

Generierung und Aufbereitung von Strahlendaten einer LED, gemessen mit dem Goniophotometer RiGO801-LED

Diese Application Note erläutert, wie Strahlendaten aus der TTR-Datei einer gemessenen LED generiert und in verschiedenen Dateiformaten ausgegeben werden können. Sie vermittelt alle hierfür erforderlichen Grundkenntnisse und zeigt abschließend, wie die TTR-Datei mithilfe des kostenlosen Konvertierungsprogramms *Konverter801* für allgemeine Anwendungen aufbereitet wird.

Inhaltsverzeichnis

TechnoTeam Strahlendaten im TTR-Dateiformat	1
Strahlendaten	1
Generierung von Strahlen aus dem TTR-Dateiformat	1
Exportieren von Strahlen in anderen Dateiformaten	3
Generierung von Rayfiles für die gemessene LED	4
Öffnen der TTR-Datei	4
Festlegung der Zielgeometrie und des Zielkoordinatensystems	5
Prüfung der Zielgeometrie	7
Festlegung Oberflächen- oder Volumenmodus	8
Aufbereitung der TTR-Datei für die allgemeine Anwendung	9
Angaben zur Messung	9
Entfernen optionaler Daten	10
Spektraldaten	10
Zusatzdaten	11
Generieren von Rayfiles mit der aufbereiteten TTR-Datei	12
Einzelverarbeitung	12
Stapelverarbeitung	13
Zusammenfassung	13
Verweise	14

TechnoTeam Strahlendaten im TTR-Dateiformat

TechnoTeam RiGO801 Goniophotometer verwenden das Nahfeldmessprinzip in Kombination mit einer Leuchtdichtemesskamera (ILMD, siehe [2]) zur Messung von Strahlendaten. Diese werden zunächst im proprietären TechnoTeam-Format TTR gespeichert. Mit dem kostenlosen Programm *Konverter801*¹ können die Strahlendaten anschließend in gängige Standardformate (z. B. *IES TM-25* [11], *ASAP*, *Speos*, *LightTools*, *LucidShape*, *Zemax* und *TracePro*) umgewandelt werden.

Eine detaillierte Beschreibung der Messung von Strahlendaten am Beispiel einer LED ist in der Application Note AN2002 [3] enthalten. In den folgenden Abschnitten liegt der Fokus ausschließlich auf der Weiterverarbeitung der gemessenen Daten.

Strahlendaten

Ein Strahl bezeichnet in diesem Kontext den Lichtstrom oder Strahlungsfluss, der von einem (virtuellen) Oberflächenelement einer Lichtquelle in eine bestimmte Richtung abgegeben wird. Zusätzlich können dem Strahl weitere Kenngrößen, wie beispielsweise spektrale Daten, zugeordnet sein. Eine ausreichend hohe Anzahl solcher Strahlen ermöglicht eine präzise Abbildung der Abstrahlcharakteristik einer Lichtquelle. Der daraus entstehende Datensatz wird als Strahlendaten bezeichnet, häufig auch als Ray Data oder Rayfile.

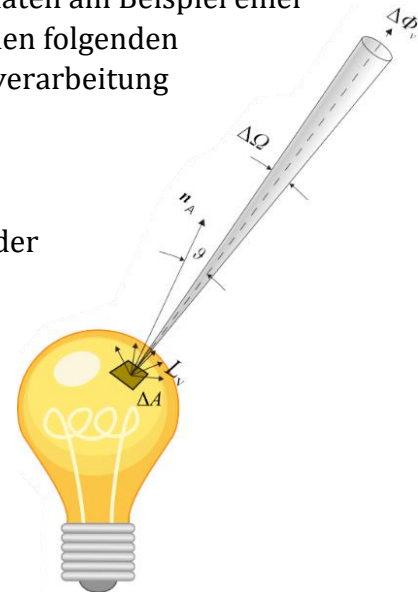


Abbildung 1 Strahl

Strahlendaten sind ein zentraler Baustein bei der Entwicklung optischer Komponenten, da sie eine realitätsnahe Repräsentation der Lichtquellen innerhalb des optischen Systems ermöglichen.

Generierung von Strahlen aus dem TTR-Dateiformat

In einer TTR-Datei liegen die gemessenen Strahlendaten in einer vorverarbeiteten Stufe als Bildsequenz vor. Jedem Bild ist die Kameraposition im Goniometerkoordinatensystem zugeordnet.

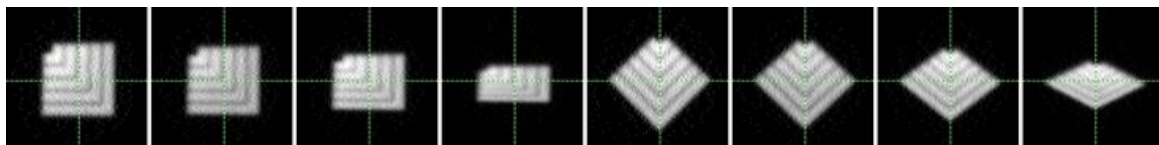


Abbildung 2: Sequenz von Strahlendatenbildern

Um aus den Bildkoordinaten eines Strahls einen Vektor zu berechnen, ist neben der Position der Kamera auch eine genaue Kenntnis des Kamerakoordinatensystems erforderlich (siehe Abbildung 3). Das Zentrum des Kamerakoordinatensystems

¹ https://www.technoteam.de/produkte/goniophotometer_rigo801/rigo801_software/konverter_801

entspricht dem Projektionszentrum des Objektivs. Durch eine Koordinatentransformation wird ein Vektor im Goniometerkoordinatensystem erzeugt, dessen Startpunkt auf einer Kugeloberfläche liegt. Diese Kugeloberfläche wird durch den Abstand zwischen dem Objektivzentrum und dem Koordinatenzentrum definiert (Kameraradius, siehe Abbildung 4).

Jedem Strahl wird ein Lichtstromanteil zugeordnet, der aus dem Leuchtdichtebild berechnet wird. Alle erforderlichen Informationen für die Berechnung der Strahlen, einschließlich der Kamera- und Koordinatendaten, sind vollständig in der TTR-Datei enthalten.

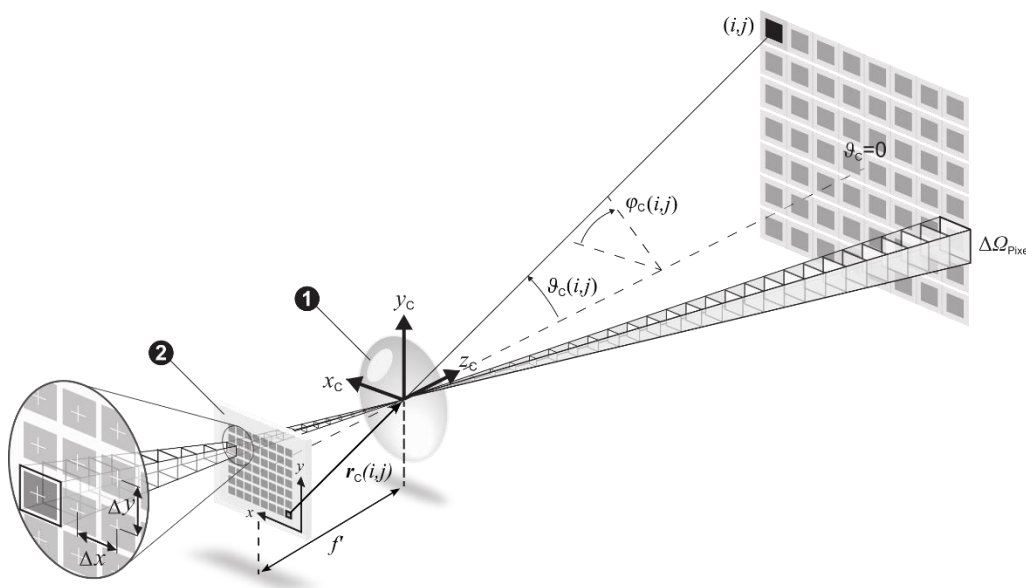


Abbildung 3: Kamerakoordinatensystem

Die berechneten Strahlen starten also zunächst von einer Kugelfläche, die relativ weit entfernt von der Lichtquelle ist. Für die Beschreibung der Abstrahlcharakteristik der Lichtquelle ist dies unerheblich, allerdings können die weit entfernt liegenden Startpunkte der Strahlen beim Raytracing einer optischen Simulation störend sein. Zumeist befinden sich optische Elemente direkt in der Nähe der Lichtquelle und die Strahlenstartpunkte sollten daher vor diesen Elementen liegen.

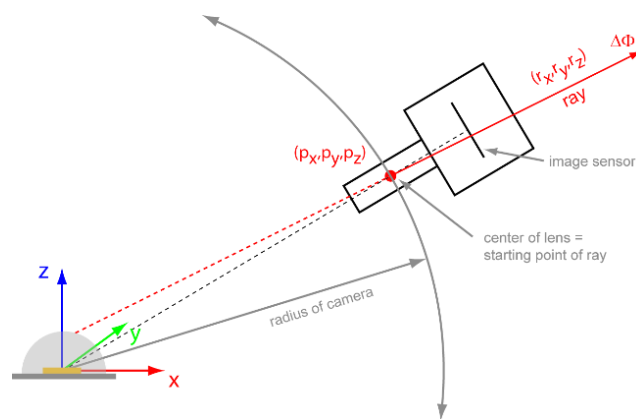


Abbildung 4: Strahl im Goniometerkoordinatensystem

Beim Generieren von Strahlen aus einer TTR-Datei können die Startpunkte der Strahlen daher unter Verwendung von Raytracingalgorithmen auf eine sogenannte Zielgeometrie verschoben werden. Als Zielgeometrien stehen *Kugel*, *Quader* und *Zylinder* zur Verfügung. Die Zielgeometrie sollte als möglichst dicht um das Lichtaustrittsvolumen liegende Hüllfläche definiert

werden, allerdings muss eine Hinterschneidung vermieden werden, da Strahlen ohne Schnittpunkt mit der Geometrie verworfen werden.

Für die Festlegung der Startpunkte der Strahlen in Bezug auf die Zielgeometrie stehen zwei Modi zur Verfügung:

1. **Oberflächenmodus** (Standard): In diesem Modus werden die Startpunkte der Strahlen auf die Oberfläche der Zielgeometrie verschoben (siehe Abbildung 5). Dies ist der häufigste Ansatz, um die Strahlen auf einer klar definierten Begrenzungsfläche zu positionieren.
2. **Volumenmodus**: In diesem Modus werden die Startpunkte auf die Mitte zwischen dem Eintritts- und Austrittspunkt der Strahlen durch die Zielgeometrie verschoben (siehe Abbildung 6). Dieser Ansatz eignet sich insbesondere, wenn eine Positionierung innerhalb des Volumens der Zielgeometrie erforderlich ist.

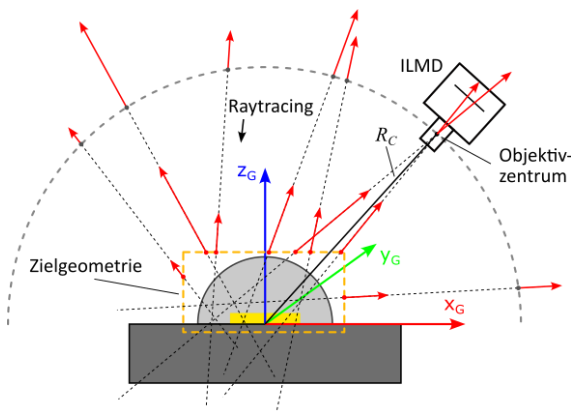


Abbildung 5: Raytracing auf Zielgeometrie im Oberflächenmodus

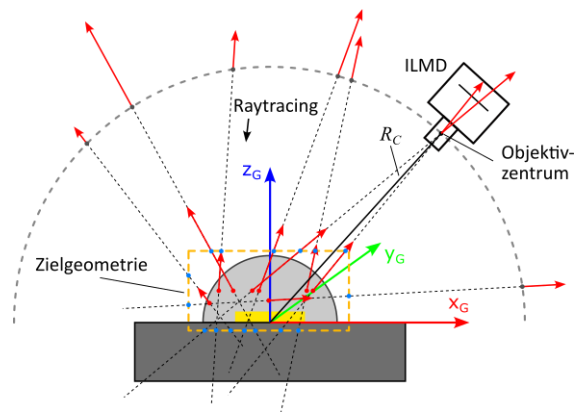


Abbildung 6: Raytracing auf Zielgeometrie im Volumenmodus

Als abschließender Schritt der Koordinatentransformation können die Strahlen, falls erforderlich, durch Rotation und Translation in ein *Zielkoordinatensystem* überführt werden. Diese Transformation ermöglicht es, die Strahlen präzise an die Anforderungen spezifischer optischer Simulationen oder an das Koordinatensystem der Zielanwendung anzupassen.

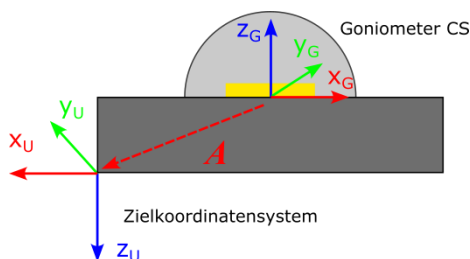


Abbildung 7: Zielkoordinatensystem

Export von Strahlendaten in verschiedene Dateiformate

Die berechneten Strahlen in der gewünschten Anzahl können in verschiedenen Standardformaten exportiert werden. Die Formate der gängigen Simulationsprogramme (z. B. *LightTools*, *Zemax*, *TracePro* und *ASAP*) sind dabei weitgehend ähnlich aufgebaut.

Im Wesentlichen bestehen diese Dateien aus einem Dateihheader und einer Liste von Strahlen, die folgende Informationen enthalten:

- Startkoordinaten
- Richtungsvektoren
- Amplituden
- Optionale Zusatzangaben

Zur Optimierung der Speicher- und Verarbeitungsleistung werden die Daten üblicherweise in binärem Format gespeichert.

Das *IES TM-25* -Format [11] wurde entwickelt, um die Vielzahl unterschiedlicher Dateiformate zu vereinheitlichen und den damit verbundenen Aufwand zu reduzieren. Es stellt einen Standard dar, der eine effiziente und konsistente Nutzung von Strahlendaten in verschiedenen Simulationsanwendungen ermöglicht.

Generierung von Rayfiles für die gemessene LED

In diesem Abschnitt werden die Schritte zur Erstellung eines Rayfiles detailliert erläutert. Grundlage bilden die TTR-Messdaten einer weißen LED vom Typ *ams OSRAM LCW CP7P* (siehe Application Note AN2002 [3]). Anhand dieser Daten wird der Prozess zur Generierung und Verarbeitung der Strahlendaten bis hin zur Erstellung eines Rayfiles nachvollzogen.

Öffnen der TTR-Datei

Über „File → Open ...“ wird die gewünschte TTR-Messdatei ausgewählt, in diesem Fall „*Osram-LCW-CP7P-Photometric.ttr*“. Nach dem Öffnen erscheint ein Fenster, das eine Übersicht aller in der TTR-Datei enthaltenen Informationen bereitstellt (siehe Abbildung 8). Dieses Fenster bietet eine strukturierte Darstellung der Daten, einschließlich Details zu den Messparametern und den erfassten Strahlendaten.

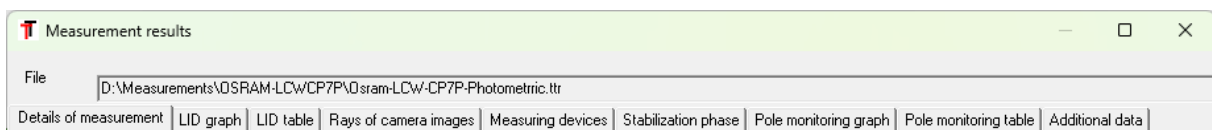


Abbildung 8: Fenster (Ausschnitt) mit der Übersicht der TTR-Daten

Eine ausführliche Beschreibung der einzelnen Registerkarten ist in anderen Dokumenten zu finden (AN2002 [3], Messhandbuch [4], Softwarehandbuch *Konverter801* [5]) und wird an dieser Stelle nicht weiter behandelt. Für die weitere Vorgehensweise sind die in den *Zusatzdaten* enthaltenen Bilder der LED-Ausrichtung im Goniometerkoordinatensystem von besonderer Relevanz.

Festlegung der Zielgeometrie und des Zielkoordinatensystems

Für die Festlegung der Zielgeometrie der Strahlendaten ist die genaue Kenntnis der Position der LED im Goniometerkoordinatensystem unerlässlich. Diese Informationen können aus den Bildern der LED-Ausrichtung entnommen werden. Die Bilder liegen entweder als externe Dateien vor oder, wie in diesem Fall, sind sie als Zusatzdaten direkt in die TTR-Datei integriert. Sie dienen dazu, die exakte Position und Orientierung der LED während der Messung zu veranschaulichen und gewährleisten eine präzise Definition der Zielgeometrie.

In den Zusatzdaten befinden sich mehrere Aufnahmen, die zunächst nur durchnummeriert sind (siehe Abbildung 9). Zu jeder Aufnahme gibt es zwei Versionen: einen Screenshot im *.bmp*-Format, der die Ansicht zeigt, die der Anwender verwendet hat, sowie ein vollständiges Kamerabild im *.pus*-Format, das zusätzliche Informationen wie das Koordinatensystem enthält.

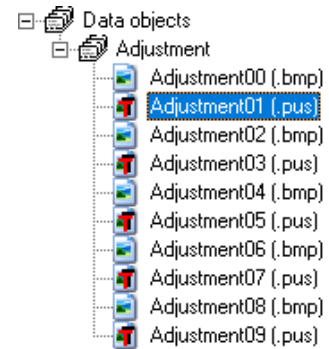


Abbildung 9: Justagebilder in den TTR-Zusatzdaten

Die Verwendung des Kamerabildes ist oft empfehlenswert, da die Bildeinstellungen wie Zoom, Skalierung und Farbpalette bei Bedarf flexibel angepasst werden können. Im weiteren Verlauf dieser Application Note wird eine Bearbeitung dieser Daten vorgenommen, um die TTR-Datei für die externe Verwendung optimal aufzubereiten.

Abbildung 10 veranschaulicht die Position der LED im Goniometerkoordinatensystem anhand der beiden wesentlichen Justagebilder: Aufsicht und Seitenansicht. Die Lage und Ausrichtung der Koordinatenachsen werden in der linken oberen Ecke dargestellt. Die Z-Achse zeigt in die Richtung der LED-Abstrahlung, während die X/Y-Ebene auf der Oberseite des LED-Gehäuses liegt.

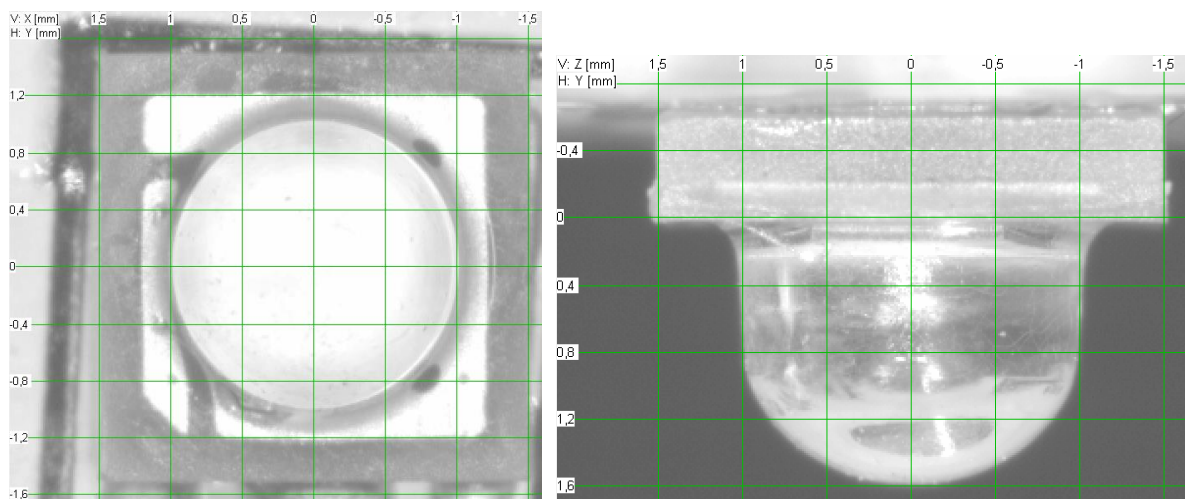


Abbildung 10: Justagebilder der LED im Goniometerkoordinatensystem

Als Zielgeometrie bietet sich ein Zylinder oder eine Kugel an. Für erste Untersuchungen wird ein Zylinder definiert, der die Linse der LED umschließt. Der Durchmesser beträgt 2 mm und die Höhe 1,6 mm. Aufgrund von Unsicherheiten bei der Positionierung der LED und den realen Abmessungen wird empfohlen, einen zusätzlichen Abstand von beispielsweise 0,1 mm hinzuzufügen. Dadurch ergeben sich ein Zylinderdurchmesser von 2,2 mm und eine Höhe von 1,8 mm.

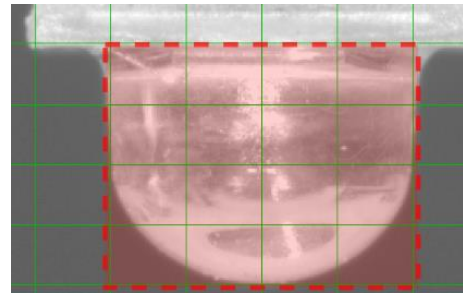


Abbildung 11: Umriss der Zylinder-

Das Zentrum des Zylinders wird auf der Z-Achse bei $Z = 0,8$ mm festgelegt. Diese Einstellungen können unter „Optionen → Zielgeometrie ...“ vorgenommen werden, wie in Abbildung 12 dargestellt.

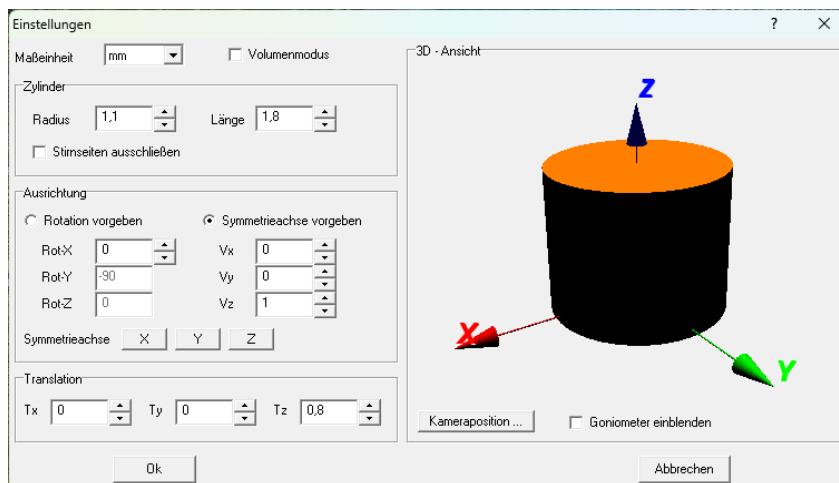


Abbildung 12: Einstellung der Zylinder - Zielgeometrie

Abschließend kann bei Bedarf festgelegt werden, in welches Zielkoordinatensystem die Strahlendaten transformiert werden sollen. Diese Einstellung erfolgt unter „Optionen → Zielkoordinatensystem“ und richtet sich nach den Anforderungen und Präferenzen für die Handhabung der Strahlendaten in den verwendeten Simulationsprogrammen. In diesem Fall werden keine zusätzlichen Transformationen vorgenommen.

Prüfung der Zielgeometrie

Um zu überprüfen, ob die gewählten Parameter der Zielgeometrie geeignet sind, wird ein Testdatensatz von Strahlendaten erstellt, beispielsweise im *LightTools*-Format (*Konvertieren* → *LightTools Strahlendatei (*.ray)*). Es ist empfehlenswert, zunächst eine Strahlenanzahl von 1 Million zu verwenden.

Nach Abschluss des Konvertierungsprozesses wird im Bereich „Konvertierung“ im Feld „Strahlenanzahl“ die tatsächlich in die Datei geschriebene Anzahl von Strahlen angezeigt. Strahlen, die keinen Schnittpunkt mit der Zielgeometrie haben, fehlen in der Datei. Diese Zahl kann daher als Prüfkriterium für die Angemessenheit der Zielgeometrie dienen.

Im vorliegenden Fall wurden von den ursprünglich 1 Million Strahlen nur 979.028 Strahlen exportiert, was einem Verlust von 2,1 % entspricht. Dies deutet darauf hin, dass die gewählte Zielgeometrie angepasst werden könnte, um den Anteil der verworfenen Strahlen weiter zu minimieren, falls erforderlich.

Wenn die Abweichung zwischen der gewünschten und der tatsächlich exportierten Strahlenanzahl mehr als 1 % beträgt, sollte überprüft werden, woher die ausgeschlossenen Strahlen stammen. Dafür wird die Option „Außerhalb liegende Strahlen speichern“ im Dialog zur Einstellung der Zielgeometrie aktiviert.

Mit dieser Einstellung wird zusätzlich eine Datei mit der Endung „_excluded“ erstellt, die ausschließlich die Strahlen enthält, die keinen Schnittpunkt mit der Zielgeometrie hatten. Diese Datei kann mit einem Simulationsprogramm analysiert werden, indem die Strahlen auf geeignete Ebenen zurückgerechnet werden. So können Rückschlüsse auf die Quelle und Verteilung der ausgeschlossenen Strahlen gezogen werden.

Um sicherzustellen, dass die Anzahl der ausgeschlossenen Strahlen für eine aussagekräftige Analyse ausreicht, wurde im vorliegenden Fall eine Datei mit 100 Millionen Strahlen generiert.

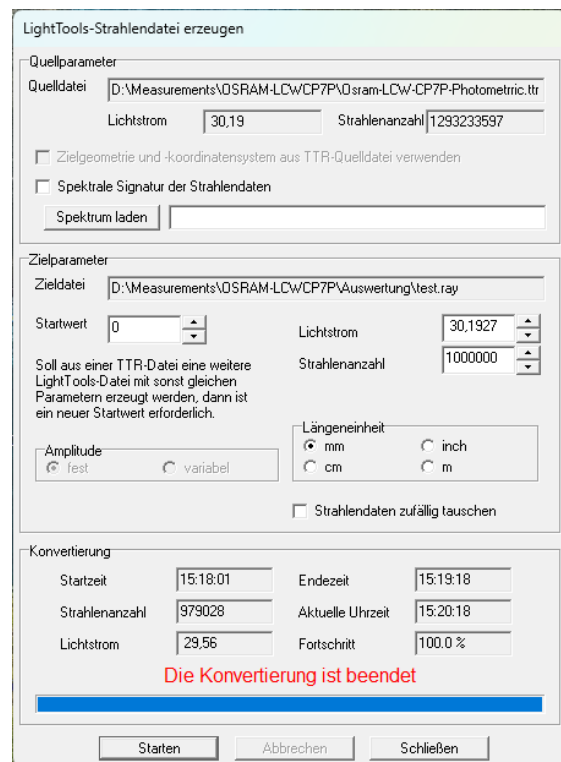


Abbildung 13: Dialog zur Generierung eines Rayfiles

Das Ergebnis eines Raytracings dieser Strahlen auf die x/y – Ebene ist in Abbildung 14 abgebildet. Wie zu erwarten war, zeigen sich deutliche Anteile einer Reflexion der LED-Abstrahlung sowohl am LED-Gehäuse also auch an der Platine, insbesondere im Nahbereich. Soll dieser Anteil von ca. 2% der Strahlen noch mitberücksichtigt werden, muss die Zielgeometrie erweitert werden. Dann wäre ggf. eine Quader-Zielgeometrie mit der Größe 3,2 mm x 3,2 mm x 1,8 mm passender. Eine weitere Testkonvertierung ergibt damit 1% ausgeschlossene Strahlen, so dass diese Parameter nun übernommen werden (siehe Abbildung 15).

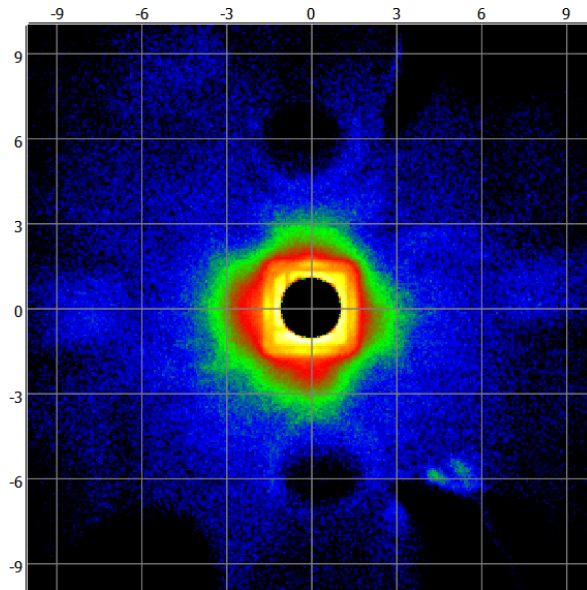


Abbildung 14: Raytracing der ausgeschlossenen Strahlen auf die x/y Ebene

Festlegung Oberflächen- oder Volumenmodus

Durch die Wahl der Quadergeometrie und der Erweiterung auf die Abmessungen des LED-Gehäuses ergeben sich nun deutlich größere Abstände der Strahlenstartpunkte zu den realen Lichtaustrittsbereichen. Das kann bei einer Simulation von Nachteil sein, so dass der Volumenmodus ggf. sinnvoller ist als der Oberflächenmodus. Andererseits kann der Ursprung der Strahlen aus dem Inneren der LED auch wiederum Fragen aufwerfen, daher sollte die Wahl des Raytracingsmodus mit einem erfahrenen Anwender von Optiks simulationsprogrammen abgesprochen werden.

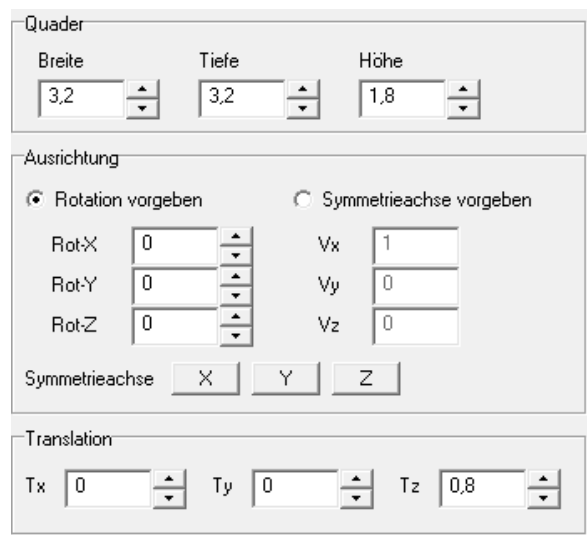


Abbildung 15: Parameter der finalen Zielgeometrie

In Abbildung 16 und Abbildung 17 werden die Startpunkte für beide Modi visualisiert.

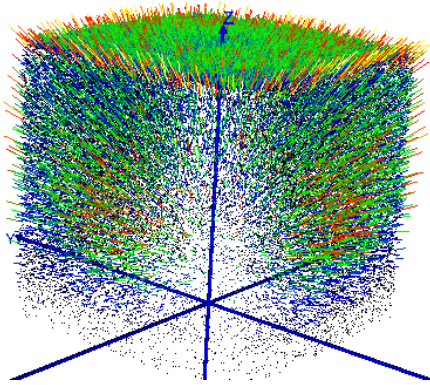


Abbildung 16: Strahlenstartpunkte im Oberflächenmodus

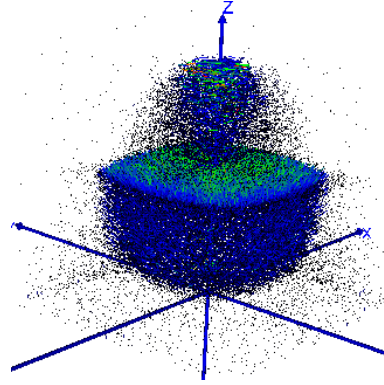


Abbildung 17: Strahlenstartpunkte im Volumenmodus

Aufbereitung der TTR-Datei für die allgemeine Anwendung

Die zuvor festgelegten Einstellungen sollen nun in die TTR-Datei eingebettet werden. Dazu ruft man den Menüpunkt „Datei → Bearbeiten ...“ auf. Es öffnet sich das bekannte Fenster der Ergebnisanzeige, allerdings diesmal mit erweiterter Funktionalität. Die hier zur Verfügung stehenden Möglichkeiten werden im Folgenden beschrieben.

Angaben zur Messung

In dieser Registerkarte können alle Angaben zur Messung bearbeitet werden. Das sind allgemeine Angaben aber auch z.B. der gemessene Lichtstrom. In dieser Ansicht sind auch alle eher internen Informationen, wie Einstellungen der Kamera oder Dateipfade, aufgeführt. Falls beabsichtigt ist, die TTR-Datei Anwendern außerhalb der eigenen Firma zur Verfügung zu stellen, kann es sinnvoll sein, diese Informationen zu löschen. Die entsprechenden Sektionen werden dann mit den Auswahlkästchen markiert und über die „Löschen“ Schaltfläche gelöscht.

Die wichtigste Einstellung auf dieser Seite ist der Bereich „Strahlendatenexport: Zielgeometrie und -koordinatensystem“, wo diese Parameter für die Einbettung in der TTR-Datei festgelegt werden. Üblicherweise wurden die entsprechenden Parameter vorab festgelegt und geprüft, so dass sie jetzt nur noch mit der Schaltfläche „Globale Parameter übernehmen“ übernommen werden können (siehe Abbildung 18). Alternativ besteht die Möglichkeit, die Parameter direkt in diesem Bereich anzugeben.

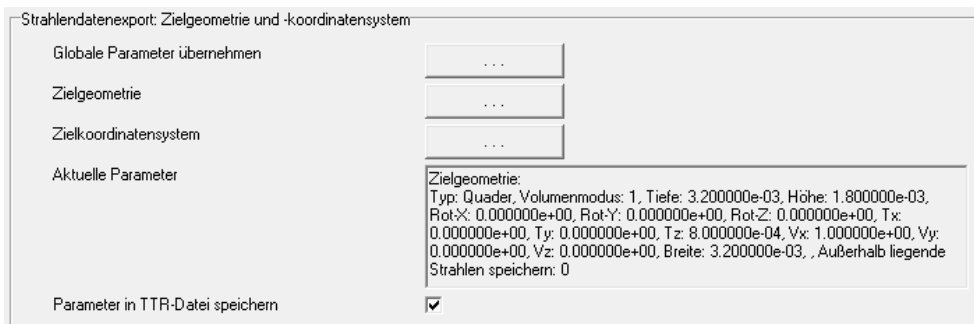


Abbildung 18: Parameter der Zielgeometrie und des Zielkoordinatensystems in der TTR-Datei

Entfernen optionaler Daten

Bestimmte in der Messdatei enthaltene Daten sind oft nicht für die Allgemeinheit relevant und können aus der Datei entfernt werden. Dazu wählt man die entsprechenden Registerkarten und betätigt die „Löschen“ Schaltfläche. Es handelt sich folgende Daten:

- **Messgeräte:** Die von externen Messgeräten während der Messung erfassten Daten, beispielsweise Temperaturen oder elektrische Größen.
- **Stabilisierungsphase:** Falls die Messung mit der automatischen Stabilisierungsfunktion gestartet wurde, sind diese Daten hier dargestellt.
- **Polmonitoring-Grafik und Tabelle:** Hier sind die am Pol gemessenen Beleuchtungsstärken dargestellt. Diese Daten sind nur für die Beurteilung der Stabilität der LED während der Messung relevant.

Spektraldaten

Hier wird die Zuordnung einer spektralen Verteilung (spektraler Strahlungsfluss) zur TTR-Datei ermöglicht. Das Spektrum kann bei der Generierung von spektralen Rayfiles genutzt werden oder es dient als informativer Datensatz.

Mit der Schaltfläche „Laden ...“ wird eine geeignete Spektraldatei geöffnet (Formate siehe Abbildung 19). Hier wird eine goniospektrometrische Messung im TechnoTeam TSD-Format² geladen und daraus der relative spektrale Strahlungsfluss entnommen (siehe Abbildung 20).

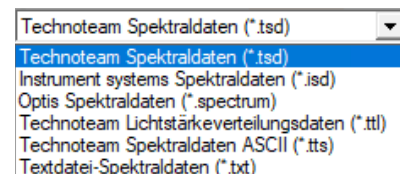


Abbildung 19: Unterstützte Spektraldatenformate

² Add-on für goniospektrometrische Messungen

https://www.technoteam.de/produkte/goniophotometer_rigo801/rigo801_software/goniospektrometer_add_on/index_ger.html

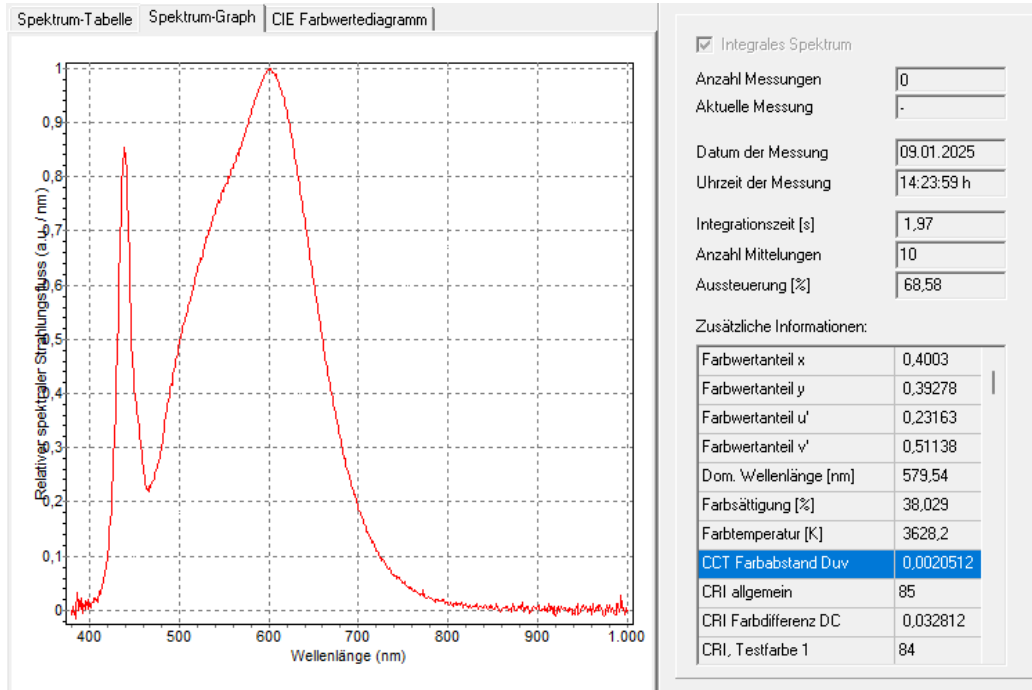


Abbildung 20: In TTR-Datei eingefügte Spektraldaten

Zusatzdaten

Bei den TTR-Zusatzdaten handelt es sich um einen Datencontainer, in den verschiedene Datentypen strukturiert eingefügt werden können. Bei der vorliegenden Messdatei sind die LED Justagebilder vorhanden. Je nach Zielgruppe der Anwender kann es hilfreich sein, diese Bilder in der Datei zu belassen oder vielleicht nur ein aufbereitetes Dokument einzufügen. Natürlich ist es auch nicht sinnvoll, diese Bilder zu verwenden, wenn das Zielkoordinatensystem geändert wurde, so dass die Messposition der LED nicht der Position im Rayfile

Koordinatensystem entspricht.

Hier wird beispielhaft die Liste der Bilder ausgedünnt und die zwei wesentlichen Bilder umbenannt. In zwei zusätzlichen Unterordnern werden die vollständigen goniospektrometrischen Messdaten und das LED-Datenblatt eingefügt.

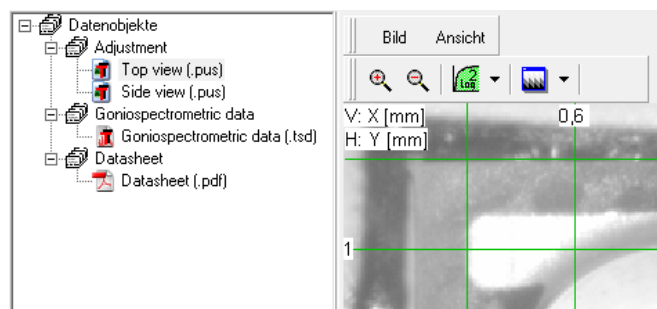


Abbildung 21: Bearbeitete TTR-Zusatzdaten

Generieren von Rayfiles mit der aufbereiteten TTR-Datei

Einzelverarbeitung

Nach dem Laden der Datei wird der Konvertierungsdialog für das gewünschte Format gewählt. Wichtig ist die Aktivierung der Option „Zielgeometrie und –koordinatensystem aus TTR-Quelldatei verwenden“, damit die eingebetteten Parameter auch verwendet werden (siehe Abbildung 22).

Zur Demonstration der Ergebnisse wird eine große Datei mit 100 Millionen Strahlen generiert und die Strahlen auf die x/y Ebene zurückgerechnet.



Abbildung 22: Generierung eines Rayfiles aus der aufbereiteten TTR-Datei

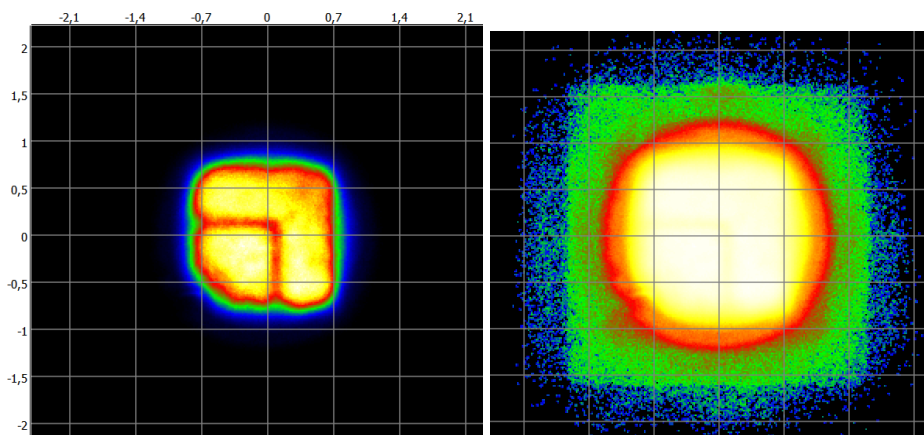


Abbildung 23: Raytracing auf x/y-Ebene (lineare und logarithmische Darstellung)

Stapelverarbeitung

Falls mehrere Dateiformate erstellt werden sollen, möglicherweise auch mit unterschiedlichen Strahlenanzahlen, kann die Einzelkonvertierung zeitaufwendig und mühsam sein. Für diesen Zweck bietet die Funktion „Konvertieren → Stapelverarbeitung“ eine deutlich bequemere Alternative.

Mit der Stapelverarbeitung können mehrere Konvertierungen automatisiert durchgeführt werden, indem die gewünschten Parameter und Zieldateiformate vorab definiert werden. Dies spart Zeit und reduziert den manuellen Aufwand.

Eine detaillierte Beschreibung dieser Funktion findet sich im Softwarehandbuch des *Konverter801*-Programms [5]. Diese Anleitung bietet eine Schritt-für-Schritt-Erklärung, um die Stapelverarbeitung optimal nutzen zu können.

Zusammenfassung

In dieser Application Note wurde gezeigt, wie man aus einer gemessenen TTR Datei Strahlendaten generieren und in andere Dateiformate ausgeben kann. Es wurden alle dafür erforderlichen Grundkenntnisse vermittelt, insbesondere die Festlegung der Zielgeometrie. Es wurde gezeigt, wie man außerhalb des Lichtaustrittsvolumens der LED gemessene Daten, beispielsweise durch Reflexionen am LED-Gehäuse der Platine, analysieren kann. Zum Abschluss wird die TTR-Messdatei so aufbereitet, dass sie für eine allgemeine Verwendung ohne detaillierte Kenntnisse der Messung geeignet ist.

Ein weiterführendes Thema ist die Generierung spektraler Strahlendaten, insbesondere von weißen phosphorkonvertierten LEDs. Diese Thematik wird in einer separaten Application Note ausführlich behandelt.

Ein weiterführendes Thema ist die Generierung spektraler Strahlendaten, insbesondere bei weißen, phosphorkonvertierten LEDs. Dieses Thema wird in einer separaten Application Note ausführlich behandelt.

Verweise

- [1] CIE, „CIE 244:2021 Characterization of Imaging Luminance Measurement Devices (ILMDs),“ CIE, Vienna, 2021.
- [2] IES, „IES TM-25: Ray File Format for Description of the Emission Properties of Light Sources,“ Illuminating Engineering Society, New York, 2020.
- [3] TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, „Application Note - Messung von Strahlendaten einer LED mit dem Goniophotometer RiGO801-LED,“
https://www.technoteam.de/top/mehr_erfahren/application_notes/messung_von_strahlendaten_einer_led/index_ger.html, 2025.
- [4] TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, „RiGO801 Messsoftware,“ [Online]. Available:
https://www.technoteam.de/produkte/goniophotometer_rigo801/rigo801_software/rigo801_messsoftware/index_ger.html.
- [5] TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, „Softwarehandbuch Konverter801,“
https://www.technoteam.de/produkte/goniophotometer_rigo801/rigo801_software/konverter_801/index_ger.html.

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