

Messung von Strahlendaten einer LED mit dem Goniophotometer RiGO801-LED

Diese Application Note behandelt die Messung von Strahlendaten anhand einer weißen LED des Typs ams OSRAM LCW CP7P. Nach einer kurzen Einführung in das Messprinzip werden die Einrichtung und Durchführung der Messung detailliert erklärt. Weitere Informationen sind der Dokumentation des Messprogramms [1] zu entnehmen. Abschließend folgt ein Überblick über die Messergebnisse. Die Weiterverarbeitung der Daten wird in einer separaten Application Note beschrieben.

Inhaltsverzeichnis

Messprinzip Goniophotometer RiGO801 – LED	1
Vorbereitung der Messung.....	2
Ausrichten der LED im Goniometerkoordinatensystem	3
Messung einrichten	5
Wahl des Messmodus und des Dateinamens	5
Wahl des Winkelbereichs und der Winkelauflösungen	5
Kameraeinstellungen.....	6
Photometereinstellungen	7
Weitere Schritte bis zum Start der Messung	7
Messung durchführen	8
Messergebnisse	8
Allgemeine Angaben und Lichtstrom	9
Daten der Lichtstärkeverteilung.....	10
Strahlendaten.....	10
Daten externer Messgeräte	11
Daten der Stabilisierungsphase.....	11
Polmonitoring.....	12
Zusatzdaten	12
Weiterverarbeitung der Messdaten.....	13
Verweise.....	14

Messprinzip Goniophotometer RiGO801 – LED

Alle RiGO801 Goniophotometer nutzen das Nahfeldmessprinzip, bei dem eine um die Lichtquelle bewegte Leuchtdichtemesskamera (ILMD, siehe [2]) die räumliche Leuchtdichte verteilt erfasst. Diese wird anschließend in Strahlendaten und die Lichtstärkeverteilung (Lvk) umgewandelt (siehe [3], [4], [5], [6], [7]). Strahlendaten, auch häufig als ray data oder ray file bezeichnet, bestehen aus Vektoren mit zugeordneten Lichtstromanteilen. Eine ausreichend hohe Anzahl von Strahlen bildet die Abstrahlcharakteristik einer Lichtquelle präzise ab. Sie werden häufig für die realitätsnahe Simulation optischer Komponenten eingesetzt.

Das Goniophotometer RiGO801 – LED¹ ist speziell für die Messung von Strahlendaten von LEDs und LED-Modulen ausgelegt. Die Leuchtdichtemesskamera LMK 6-5² bewegt sich auf einem Kreisbogen (Theta-Achse) um das Messobjekt, das auf der stehenden Rotationsachse (Phi-Achse) montiert ist.

Die Messung eines Strahls ist exemplarisch in Abbildung 2 illustriert. Ein Pixel des Bildsensors definiert zusammen mit dem Zentrum des Objektivs den Startpunkt (P_x, P_y, P_z) und die Richtung (n_x, n_y, n_z) des Strahls. Der Lichtstromanteil $\Delta\Phi$ wird aus der Leuchtdichte des Pixels und des korrespondierenden Raumwinkels berechnet. Die Strahlen aller Leuchtdichtebilder ergeben zusammen den Strahlendatensatz.

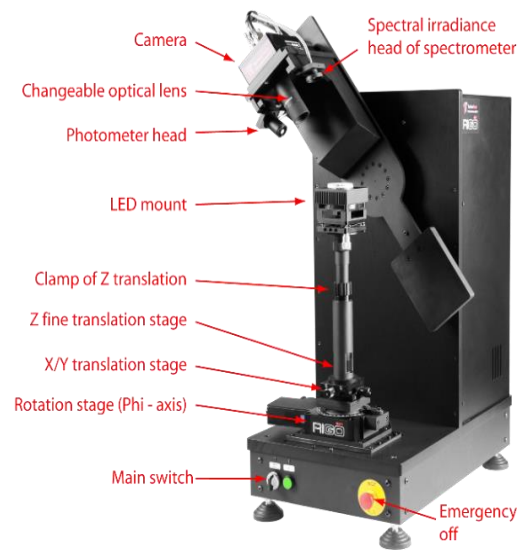


Abbildung 1: Goniophotometer RiGO801-LED

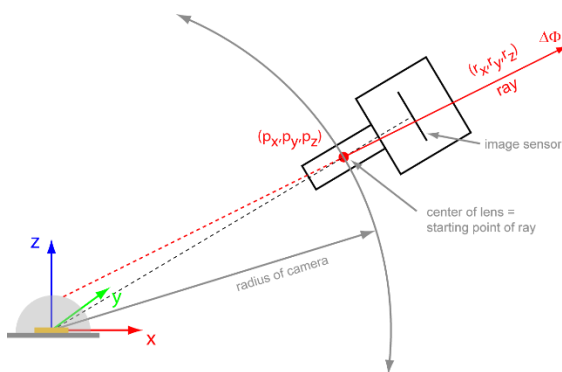


Abbildung 2: Messung eines Strahls

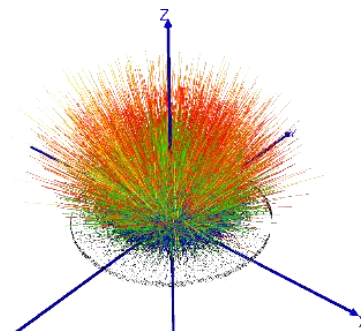


Abbildung 3: Strahlendatensatz

¹ https://www.technoteam.de/produkte/goniophotometer_rigo801/rigo801_led/index_ger.html

² https://www.technoteam.de/produkte/photometer_colorimeter/lmk_6_color/index_ger.html

Vorbereitung der Messung

Vor der Messung wird die LED auf der Messfassung des Goniophotometers montiert (siehe Abbildung 4). Die Messfassung umfasst einen Kühlkörper (75 mm x 75 mm) mit Gewinderasterplatte, einen Lüfter und eine Nivelliereinheit. Der Kühlkörper sorgt für konstante thermische Bedingungen während der Messung, wobei der Lüfter bei höheren Verlustleistungen zugeschaltet werden kann.

Die LED sollte zur Montage auf der Rasterplatte auf einer Leiterplatte mit passenden Befestigungsbohrungen aufgelötet sein. Abschattende Bauteile oder andere störende Elemente sind zu vermeiden. Insbesondere müssen die für die Ausrichtung der LED im Goniometer benötigten Blickrichtungen frei bleiben (siehe folgenden Abschnitt). In dieser Application Note wird eine LED auf einer Star-Platine verwendet, die sich einfach auf der Rasterplatte verschrauben lässt (siehe Abbildung 5).

Die Anschlussdrähte werden zum seitlichen Klemmenblock der Messfassung geführt. Für einen stabilen Betrieb der LED empfiehlt sich der Einsatz von Konstantstrom. Bei der Messung von Strahlendaten stehen üblicherweise nicht die Nenngrößen im Fokus, sodass der Betriebsstrom von den Nennparametern abweichen kann. Er sollte jedoch so gewählt werden, dass die LED in einem stabilen Betriebsmodus arbeitet. Zu geringer Strom kann bei Leistungs-LEDs unerwünschtes Verhalten verursachen, während zu hoher Strom thermische Belastungen erhöhen kann.

Die Messfassung wird nun auf der Teleskopachse des Goniophotometers montiert und die Höhe und die Verdrehung per Augenmaß vorjustiert.



Abbildung 4: Messfassung



Abbildung 5: Montierte LED Platine



Abbildung 6: Montierte Messfassung

Ausrichten der LED im Goniometerkoordinatensystem

Die Bewegungsachsen Theta und Phi des Goniophotometers definieren ein Kugelkoordinatensystem und das damit verknüpfte kartesische Koordinatensystem (siehe Abbildung 7). Die gemessenen Strahlendaten werden in diesem Goniometerkoordinatensystem ausgegeben. Daher ist es entscheidend, die genaue Lage des Messobjekts im Koordinatensystem zu kennen, um die Daten korrekt verwenden zu können.

Es empfiehlt sich, das Messobjekt möglichst präzise und nachvollziehbar im Koordinatensystem auszurichten und diese Ausrichtung sorgfältig zu dokumentieren. Dies geschieht über die Funktion „Messung -> Messobjekt ausrichten“. Dabei öffnet sich ein Dialog, der das Kamerabild mit eingeblendeten wählbaren Rasterlinien und dem Koordinatensystem zeigt. Zudem bietet er eine Steuerung der Goniometerachsen und die Möglichkeit zur Aktivierung einer Aufsichtbeleuchtung (siehe Abbildung 10). Die Kamera wird nun üblicherweise auf Blickrichtungen in die Achsen des kartesischen Koordinatensystems positioniert um geeignete Bilder für die Positionierung und Nivellierung bzw. Verdrehung der LED aufzunehmen.

Die horizontale Positionierung der LED erfolgt mittels der X/Y-Stelleinheit der Teleskopachse. Die Höheneinstellung kann über die Verschiebung des Teleskoprohrs in einem größeren Bereich sowie über eine Feinverstellung vorgenommen werden. Die Verdrehung wird durch das Drehen des Teleskoprohrs bei leicht gelöster Klemmung ermöglicht. Die Nivellierung der LED erfolgt durch die in der Messfassung integrierte Nivelliereinheit.

Bei der Positionierung sind folgende Aspekte zu beachten:

- Das Zentrum des Lichtaustrittsbereichs sollte sich aufgrund der begrenzten Tiefenschärfe des Objektivs möglichst in der Mitte befinden.
- Die Verdrehung bzw. Nivellierung der LED sollten möglichst anhand eindeutig erkennbarer Kanten bzw. Konturen erfolgen.

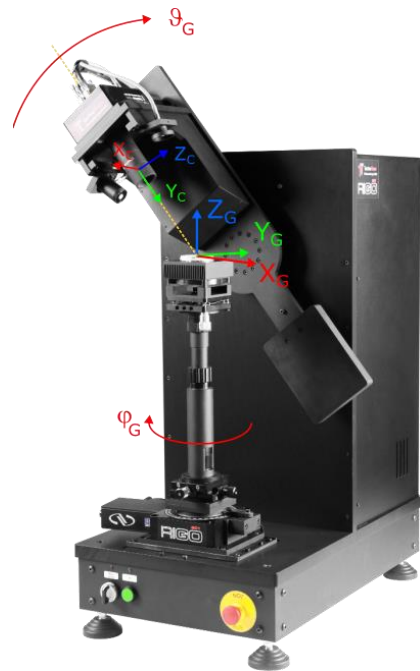


Abbildung 7: Goniometerkoordinatensystem



Abbildung 8: X/Y Stelleinheit und Z-Feinversteller



Abbildung 9: Nivelliereinheit der Messfassung

- Die genutzten Merkmale sollten in den Zeichnungen des Datenblatts oder den CAD-Daten wiederzufinden sein. Dadurch lässt sich die Lage des Koordinatenzentrums eindeutig in Bezug zur LED bestimmen.

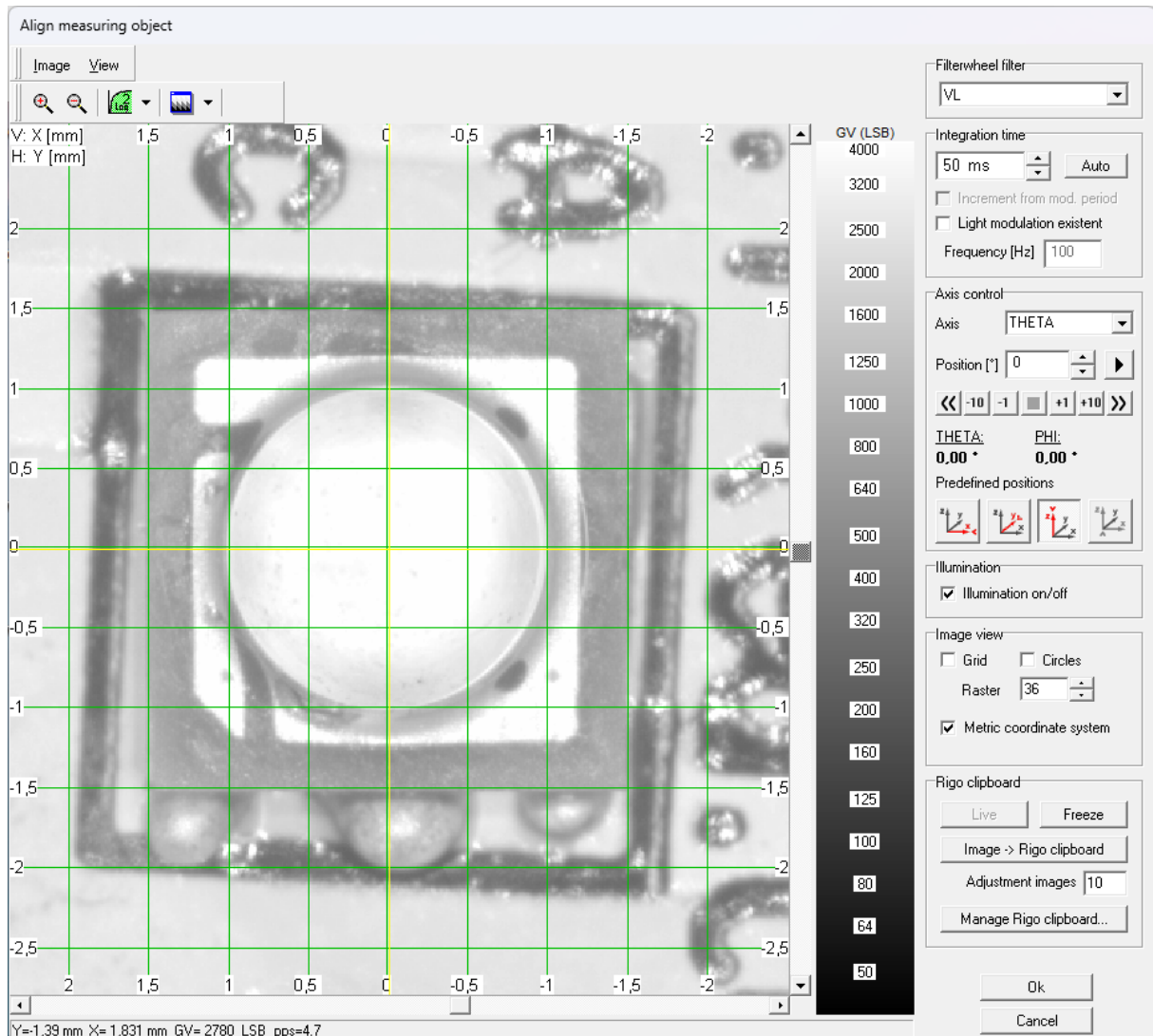


Abbildung 10: Dialog zur Ausrichtung der LED im Goniometerkoordinatensystem

Bei der verwendeten LED wird das quadratische Gehäuse in der Aufsicht symmetrisch zum Zentrum des Koordinatensystems ausgerichtet. In den seitlichen Ansichten erfolgt die Justierung der Höhe sowie der Verkippung in der jeweiligen Ebene. Dabei wird die Oberseite des Gehäuses so positioniert, dass sie in der x/y-Ebene liegt (siehe Abbildung 11).

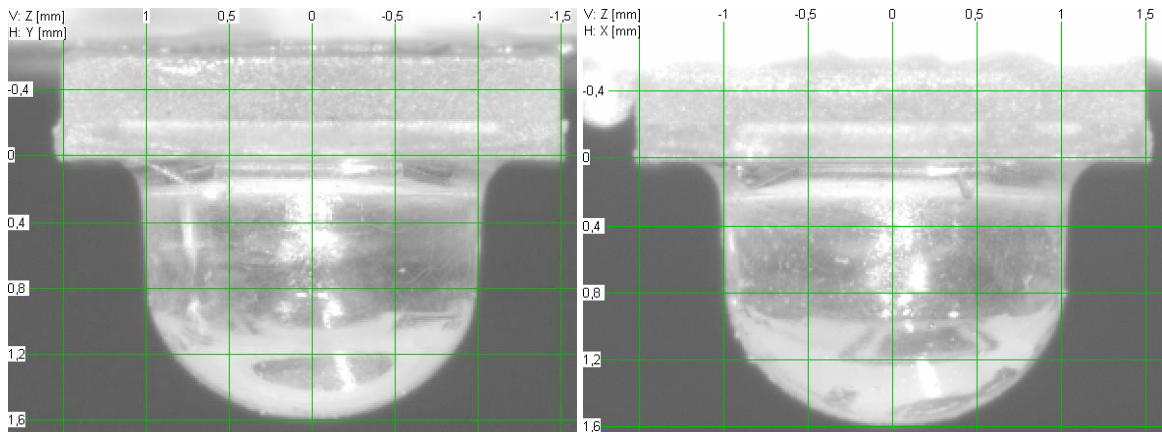


Abbildung 11: Seitliche Ansichten der LED bei der Positionierung

Nach Abschluss der Ausrichtung sollten die Ansichten der LED im Koordinatensystem für die spätere Verarbeitung der gemessenen Strahlendaten gespeichert werden. Dies kann entweder durch das Speichern von Screenshots oder durch die Ablage der Ansichten in der Messdatei erfolgen (*Image -> RiGO clipboard*).

Messung einrichten

Die Einrichtung der Messung wird über den Menüpunkt „Messung > Messung durchführen...“ gestartet. Das Messprogramm leitet anschließend schrittweise durch verschiedene Dialoge, in denen die Einstellungen und Angaben zur Messung vorgenommen werden (siehe Abbildung 12).

Wahl des Messmodus und des Dateinamens

Für die Messung von Strahlendaten wird der Kameramodus ausgewählt und die Option „Strahlendaten speichern“ aktiviert. Anschließend werden zwei Ergebnisdateien definiert: eine TTL-Datei für die Lichtstärkeverteilung und eine TTR-Datei mit den Strahlendaten im TechnoTeam-Format.

Wahl des Winkelbereichs und der Winkelauflösungen

Für den Winkelbereich sollte der gesamte Bereich gewählt werden, in dem eine relevante Abstrahlung erfolgt. Häufig umfasst dies $\pm 90^\circ$, jedoch strahlen viele LEDs, wie auch im vorliegenden Fall, in einen größeren Winkelbereich ab. In Bereichen jenseits von 90° sind höhere Leuchtdichten vorhanden, insbesondere im Bereich der Linse. Obwohl diese Anteile teils Streulicht darstellen, sind sie für eine realitätsnahe Abstrahlcharakteristik entscheidend und sollten daher erfasst werden. Hier wurde ein Winkelbereich von $\pm 100^\circ$ gewählt, da ab diesem Punkt bereits eine Abschattung durch die Leiterplatte oder die Messfassung auftritt.

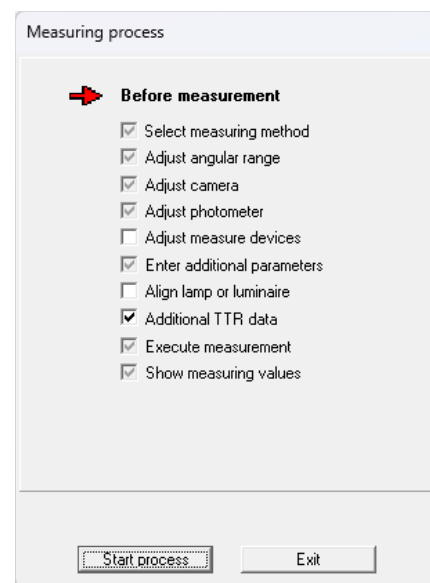


Abbildung 12: Schritte zur Einrichtung der Messung

Diese Überlegung führt zur Thematik der korrekten, abschattungsfreien Montage der LED. Bei Abstrahlungen über 90° hinaus werden Anteile von der Leiterplatte reflektiert, anstatt korrekt gemessen zu werden. Um einen freien Strahlengang zu gewährleisten, sollte in diesem Fall die Montageposition der LEDs erhöht sein. Im vorliegenden Beispiel wurde dies nicht umgesetzt, weshalb diese Effekte in der Auswertung berücksichtigt und bewertet werden sollten.

Die Winkel-Messaufösungen der beiden Goniometerachsen betragen üblicherweise 0.5° oder 0.75° , was eine besonders hohe Qualität der Abtastung der Leuchtdichteverteilung ermöglicht. Diese hohe Auflösung hat nur geringe Auswirkungen auf die Messdauer, da die Messung on-the-fly erfolgt und mit etwa 1,5 bis 2 Stunden vergleichsweise schnell abgeschlossen ist.

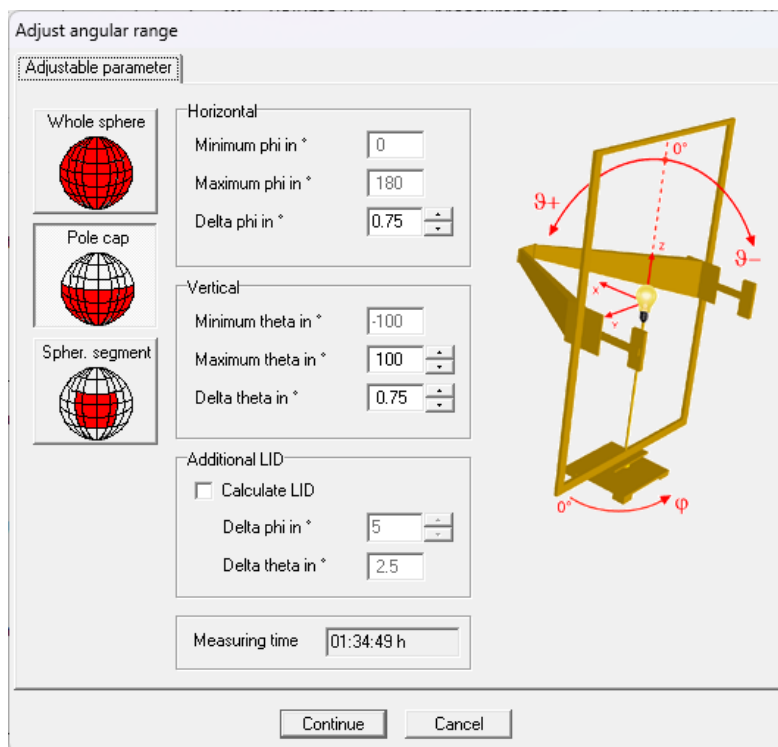


Abbildung 13: Einstellung des Winkelbereichs und der Winkelauflösung

Kameraeinstellungen

Bei den Kameraeinstellungen werden die Integrationszeit, der verwendete ND-Filter und, bei einer Filterradkamera, der korrekte Filter ausgewählt – in diesem Fall der $V(\lambda)$ -Filter für photometrische Messungen. Da die Integrationszeit während der Messung konstant bleibt, muss sie an der Position mit maximaler Leuchtdichte korrekt eingestellt werden. Der Dialog bietet hierfür die Option eines Maximumscans, der die Kamera an die Stelle der maximalen Leuchtdichte bewegt.

An dieser Position wird die Integrationszeit eingestellt, wobei die Kamera für einen optimalen Dynamikbereich im Bereich von etwa 90 % Aussteuerung betrieben werden sollte. Im vorliegenden Fall ergibt sich bei einer Integrationszeit von 10 ms eine Aussteuerung von 90 % (siehe Abbildung 14).

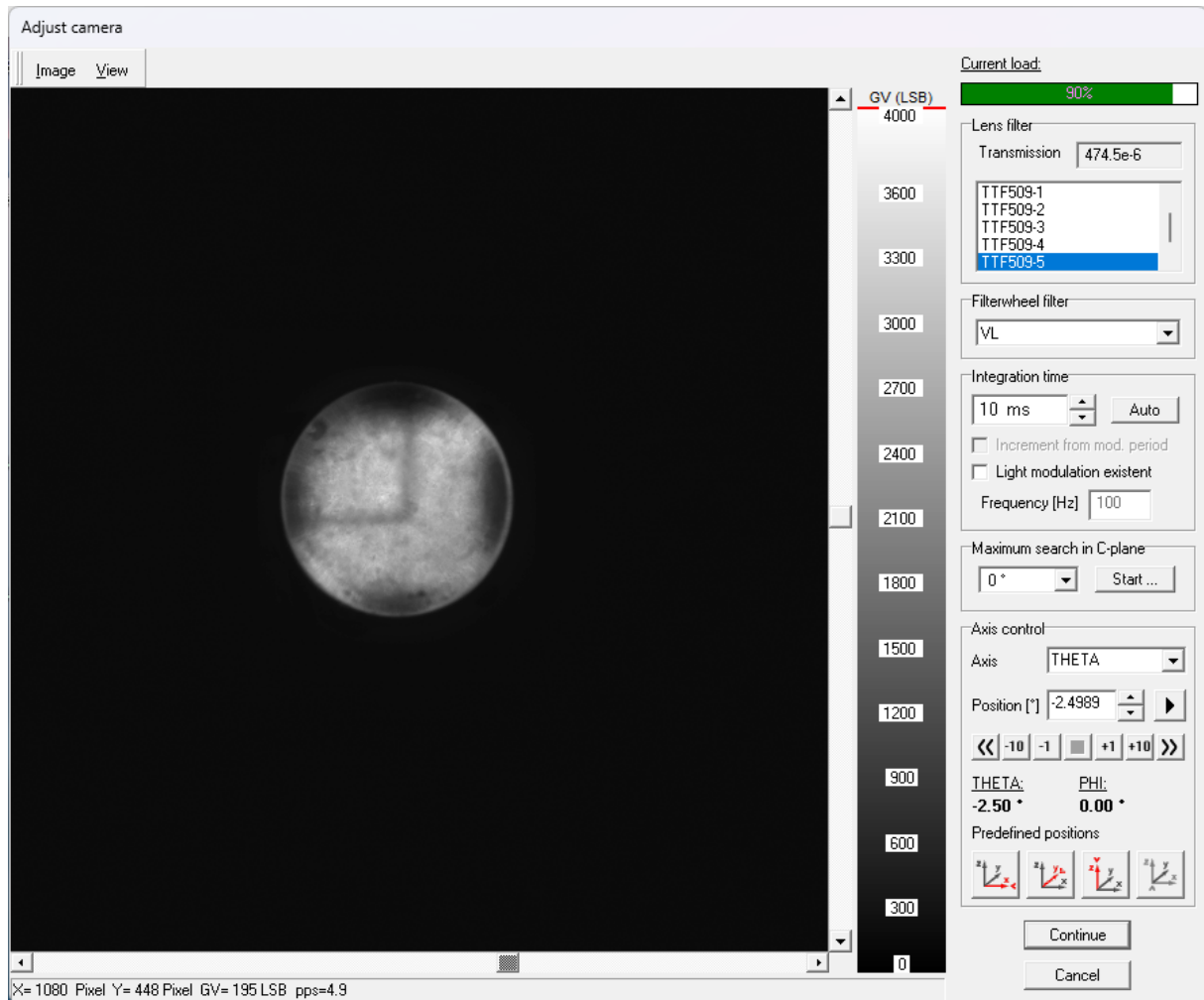


Abbildung 14: Einstellung der Kameraparameter

Photometereinstellungen

Wie bei der Kamera bleibt auch beim Photometer der Messbereich während der Messung unverändert. Daher muss der Messbereich an der Position mit der maximalen Aussteuerung, also der maximalen Beleuchtungsstärke, eingestellt werden. Weitere Details hierzu sind im Messhandbuch beschrieben.

Weitere Schritte bis zum Start der Messung

Vor dem Dialog zum Starten der Messung öffnet sich eine Eingabemaske für diverse optionale Angaben zur Messung und zum Messobjekt. Weiterhin wird ein Dialog zur Bearbeitung der Daten in der speziellen Zwischenablage des Messprogramms eingeblendet. Hier sind die Bilder der LED Ausrichtung aufgeführt, die dort ggf. in die Zwischenablage eingefügt wurden. Diese Daten können bei Bedarf an dieser Stelle nochmals eingesehen und bearbeitet werden. Zur Übernahme der Daten in die TTR Datei muss die Option „Rigo-Zwischenablage in TTR-Zusatzdaten übernehmen“ aktiv sein.

Messung durchführen

Die Lichtquelle muss zum Start der Messung einen möglichst stabilen Betriebszustand erreicht haben. Für die Startprozedur stehen zwei Optionen zur Verfügung:

1. **Verzögerungszeit:** Angabe eines festen Zeitintervalls, nach dem die Messung startet.
2. **Automatische Startprozedur mit Stabilisierungsüberwachung:** Diese Methode erfolgt gemäß CIE S 025 [8] bzw. IES LM-79-19 [9]. Dabei wird der zeitliche Verlauf der Beleuchtungsstärke gemessen und ein Stabilitätskriterium innerhalb eines festgelegten Zeitfensters (typischerweise 15 Minuten) überprüft. Sobald die gewünschte Stabilitätsschwelle erreicht ist, startet die Messung automatisch. Für LEDs ist eine Stabilitätsschwelle von 0,2 % empfehlenswert.

Die hier verwendeten Parameter sind in Abbildung 15 dargestellt.



Abbildung 15: Automatischer Start der Messung nach Stabilisierungsphase

Messergebnisse

Nach Abschluss der Messung öffnet sich ein Fenster mit mehreren Registerkarten, die alle Angaben und Ergebnisse der Messung anzeigen (siehe Abbildung 16).

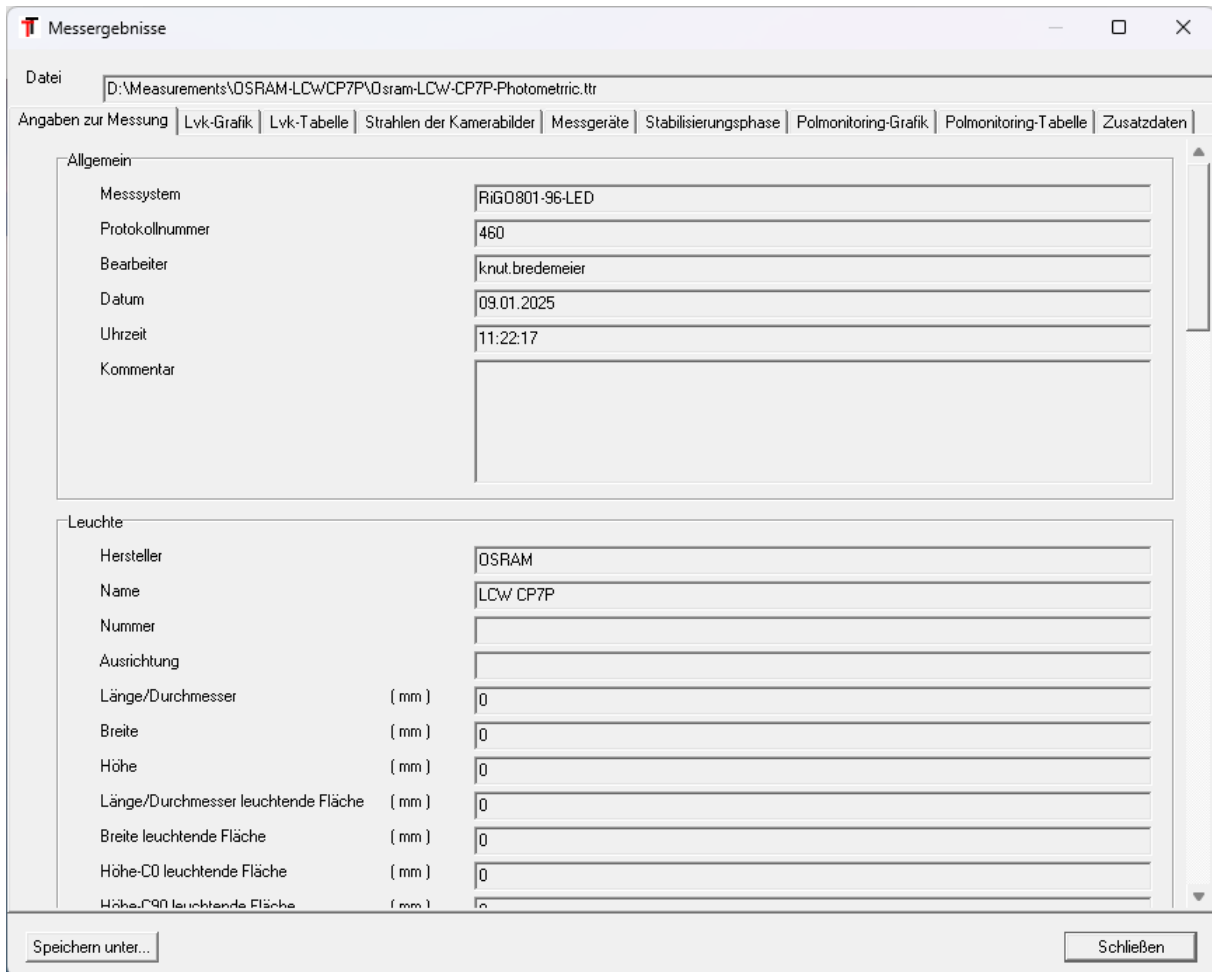


Abbildung 16: Übersicht der Angaben und Ergebnisse der Messung

Allgemeine Angaben und gemessener Lichtstrom

In dieser Formularansicht stehen zunächst die allgemeinen Angaben und Einstellungen zur Messung und weiter unten in der Liste, in der Sektion „Lvk“, finden sich der gemessene Lichtstrom sowie das Lichtstärkemaximum mitsamt dem zugehörigen Winkel.

Lvk		
Lichtstrom	(lm)	30,193
Betriebswirkungsgrad	(%)	100
Mc		480
Dc	(°)	0,75
Ng		241
Dg	(°)	0,75
Lichtstärkemaximum	(cd)	16,04
Maximumposition Phi / C	(°)	15
Maximumposition Theta	(°)	4,5
Maximumposition gamma	(°)	175,5

Abbildung 17: Messergebnisse Lichtstrom und Lichtstärkemaximum

Daten der Lichtstärkeverteilung

Die Daten der gemessenen Lichtstärkeverteilung werden in den Registerkarten „Lvk-Grafik“ als Polardiagramm (Abbildung 18) und unter „Lvk-Tabelle“ als Datentabelle ausgegeben.

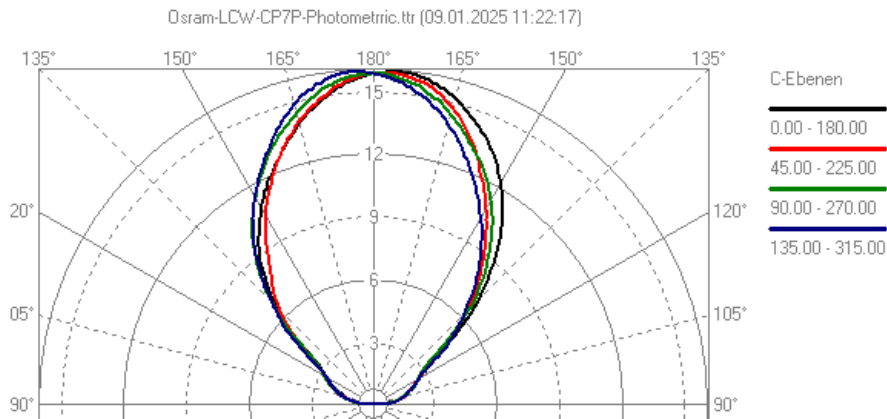


Abbildung 18: Lvk Polardiagramm

Eine übersichtliche 3D-Darstellung der Lvk kann mit dem kostenlosen TechnoTeam 3D-Viewer³ erstellt werden. Diese Ansicht ermöglicht es, Effekte wie Lichtstromänderungen während der Messung oder andere Anomalien leicht zu erkennen.

Die 3D-Ansicht der hier gemessenen Lvk (Abbildung 19) zeigt beispielsweise eine Asymmetrie und Deformation der Lichtstärkeverteilung. Dies erfordert weitere Prüfungen und zusätzliche Messungen, um zu klären, ob die beobachteten Abweichungen auf eine Streuung der LED-Eigenschaften oder auf spezifische Probleme der gemessenen LED zurückzuführen sind.

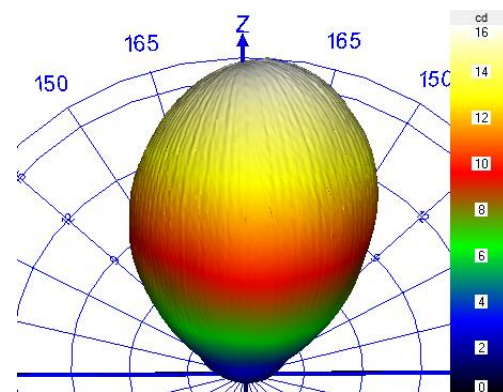


Abbildung 19: 3D-Darstellung der Lvk

Im vorliegenden Fall könnte eine Beschädigung der LED durch eine zu hohe Temperaturbelastung beim Lötprozess die Ursache sein.

Strahlendaten

Die Registerkarte „Strahlen der Kamerabilder“ zeigt die für jedes Leuchtdichtebild generierten Strahlenstartpunkte. Abbildung 20 zeigt beispielhaft das Strahlendatenbild für eine seitliche Position. Hier ist Linse der LED und der optisch verzerrte LED Chip sichtbar. Außerhalb der LED erkennt man einige Streulichtanteile, die näher Untersuchung werden sollten. Hierbei handelt es sich in diesem Fall um Reflexionen an der Leiterplatte, die bereits zuvor thematisiert wurden. Eine genauere Auswertung

³ https://www.technoteam.de/produkte/goniophotometer_rigo801/rigo801_software/technoteam_3d_viewer

erfolgt in einer weiteren Application Note zur Aufbereitung und Analyse der gemessenen Strahlendaten.

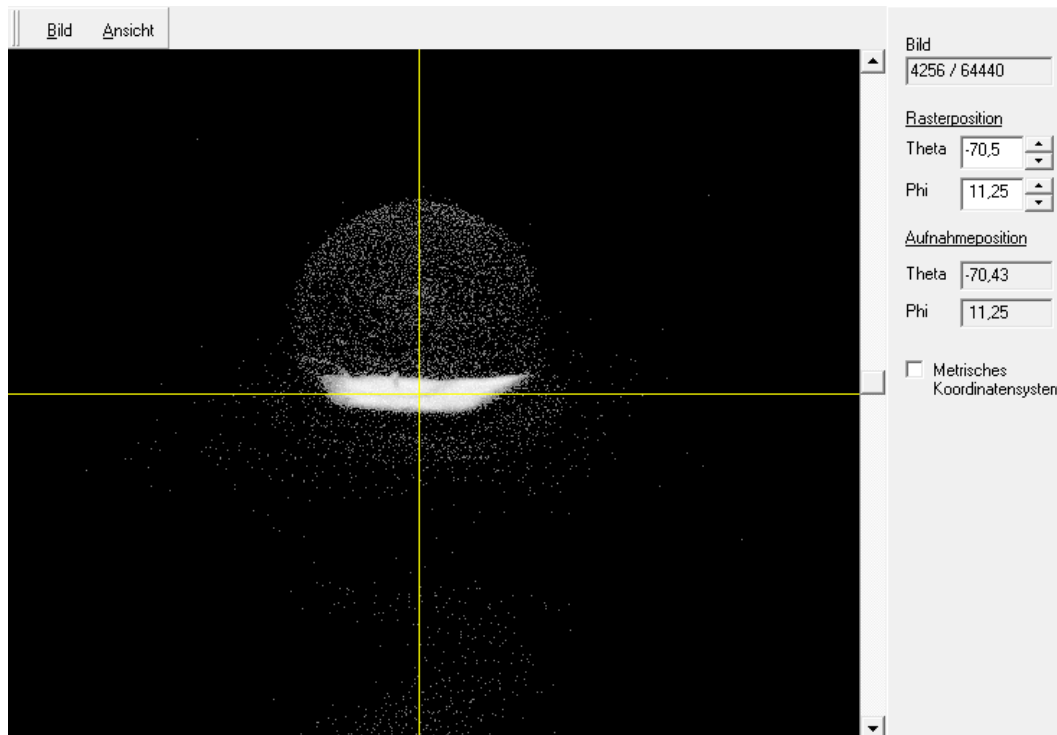


Abbildung 20: Strahlendaten der Kamerabilder

Daten externer Messgeräte

Das RiGO801 Messprogramm bietet die Möglichkeit externe Messgeräte, wie beispielsweise Wattmeter, Voltmeter, Temperaturmessgeräte oder sonstige Datenlogger einzubinden. Während der Messung werden Daten der eingebundenen Messgeräte erfasst und in der TTL Messdatei gespeichert. Die Registerkarte „Messgeräte“ zeigt diese erfassten Daten an.

Bei der hier zugrundeliegenden Messung sind nur die Standardmessgrößen verfügbar: die Gerätetemperatur und die Temperatur der Messfassung. Diese sollten während der Messung möglichst konstant sein ($< 1^\circ$ Änderung).

Daten der Stabilisierungsphase

Falls die Messung mit automatischer Stabilisierungsüberwachung gestartet wurde, sind die während der Stabilisierungsphase gemessenen Daten in der TTL Datei abgelegt. Die Registerkarte „Stabilisierungsphase“ visualisiert diese Daten (Abbildung 21). In diesem Fall liegt das Stabilitätskriterium bei dieser LED bereits nach kurzer Zeit deutlich unter der Startschwelle von 0.2%. Aufgrund der Einstellungen wurde dennoch mindestens 30 Minuten gewartet. Bei höheren Betriebsströmen ist mit deutlich längeren Stabilisierungszeiten zu rechnen.

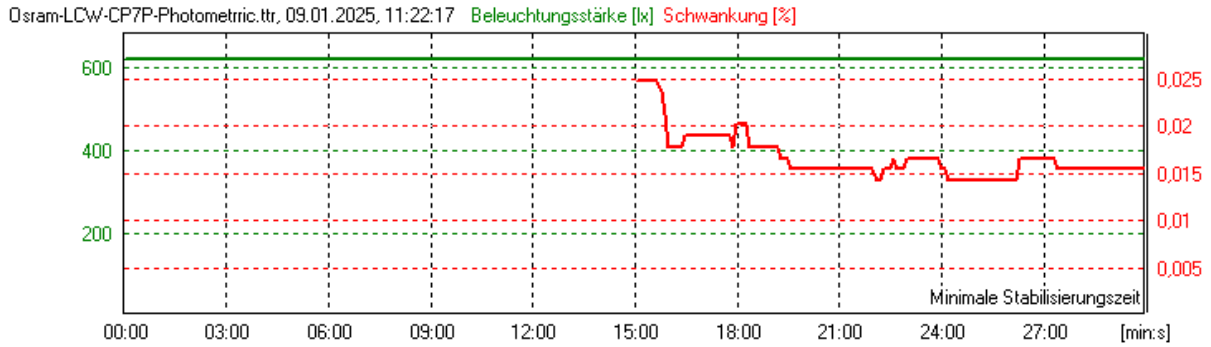
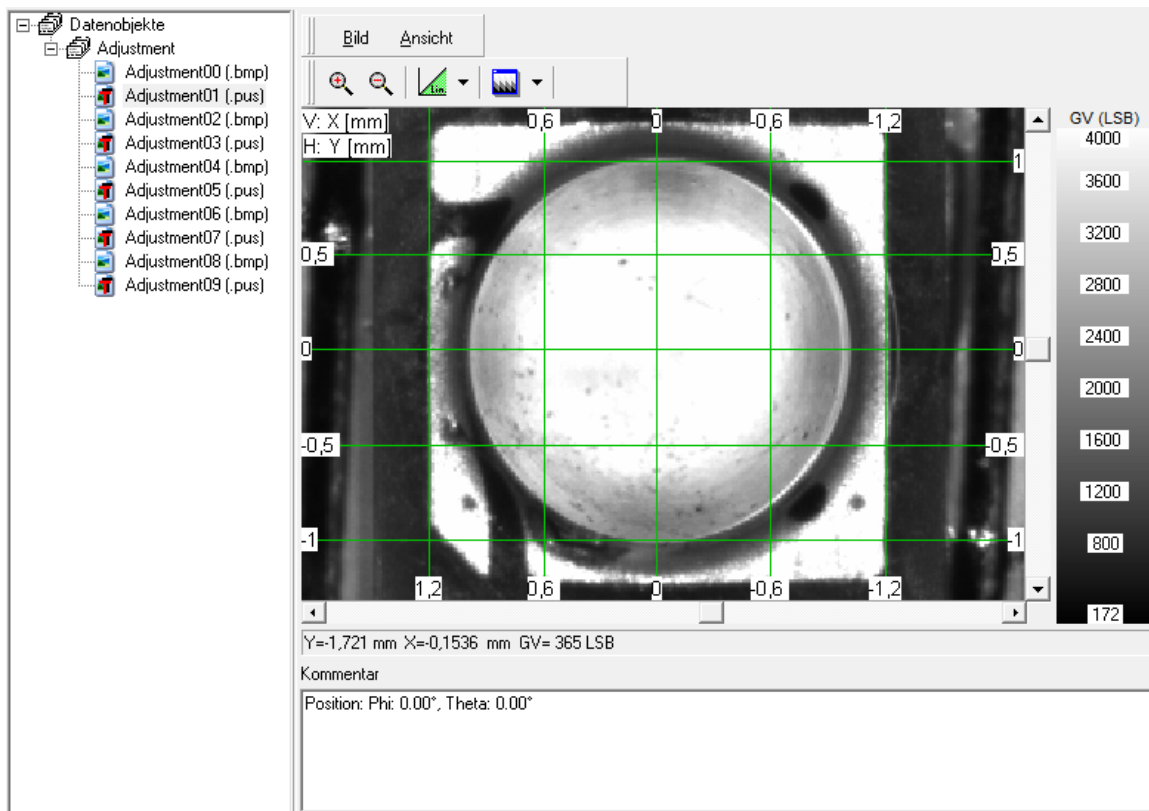


Abbildung 21: Daten der LED Stabilisierungsphase

Polmonitoring

Ein weiteres wichtiges Kriterium zur Bewertung der Stabilität der LED Betriebsbedingungen während der Messung ist die Stabilität der gemessenen Beleuchtungsstärken am Pol des Kugelkoordinatensystems. Bei jedem Theta-Scan des Goniometers wird ein Polwert erfasst und diese Werte sollten idealerweise konstant sein. Die Daten sind ebenfalls in der TTL-Datei abgelegt und werden in den Registerkarten „Polmonitoring-Grafik“ und „Polmonitoring-Tabelle“ angezeigt. In diesem Fall ist nur ein sehr geringer Drift von 0.16% feststellbar.

Zusatzdaten



Datenobjekte

- Adjustment
- Adjustment00 (.bmp)
- Adjustment01 (.pus)
- Adjustment02 (.bmp)
- Adjustment03 (.pus)
- Adjustment04 (.bmp)
- Adjustment05 (.pus)
- Adjustment06 (.bmp)
- Adjustment07 (.pus)
- Adjustment08 (.bmp)
- Adjustment09 (.pus)

Bild Ansicht

V: X [mm] 0,6 0 -0,6 -1,2

H: Y [mm] 0,5 0 -0,5 -1

GV (LSB) 4000 3600 3200 2800 2400 2000 1600 1200 800 172

Y=-1,721 mm X=-0,1536 mm GV= 365 LSB

Kommentar

Position: Phi: 0.00°, Theta: 0.00°

Abbildung 22: TTR Zusatzdaten

Das TTR Dateiformat bietet die Möglichkeit, verschiedene zusätzliche Daten in die Datei einzubetten. Dies können beispielsweise Leuchtdichtebilder, Ansichten der LED-Ausrichtung im Koordinatensystem, spektrale Messdaten, Datenblätter oder CAD Daten sein. In der Registerkarte „Zusatzdaten“ werden diese Daten angezeigt. Bei der hier durchgeführten Messung wurden bei der Ausrichtung der LED verschiedene Ansichten in die TTR Zusatzdaten kopiert und sind nun hier zur Ansicht verfügbar (Abbildung 22).

Weiterverarbeitung der Messdaten

Die Messergebnisse werden in zwei Dateien bereitgestellt:

1. **TTL-Datei:** Diese Datei im ASCII INI-Format enthält die Lichtstärkeverteilung sowie alle Angaben und Parameter der Messung. Es gibt mehrere Exportmöglichkeiten für die Lichtstärkeverteilung, z. B. in den Formaten *IES LM-63* [10], *EULUMDAT*⁴ oder *ASCII*. Detaillierte Informationen dazu sind im Messhandbuch [1] und im Softwarehandbuch des Programms *Konverter801* [10] beschrieben.
2. **TTR-Datei:** Diese Datei umfasst die gemessenen Strahlendaten, optionale Zusatzdaten und die Inhalte der TTL-Datei. Die Weiterverarbeitung erfolgt mit dem kostenlosen Programm *Konverter801*⁵, dessen Hauptaufgabe die Ausgabe der Strahlendaten in verschiedenen Dateiformaten ist, darunter *IES TM-25* [11], *ASAP*, *Speos*, *LightTools*, *LucidShape*, *Zemax* und *TracePro*.

Zur Generierung von Strahlendaten sind zusätzliche Einstellungen erforderlich, die ein fundiertes Wissen über die Strahlengenerierung und die Messung voraussetzen. Diese Parameter können in der TTR-Datei gespeichert werden, sodass externe Anwender die bearbeitete Strahlendatei ohne Zusatzkenntnisse nutzen können. Eine ausführliche Beschreibung der Zusammenhänge und Einstellungen wird in einer weiteren Application Note bereitgestellt.

⁴ <https://de.wikipedia.org/wiki/EULUMDAT>

⁵ https://www.technoteam.de/produkte/goniophotometer_rigo801/rigo801_software/konverter_801

Verweise

- [1] TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, „RiGO801 Messsoftware,“ [Online]. Available: https://www.technoteam.de/produkte/goniophotometer_rigo801/rigo801_software/rigo801_messsoftware/index_ger.html.
- [2] CIE, „CIE 244:2021 Characterization of Imaging Luminance Measurement Devices (ILMDs),“ CIE, Vienna, 2021.
- [3] CIE 070-1987, „The Measurement of Absolute Luminous Intensity Distributions,“ CIE, 1987.
- [4] R. Poschmann, M. Riemann und F. Schmidt, „Verfahren und Anordnung zur Messung der Lichtstärkeverteilung von Leuchten und Lampen“. DE Patent 41 10 574, 30 March 1991.
- [5] M. Riemann und F. P. R. Schmidt, „Zur Bestimmung der Lichtstärkeverteilung von Leuchten innerhalb der fotometrischen Grenzentfernung mittels eines bildauflösenden Goniofotometers,“ *LICHT*, Nr. 7-8, pp. 592 - 596, 1993.
- [6] I. Ashdown, „Near-Field Photometric Method and Apparatus“. USA Patent 5,253,036, 12 October 1993.
- [7] I. Ashdown, "Near-field photometry: a new approach," *J. Illuminating Engineering*, vol. 22, pp. 163-180, 1993.
- [8] CIE, „CIE S 025:2015: Test Method for LED Lamps, LED Luminaires and LED Modules,“ CIE, Vienna, 2015.
- [9] IES, „IES LM-79-19 Optical and Electrical Measurements of Solid State Lighting Products,“ Illuminating Engineering Society, New York, 2019.
- [10] IES, „IES LM-63-19: IES Standard File Format for the Electronic Transfer of Photometric Data and Related Information,“ Illuminating Engineering Society, New York, 2019.
- [11] TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, „Softwarehandbuch Konverter801,“ https://www.technoteam.de/produkte/goniophotometer_rigo801/rigo801_software/konverter_801/index_ger.html.
- [12] IES, „IES TM-25: Ray File Format for Description of the Emission Properties of Light Sources,“ Illuminating Engineering Society, New York, 2020.

Kontakt

TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH
Werner-von-Siemens-Str. 5, 98693, Ilmenau, Germany
E-Mail: support@technoteam.de
Phone: +49 (0) 3677 / 4624-0
www.technoteam.de