

10 Jahre Nahfeldgoniophotometer – Grenzen und Möglichkeiten

Nolte, Rainer

Technische Universität Ilmenau, Fakultät Maschinenbau, FG Lichttechnik, Unterer Berggraben 10, D-98693 Ilmenau; Rainer.Nolte@TU-Ilmenau.de

Bredemeier, Knut; Poschmann, Ralf; Schmidt, Franz

TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, Werner-von-Siemensstraße 10, D-98693 Ilmenau; Knut.Bredemeier@TechnoTeam.de, Ralf.Poschmann@TechnoTeam.de, Franz.Schmidt@TechnoTeam.de

1 Einleitung

Im Jahre 1991 wurde von Prof. Riemann die Idee entwickelt, mit bildauflösender Leuchtdichtemesstechnik Lichtstärkeverteilungen im Nahfeld zu messen. Gegenüber der Fernfeldmessung ergeben sich einige ganz wesentliche Vorteile. Für die Fernfeldmessung mit Drehspiegelgoniophotometern oder Goniometern mit langem Arm sind beträchtlich große Räume erforderlich. Die Nahfeldgoniophotometer RiGO erfordern einen Raum, der es gestattet eine Messkamera um das Messobjekt herum zu führen. Es sind also Raumgrößen $L*B*H$ von etwa jeweils dem Zweifachen der Messobjektgrößen erforderlich. Ein weiterer wesentlicher Vorteil ist, dass das Messobjekt bei der Messung in Ruhelage verbleiben kann.

Seit 1994 sind die Messsysteme im Einsatz. Bisher wurden mehr als 20 Systeme realisiert, für die Vermessung von LED bis zur Vermessung von großen Leuchten mit Abmessungen von 2000 mm oder auch für die Vermessung von Light-pipe.

2 RiGO 801 zur Vermessung lichttechnischer Objekte

Die Messung von lichttechnischen Objekten ist für verschiedene Aufgabenstellungen notwendig:

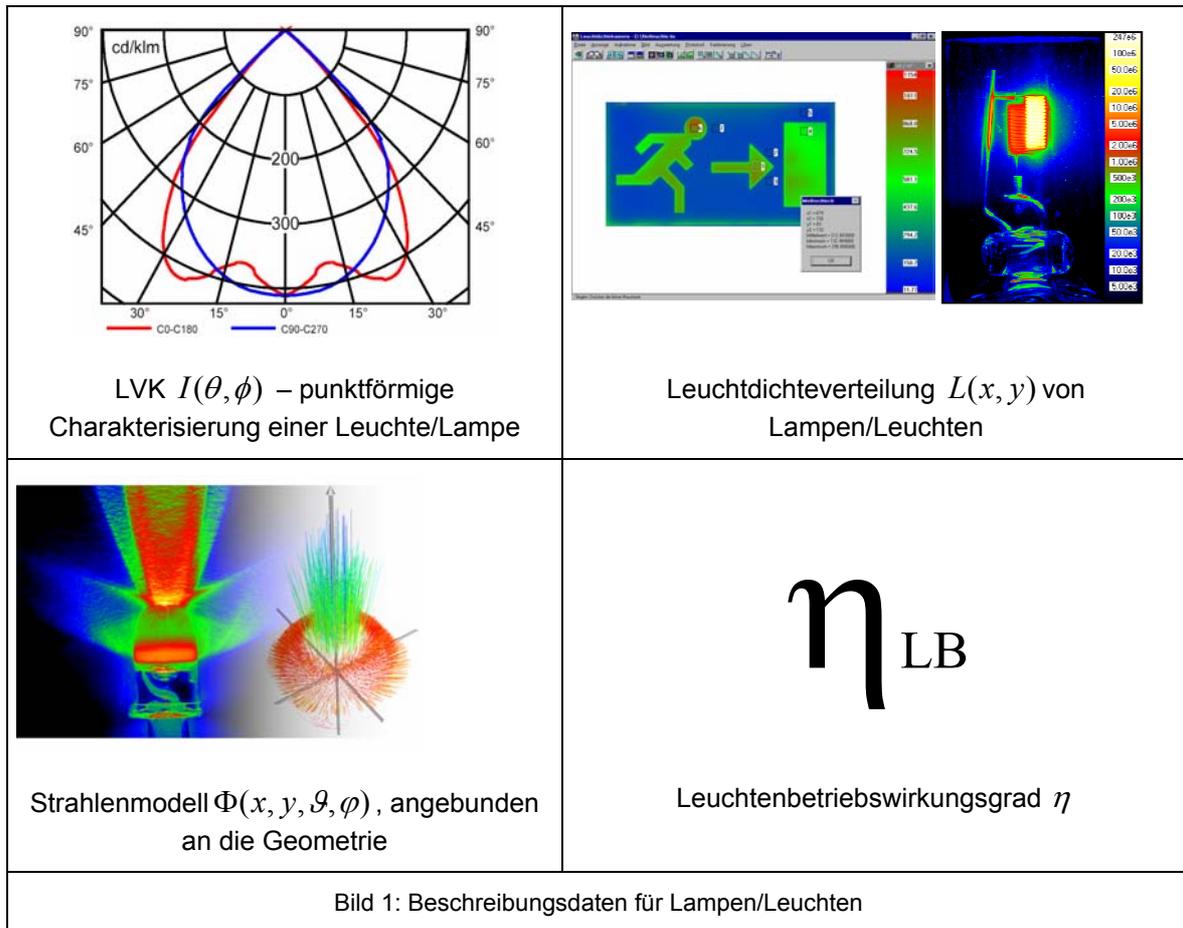
- Im Rahmen der Entwicklung ist der Einfluss von Modifikationen zu erfassen. Ziel ist hier die Optimierung der lichttechnischen Parameter.
- Leuchten und Lampen sind selbst nur Komponenten von einer kompletten Beleuchtungsanlage oder von Geräten. Zur Berechnung solcher Geräte oder Anlagen sind Daten notwendig, die die Leuchten/Lampen beschreiben.
- Für das Marketing der Produkte sind beschreibende Daten zur Verfügung zu stellen.

2.1 Lichttechnische Messdaten

Zur Beschreibung von lichttechnischen Objekten sind neben Simulationsdaten verschiedene Messdaten notwendig:

- Ausstrahlcharakteristika von Leuchten/Lampen (LVK's, spektrale Charakterisierung; Objekt als punktförmig angenommen)
- Beschreibung der leuchtenden Flächen von Leuchten/Lampen (Leuchtdichteverteilungen)
- Ausstrahlcharakteristika von geometrisch ausgedehnten Leuchten/Lampen (4D-Leuchtdichteverteilung, Strahlenverteilung im Raum)

- Energetische Beschreibung der Leuchten/Lampen
(Wirkungsgrad, Leistungsaufnahme, Temperaturverhalten)



2.2 RiGO 801 – Einordnung in die Lichtmesstechnik

Die lichttechnischen Messdaten von Leuchten/Lampen werden von verschiedenen Typen von Messapparaten gemessen. Dabei wird die Lichtausstrahlung von Leuchten durch Bewertung aus unterschiedlichen Beobachtungsrichtungen erfasst.

Die verschiedenen Messapparaturen unterscheiden sich in folgenden Punkten:

- Entweder wird das *Messobjekt bewegt*, um bezüglich dem fotometrischen Empfänger eine definierte Ausstrahlrichtung einzustellen oder der *fotometrische Empfänger wird bewegt*, wobei eine definierte Beobachtungsrichtung eingestellt wird.
- Entweder wird nur *ein fotometrischer Empfänger* genutzt, der sich in entsprechend großer Messentfernung (außerhalb der fotometrischen Grenzentfernung) befindet oder es werden *orts- oder richtungsauflösende Empfänger* in kurzer Messentfernung genutzt.

Folgende gebräuchliche Typen von Messapparaturen zur Erfassung von lichttechnischen Parametern lassen sich unterscheiden:

- A. Drehspiegelgoniophotometer
- B. Goniophotometer auf der Basis von Leuchtdichtemesskameras
- C. Goniophotometer mit langem Messarm
- D. Leuchtenwender

Nur der Typ B., Goniophotometer auf der Basis von Leuchtdichtemesskameras, ist in der Lage, Messdaten für die Ausstrahlcharakteristika geometrisch ausgedehnter Messobjekte für die Berechnung im Nahfeld und für die Bewertung von Leuchtdichteverteilungen an Objekten zu generieren. Diese Strahlendaten werden in den Formaten der Simulationstools ASAP, SPEOS, LucidShape, Helios oder LightTools zur Verfügung gestellt, wobei die Realisierung kundenspezifischer Formate möglich ist.

Die daraus ermittelten Lichtstärkeverteilungen (LVK's) $I(\theta, \phi)$ können in allen gebräuchlichen Dateiformaten gespeichert werden (EULUM-DAT, TM14, IES, Calculux).

3 Strahlenmodell – Basisdaten des RiGO 801

Für Leuchtensimulationen (z.B. Berechnung von Reflektoren in Scheinwerfern), für Beleuchtungsplanungen oder für Raytracing-Verfahren (Computersimulation von Wohnräumen o.ä.) sind die Daten der strahlenden/leuchtenden Objekte erforderlich. Die vollständige Beschreibung der Ausstrahlungsverhältnisse eines Körpers erfordert die Angabe der Leuchtdichteverteilung $L_{x,y,z,\lambda}(\vartheta, \varphi)$ an allen Oberflächenpunkten $(x, y, z) \in \text{Oberfläche}$ des Körpers. (Unterschiedliche spektrale Verteilungen auf der Oberfläche selbst werden hier nicht betrachtet.) Da sich eine Oberfläche durch zwei Parameter beschreiben lässt $z = f(x, y)$, ergibt sich ein 4-dimensionales Datenfeld $L(\vartheta, \varphi, x, y)$.

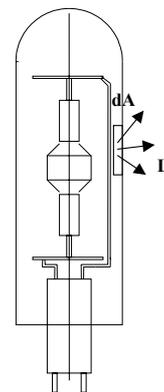


Bild 2: Beispiel einer zu vermessenden Lampe

Die damit gewonnenen Datensätze erlauben es, Objekte mittels

Strahlenmodellen zu beschreiben. Strahlenmodelle finden schon in vielen Simulationsprogrammen ihre Anwendung, basieren jedoch häufig auf synthetischen, mathematisch definierten Modellen für die leuchtenden Objekte (z.B. Beschreibung einer Glühwendel).

Beispiele für existierende Simulationsprogramme:

Firma	Produkt
Optis	Speos
BRO (Breault Research Organisation)	ASAP
Focus Software	ZEMAX / ZELUM
Lambda Research	TracePro
O++	ApiLux
Opticad Corporation	OptiCAD
Optical Research Associates	LightTools
Sinclair Optics	OSLO

Modelldaten beschreiben die tatsächlich eingesetzten Leuchtmittel gegebenenfalls nur unzureichend. Deshalb besteht großer Bedarf nach gemessenen Daten. Für die Erfassung der Leuchtdichteverhältnisse auf der Oberfläche (Strahlendaten $L_{x,y,z,\lambda}(\vartheta, \varphi)$) ist der Einsatz von integral messenden Einzelsensoren nicht möglich. Die erforderlichen Daten können prinzipiell mit einer **bildauflösenden Leuchtdichtemesskamera (LMK)**¹ auf einer Positioniereinheit (Goniometer) vermessen werden. Diese Messtechnik wird von TechnoTeam als RiGO801 in verschiedenen Versionen angeboten und hat sich in vielfachem Einsatz bewährt.

¹ Prospekt LMK2000 Systemfamilie: <http://www.technoteam.de/pdf/Prospekt.pdf>

3.1 Prinzip des Nahfeldgoniophotometers

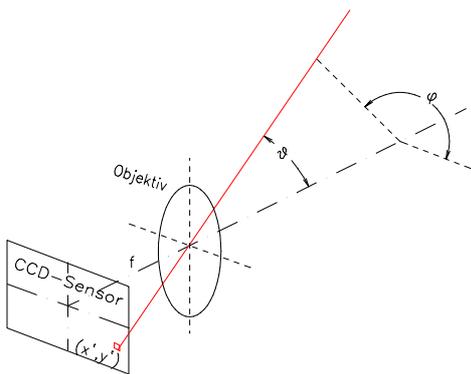


Bild 3: Zuordnung Kamerapixel zu Leuchtdichterichtung

Eine Kamera erfasst mit jeder Aufnahme ein Leuchtdichtebild. Dabei wird von jedem Bildpunkt (x', y') eine Leuchtdichterichtung (ϑ_K, φ_K) im Raum mit

$$\vartheta_K = \arctan\left(\frac{\sqrt{x'^2 + y'^2}}{f}\right)$$

$$\varphi_K = \arctan\left(\frac{y'}{x'}\right)$$

und einer dem Pixelgrauwert entsprechenden Leuchtdichte $L = f(GW)$ erfasst. Alle von der Aufnahme erfassten „Leuchtdichtestrahlen“ gehen durch einen Punkt im Raum (Eintrittspupille des Objektivs, i.a. die Blende).

Bei entsprechend kalibrierter Kamera (Leuchtdichtemesskamera LMK) ist die gemessene physikalische Größe das Leuchtdichtebild. In einem bildauflösenden Goniophotometer wird die Kamera oder das Messobjekt von der Goniometermechanik bewegt und an mehreren Punkten eine Aufnahme gemacht. Durch die jeweilige Zuordnung des Kamerakoordinatensystems zum Goniometerkoordinatensystem können die „Leuchtdichtestrahlen“ in Strahlen im Goniometerkoordinatensystem (ϑ, φ) umgerechnet werden.

Die Menge aller erfassten Leuchtdichtebilder ergibt eine vierdimensionale Leuchtdichteverteilung $L(x, y, \vartheta, \varphi)$, aus denen weitere lichttechnische Größen im Raum oder auf Flächen bestimmt werden können.

In diesen Daten sind **alle** Informationen, die die Lichtausstrahlung der Lampe betreffen (außer spektrale Verteilungen), enthalten. Für die redundanzarme Speicherung der Daten werden diese

Leuchtdichtebilder in Strahlendaten umgerechnet. Dazu wird der Leuchtdichtewert jedes Bildpunktes $L(x', y') = L(i, j)$ mit dem von diesem Pixel erfassten Raumwinkel $\Delta\Omega(i, j)$ multipliziert und ergibt einen Lichtstromanteil $\Delta\Phi(i, j)$. Diese Teillichtströme werden solange aufsummiert bis sie eine vorgegebene Schwelle Φ_{Strahl} überschreiten. Dann wird aus diesen aufgesammelten Teillichtströmen ein Strahl mit einer Richtung definiert, die sich aus dem photometrischen Schwerpunkt der eingesammelten Pixel ergibt.

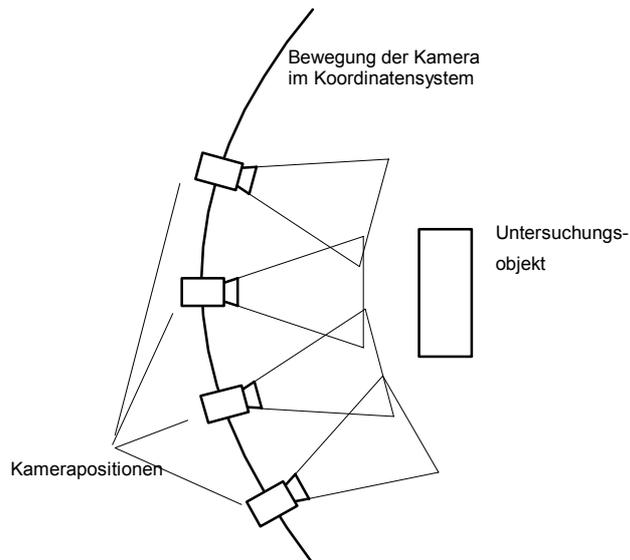


Bild 4: Kamerapositionen zur Leuchtdichtebilderfassung in einem Goniometer

4 Goniometermodelle

Zur Bewegung der Leuchtdichtemesskamera auf einer Kugel um die Messobjekte herum wird ein Goniometer eingesetzt, dessen Abmessungen sich aus dem zu vermessenden Leuchten/Lampensortiment und der verfügbaren Raumgröße ergeben. Von TechnoTeam sind die unterschiedlichsten Systeme realisiert worden. Die Konstruktionen wurden dabei jeweils den Kundenwünschen entsprechend angepasst.



Bild 5: Nahfeld-Goniophotometer RiGO801 für LED's und kleine Lampen



Bild 6: Nahfeld-Goniophotometer RiGO801 für Lampen und kleine Leuchten



Bild 7: Nahfeld-Goniophotometer RiGO801 für Lampen und kleine Leuchten, mit eigenem Rahmen (dieser eingehängt in zusätzliches Gestell) für die Einstellung unterschiedlicher Brennlagern der Messobjekte



Bild 8: Nahfeld-Goniophotometer RiGO801 für Leuchten bis 2000 mm Abmessungen

5 Anwendung der Messdaten

Die Vermessung der 4D-Leuchtdichteverteilung von Messobjekten eröffnet neue Wege, lichttechnische Objekte zu beschreiben, in Simulationsprogramme einzubinden und Daten für Dokumentation und Planung abzuleiten. Auf der Basis des Strahlenmodells lassen sich mit dem RiGO 801 eine Vielzahl lichttechnischer Parameter von Leuchten/Lampen ermitteln.

- Konventionelle Planungsdaten (LVK) für die Lichtplanung
- Daten für Nahfeldanwendungen (Nahfeld-LVK)
- Leuchtdichteverteilungen
- Daten für Programme zur rechnergestützten Simulation komplexer lichttechnischer Baugruppen

5.1 *Vollständige Beschreibung der leuchtenden Objekte*

Mit den vierdimensionalen Strahlendaten liegen vollständige Informationen über die leuchtenden Objekte vor. Die nach der Messung zur Verfügung stehenden Datensätze können in die Formate, die die nachfolgenden Simulations- bzw. Auswerteprogramme (z.B. die in Pkt. 3 aufgeführten) benutzen, konvertiert und direkt in diesen weiterführenden Programmen verarbeitet werden. Dies betrifft z.B. Raytracingverfahren für Reflektorberechnungen an Down-

Lights oder Scheinwerfern, die Strahldurchrechnung komplexer Beleuchtungssysteme (z.B. Projektoren) o.a..

5.2 Beleuchtungsplanung

Standardprogramme zur Beleuchtungsplanung nutzen heute meist die Lichtstärkeverteilungskörper (LVK) von Leuchten als Ausgangsdaten. Die Bewertung mit einer LVK betrachtet die Leuchten/Lampen jedoch nur als punktförmige Messobjekte. Für viele Anwendungsfälle ist dies auch ausreichend.

Das Nahfeldgoniophotometer RiGO 801 stellt natürlich auch konventionelle Lichtstärkerverteilungskörper (LVK) von Leuchten/Lampen zur Verfügung.

5.3 Bewertung von Leuchtdichteverteilungen

Als Leuchtdichtesensor wird auf den Nahfeldgoniophotometern RiGO eine Leuchtdichtemesskamera LMK eingesetzt. Damit stehen natürlich auch diese ursprünglichen Leuchtdichtebilder zur Verfügung und können mit der LMK-Funktionalität (Infos unter <http://www.technoteam.de>) bewertet werden. In der LMK 2000 Software kann die Bedienung des Goniometers übernommen werden, womit komfortable Möglichkeiten zur Gewinnung von Bilddaten an ausgewählten Orten (Winkeln) zur Verfügung stehen.

Die bildauflösende Leuchtdichtemesstechnik kann mit Modulen der Bildverarbeitung, auch mit der Erfassung und Messung geometrischer Beziehungen (Längen, Winkel, Raumwinkel) kombiniert werden und erlaubt dann auch die Erfassung vieler abgeleiteter Parameter.

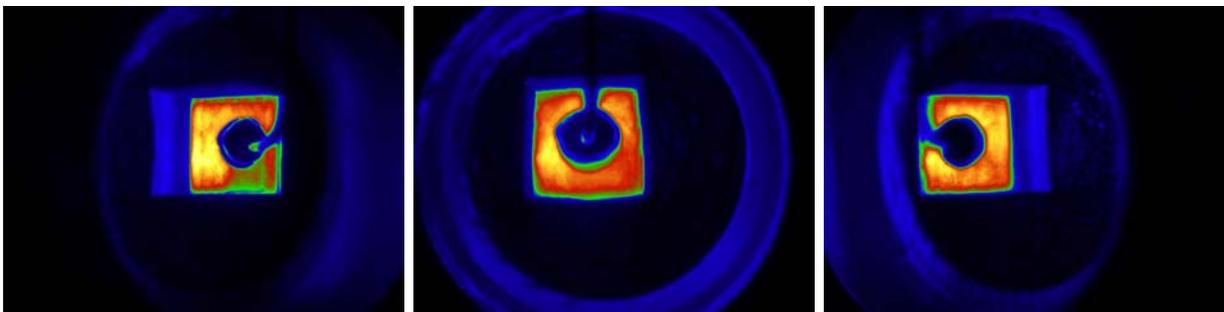


Bild 9: Bewertung einer Leuchtdichteverteilung an LED
(unterschiedliche Betrachtungsrichtungen)

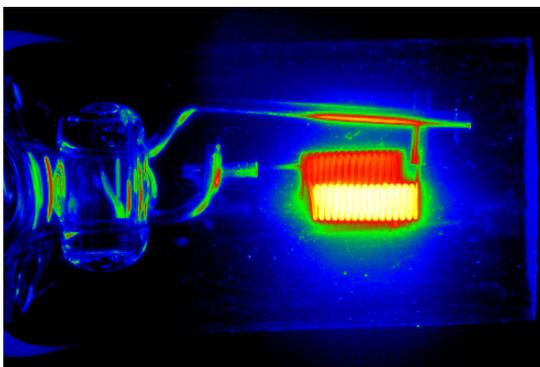


Bild 10: Bewertung einer Leuchtdichteverteilung an einer Halogenlampe
(Darstellung logarithmisch
4 Dekaden)

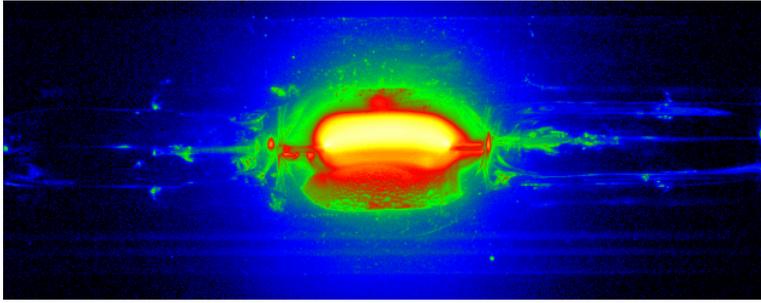


Bild 11: Bewertung einer Leuchtdichte-
verteilung an einer Xenonlampe
(Darstellung logarithmisch
5 Dekaden)

6 Erfahrungen mit dem Nahfeldgoniometer RiGO 801

6.1 Lichtstärkemessungen an der TU ILMENAU

Seit 10 Jahren werden mit den Nahfeldgoniometern RiGO Lichtstärkeverteilungskörper (LVK) von den unterschiedlichsten Leuchten aus den orts aufgelösten Leuchtdichtemessungen gewonnen. Am Fachgebiet Lichttechnik der TU Ilmenau stand das erste Nahfeldgoniometer (mit einer analogen Messkamera für Leuchten bis zu 1,10m Länge), das durch ein größeres Nahfeldgoniometer (jetzt können Leuchten mit einer Ausdehnung von etwa 1,60m vermessen werden) mit einer aktuellen digitalen Messkamera (LMK98) ersetzt wurde. So lassen sich die LVK nicht nur präziser und schneller vermessen, sondern es können auch Strahlendaten generiert werden.

Bereits im Jahr 1995 konnte durch Vergleichsmessungen mit einem Drehspiegelgoniometer gezeigt werden, dass bei einigen typischen Leuchten übereinstimmende LVK gemessen wurden /LICHT95/.

Schritt für Schritt wurden auch Leuchten mit spitzen LVK, extremen Leuchtdichteverteilungen und kleinen Abmessungen in die Vermessungen mit einbezogen. Die dabei auftretenden Probleme konnten meist nur durch eine Weiterentwicklung bzw. Anpassung der Software gelöst werden, was durch die gute Kommunikation zum Hersteller auch schnell gelang.

Eine Frage, die immer wieder gestellt wird, ist die nach der korrekten Zuordnung der Lichtstärkeanteile zu den entsprechenden Ausstrahlungsrichtungen, was für eine Messung innerhalb der fotometrischen Grenzferne nicht sofort einsichtig erscheint. So wurde eine Spiegelrasterleuchte mit den Abmaßen 60cm x 30cm einmal ins Zentrum des Goniometers, einmal um 45cm nach C270 verschoben und einmal um 35cm nach Unten (Richtung Südpol) verschoben aufgehängt und vermessen. Die meisten dieser Messwerte lagen nur 1% auseinander, womit die richtige Zuordnung der einzelnen Lichtstärkeanteile zu den jeweiligen Richtungen gezeigt wurde.

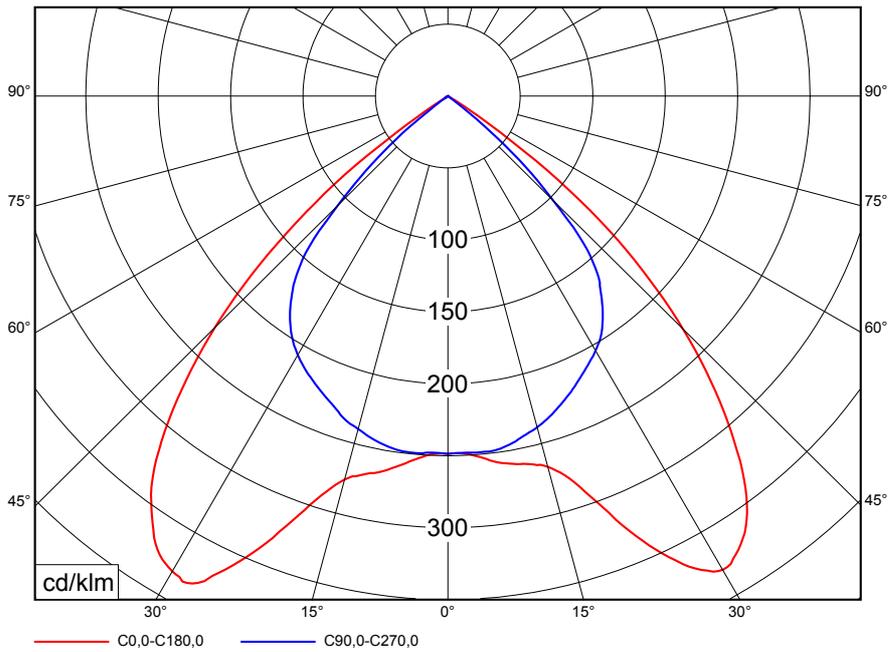


Bild 12: LVK der Spiegel-rasterleuchte

Will man also nur die LVK und keine Strahlendaten von einer Leuchte messen, so spielt die exakte Positionierung im Nahfeldgoniometer meist keine Rolle. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen einige typische Beispiele für die am FG Lichttechnik vermessenen LVK.

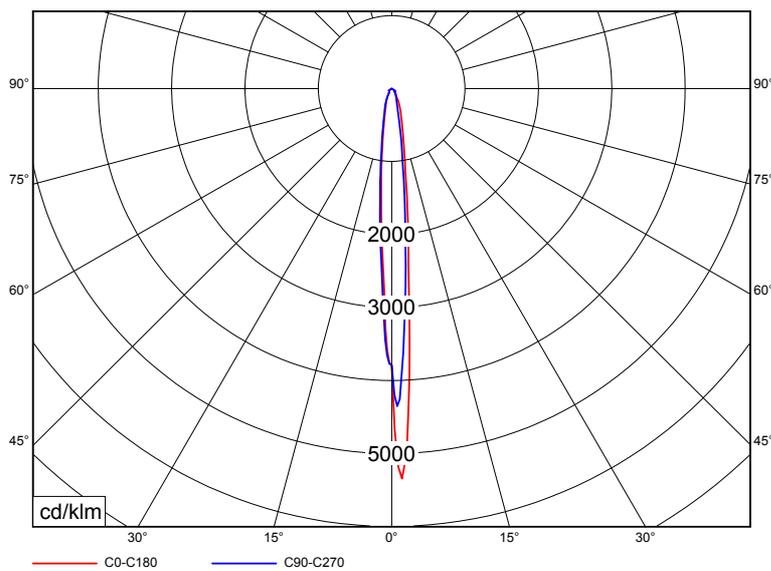


Bild 13: LVK einer engstrahlenden Leuchte (Lampe: HIT 400W)

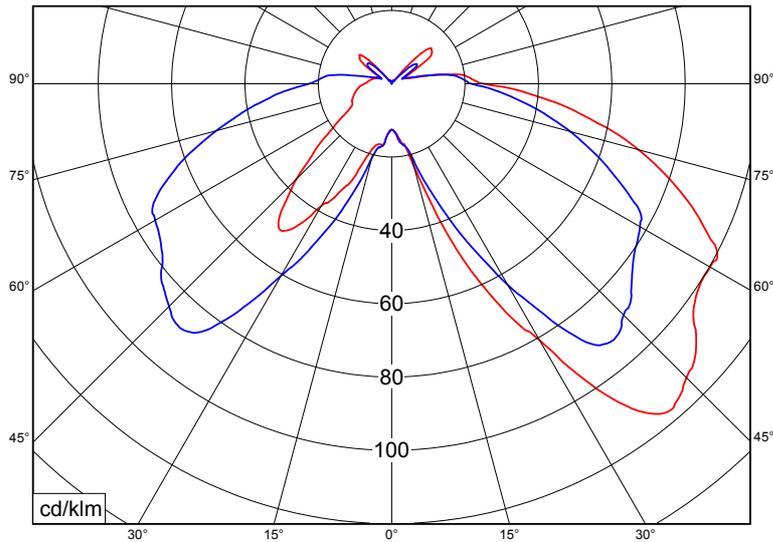


Bild 14: LVK einer Straßenleuchte
(Lampe: NAV 70W)

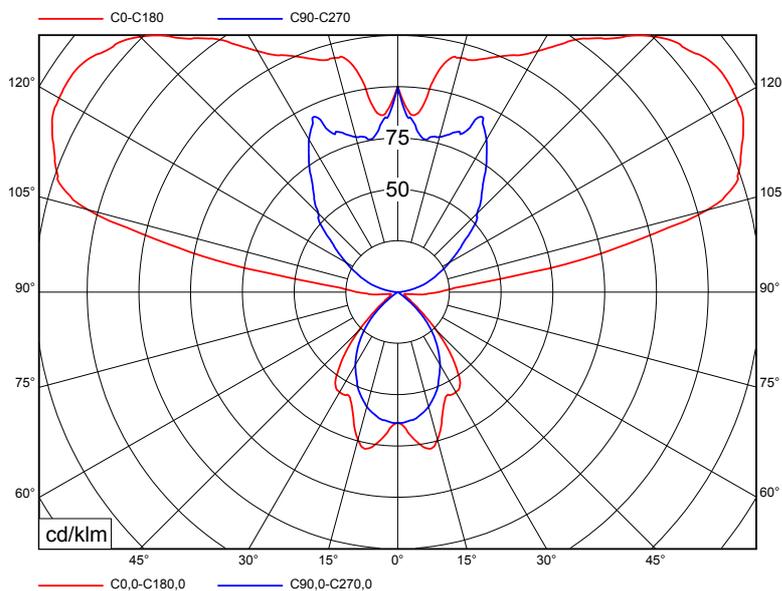


Bild 15: LVK einer Büroleuchte
(Lampe: T5)

In den folgenden beiden Abschnitten werden spezielle Probleme, die sich bei der Nahfeldfotometrie gezeigt haben, beschrieben und deren Lösungsmöglichkeiten dargestellt.

6.2 Vergleich von Kamera- und Photometermessung

Die Goniophotometer RiGO sind mit den Sensoren Photometer und Leuchtdichtemesskamera bestückt. Das Photoelement misst integral den Lichtstrom der Messobjekte und kann für kleine Messobjekte auch direkt zur Messung der Lichtstärkeverteilung $I(\vartheta, \varphi)$ genutzt werden.

Ist die zu vermessende Lampe bzw. Leuchte so klein, dass die photometrische Grenzentfernung für eine Photometermessung eingehalten werden kann, dann liefern Kamera- und Photometermessung im Prinzip dasselbe Ergebnis. Auf Grund des verwendeten Messprinzips (mehrfache diskrete Abtastung einer ursprünglich kontinuierlichen Funktion bei der Kameramessung im Gegensatz zur sofortigen Erfassung des integralen Ergebniswerts bei der Photometermessung) sind die Ergebniskurven der Photometermessung oftmals glatter als die der Kameramessung.

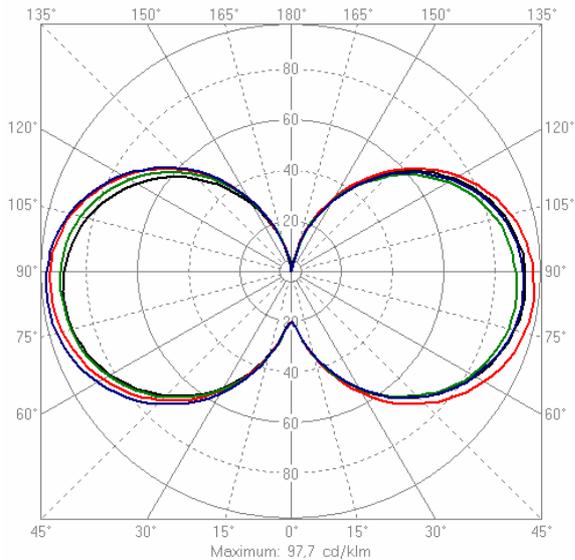


Bild 16: LVK einer Photometermessung außerhalb der photometrischen Grenzentfernung:

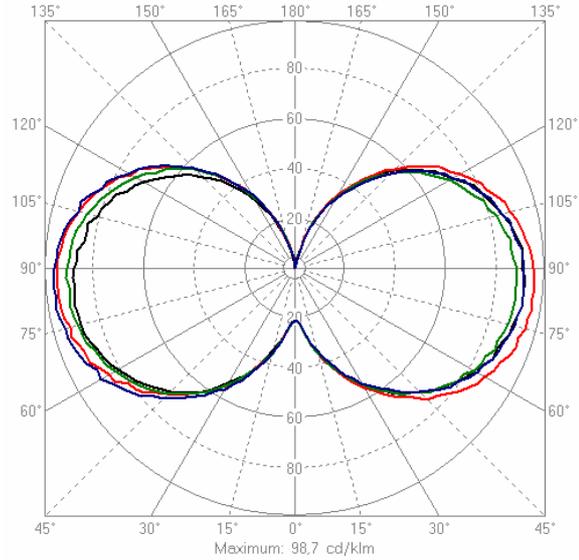


Bild 17: LVK einer Kameramessung:

6.3 Abhängigkeiten von Messparametern

6.3.1 Einstellung der Kameraintegrationszeit

Eine wesentliche Aufgabe bei der Vorbereitung einer Messung ist die Wahl einer geeigneten Kameraintegrationszeit.

Einerseits darf die Integrationszeit nicht zu groß sein, weil dann helle Bildteile übersteuert werden. Andererseits sollte die Integrationszeit aber auch nicht zu klein eingestellt sein. In diesem Fall werden unter Umständen dunklere Bildteile auf Grund des begrenzten Dynamikumfangs der Kamera als nichtleuchtend angenommen. Außerdem vergrößert eine zu geringe Aussteuerung das messtechnische Rauschen in den Ergebnisdaten.

Besonders sorgfältig muss die Integrationszeit gewählt werden, wenn man neben kleinen sehr hellen Lampen- bzw. Leuchtenteilen größere dunkle Bereiche hat, die wegen ihrer Ausdehnung dennoch merklich zum Gesamtlichtstrom beitragen.

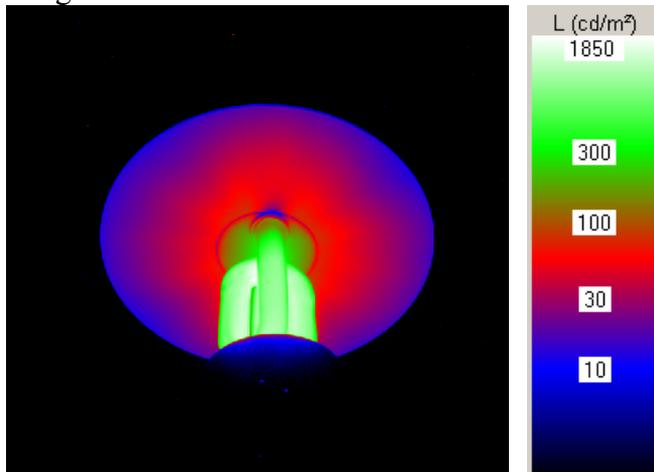


Bild 18: Leuchtdichtebild einer Leuchte mit diffusem Reflektor und Blendshutter nach unten.

Die links stehende Leuchte setzt sich aus einer kleinen Lampe und einem großen Reflektor zusammen. Der Leuchtdichteunterschied zwischen beiden beträgt zwischen einer und zwei Zehnerpotenzen.

Auf Grund des geometrischen Aufbaus wird nach den Seiten der Leuchte überwiegend das direkte Licht der Lampe wirksam. Nach unten ist die Lampe abgeschirmt, hier kommt lediglich das Licht des Reflektors an.

6.3.2 Zuordnung Kamera- zu Goniometerkoordinatensystem

Die Zuordnung des Kamerakoordinatensystems (ϑ_K, φ_K) zum Goniometerkoordinatensystem (ϑ, φ) wird wesentlich durch das Objektiv an der Kamera bestimmt (Brennweite, Verzeichnung, Lage der optischen Achse im Raum). An den Goniophotometern RiGO801 können Wechselobjektive genutzt werden. Für die Kameramessung ist es zweckmäßig, ein Objektiv zu wählen, mit dem das zu vermessende Objekt möglichst groß dargestellt wird. Ein Objektivwechsel führt i.d.R. zu einem endlichen geometrischen Versatz der optischen Achse zu einer vorherigen Einstellung und damit auch zur Einstellung bei der Kalibrierung. Die Korrektur der Dejustage nach dem Objektivwechsel erfolgt mit einer Justagefahrt des Goniometers (Drehung der Phi-Achse um 360°). Dabei wird die neue Lage der optischen Achse des Systems gemessen und in den darauf folgenden Messungen beachtet.

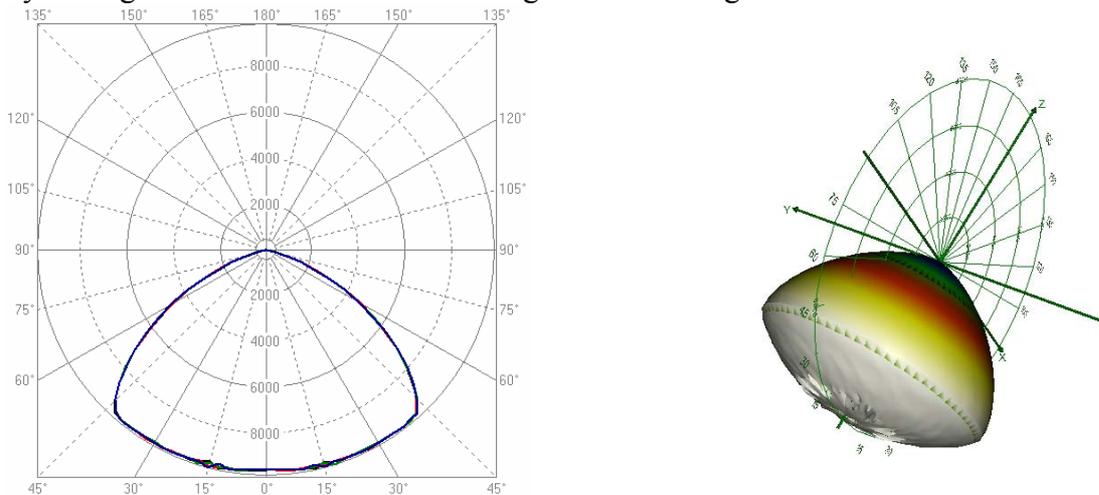


Bild 19: Tatsächlicher Verlauf der LVK und 3D-Ansicht der LVK (rechts) bei richtiger Justage (durchgeführte Kreisfahrt nach Objektivwechsel)

In den Messdaten findet man charakteristische Messfehler, die auf diese Dejustage zurückzuführen sind, vor allem am Pol des Goniometerkoordinatensystems und in der C-Ebene C0-C180. Welcher Effekt im Einzelnen auftritt, ist dabei sowohl von der tatsächlichen Lage der optischen Achse als auch von der zu vermessenden Lampe/Leuchte als auch vom gewählten Verfahrenregime des Goniometers abhängig. In den Bildern 16 bis 18 sind einige simulierte Auswirkungen dargestellt, die sich durch eine dejustierte Objektivachse ergeben können.

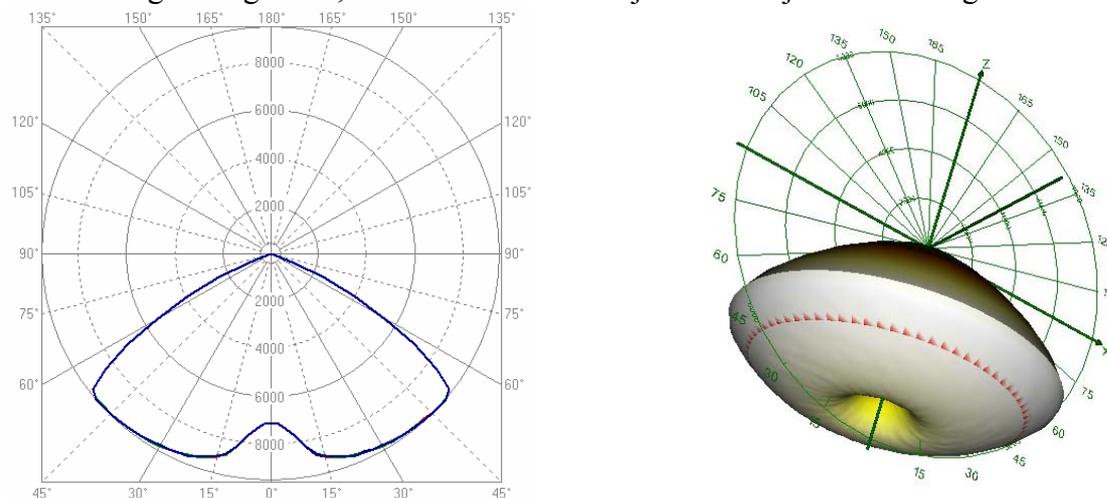


Bild 20: Einbuchtung am (Süd-)Pol einer LVK nach Objektivwechsel ohne nachfolgender Justage (Kreisfahrt) und 3D-Ansicht der LVK (rechts)

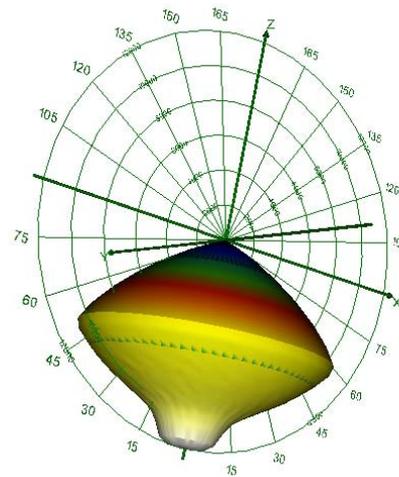
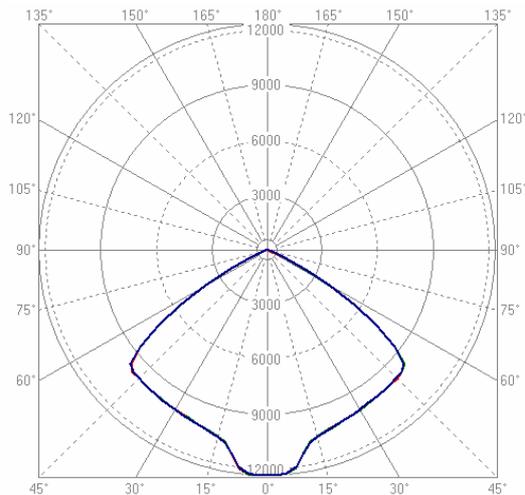


Bild 21: Auswölbung am (Süd-)Pol und 3D-Ansicht der LVK (rechts)

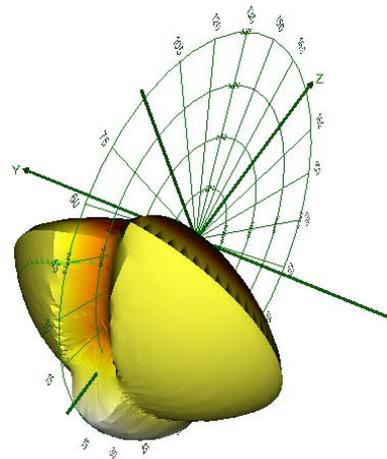
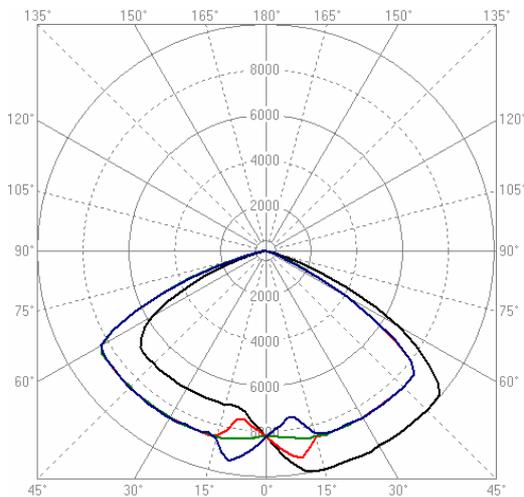


Bild 22: Fehlerhafte C0-C180-Ebene und 3D-Ansicht der LVK (rechts)

6.3.3 Winkelschrittweite (Große Messobjekte)

Das Grundprinzip der Messung der Lichtstärkeverteilung besteht darin, dass in verschiedenen Positionen des Goniometers Leuchtdichtebilder der Lampe bzw. Leuchte aufgenommen werden und zu der gesuchten Verteilung verrechnet werden.

Für den Lichtstärkeverteilungswert in eine bestimmte Richtung müssen alle Lichtstrahlen in diese eine Richtung aufgefangen und gewichtet addiert werden. Da die Kamera nur Bilder an endlich vielen Positionen aufnehmen kann, müssen die durch die Kamera erfassten Strahlen repräsentativ für die Lampe bzw. Leuchte sein (siehe Pkt. 3).

Die nebenstehende Grafik zeigt, welche Strahlen für einen Lichtstärkewert in eine ausgewählte Richtung Berücksichtigung finden.

Die *schwarzen* Punkte auf dem äußeren Kreis geben die Positionen der Kamera an, an denen Kamerabilder aufgenommen werden. Zu einem Lichtstärkewert tragen

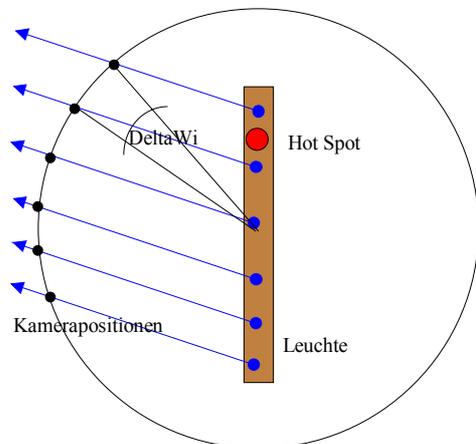


Bild 23: Erfassung einer Leuchte mit kleiner Inhomogenität

alle Lichtstrahlen in eine bestimmte Richtung bei. In dem gezeigten Beispiel ist das Aufnahmeraster so grob, dass der „Hot Spot“ von den Kamerabildern so erfasst wird, dass er in der betrachteten Richtung (blaue Strahlen) keine Anteile generiert. In anderen Richtungen könnte er aber zufällig enthalten sein.

Dieses Problem lässt sich durch eine Verkleinerung des Winkelrasters beseitigen.

Dabei hängt die angesprochene Problematik nicht nur von der Größe der Messobjekte, sondern ganz wesentlich von der Struktur der leuchtenden Elemente ab.

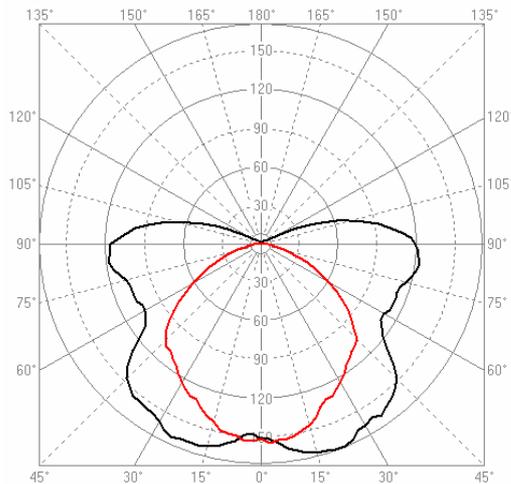


Bild 24: LVK einer Messung mit Winkelauflösung $\Delta\Theta = 2.5^\circ$ und $\Delta\varphi = 2.5^\circ$

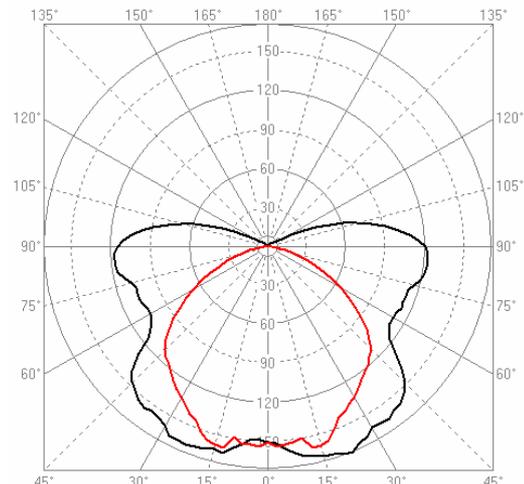


Bild 25: LVK einer Messung mit Winkelauflösung $\Delta\Theta = 2.5^\circ$ und $\Delta\varphi = 5^\circ$

In der C90-270-Ebenen ergeben sich bei ungenügender Winkelauflösung (im Beispiel reichen 5° Auflösung nicht aus) in Bild 25 deutliche Aliasing-Effekte.

6.3.4 Winkelschrittweite und Strahlendaten

Bei der Verwendung der Strahlendaten in lichttechnischen Berechnungen ist es ebenfalls von Bedeutung, sich den Erzeugungsprozess der Strahlen vor Augen zu führen. In der nebenstehenden Abbildung ist die Lampe bzw. Leuchte rot markiert, die Kamerapositionen sind als kleine schwarze Punkte angegeben.

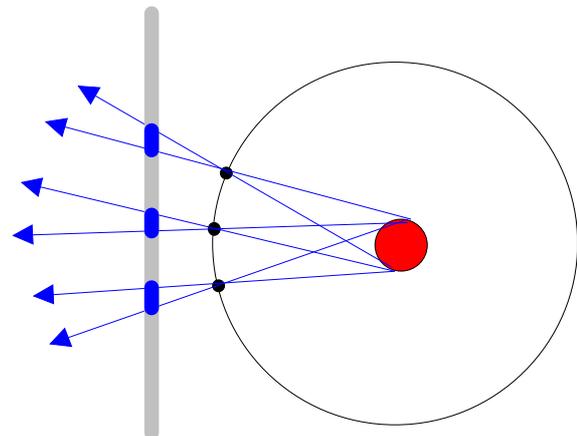


Bild 26: Kamerapositionen und Strahlendaten

Berechnet man die Beleuchtungsstärkeverteilung mit Hilfe eines Strahlendatensatzes (z.B. Hella-RWR-, Asap- oder ERF-Dateien) in einem Abstand, der in derselben Größenordnung wie der Abstand der Kamera vom Goniometermittelpunkt ist, dann

erhält man eine diskontinuierliche Verteilung. Je nach den eingestellten Parametern ist ein Punkt- oder Streifenmuster auf der beleuchteten Fläche zu erkennen. Die Ursache besteht darin, dass alle vom Objekt ausgehenden Strahlen einer Kameraaufnahme durch einen Punkt gehen müssen, den Ort der Kamera zum Zeitpunkt der Aufnahme. Mit zunehmendem Abstand von diesem Ort, entweder in Richtung kleinerer Entfernungen von der Lichtquelle oder in Richtung größerer Distanzen, verliert sich dieser Effekt.

Eine Verringerung des Problems kann dadurch erzielt werden, dass „virtuelle Kamerapositionen“ in der Nähe der tatsächlichen berechnet werden. Die Strahlen der echten Kamerapositionen werden aufgeteilt auf mehrere Orte in der Nachbarschaft.

Nachbarschaft ist dabei jeweils das zu der Kameraposition gehörende Flächenelement auf der Aufnahmekugel (siehe Bild 5). Dabei werden sowohl die Orte, als auch die Richtungen der gemessenen Strahlen geringfügig geändert.

In der aktuellen Softwareversion ist ein Verfahren implementiert, das sowohl für die Berechnung der LVK, als auch für den Export der Strahlendaten nach ASAP, RWR und ERF von der Verwendung virtueller Kamerapositionen Gebrauch machen kann.

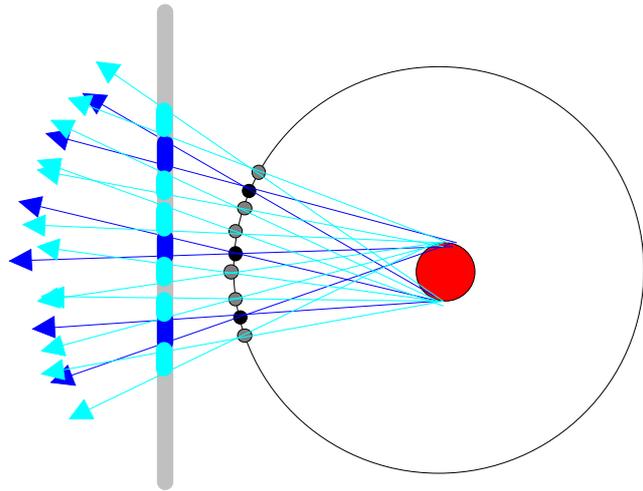


Bild 27: Strahlendaten bei Verteilung auf die Flächenelemente zugehörig zu den Kamerapositionen

- /LICHT93/** Manfred Riemann, Franz Schmidt, Ralf Poschmann: Zur Bestimmung der Lichtstärkeverteilung von Leuchten innerhalb der fotometrischen Grenzentfernung mittels eines bildauflösenden Goniometers. LICHT 7-8/1993; S.592 - 597
- /LICHT95/** Ingo Fischbach, Manfred Riemann, Franz Schmidt: Zur Leistungsfähigkeit der Messung von Lichtstärkeverteilungskurven mittels bildauflösender Fotometrie. LICHT 7-8/1995.
- /OPT97/** Schmidt, F.: Bilddatenauswertung zur Erfassung geometrischer und fotometrischer Relationen, Jahrbuch für Optik und Feinmechanik 1997 (44. Jahrg. Herausgeber: Prenzel, W. ; S. 82-116
- /LICHT97/** Fischbach, I.; Riemann, M.; Schmidt, F.: Anwendungen angepasster CCD-Sensortechnik in der ortsauflösenden Lichtmesstechnik. LICHT 7-8/1997; S. 582 – 587
- /PAT97/** Anordnung zur Messung der Lichtstärkeverteilung von Leuchten und Lampen, TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, Gebrauchsmuster 297 06 488.6
- /GfA02/** Gall, D.; Krüger, U.; Schmidt, F.; Wolf, St.: Moderne Möglichkeiten zur Messung und Bewertung von Beleuchtungsparametern Herbstkonferenz 2002 der GfA e.V. Technische Universität Ilmenau, 26.-27. September 2002
- /HENT02/** Hans-Jürgen Hentschel; Licht und Beleuchtung: Grundlagen und Anwendung- 5., neu bearb. und erw. Aufl. - Heidelberg : Hüthig, 2002; Kap. 4.4.2 Messung der Lichtstärke