

Bedienungsanleitung zum MINILUX

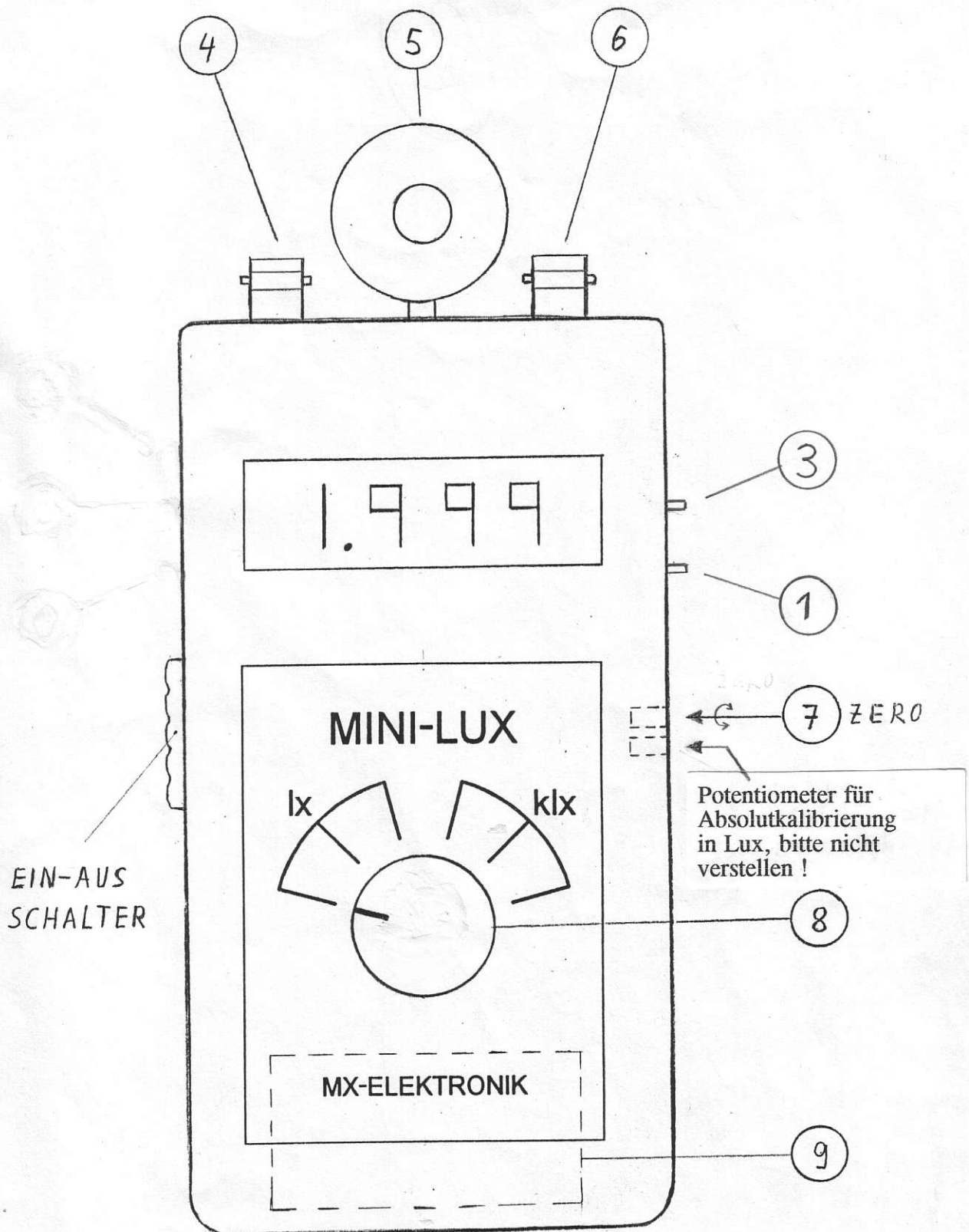
- ① = 4-Sekunden-Selbstausschalter für abschattungsfreie Messung. Die Meßperson entfernt sich nach dem Drücken dieser Taste aus dem Lichteinfallsbereich des Photoelements. Nach etwa 4 Sekunden wird der Meßwert gespeichert (Anzeige H = Hold). Erneutes Drücken dieses Tasters beendet die Meßwertspeicherung.
- ③ = Taster für Display-LED-Beleuchtung (möglichst nur kurz zur Ablesung betätigen, da Stromaufnahme hierbei ca. 80 mA !)
- ④ = Analogausgang 1 zur Messung des Zeitverlaufs $E(t)$ mit einem Oszilloskop (DSO), Quellwiderstand = 100 Ohm, Belastungswiderstand ≈ 1 MOhm
- ⑤ = Silizium-Photoelement mit $V(\lambda)$ - und \cos -Angleich, Klasse B nach DIN 5032, Teil 7, Empfindlichkeit $s \approx 2$ nA/lx
- ⑥ = DC-Analogausgang 2: 0...199.9 mV für separates DVM mit IEC-Bus, Schreiber, Analogeingabekarte für PC usw., Quellwiderstand = 100 Ohm, Belastungswiderstand ≈ 1 MOhm
- ⑦ = Trimm-Potentiometer für Justage des Photonullpunktes. Photoelement mit Verschlusskappe abdunkeln und Anzeige für sämtliche Meßbereiche auf Anzeige Null stellen. Hinweis: Im empfindlichsten Bereich kann die Anzeige um einige Digits schwanken, da der Beleuchtungsstärke von 1 mlx ein Photostrom von nur etwa 2 pA entspricht und damit der Eingangsverstärker an seiner physikalischen Grenze arbeitet (Temperatur- und Batteriespannungsdrift, Rauschen usw.)
- ⑧ = Meßbereichswahlschalter
- ⑨ = Batteriefach (Rückseite). Empfehlung: Lithium-9V-Batterie mit 1200 mAh, geringe Selbstentladung: nach 10 Jahren Lagerung noch 85% der Anfangsladung, Temperaturbereich: -5°C bis $+70^{\circ}\text{C}$, Betriebszeit des Minilux mit dieser Batterie: ca. 600 h

! Nullpunktjustage mittels kleinem Schraubendreher am Trimm-Potentiometer "ZERO" gemäß Pkt.7 der Bedienungsanleitung. Dieser Zero-Abgleich sollte vor jeder Messung vom Benutzer durchgeführt werden !

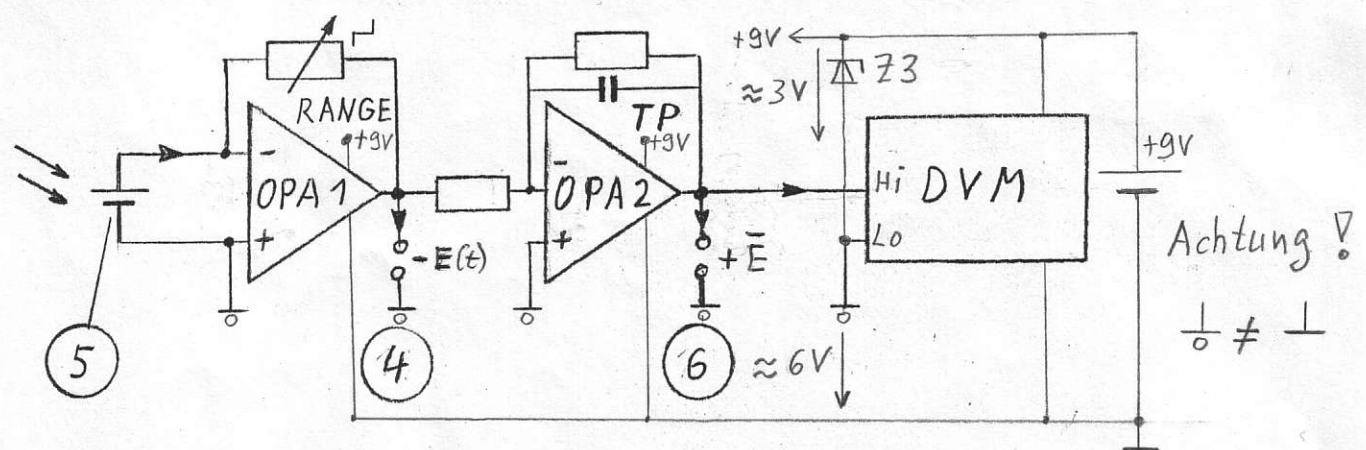
Bei Vermittlung eines weiteren Minilux-Käufers erhalten Sie eine Vermittlungsprovision in Höhe von 20 €

MX-ELEKTRONIK
Prof.-Dr.-Ing. Peter Marx
Am Kleinen Wannsee 12J
D-14109 Berlin (Germany)

www.mx-electronic.com

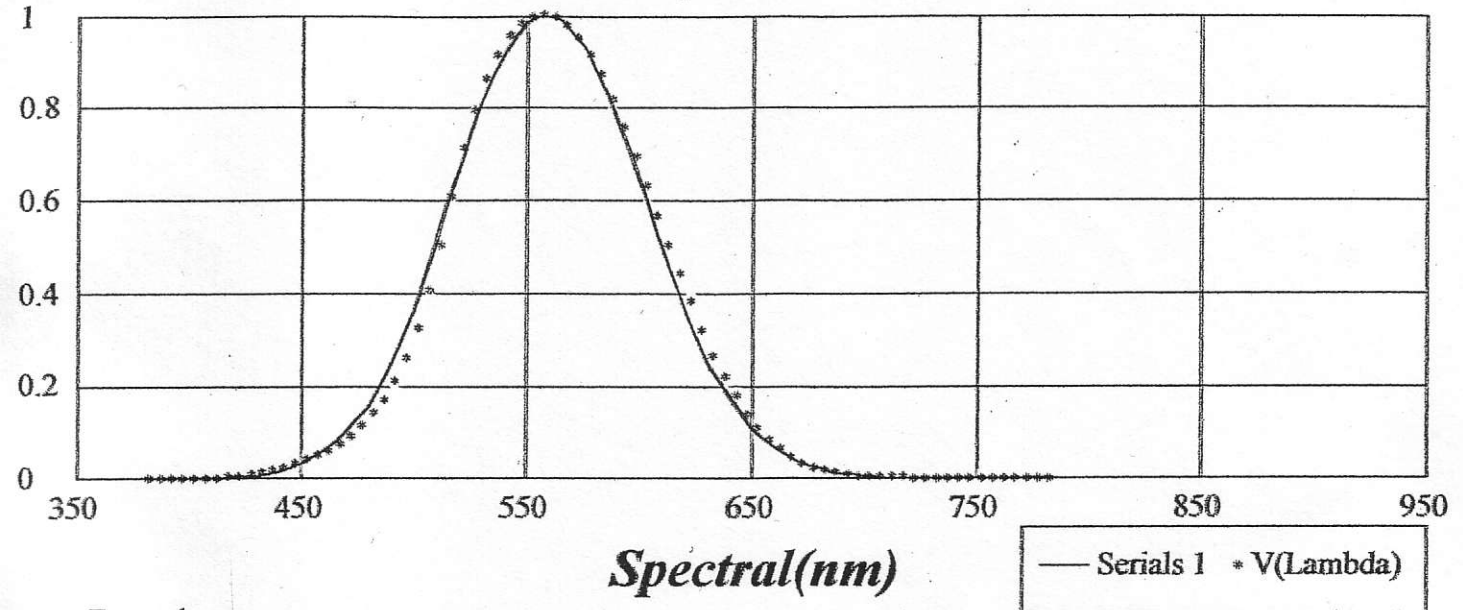


Mini-Luxmeter-Prinzipschaltung



Test Report

Relative Spectral Response



Example

λ /nm	$S(\lambda)$	λ /nm	$S(\lambda)$	λ /nm	$S(\lambda)$	λ /nm	$S(\lambda)$	λ /nm	$S(\lambda)$	λ /nm	$S(\lambda)$
350	0.0028	355	0.0021	360	0.0019	365	0.0021	370	0.0017	375	0.0020
380	0.0016	385	0.0017	390	0.0016	395	0.0016	400	0.0017	405	0.0015
410	0.0019	415	0.0030	420	0.0041	425	0.0058	430	0.0083	435	0.0119
440	0.0171	445	0.0240	450	0.0336	455	0.0459	460	0.0615	465	0.0795
470	0.1015	475	0.1273	480	0.1587	485	0.1981	490	0.2451	495	0.3001
500	0.3645	505	0.4343	510	0.5110	515	0.5897	520	0.6657	525	0.7404
530	0.8083	535	0.8667	540	0.9184	545	0.9577	550	0.9832	555	1.0000
560	1.0000	565	0.9885	570	0.9631	575	0.9284	580	0.8830	585	0.8321
590	0.7684	595	0.7027	600	0.6312	605	0.5616	610	0.4908	615	0.4237
620	0.3588	625	0.3014	630	0.2492	635	0.2058	640	0.1685	645	0.1369
650	0.1073	655	0.0842	660	0.0653	665	0.0508	670	0.0392	675	0.0304
680	0.0229	685	0.0166	690	0.0122	695	0.0091	700	0.0067	705	0.0049
710	0.0036	715	0.0026	720	0.0020	725	0.0014	730	0.0008	735	0.0006
740	0.0003	745	0.0003	750	0.0002	755	0.0000	760	0.0000	765	0.0000
770	0.0000	775	0.0000	780	0.0000	785	0.0000	790	0.0000	795	0.0000
800	0.0000	805	0.0000	810	0.0000	815	0.0000	820	0.0000	825	0.0000
830	0.0000	835	0.0000	840	0.0000	845	0.0000	850	0.0000	855	0.0000
860	0.0000	865	0.0000	870	0.0000	875	0.0000	880	0.0000	885	0.0000
890	0.0000	895	0.0000	900	0.0000	905	0.0000	910	0.0000	915	0.0000
920	0.0000	925	0.0000	930	0.0000	935	0.0000	940	0.0000	945	0.0000
950	0.0000										

$$f_1 < 6\%$$

Cos-Angleich des Silizium-Photoelements

ε	$\text{COS } \varepsilon$	E+	E-	$E = [(E+) + (E-)]/2$	$f_2(\varepsilon)$ %	$\text{Sin}(2\varepsilon)$	$f_2(\varepsilon) \text{ Sin}(2\varepsilon)$ %
0°	1.000	1.000	1.000	1.000	0.0	0.000	0.000
5°	0.996	0.966	0.998	0.997	0.1	0.174	0.017
10°	0.985	0.985	0.989	0.987	0.2	0.342	0.068
15°	0.967	0.968	0.970	0.969	0.2	0.500	0.100
20°	0.940	0.944	0.945	0.945	0.5	0.643	0.322
25°	0.906	0.911	0.911	0.911	0.6	0.766	0.460
30°	0.866	0.872	0.872	0.872	0.7	0.866	0.606
35°	0.819	0.825	0.823	0.824	0.6	0.940	0.564
40°	0.766	0.772	0.768	0.770	0.5	0.985	0.493
45°	0.707	0.714	0.708	0.711	0.6	1.000	0.600
50°	0.643	0.650	0.644	0.647	0.6	0.985	0.591
55°	0.574	0.582	0.576	0.579	0.9	0.940	0.846
60°	0.500	0.507	0.503	0.505	0.1	0.866	0.087
65°	0.423	0.429	0.426	0.428	1.2	0.766	0.919
70°	0.342	0.349	0.346	0.348	1.8	0.643	1.157
75°	0.259	0.274	0.264	0.269	3.9	0.500	1.950
80°	0.174	0.179	0.177	0.178	2.3	0.342	0.787
85°	0.087	0.097	0.094	0.096	10.3	0.174	1.792

$$\sum_0^{85} f_2(\varepsilon) \text{ Sin}(2\varepsilon) = 11.359 \%$$

$$\Delta \varepsilon = 5^\circ \cong 0.0873 \quad (5^\circ/x = 180^\circ/\pi, \quad x = 0.0873)$$

$$f_2 = \sum_0^{85} |f_2(\varepsilon)| \text{ Sin}(2\varepsilon) \Delta \varepsilon = 11.359 \% \times 0.0873 = \underline{\underline{0.992 \%}} \approx 1\%$$

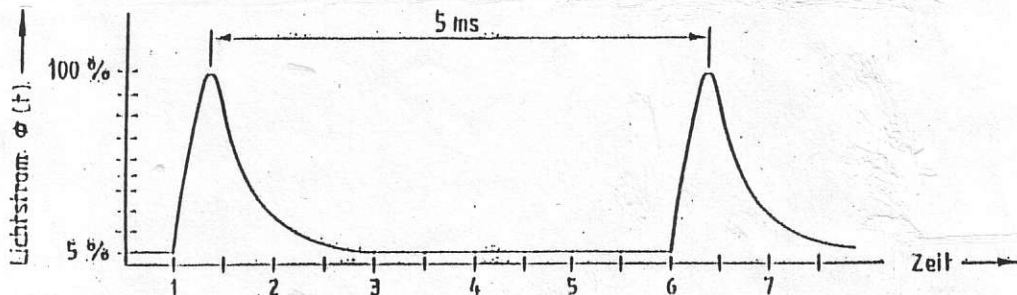
$$f_2(\varepsilon) = \frac{Y(\varepsilon)}{Y(\varepsilon=0) \cdot \text{COS } \varepsilon} - 1$$

Fehlergrenzen für einzelne Merkmale und Gesamtfehlergrenzen für Beleuchtungsstärkemeßgeräte der Klassen L, A, B und C

Merkmal	Bezeichnung nach DIN 5032 Teil 6	Fehlergrenzen für Meßgeräte der Klasse			
		L	A	! (B) !	C
V(λ)-Anpassung	f_1	1,5 %	3 %	6 %	9 %
UV-Empfindlichkeit	u	0,2 %	1 %	2 %	4 %
IR-Empfindlichkeit	r	0,2 %	1 %	2 %	4 %
cos-getreue Bewertung	f_2	1)	1,5 %	3 %	6 %
Bewertung für E_0	$f_{2,0}$	1)	10 %	15 %	20 %
Bewertung für E_z	$f_{2,z}$	1)	5 %	10 %	15 %
Bewertung für E_{zh}	$f_{2,zh}$	1)	5 %	10 %	15 %
Linearitätsfehler	f_3	0,2 %	1 %	2 %	5 %
Fehler des Anzeigegegerätes	f_4	0,2 %	3 %	4,5 %	7,5 %
Ermüdung	f_5	0,1 %	0,5 %	1 %	2 %
Temperaturkoeffizient	α_0, α_{25}	0,1 %/K	0,2 %/K	1 %/K	2 %/K
moduliertes Licht	f_7	0,1 %	0,2 %	0,5 %	1 %
Abgleichfehler	f_{11}	0,1 %	0,5 %	1 %	2 %
Gesamtfehler 2)	f_{ges}	3 % 3)	5 % 4)	10 % 4)	20 % 4)
untere Grenzfrequenz	f_u	40 Hz	40 Hz	40 Hz	40 Hz
obere Grenzfrequenz	f_o	10^5 Hz	10^5 Hz	10^4 Hz	10^3 Hz

1) Falls mit Geräten der Klasse L bei nicht senkrechtem Lichteinfall gemessen wird, gelten die Fehlergrenzen der Klasse A.
 2) Beim Gesamtfehler ist die Unsicherheit des beim Kalibrieren verwendeten Normals (nach Prüfschein) eingeschlossen (siehe auch Kalibrierbedingungen nach DIN 5032 Teil 6).
 3) Summe der Werte $f_1, u, r, f_3, f_4, \alpha \cdot 2 \text{ K}, f_5, f_7, f_{11}$ zzgl. Kalibrierunsicherheit des Normals.
 4) Summe der Werte $f_1, u, r, f_2, f_3, f_4, \alpha \cdot 10 \text{ K}, f_5, f_7, f_{11}$ zzgl. Kalibrierunsicherheit des Normals.

Die exakte Messung von gepulsten Na-Xe-Hochdrucklampen erfordert spezielle Photostromverstärker, die gemäß dem Talbot-Plateauschen Gesetz den zeitlich linearen Mittelwert auch bei diesen exotischen Lichtstrom-Zeit-Verläufen mit $\Phi_{\text{max}} / \Phi_{\text{min}} = 20 : 1$ richtig bewerten, ohne in die Übersteuerung zu gelangen.



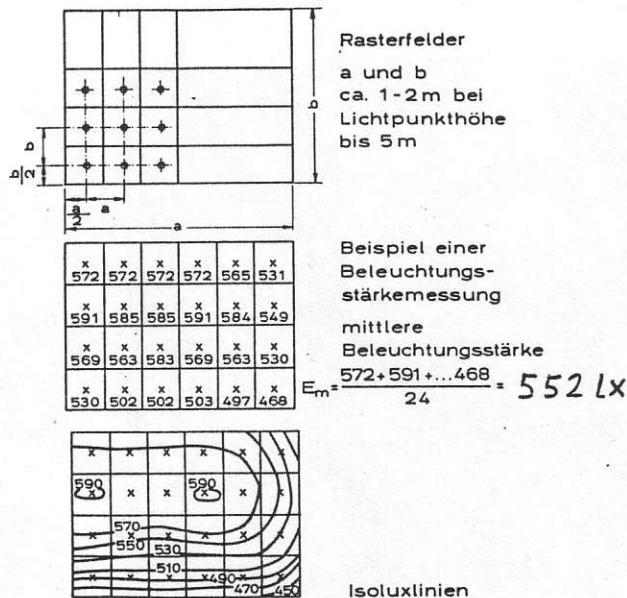
Lichtstrom-Zeitverlauf von gepulsten Na-Xe-Lampen

Übliche Luxmeter sind meist nur für ein Verhältnis von $\Phi_{\text{max}} / \Phi_{\text{mittel}} = 2 : 1$ (Hochdrucklampe ohne Leuchtstoff) dimensioniert. Der Photometriker ist gut beraten, wenn er vor Messung dieser Leuchtmittel sein Photometer hinsichtlich der Eignung für gepulstes Licht kritisch untersucht, um evtl. Fehlmessungen zu vermeiden.

Messen der Beleuchtungsstärke

Im Teil 6 der Norm DIN 5035 ist aufgeführt, was für die Messung und Bewertung einer Innenraumbeleuchtungsanlage wichtig ist. Für die Messung der Beleuchtungsstärke sollten *Luxmeter* der Klasse B verwendet werden, diese sind für Betriebsmessungen geeignet, deren Fehlergrenze bei $\pm 10\%$ liegt. Für nur orientierende Messungen können auch Geräte der Klasse C mit $\pm 20\%$ Fehlergrenze eingesetzt werden. Bei den Messungen sollte das Tageslicht ausgeschaltet sein. Wenn nicht bei Dunkelheit gemessen werden kann, müssen die Fenster und Oberlichter lichtdicht abgedeckt sein. Der Reflexionsgrad der Abdeckung soll dem der Verglasung (etwa 10%) entsprechen. Bei nicht abgedeckten Fenstern muß die Beleuchtungsstärke bei eingeschalteter Beleuchtung und unmittelbar danach bei ausgeschalteter Anlage gemessen werden. Die Differenz der Meßwerte entspricht dann der Beleuchtungsstärke der künstlichen Beleuchtung. In Beleuchtungsanlagen mit Leuchtstofflampen und anderen Entladungslampen sollen die Lampen mindestens 100 Stunden, bei Anlagen mit Glühlampen mindestens 10 Stunden, gealtert sein.

Meßraster zur Messung der Beleuchtungsstärke



Mittlere Beleuchtungsstärke:

$$E_m = \frac{\sum_{y=1}^n E_y}{n}$$

Gleichmäßigkeit: $g_1 = \frac{E_{min}}{E_m} = \frac{468 \text{ lx}}{552 \text{ lx}} = 0,85$

$$g_2 = \frac{E_{min}}{E_{max}} = \frac{468 \text{ lx}}{591 \text{ lx}} = 0,79$$

Zur Messung der Beleuchtungsstärke wird die Grundfläche des Raumes in möglichst quadratische Felder eingeteilt (siehe oben). Gemessen wird die Beleuchtungsstärke im Mittelpunkt der Teilmeßfläche. Das Rastermaß der Meßpunkte sollte dabei möglichst nicht mit dem Rastermaß der Leuchtenanordnung in Längs- und Querrichtung übereinstimmen. Während in normal hohen Räumen Rasterabstände von 1 bis 2 m üblich sind, werden in hohen Hallen über 5 m Höhe größere Abstände, bis zu 5 m, gewählt. Die übliche Meßhöhe beträgt 0,85 über dem Fußboden. Bei Verkehrswegen ist die Beleuchtungsstärke maximal 0,2 m über dem Boden zu messen. In eingerichteten Räumen mit hohen Aufbauten sind die Beleuchtungsstärken in einzelnen Raumzonen zu messen. Zur Ermittlung der mittleren Beleuchtungsstärke E sind die einzelnen Meßwerte zu addieren und durch die Anzahl der Meßpunkte zu teilen. Verbindet man die Meßpunkte gleicher Beleuchtungsstärke miteinander, erhält man eine grafische Darstellung mit Isolux-Linien. Die Meßwerte der Beleuchtungsstärke sind unter Umständen auf die Betriebsspannung des Netzes umzurechnen.

Messung der Lichtstärke

Photometrisches Entfernungsgesetz

$$I = E \cdot r^2 \cdot \Omega_0^{-1}$$

I Lichtstärke in Richtung auf das beleuchtete Flächenelement

E Beleuchtungsstärke auf dem Flächenelement

r Abstand zwischen Lichtquelle und beleuchtetem Flächenelement

$\Omega_0 = 1$ sr Einheitsraumwinkel

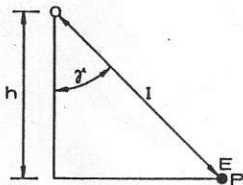
- dem zugelassenen Meßfehler
- der größten Ausdehnung der Lichtquelle
- der räumlichen Lichtstärkeverteilung der Lichtquelle
- der Leuchtdichteverteilung auf der Oberfläche der Lichtquelle in der betrachteten Richtung
- der Größe der Lichteintrittsfläche des Photometerkopfs des Beleuchtungsstärkemeßgerätes
- der räumlichen und örtlichen Empfindlichkeitsverteilung des Photometerkopfs

Das streng genommen nur für punktförmige Lichtquellen und Empfänger geltende photometrische Entfernungsgesetz kann mit ausreichender Genauigkeit nur für Abstände r , die die photometrische Grenzentfernung übersteigen, verwendet werden. Die photometrische Grenzentfernung hängt ab von

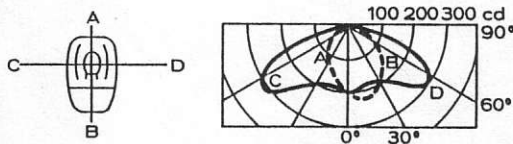
Für eine kreisförmige leuchtende Fläche mit örtlich konstanter und richtungsunabhängiger Leuchtdichte (Lambertstrahler) beträgt die photometrische Grenzentfernung bei Messungen in Richtung der Achse der Scheibe bei einem zugelassenen Fehler von 0,25% das 10fache des Durchmessers der leuchtenden Fläche. Für spitze Lichtstärkeverteilungen (Scheinwerfer) ist die photometrische Grenzentfernung wesentlich größer !

Punktbeleuchtungsformel

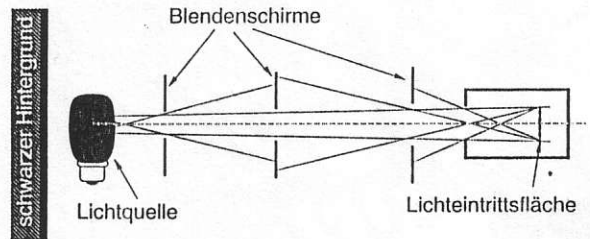
$$E_h = \frac{I}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma$$



E_h = horizontale Beleuchtungsstärke
 I = Lichtstärke
 h = Lichtpunkthöhe
 γ = Ausstrahlungswinkel



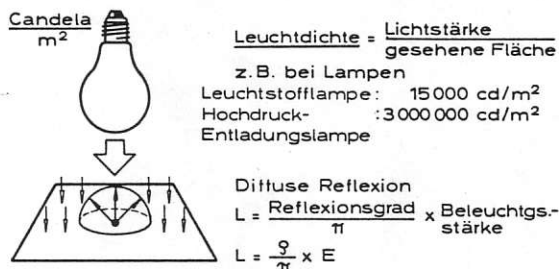
Bei der Bestimmung der Lichtstärke über das photometrische Entfernungsgesetz ist besonders Fremdlicht auf dem Photometerkopf zu vermeiden,



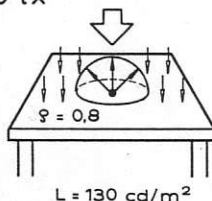
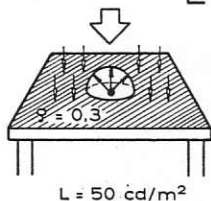
Aufbau für Lichtstärkemessung

Will man an einem bestimmten Punkt unter einer Leuchte die horizontale Beleuchtungsstärke berechnen, benutzt man die sogenannte *Punktbeleuchtungsformel*. Da diese Formel nur für punktförmige Lichtquellen gilt, kann sie nicht in jedem Fall eingesetzt werden. Die Formel gilt noch, wenn der Abstand zur beleuchteten Fläche bei P größer ist als die 5-fache maximale Ausdehnung der Lichtquelle. Für Leuchten, z. B. Scheinwerfer mit stark gebündelter Lichtverteilung, muß der Abstand allerdings wesentlich größer sein, und zwar bis zu dem Zehnfachen der größten Ausdehnung der Leuchte. Die Lichtstärke I in Richtung Punkt P wird aus der Lichtverteilungskurve (LVK) der Leuchte entnommen. Meist werden die Lichtstärken I in den LVK für einen Lichtstrom von 1000 Lumen angegeben, dann müssen diese abgelesenen Werte mit dem tatsächlichen Lichtstrom multipliziert und durch 1000 geteilt werden. Der mit der Punktbeleuchtungsformel ermittelte Wert E_h ist die direkte Komponente der horizontalen Beleuchtungsstärke; der in Innenräumen entstehende Indirektanteil muß unter Umständen mit berücksichtigt werden.

Leuchtdichte



z.B. Büro
E = 500 lx



Die *Leuchtdichte* ist ein Maß für den Helligkeitseindruck einer selbstleuchtenden Lichtquelle oder einer beleuchteten Fläche. Das Maß für die Leuchtdichte ist Candela pro m² (cd/m²). Zur Bestimmung der Leuchtdichte von Lichtquellen muß die Lichtstärke in cd der Lampen in Blickrichtung geteilt werden durch die gesehene Fläche in m².

Die Leuchtdichte von beleuchteten Oberflächen ergibt sich aus der auf dem Objekt vorhandenen Beleuchtungsstärke (Lux), multipliziert mit dem *Reflexionsgrad* ϱ der Oberfläche geteilt durch π . Diese Berechnungsmöglichkeit setzt voraus, daß die beleuchtete Fläche vollkommen *diffus* ist, d. h. nach allen Seiten das auftreffende Licht gleichmäßig reflektiert.

Ein Tisch mit einem weißen Farbanstrich hat einen hohen Reflexionsgrad ($\varrho = 0,8$), d. h. es wird viel vom auftreffenden Licht zurückgestrahlt, ein brauner Farbton reflektiert weniger Licht, sein Reflexionsgrad liegt bei 0,3. Bei gleicher Beleuchtungsstärke ist die Leuchtdichte des weißen Anstrichs wesentlich höher als die der braunen Oberfläche.

Hierbei wird deutlich, daß die Leuchtdichte besser die Beleuchtungsverhältnisse im Raum beschreibt als Angaben über die Beleuchtungsstärke in Lux. Die Beleuchtungsstärke läßt sich jedoch leichter berechnen und messen.

In Innenräumen: $L = 1000 \text{ cd/qm}$

Mittlere Leuchtdichte

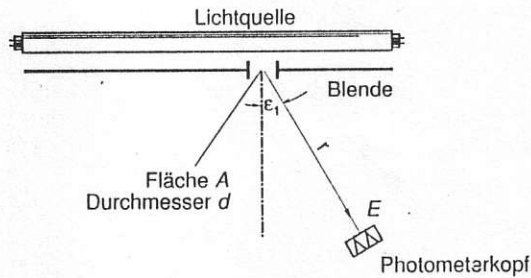
Die mittlere Leuchtdichte $\bar{L}(\gamma)$ beim Beobachtungswinkel γ von Leuchten wird aus der Lichtstärke $I(\gamma)$ und der gesehe-

nen (projizierten) leuchtenden Fläche A_{pr} berechnet

$$\bar{L}(\gamma) = \frac{I(\gamma)}{A_{pr}}$$

Eine Leuchtdichte-Messung ist möglich durch:

- a) Abdecken der zu bewertenden leuchtenden Fläche bis auf die zu bewertende Teilfläche und Messung der Beleuchtungsstärke (senkrechter Lichteinfall) an einem Punkt in der Richtung, für die L zu bestimmen ist. Dann gilt



Leuchtdichtemessung mit Blende vor der Lichtquelle

$$L = \frac{E \cdot r^2}{A \cdot \cos \varepsilon_1 \cdot \Omega_0}$$

$$= \frac{4 \cdot E \cdot r^2}{d^2 \cdot \pi \cdot \cos \varepsilon_1 \cdot \Omega_0}$$

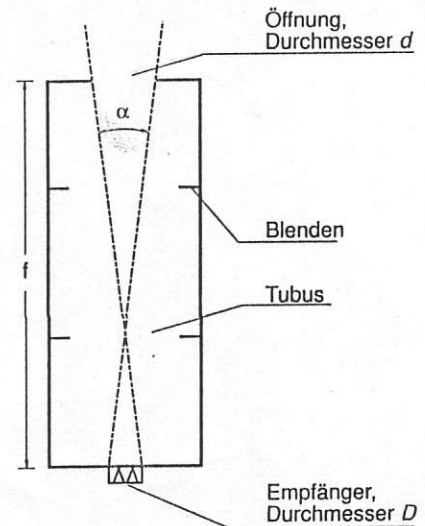
- E Beleuchtungsstärke (gemessen mit Beleuchtungsstärkemeßgerät)
 r Abstand zwischen leuchtender Fläche und Lichtauffangfläche des Photometerkopfes
 A freie Fläche der Abdeckung
 d Durchmesser einer runden Fläche A
 ε_1 Abstrahlungswinkel
 $\Omega_0 = 1$ sr Einheitsraumwinkel

Der Meßfeldwinkel α ist dabei

$$\alpha \approx \arctan \frac{d}{r}$$

- b) Verwendung eines Tubus

Bei Verwendung eines auf den Photometerkopf eines Beleuchtungsstärkemeßgerätes aufgesetzten Tubus (optimal $d = D$) ermöglicht die Messung von L



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

$$\text{Auflösung: } L_{\min} \approx E_{\min} \cdot \left(\frac{f}{d}\right)^2 \cdot \Omega_0^{-1}$$

E_{\min} Auflösung für E -Meßgerät

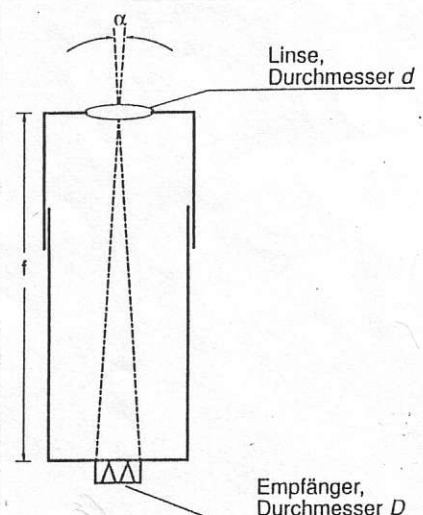
- c) Verwendung einer Optik

Die Verwendung einer auf den Photometerkopf eines Beleuchtungsstärkemeßgerätes aufgesetzten Optik ermöglicht die Messung mit:

$$\text{Meßfeldwinkel: } \alpha \approx 2 \arctan \frac{D}{2f}$$

$$\text{Auflösung: } L_{\min} \approx E_{\min} \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \left(\frac{f}{d}\right)^2 \cdot \Omega_0^{-1}$$

Wie bei b) ist im allgemeinen die richtungsabhängige Empfindlichkeit nicht konstant, es wird nicht korrekt die mittlere Leuchtdichte im Meßfeld bestimmt, jedoch ist bei gleichem Meßfeldwinkel die Auflösung bei Verwendung einer »fix-focus«-Linse um den Faktor 2 kleiner als bei Verwendung eines Tubus mit jeweils gleichem Durchmesser d .



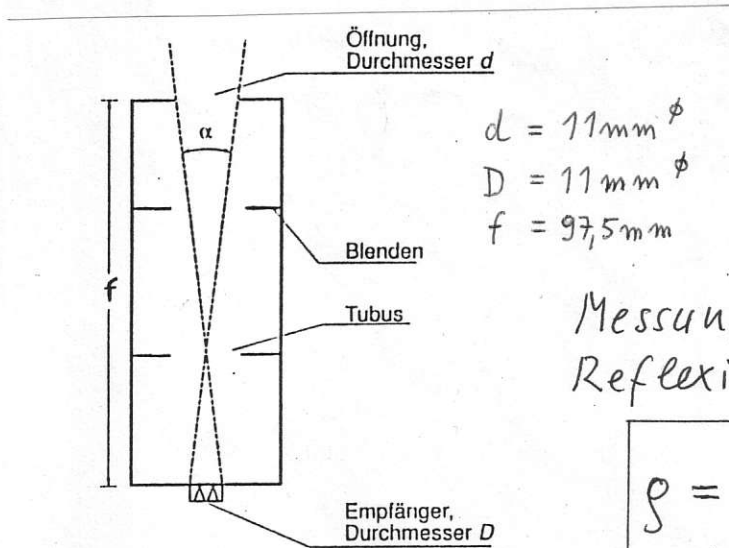
MX-ELEKTRONIK

Tubus für Leuchtdichtemessung mit dem MINILUX

Halbräumiger Lichteinfall: $E = \int L d\Omega_{proj} = L \cdot \pi \leadsto L = \frac{E}{\pi}$

Leuchtdichte einer Fläche: $L = \rho \frac{E}{\pi}$ (Lambert-Strahler)

$$L = \frac{I_E}{A \cdot \cos \epsilon}$$



$d = 11 \text{ mm } \phi$
 $D = 11 \text{ mm } \phi$
 $f = 97,5 \text{ mm}$

Messung des Reflexionsgrades:

$$\rho = \frac{L \cdot \pi}{E} \quad \begin{matrix} L \text{ in } \frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \\ E \text{ in } \text{lx} \end{matrix}$$

Meßfeldwinkel: $\alpha \approx 2 \arctan \cdot 0,5 \frac{d+D}{f} \approx 13^\circ$

Auflösung: $L_{\min} = E_{\min} \frac{4}{\pi} \left(\frac{f}{d}\right)^2 \cdot \Omega_0^{-1} = 0,1 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$

E_{\min} Auflösung für E-Meßgerät = 1 m lx

$$L = E \cdot \frac{4}{\pi} \left(\frac{f}{d}\right)^2$$

$$\frac{L}{\frac{\text{cd}}{\text{m}^2}} = \frac{E}{\text{lx}} \cdot 100$$

6 Meßbereiche:

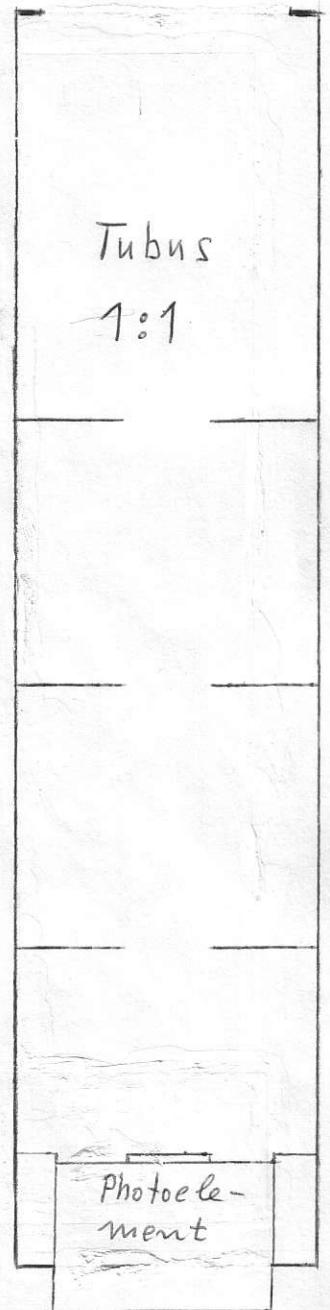
0...199,9	cd/m ²
0...1999	cd/m ²
0...19990	cd/m ²
0...199,9	kcd/m ²
0...1999	kcd/m ²
0...19990	kcd/m ²

Messung der mittleren Leuchtdichte mit Vorsatz-Tubus:

Tubus auf das Photoelement aufsetzen. Zu messende leuchtende Fläche anvisieren. Angezeigte Beleuchtungsstärke in Lux mit dem Faktor 100 multiplizieren.

Ergebnis = Leuchtdichte in cd/m².

Gegebenenfalls vor der Messung den Photonullpunkt mit verschlossenem, lichtdichten Tubus justieren.



Prof. Dr. P. Marx

Digitalluxmeter für universelle Anwendungen

Mit der nationalen Umsetzung der europäischen Richtlinie für die Gestaltung von Arbeitsplätzen wird ein Nachweis über das Einhalten der vorgeschriebenen Beleuchtungsstärkewerte zwingend erforderlich. Im Beitrag wird eine kostengünstige Variante vorgestellt, mit einem Gerät notwendige lichttechnische Größen zu messen.

Beleuchtungsstärkemesser

Grundanforderungen. In der überarbeiteten Arbeitsstätten-Richtlinie ASR „Künstliche Beleuchtung“ werden Mindestbeleuchtungsstärkewerte an Arbeitsplätzen vorgegeben. Eine Messung der Werte ist eine unbedingte Voraussetzung für den geforderten Nachweis. Hierzu sind Messgeräte erforderlich, die auf Grund ihrer Bauweise und Eigenschaften bei der Anwendung aller üblichen Lichtquellen (Tageslicht, Glühlampen, Entladungslampen) genaue Werte erfassen können. Für die Betriebsmessungen müssen diese Geräte der Güteklasse B nach DIN 5032, Teil 7 entsprechen und einen Gesamtmessfehler von kleiner als $\pm 10\%$ aufweisen. Dabei sind die wichtigsten Einzelfehler für die Anpassung an die Hellempfindlichkeitskurve des menschlichen Auges ($V(\lambda)$ -Kurve) mit $< 6\%$ und die kosinusgetreue Bewertung des schräg einstrahlenden Lichts mit $< 3\%$ einzuhalten.

Erweiterte Anforderungen. Neben diesen Anforderungen sind darüber hinaus noch folgende Forderungen an einen modernen Beleuchtungsstärkemesser zu stellen:

- linearer Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärke und Fotostrom,
- geringe Temperaturabhängigkeit, Alterung und Ermüdung des Lichtsensors,
- Bewertung des zeitlich linearen Mittelwertes bei welligem Licht gemäß dem Talbot-Plateau'schen Gesetz (z. B. bei Wechselstrom betriebene Entladungslampen),

- großer Messbereich, so dass mit nur einem Gerät Messungen im Bereich von 0,01 lx bis 200 000 lx ohne Anwendung von Schwächungsfiltern und Korrekturfaktoren möglich sind,
- Fehlerfreie Ablesung der Messergebnisse durch digitale Messwertanzeige.

Messgerät

Das im Bild 1 dargestellt portable Digitalluxmeter „Minilux“ erfüllt die Forderungen der $V(\lambda)$ -Anpassung mit einem Fehler von $f_1 \leq 5\%$ und der kosinusgetreuen Bewertung mit $f_2 \leq 1\%$. Dazu werden im Gerät zwei Präzisions-Operationsverstärker mit extrem kleinen Biasstrom eingesetzt, um sowohl der Forderung nach einer hohen Messempfindlichkeit (Auflösung = 1 mlx) als auch der Bewertung des zeitlich linearen Mittelwertes von gepulsten Natrium-Xenon-Hochdrucklampen mit einem Lichtstrom-Verhältnis $\Phi_{\max}/\Phi_{\min} = 20 : 1$ zu entsprechen. Der erste Verstärker sorgt für die Bereichsumschaltung und der zweite arbeitet als mittelwertbildender aktiver Tiefpassverstärker. Das Gerät gibt es in der Ausführung mit angebautelem Fotoelement und mit einem über eine Messleitung verbundenen Fotoelement.

Technische Daten. Wichtige technischen Daten des Digitalluxmeters „Minilux“ sind:

- lichtempfindliche Fläche des Fotoelements 10 mm \varnothing ;
- 1 mlx Auflösung bis 199 900 lx mit den in Tafel 1 aufgeführten sechs Messbereichen.
- Crestfaktor (Scheitelwert) 15;



1 Digitalluxmeter „MINILUX“

Fotoelement (über Messleitung verbunden)

Vorsatz für Leuchtdichtemessung (Tubus, oben im Bild)

Quelle: www.mx-electronic.com

- 9-Volt-Lithium-Blockbatterie mit 1,2 Ah (Betriebszeit von etwa 500 Stunden);
- 2 Analogausgänge zur Messung des Zeitverlaufs der relativen Beleuchtungsstärke mit einem Oszilloskop oder für PC, Schreiber usw.;
- 4-Sekunden-Selbstausröser mit Anzeige-Haltfunktion und Display-Beleuchtung (geeignet für abschattungs-freie Notbeleuchtungs-messung);

Leuchtdichtemessung möglich

Mit einem vorsetzbaren Tubus (Bild 1, oben) kann mit dem Beleuchtungsstärkemesser auch eine Leuchtdichtemessung in einem Bewertungswinkel von 13° vorgenommen werden. Dabei sind Leuchtdichtewerte in sechs Bereichen von 1 cd/m^2 bis $19,99 \cdot 10^6 \text{ cd/m}^2$ messbar.

Reflexionsgradbestimmung.

Durch die Messmöglichkeit von Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte mit einem Gerät kann der Reflexionsgrad von diffus reflektierenden Flächen (matte Wände, Decken, Arbeitsflächen) bestimmt werden:

$$\rho = \frac{L \left[\frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \right] \cdot \pi}{E [x]}$$

Gerade die Realisierung der Werte der in der Beleuchtungsplanung angenommenen Reflexionsgrade ist relativ unsicher. So kann die Möglichkeit einer nachträglichen Bestimmung der tatsächlichen Werte Aufschluss über Planung und Ausführung bringen. R. Baer

Tafel 1 Messbereiche des Digitalluxmeter „Minilux“

Messbereich	Anwendungsgebiet
0.000 ... 1.999 lx	Notbeleuchtung
00.00 ... 19.99 lx	Straßenbeleuchtung
000.0 ... 199.9 lx	Innenraumbeleuchtung
0.000 ... 1.999 klx	Innenraumbeleuchtung
00.00 ... 19.99 klx	Tageslichtbeleuchtung
000.0 ... 199.9 klx	Tageslichtbeleuchtung