



## Inhalt

1.	Aufgaben und Entwicklung der Lichtmeßtechnik .....	13
1.1.	Aufgaben der Lichttechnik und Lichtmeßtechnik .....	13
1.2.	Einiges zur Entwicklung der Lichtmeßtechnik .....	14
2.	Physiologische Grundlagen .....	17
2.1.	Das menschliche Auge .....	17
2.1.1.	Bau des Auges .....	17
2.1.2.	Das abbildende System des Auges .....	18
2.1.3.	Die Netzhaut .....	19
2.1.4.	Die lichtempfindlichen Empfänger des Auges .....	21
2.2.	Einige für die Lichtmeßtechnik wichtige physiologische Gesetzmäßigkeiten .....	23
2.2.1.	Additionstheorem der Helligkeiten .....	23
2.2.2.	Talbotsches Gesetz .....	23
2.2.3.	Stiles-Crawford-Effekte .....	24
2.2.4.	Purkyně-Effekt .....	25
2.2.5.	Weber-Fechnersches Gesetz .....	26
3.	Strahlungsphysikalische und lichttechnische Grundgrößen und Einheiten .....	28
3.1.	Der Raumwinkel .....	28
3.2.	Die strahlungsphysikalischen Grundgrößen und Einheiten .....	32
3.3.	Zusammenhang zwischen den strahlungsphysikalischen und den lichttechnischen Größen .....	36
3.4.	Die lichttechnischen Grundgrößen und Einheiten .....	37
3.5.	Verschiedene Wirkungsgrade .....	39
3.6.	Lichttechnische Stoffkennzahlen .....	40
4.	Einige für die Lichtmeßtechnik wichtige Gesetzmäßigkeiten und Beziehungen .....	43
4.1.	Lambertsches Kosinusetz .....	43
4.2.	Photometrisches Entfernungsgesetz .....	44
4.2.1.	Entfernungsgesetz bei punktförmigen Lichtquellen .....	44
4.2.2.	Entfernungsgesetz bei Lichtquellen endlicher Ausdehnung .....	46
4.2.3.	Photometrische Grenzentfernung .....	47
4.3.	Einiges zur Beleuchtungsstärke .....	49

8	<i>Inhalt</i>	
4.4.	Zusammenhang zwischen der Beleuchtungsstärke und der Leuchtdichte bei einer vollkommen diffus reflektierenden Fläche . . . . .	51
4.5.	Orientierende Berechnung der Lichtstärke einer Lichtquelle aus ihrem Gesamtlichtstrom . . . . .	52
4.6.	Abbesches Theorem . . . . .	52
4.7.	Leuchtdichte — maßgebende Größe für den Helligkeitseindruck . . . . .	53
5.	Grundsätzliches zur visuellen und physikalischen Photometrie . . . . .	55
5.1.	Visuelle Meßverfahren . . . . .	55
5.1.1.	Direkt-Vergleich . . . . .	55
5.1.2.	Filterverfahren . . . . .	56
5.2.	Vergleichsprinzipien bei visuellen Messungen . . . . .	57
5.2.1.	Gleichheitsprinzip . . . . .	57
5.2.2.	Kontrastprinzip . . . . .	60
5.2.3.	Flimmerprinzip . . . . .	60
5.3.	Beobachtungsbedingungen bei visuellen Messungen . . . . .	62
5.4.	Physikalische Meßverfahren . . . . .	63
5.4.1.	Grundsätzliches . . . . .	63
5.4.2.	Ausschlagsverfahren . . . . .	63
5.4.3.	Gleichheitsverfahren . . . . .	64
5.5.	Voraussetzungen für die Verwendung physikalischer Empfänger . . . . .	64
5.5.1.	Spektrale Empfindlichkeit . . . . .	64
5.5.1.1.	Anpassung an die $V(\lambda)$ -Kurve durch Filter (Filtermethode) . . . . .	64
5.5.1.2.	Anpassung an die $V(\lambda)$ -Kurve durch Blenden (Geometrische Methode) . . . . .	65
5.5.1.3.	Verwendung von Korrekturfaktoren . . . . .	65
5.5.2.	Proportionalität . . . . .	66
5.5.3.	Kosinusgetreue Bewertung . . . . .	66
5.5.4.	Konstanz der Anzeige . . . . .	68
5.5.5.	Temperaturabhängigkeit . . . . .	69
5.5.6.	Frequenzabhängigkeit und Trägheit . . . . .	69
6.	Die Strahlungsgesetze des Schwarzen Körpers . . . . .	70
6.1.	Kirchhoffsches Gesetz und Emissionsgrad . . . . .	70
6.2.	Der Schwarze Strahler . . . . .	72
6.3.	Plancksches Strahlungsgesetz . . . . .	72
6.4.	Stefan-Boltzmannsches Gesetz . . . . .	75
6.5.	Wiensches Verschiebungsgesetz . . . . .	76
7.	Verteilungstemperatur, Farbtemperatur, ähnlichste Farbtemperatur, Zusammenhang zwischen Kelvin und Mired . . . . .	77
7.1.	Verteilungstemperatur . . . . .	77
7.2.	Farbtemperatur . . . . .	78
7.3.	Ähnlichste Farbtemperatur . . . . .	78
7.4.	Zusammenhang zwischen Kelvin und Mired . . . . .	79

<i>Inhalt</i>	9
8.	Grundsätzliches über die elektrischen Voraussetzungen bei photometrischen Messungen . . . . . 82
8.1.	Stromversorgung . . . . . 84
8.2.	Elektrische Messungen . . . . . 85
8.2.1.	Schaltung der Meßinstrumente . . . . . 85
8.2.2.	Einiges zur Einregelung der Lampen auf die vorgegebenen elektrischen Werte . . . . . 86
8.2.3.	Elektrische Messungen an Entladungslampen . . . . . 87
9.	Lichtnormale . . . . . 91
9.1.	Historische Entwicklung . . . . . 91
9.2.	Verwirklichung des Schwarzen Strahlers . . . . . 92
9.3.	Lichtstärke-Normallampen . . . . . 95
9.4.	Lichtstrom-Normallampen . . . . . 97
9.5.	Entladungslampen als Lichtstrom-Normale . . . . . 97
10.	Die Schwächungsmethoden der Photometric . . . . . 99
10.1.	Anwendung des Entfernungsgesetzes . . . . . 99
10.2.	Rotierende Sektoren . . . . . 99
10.3.	Filter . . . . . 102
10.4.	Blenden . . . . . 103
10.5.	Polarisation . . . . . 104
10.6.	Weitere Lichtschwächungseinrichtungen . . . . . 106
11.	Grundsätzliche lichttechnische Messungen . . . . . 108
11.1	Messung der Lichtstärke . . . . . 108
11.1.1.	Messung auf der Photometerbank . . . . . 108
11.1.2.	Messung mit visuellen transportablen Photometern . . . . . 111
11.1.3.	Fehlermöglichkeiten bei der Lichtstärkemessung . . . . . 115
11.1.3.1.	Fehler durch Fremdlicht . . . . . 115
11.1.3.2.	Erforderliche Genauigkeit der Entfernungsablesung . . . . . 115
11.1.3.3.	Weitere Fehlermöglichkeiten . . . . . 116
11.1.4.	Physikalische Lichtstärkemessung . . . . . 117
11.2.	Messung der Leuchtdichte . . . . . 117
11.2.1.	Direkte visuelle Verfahren der Leuchtdichtebestimmung . . . . . 118
11.2.2.	Geräte zur visuellen Leuchtdichtemessung . . . . . 121
11.2.3.	Direkte physikalische Verfahren der Leuchtdichtebestimmung . . . . . 123
11.2.4.	Geräte zur physikalischen Messung der Leuchtdichte . . . . . 125
11.2.5.	Kalibrierung der Leuchtdichte-Meßgeräte . . . . . 127
11.2.6.	Indirekte Verfahren der Leuchtdichtebestimmung . . . . . 128
11.3.	Ermittlung der räumlichen Lichtverteilung . . . . . 130
11.3.1.	Ermittlung der Lichtverteilung . . . . . 130
11.3.2.	Darstellung der Lichtverteilung . . . . . 135
11.3.3.	Automatisierung der Lichtverteilungsmessung . . . . . 138
11.4.	Messung des Lichtstroms . . . . . 139

10	<i>Inhalt</i>	
11.4.1.	Bestimmung des Lichtstroms aus der räumlichen Lichtverteilung	139
11.4.1.1.	Numerische Ermittlung des Lichtstroms	142
11.4.1.2.	Graphische Ermittlung des Lichtstroms	143
11.4.2.	Messung des Lichtstroms mit der Ulbrichtschen Kugel	146
11.4.2.1.	Grundsätzliches	146
11.4.2.2.	Meßverfahren mit der Ulbrichtschen Kugel	148
11.4.2.3.	Fehlereinflüsse	149
11.4.2.4.	Automatisierung der Lichtstrommessung	154
11.5.	Messung der Beleuchtungsstärke	154
11.5.1.	Allgemeines	154
11.5.2.	Physikalische Messung der Beleuchtungsstärke	155
11.5.3.	Handelsübliche und in der Literatur beschriebene Geräte	155
11.5.4.	Einige Gesichtspunkte zur Beleuchtungsstärkemessung	157
11.6.	Messung der Verteilungstemperatur	158
11.6.1.	Bestimmung der Verteilungstemperatur durch Vergleich von Farbeindrücken	158
11.6.2.	Beispiele zur Ermittlung der Verteilungstemperatur durch Vergleich von Farbeindrücken	159
11.6.2.1.	Ermittlung von Verteilungstemperaturen unter 2856 K	159
11.6.2.2.	Ermittlung von Verteilungstemperaturen über 2856 K	160
11.6.3.	Bestimmung der Verteilungstemperatur aus dem Verhältnis der Strahlungsleistungen in zwei Wellenlängenbereichen	161
11.6.3.1.	Theoretische Betrachtungen	161
11.6.3.2.	Physikalische Messung der Verteilungstemperatur	162
11.6.3.2.1.	Meßverfahren mit einem Empfänger	162
11.6.3.2.2.	Meßverfahren mit zwei Empfängern	163
11.6.3.2.3.	Weitere Meßverfahren	165
11.6.4.	Kalibrierung der Verteilungstemperatur-Meßgeräte	166
11.6.4.1.	Experimentelle Kalibrierung	166
11.6.4.2.	Rechnerische Kalibrierung	166
11.7.	Messung der Lichtmenge	167
11.7.1.	Ermittlung der Lichtmenge aus der Lichtstrom-Zeit-Charakteristik bzw. der photographischen Wirkung	167
11.7.2.	Photoelektrische Verfahren der Lichtmengenbestimmung	168
12.	Spezielle lichttechnische Messungen	171
12.1.	Messung lichttechnischer Stoffkennzahlen	171
12.1.1.	Allgemeines	171
12.1.2.	Messungen in der Ulbrichtschen Kugel bei gerichtetem Lichteinfall	171
12.1.2.1.	Meßanordnung	171
12.1.2.2.	Messung des Reflexionsgrades bei gerichtetem Lichteinfall	173
12.1.2.3.	Messung des Transmissionsgrades bei gerichtetem Lichteinfall	173
12.1.3.	Messungen in der Ulbrichtschen Kugel bei diffusem Lichteinfall	174
12.1.3.1.	Messung des Reflexionsgrades $\rho_{\text{dif}}$	174
12.1.3.2.	Messung des Transmissionsgrades $\tau_{\text{dif}}$	174
12.1.4.	Messung des Reflexionsgrades nach dem Taylorschen Verfahren	175
12.1.5.	Messung des Reflexionsgrades bei spiegelnder Reflexion	176
12.1.6.	Messung des Transmissionsgrades bei nicht streuenden Medien	177

<i>Inhalt</i>	11
12.1.7. Messung des Leuchtdichtefaktors .....	177
12.1.8. Ermittlung der Streuindikatrix, des Halbwertswinkels und des Streuvermögens .....	177
12.2. Messung der Durchlässigkeit optischer Systeme .....	179
12.2.1. Allgemeines .....	179
12.2.2. Messung der Durchlässigkeit unter Verwendung einer Ulbricht- schen Kugel .....	180
12.2.3. Bestimmung des Transmissionsgrades von Objektiven mittels zweier Leuchtdichtemessungen .....	181
12.2.4. Messung des Transmissionsgrades von Optiken mit Hilfe eines Kollimators .....	182
12.3. Lichttechnische Messungen an Bildwerfern .....	183
12.3.1. Berechnung des Nutzlichtstroms .....	183
12.3.2. Messung des Nutzlichtstroms .....	185
12.4. Lichttechnische Messungen an Scheinwerfern .....	186
12.4.1. Lichtstärke .....	186
12.4.2. Lichtverteilung .....	188
12.4.3. Streuung .....	190
12.4.4. Nutzlichtstrom .....	192
12.4.5. Leuchtenwirkungsgrad, Nutzwirkungsgrad, Bündelungsgrad ...	192
12.4.6. Mindestabstand bei der Ermittlung der Lichtstärke .....	192
13. Photographische Photometrie .....	194
14. Grundbegriffe der Farbvalenzmetrik .....	196
14.1. Farbreiz, Farbempfindung, Farbvalenz .....	196
14.2. Farbmerkmale .....	197
14.3. Die trichromatischen Farbmaßzahlen .....	198
14.4. Der Begriff der Helligkeit .....	202
14.5. Die geometrische Darstellung der Farben .....	204
14.5.1. Darstellung im Farbenraum .....	204
14.5.2. Darstellung in der Farbtafel .....	205
14.6. 10°-Normvalenz-System .....	208
14.7. Helmholtz-Farbmaßzahlen .....	210
14.8. Maßzahlen der DIN-Farbenkarte .....	212
14.9. Farbmeßverfahren .....	214
14.9.1. Spektralverfahren .....	214
14.9.1.1. Spektralphotometrische Messung .....	215
14.9.1.2. Valenzmetrische Auswertung .....	215
14.9.1.3. Auswahlordinatenverfahren .....	218
14.9.2. Dreibereichsverfahren .....	219
14.9.3. Gleichheitsverfahren .....	220
15. Eigenschaften der in der Lichtmeßtechnik verwendeten physika- lischen Empfänger .....	221
15.1. Photozellen .....	221
15.1.1. Strom-Spannungs-Kennlinie .....	222

12	<i>Inhalt</i>	
15.1.2.	Spektrale Empfindlichkeit .....	224
15.1.3.	Gesamtempfindlichkeit .....	229
15.1.4.	Proportionalität .....	229
15.1.5.	Kosinusabhängigkeit .....	231
15.1.6.	Örtliche und zeitliche Konstanz .....	231
15.1.7.	Temperaturabhängigkeit .....	232
15.1.8.	Frequenzabhängigkeit .....	232
15.2.	Photoelemente .....	234
15.2.1.	Aufbau und Wirkungsweise .....	234
15.2.2.	Spektrale Empfindlichkeit .....	235
15.2.3.	Gesamtempfindlichkeit .....	237
15.2.4.	Proportionalität .....	237
15.2.5.	Kosinusabhängigkeit .....	240
15.2.6.	Örtliche und zeitliche Konstanz .....	241
15.2.7.	Temperaturabhängigkeit .....	244
15.2.8.	Frequenzabhängigkeit .....	245
15.3.	Photovervielfacher .....	246
15.3.1.	Aufbau und Wirkungsweise .....	246
15.3.2.	Spektrale Empfindlichkeit .....	247
15.3.3.	Gesamtempfindlichkeit .....	247
15.3.4.	Dunkelstrom .....	248
15.3.5.	Proportionalität .....	248
15.3.6.	Kosinusabhängigkeit .....	249
15.3.7.	Örtliche und zeitliche Konstanz .....	249
15.3.8.	Temperaturabhängigkeit .....	250
15.3.9.	Frequenzabhängigkeit .....	250
16.	Einiges über die Einrichtung eines lichttechnischen Laboratoriums .....	251
16.1	Räume und Einrichtungen .....	251
16.2.	Photometrische Geräte .....	254
16.3.	Elektrische Einrichtungen .....	256
16.3.1.	Stromversorgung .....	256
16.3.2.	Elektrische Meßinstrumente .....	256
16.4.	Brenndauerversuche .....	257
17.	Tabellen .....	261
18.	Zusammenstellung einiger lichttechnischer Begriffe in Deutsch, Englisch, Französisch und Russisch .....	282
19.	Literatur .....	291
19.1.	Seit 1930 erschienene Bücher über Lichttechnik, Lichtmeßtechnik und Farbvalenzmetrik .....	291
19.2.	Im Text zitierte Literatur .....	295
	Namenregister .....	316
	Sachregister .....	317