

Neue Wege in der Goniophotometrie

Weißhaar, J.P., opsira GmbH, 88250 Weingarten
weisshaar@opsira.de, www.opsira.de

Abstract

In Zeiten von immer schnelleren Produktzyklen ist eine schnelle und präzise Möglichkeit Lichtquellen und Leuchten zu vermessen extrem wichtig. Moderne Verfahren zur Leuchtenentwicklung erfordern schon sehr früh im Entwicklungsprozess hochwertige Messdaten, um die Entwicklung realitätsnah und effizient durchführen zu können.

Hier müssen sowohl die Hersteller von Leuchten, aber auch die Hersteller oder Anwender von Lichtquellen, schnell und effizient zu den benötigten Daten kommen. Der vorgestellte neue Ansatz der Goniophotometrie vereint die Vorteile verschiedener herkömmlicher Goniophotometer mit mehr Flexibilität, Multifunktionalität und Präzision in nur einem Gerät.

Schlagwörter: Goniophotometrie, DIN EN 13032, Messung von LED Leuchten

Einleitung

Goniophotometer sind von jeher eine grundlegende Messmethode in der Lichttechnik und werden mittlerweile seit ca. 100 Jahren eingesetzt.

Seit den Anfängen und bis heute dienen Goniophotometer in erster Linie zur Messung der winkelabhängigen Lichtstärkeverteilung, des Lichtstärkeverteilungskörpers (LVK), des Prüflings, also der Lichtquelle oder der Leuchte. Der Detektor ist typischerweise ein Photometer im Fernfeld des Prüflings.

Getrieben durch die Entwicklung immer komplexerer aber auch immer kompakterer lichttechnischer Systeme, aber auch durch den Einsatz von immer leistungsfähigeren Optikdesigntools, haben sich auch die Goniophotometeranforderungen diversifiziert.

Dieser Artikel stellt einen grundlegend neuen Ansatz vor, um mit nur einem Gerät die Daten von Lichtquellen als Grundlage des Optikdesignprozesses als auch alle Messungen an den resultierenden Produkten (Leuchten, Scheinwerfer, Signalleuchten, etc.) durchführen zu können. Ergebnis der Messung ist nicht nur der Lichtstärkeverteilungskörper im Fernfeld, sondern einiges mehr.

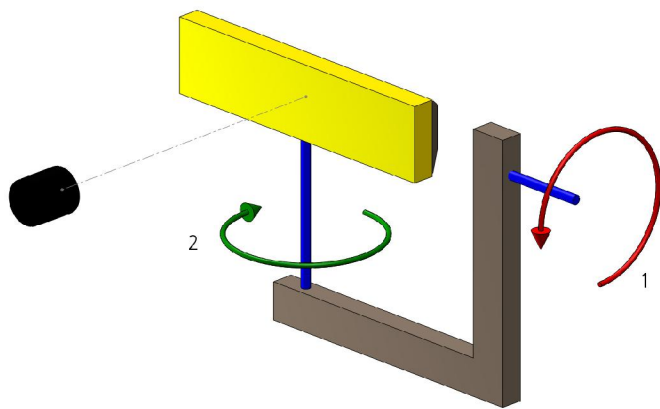
Eine von vielen Anwendungen dieser Weiterentwicklung in der Goniophotometrie ist das Erstellen von polychromatischen Strahlendaten für die Optiksimulation. Diese Strahlendaten ermöglichen dem Optikdesigner eine Entwicklung und Simulation der lichttechnischen Systeme sehr, sehr nahe an der Realität, unter Berücksichtigung der winkelabhängigen Spektralverteilung der Lichtquellen.

Überblick über die Goniophotometertypen

Herkömmliche Goniophotometer werden durch die Art, wie die einzelnen Drehachsen miteinander verknüpft sind, sowie durch die Art, wie die Prüflinge im Raum gedreht werden, unterschieden. Die verschiedenen Bauarten sind ausführlich definiert in den Normen DIN 5032-1, DIN EN 13032-1, CIE 70 oder CIE 121. Diese Normen teilen die Goniophotometer in verschiedene Typklassen von 1.x, 2.x über 3.x bis zu 4 ein. Ohne alle Typen in diesem Artikel im Detail vorzustellen, werden im Folgenden einige typische Aufbauten genauer betrachtet.

Goniophotometer vom Typ 1.1 (Typ A)

Dieser Goniophotometertyp besitzt eine feste horizontale Achse (Zenitachse mit der Nummer 1) und eine bewegliche "vertikale" Achse (Azimutachse mit der Nummer 2). Der Detektor (Photometer) wird durch den schwarzen Zylinder symbolisiert und sitzt typischerweise deutlich weiter entfernt vom Prüfling.



Typ 1.1 / A

Abbildung 1 - Goniophotometer Typ 1.1

Die zweite Achse schwenkt um die erste Achse und behält somit ihre vertikale Ausrichtung nicht bei.

Dieses Goniometer ist z.B. der typische Aufbau zur Messung von KFZ- Leuchten und Scheinwerfern. Die Ergebnisse liegen in der Umgebung des Äquators des resultierenden Polarkoordinatensystems. Der Pol dieses Polarkoordinatensystems zeigt in Richtung der Achse 2.

Goniophotometer vom Typ 1.3 (Typ C)

Dieser Goniophotometertyp besitzt eine feste vertikale Achse (Zenitachse mit der Nummer 2) und eine bewegliche Achse (Azimutachse mit der Nummer 1). Den Detektor symbolisiert wiederum der schwarze Zylinder.

Die Achse mit der Nummer 1 schwenkt um die Achse mit der Nummer 2.

Dieses Goniometer ist z.B. der typische Aufbau zur Messung von Leuchten der Allgemeinbeleuchtung. Die Ergebnisse liegen in der Umgebung des Pols des resultierenden Polarkoordinatensystems.

Der Pol dieses Polarkoordinatensystems zeigt in Richtung der Achse mit der Nummer 1.

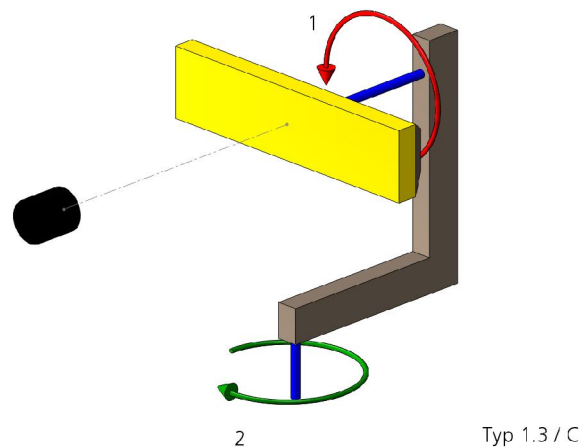


Abbildung 2 – Goniophotometer Typ 1.3

Goniophotometer vom Typ 3.1 (Typ C)

Dieser Goniometertyp verfügt über einen Spiegel, der um eine ortsfeste horizontale Achse rotiert (untere Achse 1) und eine weitere horizontale Achse, die sich gegenläufig zur ersten Achse dreht (obere Achse 1).

Somit wird der Prüfling immer in seiner Gebrauchslage gehalten. Die erste Achse ist kollinear mit der optischen Achse (Messachse) des Goniophotometers.

Die dritte Achse behält somit ebenso ihre Ausrichtung immer bei und rotiert den Prüfling in verschiedenen Azimutwinkelpositionen (Achse mit der Nummer 2).

Dies ist ein weiteres Beispiel für ein Goniophotometer zur Messung von Leuchten der Allgemeinbeleuchtung. Die Ergebnisse liegen in der Umgebung des Pols des resultierenden Polarkoordinatensystems. Der Pol dieses Polarkoordinatensystems zeigt in Richtung der Achse mit der Nummer 2.

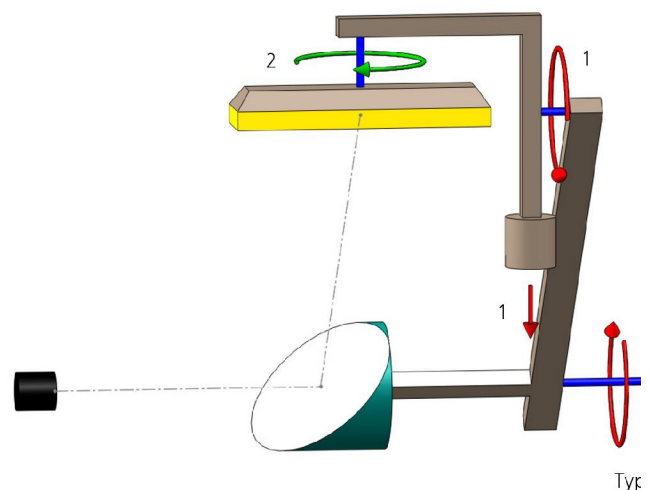


Abbildung 3 – Goniophotometer Typ 3.1

Der Vorteil dieses Aufbaus ist zweifelsohne, dass der Prüfling während der Messung immer in seiner Gebrauchslage verbleibt. Auf der anderen Seite bringt dieser Aufbau eine Reihe von Nachteilen wie z. B. der große mechanische Aufbau, Probleme mit der Planität, der spektralen Eigenschaften und Staub auf dem Spiegel, sowie verhältnismäßig hohe Kosten mit sich. Weiterhin kommt es bei der Messung mit dem Spiegelgoniometer zu unerwünschten und nicht korrigierbaren Mehrfachreflexionen zwischen dem Prüfling und dem Spiegel. Messfehler sind die Folge.

Aufgrund der rasanten Verbreitung von LED basierten Beleuchtungssystemen, die deutlich unempfindlicher gegen Lageänderungen reagieren als Systeme mit konventionellen Lichtquellen, hat die Bedeutung des Drehspiegelgoniophotometers weiter abgenommen. Für einige der konventionellen Systeme, z.B. mit Gasentladungslichtquellen, war das Drehspiegelgoniophotometer zwingend erforderlich. LED Systeme benötigen es nicht.

Dieser Trend schlägt sich auch in der aktuellen Normung nieder. Die relativ neue Norm EN DIN 13032-4 zur Messung von LED Systemen beschreibt explizit die Rotation des Prüflings aus der Gebrauchslage. Komplexe und kostenintensive Spiegelsysteme werden somit überflüssig.

Nahfeld und Fernfeld

In den letzten ein bis zwei Jahrzehnten hat sich eine weitere Anwendung der Goniophotometrie entwickelt. Zuvor wurden die Systeme fast ausschließlich im Fernfeld der Prüflinge eingesetzt. Der Detektor, typischerweise ein Photometer, war in einer ausreichenden Entfernung zum Prüfling platziert, um den geometrischen Fehler der Lichtstärkemessung aufgrund der Ortsausdehnung des Prüflings klein werden zu lassen. In dieser Fernfeldbetrachtung wird der Prüfling zu einer Punktlichtquelle.

Der neue Weg goniophotometrisch im Nahfeld zu messen wird getrieben von zwei Anforderungen:

- Aufgrund von beengten Laborbedingungen besteht der Wunsch, den Lichtstärkeverteilungskörper von großen Leuchten auch bei geringen Messabständen zu messen – ohne großen Messfehler aufgrund des photometrischen Entfernungsgesetzes.
- Zum rechnergestützten Optikdesign werden deutlich detailliertere Informationen der Lichtquellen benötigt. Der Lichtverteilungskörper der Lichtquelle im Fernfeld ist bei weitem nicht mehr ausreichend, sondern es werden hochortsaufgelöste Informationen der Lichtquellenemission benötigt.

Während der erstgenannte Einsatz der Nahfeldgoniophotometrie die gleichen Daten liefert wie die herkömmliche Fernfeldgoniophotometrie – den Lichtstärkeverteilungskörper – ist der zweitgenannte Einsatz von größerer Bedeutung. Durch die Messung der orts aufgelösten Emission rund um die Lichtquelle können detaillierte Strahlendaten der Lichtquelle erstellt werden, die dann in der Simulation zu sehr realitätsnahen Simulationsergebnissen führen. Ein typischer Aufbau eines Nahfeldgoniophotometers ist das Goniometer Typ 2.1.

Der Prüfling (Lichtquelle oder Leuchte) wird um eine feststehende vertikale Achse rotiert (Azimutachse mit der Nummer 1) und der Detektor rotiert um eine weitere, ebenfalls ortsfeste vertikale Achse (Zenitachse mit der Nummer 2). Im Gegensatz zu den bisher vorgestellten Aufbauten sind die Achsen hier nicht gekoppelt bzw. voneinander abhängig.

Zur orts aufgelösten Goniophotometrie in Nahfeld ist ein einfaches Photometer nicht mehr ausreichend. Eine Kamera bzw. eine Leucht- oder Strahldichtemesskamera ist erforderlich. Das resultierende Datenvolumen, aber auch der Informationsgehalt, ist deutlich höher als bei der klassischen Fernfeldgoniophotometrie.

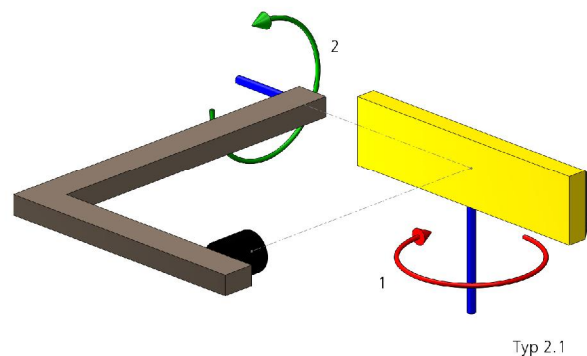


Abbildung 4 – Goniophotometer Typ 2.1

Zusammenfassung zur herkömmlichen Goniophotometrie

Im letzten Abschnitt wird deutlich, dass es verschiedene geometrische Ansätze zur Goniophotometrie für verschiedene Anwendungen gibt (Automotive, Allgemeinbeleuchtung, etc.). Weiterhin ist beschrieben, dass verschiedene kinematische Ansätze sowohl für die Messung im Fern- als auch im Nahfeld verwendet werden.

Die nächste Generation der Goniophotometrie

Alle im vorigen Abschnitt beschriebenen Goniophotometer besitzen, unabhängig von ihrem spezifischen Goniometertyp, 1.1, 1.2 oder 2.1, insgesamt fünf oder mehr bewegliche Achsen:

- Mindestens 2 rotatorische Achsen für die Winkelpositionierung des Prüflings oder auch des Detektors.
- Mindestens 3 translatorische Achsen für die Positionierung des Prüflings im Drehpunkt des Goniophotometers. Diese werden zum Teil nur vor der Messung zur Ausrichtung verwendet.

Weiterhin wurde deutlich, dass für verschiedene lichttechnische Anwendungen bzw. Märkte viele verschiedene Aufbauten verwendet werden. 1.1 für Automobilanwendungen, 1.3 für die Allgemeinbeleuchtung, etc..

Der grundsätzlich neue Ansatz in der Goniophotometrie ist der Einsatz eines Industrieroboters, um die Rotations- und Translationsbewegungen auszuführen. Mit den 6 Achsen ist dieser Manipulator, genannt "robogonio", in der Lage, alle genannten Koordinatensysteme in einem Gerät zu realisieren; sowohl für Nah- als auch für Fernfeldmessungen.

Prinzipiell werden Industrieroboter seit geraumer Zeit in Produktionsumgebungen eingesetzt. Warum wurden sie dann nicht schon früher auch für die Goniophotometrie verwendet?

Auf der einen Seite hat die Stückzahl von produzierten Industrierobotern in den letzten Jahren stark zugenommen, was den Preis für diese Maschinen in einen interessanten Bereich für den Einsatz in der Goniophotometrie gebracht hat. Auf der anderen Seite hat sich die Positionier- und Winkelgenauigkeit der Roboter stetig verbessert. Sie ist mittlerweile im Bereich der Genauigkeit der traditionellen Goniometer angekommen oder übertrifft diese sogar.



Abbildung 5 - Goniophotometer "robogonio"

Eine Reihe von Vorteilen lassen sich bei diesem Ansatz der Goniophotometrie aufzählen:

- Beliebige Koordinatensysteme bzw. Goniometertypen. z.B. 1.1 oder 1.3 bzw. Typ A oder Typ C, können nun mit ein und demselben Gerät realisiert werden.
- Der Aufbau der Industrieroboter ist extrem stabil und steif mit einer sehr hohen Langzeitzuverlässigkeit im Vergleich zu den in geringer Stückzahl hergestellten herkömmlichen Goniometern.
- Mehrere, auch weit auseinanderliegende Lichtschwerpunkte können in einer Messung realisiert werden (z.B. verschiedene Lichtfunktionen in einem Automobilscheinwerfer).
- Der mechanische Aufbau schränkt sehr lange Prüflinge deutlich weniger in der Bewegung ein.
- Eine große Anzahl verschiedener robogonio Baugrößen ab einer Tragkraft von 6 kg bis zu 1000 kg stehen zur Verfügung.
- Durch den Einsatz von schnellen Detektoren ist die Messung eines 2π Lichtverteilungs-körpers in weniger als 2 Minuten abgeschlossen.
- Die Norm DIN EN 13032-4 fordert eine Aufwärmphase für LED Systeme von mindestens 15 Minuten in der Gebrauchslage (typischerweise vertikal nach unten bei den meisten Beleuchtungsanwendungen). Nach Abschluss der Aufwärmphase wird die Leuchte Richtung Detektor positioniert (typischerweise horizontal). Mit dem robogonio Ansatz kann durch die kinematische Flexibilität sowohl die Aufwärmphase als auch die Messung automatisch in einem Durchlauf erfolgen. Die traditionellen Goniometer, z.B. vom Typ 1.3, sind nicht in der Lage diese Forderung der DIN EN 13032-4 zu erfüllen.

Weiterhin kann das robogonio sowohl für Fern- als auch für Nahfeldmessungen eingesetzt werden. Dies ermöglicht dem Lichttechniker oder Optikdesigner sowohl das Messen von detaillierten Lichtquelleneigenschaften als Basis für die Entwicklung als auch das Messen des Lichtverteilungskörpers der resultierenden Leuchte mit einem Gerät – egal ob es sich um eine Automotiveanwendung (1.1 Gonio) oder um eine Allgemeinbeleuchtungsanwendung (1.3 Gonio) handelt.

Die folgenden Abbildungen erklären die verschiedenen Bewegungen des robogonios je nach Anwendung.

robogonio im 1.1 Modus (Typ A Modus)

Das robogonio führt im 1.1 Modus exakt die gleichen Bewegungen aus wie ein traditionelles Goniophotometer.

Aufgrund der weitestgehend uneingeschränkten Positionierung des Prüflings auf dem Goniophotometer ist auch die Messung von sehr großen bzw. sehr langen Leuchten einfach möglich. Bi- oder Omnidirektionale Leuchten (z.B. Flughafenfeuer o.ä.) oder auch Systeme mit mehreren Lichtfunktionen können einfach gemessen werden.



Abbildung 6 – robogonio im 1.1 Modus

robogonio in 1.3 Modus (Typ C Modus)

Das gleiche Gerät läuft nun im 1.3 Modus und führt die identischen Bewegungen wie ein traditionelles 1.3 Goniophotometer aus.

Offensichtlich kann das zu prüfende System bzw. die zu prüfende Leuchte sehr lang sein, da sie vom Goniophotometer frei im Raum gedreht werden kann.

Weiterhin kann diese Bewegung in beliebige Messrichtungen gerichtet werden. Traditionell in eine horizontale Messrichtung oder auch, bei großer Laborhöhe, vertikal nach oben.



Abbildung 7 – robogonio im 1.3 Modus

robogonio im 2.1 Modus

(Source Imaging bzw. Strahlendatenmodus)

Beim "Source Imaging" Modus für die Erzeugung von Strahlendaten von Lichtquellen werden raumwinkelähnliche Messpositionen rund um die Lichtquelle benötigt.

Der Pfad der Messung ist ein mäanderförmiges Abfahren einer virtuellen Hüllkugel um die Quelle.



Abbildung 8 – robogonio im Source-Imaging Modus

Nicht - goniometrische bzw. Nicht-Rotationsanwendungen

Das Abfahren oder Abrastern einer beliebigen Geometrie im Raum ist mit einem traditionellen Goniophotometer aufgrund der Bauart unmöglich.

Aktuell werden mehr und mehr langgestreckte Leuchtenfunktionen, meist auf Basis von Lichtleitern, aber auch auf Basis von einzelnen LEDs entwickelt und eingesetzt. Bei diesen Systemen besteht u.a. die Anforderung nach einer hochaufgelösten Prüfung der Leuchtdichteverteilung. Aufgrund der kinematischen Flexibilität des neuen Ansatzes können derartige Leuchten schnell und hochaufgelöst in beliebigen Geometrien getestet werden.

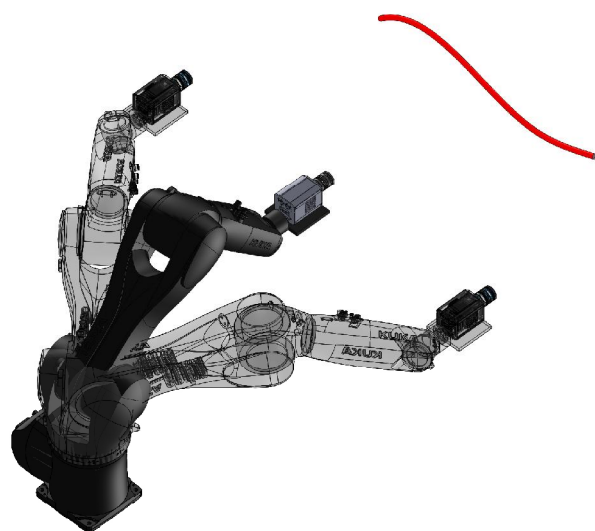
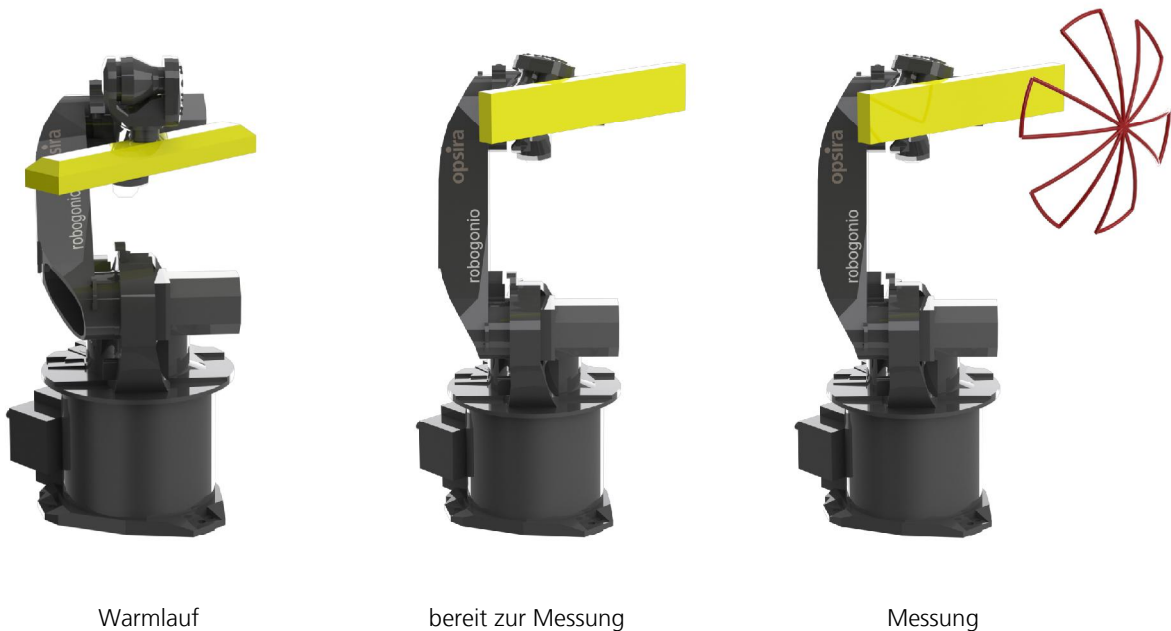


Abbildung 9 – robogonio im Nicht - Rotationsmodus

Warmlauf nach DIN EN 13032-4

Die folgenden Abbildungen zeigen, wie die Leuchte bei diesem Ansatz während der Aufwärmphase in Ihrer Gebrauchslage gehalten werden kann. In diesem Beispiel nach unten gerichtet. Die Änderungen in der lichttechnischen Performance während der Warmlaufphase werden durch ein Hilfsphotometer, das ortsfest an der Leuchte befestigt ist, erfasst und ausgewertet.



Nach Ablauf der Warmlaufphase richtet das robogonio die Leuchte in Richtung Detektor aus (typischerweise horizontal). Das Hilfsphotometer erfasst eventuelle Änderungen durch die Lageänderung. Nun kann die goniophotometrische Messung mit der warmgelaufenen Leuchte beginnen. Änderungen der Leuchte aufgrund der Lageänderungen während der Messung werden gemäß DIN EN 13032-4 wieder durch das Hilfsphotometer erfasst, protokolliert und zur Korrektur der Messdaten verwendet.

Zusammenfassung

Dieser Artikel beschreibt einen grundsätzlich neuen und wesentlich flexibleren Ansatz der Goniophotometrie. Die beschriebene Technologie kann in einer Vielzahl von Märkten der Lichttechnik eingesetzt werden. Das roboterbasierte Goniophotometer stellt ein wertvolles Gerät für den gesamten Prozess der lichttechnischen Entwicklung dar. Ein und dasselbe Gerät liefert sowohl die Strahlendaten als Basis für die Entwicklung als auch die erforderlichen Messdaten zur Prüfung des Endproduktes oder auch die Daten für die Vertriebsdokumentation.

All diese Vorteile stehen im Kontext mit einer herausragenden Präzision und einer sehr hohen Messgeschwindigkeit zu einem vergleichbar interessanten Preis.

Der neue Weg der Goniophotometrie!

Quellen und Marken

- [1] R. Baer, D. Gall, "Grundlagen Beleuchtungstechnik", Huss-Medien GmbH, 2006
- [2] DIN 5032-1 Lichtmessung - Teil 1: Photometrische Verfahren, 1999.
- [3] DIN EN 13032-1 Licht und Beleuchtung – Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten – Teil 1: Messung und Datenformat, 2004.
- [4] CIE 70 The measurement of absolute luminous intensity distributions, 1987.
- [5] CIE121 The photometry and goniophotometry of luminaires, 1996.
- [6] V. Schumacher, J. Weißhaar, F. Potekev, "Lichtquellenmodellierung für optische Simulation", Photonik 1/2001.
- [7] D. Hansen, "Messung und Simulation polychromatischer Strahlendaten", Automobiltechnische Zeitung 11, 868 – 873, 2012
- [8] TÜV Fahrzeug - Lichttechnik GmbH, TÜV Rheinland, Technical Report No. 5356066, opsira robogonio, 2013
- [9] DIN EN 13032-4 - Licht und Beleuchtung - Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten - Teil 4: LED-Lampen, -Module und -Leuchten; Deutsche Fassung prEN 13032-4:2013
- [10] Prof. Dr.-Ing. Peter Marx, "Neue Goniophotometer für lichttechnische Laboratorien", LICHT, Pflaum Verlag, München, 1997
- [11] robogonio® ist ein eingetragenes Warenzeichen der opsira GmbH, Weingarten, Deutschland