
75R	R50	D25	>20
50L	L150	D37,5	<20
25L1	L150	D75	<30
50V	0	D37,5	>12
50R	R75	D37,5	>20

Besonders ist der Punkt B50L zu beachten. Da in diesem Punkt die Blendung relativ zur Entfernung am größten wahrgenommen wird, darf die Beleuchtungsstärke 0,5lx nicht überschreiten. Diese Anforderung ist auch für den aktiven Scheinwerfer von besonderer Relevanz. Um eine Lichtfunktion wie blendfreies Fernlicht darzustellen muss der aktive Scheinwerfer seine Beleuchtungsstärke auf unter 0,5lx absenken können.

Beim Fernlicht handelt es sich um eine Hot-Spot-Lichtverteilung. Die größte Beleuchtungsstärke soll zwischen 70lx und 180lx betragen. Der Punkt HV soll innerhalb der 80% Isoluxlinie liegen. Weiterhin soll die Beleuchtungsstärke einen Wert von 40lx in einem Abstand von 1,125m nicht unterschreiten bzw. 10lx in einem Abstand von 2,25m.

2.2. Analyse von Abblend- und Fernlichtverteilungen

Für den überwiegenden Teil der Messpunkte gibt ECE Regelungen Mindestwerte vor. Reale Scheinwerferlichtverteilungen können diese Werte daher nahezu beliebig überschreiten. Um die Anforderung an die Lichtverteilung eines Scheinwerfers genauer zu spezifizieren wurden mehrere Lichtverteilungen aktueller Scheinwerfer untersucht. Bei diesen Scheinwerfern handelte es sich um Reflexions- und Projektionssysteme die mit Halogenlampen und Gasentladungslampen ausgestattet waren. Hierbei handelte es sich sowohl um Abblendlicht- als auch um Fernlichtverteilungen. In diesen Lichtverteilungen wurde der Punkt mit der höchsten Beleuchtungsstärke (Hot-Spot) gesucht. Durch diesen Punkt wurden horizontale und vertikale Schnitte gelegt. Aus diesen Schnittdarstellungen extrahierte Beleuchtungsstärkebereiche sind für eine 20lx Abstufung in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: ermittelte Beleuchtungsstärkebereiche aus handelsüblichen Scheinwerfern

Beleuchtungsstärke (lx)	Horizontale Ausdehnung (m)	Vertikale Ausdehnung (m)
>100	4	2
>80	6	3,5
>60	7	4
>40	24	5
>20	36	7
>10	40	10,5

Die so gewonnenen Bereiche lassen sich in einem allgemeinen Lichtverteilungsprofil darstellen (vgl. Abbildung 2).

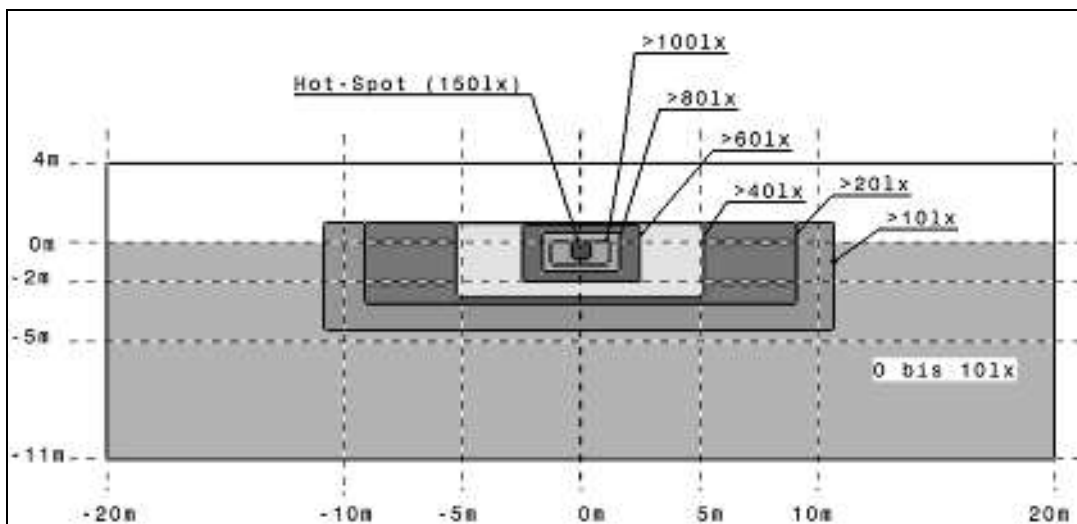


Abbildung 2: Allgemeines Lichtverteilungsprofil

Die Lichtverteilung in Abb. 2 zeigt einen horizontalen Bereich von +/-20m. Die untersuchten Lichtverteilungen besitzen jedoch eine größere horizontale Ausleuchtungsbreite. Dieses Lichtverteilungsprofil beschränkt sich auf diesen kleineren Bereich, da nur dieser Bereich für aktive Scheinwerfer relevant ist.

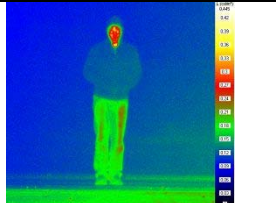
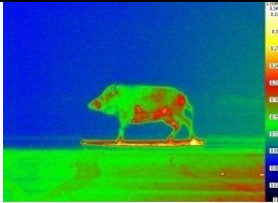
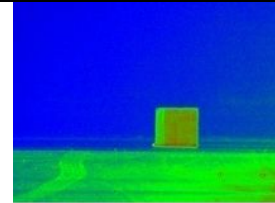
3. Feldversuch zur Ermittlung benötigter Lichtstärken für die Lichtfunktion blendfreies Fernlicht [5]

3.1. Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

3.1.1. Versuchsaufbau

Der Versuch wurde auf einer unbeleuchteten, langen und geraden Straße durchgeführt. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand im Detektieren verschiedener Sehobjekte. Dabei handelte es sich um drei verschiedene Objekte: eine dunkel gekleidete Person, ein Tierpräparat und eine Graukarte. In Tabelle 3 sind einige wichtige Eigenschaften der Sehobjekte dargestellt.

Tabelle 3: Sehobjekte

Objekt	Person	Tierpräparat	Graukarte
Leuchtdichtebild			
Reflexionsgrad	Jacke: 1,7 % Hose: 6,8 %	7,2 %	5 %
Höhe	1,80 m	0,60 m	0,40 m
Breite	0,40 m	1,10 m	0,40 m

Drei baugleiche handelsübliche Digitalprojektoren mit den gleichen Projektionsoptiken erzeugten die Lichtverteilung. Die Projektoren wurden auf einem gemeinsamen Trärgestell angebracht (Abbildung 3).



Abbildung 3: Trärgestell mit Digitalprojektoren

Die optischen Achsen wurden parallel ausgerichtet. In einer Entfernung von 25m bestand mit diesen drei Digitalprojektoren die Möglichkeit eine Beleuchtungsstärke von ca. 290lx zu erzeugen.

In diesem Feldversuch wurden drei verschiedene Verkehrssituationen simuliert. Bei vorausfahrendem Verkehr in einem Abstand von 200m befand sich das Sehobjekt auf der Gegenfahrbahn im gleichem Abstand wie der simulierte Verkehr. Die zweite Verkehrssituation war entgegenkommender Verkehr in einem Abstand von 200m. Das Sehobjekt wurde auf der eigenen Fahrbahn im wieder gleichem Abstand (Abbildung 4) wie der simulierte Verkehr dargeboten.

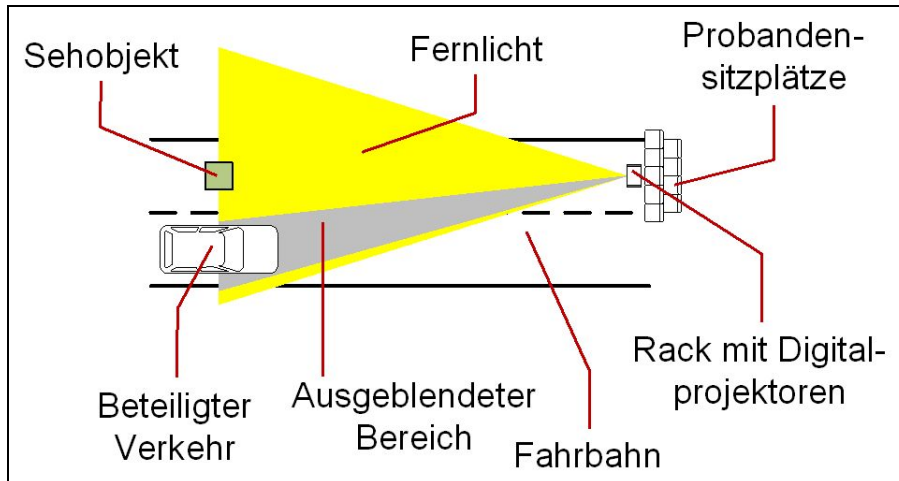


Abbildung 4: Versuchsaufbau

Eine Abstandsverkürzung des entgegenkommenden Verkehrs und des Sehobjekts auf 100m erzeugte die dritte Verkehrssituation. Bei der Simulation der Verkehrssituationen genutzten Fahrzeuges waren die Scheinwerfer exakt nach ECE 98 [1] eingestellt.

3.1.2. Versuchsdurchführung

Während des Feldversuches saßen die Versuchspersonen hinter dem Trägergestell auf dem die Digitalprojektoren montiert waren (Abbildung 4). Zuerst wurde die Verkehrssituation vorausfahrender Verkehr in 200m Entfernung simuliert. Danach wurde der entgegenkommende Verkehr in 200m und 100m Entfernung dargestellt. Jedes Sehobjekt wurde zweimal gezeigt. Zwei zusätzlich in den Versuchsablauf eingefügte Leerdurchgänge sollten zu risikobereites Antwortverhalten der Versuchspersonen vermeiden. Während der kontinuierlichen Erhöhung der Lichtstärke der Digitalprojektoren bestand die Aufgabe der Testpersonen im Detektieren der Sehobjekte. Die Versuchspersonen gaben mittels eines Tastersystems an, wann sie die Sehobjekte gesehen haben. Somit wurde für jeden Durchgang und jede Versuchsperson eine Detektionsbeleuchtungsstärke aufgezeichnet.

3.2. Versuchsauswertung

3.2.1. Stichprobe

Insgesamt nahmen 42 Versuchspersonen an dem Versuch teil. Davon waren 27 Versuchspersonen männlich und 15 weiblich. Da Durchschnittsalter lag bei 36 Jahren, der Median bei 29. Die älteste Testperson war 79, die Jüngste 21. Der Visus aller Testpersonen war größer oder gleich 0,7 da dieser zum Führen eines Kraftfahrzeugs benötigt wird [6]. 21 Versuchspersonen nahmen ohne Sehhilfe teil. Versuchspersonen die

zum Führen eines Kraftfahrzeugs eine Sehhilfe benötigen trugen diese auch während des Versuchs.

3.2.2. Detektionsbeleuchtungsstärken

In der folgenden Tabelle sind für jede Verkehrssituation und jedes Sehobjekt die im Mittel über alle Versuchspersonen benötigten Detektionsbeleuchtungsstärken für eine Detektionswahrscheinlichkeit von 50% und 75% dargestellt. Durch wetterbedingte Versuchsabbrüche ist die Stichprobengröße für jedes Versuchsobjekt unterschiedlich. Dabei sind die benötigten Lichtstärken in Beleuchtungsstärken in einer Entfernung von 25m umgerechnet und in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Detektionsbeleuchtungsstärken

Verkehrssituation	Sehobjekt	Beleuchtungsstärke (lx) für eine Detektionswahrscheinlichkeit von		Stichproben- größe
		50%	75%	
Vorausfahrender Verkehr 200m	Tierpräparat	70,87	99,82	41
	Person	78,56	123,02	33
	Graukarte	98,90	129,63	42
Entgegenkommender Verkehr 200m	Tierpräparat	157,72	229,00	33
	Person	236,04	274,74	33
	Graukarte	131,92	211,85	42
Entgegenkommender Verkehr 100m	Tierpräparat	28,44	38,95	33
	Person	24,62	34,66	23
	Graukarte	19,60	26,68	33

Die Detektionsbeleuchtungsstärken variieren nur wenig innerhalb einer Verkehrssituation. Da trotz unterschiedlicher Größe und Form der Sehobjekte auf einen ähnlichen Reflexionsgrad geachtet wurde, geschieht dies nicht unerwartet. Die Detektionsbeleuchtungsstärken sind für entgegenkommenden Verkehr in 200m Entfernung größer als für vorausfahrenden Verkehr. Da der entgegenkommende Verkehr für die Testpersonen eine Blendquelle darstellt, verschlechtern sich für die Versuchspersonen die Sehbedingungen. Diese Verschlechterung der Sehbedingungen wird durch die höheren benötigten Beleuchtungsstärken kompensiert. Für eine geringere Entfernung des entgegenkommenden Verkehr sinken die Detektionsbeleuchtungsstärken wieder ab.

Für die Lichtfunktion blendfreies Fernlicht ist die Verkehrssituation vorausfahrender Verkehr in 200m besonders relevant da hier keine Möglichkeit besteht das Sehobjekt im Scheinwerferlicht des entgegenkommenden Verkehrs zu entdecken (wie in den anderen beiden Bedingungen im Test). Legt man das 75. Perzentil zugrunde werden für diese Verkehrssituation Beleuchtungsstärken von 100lx bis 130lx benötigt. Dies entspricht typischen Werten heutiger Scheinwerferlichtverteilungen (Abblend- oder Fernlicht). Daher sind die heute üblichen Lichtstärken für diese Verkehrssituation ausreichend. Möchte man auch bei entgegenkommenden Verkehr in 200m Entfernung die Sehobjekte detektieren müssen die Lichtstärken der Scheinwerfer deutlich erhöht werden. Die hierfür benötigten Detektionsbeleuchtungsstärken im Bereich von 210lx bis 275lx (bei Annahme des 75. Perzentils) liegen teilweise oberhalb des gesetzlich erlaubten Rahmens von 180lx [1] oder 240lx [2].

4. Zusammenfassung und Ausblick

Für drei verschiedene Verkehrssituationen wurde in Tabelle 4 benötigte Detektionsbeleuchtungsstärken angegeben. Hierbei wurde zwei verschiedene Detektionswahrscheinlichkeiten berücksichtigt. Die Beleuchtungsstärken zur Detektion von Objekten bei entgegenkommenden Verkehr überschreiten teilweise das gesetzliche Maximum. Zur hier benötigten Erhöhung der Lichtstärken müssen die gesetzlichen Rahmenbedingungen angepasst werden.

Bei der für blendfreies Fernlicht besonders relevanten Verkehrssituation (vorausfahrender Verkehr) liegen die Beleuchtungsstärken im Bereich der Beleuchtungsstärken heutiger Scheinwerferlichtverteilungen. Somit reichen heutige Lichtstärkeverteilungen aus um die Lichtfunktion blendfreies Fernlicht darzustellen.

Die Ergebnisse des Feldversuchs wurden jedoch in einem statischen Versuchsaufbau gewonnen, indem den Versuchspersonen die Position des auftauchenden Sehobjektes bekannt war. Dies ist auf reale Fahrsituation nur bedingt übertragbar. Daher sollten Versuche mit einem dynamischeren Ansatz folgen. Hierbei ist eine weitere Erhöhung der Detektionsbeleuchtungsstärken zu erwarten.

5. Literatur

- [1] UNECE. *Übereinkommen über die Annahme einheitlicher Bedingungen für die Genehmigung der Ausrüstungsgegenstände und Teile von Kraftfahrzeugen und über die gegenseitige Anerkennung und Genehmigung: Regelung 98 Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Kraftfahrzeugscheinwerfer mit Gasentladungs-Lichtquellen*. UNECE Transport Division. 1996.
- [2] UNECE. *Übereinkommen über die Annahme einheitlicher Bedingungen für die Genehmigung der Ausrüstungsgegenstände und Teile von Kraftfahrzeugen und über die gegenseitige Anerkennung und Genehmigung: Regelung 112 Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Kraftfahrzeugscheinwerfer für asymmetrisches Abblendlicht und/oder Fernlicht, die mit Glühlampen ausgerüstet sind*. UNECE Transport Division. 2006.
- [3] UNECE. *Übereinkommen über die Annahme einheitlicher Bedingungen für die Genehmigung der Ausrüstungsgegenstände und Teile von Kraftfahrzeugen und über die gegenseitige Anerkennung und Genehmigung: Regelung 113 Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Kraftfahrzeugscheinwerfer für symmetrisches Abblendlicht und/oder Fernlicht, die mit Glühlampen ausgerüstet sind*. UNECE Transport Division. 2007.
- [4] UNECE. *Übereinkommen über die Annahme einheitlicher Bedingungen für die Genehmigung der Ausrüstungsgegenstände und Teile von Kraftfahrzeugen und über die gegenseitige Anerkennung und Genehmigung: Regelung 123 Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von adaptiven Frontbeleuchtungssystemen (AFS) für Kraftfahrzeuge*. UNECE Transport Division. 2007.
- [5] Günther, Alexander, Schade, Sebastian. *Required luminous intensities for Headlamps with glarefree high beam*. In: ISAL 2009 Proceedings. 2009.

- [6] *Verordnung über die Zulassung von Personen zum Straßenverkehr (Fahrerlaubnisverordnung – FeV) in der Fassung vom 26.03.09. In: BGBl I S.734. 2009*