

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
<b>Band:</b>	86 (1995)
<b>Heft:</b>	4
<b>Artikel:</b>	Darstellung und Weitergabe der Lichtstromeinheit Lumen
<b>Autor:</b>	Blaser, Peter / Lehmann, Hans
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-902431">https://doi.org/10.5169/seals-902431</a>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 28.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Das neu angeschaffte Lichtstromgoniometer erlaubt dem Eidgenössischen Amt für Messwesen (EAM), die Lichtstromeinheit Lumen an die eigene, auf kalibrierte Empfänger gestützte Realisierung der Basiseinheit Candela anzuschliessen. Bisher wurde am EAM das Lumen durch vom Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) kalibrierte Normallampen verkörpert und durch Vergleich in der Ulbricht-Kugel weitergegeben. Die neue Messmethode, mit Integration der Lichtstromanteile über den gesamten Raum, führt insbesondere bei nicht punktförmigen Lampen zu einer wesentlichen Verbesserung der Messunsicherheit.

# Darstellung und Weitergabe der Lichtstromeinheit Lumen

■ Peter Blaser, Hans Lehmann

## Photometrische Grössen und ihre Einheiten

Infolge der enormen Bedeutung des menschlichen Sehsinnes nimmt das Licht im Rahmen des internationalen Systems der physikalischen Grössen und ihrer Einheiten (SI) eine Sonderstellung ein. Die zur Messung des Lichtes verwendeten Grössen sind keine rein physikalischen Grössen. Sie beinhalten durch Definition die Wellenlängenabhängigkeit der Hellemmpfindung des menschlichen Auges.

Physikalisch messen wir beim Licht als elektromagnetische Welle die pro Zeiteinheit abgestrahlte, übertragene oder empfängene Energie, also Leistung mit der Einheit Watt. Die zur Messung der Strahlung verwendeten Grössen und ihre Einheiten nennt man *radiometrische* (Tabelle 1). Sie sind alle geometrische Manifestationen der physikalischen Leistung.

Die *photometrischen* Grössen ergeben sich aus den radiometrischen durch die Be-

wertung der spektralen Verteilung (Verteilung auf die verschiedenen Spektralfarben) der Strahlung mit dem spektralen Hellempfindlichkeitsgrad des menschlichen Auges  $V(\lambda)$ . Ein Beispiel der spektralen Strahlungsverteilung einer gebräuchlichen Lampe mit weissem Licht zeigt Bild 1. Die Hellemmpfindung des Auges für die verschiedenen Farben des Spektrums wurde an einer grossen Anzahl Versuchspersonen ausgemessen und die Resultate als sogenannter «photometrischer Normalbeobachter»  $V(\lambda)$  tabelliert (Bild 2).

Mathematisch führt dies zu der folgenden Definitionsgleichung der photometrischen Grössen (hier am Beispiel des Lichtstroms  $F_v$ ):

$$F_v = K_m \cdot \int \Phi_{r\lambda}(l) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda$$

( $K_m = 683 \text{ lm/W}$ ).

$\Phi_{r\lambda}(\lambda)$  ist der spektrale Strahlungsfluss ( $\text{W/nm}$ ) und  $V(\lambda)$  der normierte spektrale Hellempfindlichkeitsgrad des menschlichen Auges. Die Integration erstreckt sich über den Definitionsbereich von  $V(\lambda)$  von 380 bis 780 nm. Der Lichtstrom ist somit nichts anderes als die Summe der mit  $V(\lambda)$  bewerteten spektralen Anteile des physikalischen Strahlungsflusses ( $\text{W}$ ). Sinnge-

Radiometrische		Photometrische	
Grösse	Einheit	Grösse	Einheit
Strahlungsfluss $\Phi_r$	W	Lichtstrom $\Phi_v$	lm (Lumen)
Strahlstärke $I_r$	W/sr	Lichtstärke $I_v$	cd (Candela)
Bestrahlungsstärke $E_r$	W/m <sup>2</sup>	Beleuchtungsstärke $E_v$	lx (Lux)
Strahldichte $L_r$	W/(sr · m <sup>2</sup> )	Leuchtdichte $L_v$	cd/m <sup>2</sup>

Tabelle 1 Radiometrische und photometrische Grössen.

### Adresse der Autoren:

Dr. P. Blaser, stv. Sektionschef Länge + Optik, H. Lehmann, Mitarbeiter Sektion Länge + Optik, Eidgenössisches Amt für Messwesen (EAM), Lindenweg 50, 3084 Wabern.

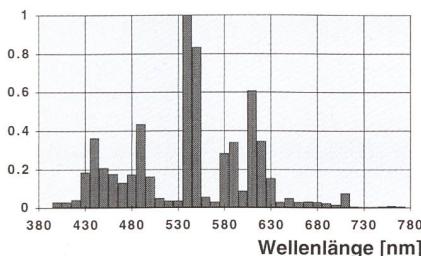


Bild 1 Prozentuale spektrale Verteilung der Beleuchtungsstärke (y-Achse) einer Leuchtstofflampe.

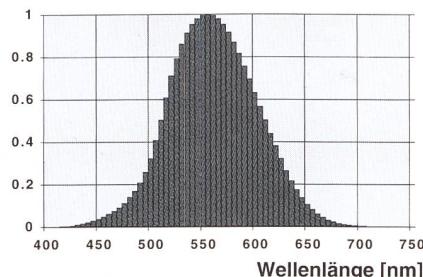


Bild 2 Normierter spektraler Hellempfindlichkeitsgrad (y-Achse) des menschlichen Auges  $V(\lambda)$ .

mäss werden die anderen photometrischen Grössen genau gleich auf ihre radiometrischen zurückgeführt (Tabelle 1). Der Zahlenwert der Normierungskonstante  $K_m$  wurde so festgelegt, dass die Grösse der Lichtstärkeeinheit *Candela* mit ihrem Wert aus der alten Definition übereinstimmt.

Dieser Sachverhalt erlaubte auch dem EAM eine eigene Darstellung der photometrischen Einheiten. Die Skala der Beleuchtungsstärke wird mit einer Gruppe von radiometrisch kalibrierten Empfängern mit  $V(\lambda)$ -Anpassung (Luxmetern) dargestellt und weitergegeben. Die eigentliche Basiseinheit der Lichtstärke *Candela* wird dann durch die Messung der Beleuchtungsstärke der Lichtstärke-Normallampen in einem definierten Abstand mittels des photometrischen Abstandsgesetzes abgeleitet.

### Bestimmung des Lichtstroms in der Ulbricht-Kugel

Für den Lichtstrom existierte bis anhin am EAM keine eigene Darstellung. Die Weitergabe des Lumens basierte auf dem Vergleich der zu kalibrierenden Lampen mit vom Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) kalibrierten Referenzlampen mit bekanntem Lichtstrom in der Ulbricht-Kugel.

Dabei werden die Eigenschaften einer mit einem diffus reflektierenden Anstrich versehenen Hohlkugel genutzt. Das von der Lampe in der Kugel abgestrahlte Licht wird unabhängig von deren Abstrahlungskarakteristik durch Mehrfachreflexionen homogen verteilt. Im Idealfall ist die Beleucht-

ungsstärke auf der Kugelwand überall gleich gross und proportional zum Lichtstrom, der von der Lampe abgestrahlt wird. Somit kann durch Vergleich der Beleuchtungsstärken an der Kugelwand und mit dem bekannten Lichtstrom der Referenzlampe der Lichtstrom der Prüflampe ermittelt werden.

Diese Messmethode hat mehrere wesentliche Nachteile:

- Die Darstellung der Lichtstromeinheit Lumen lässt sich damit nicht auf die empfängergestützte eigene Darstellung der Beleuchtungsstärkeskala zurückführen, da sie auf Lichtquellen mit einer externen Kalibrierung beruht.
- Weil eine Ulbricht-Kugel nicht ideal gebaut werden kann (Homogenität des Anstrichs, Grösse der Kugel in Relation zu den Dimensionen der Lampe), ist die Methode mit relativ grossen Fehlern behaftet (für Glühlampen mit räumlich gleichförmiger Lichtverteilung etwa 1%, für röhrenförmige Leuchtstofflampen bis zu 5%). Insbesondere bei der Messung von Leuchtstofflampen ist das Messsignal von der Lage der Lampe bezüglich dem Messemfänger abhängig, so dass über mehrere Lampenpositionen gemittelt werden muss.
- Die Methode benötigt eine kalibrierte Referenzlampe. Die Kalibrierung dieser Lampe basiert auf einer Darstellung der Lichtstromeinheit Lumen, die nur mit der Integrationsmethode durchgeführt werden kann.

Aus diesen Gründen beschloss das EAM, ein eigenes Lichtstrom-Photogoniometer anzuschaffen. Damit kann die Dar-

stellung des Lumens auf die hauseigene Darstellung des Lux zurückgeführt werden, und zudem wird die Messgenauigkeit erheblich verbessert.

### Bestimmung des Lichtstroms mit der Integrationsmethode

Der gesamte, vielfach nach allen Richtungen in den ganzen Raum abgestrahlte Lichtstrom einer Lampe kann nicht auf einfache Weise direkt bestimmt werden. Der Zusammenhang zwischen der Beleuchtungsstärke  $E_v$  und dem Lichtstrom  $\Phi_v$  ist durch die entsprechende Definitionsgleichung der photometrischen Grössen gegeben. Die von einer Quelle erzeugte Beleuchtungsstärke  $E_v$  ist definiert durch den auf das Flächenelement  $dA$  auftreffenden Lichtstromanteil  $d\Phi_v$ :

$$E_v = d\Phi_v / dA.$$

Der gesamte Lichtstrom  $\Phi_v$  einer Quelle ergibt sich durch die Summe aller Licht-

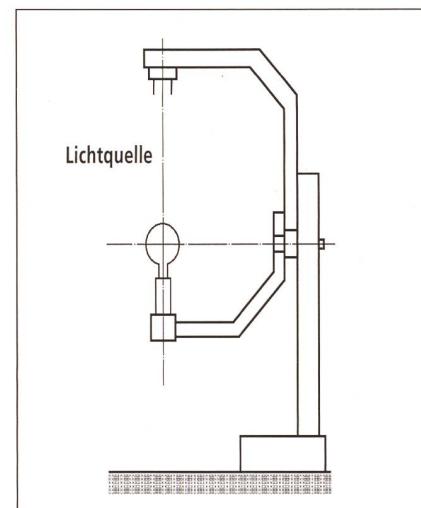


Bild 4 Schemaskizze des Lichtstromgoniometers.

stromanteile  $d\Phi_v$  über der gesamten Kugelfläche, mathematisch durch das Flächenintegral:

$$\Phi_v = \int E_v \cdot dA.$$

Damit kann die Darstellung der Lichtstromeinheit Lumen direkt auf die radiometrische Darstellung der Beleuchtungsstärkeeinheit Lux zurückgeführt werden.

Zur Messung des Lichtstroms benötigt man ein Photogoniometer, das diese Integration in analoger oder digitaler Form aufsummieren kann. Der prinzipielle Aufbau eines solchen Lichtstromgoniometers ist in Bild 4 dargestellt. Der Empfänger beschreibt auf einem Dreharm angebracht einen Kreis, die Lampe ist im Zentrum dieses

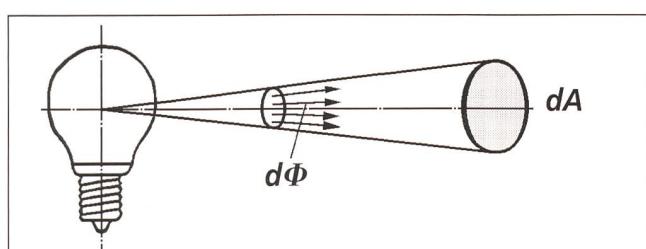


Bild 3 Beziehung zwischen Beleuchtungsstärke und Lichtstrom.

## Lichtstrom

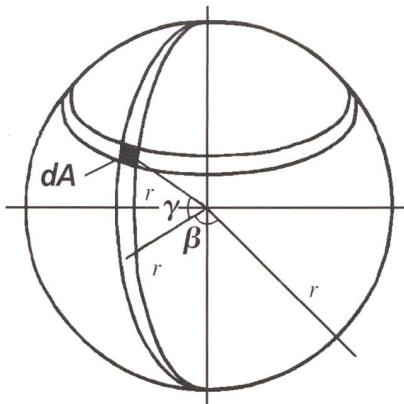


Bild 5 Geometrie der Integration.

Kreises an einer ebenfalls drehbaren Halterung befestigt. Die Geometrie dazu ist in Bild 5 dargestellt.

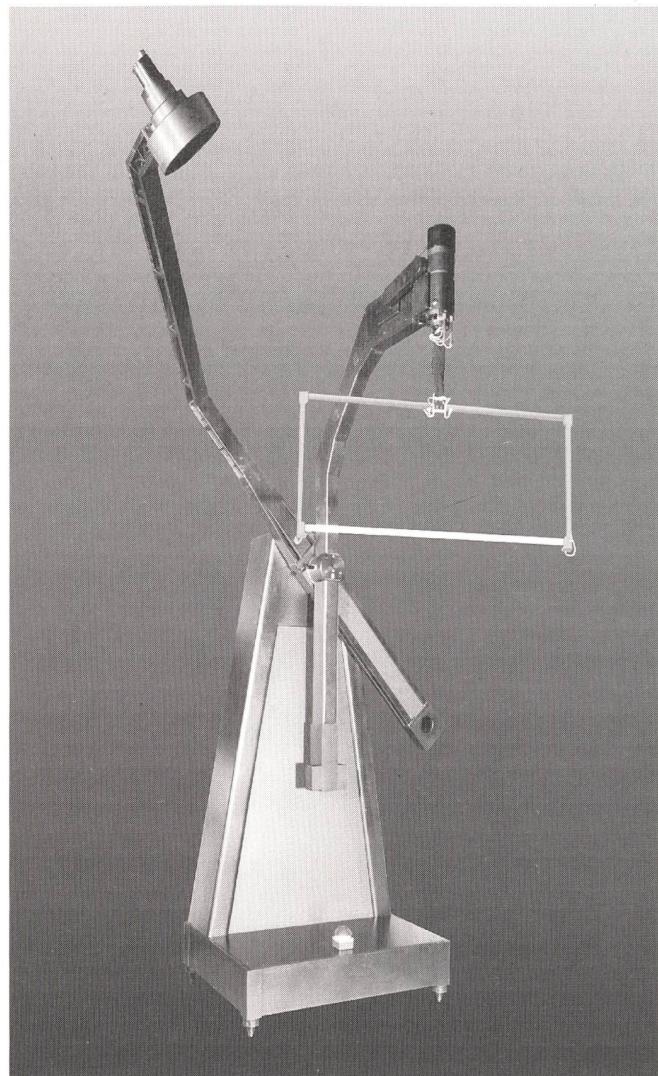
Durch geeignet synchronisiertes Drehen von Empfängerarm und Lampenhalterung kann die gesamte Kugelfläche überfahren werden.

Mit dem Drehwinkel  $\gamma$  des Empfängerarms, dem Abstand  $r$  des Empfängers vom Zentrum, der Lichtquelle und dem Drehwinkel der Lampe  $\beta$  gilt:

$$\Phi_v = r^2 \cdot \sum E_v(\gamma, \beta) \cdot \cos \gamma \cdot \Delta \beta \cdot \Delta \gamma.$$

Bei der Messung von Lampen mit inhomogener räumlicher Lichtverteilung müssen die Schrittwinkel  $\Delta \beta$  und  $\Delta \gamma$  gemäss den Abmessungen des Empfängers derart gewählt werden, dass die ganze Kugelfläche abgetastet wird, damit Spalten oder Einbrüche in der räumlichen Verteilung der Lichtstärke nicht unberücksichtigt bleiben.

Bild 6 Das Lichtstromgoniometer.



### Das EAM-Lichtstromgoniometer

Das Lichtstromgoniometer des EAM wurde als komplettes Gerät inklusive Steuer- und Auswertungssoftware von der Firma LMT Lichtmesstechnik, Berlin, geliefert und installiert (Bild 6). Das Gerät wurde bei der Inbetriebnahme mit einer von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB), Braunschweig, geprüften Lichtstrom-Normallampe kalibriert. Zur Überprüfung der Genauigkeit der Lumenskala wurden die vom BIPM kalibrierten Lichtstrom-Normallampen ausgemessen und die Resultate verglichen. Als zweiter indirekter Vergleich wurde der Lichtstrom von Opalglaslampen mit gleichförmiger Lichtverteilung einerseits auf dem Lichtstromgoniometer und andererseits auf dem an das EAM-Lux angeschlossenen Spiegel-Leuchtengoniometer ausgemessen. Die beiden Vergleiche ergaben eine Übereinstimmung innerhalb von 2%.

Im jetzigen Zeitpunkt liegt der wesentliche Vorteil des neuen Lichtstromgonio-

meters in der erheblich grösseren Messgenauigkeit bei der Lichtstromkalibrierung von Leuchtstoff- und Entladungslampen, die man bei der Messung der Lichtstärkeverteilung von Leuchten benötigt. Nach dem Direktanschluss des Lichtstromgonio-

meters an die Darstellung des Lux wird dann die Skala des Lichtstroms in Form von speziell dafür geeigneten Lichtstrom-Normalglühlampen mit einer Unsicherheit von weniger als 1% weitergegeben werden können.

## La représentation et la transmission de l'unité de flux lumineux Lumen

L'acquisition récente d'un goniomètre de flux lumineux permet à l'Office fédéral de métrologie (OFMET) de rattacher l'unité de flux lumineux lumen à l'unité de base candela matérialisée par des récepteurs étalonnés.

Jusqu'ici à l'OFMET le lumen, basé sur des lampes-étalon étalonnées par le Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), était transmis par mesures de comparaison dans une sphère d'Ulbricht. La nouvelle méthode, qui consiste à intégrer le flux lumineux dans toute sa répartition spatiale, conduit à des incertitudes de mesure bien meilleures, en particulier pour des lampes non ponctuelles.