

# Inhalt

Vorwort zur 5. Auflage .....	5	
1	Lichttechnische Grundlagen .....	17
1.1	Physikalische Grundlagen .....	17
1.1.1	Elektromagnetische Wellen .....	17
1.1.2	Lichtquellen .....	20
1.1.3	Normlichtarten .....	21
1.2	Größen und Einheiten .....	22
1.2.1	Spektrale Hellempfindlichkeit .....	22
1.2.2	Lichtstrom $\Phi$ .....	23
1.2.3	Lichtmenge $Q$ .....	24
1.2.4	Raumwinkel $\Omega$ .....	25
1.2.5	Lichtstärke $I$ .....	26
1.2.6	Beleuchtungsstärke $E$ .....	28
1.2.6.1	Fotometrische Grenztfentfernung .....	33
1.2.7	Leuchtdichte $L$ .....	33
1.2.8	Lichtstärkeverteilungskurve LVK .....	35
1.2.8.1	Polarkoordinatensystem .....	35
1.2.8.2	Kartesisches Koordinatensystem .....	36
1.2.8.3	Halbwertswinkel .....	37
1.2.9	Kontrastwiedergabefaktor CRF .....	38
1.3	Lichtausbeute $\eta$ .....	39
1.4	Licht und Farbe .....	41
1.4.1	Farbtemperatur $T_F$ .....	42
1.4.2	Farbwiedergabe-Index $R_a$ bzw. CRI .....	43
1.4.3	Lampenbezeichnung .....	45
1.4.4	Das Farbdreieck .....	46
1.5	Optische Eigenschaften der Materie .....	47
1.5.1	Absorption .....	48
1.5.2	Transmission .....	48
1.5.3	Reflexion .....	48
1.5.4	Zusammenhänge .....	50
2	Licht und Sehen .....	51
2.1	Sehen und Erkennen .....	51
2.1.1	Das Auge .....	51

2.1.1.1	Eigenschaften . . . . .	52
2.1.1.2	Farbwahrnehmung . . . . .	54
2.2	Wirkungen auf den Menschen . . . . .	55
2.2.1	Gesundheitliche und psychische Einwirkungen . . . . .	55
2.2.1.1	Licht als Zeitgeber . . . . .	56
2.2.2	Licht und Arbeitsbedingungen . . . . .	57
2.2.3	Dynamisches Licht . . . . .	60
2.2.3.1	Lichttherapie . . . . .	60
2.2.3.2	Dynamisches Licht am Arbeitsplatz . . . . .	61
2.3	Störeinflüsse . . . . .	62
2.3.1	Blendung . . . . .	62
2.3.1.1	Schleierleuchtdichte . . . . .	62
2.3.1.2	Reflexblendung . . . . .	64
2.3.2	Störende Lampeneinflüsse . . . . .	66
3	Lampen . . . . .	67
3.1	Übersicht über die Lampensysteme . . . . .	67
3.1.1	Lichtwirtschaft . . . . .	68
3.1.2	Bezeichnung elektrischer Lampen . . . . .	70
3.1.3	Lampensockel . . . . .	73
3.1.4	Lebensdauer von Lampen . . . . .	73
3.1.5	Helligkeitssteuerung . . . . .	76
3.2	Temperaturstrahler . . . . .	78
3.2.1	Glühlampen . . . . .	78
3.2.2	HalogenGlühlampen . . . . .	82
3.2.2.1	Funktionsprinzip . . . . .	82
3.2.2.2	IRC-Halogenlampen . . . . .	85
3.2.2.3	Betrieb von HalogenGlühlampen . . . . .	87
3.2.2.4	Elektrische Dimensionierung . . . . .	88
3.2.2.5	Dimmen von HalogenGlühlampen . . . . .	91
3.3	Niederdruck-Entladungslampen . . . . .	93
3.3.1	Leuchtstofflampen . . . . .	95
3.3.1.1	Aufbau und Funktionsweise . . . . .	96
3.3.1.2	Lichtfarbe und Farbwiedergabe-Eigenschaft . . . . .	98
3.3.1.3	Anwendung verschiedener Leuchtstofflampen . . . . .	100
3.3.1.4	Start und Betrieb mit 50 Hz . . . . .	102
3.3.1.5	Elektronische Vorschaltgeräte EVG . . . . .	107
3.3.1.6	Kompakteuchtstofflampen steckbar . . . . .	110
3.3.1.7	Energiesparlampen . . . . .	113
3.3.1.8	Vergleich zwischen Halogen-Glühlampe und Energiesparlampe . . . . .	115
3.3.1.9	Dimmen von Leuchtstoff- und Kompakteuchtstofflampen . . . . .	115

---

3.3.1.10	Dimmen von Leuchtstoff- und Kompakteuchtstofflampen im 50-Hz-Betrieb .....	116
3.3.1.11	Dimmen von Leuchtstoff- und Kompakteuchtstofflampen im EVG-Betrieb .....	116
3.3.2	Natrium Jampf-Niederdrucklampe .....	117
3.4	Hochdruck-Entladungslampen .....	119
3.4.1	Natriumdampf-Hochdrucklampe .....	120
3.4.2	Quecksilberdampf-Hochdrucklampen .....	124
3.4.3	Halogen-Metalldampflampen .....	125
3.4.3.1	Halogen-Metalldampflampen mit Quarzbrenner .....	125
3.4.3.2	Halogen-Metalldampflampen mit Keramikbrenner .....	129
3.4.4	Mischlichtlampe .....	130
3.4.5	Betriebssysteme für Hochdruck-Entladungslampen .....	130
3.4.6	Dimmen von Hochdruck-Entladungslampen .....	132
3.4.6.1	Dimmen von Natriumdampf-Hochdrucklampen .....	134
3.4.6.2	Dimmen von Quecksilberdampf-Hochdrucklampen .....	135
3.4.6.3	Dimmen von Halogen-Metalldampflampen .....	136
3.5	Digitale Lichtsteuerung - DALI .....	137
3.5.1	DALI: Individuell programmierbar .....	138
3.5.2	DALI: Für Einzelraumregelung .....	138
3.6	Lampenbetrieb und Umwelt .....	139
3.6.1	Energiesparlampen und Elektrosmog .....	139
3.6.2	Energiesparlampen und Quecksilber .....	140
3.7	Energie-Etikette .....	140
3.8	Recycling von Lampen .....	143
3.9	Lampenwechsel .....	144
3.9.1	Lampenaustausch .....	145
3.9.1.1	Einzelwechsel .....	145
3.9.1.2	Gruppenwechsel .....	146
3.9.1.3	Dringlicher Lampenwechsel .....	147
3.9.2	Lebensdauerende kompakter Entladungslampen .....	147
3.9.2.1	Zyklisches Ein und Aus .....	148
3.9.2.2	Hochdrucklampen mit keramischem Brenner .....	148
3.9.3	Wann sind kompakte Entladungslampen zu wechseln? .....	149
3.9.3.1	Lampenwechsel kompakter Entladungslampen .....	150
3.10	LED - Light Emitting Diodes .....	151
3.10.1	Funktionsweise und Herstellung .....	152
3.10.1.1	Funktionsweise .....	152
3.10.1.2	Herstellung .....	156
3.10.1.3	Binning und McAdam .....	157
3.10.2	Effizienz, Wirkungsgrad, Lebensdauer .....	158
3.10.2.1	Effizienz und Wirkungsgrad .....	158

---

3.10.2.2 LED-Effizienz ist nicht gleich Leuchten-Effizienz .....	160
3.10.2.3 Lebensdauer der LED.....	161
3.10.3 Stromversorgung von LEDs .....	165
3.10.3.1 Betrieb am Vorwiderstand.....	165
3.10.3.2 Spannungsgesteuerte LEDs .....	165
3.10.3.3 Stromgesteuerte LEDs.....	166
3.10.4 Dimmen der LEDs .....	166
3.10.4.1 Amplitudenmodulation AM .....	167
3.10.4.2 Pulsweitenmodulation PWM .....	167
3.10.4.3 Kombination von AM mit PWM .....	168
3.11 OLED .....	169
3.11.1 Aufbau .....	169
3.11.2 Betrieb der OLED .....	170
3.11.3 Dimmen der OLED.....	171
3.11.4 Lebensdauer der OLEDs .....	172
3.11.5 Optische Eigenschaften der OLEDs .....	172
3.12 LED-Retrofit-Lampen .....	172
3.12.1 Aufbau .....	173
3.12.2 Dimmen von LED-Retrofitlampen.....	175
3.12.2.1 Dimmen mit Phasendimmern.....	175
3.12.2.2 Dimmen über digitale netzüberlagerte Signale.....	176
3.12.3 LED-Röhren als Ersatz für Leuchtstofflampen.....	177
3.13 Zhaga spezifiziert LED-Standards.....	178
<b>4 Leuchten.....</b>	<b>181</b>
4.1 Materialeigenschaften.....	182
4.1.1 Lichttechnische Eigenschaften .....	182
4.1.2 Langzeiteigenschaften .....	184
4.1.3 Reflektorformen .....	184
4.2 Leuchtenspezifikationen.....	187
4.2.1 Einteilung.....	187
4.2.2 Lichttechnische Eigenschaften .....	189
4.2.2.1 Lichtstromverteilung.....	189
4.2.2.2 Lichtstärkeverteilung.....	190
4.2.2.3 Leuchtdichteverteilung .....	191
4.2.2.4 Leuchten(betriebs)wirkungsgrad .....	192
4.2.3 Sicherheitstechnische Anforderungen .....	193
4.2.3.1 Schutzklassen .....	193
4.2.3.2 Schutzarten .....	194
4.2.3.3 Funkstörschutz .....	196
4.2.3.4 Brandschutz.....	196
4.2.3.5 Explosionsschutz .....	197

---

4.2.3.6	Ballwurfsicherheit .....	198
4.3	Leuchtentypen .....	198
4.4	Klimaleuchten mit Abluftführung .....	201
5	Beleuchtungsplanung im Innenraum .....	205
5.1	Grundlegendes zur Planung .....	205
5.2	Planung und Informationsumfeld .....	205
5.2.1	Zweckbestimmung der Räume .....	205
5.2.2	Lage des Beleuchtungsobjekts .....	206
5.2.3	Örtliche und klimatische Verhältnisse .....	206
5.2.4	Raumgestaltung .....	206
5.2.5	Personelle Angaben .....	207
5.2.6	Lampenauswahl .....	208
5.3	Auswirkungen von Projektierungsfehlern .....	208
5.4	Grundgebote für die Projektierung .....	209
5.4.1	LeuchtdichteVerteilung .....	210
5.4.1.1	Kontrastsehen .....	211
5.4.2	Beleuchtungsstärke .....	213
5.4.2.1	Beleuchtungsstärkestufen .....	215
5.4.2.2	Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke .....	218
5.4.2.3	Wertungswert .....	220
5.4.3	Blendungsbegrenzung .....	223
5.4.3.1	UGR-Verfahren .....	224
5.4.3.2	Reflexblendung .....	229
5.4.4	Lichtrichtung .....	230
5.4.4.1	Modelling .....	231
5.4.4.2	Schattigkeit .....	232
5.4.5	Lichtfarbe und Farbwiedergabe .....	232
5.4.5.1	Lichtfarbe .....	232
5.4.5.2	Farbwiedergabe .....	233
5.5	Lichttechnische Berechnungen .....	233
5.5.1	Richtwerte .....	233
5.5.2	Punktbeleuchtungsmethode .....	234
5.5.3	Wirkungsgradmethode .....	236
5.5.3.1	Raumwirkungsgrad $\eta_R$ .....	237
5.5.3.2	Beleuchtungswirkungsgrad .....	241
5.5.3.3	Dimensionierung der Beleuchtung .....	243
5.5.3.4	UGR-Blendungsbewertung .....	248
5.5.3.5	Auswirkungen von Planungsfehlern .....	249
5.5.4	Computerunterstützte Planung .....	250
5.5.4.1	Grundlegende Funktionsweise .....	251
5.5.4.2	Rechengenauigkeit .....	255

---

5.6	Wahl der Beleuchtungsart .....	256
5.6.1	Beleuchtungskonzept .....	256
5.6.1.1	Tageslichtergänzungsbeleuchtung .....	256
5.6.1.2	Allgemeinbeleuchtung .....	257
5.6.1.3	Arbeitsplatzorientierte Allgemeinbeleuchtung .....	257
5.6.1.4	Einzelplatzbeleuchtung .....	257
5.6.2	Beleuchtungssysteme .....	258
5.6.2.1	Direktbeleuchtung .....	258
5.6.2.2	Indirektbeleuchtung .....	259
5.6.2.3	Direkt-/Indirektbeleuchtung .....	260
5.7	Wirtschaftlichkeit .....	261
5.7.1	Kosten der Beleuchtung .....	261
5.7.2	Kapitalrückflusszeit .....	262
6	Ausführung von Innenraumanlagen .....	265
6.1	Allgemeine Gesichtspunkte .....	265
6.1.1	Checkliste zur Planung .....	265
6.1.1.1	Raumeindruck .....	266
6.1.1.2	Tätigkeiten im Raum .....	266
6.1.1.3	Lichttechnische Gütemerkmale .....	267
6.1.1.4	Bauliche Gesichtspunkte .....	268
6.1.1.5	Leuchtenart .....	269
6.1.1.6	Planungsschritte .....	269
6.2	Büro und Verwaltung .....	271
6.2.1	Räume mit normalen Bürotätigkeiten .....	276
6.2.1.1	Zellenbüro .....	276
6.2.1.2	Gruppenbüro .....	277
6.2.1.3	Großraumbüro .....	278
6.2.2	Büroräume für spezielle Tätigkeiten .....	279
6.2.2.1	Räume für Bildschirmtätigkeit .....	279
6.2.3	Allgemeine Zonen .....	283
6.3	Unterrichtsstätten .....	284
6.3.1	Normale Unterrichtsräume .....	284
6.3.2	Hörsäle .....	288
6.4	Industrielle Räume .....	288
6.4.1	Anforderungen .....	289
6.4.1.1	Beleuchtungsstärke .....	289
6.4.1.2	LeuchtdichteVerteilung .....	290
6.4.1.3	Blendungsbegrenzung .....	291
6.4.1.4	Lichtrichtung und Schattigkeit .....	291
6.4.2	Lampenwahl .....	291
6.4.3	Leuchtenwahl .....	293

---

6.4.3.1	Raumhöhe und Leuchtenauswahl . . . . .	294
6.4.4	Raumfunktion und Beleuchtungsart . . . . .	296
6.4.4.1	Anordnung von Lichtbändern . . . . .	296
6.4.5	Spezielle Sehaufgaben . . . . .	299
6.4.5.1	Spezielle Leuchtenanordnung . . . . .	299
6.4.5.2	Kontrolltätigkeiten . . . . .	300
6.4.6	Nebenräume . . . . .	301
6.5	Handwerk und Gewerbe . . . . .	303
6.5.1	Landwirtschaft . . . . .	305
6.5.2	Kfz- und Autolackierwerkstätten . . . . .	305
6.5.3	Bauschreinerei und Tischlerei . . . . .	306
6.5.4	Feinmechanische Werkstätten . . . . .	307
6.6	Schaufenster und Verkaufsräume . . . . .	308
6.6.1	Schaufenster . . . . .	308
6.6.1.1	Planerische Hinweise . . . . .	309
6.6.1.2	Ausbleichen von Farben . . . . .	312
6.6.1.3	Variable Leuchtenstandorte . . . . .	313
6.6.2	Verkaufsräume . . . . .	315
6.6.2.1	Spezifische Funktionen der Beleuchtung . . . . .	315
6.6.2.2	Planungsgrundsätze . . . . .	317
6.6.2.3	Beleuchtungskonzepte . . . . .	319
6.6.2.4	Differenzierte Verkaufsraumbeleuchtung . . . . .	323
6.7	Gastgewerbe . . . . .	324
6.7.1	Eingangszonen . . . . .	324
6.7.2	Restauranträume . . . . .	326
6.7.2.1	Räume mit gehobenen Ansprüchen . . . . .	327
6.7.2.2	Schnellimbissräume . . . . .	328
6.7.3	Treppen und Flure . . . . .	329
6.7.4	Hotelzimmer . . . . .	330
6.8	Krankenräume . . . . .	331
6.8.1	Bettenräume . . . . .	333
6.8.2	Untersuchungs- und Behandlungsräume . . . . .	334
6.8.3	Operationssaal . . . . .	335
6.9	Sporthallen . . . . .	336
6.9.1	Anforderungen . . . . .	336
6.9.1.1	Beleuchtungsklassen . . . . .	336
6.9.1.2	Beleuchtungsstärke . . . . .	337
6.9.1.3	Blendungsbegrenzung . . . . .	339
6.9.2	Tennishallen . . . . .	340
6.9.3	Squash-Hallen . . . . .	340
6.9.4	Kegelbahnen . . . . .	341
6.9.5	Schießstände . . . . .	341

6.9.6	Reithallen .....	342
6.10	Tageslichtsysteme.....	342
6.10.1	Die Sonne als Universallichtquelle .....	342
6.10.1.1	Tageslichtquotient .....	343
6.10.1.2	Fenster als Lichtfilter .....	345
6.10.1.3	Grundregeln.....	346
6.10.2	Oberlichtsysteme mit Ausblendraster.....	348
6.10.3	Seitenlichtsysteme .....	349
6.10.4	Heliostate .....	350
6.11	Tageslicht und regelbares Kunstlicht .....	351
6.11.1	Regelkonzepte .....	352
6.11.1.1	Messen der Leuchtdichte auf einer repräsentativen Fläche.....	352
6.11.1.2	Messen der Fensterleuchtdichte in einem Einzelraum.....	353
6.11.1.3	Lichtmanagementsystem .....	354
6.11.2	Passiv-Infrarot-Präsenzmelder (PIR).....	356
6.11.3	Lichtmanagement und Energie-Einsparung.....	360
6.11.3.1	Unnötigen Energieverbrauch verhindern .....	360
6.12	Notbeleuchtung .....	361
6.12.1	Arten der Notbeleuchtung.....	362
6.12.2	Ersatzbeleuchtung .....	363
6.12.3	Sicherheitsbeleuchtung .....	363
6.12.3.1	Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege .....	366
6.12.3.2	Antipanikbeleuchtung .....	367
6.12.3.3	Sicherheitsbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung .....	368
6.12.4	Sicherheitszeichen .....	368
6.12.5	Schaltung der Sicherheitsbeleuchtung.....	370
6.12.6	Lichttechnische Projektierung .....	370
6.12.7	Anlagedokumentation und Abnahmeprüfung.....	371
7	Wartung und Sanierung von Innenraumanlagen .....	373
7.1	Wartungsfaktor .....	373
7.1.1	Wartungsplanung .....	374
7.1.2	Wartungsplanarten und Wartungsplantypen .....	374
7.2	Sanierungsgründe .....	375
7.2.1	Veraltete Beleuchtungsanlagen .....	376
7.2.2	Bessere Ergonomie .....	377
7.2.3	Hohes Energie-Einsparpotential .....	378
7.3	Vorgehen bei der Beleuchtungssanierung .....	378
7.3.1	Sehauflagen .....	379
7.3.2	Tageslichtbeleuchtung .....	379
7.3.3	Beleuchtungskonzept .....	379

7.3.3.1	Beleuchtungsart .....	379
7.3.4	Technische Anforderungen .....	380
7.3.5	Alternativlösungen .....	380
8	Anlagen im Freien .....	383
8.1	Straßenbeleuchtung.....	383
8.1.1	Begriffe .....	384
8.1.2	Bestimmen des Beleuchtungskonzepts.....	386
8.1.2.1	Auswahl der Beleuchtungssituation .....	386
8.1.2.2	Auswahl Beleuchtungsklassen .....	388
8.1.3	Blendungsbegrenzung .....	395
8.1.3.1	Psychologische Blendung .....	395
8.1.3.2	Physiologische Blendung.....	395
8.1.4	Fahrbahnklassen.....	397
8.1.5	Leuchtdichteberechnung .....	399
8.1.6	Fußgängerbereiche.....	401
8.1.7	Parkplätze.....	403
8.1.8	Fußgängerüberwege .....	404
8.2	Arbeitsplätze im Freien .....	406
8.2.1	Beleuchtungsstärke .....	407
8.2.1.1	Beleuchtungsstärke der Umgebung.....	407
8.2.1.2	Wartungsfaktor.....	408
8.3	Fassadenanstrahlung.....	408
8.4	Sportanlagen .....	410
8.4.1	Fußballstadien für TV-Aufnahmen.....	410
8.4.1.1	Flutlicht für Fußballstadien.....	412
8.4.1.2	Beleuchtungsanforderungen der UEFA/FIFA .....	413
8.4.1.3	Lichtquellen und Leuchten .....	414
8.4.1.4	Planung einer Stadionbeleuchtung.....	415
8.4.2	Fußballplätze .....	415
8.4.3	Tennisplätze .....	417
8.5	Lichtimmissionen und Ökologie .....	418
8.5.1	Schutz nachtaktiver Insekten .....	420
9	Pflanzenbestrahlung .....	423
9.1	Biologische Reaktionen auf Licht .....	423
9.2	Strahlungsquellen .....	426
9.3	Praktische Hinweise .....	428
10	Lichttechnische Messungen.....	431
10.1	Grundlagen .....	431
10.1.1	Lichtelektrische Empfänger.....	432

---

10.1.2	Genauigkeitseinflüsse . . . . .	433
10.1.3	Messgeräte für die Praxis . . . . .	439
10.1.3.1	Beleuchtungsstärkemesser . . . . .	439
10.1.3.2	Leuchtdichtemesser . . . . .	439
10.1.3.3	Weitere Messgeräte . . . . .	440
10.2	Messungen an Leuchten . . . . .	441
10.2.1	Lichtstärkeverteilung . . . . .	442
10.2.2	Leuchtdichtemessung . . . . .	444
10.2.3	Leuchten-Betriebswirkungsgrad . . . . .	444
10.3	Messungen im Innenraum . . . . .	445
10.3.1	Messung der Beleuchtungsstärke . . . . .	446
10.3.1.1	Leere Räume . . . . .	447
10.3.1.2	Räume mit Inneneinrichtungen . . . . .	448
10.3.1.3	Darstellung der Beleuchtungsstärkeverteilung . . . . .	449
10.3.1.4	Messung des Tageslichtquotienten . . . . .	449
10.3.2	Messung der Leuchtdichte . . . . .	451
10.3.2.1	Örtliche Leuchtdichte . . . . .	451
10.3.2.2	Mittlere Leuchtdichte . . . . .	452
10.3.3	Reflexion der Raumbegrenzungsfläche . . . . .	452
10.3.4	Farben messen . . . . .	453
10.3.5	Einflussgrößen . . . . .	454
10.3.6	Auswerten der Messung . . . . .	455
10.3.6.1	Korrekturfaktoren . . . . .	455
10.3.6.2	Messprotokoll . . . . .	457
10.3.6.3	Genauigkeit der Messung . . . . .	457
11	Normen . . . . .	459
	Stichwortverzeichnis . . . . .	465