

Bildgebende Messverfahren im Fokus: Fortschritte der Standardisierung im Bereich der Leuchtdichtemesskameras.

Tanja Thiele, Christian Schwanengel

TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH

Zusammenfassung

Standardisierung und Produktentwicklung sind eng miteinander verbundene Prozesse, die sich gegenseitig beeinflussen und ergänzen. Einerseits entwickeln sich Produkte weiter, so dass stetig an aktuellen Standards gearbeitet werden muss. Andererseits kann auch der Gesetzgeber Rahmenbedingungen definieren, so dass das Produkt einem Standard entsprechen muss. In jedem Fall wird durch die Verwendung von Standards sichergestellt, dass die Produkte kompatibel sind und die gleiche Leistung und Zuverlässigkeit aufweisen. Dies wird auch in der Entwicklung und in der Verwendung von bildgebenden Leuchtdichtemessgeräten angestrebt. Dadurch entsteht innovative Messtechnik, die das Messen nach standardisierten Anforderungen erlaubt und ein Qualitätsstandard schafft. Besonders im Automotivbereich sind durch gesetzliche Bestimmungen für die Sicherheit im Straßenverkehr auf solche Qualitätsstandards zu achten

Index Terms: Standardisierung, Qualität, Messanforderungen

Stand der Technik

Im Straßenverkehr wird ein Fahrer mit den unterschiedlichsten Situationen (Kurven, Fußgänger, usw.) konfrontiert. Um diesen verschiedenen Beleuchtungssituationen gerecht zu werden sind verschiedene Lichtverteilungen nötig, da eine einzige Lichtverteilung nicht in allen Situationen eine optimale Ausleuchtung des Verkehrsraumes gewährleistet. Die Hauptaufgabe eines Scheinwerfers ist also, die Fahrbahn möglichst homogen und weit auszuleuchten. Beim Abblendlichtscheinwerfer muss zusätzlich die Blendung der entgegenkommenden Fahrer in erträglichen, gesetzlichen Grenzen gehalten werden.



Messtechnik

Bei den Qualitätskontrollen von Scheinwerfern wird geprüft, ob die gesetzlichen Anforderungen aber auch die des Kunden und nicht zuletzt die des Herstellers selbst erfüllt werden. Dies geschieht sowohl bei der Entwicklung als auch bei der Serienfertigung. Das vom Gesetzgeber anerkannte Verfahren ist die 1-Bereichs-Photometrie. Hier wird üblicher Weise der Scheinwerfer auf ein Goniophotometer aufgebaut. Die vom Gesetzgeber angegebenen Messpunkte und -zonen bei Scheinwerfern beziehen sich auf eine Goniophotometermessung mit 25m Messentfernung. In Abbildung 1 ist ein prinzipieller Aufbau eines Goniometers dargestellt. Zwischen Goniometer und Photosensor befindet sich in einem Abstand von 10 m eine Wand mit einem Loch in der Mitte, an welches sich ein 15m langer Tubus anschließt. Diese 10m Wand dient unter anderem als Hilfsmittel zur Positionierung der Scheinwerfer und zur visuellen Beurteilung der Lichtverteilung. Die Messung eines bestimmten Winkelbereiches erfolgt durch das sequentielle Anfahren der einzelnen Winkelpositionen.

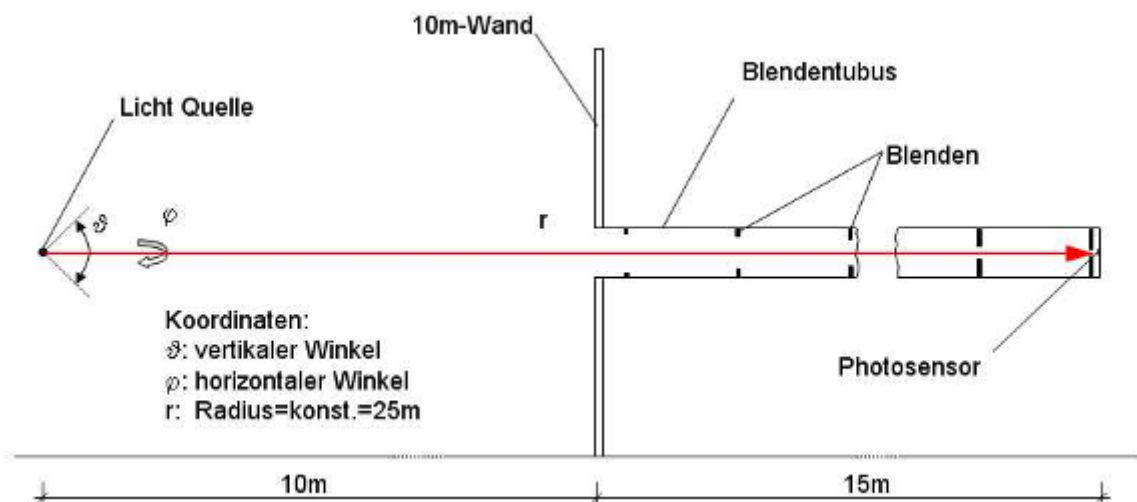


Abbildung 1 Messprinzip eines Goniophotometers

Eine wesentlich schneller Alternative zur Goniophotometermessung ist die Messung mit einer Leuchtdichtemesskamera. Lässt man das Messobjekt auf ein Medium strahlen, erzeugt der auf dem Medium auftreffende Lichtstrom eine Beleuchtungsstärke. Aus dieser resultiert eine Leuchtdichte, die bildauflösend gemessen werden kann. Darauf aufsetzend kann aus dem aufgenommenen Leuchtdichtebild bei Kenntnis der geometrischen Zusammenhänge (Position von Messobjekt, Medium und Kamera) das korrespondierende Beleuchtungsstärkebild sowie die Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) berechnet werden. Weil die Berechnung der LVK über ein zusätzliches Medium und ausgehend von der gemessenen Leuchtdichte in Pixelkoordinaten realisiert wird, spricht man von einer Indirekten LVK-Messung. Abbildung 2 verdeutlicht das Messprinzip am Beispiel einer Scheinwerfermessung. Hier sind typische Messentfernungen 10 m oder mehr.

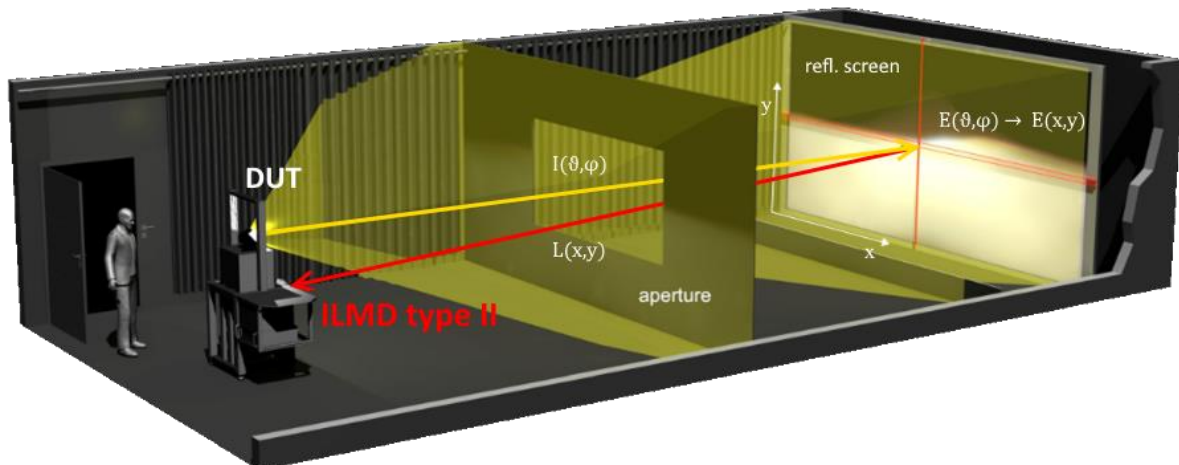


Abbildung 2 Messaufbau zur indirekten Messung der Lichtstärke mit Hilfe eines ILMDs

Wenn man beide Messtechniken kombiniert, kann man die jeweiligen Vorteile nutzen und somit die Messung von Lichtverteilung in Qualität und Schnelligkeit optimieren. Je nach Anforderungen kann man verschiedene Goniometersysteme einsetzen, die den Scheinwerfer für die Messung positionieren. Zusätzlich hat man mehrere Sensoren zur Auswahl, die man flexibel für verschiedene Messungen und Prüfungen einsetzen kann. In Abbildung 3 werden mögliche Konfigurationen gelistet.

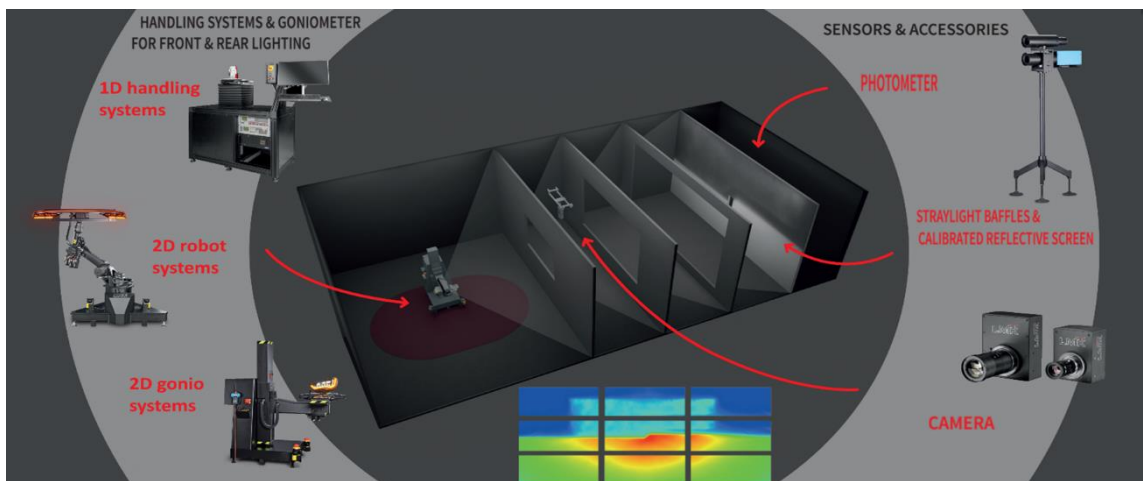


Abbildung 3 Kombinationsmöglichkeiten von verschiedenen Sensoren in einem Labor zur direkten und indirekten Messung von Lichtstärke

Eine umfangreiche Auflistung aller Messtechniken zur Messung von Lichtstärke kann auf der Webseite von TechnoTeam heruntergeladen werden [1].

Gesetzliche Bestimmungen und Standards

Die Anforderungen an KFZ-Scheinwerfer variieren je nach Land und Region, was für Hersteller eine Herausforderung darstellt. Um die Sicherheit und Wirksamkeit ihrer Scheinwerfer zu gewährleisten, müssen Hersteller die spezifischen Anforderungen in ihrer Region erfüllen und diese regelmäßig prüfen und aktualisieren, um Änderungen der Vorschriften zu berücksichtigen. Einige Länder haben strenge Vorschriften für die Helligkeit und Farbe der Scheinwerfer, während andere Länder flexiblere Vorschriften haben. Hersteller müssen sicherstellen, dass ihre Scheinwerfer die geltenden Anforderungen erfüllen, um die Zulassung ihrer Produkte zu erhalten und sicherzustellen, dass sie auf den internationalen Märkten wettbewerbsfähig bleiben können. Für Deutschland gelten die Richtlinien der Europäischen Union UN/ECE. Den Grundstein für eine einheitliche Regelung der technischen Vorschriften für Kraftfahrzeuge wurde Ende der 50er Jahre gelegt. Parallel zur Einführung der asymmetrischen Abblendlichtverteilung wurde in dieser Zeit die erste Prüfvorschrift für die lichttechnische Zulassung eines Frontscheinwerfers in Kraft gesetzt [2].

Messtechnisch bedeutete dies, dass auf einem Messschirm in 25m an fünf einzelnen Punkten, sowie in drei Zonen die Beleuchtungsstärke, meist mit einem Handluxmeter überprüft wurde. Zusätzlich gab es schon Anforderung an die Positionierung des Scheinwerfers vor dem Schirm, was ein Goniometer nötig machte [3].

Mit den Jahren wurde für alle im Straßenverkehr relevanten Beleuchtungen Regularien eingeführt, wie z.B. Fernlicht oder Tagfahrlicht. Mit immer komplexeren Scheinwerfertechnologien wird die Digitalisierung im Auto zum Hauptthema. Lichtfunktionen gehen über das Beleuchten der Straße hinaus und die Scheinwerfer sind zunehmend mit Sensoren verknüpft, deren Informationen während der Fahrt verarbeitet werden und die Lichtverteilung an die benötigte Beleuchtungssituation anpassen. Das Überschneiden der Themenbereiche macht einen immer ausführlicheren Informationsaustausch nötig. So werden die gesetzlichen Regelungen maßgeblich von diversen Gremien und Arbeitsgruppen aus allen beteiligten Bereichen geprägt. Betreffend der Photometrie, werden sowohl Standards in Gremien wie der internationalen Beleuchtungskommission (CIE) und der internationalen Organisation für Normierung (ISO) formuliert und Arbeitsgruppen wie die international automotive lighting and light signaling expert group (GTB) konsultiert, nur um eine Auswahl zu nennen. Die Standards formulieren zum einen Vorgehensweisen, wie man messtechnikübergreifend reproduzierbar misst und die Daten einheitlich aufbereitet, zum anderen auch wie man Messtechnik einheitlich charakterisiert.

Aktuell treibende Standards

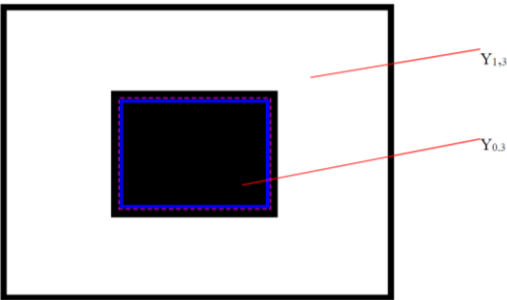
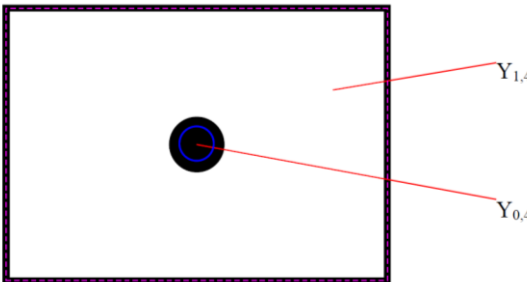
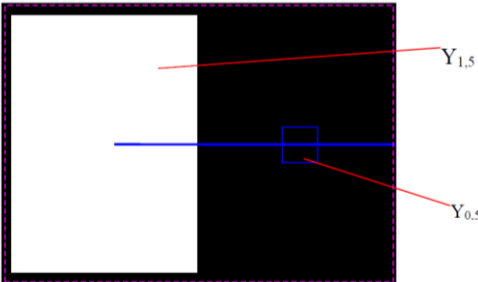
Neue Technologien, erfordern neue Regularien, die wiederum zu neuen Anforderungen an die Messtechnik führen, die dann wiederum einheitlich zum Prüfen der Regularien genutzt werden soll. So beeinflussen sich die Prozesse gegenseitig. Folgend sollen zwei Standards vorgestellt werden, die aktuell die Messtechnik beeinflussen.

CIE 244

Photometer können nach bestimmten Kennzahlen in Qualitätsklassen eingeteilt werden. Das hilft dem Anwender, das Messgerät entsprechend seinen Anforderungen auszuwählen. Eine Kennzahl, die sich besonders durchgesetzt hat, ist f_1' , was die spektrale Anpassung des Messsystems an die $V(\lambda)$ Kurve charakterisiert. Das ideale Messsystem weist laut der Definition 0% Abweichung zur normierten Kurve auf. Diese Kennzahl wurde in der Praxis auf Grund ihrer Bekanntheit auch für orts aufgelöste Leuchtdichtemesstechnik (ILMD) übernommen, beschreibt jedoch die Qualität eines ILMD nur eingeschränkt. In der CIE244 von 2021 werden erstmals weitere Kennzahlen für ILMDs formuliert. Diese Kennzahlen adressieren ein oft diskutiertes Thema: Was ist die messbare Dynamik und was ist der messbare Kontrast eines Messsystems? Der Dynamikbereich eines Systems und die Dynamik innerhalb eines Bildes werden oft verwechselt. Der Dynamikbereich ist definiert als der mögliche Wertebereich für einen bestimmten Pixel, einschließlich der Sättigung und verschiedener Integrations- oder Belichtungszeiten. Der Begriff "Kontrast" ist der Unterschied zwischen zwei Bereichen in einer Messung. Es steht also für die Fähigkeit eines Messsystems, sowohl helle als auch dunkle Signale gleichzeitig in einem Bild zu messen. Ein ILMD kann zum Beispiel Quellen mit einer Strahlung von mehreren Mcd/m^2 sehr genau messen, wie eine helle LED oder die Sonne. Mit demselben Instrument ist es jedoch auch möglich, sehr niedrige Werte von 1cd/m^2 mit hoher Genauigkeit zu messen, z. B. ein dunkles Symbol oder die reflektierte Leuchtdichte von einer nächtlichen Straße. Im ersten Fall haben wir sehr kurze Integrationszeiten ($\sim 100\mu\text{s}$) und im zweiten Fall mehrere Sekunden. Dies entspricht einem Dynamikbereich von 1:10.000.000. Ein Kontrast von 1:10.000.000 würde jedoch bedeuten, dass es möglich wäre, dasselbe dunkle Symbol gleichzeitig zu messen, wenn es sich neben der Sonne befindet. Dies ist jedoch für ein ILMD physikalisch unmöglich. Die Messergebnisse des Symbols wären also falsch. Dass, das nicht geht, liegt am Streulicht. Bei einer solchen Messung wird das Licht von allen Oberflächen innerhalb und außerhalb des Messgeräts gestreut.

Um nun zu wissen, welchen Kontrast das ILMD messen kann wurden folgende Kennzahlen definiert (siehe Tabelle 1):

Tabelle 1 Neue Kennzahlen für ILMDs aus der CIE244. Rot gestrichelt entspricht dem Bildfeld des ILMDs, blau entspricht der Auswerteregion.

Umfeldeinfluss		$f_{23} = \frac{Y_{0,3}}{Y_{1,3}}$
Einfluss auf Negativkontrast		$f_{24} = \frac{Y_{0,4}}{Y_{1,4}}$
Kantenfunktion		$f_{25} = \frac{Y_{0,5}}{Y_{1,5}}$

Das Ziel jedes Herstellers von ILMDs sollte nun sein, genormte Standards nach der CIE244 zu schaffen, um so seine Messtechnik zu charakterisieren. Das verhilft den Nutzern, ILMDs besser zu vergleichen und auch die passende Konfiguration für seine Messaufgabe auszuwählen.

Für das Prüfen von Abblendlichtverteilungen ist der Kontrast besonders interessant. Ein wichtiger Bestandteil der Prüfung von Scheinwerfern ist die Bewertung der Blendwirkung. Idealerweise wird die Straße beleuchtet und nicht der Gegenverkehr. Eine Abblendlichtverteilung wird also ab einem bestimmten Ausstrahlwinkel dunkel, das bildet die sogenannte Hell-Dunkel-Grenze. Wird diese Hell-Dunkel-Grenze, durch ein nicht kontrastoptimiertes ILMD verfälscht, führt das dazu, dass Abblendlichtverteilungen nicht mit solch einer Messtechnik geprüft werden können. Den Unterschied, zwischen einem Standard ILMD und einem kontrastoptimierten ILMD zeigt Abbildung 4.

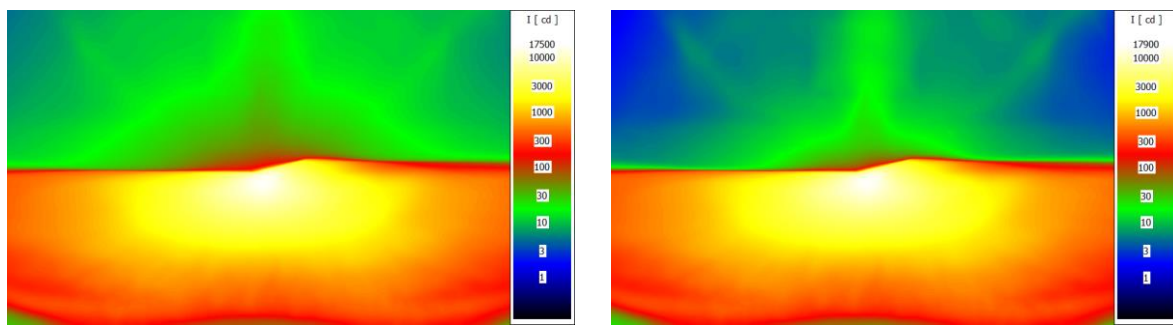
A $f_{25} = 1:600$ B $f_{25} = 1:6000$

Abbildung 4 A Messung eines Abblendlichtes mit einem Standard ILMD B Messung eines Abblendlichtes mit einem kontrastoptimierten ILMD

CIE DIS 027

Hat man die Messtechnik, um die Abblendlichtverteilung eines Scheinwerfers zu messen, ist die Einrichtung des Messlabors, bzw. eine geeignete Messumgebung wichtig. Dabei gilt es auf das Gesamtsystem zu achten. Sowohl die Bedingungen im Messlabor, wie z.B. Umgebungstemperatur und Luftzirkulation, als auch das Handling des Messobjektes, wie. z.B. der Aufbau der Messobjekthalterung und die Stromversorgung, sind nicht zu vernachlässigende Faktoren die zur Qualität der Messung beitragen. Dabei ist auch festzulegen welche Größen gemessen werden sollen. Die oben genannte Norm legt die Anforderungen an die Messung der elektrischen, photometrischen und kolorimetrischen Eigenschaften von Scheinwerfern fest. Folgende Größen werden behandelt:

- Gesamtlichtstrom
- Kumulative Lichtstrom
- Lichtstärke
- Beleuchtungsstärke
- Leuchtdichte
- Farbkoordinaten
- Kontrastverhältnisse von Lichtquellen

Einen besonderen Beitrag leistet die Norm zur Anwendbarkeit der Messunsicherheit für die Messung der oben genannten photometrischen Größen. Basierend auf der CIE 198, die die Berechnung der Messunsicherheit in der Photometrie allgemein erklärt, wird in der CIE DIS 027 konkret auf die Berechnung der Messunsicherheit für die Messung der Lichtstärke in einem Messlabor basierend auf den in der Norm genannten Empfehlung eingegangen. Basierend auf dieser Anleitung, können in verschiedenen Messlaboren die Messunsicherheiten entsprechend bestimmt werden, was die Vergleichbarkeit der Messungen erheblich verbessert. Die CIE DIS 027 soll voraussichtlich im Jahr 2023 veröffentlicht werden.

Literaturverzeichnis

- [1] C. Schwanengel, „www.technoteam.de,“ 19 Juni 2023. [Online]. Available: https://www.technoteam.de/apool/tnt5/content/e3908/e4354/e4674/e4749/e4765/LVK_Messtechniken_ger.pdf.
- [2] B. f. D. u. Verkehr, „<https://bmdv.bund.de>,“ 8 Dezember 2022. [Online]. Available: <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/StV/Strassenverkehr/internationale-harmonisierung-der-technischen-vorschriften-fuer-kraftfahrzeuge.html>. [Zugriff am 19 Juni 2023].
- [3] E. Union, „EUR-Lex,“ 19 Juni 2023. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A42010X0710%2801%29>.