

Digitalluxmeter für universelle Anwendung in der Lichttechnik

Die Bedeutung der Lichttechnik, gemessen am Gesamtumsatz der Elektrotechnik, nimmt ständig zu. Damit wird auch das Erfordernis einer exakten Messung der lichttechnischen Grundgrößen, wie Beleuchtungsstärke, Lichtstärke, Leuchtdichte und Lichtstrom immer wichtiger.

Da die Messung des Lichtstroms, der Lichtstärke und der Leuchtdichte letztlich mittels des photometrischen Grundgesetzes auf die Messung der Beleuchtungsstärke zurückgeführt werden kann, kommt dieser Messgröße eine zentrale Bedeutung zu.

Forderungen an einen Beleuchtungsstärkemesser

1. Bewertung nach $V(\lambda)$, der spektralen Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges (Bild 1);
2. Kosinusgetreue Bewertung des einfallenden Lichtes (Bild 2);
3. Linearer Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärke und Photostrom;
4. Geringe Temperaturabhängigkeit, Alterung und Ermüdung des Lichtsensors;
5. Bewertung des zeitlich linearen Mittelwertes auch bei welligem Licht (z.B. wechselstrombetriebene Entladungslampen) gemäß dem Talbot-Plateauschen Gesetz;

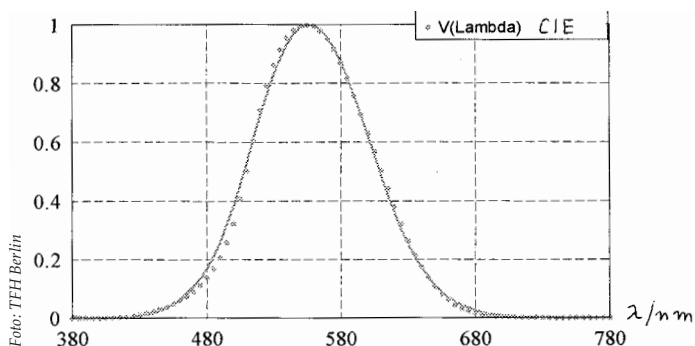


Bild 1. Relative spektrale Empfindlichkeit des Silizium-Photoelements. Punkte = $V(\lambda)$ -Kurve nach CIE.

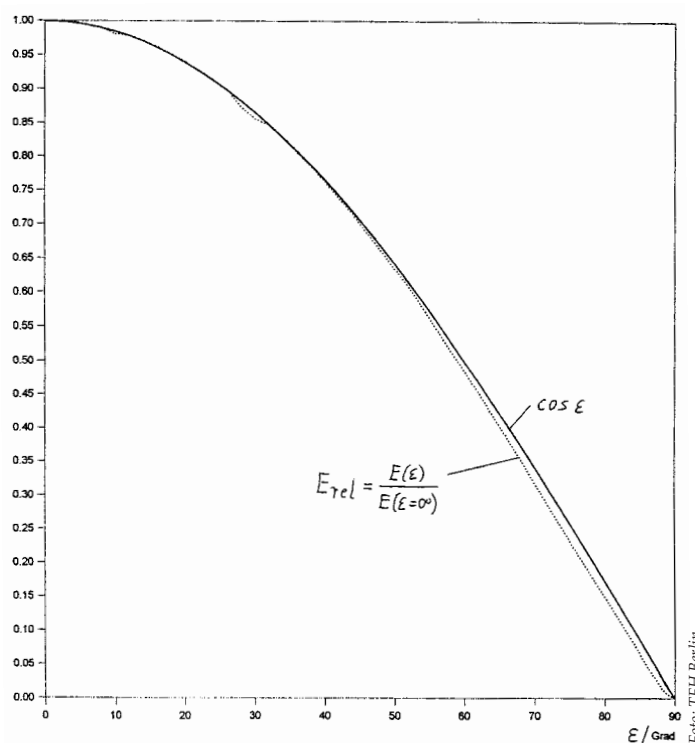


Bild 2. Kosinus-Angleich des Photoelements.

6. Großer Messbereich, so dass mit nur einem Gerät folgende Messungen möglich sind:
 - a. Messung von Tageslicht im Bereich bis 200.000 lx;
 - b. Messung der Beleuchtung in Innenräumen bis 2.000 lx;
 - c. Messung geringer Beleuchtungsstärken, z.B.; Straßenbeleuchtung bis 20 lx;
 - d. Notlichtmessung im Bereich bis 2 lx;

7. Einfache Bedienung, d.h. keine Anwendung von Schwächungsfiltern und Korrekturfaktoren;
8. Fehlerfreie Ablesung der Messergebnisse durch digitale Messwertanzeige;

Digitalluxmeter "Minilux"

Es handelt sich um ein neuentwickeltes, portables Beleuchtungsstärkemessgerät für universelle Anwendung in der gesamten Lichttechnik. (Bild 3 und Bild 4)

Bild 5 zeigt den Blockschaltplan des Minilux-Gerätes. Es werden zwei Präzisions-Operationsverstärker mit extrem kleinem Biasstrom verwendet, um sowohl der Forderung nach einer hohen Messempfindlichkeit (Auflösung = 1 mx) als auch der Bewertung des zeitlich linearen Mittelwertes von gepulsten Na-Xe-Hochdrucklampen mit einem Lichtstrom-Verhältnis $\Phi_{\max}/\Phi_{\min} = 20:1$ zu entsprechen (Bild 6). Der erste Verstärker OPA1 sorgt für die Bereichsumschaltung und der zweite OPA2 arbeitet als mittelwertbildender aktiver Tiefpassverstärker.

Handelsübliche Luxmeter sind meist nur für ein Lichtstrom-Verhältnis $\Phi_{\max}/\Phi_{\min} = 2:1$ (Hochdrucklampe ohne Leuchtstoff) dimensioniert. Deshalb kann bei der Messung von gepulsten Lampen eine Übersteuerung auftreten mit der Folge erheblicher Messfehler.

Dieser unangenehme Effekt kann auch bei allen derzeit im Laborbereich vorhandenen Lichtmeßsystemen auftreten. Der Photometriker sollte deshalb

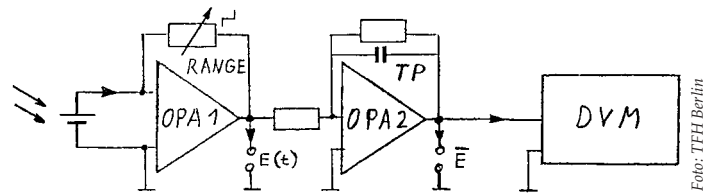


Bild 5. Mini-Luxmeter-Prinzipschaltung.

vor Messung dieser neuen Leuchtmittel seine Laborphotometer hinsichtlich der Eignung für gepulstes Licht kritisch untersuchen, um evtl. Fehlmessungen zu vermeiden, insbesondere, wenn es sich um gutachtliche Messungen oder die Erstellung von Katalogdaten handelt.

Das neue Luxmeter bildet auch eine messtechnische Basis für innovative, energieeffiziente und damit umweltschonende tageslicht- und bedarfsabhängig geregelte Beleuchtungssysteme mit dimmbaren elektronischen HF-Vorschaltgeräten (sog. EVG's) in Büros und sonstigen Arbeitsstätten, wobei Stromkosten-Einsparungen bis zu 70 % möglich sind.

In Deutschland werden gegenwärtig etwa 11 % der gesamten Kraftwerksleistung für die Beleuchtung aufgewendet, d.h., die neuen Lichtregelsysteme können einen signifikanten Beitrag zur Entlastung der Umwelt durch verminderte Kraftwerksemissionen und gleichzeitig eine Reduktion der Kosten für die Beleuchtung bewirken.

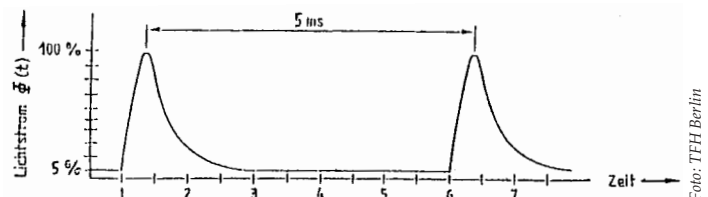


Bild 6. Lichtstrom-Zeitverlauf von gepulsten Na-Xe-Lampen.



Bild 3. MINILUX mit angebautelem Photoelement.



Bild 4. MINILUX mit Photoelement über Messleitung verbunden.

Anwendungsbereiche

Neben der Messung der Beleuchtungsstärke eignet sich das Gerät auch für die Messung von Lichtstärkeverteilungen mittels des photometrischen Entfernungsgesetzes:

$$I(\text{cd}) = E(\text{lx}) * (R(\text{m}))^2$$

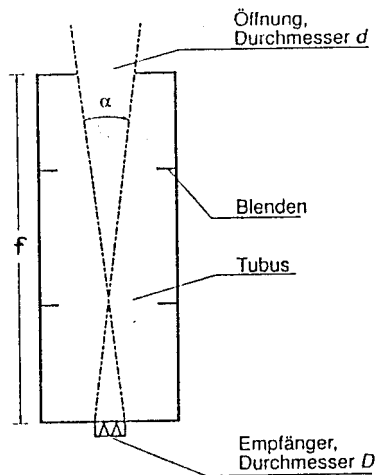
für Lichtstrommessungen gemäß:

$$\Phi(\text{lm}) = E(\text{lx}) * A(\text{m}^2)$$

und für die Messung mittlerer Leuchtdichten mit einem speziellen Vorsatz-Tubus.

Tubus zur einfachen und preiswerten Leuchtdichtemessung mit dem MINILUX-Beleuchtungsstärke-Messgerät

Der Bewertungswinkel beträgt 13 Grad. Es können hiermit Leuchtdichten im Bereich von 1 cd/m² bis 19,99 Mcd/m² (6 Messbereiche) gemessen werden, vgl. Bild 7. Die Auflösung beträgt 0,1 cd/m², dieser Wert entspricht einem Beleuchtungsstärkewert von 1 mlx (Auflösung des MINILUX).



$$\text{Meßfeldwinkel: } \alpha \approx 2 \arctan \cdot 0,5 \frac{d + D}{f}$$

Foto: TFH Berlin

$$\text{Auflösung: } L_{\min} \approx E_{\min} \cdot \left(\frac{f}{d}\right)^2 \cdot \Omega_o^{-1}$$

E_{\min} Auflösung für E-Meßgerät

Bild 7. Tubus für Leuchtdichtemessung mit dem MINILUX.

Die Geometrie des Tubus ist so berechnet, dass der Zusammenhang zwischen Leuchtdichte und Beleuchtungsstärke sehr einfach ist.

$$L = 100 \cdot E \quad \text{mit } E \text{ in lx folgt } L \text{ in cd/m}^2$$

Um Blendungen zu vermeiden, gilt in Innenräumen:

$$L \leq 1000 \text{ cd/m}^2$$

Die Prozedur der Leuchtdichtemessung ist sehr einfach: Der Tubus wird auf das Photoelement aufgesetzt und die zu messende leuchtende Fläche anvisiert. Der vom MINILUX angezeigte Lux-Wert wird mit dem konstanten Faktor 100 multipliziert und liefert die mittlere Leuchtdichte der gemessenen Fläche in cd/m².

Wenn das MINILUX-Gerät mit Analogausgängen ausgerüstet ist, kann mittels Leuchtdichte-Tubus auch eine hochwertige tageslichtabhängige Lichtsteuerung in Verbindung mit Dimm-EVG's realisiert werden.

In Kombination mit einem Oszilloskop kann auch sehr leicht durch Messung der Leuchtdichte-Welligkeit festgestellt werden, welche Leuchten in einem Raum mit welchen Vorschaltgeräten bestückt sind (z.B. KVG, EVG, gepulste EVG).

Der Reflexionsgrad von diffus reflektierenden Raumbegrenzungsflächen (Wände, Decken, Böden, Arbeitsflächen etc.) kann durch eine Leuchtdichte- und Beleuchtungsstärkemessung leicht ermittelt werden:

$$\rho = \frac{\pi \cdot L / \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}}{E / \text{lx}}$$

Häufig werden vorausberechnete Beleuchtungsstärken auf Arbeitsflächen, z.B. 500 lx, nicht erreicht, weil die tatsächlichen Reflexionsgrade niedriger sind als die für die Planung vereinbarten Werte. Mit der Möglichkeit der einfachen Reflexionsgradmessung mit dem MINILUX kann deshalb die Ursache einer zu geringen Beleuchtungsstärke aufgedeckt und mögliche Reklamationen wegen zu geringer Beleuchtungsstärke abgewehrt werden.

Weitere Applikationen:

- Lichtstrommessung in Verbindung mit der Ulbrichtschen Kugel;
- Steuerung der Ein- und Ausschaltung der Straßenbeleuchtung und Helligkeitssteuerung für Straßentunnel;
- Messungen an lichttechnischen Bau- und Kunststoffen (Reflexion, Transmission, Absorption, Extinktion etc.);
- Messungen an Solaranlagen;
- Lichtmessungen in der Fernseh-, Film- und Fototechnik;
- Lichtmessungen in der Physik, Optoelektronik, Meteorologie, Botanik, Biologie, Medizin.

Zum Autor

Hochschullehrer für das Lehrgebiet Elektronische Messtechnik im Fachbereich Elektrotechnik und Feinwerktechnik der TFH-Berlin – University of Applied Sciences – Berlin.

LiTG-Mitglied seit 1965, LiTG-Kassenprüfer ab 1996, Mitglied im DNK der CIE und in der DfWG. Mitarbeiter im DIN-Normenausschuss Lichttechnik FNL 3 Photometrie.

Studium der Elektrotechnik und Lichttechnik an der TU Berlin. 1966 Abschluss als Diplom-Ingenieur. 1967 bis 1973 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Lichttechnik der TU Berlin. 1974 Promotion zum Doktor-Ingenieur. 1974 bis 1977 Lehrbeauftragter für elektronische Messtechnik und seit 1977 Professor für Elektronische Messtechnik und Elektrotechnik an der TFH Berlin.

Seit 1966 Tätigkeit als beratender Ingenieur für die lichttechnische Industrie auf dem Gebiet der Lichtmesstechnik. Im Jahr 1967 Entwicklung eines Digitalluxmeters und anschließend Gründungsgesellschafter der Firma Optronik GmbH. Durchführung diverser Technologie-Transfer-Projekte: Lichtstrom und Lichtstärkeverteilungsmess-Systeme für die Lampen- und Leuchtenindustrie. Entwicklung eines Miniluxmeters.



Foto: TFH Berlin

Prof. Dr.-Ing. Peter Marx.

1991 Verleihung des Berliner Umweltpreises für die Entwicklung von dimmbaren elektronischen Vorschaltgeräten für Leuchtstofflampen durch den Senator für Stadtentwicklung und Umweltschutz.

Ab 1996 stellvertretender Aufsichtsratsvorsitzender der Semperlux AG – Lichttechnische Werke – Berlin.

Vorstandsmitglied (Schatzmeister) der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft e.V. (LiTG) ab 01.01.2001

Die wichtigsten technischen Daten des Minilux

Silizium-Photoelement mit $V(\lambda)$ - und \cos -Angeleich. Durchmesser der lichtempfindlichen Fläche $D = 11$ mm. Messumfang: 1 mlx (Auflösung) bis 199900 lx.

6 Messbereiche:

0.000...1.999 lx	(Notlichtmessung);
00.00...19.99 lx	(Straßenbeleuchtung);
000.0...199.9 lx	(Innenbeleuchtung);
0.000...1.999 klx	(Innenbeleuchtung);
00.00...19.99 klx	(Tageslichtmessung);
000.0...199.9 klx	(Tageslichtmessung).

- Klasse B nach DIN 5032, Teil 7;
- Crestfaktor 15;
- Dual-Slope-Digitalvoltmeter mit Autozero;

- 7-Segment LC-Display;
- Automatische Low-Bat-Anzeige, wenn $U_{\text{Bat}} < 7$ Volt;
- Stromaufnahme nur etwa 2 mA;
- 9 Volt-Lithium-Blockbatterie mit 1,2 Ah, Betriebszeit des Minilux mit dieser Hochleistungsbatterie etwa 500 Stunden!;
- Analogausgang 1: Zur Messung des Zeitverlaufs der relativen Beleuchtungsstärke $\bar{E}(t)$ mit einem Oszilloskop;
- Analogausgang 2: 0...199.9 mVDC für Schreiber, PC etc.;
- 4-Sekunden-Selbstausschalter mit Anzeige-Holdfunktion incl. Display-Beleuchtung, z.B. geeignet für abschattungsfreie Notlichtmessung;
- Abmessungen: L 157 x B 84 x H 30 mm, Gewicht = 300 g ■

Verfasser: Prof. Dr.-Ing. Peter Marx