

Realisation of a hemispherical illuminance in an integrating sphere

Jan Schmidt, Maic Meyer, Robert Maass, Stefan Pendsa, Thorsten Gerloff
Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig

The integrating sphere

For the calibration of photometers, a hemispherical illuminance can be required in addition to the planar illuminance. To achieve this, an integrating sphere is used at PTB. An integrating sphere is a hollow sphere whose inside is often coated with barium sulphate. Pure Barium sulphate is a white, crystalline mineral with very low light absorption between wavelengths of 250nm and 2500nm and consequently high reflectivity in the visible wavelength range as well as in the near infrared (Figure 1). Multiple reflections of light within the sphere result in a very uniform luminance distribution on the inner surface of the sphere. The sphere used at PTB has a diameter of 1.65 metres and is coated with a mixture of barium sulphate and additives with an average spectral reflectance of about 80% in the visible spectral range (Figures 1 and 2). There are several closable openings in the wall of the sphere, which provides space for an internal lamp support rod, a light source or large-area components on the inside and outside.

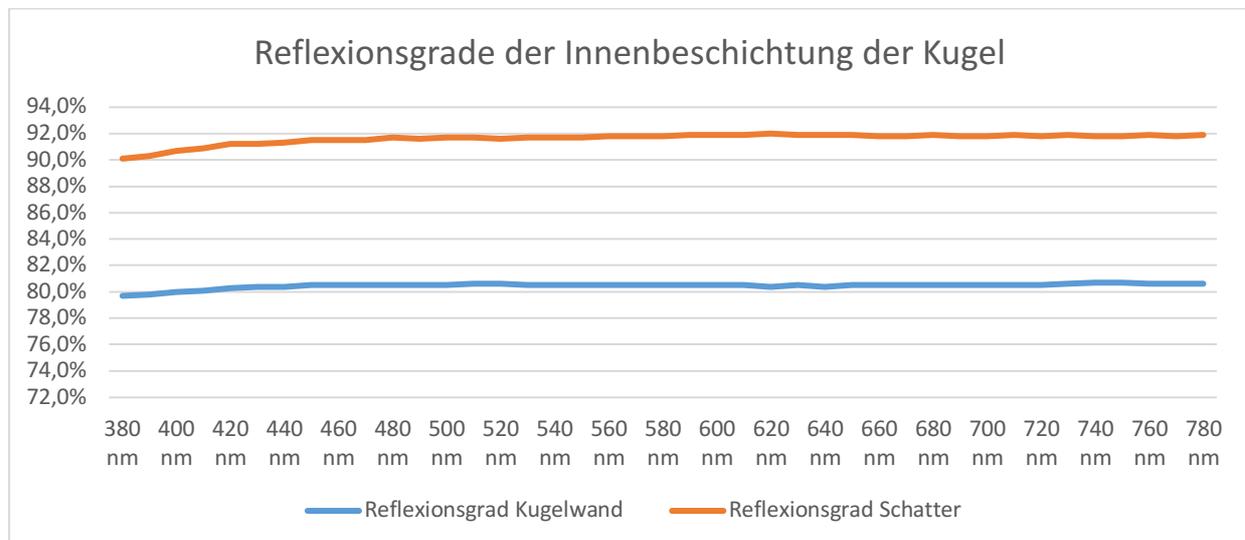


Figure 1: Reflectance of the inner coating of the sphere

To realise a hemispherical illuminance from a homogeneous spatial luminance distribution, the lamp support rod inside the sphere was removed and the light was introduced through a large-area opening in the wall of the sphere. Light sources are mounted in a ring on a round support plate, thus closing the sphere opening (Figure 3). In the centre of the plate is a hole in which various detectors can be mounted.



Figure 2: The integrating sphere with built-in incandescent lamp ring (right) from the outside.



Figure 3: Interior of the sphere with shutter (left) and built-in incandescent lamp ring (right)

Light sources

We have manufactured two types of round support plates (hereafter referred to as the ring) with two different light sources: one with incandescent lamps and one with LEDs.

The incandescent lamp ring consists of two plates that are connected to each other in the middle via a cylindrical receptacle in the form of a tunnel piece. A detector can be installed in this. On the plate facing the inside of the sphere are the bases for the bulbs. These provide space for 21 lamps. Between the lamps and the inside of the sphere is a motor-driven shutter. This regulates the incidence of light into the interior of the sphere without changing the colour temperature of the lamps, which would be the case if the current were changed. The surface of the back plate reflects part of the light emitted outwards into the sphere, thus increasing the luminance on the inner wall of the sphere. To counteract the strong heat generation of the incandescent lamps, there is a heat sink on the outside of the ring (Figure 4 and 5 below). In operation, all 21 lamps are regulated via the lamp current to a uniform similar colour temperature of e.g. 2856 K (similar to standard illuminant A). Seven incandescent lamps each are connected in series to one of three separate circuits. In this way, the illuminance can be additionally regulated by operating one, two or three circuits without strongly affecting the uniform luminance distribution inside. In addition, the bases can be fitted with incandescent lamps of different wattages (e.g. 10W, 20W, 100W, 250W) and thus the hemispherical illuminance on the detector can be varied between 1 lux and 5000 lux.

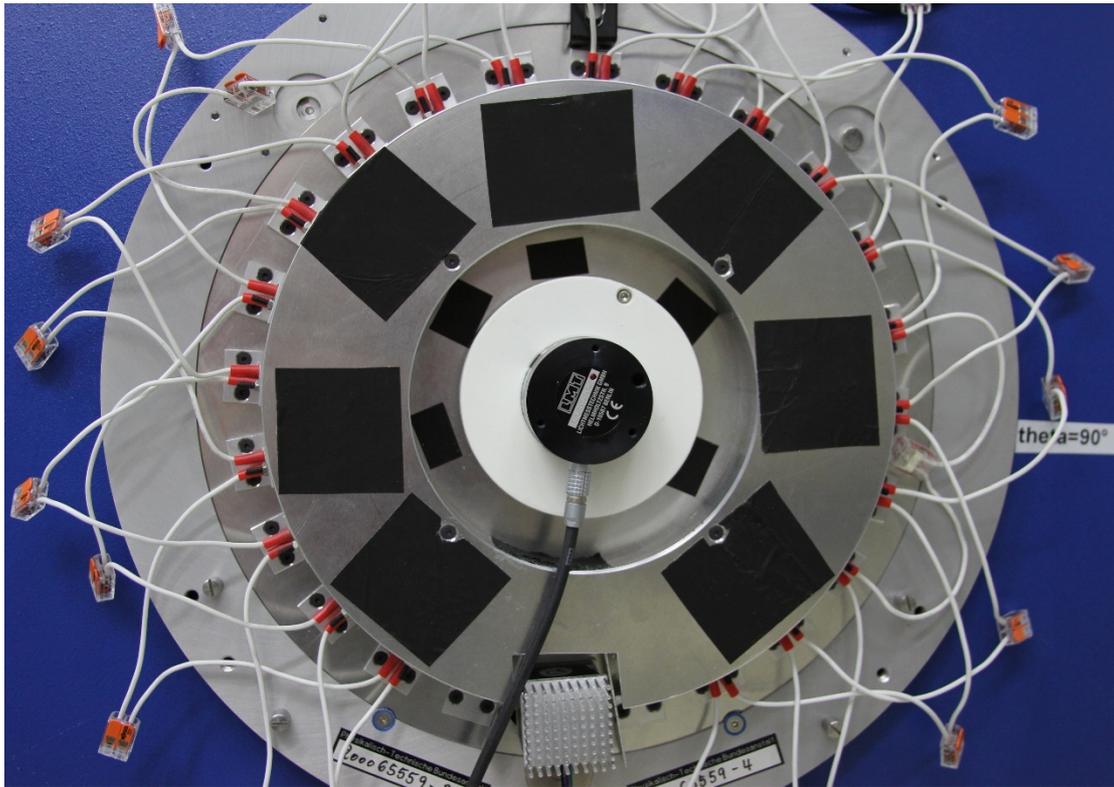


Figure 4: Back plate of the incandescent lamp ring with built-in photometer head

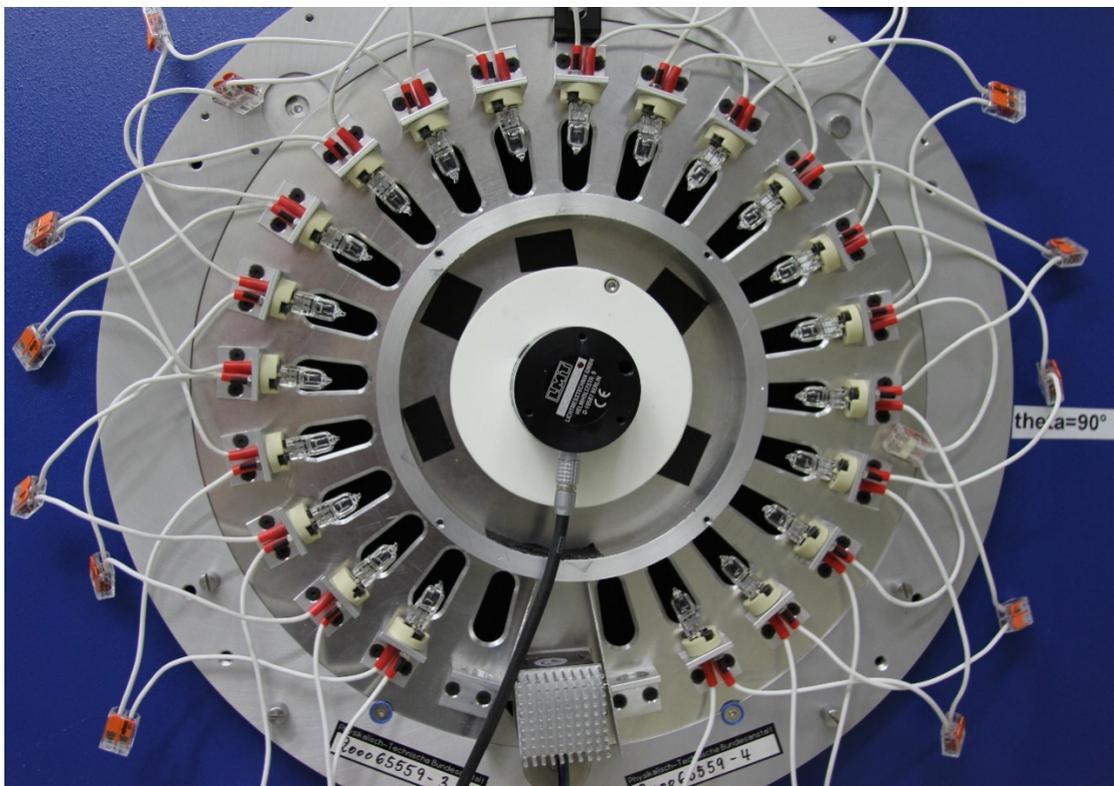


Figure 5: Incandescent lamp ring without back plate with open shutter, 21 incandescent lamps and built-in photometer head

The LED ring is a single circuit board that has been fitted with six different types of LEDs. Here, too, there is a cylindrical receptacle in the centre in which a detector can be installed. The different LEDs are arranged in rings according to their type and have different colours: cool white, warm white, blue, green, red and infrared. Each LED type has its own electrical circuit. This allows them to be controlled separately. Since the spectral distribution of the emitted light changes only very slightly when the operating current is changed, the use of a motorised shutter is not necessary and the amount of light falling into the sphere can be controlled directly via the LED current intensity. On the back of the ring is a cooling system consisting of heat sinks and fans.

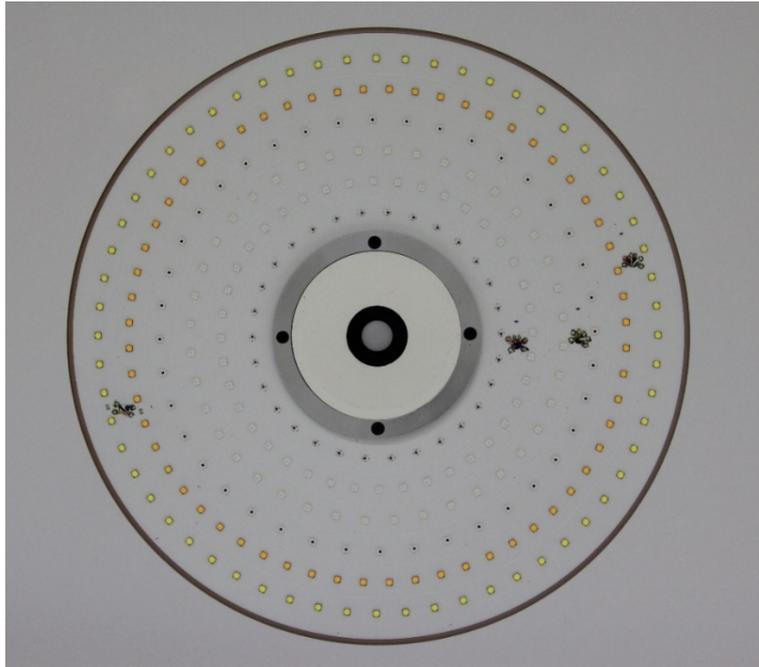


Figure 6: The front of the LED ring

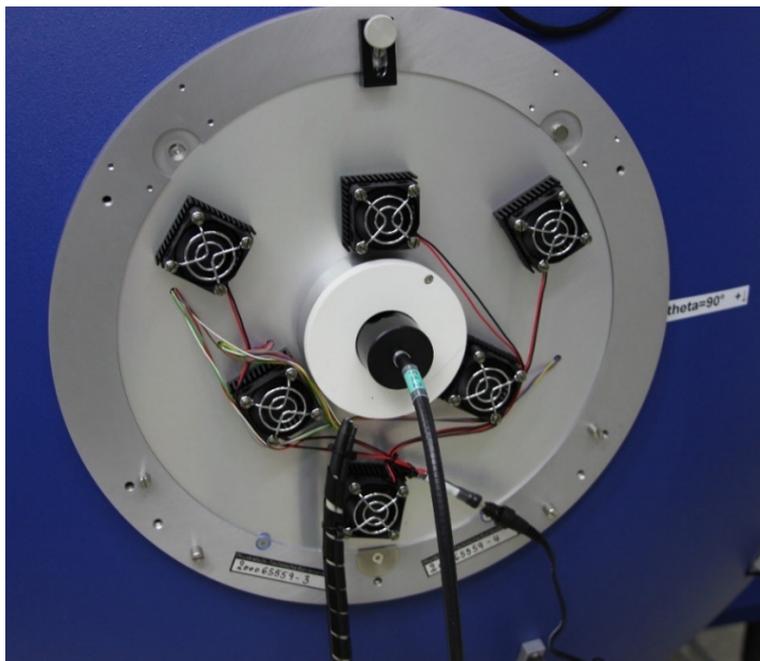


Figure 7: The back of the LED ring with coupling optics and optical waveguide of a spectroradiometer

Measurement procedure

To determine the homogeneity of the luminance distribution on the surface of the sphere, a luminance measuring camera is installed in place of the detector. With the help of a fisheye lens, the camera can capture the entire inner surface of the sphere. As can be seen in figure 8, the luminance distribution of the entire sphere varies in the range from 5500 cd/m² to 7000 cd/m². A striking feature is the elliptical shutter on the opposite half of the sphere, which lies about 10 cm in front of the inner wall of the sphere and whose function will be discussed in the following section. This shutter has a higher reflectance (Figure 1) and therefore reflects more light back to the camera than the inner wall of the sphere.

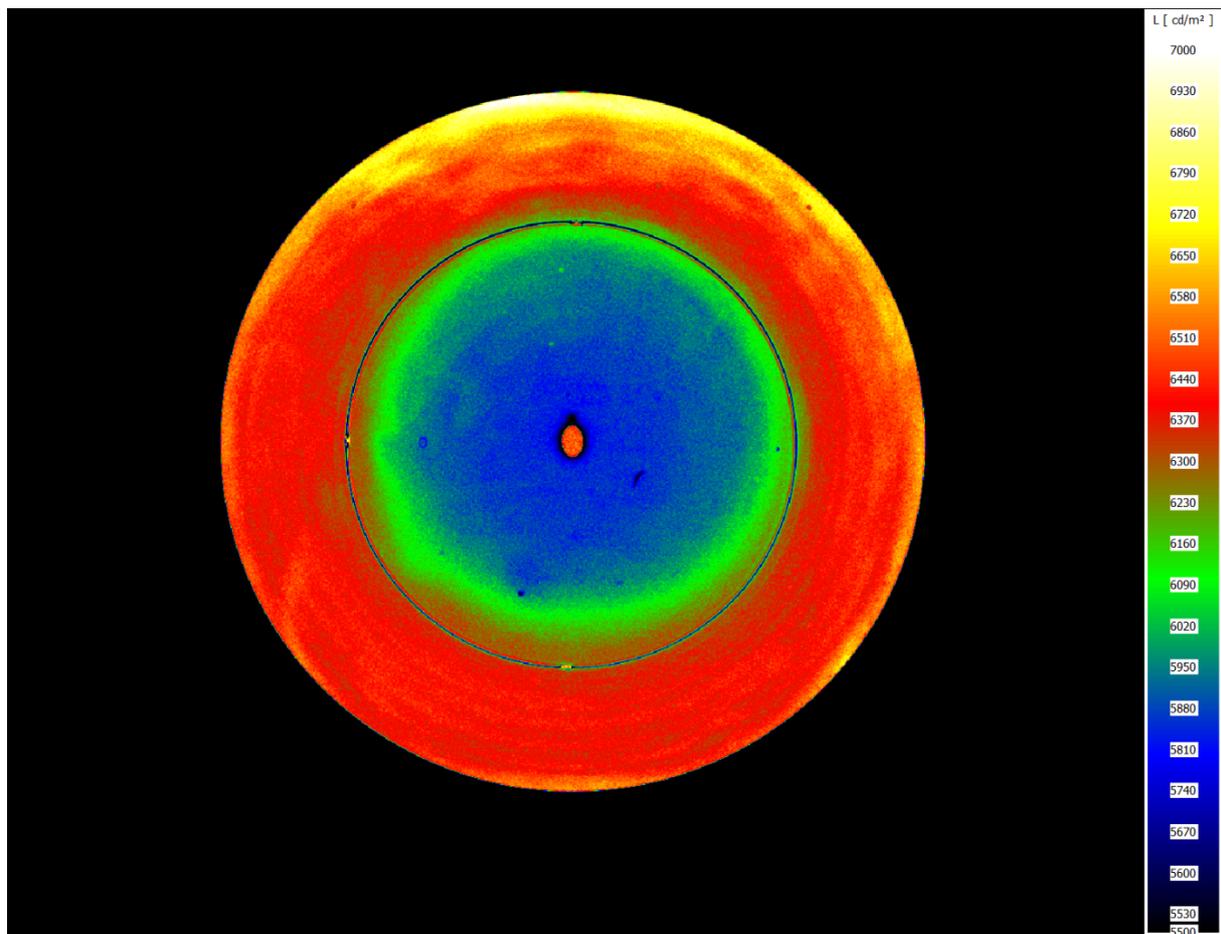


Figure 8: Luminance distribution in the sphere as a false colour image

To determine the hemispherical illuminance, a calibrated photometer head (reference detector) is installed in the ring. By varying the current intensity of the LED ring or the shutter opening of the incandescent lamp ring, a predefined illuminance level is set at the reference detector. An additional photometer head (monitor detector) is located behind the shutter in the spherical wall. The shutter prevents direct illumination of the monitor detector. The photocurrent of the monitor detector is measured at a known illuminance of the reference detector and the correlation is determined (Figure 9). Subsequently, the reference detector installed in the ring can be replaced by non-calibrated detectors (substitution method). With the help of the monitor detector, desired illuminances can be realised and the detectors calibrated.

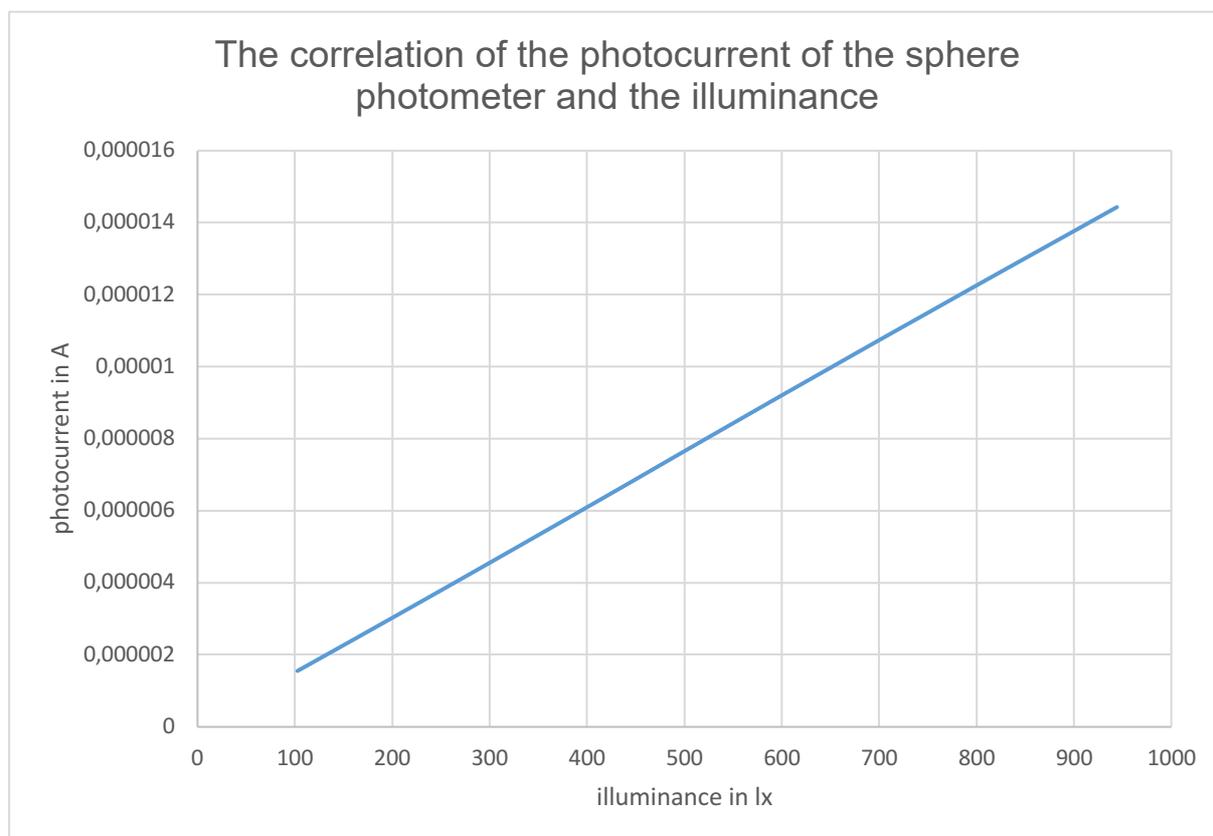


Figure 9: The correlation of the photocurrent of the sphere photometer and the illuminance

Summary

It was shown that a sufficiently good homogeneity of the luminance distribution can be achieved by the high reflectivity inside an integrating sphere. This can be used to realise a hemispherical illuminance.

Sources

<https://www.chemie.de/lexikon/Bariumsulfat.html>

Realisierung einer hemisphärischen Beleuchtungsstärke in einer Ulbricht-Kugel

Jan Schmidt, Maic Meyer, Robert Maass, Stefan Pendsa, Thorsten Gerloff
Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig

Die Ulbricht-Kugel

Zur Kalibrierung von Photometern kann neben der planaren auch eine hemisphärische Beleuchtungsstärke gefordert werden. Um dies zu erreichen, wird in der PTB eine Ulbricht-Kugel verwendet. Eine Ulbricht-Kugel ist eine hohle Kugel, deren Innenseite oftmals mit Bariumsulfat beschichtet ist. Reines Bariumsulfat ist ein weißes, kristallines Mineral mit sehr geringer Lichtabsorption zwischen Wellenlängen von 250nm und 2500nm und folglich hoher Reflektivität im sichtbaren Wellenlängenbereich sowie im nahen Infrarot. Durch Vielfachreflexionen des Lichts in der Kugel kommt eine sehr gleichmäßige Leuchtdichteverteilung auf der inneren Oberfläche der Kugel zustande. Die in der PTB verwendete Kugel hat einen Durchmesser von 1,65 Meter und die Beschichtung aus Bariumsulfat und Zusatzstoffen hat einen mittleren spektralen Reflexionsgrad von etwa 80% im sichtbaren Spektralbereich (Abbildungen 1 und 2). In der Kugelwand befinden sich mehrere verschließbare Öffnungen, welche Platz für eine interne Lampenhalterstange, eine Lichtquelle oder großflächige Bauteile an Innen- und Außenseite bietet.

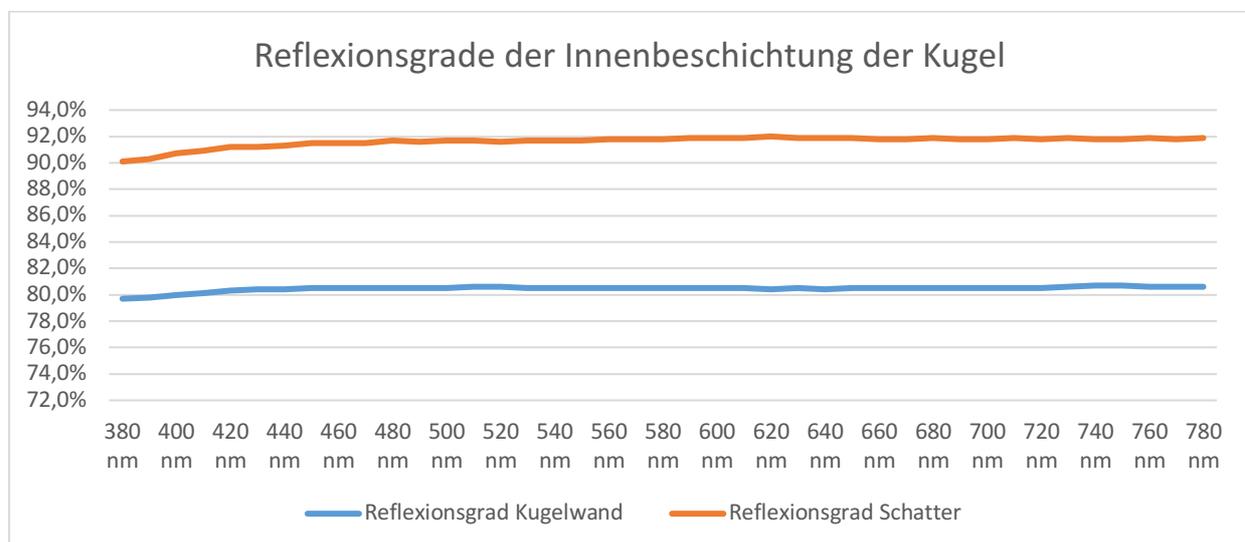


Abbildung 1: Reflexionsgrade der Innenbeschichtung der Kugel

Zur Realisierung einer hemisphärischen Beleuchtungsstärke aus einer homogenen räumlichen Leuchtdichteverteilung wurde die Lampenhalterstange im Inneren der Kugel entfernt und das Licht durch eine großflächige Öffnung in der Kugelwand eingebracht. Lichtquellen werden ringförmig auf einer runden Trägerplatte angebracht und damit die

Kugelöffnung verschlossen (Abbildung 3). In der Mitte der Platte befindet sich ein Loch, in dem verschiedene Detektoren angebracht werden können.



Abbildung 2: Die Ulbricht-Kugel mit eingebautem Glühlampenring (rechts) von außen



Abbildung 3: Innenraum der Kugel mit Schatter (links) und eingebautem Glühlampenring (rechts)

Lichtquellen

Die runden Trägerplatten (folgend als Ring bezeichnet) wurden separat mit zwei verschiedenen Lichtquellen bestückt: eine mit Glühlampen und eine mit LEDs.

Der Glühlampen-Ring besteht aus zwei Platten, die in der Mitte über eine zylindrische Aufnahmevorrichtung in Form eines Tunnelstücks miteinander verbunden sind. In dieser kann ein Detektor eingebaut werden. An der dem Kugelinneren zugewandten Platte befinden sich die Sockel für die Glühlampen. Diese bieten Platz für 21 Lampen. Zwischen den Lampen und dem Inneren der Kugel befindet sich ein motorbetriebener Schatter. Dieser reguliert den Lichteinfall in das Kugelinnere, ohne die Farbtemperatur der Lampen zu verändern, was bei einer Stromänderung der Fall wäre. Die Rückseitenplatte reflektiert an ihrer Oberfläche einen Teil des nach außen abgestrahlten Lichts in die Kugel und erhöht so die Leuchtdichte auf der Kugelinnenwand. Um der starken Wärmeentwicklung der Glühlampen entgegenzuwirken, befindet sich ein Kühlkörper an der Außenseite des Rings (Abbildung 4 und 5 unten). Im Betrieb werden alle 21 Lampen über den Lampenstrom auf eine einheitliche Ähnlichste Farbtemperatur von z.B. 2856 K (ähnlich Normlichtart A) geregelt. Jeweils sieben Glühlampen sind in Reihe geschaltet und an einem von drei separaten Stromkreisen angeschlossen. Auf diesem Wege kann die Beleuchtungsstärke durch Betrieb von ein, zwei oder drei Stromkreisen zusätzlich reguliert werden ohne die gleichmäßige Leuchtdichteverteilung im Inneren stark zu beeinträchtigen. Zusätzlich können die Sockel mit Glühlampen verschiedener Leistungen (z.B. 10W, 20W, 100W, 250W) bestückt werden und so die hemisphärische Beleuchtungsstärke auf dem Detektor zwischen 1 lux und 5000 lux variiert werden.

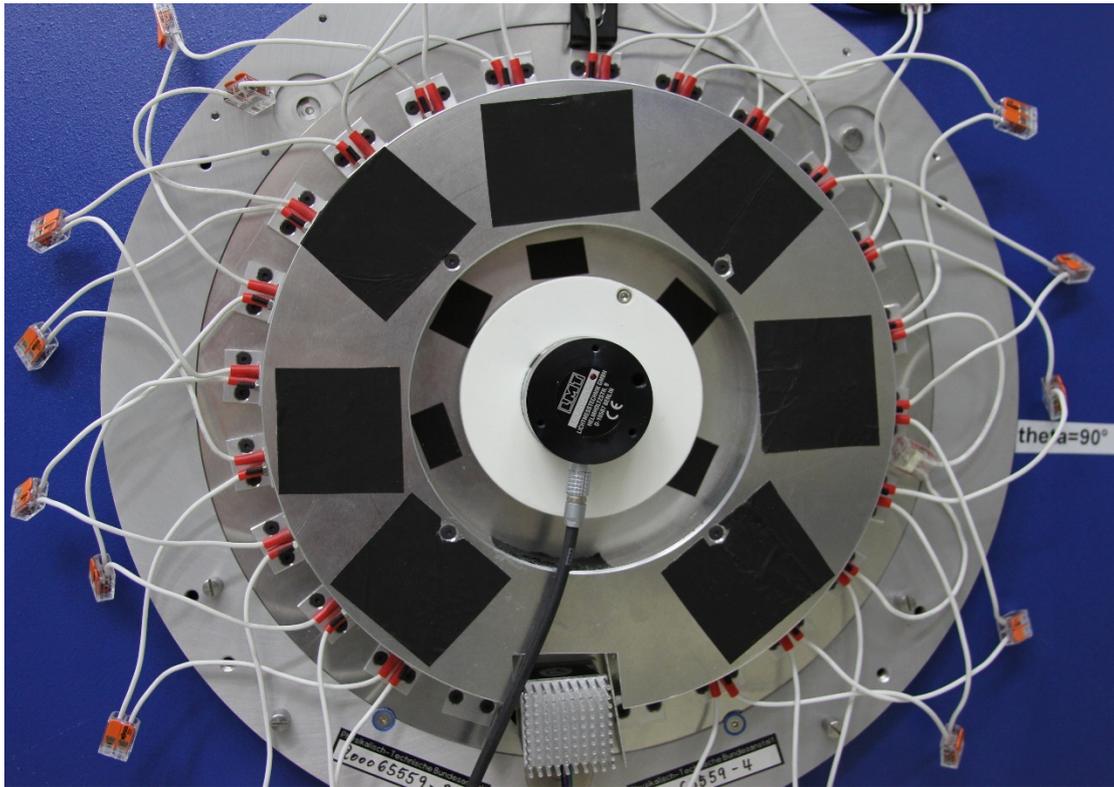


Abbildung 4: Rückseitenplatte des Glühlampenrings mit eingebautem Photometerkopf

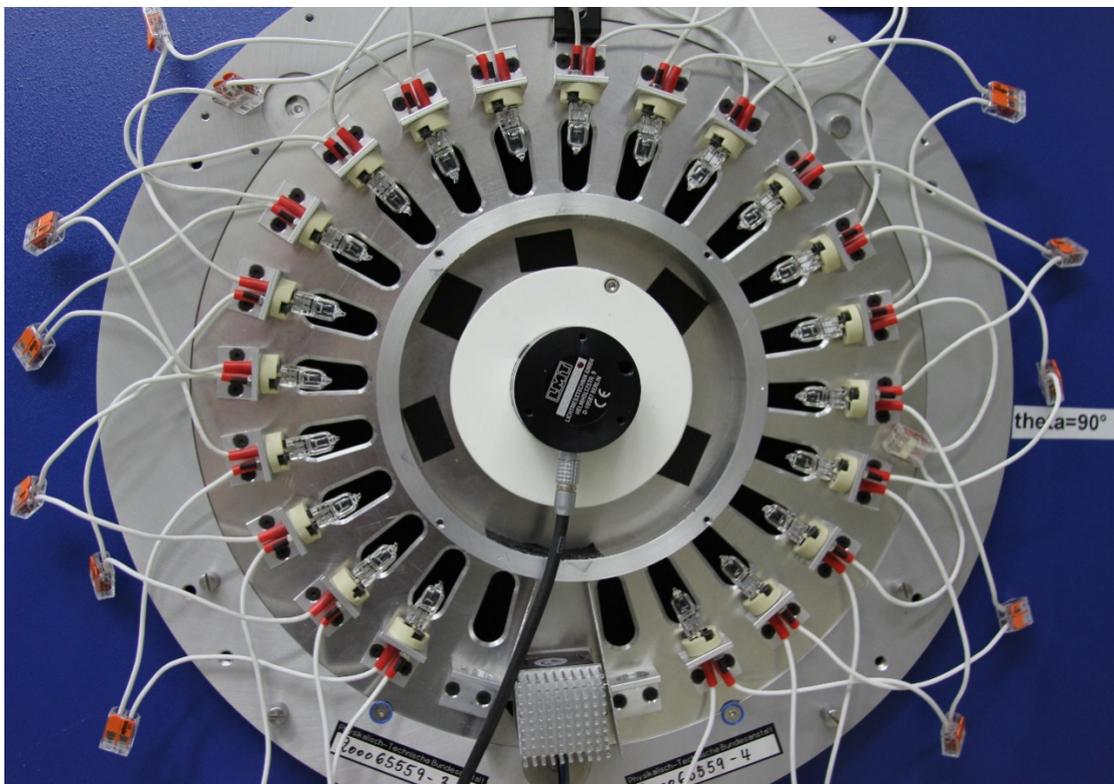


Abbildung 5: Glühlampenring ohne Rückseitenplatte mit offenem Schatter, 21 Glühlampen und eingebautem Photometerkopf

Der LED-Ring ist eine einzelne Platine, die mit sechs verschiedenen Typen von LEDs bestückt wurde. Auch hier befindet sich in der Mitte eine zylindrische Aufnahmevorrichtung, in dem ein Detektor eingebaut werden kann. Die verschiedenen LEDs sind nach ihrem Typ in Ringen angeordnet und haben verschiedene Farben: Kaltweiß, Warmweiß, Blau, Grün, Rot und Infrarot. Jeder LED-Typ besitzt einen eigenen Stromkreis und können getrennt angesteuert werden. Da sich die spektrale Verteilung des emittierten Lichts bei Änderung des Betriebsstroms nur sehr gering ändert, kann auf den Einsatz eines motorisierten Schatters verzichtet und der Lichteinfall in die Kugel direkt über die LED-Stromstärke geregelt werden. Auf der Rückseite des Ringes befindet sich ein Kühlsystem bestehend aus Kühlkörpern und Lüftern.



Abbildung 6: Die Vorderseite des LED-Rings

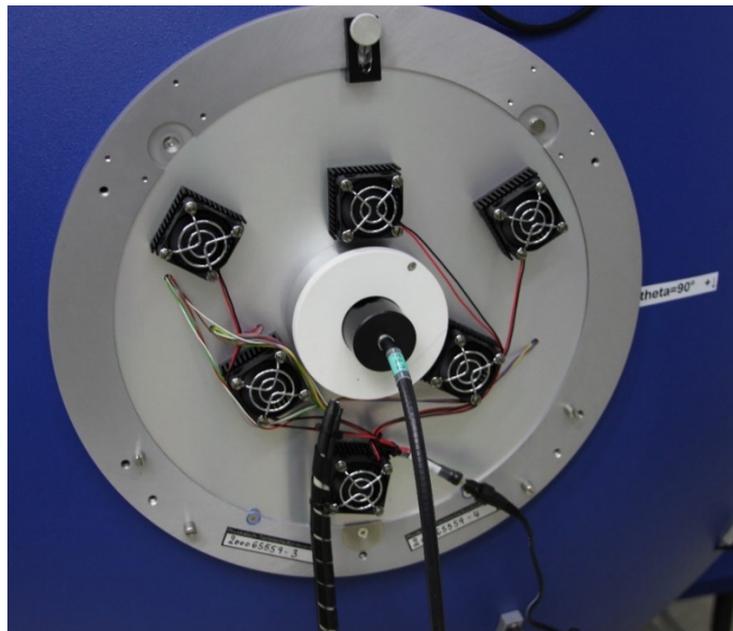


Abbildung 7: Die Rückseite des LED-Rings mit Einkoppeloptik und Lichtwellenleiter eines Spektroradiometers

Messverfahren

Um die Homogenität der Leuchtdichteverteilung auf der Kugeloberfläche zu bestimmen, wird eine Leuchtdichtemesskamera an Stelle des Detektors eingebaut. Mit Hilfe eines Fisheye-Objektivs kann die Kamera die gesamte Innenoberfläche der Kugel erfassen. Wie in Abbildung 8 zu sehen, variiert die Leuchtdichteverteilung der gesamten Kugel im Bereich von 5500 cd/m^2 bis 7000 cd/m^2 . Auffällig ist der ellipsenförmige Schatter auf der gegenüberliegenden Kugelhälfte, der etwa 10 cm vor der Kugelinnenwand liegt, auf dessen Funktion im folgenden Abschnitt eingegangen wird. Dieser Schatter hat einen höheren Reflexionsgrad (Abbildung 1) und reflektiert deshalb mehr Licht auf die Kamera zurück als die Kugelinnenwand.

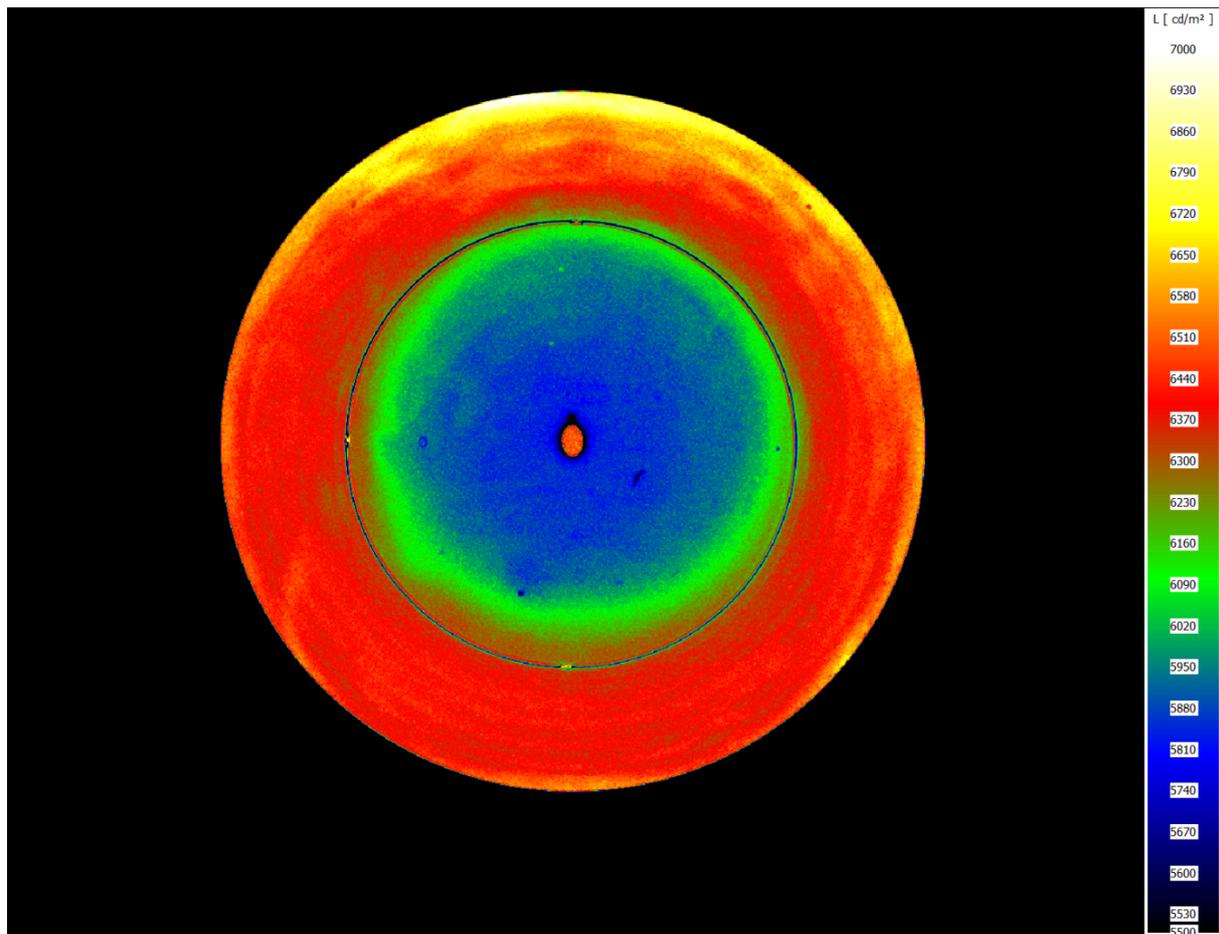


Abbildung 8: Leuchtdichteverteilung in der Kugel als Falschfarbenbild

Zur Bestimmung der hemisphärischen Beleuchtungsstärke, wird ein kalibrierter Photometerkopf (Referenzempfänger) im Ring eingebaut. Durch Variation der Stromstärke des LED-Rings bzw. der Schatteröffnung bei dem Glühlampenring wird eine vorgegebene Beleuchtungsstärke am Referenzempfänger eingestellt. Hinter dem Schatter befindet sich in der Kugelwand ein weiterer Photometerkopf (Monitorempfänger). Durch den Schatter wird die direkte Beleuchtung des Monitorempfängers verhindert. Der Photostrom des Monitorempfängers wird bei bekannter Beleuchtungsstärke des Referenzempfängers erfasst und der Zusammenhang bestimmt. (Abbildung 9). Im Anschluss kann der im Ring verbaute Referenzempfänger durch nicht kalibrierte Detektoren (Substitutionsmethode) ausgetauscht werden. Mit Hilfe des Monitorempfängers können gewünschte Beleuchtungsstärken realisiert und die Detektoren kalibriert werden.

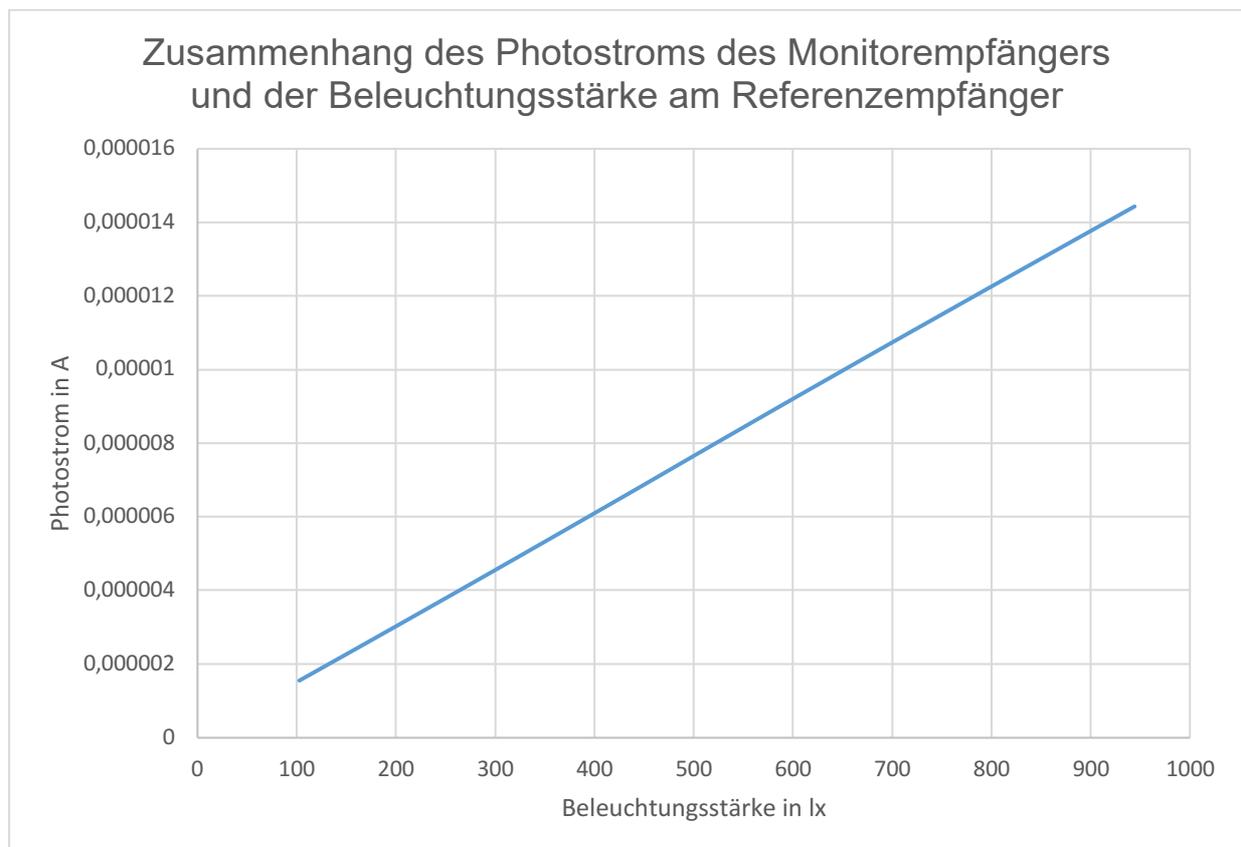


Abbildung 9: Der Zusammenhang des Photostroms des Kugelphotometers und der Beleuchtungsstärke

Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, dass durch die hohe Reflektivität im Inneren einer Ulbricht-Kugel eine hinreichend gute Homogenität der Leuchtdichteverteilung erreicht werden kann. Diese kann zur Realisierung einer hemisphärischen Beleuchtungsstärke verwendet werden.

Quellen

<https://www.chemie.de/lexikon/Bariumsulfat.html>