

Eigenschaften photometrischer Normale und Messeinrichtungen für photometrische Größen in der PTB

*Dipl.-Ing. Detlef Lindner
Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)
AG 4.12
Bundesallee 100, D-38116 Braunschweig*

Ausgehend von der Definition eines Normalen werden ausgewählte Eigenschaften von Lampen und Photometern diskutiert. Es werden typische Kenngrößen vorgestellt und Empfehlungen zur Auswahl dieser Normale gegeben.

Es werden als Schwerpunkt einige wichtige Neuerungen an photometrischen Messeinrichtungen skizziert.

1. Einleitung

In der Metrologie dienen Normale dazu, Einheiten zu bewahren oder zu reproduzieren, um sie durch Vergleich an andere Normale oder Messgeräte weiterzugeben. Abhängig von der Art der Kalibrierung und von ihrer Verwendung wird zwischen Bezugs-, Transfer- und Arbeitsnormalen unterschieden. So hat an einem bestimmten Ort ein Bezugsnormal die kleinste Messunsicherheit für eine bestimmte Größe. Es wird meist nur verwendet, um zusätzlich vorhandene Arbeitsnormale zu rekalisieren. Falls das Bezugsnormal nicht selbst gegen nationale Normale kalibriert werden kann, sind auch noch TransfERNormale erforderlich [1].

Photometrische Normale sind im Allgemeinen entweder Photometer oder Lichtquellen. Sie unterscheiden sich von den meisten Normalen für andere Größen durch eine merkliche Alterung. So altern Photometer unabhängig von ihrer Verwendung (d.h. auch während der Lagerung), wodurch sich ihre Empfindlichkeit und ebenso ihre spektrale Anpassung an $V(\lambda)$ ändern kann. Lichtquellen dagegen altern nahezu ausschließlich während des Betriebs, wodurch sich sowohl der Wert der bewahrten photometrischen Größe, als auch die Strahlungsfunktion (relative spektrale Strahlungsverteilung) ändert. Daraus folgt, dass die Unsicherheit einer bewahrten Einheit einerseits mit wachsender Zeitspanne zwischen den Rekalibrierungen eines Photometers zunimmt, andererseits aber nur mit der Brenndauer eines Lampennormalen ansteigt. Die unvermeidbare aber verschiedene Alterung von Photometern und Lichtquellen erfordert eine angemessene Behandlung der Normale, die nach Messunsicherheit, Aufwand und Kosten optimiert werden kann.

Für den Lichtstrom werden ausschließlich Lampen als Bezugsnormale verwendet. Für gerichtete photometrische Größen wie Lichtstärke, Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte dienen meist besondere Lichtquellen als Bezugsnormale; nur in wenigen Ausnahmefällen sind Photometer vorzuziehen. Grundsätzlich werden sogenannte Gruppen-Normale verwendet, also für jede Messgröße eine oder sogar mehrere Gruppen ähnlicher Objekte. Der Umgang mit solchen Gruppen-Normalen führt erst durch eine genau ausgearbeitete Strategie für die

notwendige Verknüpfung zwischen den nach Messunsicherheit hierarchisch gestaffelten Gruppen zur Überwindung des sonst durch Alterung bedingten Anstiegs der Messunsicherheit.

2. Vorbereitung und Selektion von Lampen als Normale

Bei wissenschaftlichen Speziallampen wird durch eine besondere Fertigung die Eignung als Normal erzielt und durch den Hersteller zugesichert. Fertigungstoleranzen bewirken aber Exemplarstreuungen, die durch Voruntersuchungen erkannt und berücksichtigt werden können. Als Arbeitsnormale können auch oft serienmäßig gefertigte Lichtquellen verwendet werden, ob sich allerdings individuelle Exemplare eignen, müssen wieder Voruntersuchungen erweisen.

2.1 Voruntersuchung

Jede Lampe wird zunächst visuell auf mechanische Besonderheiten untersucht, die eine vorgesehene Verwendung beeinträchtigen könnten. Zu achten ist auf Kratzer am Lampenkolben, Schäden an Masken oder Beschichtungen, saubere feste Kontakte am Sockel und - besonders für Lichtstärkenormale - Schlieren im Glas des Lichtaustrittsfensters und Ebenheit des Leuchtkörpers.

Falls nicht durch den Hersteller schon erfolgt, wird jede Lampe mit einer unverwechselbaren und bleibenden Kennzeichnung (Lampenummer) versehen. Die Anbringung - z.B. durch Elektroschreiber am metallischen Lampensockel - sollte einheitlich erfolgen und zwar für Lichtstärkenormale auf der zur Ausstrahlungsrichtung entgegengesetzten Seite. Falls die geeignete Ausstrahlungsrichtung erst durch die Ergebnisse der Voruntersuchungen festgelegt werden kann, wird die Lampenummer zunächst nur vorläufig angebracht. Für jede Lampe wird ein Lampenblatt angelegt, in dem neben Lampentyp und elektrischen Nenndaten auch individuelle Besonderheiten und die Lampenummer eingetragen werden.

2.2 Voralterung und allgemeine Lampenkenngößen

Voralterung: Jede Lampe wird geometrisch grob justiert in den Messaufbau eingebaut und unter Beachtung der vorgesehenen Betriebsbedingungen (wie Brennlage, Stromart und gegebenenfalls Polung) zunächst bei Nennleistung für eine Dauer von etwa 5% der Nennlebensdauer vorgealtert. Bei Glühlampen ist diese Zeitspanne meist nicht länger als 10 bis 20 h (siehe Bild 1). In regelmäßigen Abständen wird ein Datensatz gemessen, d.h. Mittelwerte aus jeweils 10 Ablesungen und zwar wenigstens für Lampenstrom und -spannung. Falls möglich, sollte zusätzlich der Mittelwert der photometrischen Größe gemessen werden. Die Brenndauer wird solange verlängert, bis die anfänglich starke Alterung deutlich geringer geworden ist und sich nur noch (kleine) konstante Veränderungen ergeben. Als Normale geeignet sind Exemplare mit kleiner monotoner Alterung.

5,8 A

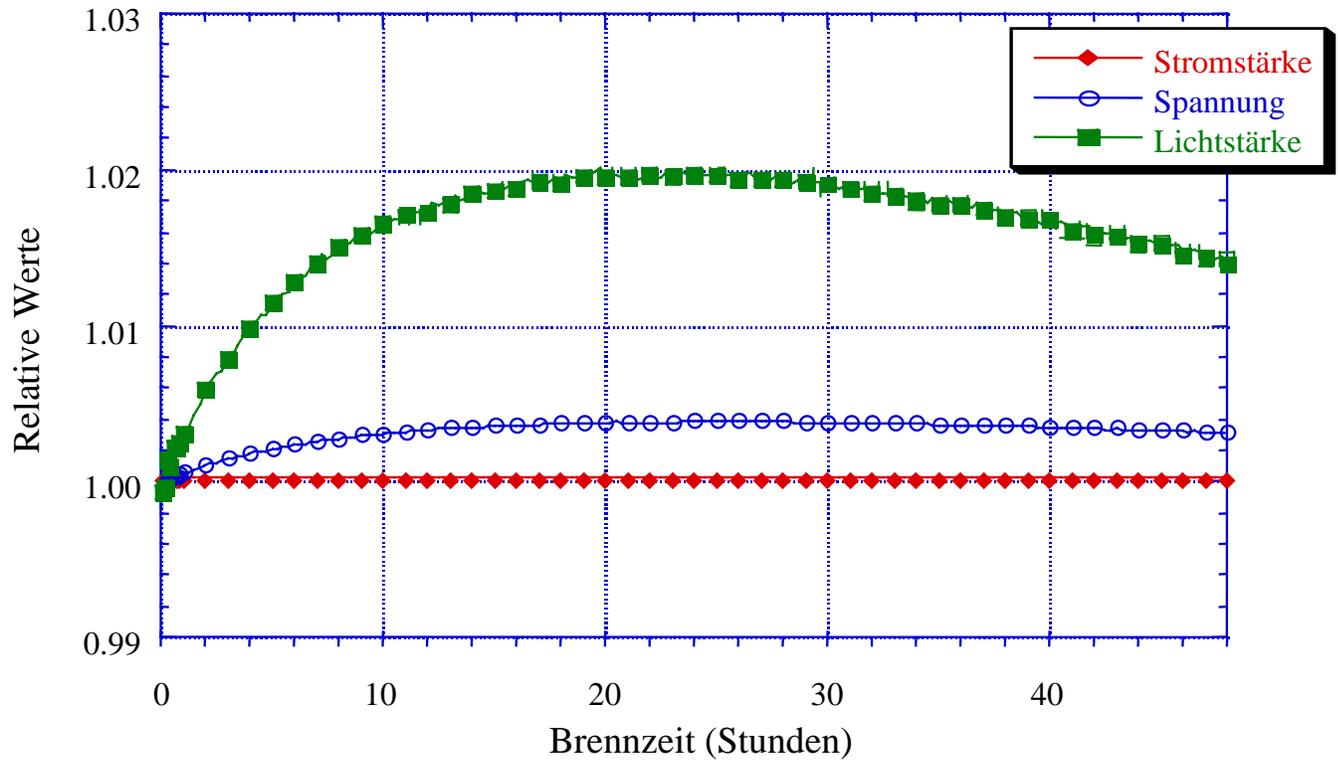
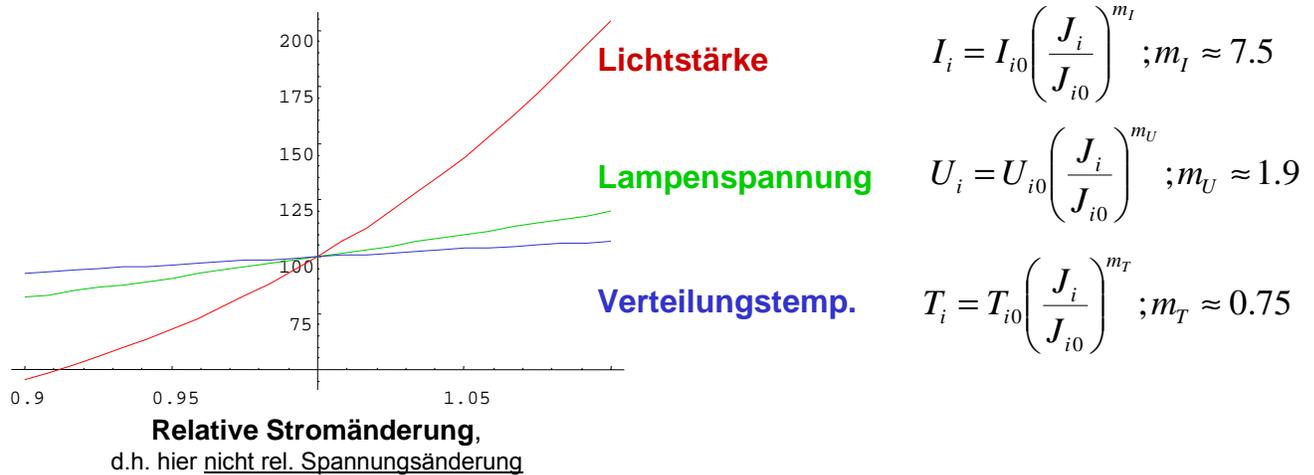


Bild 1: Voralterung einer WI41/G

Allgemeine Lampenkenngrößen: Werden Glühlampen bei mehreren Werten der Einstellgröße verwendet, so zeigen sie relative Änderungen von Lampenspannung, Verteilungstemperatur und Lichtstärke (bzw. Lichtstrom) und zwar für alle Exemplare eines Lampentyps, die nahezu gleichen Funktionen folgen. Ist die Einstellgröße der Lampenstrom J_{i0} und wird für einen (beliebigen) Betriebszustand J_i ein Datensatz bestehend aus Werten nachstehender Größen gemessen, so kann auf benachbarte Sollwerte umgerechnet werden.

Lampeneigenschaften als Funktion des Lampenstroms



Die angegebenen Exponenten gelten für den Lampentyp OSRAM W141/G in einem sehr weiten Bereich der Einstellgröße.

3. Photometer und deren Charakterisierung

Ein Photometer wandelt die auf der Lichteintrittsfläche des Photometerkopfes auftreffende Strahlung in ein elektrisches Signal um, bei Photometern mit Si-Photodioden z.B. ist dies Signal ein kleiner Photostrom. Hervorgerufen durch eine nicht ideale Anpassung der relativen spektralen Empfindlichkeit an die $V(\lambda)$ -Funktion wird für kleine Messunsicherheiten eine Korrektur des Ausgangssignals erforderlich.

3.1 Allgemeine Eigenschaften

Nur wenige Photometertypen haben eine vorgeschriebene Betriebslage (Flüssigkeitsfilter) oder dürfen gar nur ortsfest betrieben werden (Photomultiplier). Die in der Photometrie bevorzugten Typen enthalten im Allgemeinen eine Si-Photodiode und sind durch farbige Gläser spektral angepasst. Für die Benutzung von Photometern als Transfer-Normal zur Weitergabe photometrischer Größen werden bestimmte Eigenschaften vorausgesetzt: (i) Stabilität für die Dauer des Transfers, (ii) Lage und Größe der Lichteintrittsfläche, (iii) homogene Empfindlichkeit in der Lichteintrittsfläche und für alle Richtungen im genutzten Raumwinkel, (iv) gute spektrale Anpassung, (v) Transportfähigkeit und Handhabbarkeit, ggf. Thermostatisierung

Wird die Messrichtung zentrisch und normal zur Lichteintrittsfläche gewählt, dann ist die Richtungsabhängigkeit der Empfindlichkeit eines Photometers bei der Bestimmung von Lichtstärken unbedeutend. Es wird dabei in einem Abstand zur Lichtquelle gemessen, der im Vergleich zu den Abmessungen sowohl von der Lichtquelle als auch der Lichteintrittsfläche "hinreichend" groß ist. Eine sogenannte Cosinus-Anpassung ist nur für Messungen von Beleuchtungsstärken aus einem vergrößertem Raumwinkel bis hin zum Halbraum erforderlich.

Der prinzipielle Aufbau eines Photometerkopfes für die Verwendung als Transfer-Normal ist in Bild 2 skizziert.

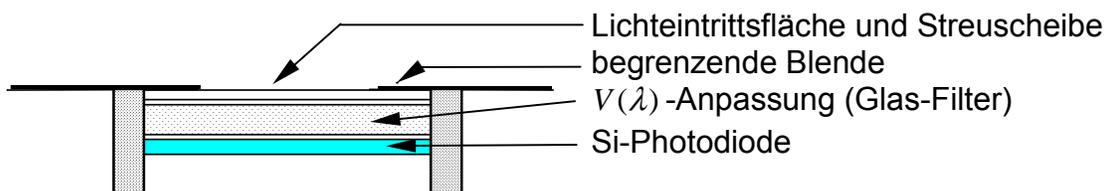


Bild 2: Aufbau eines Photometerkopfes

Die Beschreibung weiterer allgemeiner Eigenschaften von Photometern ist in [2] angegeben. Hier sei nur nochmals darauf hingewiesen, dass $V(\lambda)$ -angepasste Photometer häufig Alterungen sowohl ihrer photometrischen Empfindlichkeit als auch der spektralen Anpassung zeigen. Diese Veränderungen sind unabhängig vom Gebrauch und treten selbst bei permanenter Thermostatisierung auf. So nimmt die photometrische Empfindlichkeit in der Regel um 0,1 % pro Jahr ab, aber selbst für Präzisionsphotometer wurden Änderungen von mehr als 1 % pro Jahr beobachtet.

3.2 Photometrische Empfindlichkeit und spektrale Anpassungskorrektur

Photometer werden mit Glühlampen kalibriert, d.h. mit einer spektralen Strahlungsverteilung, die dem Planck'schen Strahlungsgesetz $P(\lambda, T)$ folgt. Die Empfindlichkeit eines Photometers ist das Verhältnis aus seinem Photostrom und der Beleuchtungsstärke auf seiner Lichteintrittsfläche. Da die relative spektrale Empfindlichkeit $s_{\text{rel}}(\lambda)$ des Photometers meist von der $V(\lambda)$ -Funktion abweicht, kann der Photostrom mit einer Anpassungskorrektur $F'(T)$ korrigiert werden, als wäre mit einem ideal an die $V(\lambda)$ -Funktion angepassten Photometerkopf gemessen worden.

$$F'(T) = \frac{\int_0^{\infty} P(\lambda, T) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_0^{\infty} P(\lambda, T) \cdot s_{\text{rel}}(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (1)$$

Photometer werden grundsätzlich bei Normlichtart A, entsprechend einer Verteilungstemperatur $T_A = 2856\text{K}$ kalibriert, d.h. der Wert der photometrischen Empfindlichkeit wird für T_A bestimmt. Es ist daher vorteilhaft, die Anpassungskorrekturfunktion $F'(T)$ bei dieser Temperatur auf Eins zu normieren. Diese Funktion ist als Korrektur sehr unhandlich; sie lässt sich aber sehr gut approximieren, wenn der Anpassungsindex m verwendet wird.

$$F(T) = \frac{F'(T)}{F'(T_A)} = \left(\frac{T}{T_A} \right)^m \quad (2)$$

Im Bild 3 sind exemplarisch für zwei Photometer normierte Anpassungskorrekturfunktionen dargestellt.

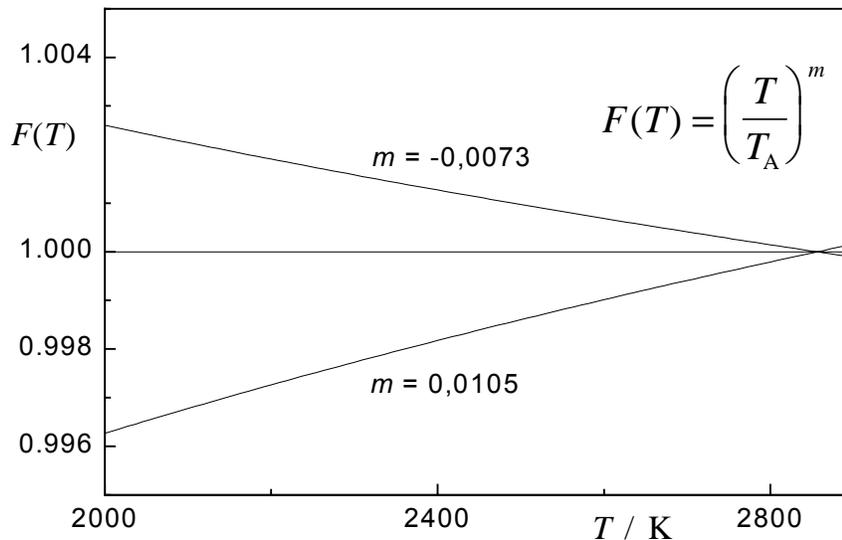


Bild 3: Anpassungskorrekturfunktionen von zwei Photometern

Die photometrische Empfindlichkeit s_v eines Photometers kann bestimmt werden aus (i) spektro-radiometrischen oder (ii) photometrischen Messungen.

Zu (i): Mit der spektralen Empfindlichkeitsfunktion $s(\lambda) = s(\lambda_d) \cdot s_{\text{rel}}(\lambda)$ (Normierung $s_{\text{rel}}(\lambda) = 1$ bei Wellenlänge λ_d) gilt aus spektralen Messungen folgende Beziehung (K_m aus Candela-Definition, $F'(T_A)$ nach Gl.1):

$$s_v = \left[\frac{K_m}{s(\lambda_d)} \cdot F'(T_A) \right]^{-1} \quad K_m = 683 \text{ lm / W} \quad (3)$$

Die spektrale Empfindlichkeit $s(\lambda_d) = y \cdot A / \Phi_e(\lambda_d)$ berechnet sich aus der Strahlungsleistung $\Phi_e(\lambda_d)$, dem resultierenden Photostrom y und der Lichteintrittsfläche A .

Zu (ii): Aus photometrischen Messungen werden der Anpassungsindex und die photometrische Empfindlichkeit wie folgt bestimmt: Beleuchtet eine Lichtstärke-Normallampe in "hinreichendem" Abstand d ein Photometer und ist die Lichtstärke $I(T)$ für die Verteilungstemperatur T bekannt, so wird auf der Lichteintrittsfläche des Photometers eine Beleuchtungsstärke $E(T)$ erzeugt. Die photometrische Empfindlichkeit s_v ist das Verhältnis aus seinem Photostrom $y(T)$ zusammen mit der Korrektur aus Gl. 2 und der Beleuchtungsstärke $E(T)$.

$$E(T) = \frac{I(T)\Omega_0}{d^2} = \frac{y(T)}{s_v} \cdot \left(\frac{T}{T_A}\right)^m \quad \text{mit dem Einheits-Raumwinkel } \Omega_0 = 1 \text{ sr} \quad (4)$$

Sind die Lichtstärken $I(T)$ einer Normallampe für (wenigstens) zwei Verteilungstemperaturen T bekannt, so berechnet sich der Anpassungsindex m unabhängig vom Abstand aus den Verhältnissen von Lichtstärken, Photoströmen und Verteilungstemperaturen.

$$m = \log\left(\frac{I(T_2)}{I(T_1)} \cdot \frac{y(T_1)}{y(T_2)}\right) \bigg/ \log\left(\frac{T_2}{T_1}\right) \quad (5)$$

Die Auflösung von Gl. (4) zur photometrischen Empfindlichkeit s_v

$$s_v = \frac{d^2}{\Omega_0} \cdot \frac{y(T_2)}{I(T_2)} \cdot \left(\frac{T_2}{T_A}\right)^m \quad (6)$$

zeigt auch, dass mit diesem Verfahren die photometrische Empfindlichkeit s_v für die Verteilungstemperatur $T_A = 2856\text{K}$ angegeben werden kann, ohne überhaupt bei dieser Verteilungstemperatur selbst gemessen zu haben.

4. Neue photometrische Messeinrichtungen in der PTB

Die zunehmende gesellschaftliche Bedeutung der Lichttechnik, Beleuchtungstechnik, Verkehrslichttechnik und der Informationstechnik bedarf modernster messtechnischer Voraussetzungen zur Charakterisierung von Lichtquellen und Messgeräten. Die Abteilung Optik der PTB hat daher die Photometrie zu einem Schwerpunktthema mit dem Ziel erklärt, Voraussetzungen zu schaffen, um gerade auch im Zeitalter der Optischen Technologien weiterhin die gestiegenen Anforderungen erfüllen zu können.

Eine der Voraussetzungen dafür wurde durch den Bau eines neuen Laborgebäudes, dem „Albert-Einstein-Bau“ geschaffen, der im Oktober 2003 eingeweiht wurde. Die Hauptnutzfläche im Albert-Einstein-Bau beträgt ca. 3100 m². Davon werden ca. 700 m² von den folgenden neu konzipierten photometrischen Messeinrichtungen belegt:

- Photometerbanksystem
- Robotergestütztes Goniophotometer
- Ulbricht-Kugel
- Messeinrichtungen zur Charakterisierung von LEDs
- Kalibrierung großflächiger Empfänger mit durchstimmbaren Lasern

Das Photometerbanksystem und das Robotergestützte Goniophotometer werden dabei im europäischen Verbund als EUROMET Major Investments geführt [3].

4.1 Ein neues Photometerbanksystem

Eine Photometerbank dient zur definierten Anordnung und Ausrichtung von Lampen und Empfängern sowie zur Variation ihres Abstandes durch Bankwagen in horizontaler Richtung. Dabei ist die Voraussetzung einzuhalten, dass Empfänger oder Lampe entlang einer optischen Achse in dieser Richtung und unter Beibehaltung der Ausrichtung innerhalb zugelassener sehr kleiner Toleranzen bewegt werden können. Dafür sind gem. Bild 4 mechanische Aufnahme- und Justiervorrichtungen für Lampen und Empfänger, Blenden zur

Minimierung von Streulicht sowie mechanische bzw. elektronische Systeme zur Abstandsbestimmung erforderlich.

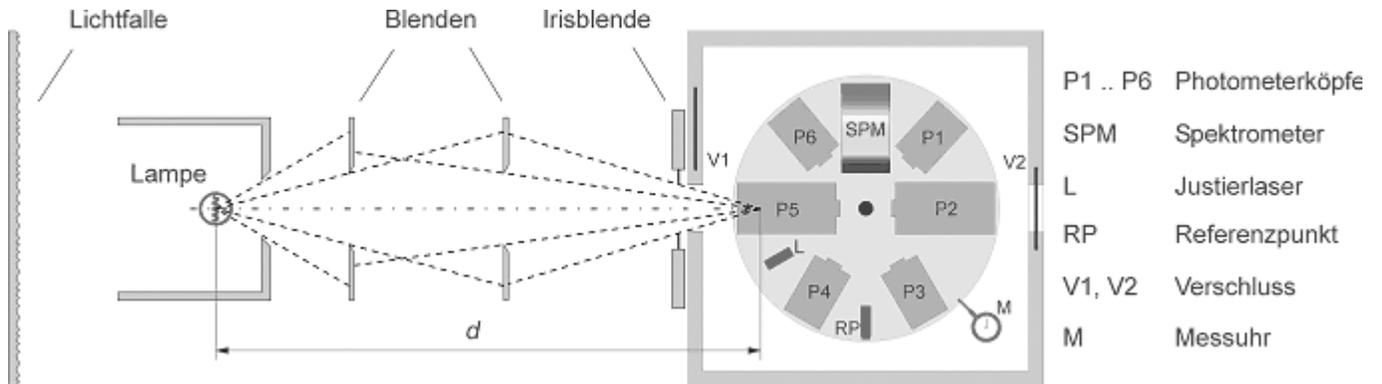


Bild 4: Wesentliche Bestandteile der Photometerbank

In der PTB werden folgende Aufgaben mit der Photometerbank umgesetzt:

- Realisierung, Bewahrung, Weitergabe der SI-Basiseinheit Candela
- Ableitung der Einheiten gerichteter photometrischer Größen, z.B. Beleuchtungsstärke, Leuchtdichte, Verteilungstemperatur
- Durchführen von Schlüsselvergleichen (u. a. für die internationale Äquivalenz): CCPR und EUROMET Key Comparison
- Metrologie für die Wirtschaft, rückgeführt auf nationale Normale und in Äquivalenz zu globalen Referenzwerten
- Vergleichsmessungen und Zusammenarbeit (national, international)
- Qualitätsmanagement

Darüber hinaus werden folgende neue Ziele bearbeitet:

- Erweiterung der Kalibriermöglichkeiten: großflächige und neuartige Lichtquellen als Lichtstärke-Normallampen, Luxmeter für Beleuchtungsstärken ≤ 20 klx (Lichtart A), ≤ 100 klx (HMI-Lampe), Leuchtdichtemessgeräte für Leuchtdichten ≤ 10 kcd/m², Leuchtdichte-Normale (Homogenität, Richtungsabhängigkeit, kleine Leuchtdichten)
- Rückführung auf SI-Einheiten bzw. nationale Normale durch optimierte Messverfahren
- verringerte Messunsicherheiten durch neue Messmethoden
- Effizienz- und Flexibilitätssteigerung durch Automatisierung

Aufbau des neuen Photometerbanksystems:

Zur Umsetzung der genannten Aufgaben werden drei getrennt aufgebaute Photometerbänke als ein System verwendet, das es ermöglicht, sowohl eine Messapparatur über die volle Banklänge als auch verschiedene Messapparaturen in Teilbereichen zu betreiben (siehe Bild 5). Dafür können einzelne Raumbereiche durch Rolltore und Faltwände abgetrennt werden. Insgesamt stehen so max. sechs Räume zum Betrieb von Lichtquellen und Messapparaturen zur Verfügung.

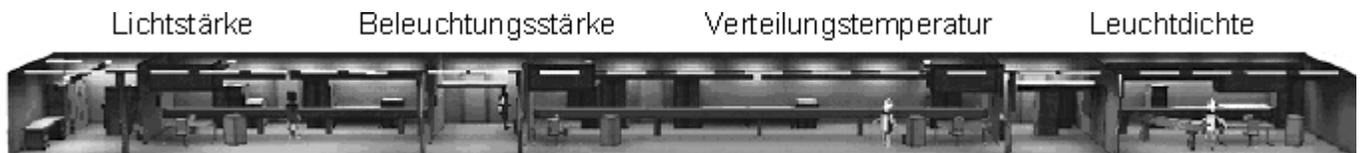


Bild 5: Optimale Aufteilung des neuen Photometerbanksystems

Die fluchtende Anordnung der Photometerbänke ermöglicht die Nutzung großer Messabstände bis zu 40 m, z.B. für Variationen der Beleuchtungsstärke über Abstandsänderungen in einem großen Bereich. Dafür können auf Edelstahlschienen motorisch angetriebene Wagen verfahren werden, die z.B. bis zu sechs photometrische Empfänger aufnehmen (siehe rechts in Bild 4). Diese Empfänger können nacheinander zu einer Lichtquelle hin ausgerichtet werden bzw. jeweils zwei Empfänger gleichzeitig in entgegengesetzte Messrichtungen der optischen Achse. Eine umfangreiche Geräteausstattung komplettiert das neue Photometerbanksystem, z.B. zwei wassergekühlte Lampenhäuser zum Betrieb von Hochleistungslampen, Leuchtenwender und neue, sowohl verfahrbare, als auch mechanisch koppelbare Streulichblenden.

Bild 6 zeigt einen Blick in den Raum. Dabei sind Rolltore und Faltwände geöffnet.

Im Vordergrund ist eine mechanische Justiervorrichtung für Lampen erkennbar. Die Justierung wird mit Teleskopen, CCD-Kameras und Laser unterstützt.

Die Abstandsmessung erfolgt über die ganze Länge elektronisch und zwar mit einer Auflösung von 0.05 mm.

Wesentliche Teile des Raumes und der apparativen Ausstattung sind streulicharm ausgeführt.

Es stehen Kühlwasser, Stickstoff, Druckluft, USV-Anschlüsse und IT-Netze (Novell, WLAN) zur Verfügung.

Die Anlagen zur Raumluftechnik haben folgende Merkmale:

- Reinraumklasse 100 000
- Umgebungstemperatur einstellbar von 22°C bis 26°C
- rel. Luftfeuchtigkeit 50 % (bezogen auf 22°C)



Bild 6: Blick in den Photometerbankraum

4.2 Robotergestütztes Goniophotometer

Ein Goniophotometer misst alle Austrahlungsrichtungen einer Lichtquelle nacheinander (mindestens relativ) durch Bewegung des Photometers (oder anderer Messsysteme) um die Lichtquelle.

Eigentliche Messwerte sind Entfernung, Winkel und Photoströme, die zum Lichtstärkeverteilungskörper interpoliert oder zum Lichtstrom integriert werden. Abhängig vom Empfänger werden in gleicher Weise weitere photometrische, colorimetrische und (spektral)radiometrische Größen bestimmt.

Goniophotometer sind in 4 Klassen eingeteilt:

- Einfach - Goniophotometer (Leuchtenwender): das Photometer steht still und befindet sich im großen Abstand zur Lichtquelle, die Lichtquelle wird um zwei Achsen gedreht (davon eine horizontal)
- Spiegel - Goniophotometer: das Photometer befindet sich im großen Abstand zur Lichtquelle, die Lichtquelle wird um die vertikale Achse gedreht und auf einer Kreisbahn bewegt
- Kompakt - Goniophotometer: das Photometer befindet sich im geringen Abstand zur Lichtquelle und wird auf einer Kreisbahn bewegt, die Lichtquelle wird um die vertikale Achse gedreht
- Sondertypen mit geringem Abstand zwischen Photometer und Lichtquelle, (meist steht die Lichtquelle dazu still), z.B. Bogen-, Kardan-, Hemisphären-, Roboter-Goniophotometer

In der PTB werden folgende Aufgaben mit einem Goniophotometer umgesetzt:

- Realisierung der Lichtstromeinheit Lumen aus der Candela
- Durchführung von Schlüsselvergleichen (Key Comparison): CCPR, EUROMET
- Metrologie für die Wirtschaft, rückgeführt auf nationale Normale und in Äquivalenz zu globalen Referenzwerten
- Bestimmung richtungsabhängiger Licht- und Strahlungsgrößen
- Durchführung von Vergleichsmessungen und Kooperationen (national, international)
- Qualitätsmanagement

Darüber hinaus werden folgende neue Ziele bearbeitet:

- Messung winkelabhängiger Verteilungen im vollen Raumwinkel für photometrische Größen (Lichtstärke, Beleuchtungsstärke), colorimetrische Größen (Farbwertanteile) und spektralradiometrische Größen
- Anwendungsnahe Aufgaben (zur Untersuchung von Displays, flächenhaften LED-Clustern)
- eine Bahn- und Abstandsvariation ermöglicht dabei Messungen
 - a) im Nahfeld (1 m – 3 m) mit Extrapolation zu Fernfeldwerten
 - b) auf ISO-Candela Bahnen
- Erweiterung der Wellenlängenbereiche UV, VIS, IR
- Verringerung von Messunsicherheiten durch neue Messmethoden

Aufbau des neuen Robotergestützten Goniophotometers

In einem kubischen Raum (Kantenlänge ca. 8.5 m) sind drei Roboter, jeweils in Raumeckbereichen, angeordnet. Die Anlage ist als „Hemisphären-Goniophotometer“ konzipiert, d.h. zwei Roboter dienen als Messroboter (je einer für eine Hemisphäre) und der dritte Roboter bringt die Lichtquelle in die vorgegebene Betriebslage und hält diese während der Messung bei. Der prinzipielle Aufbau ist in Bild 7 dargestellt.

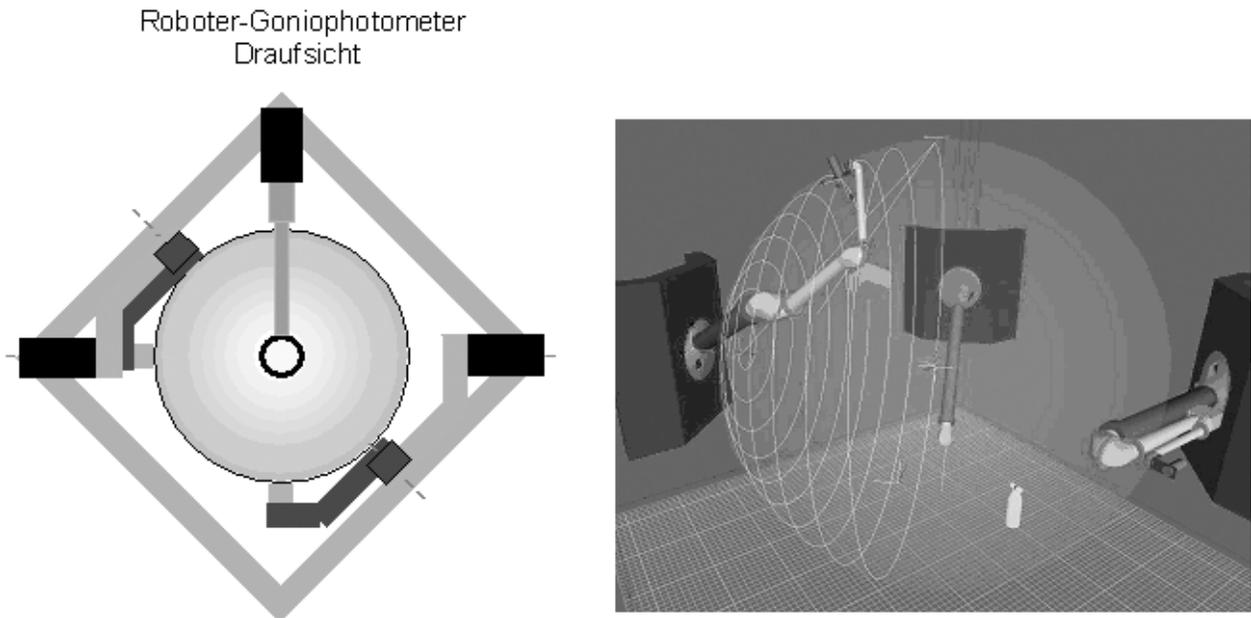


Bild 7: Prinzipieller Aufbau des neuen Robotergestützten Goniophotometers

An den „Händen“ der beiden diagonal angeordneten Messroboter sind die Photometerköpfe angebracht. Diese können unter Berücksichtigung von vorhandenen Kollisionsräumen auf beliebigen Bahnen in Abständen von 1 m bis 3 m um das Zentrum einer fiktiven Kugel bewegt werden. Diese fiktive Kugel mit einem Durchmesser von 6 m stellt gleichzeitig das mögliche Arbeitsvolumen der Gesamtanlage dar. Für die vorgebbaren Bewegungsabläufe sind sieben Drehachsen (A1 bis A7), wie in Bild 8 dargestellt, erforderlich. Eine weitere Drehachse dient zur Führung von zusätzlich Teilen, z.B. einer Streulichtblende.

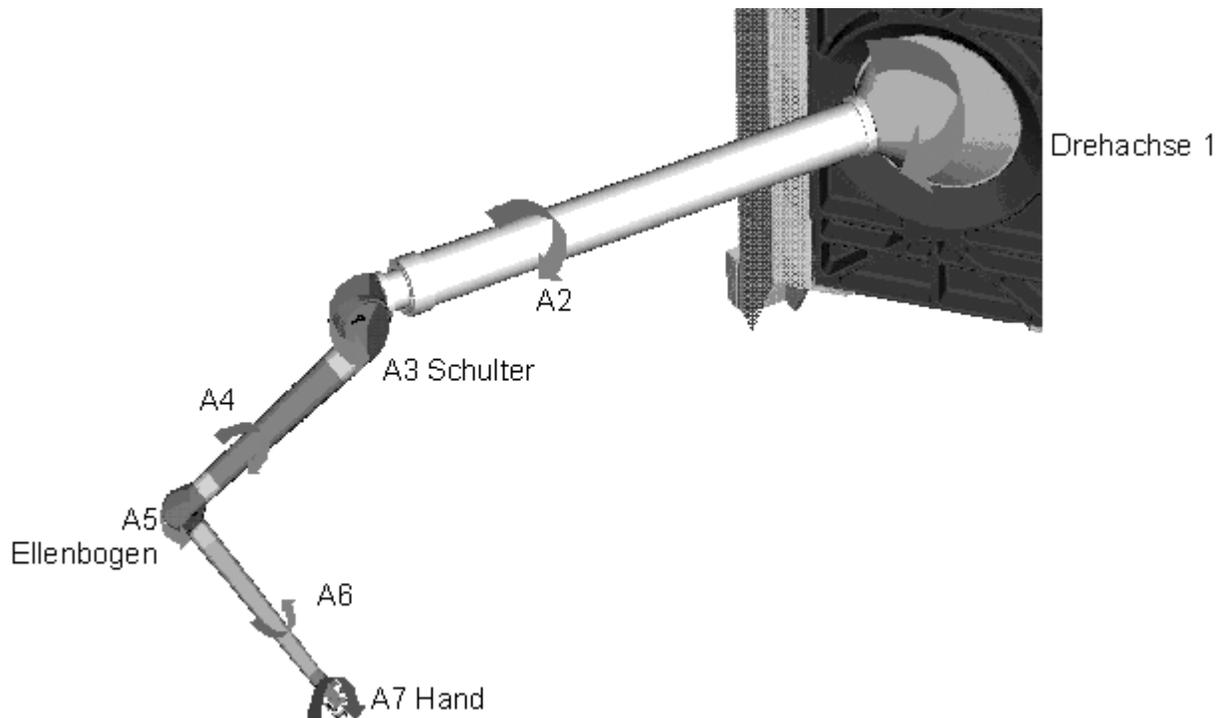


Bild 8: Aufbau eines Messroboters mit seinen Drehachsen

Die Drehachsen sind mit unterschiedlichen Achsverbindungen verbunden. Bei ausgestrecktem Arm ergibt sich eine Gesamtlänge von mehr als 6 m.

Zur Anlage gehört ebenfalls eine umfangreiche Geräteausstattung. Hier sei nur die Einbindung eines Lasertrackers erwähnt, um die bei den Bewegungen auftretenden geringen Abweichungen (z.B. durch Verbiegungen) festzustellen und zu korrigieren. Separate Betriebsräume nehmen die nötige Infrastruktur zur Steuerung und Kalibrierung und die elektrische Versorgung auf.

Wesentliche Teile des Raumes und der apparativen Ausstattung sind streulichtarm ausgeführt.

Die separaten Anlagen zur Raumluftechnik des Goniophotometerraumes (siehe Bild 9) haben folgende Merkmale:

- Reinraumklasse 100 000
- Umgebungstemperatur einstellbar von 20°C bis 35°C
- rel. Luftfeuchtigkeit 50 % im gesamten Temperaturbereich
- Luft strömungsarm < 0.1 m/s

Eine während der Messung abdeckbare Beleuchtungsanlage, bestehend aus vier Leuchtenfeldern (insgesamt 60 Stck. Planonlampen, alle Lampen dimmbar, quecksilberfrei und fernsteuerbar) wurde in der auf Umgebungstemperatur gehaltenen Innenverschalung des Messraumes integriert.

Es stehen Kühlwasser, Stickstoff, Druckluft, USV-Anschlüsse und komplexe IT-Netze zur Verfügung.

Die Anlage wurde so ausgelegt, dass sich (je nach Abstrahlcharakteristik der Mess- oder Normallampe) Messzeiten zwischen 10 min und 60 min ergeben. Typische Messzeiten bewegen sich um 30 min.

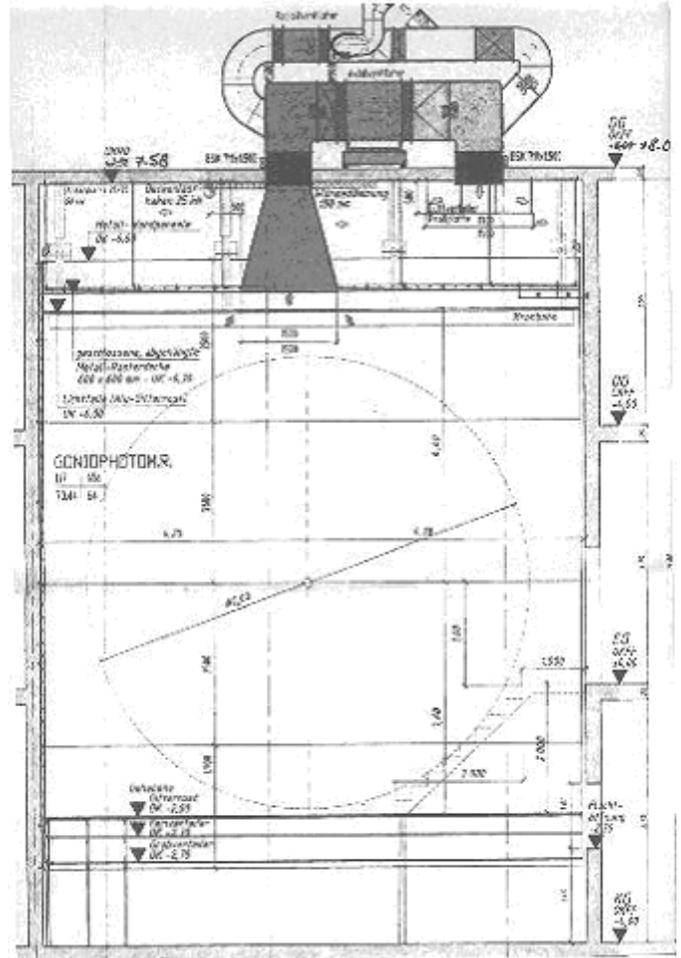


Bild 9: Anlagenteile der Raumluftechnik

4.3 Ausblick

Nach Abschluss der vollständigen Inbetriebnahme aller Anlagenteile zum Photometerbanksystem und zum Robotergestützten Goniophotometer stehen innovative Messsysteme zur Verfügung, um viele vorhersehbare neue Aufgaben zu erfüllen. Zusammen genommen mit anderen hier nicht vollständig aufgeführten Messapparaturen entsteht damit ein Photometrie-Zentrum, das sowohl im EUROMET-Rahmen anderen Nationalen Metrologischen Instituten (NMI) den Zugang zu den neuen Mess- und Forschungsmöglichkeiten ermöglichen wird, als auch für Kooperationen mit Industrie und Forschungsinstitutionen zur Verfügung stehen soll. Dabei ist nicht nur an einen Einsatz für Forschung und Entwicklung sondern auch für den Dienstleistungsbetrieb (Kalibrierung und Charakterisierung, Vergleichsmessung) gedacht.

Literatur:

- [1] Internationales Wörterbuch der Metrologie, Beuth Verlag, 1994
- [2] DIN EN 13032, Angewandte Lichttechnik – Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten, Teil 1: Messung und Datenformat
- [3] <http://www.euromet.org/projects/invest/>