

# Inhalt

Vorwort zur 7. Auflage.....	5
<b>1 Lichttechnische Grundlagen .....</b>	<b>19</b>
1.1 Physikalische Grundlagen.....	19
1.1.1 Elektromagnetische Wellen.....	19
1.1.2 Lichtquellen.....	22
1.1.3 Normlichtarten.....	23
1.2 Größen und Einheiten.....	24
1.2.1 Spektrale Hellempfindlichkeit.....	24
1.2.2 Lichtstrom $\Phi$ .....	25
1.2.3 Lichtmenge $Q$ .....	26
1.2.4 Raumwinkel $\Omega$ .....	27
1.2.5 Lichtstärke $I$ .....	28
1.2.6 Beleuchtungsstärke $E$ .....	30
1.2.6.1 Fotometrische Grenzfernung.....	35
1.2.7 Leuchtdichte $L$ .....	35
1.2.8 Lichtstärkeverteilungskurve LVK.....	37
1.2.8.1 Polarkoordinatensystem.....	37
1.2.8.2 Kartesisches Koordinatensystem.....	38
1.2.8.3 Halbwertswinkel.....	39
1.2.9 Kontrastwiedergabefaktor $CRF$ .....	40
1.3 Lichtausbeute $\eta$ .....	41
1.4 Licht und Farbe.....	43
1.4.1 Farbtemperatur $T_{cp}$ .....	44
1.4.2 Farbwiedergabe-Index $R_a$ bzw. $CRI$ .....	45
1.4.3 Bezeichnung von Lichtquellen.....	47
1.4.4 Das Farbdreieck.....	47
1.5 Optische Eigenschaften der Materie.....	49
1.5.1 Absorption.....	49
1.5.2 Transmission.....	50
1.5.3 Reflexion.....	50
1.5.4 Zusammenhänge.....	52

<b>2</b>	<b>Licht und Sehen</b> .....	53
2.1	Sehen und Erkennen .....	53
2.1.1	Das Auge .....	53
2.1.1.1	Eigenschaften .....	54
2.1.1.2	Farbwahrnehmung .....	56
2.2	Wirkungen auf den Menschen .....	57
2.2.1	Gesundheitliche und psychische Einwirkungen .....	57
2.2.1.1	Licht als Zeitgeber .....	58
2.2.2	Licht und Arbeitsbedingungen .....	59
2.2.3	Dynamisches Licht .....	62
2.2.3.1	Lichttherapie .....	62
2.2.3.2	Human Centric Lighting HCL .....	63
2.3	Störeinflüsse .....	64
2.3.1	Blendung .....	64
2.3.1.1	Schleierleuchtdichte .....	65
2.3.1.2	Reflexblendung .....	66
2.3.2	Störende Lichtquellen .....	68
<b>3</b>	<b>Lichtquellen</b> .....	71
3.1	Übersicht über die Lichtquellen .....	71
3.1.1	Lichtwirtschaft .....	72
3.1.2	Bezeichnung elektrischer Lichtquellen .....	74
3.1.3	Sockelsysteme .....	75
3.1.4	Lebensdauer von Lichtquellen .....	77
3.1.5	Helligkeitssteuerung .....	78
3.2	Temperaturstrahler .....	80
3.2.1	Glühlampen .....	81
3.2.2	Halogenlichtquellen .....	82
3.2.2.1	Betrieb von Halogenlichtquellen .....	83
3.2.2.2	Elektrische Dimensionierung .....	84
3.2.2.3	Dimmen von Halogenlichtquellen .....	85
3.3	Niederdruck-Entladungslichtquellen .....	85
3.3.1	Leuchtstofflichtquellen .....	88
3.3.1.1	Aufbau und Funktionsweise .....	88
3.3.1.2	Lichtfarbe und Farbwiedergabe-Eigenschaft .....	91
3.3.1.3	Anwendung der Leuchtstofflichtquellen .....	92
3.3.1.4	Start und Betrieb mit 50 Hz .....	94
3.3.1.5	Elektronische Vorschaltgeräte EVG .....	95
3.3.1.6	Kompaktleuchtstofflichtquellen steckbar .....	96
3.3.1.7	Dimmen von Leuchtstoff- und Kompaktleuchtstofflichtquellen .....	98

---

3.4	Hochdruck-Entladungslichtquellen.....	98
3.4.1	Hochdruck-Natriumlichtquellen .....	99
3.4.2	Metall-Halogenidlichtquellen.....	100
3.4.2.1	Metall-Halogenidlichtquellen mit Quarzbrenner .....	100
3.4.2.2	Metall-Halogenidlichtquellen mit Keramikbrenner .....	102
3.4.3	Betriebssysteme für Hochdrucklichtquellen.....	102
3.4.4	Dimmen von Hochdrucklichtquellen .....	103
3.5	Lichtmanagementsysteme .....	104
3.5.1	Drahtgebundene Systeme .....	104
3.5.1.1	Analog 1... 10 V .....	105
3.5.1.2	DALI – digitale Lichtsteuerung .....	105
3.5.1.3	DMX.....	106
3.5.1.4	DigitalSTROM.....	106
3.5.2	Drahtlose Systeme.....	106
3.5.2.1	ZigBee.....	106
3.5.2.2	EnOcean .....	106
3.5.2.3	Bluetooth .....	107
3.5.2.4	WLAN .....	107
3.6	Leuchtenbetrieb und Umwelt .....	107
3.6.1	Elektromog von Kompaktleuchtstoff- und LED-Lichtquellen.....	107
3.6.2	Quecksilber – kein großes Problem.....	108
3.6.3	Blaulichtgefährdung durch LED.....	108
3.7	Energieetikette .....	110
3.8	Recycling von Lichtquellen.....	111
3.9	Wechsel der Lichtquellen.....	112
3.9.1	Lichtquellenaustausch.....	113
3.9.1.1	Einzelwechsel .....	113
3.9.1.2	Gruppenwechsel .....	114
3.9.1.3	Dringlicher Lichtquellenwechsel .....	115
3.10	LED – Light-Emitting Diodes .....	116
3.10.1	Funktionsweise und Herstellung .....	117
3.10.1.1	Funktionsweise.....	117
3.10.1.2	Herstellung.....	121
3.10.1.3	Binning und MacAdam .....	122
3.10.2	Effizienz, Wirkungsgrad, Lebensdauer.....	123
3.10.2.1	Effizienz und Wirkungsgrad.....	123
3.10.2.2	LED-Effizienz ist nicht gleich Leuchten-Effizienz .....	125
3.10.2.3	Lebensdauer der LED.....	126
3.10.3	Stromversorgung von LEDs .....	130
3.10.3.1	Betrieb am Vorwiderstand.....	130
3.10.3.2	Spannungsgesteuerte LEDs.....	131
3.10.3.3	Stromgesteuerte LEDs.....	131

3.10.4	Dimmen der LEDs .....	132
3.10.4.1	Amplitudenmodulation AM .....	132
3.10.4.2	Pulsweitenmodulation PWM .....	133
3.10.4.3	Kombination von AM mit PWM .....	133
3.10.4.4	Änderung der Farbtemperatur .....	134
3.11	OLED .....	134
3.11.1	Aufbau .....	135
3.11.2	Betrieb der OLED .....	136
3.11.3	Dimmen der OLED .....	137
3.12	LED-Retrofitlichtquellen .....	137
3.12.1	Aufbau .....	138
3.12.2	Dimmen von LED-Retrofitlichtquellen.....	140
3.12.2.1	Dimmen mit Phasendimmern.....	140
3.12.2.2	Dimmen über digitale netzüberlagerte Signale.....	141
3.12.2.3	Dimmen über den Lichtschalter.....	142
3.12.3	LED-Röhren als Ersatz für Leuchtstofflichtquellen .....	142
3.13	Zhaga spezifiziert LED-Standards.....	144
<b>4</b>	<b>Leuchten.....</b>	<b>145</b>
4.1	Materialeigenschaften.....	146
4.1.1	Lichttechnische Eigenschaften.....	146
4.1.2	Langzeiteigenschaften .....	148
4.1.3	Reflektorformen .....	148
4.2	Leuchtenspezifikationen.....	151
4.2.1	Einteilung.....	151
4.2.2	Lichttechnische Eigenschaften.....	153
4.2.2.1	Lichtstromverteilung.....	153
4.2.2.2	Lichtstärkeverteilung.....	154
4.2.2.3	Leuchtdichteverteilung.....	155
4.2.2.4	Leuchten(betriebs)wirkungsgrad .....	156
4.2.3	Sicherheitstechnische Anforderungen .....	157
4.2.3.1	Schutzklassen .....	157
4.2.3.2	Schutzarten .....	158
4.2.3.3	Funkstörschutz .....	161
4.2.3.4	Brandschutz.....	161
4.2.3.5	Explosionsschutz .....	162
4.2.3.6	IK-Stoßfestigkeitsgrad .....	163
4.2.3.7	Ballwurfsicherheit .....	163
4.3	Leuchtentypen.....	164
4.3.1	LED-Leuchten .....	164
4.3.1.1	Technische Daten einer LED-Leuchte.....	165

---

4.3.1.2	EU-Produktedatenbank EPREL.....	166
4.3.1.3	Ausführungsformen .....	167
4.4	Klimaleuchten mit Abluftführung.....	169
<b>5</b>	<b>Beleuchtungsplanung im Innenraum.....</b>	<b>173</b>
5.1	Grundlegendes zur Planung .....	173
5.2	Planung und Informationsumfeld.....	173
5.2.1	Zweckbestimmung der Räume.....	173
5.2.2	Lage des Beleuchtungsobjekts .....	174
5.2.3	Örtliche und klimatische Verhältnisse .....	174
5.2.4	Raumgestaltung .....	174
5.2.5	Personelle Angaben.....	175
5.2.6	Leuchtmittelauswahl.....	176
5.3	Auswirkungen von Projektierungsfehlern .....	176
5.4	Grundgebote für die Projektierung.....	177
5.4.1	Leuchtdichte Verteilung.....	178
5.4.1.1	Kontrastsehen .....	179
5.4.2	Beleuchtungsstärke .....	181
5.4.2.1	Beleuchtungsstärkestufen .....	183
5.4.2.2	Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke.....	186
5.4.2.3	Wartungswert und Wartungsfaktor .....	187
5.4.3	Blendungsbegrenzung .....	191
5.4.3.1	UGR-Verfahren.....	192
5.4.3.2	Reflexblendung.....	198
5.4.4	Lichtrichtung.....	199
5.4.4.1	Modelling.....	200
5.4.4.2	Schattigkeit .....	200
5.4.5	Lichtfarbe und Farbwiedergabe.....	201
5.4.5.1	Lichtfarbe.....	201
5.4.5.2	Farbwiedergabe.....	202
5.4.6	Flimmern .....	202
5.4.7	Variabilität.....	202
5.5	Lichttechnische Berechnungen.....	202
5.5.1	Richtwerte .....	203
5.5.2	Punktbeleuchtungsmethode .....	204
5.5.3	Wirkungsgradmethode.....	206
5.5.3.1	Raumwirkungsgrad $\eta_R$ .....	207
5.5.3.2	Beleuchtungswirkungsgrad $\eta_B$ .....	211
5.5.3.3	Dimensionierung der Beleuchtung.....	213
5.5.3.4	UGR-Blendungsbewertung .....	217
5.5.3.5	Auswirkungen von Planungsfehlern .....	219

---

5.5.4	Computerunterstützte Planung .....	220
5.5.4.1	Grundlegende Funktionsweise .....	221
5.5.4.2	Rechengenauigkeit .....	225
5.6	Wahl der Beleuchtungsart .....	226
5.6.1	Beleuchtungskonzept .....	226
5.6.1.1	Tageslichtergänzungsbeleuchtung .....	226
5.6.1.2	Allgemeinbeleuchtung .....	227
5.6.1.3	Arbeitsplatzorientierte Allgemeinbeleuchtung .....	227
5.6.1.4	Einzelplatzbeleuchtung .....	227
5.6.2	Beleuchtungssysteme .....	228
5.6.2.1	Direktbeleuchtung .....	228
5.6.2.2	Indirektbeleuchtung .....	229
5.6.2.3	Direkt-/Indirektbeleuchtung .....	230
5.7	Wirtschaftlichkeit .....	231
5.7.1	Kosten der Beleuchtung .....	231
5.7.2	Kapitalrückflusszeit .....	232
<b>6</b>	<b>Ausführung von Innenraumanlagen .....</b>	<b>235</b>
6.1	Allgemeine Gesichtspunkte .....	235
6.1.1	Checkliste zur Planung .....	235
6.1.1.1	Raumeindruck .....	236
6.1.1.2	Tätigkeiten im Raum .....	236
6.1.1.3	Lichttechnische Gütemerkmale .....	237
6.1.1.4	Bauliche Gesichtspunkte .....	238
6.1.1.5	Leuchtenart .....	239
6.1.1.6	Planungsschritte .....	239
6.2	Büro und Verwaltung .....	241
6.2.1	Räume mit normalen Bürotätigkeiten .....	246
6.2.1.1	Zellenbüro .....	246
6.2.1.2	Gruppenbüro .....	247
6.2.1.3	Großraumbüro .....	248
6.2.2	Räume mit vorwiegend Bildschirmtätigkeit .....	249
6.2.3	Allgemeine Zonen .....	253
6.3	Unterrichtsstätten .....	254
6.3.1	Normale Unterrichtsräume .....	254
6.3.2	Hörsäle .....	258
6.4	Industrielle Räume .....	259
6.4.1	Anforderungen .....	259
6.4.1.1	Beleuchtungsstärke .....	259
6.4.1.2	Leuchtdichtevertellung .....	261
6.4.1.3	Blendungsbegrenzung .....	262

---

6.4.1.4	Lichtrichtung und Schattigkeit.....	262
6.4.2	Auswahl der Lichtquellen .....	262
6.4.3	Leuchtenwahl .....	263
6.4.3.1	Raumhöhe und Leuchtauswahl .....	264
6.4.4	Raumfunktion und Beleuchtungsart.....	266
6.4.4.1	Anordnung von Lichtbändern .....	266
6.4.5	Spezielle Schaufgaben .....	269
6.4.5.1	Spezielle Leuchtenanordnung .....	269
6.4.5.2	Kontrolltätigkeiten.....	270
6.4.6	Nebenräume.....	271
6.5	Handwerk und Gewerbe.....	272
6.5.1	Landwirtschaft .....	273
6.5.2	Kfz- und Autolackierwerkstätten .....	274
6.5.3	Bauschreinerei und Tischlerei.....	275
6.5.4	Feinmechanische Werkstätten .....	276
6.6	Schaufenster und Verkaufsräume .....	276
6.6.1	Schaufenster .....	276
6.6.1.1	Planerische Hinweise .....	278
6.6.1.2	Ausbleichen von Farben .....	280
6.6.1.3	Variable Leuchtenstandorte.....	281
6.6.2	Verkaufsräume .....	283
6.6.2.1	Spezifische Funktionen der Beleuchtung .....	283
6.6.2.2	Planungsgrundsätze .....	285
6.6.2.3	Beleuchtungskonzepte .....	286
6.6.2.4	Differenzierte Verkaufsraumbeleuchtung .....	291
6.7	Gastgewerbe .....	292
6.7.1	Eingangszonen .....	292
6.7.2	Restauranräume .....	294
6.7.2.1	Räume mit gehobenen Ansprüchen .....	295
6.7.2.2	Schnellimbissräume.....	296
6.7.3	Treppen und Flure.....	297
6.7.4	Hotelzimmer .....	298
6.8	Krankenräume.....	299
6.8.1	Bettenräume.....	300
6.8.2	Untersuchungs- und Behandlungsräume .....	302
6.8.3	Operationssaal.....	303
6.9	Sporthallen.....	304
6.9.1	Anforderungen .....	304
6.9.1.1	Beleuchtungsklassen .....	304
6.9.1.2	Beleuchtungsstärke .....	306
6.9.1.3	Blendungsbegrenzung .....	308
6.9.2	Tennishallen.....	309

---

6.9.3	Squash-Hallen.....	309
6.9.4	Kegelbahnen .....	310
6.9.5	Schießstände .....	310
6.9.6	Reithallen.....	311
6.10	Tageslichtsysteme.....	311
6.10.1	Die Sonne als Universallichtquelle.....	311
6.10.1.1	Tageslichtquotient .....	312
6.10.1.2	Fenster als Lichtfilter .....	314
6.10.1.3	Grundregeln.....	315
6.10.2	Oberlichtsysteme mit Ausblendraster.....	317
6.10.3	Seitenlichtsysteme.....	318
6.10.4	Heliostate .....	319
6.11	Tageslicht und regelbares Kunstlicht .....	320
6.11.1	Regelkonzepte.....	321
6.11.1.1	Messen der Leuchtdichte auf einer repräsentativen Fläche.....	321
6.11.1.2	Messen der Fensterleuchtdichte in einem Einzelraum.....	322
6.11.1.3	Lichtmanagementsystem .....	323
6.11.2	Sensor-Technologien.....	325
6.11.2.1	PIR Passiv-Infrarot-Präsenzmelder.....	327
6.11.2.2	HF Hochfrequenz-Melder.....	329
6.11.2.3	US Ultraschall-Melder.....	329
6.11.2.4	Bild-Sensorik.....	329
6.11.2.5	Anwendung .....	330
6.11.2.6	Kombination von Sensortechnologien .....	331
6.11.2.7	Sensorleuchten .....	331
6.11.3	Lichtmanagement und Energieeinsparung.....	331
6.11.3.1	Unnötigen Energieverbrauch verhindern .....	331
6.12	Notbeleuchtung .....	332
6.12.1	Arten der Notbeleuchtung.....	333
6.12.2	Ersatzbeleuchtung .....	334
6.12.3	Sicherheitsbeleuchtung .....	335
6.12.3.1	Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege .....	337
6.12.3.2	Flächenbeleuchtung (Antipanikbeleuchtung) .....	339
6.12.3.3	Sicherheitsbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung .....	339
6.12.4	Sicherheitszeichen .....	340
6.12.5	Schaltung der Sicherheitsbeleuchtung.....	341
6.12.6	Notbeleuchtung projektieren .....	342
6.12.6.1	Lichttechnische Projektierung .....	344
6.12.6.2	Anlagedokumentation und Abnahmeprüfung.....	347
6.13	Elektrizitätsbedarf für Beleuchtungszwecke.....	347
6.13.1	Berechnung des Elektrizitätsbedarfs.....	349



---

<b>7</b>	<b>Wartung und Sanierung von Innenraumanlagen</b> .....	353
7.1	Wartungsfaktor.....	353
7.1.1	Wartungsplanung.....	354
7.1.2	Wartungsplanarten und Wartungsplantypen.....	354
7.2	Sanierungsgründe.....	355
7.2.1	Veraltete Beleuchtungsanlagen.....	356
7.2.2	Bessere Ergonomie.....	356
7.2.3	Hohes Energieeinspar-Potential.....	357
7.3	Vorgehen bei der Beleuchtungssanierung.....	358
7.3.1	Sehaufgaben.....	358
7.3.2	Tageslichtbeleuchtung.....	358
7.3.3	Beleuchtungskonzept.....	358
7.3.3.1	Beleuchtungsart.....	359
7.3.4	Technische Anforderungen.....	359
7.3.5	Alternativlösungen.....	360
<b>8</b>	<b>Beleuchtungsanlagen im Freien</b> .....	363
8.1	Straßenbeleuchtung.....	363
8.1.1	Blendungsbegrenzung.....	365
8.1.1.1	Psychologische Blendung.....	365
8.1.1.2	Physiologische Blendung.....	366
8.1.2	Gütemerkmale.....	368
8.1.3	Fahrbahnklassen.....	369
8.1.4	Berechnungsmethoden.....	371
8.1.4.1	Berechnung der Leuchtdichte.....	371
8.1.4.2	Berechnung der Beleuchtungsstärke.....	373
8.1.5	Beleuchtungsklassen.....	375
8.1.5.1	Bestimmen der Beleuchtungsklasse.....	376
8.1.5.2	Beleuchtungsklasse M1 bis M6.....	378
8.1.5.3	Beleuchtungsklasse P1 bis P6.....	379
8.1.5.4	Beleuchtungsklasse C0 bis C5.....	381
8.1.6	Betrieb und Wartung.....	382
8.1.6.1	Dynamische Beleuchtung.....	382
8.1.6.2	Effizienz von Straßenbeleuchtungsanlagen.....	383
8.1.6.3	Wartungsfaktor.....	385
8.1.6.4	Konstant-Lichtstrom CLO.....	387
8.1.7	Fußgängerbereiche.....	388
8.1.7.1	Halbzylindrische Beleuchtungsstärke.....	388
8.1.7.2	Vertikale Beleuchtungsstärke.....	388
8.1.7.3	Halbsphärische Beleuchtungsstärke.....	389
8.1.8	Parkplätze und Tankstellen.....	389

8.1.9	Fußgängerüberwege .....	390
8.1.10	Beleuchtung von Straßentunneln .....	392
8.1.10.1	Streckenabschnitte .....	393
8.1.10.2	Planungsgrößen .....	394
8.1.10.3	Beleuchtungsarten .....	395
8.1.10.4	Flickereffekt .....	396
8.1.10.5	Tunnelklassen .....	396
8.2	Arbeitsplätze im Freien .....	397
8.2.1	Beleuchtungsstärke .....	398
8.2.1.1	Beleuchtungsstärke der Umgebung .....	398
8.2.2	Störlicht .....	399
8.3	Fassadenanstrahlung .....	400
8.4	Sportanlagen .....	401
8.4.1	Außenanlagen .....	402
8.4.1.1	Fußballstadien UEFA/FIFA .....	404
8.4.1.2	Flutlicht für Fußballstadien .....	405
8.4.1.3	Lichtquellen und Leuchten .....	407
8.4.2	Fußballplätze .....	407
8.4.3	Tennisplätze .....	409
8.5	Lichtimmissionen und Ökologie .....	410
8.5.1	Schutz nachtaktiver Insekten .....	413
<b>9</b>	<b>Pflanzenbestrahlung .....</b>	<b>415</b>
9.1	Biologische Reaktionen auf Licht .....	415
9.1.1	Photosynthetisch aktive Strahlung PAR .....	417
9.2	Strahlungsquellen .....	418
9.3	Praktische Hinweise .....	421
<b>10</b>	<b>Lichttechnische Messungen .....</b>	<b>423</b>
10.1	Grundlagen .....	423
10.1.1	Lichtelektrische Empfänger .....	424
10.1.2	Genauigkeitseinflüsse .....	425
10.1.3	Messgeräte für die Praxis .....	431
10.1.3.1	Beleuchtungsstärkemesser .....	431
10.1.3.2	Leuchtdichtemesser .....	431
10.1.3.3	Weitere Messgeräte .....	432
10.2	Messungen an Leuchten .....	433
10.2.1	Lichtstärkeverteilung .....	434
10.2.2	Leuchtdichtemessung .....	436
10.2.3	Leuchten-Betriebswirkungsgrad .....	436

---

10.3	Messungen im Innenraum.....	437
10.3.1	Messung der Beleuchtungsstärke.....	438
10.3.1.1	Leere Räume .....	439
10.3.1.2	Räume mit Inneneinrichtungen.....	440
10.3.1.3	Darstellung der Beleuchtungsstärkeverteilung .....	441
10.3.1.4	Messung des Tageslichtquotienten .....	441
10.3.2	Messung der Leuchtdichte.....	443
10.3.2.1	Örtliche Leuchtdichte .....	443
10.3.2.2	Mittlere Leuchtdichte .....	444
10.3.3	Reflexion der Raumbegrenzungsfläche.....	444
10.3.4	Farben messen .....	445
10.3.5	Einflussgrößen .....	446
10.3.6	Auswerten der Messung.....	447
10.3.6.1	Korrekturfaktoren.....	447
10.3.6.2	Messprotokoll .....	449
10.3.6.3	Genauigkeit der Messung .....	449
11	Normen.....	451
12	Wichtige Formelzeichen.....	457
	Stichwortverzeichnis .....	459