

Inhalt

Vorwort zur 6. Auflage.....	5
1	Lichttechnische Grundlagen 19
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 Φ 25
1.2.3	Lichtmenge Q 26
1.2.4	Raumwinkel Ω 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 η 41
1.4	Licht und Farbe..... 43
1.4.1	Farbtemperatur T_F 44
1.4.2	Farbwiedergabe-Index R_a bzw. CRI 45
1.4.3	Lampenbezeichnung..... 47
1.4.4	Das Farbdreieck..... 48
1.5	Optische Eigenschaften der Materie..... 49
1.5.1	Absorption..... 50
1.5.2	Transmission..... 50
1.5.3	Reflexion..... 50
1.5.4	Zusammenhänge..... 52

2	Licht und Sehen	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 Lampeneinflüsse	68
3	Lampen	71
3.1	Übersicht über die Lampensysteme	71
3.1.1	Lichtwirtschaft	72
3.1.2	Bezeichnung elektrischer Lampen	74
3.1.3	Lampensockel	75
3.1.4	Lebensdauer von Lampen	77
3.1.5	Helligkeitssteuerung	79
3.2	Temperaturstrahler	81
3.2.1	Glühlampen	81
3.2.2	Halogenglühlampe	83
3.2.2.1	Betrieb von Halogenglühlampen	85
3.2.2.2	Elektrische Dimensionierung	85
3.2.2.3	Elektrischer Anschluss	86
3.2.2.4	Montage von Halogenglühlampen	87
3.2.2.5	Dimmen von Halogenglühlampen	88
3.3	Niederdruck-Entladungslampen	89
3.3.1	Leuchtstofflampen	92
3.3.1.1	Aufbau und Funktionsweise	93
3.3.1.2	Lichtfarbe und Farbwiedergabe-Eigenschaft	95
3.3.1.3	Anwendung verschiedener Leuchtstofflampen	97
3.3.1.4	Start und Betrieb mit 50 Hz	99
3.3.1.5	Elektronische Vorschaltgeräte EVG	102
3.3.1.6	Kompaktleuchtstofflampen steckbar	104

3.3.1.7	Kompaktleuchtstofflampen einschraubbar	107
3.3.1.8	Energie- und Kosten sparen	108
3.3.1.9	Dimmen von Leuchtstoff- und Kompaktleuchtstofflampen	108
3.3.1.10	Dimmen von Leuchtstoff- und Kompaktleuchtstofflampen im 50-Hz-Betrieb	109
3.3.1.11	Dimmen von Leuchtstoff- und Kompaktleuchtstofflampen im EVG-Betrieb	109
3.3.2	Natriumdampf-Niederdrucklampen	110
3.4	Hochdruck-Entladungslampen	111
3.4.1	Natriumdampf-Hochdrucklampen	112
3.4.2	Quecksilberdampf-Hochdrucklampen	115
3.4.3	Halogen-Metalldampflampen	115
3.4.3.1	Halogen-Metalldampflampen mit Quarzbrenner	115
3.4.3.2	Halogen-Metalldampflampen mit Keramikkbrenner	118
3.4.4	Betriebssysteme für Hochdruck-Entladungslampen	119
3.4.5	Dimmen von Hochdruck-Entladungslampen	120
3.4.5.1	Dimmen von Natriumdampf-Hochdrucklampen	121
3.4.5.2	Dimmen von Halogen-Metalldampflampen	122
3.5	Lichtmanagementsysteme	123
3.5.1	Drahtgebundene Systeme	123
3.5.1.1	Analog 1 ... 10 V	124
3.5.1.2	DALI – digitale Lichtsteuerung	124
3.5.1.3	DMX	125
3.5.1.4	DigitalSTROM	125
3.5.2	Drahtlose Systeme	125
3.5.2.1	ZigBee	125
3.5.2.2	EnOcean	125
3.5.2.3	Bluetooth	126
3.5.2.4	WLAN	126
3.6	Lampenbetrieb und Umwelt	126
3.6.1	Elektrosmog von Kompaktleuchtstoff- und LED-Lampen	126
3.6.2	Quecksilber – kein großes Problem	127
3.6.3	Blaulichtgefährdung durch LED	127
3.7	Energie-Etikette	129
3.8	Recycling von Lampen	131
3.9	Lampenwechsel	133
3.9.1	Lampenaustausch	133
3.9.1.1	Einzelwechsel	133
3.9.1.2	Gruppenwechsel	134
3.9.1.3	Dringlicher Lampenwechsel	136
3.9.2	Lebensdauerende kompakter Entladungslampen	136
3.9.2.1	Zyklisches Ein und Aus	136

3.9.2.2	Hochdrucklampen mit keramischem Brenner	137
3.9.3	Wann sind kompakte Entladungslampen zu wechseln?.....	138
3.9.3.1	Lampenwechsel kompakter Entladungslampen.....	139
3.10	LED – Light-Emitting Diodes	140
3.10.1	Funktionsweise und Herstellung	141
3.10.1.1	Funktionsweise.....	141
3.10.1.2	Herstellung.....	145
3.10.1.3	Binning und MacAdam	146
3.10.2	Effizienz, Wirkungsgrad, Lebensdauer.....	147
3.10.2.1	Effizienz und Wirkungsgrad	147
3.10.2.2	LED-Effizienz ist nicht gleich Leuchten-Effizienz	149
3.10.2.3	Lebensdauer der LED.....	150
3.10.3	Stromversorgung von LEDs	154
3.10.3.1	Betrieb am Vorwiderstand.....	154
3.10.3.2	Spannungsgesteuerte LEDs.....	155
3.10.3.3	Stromgesteuerte LEDs.....	155
3.10.4	Dimmen der LEDs	156
3.10.4.1	Amplitudenmodulation AM	156
3.10.4.2	Pulsweitenmodulation PWM	157
3.10.4.3	Kombination von AM mit PWM	157
3.10.4.4	Änderung der Farbtemperatur.....	158
3.11	OLED	158
3.11.1	Aufbau	159
3.11.2	Betrieb der OLED	160
3.11.3	Dimmen der OLED.....	161
3.11.4	Lebensdauer der OLEDs	161
3.11.5	Optische Eigenschaften der OLEDs.....	162
3.12	LED-Retrofit-Lampen	162
3.12.1	Aufbau	162
3.12.2	Dimmen von LED-Retrofitlampen.....	165
3.12.2.1	Dimmen mit Phasendimmern.....	165
3.12.2.2	Dimmen über digitale netzüberlagerte Signale.....	166
3.12.2.3	Dimmen über den Lichtschalter.....	167
3.12.3	LED-Röhren als Ersatz für Leuchtstofflampen.....	167
3.13	Zhaga spezifiziert LED-Standards.....	169
4	Leuchten	171
4.1	Materialeigenschaften.....	172
4.1.1	Lichttechnische Eigenschaften.....	172
4.1.2	Langzeiteigenschaften	174
4.1.3	Reflektorformen	174

4.2	Leuchtenspezifikationen.....	177
4.2.1	Einteilung.....	177
4.2.2	Lichttechnische Eigenschaften.....	179
4.2.2.1	Lichtstromverteilung.....	179
4.2.2.2	Lichtstärkeverteilung.....	180
4.2.2.3	Leuchtdichteverteilung.....	181
4.2.2.4	Leuchten(betriebs)wirkungsgrad.....	182
4.2.3	Sicherheitstechnische Anforderungen.....	183
4.2.3.1	Schutzklassen.....	183
4.2.3.2	Schutzarten.....	184
4.2.3.3	Funkstörschutz.....	186
4.2.3.4	Brandschutz.....	186
4.2.3.5	Explosionsschutz.....	187
4.2.3.6	Ballwurfsicherheit.....	188
4.3	Leuchtentypen.....	188
4.4	Klimaleuchten mit Abluftführung.....	192
5	Beleuchtungsplanung im Innenraum.....	195
5.1	Grundlegendes zur Planung.....	195
5.2	Planung und Informationsumfeld.....	195
5.2.1	Zweckbestimmung der Räume.....	195
5.2.2	Lage des Beleuchtungsobjekts.....	196
5.2.3	Örtliche und klimatische Verhältnisse.....	196
5.2.4	Raumgestaltung.....	196
5.2.5	Personelle Angaben.....	197
5.2.6	Leuchtmittelauswahl.....	198
5.3	Auswirkungen von Projektierungsfehlern.....	198
5.4	Grundgebote für die Projektierung.....	199
5.4.1	Leuchtdichteverteilung.....	200
5.4.1.1	Kontrastsehen.....	201
5.4.2	Beleuchtungsstärke.....	203
5.4.2.1	Beleuchtungsstärkestufen.....	205
5.4.2.2	Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke.....	208
5.4.2.3	Wartungswert und Wartungsfaktor.....	210
5.4.3	Blendungsbegrenzung.....	213
5.4.3.1	UGR-Verfahren.....	214
5.4.3.2	Reflexblendung.....	219
5.4.4	Lichtrichtung.....	220
5.4.4.1	Modelling.....	221
5.4.4.2	Schattigkeit.....	222
5.4.5	Lichtfarbe und Farbwiedergabe.....	222

5.4.5.1	Lichtfarbe	222
5.4.5.2	Farbwiedergabe	223
5.5	Lichttechnische Berechnungen	223
5.5.1	Richtwerte	223
5.5.2	Punktbeleuchtungsmethode	224
5.5.3	Wirkungsgradmethode	226
5.5.3.1	Raumwirkungsgrad η_R	227
5.5.3.2	Beleuchtungswirkungsgrad η_B	231
5.5.3.3	Dimensionierung der Beleuchtung	233
5.5.3.4	UGR-Blendungsbewertung	238
5.5.3.5	Auswirkungen von Planungsfehlern	239
5.5.4	Computerunterstützte Planung	240
5.5.4.1	Grundlegende Funktionsweise	241
5.5.4.2	Rechengenauigkeit	245
5.6	Wahl der Beleuchtungsart	246
5.6.1	Beleuchtungskonzept	246
5.6.1.1	Tageslichtergänzungsbeleuchtung	246
5.6.1.2	Allgemeinbeleuchtung	247
5.6.1.3	Arbeitsplatzorientierte Allgemeinbeleuchtung	247
5.6.1.4	Einzelplatzbeleuchtung	247
5.6.2	Beleuchtungssysteme	248
5.6.2.1	Direktbeleuchtung	248
5.6.2.2	Indirektbeleuchtung	249
5.6.2.3	Direkt-/Indirektbeleuchtung	250
5.7	Wirtschaftlichkeit	251
5.7.1	Kosten der Beleuchtung	251
5.7.2	Kapitalrückflusszeit	252
6	Ausführung von Innenraumanlagen	255
6.1	Allgemeine Gesichtspunkte	255
6.1.1	Checkliste zur Planung	255
6.1.1.1	Raumeindruck	256
6.1.1.2	Tätigkeiten im Raum	256
6.1.1.3	Lichttechnische Gütemerkmale	257
6.1.1.4	Bauliche Gesichtspunkte	258
6.1.1.5	Leuchtenart	259
6.1.1.6	Planungsschritte	259
6.2	Büro und Verwaltung	261
6.2.1	Räume mit normalen Bürotätigkeiten	266
6.2.1.1	Zellenbüro	266
6.2.1.2	Gruppenbüro	267

6.2.1.3	Großraumbüro.....	268
6.2.2	Büroräume für spezielle Tätigkeiten.....	269
6.2.2.1	Räume für Bildschirmtätigkeit.....	269
6.2.3	Allgemeine Zonen.....	273
6.3	Unterrichtsstätten.....	274
6.3.1	Normale Unterrichtsräume.....	274
6.3.2	Hörsäle.....	278
6.4	Industrielle Räume.....	278
6.4.1	Anforderungen.....	279
6.4.1.1	Beleuchtungsstärke.....	279
6.4.1.2	Leuchtdichtevertellung.....	280
6.4.1.3	Blendungsbegrenzung.....	281
6.4.1.4	Lichtrichtung und Schattigkeit.....	281
6.4.2	Lampenwahl.....	281
6.4.3	Leuchtenwahl.....	283
6.4.3.1	Raumhöhe und Leuchtenauswahl.....	284
6.4.4	Raumfunktion und Beleuchtungsart.....	286
6.4.4.1	Anordnung von Lichtbändern.....	286
6.4.5	Spezielle Schaufgaben.....	289
6.4.5.1	Spezielle Leuchtenanordnung.....	289
6.4.5.2	Kontrolltätigkeiten.....	290
6.4.6	Nebenräume.....	291
6.5	Handwerk und Gewerbe.....	293
6.5.1	Landwirtschaft.....	295
6.5.2	Kfz- und Autolackierwerkstätten.....	295
6.5.3	Bauschreinerei und Tischlerei.....	296
6.5.4	Feinmechanische Werkstätten.....	297
6.6	Schaufenster und Verkaufsräume.....	298
6.6.1	Schaufenster.....	298
6.6.1.1	Planerische Hinweise.....	300
6.6.1.2	Ausbleichen von Farben.....	302
6.6.1.3	Variable Leuchtenstandorte.....	303
6.6.2	Verkaufsräume.....	305
6.6.2.1	Spezifische Funktionen der Beleuchtung.....	305
6.6.2.2	Planungsgrundsätze.....	307
6.6.2.3	Beleuchtungskonzepte.....	309
6.6.2.4	Differenzierte Verkaufsraumbeleuchtung.....	313
6.7	Gastgewerbe.....	314
6.7.1	Eingangszonen.....	314
6.7.2	Restauranträume.....	316
6.7.2.1	Räume mit gehobenen Ansprüchen.....	317
6.7.2.2	Schnellimbissräume.....	318

6.7.3	Treppen und Flure	319
6.7.4	Hotelzimmer	320
6.8	Krankenräume	321
6.8.1	Bettenräume	323
6.8.2	Untersuchungs- und Behandlungsräume	324
6.8.3	Operationssaal	325
6.9	Sporthallen	326
6.9.1	Anforderungen	326
6.9.1.1	Beleuchtungsklassen	326
6.9.1.2	Beleuchtungsstärke	327
6.9.1.3	Blendungsbegrenzung	329
6.9.2	Tennishallen	330
6.9.3	Squash-Hallen	330
6.9.4	Kegelbahnen	331
6.9.5	Schießstände	331
6.9.6	Reithallen	332
6.10	Tageslichtsysteme	332
6.10.1	Die Sonne als Universallichtquelle	332
6.10.1.1	Tageslichtquotient	333
6.10.1.2	Fenster als Lichtfilter	335
6.10.1.3	Grundregeln	336
6.10.2	Oberlichtsysteme mit Ausblenderaster	338
6.10.3	Seitenlichtsysteme	339
6.10.4	Heliostate	340
6.11	Tageslicht und regelbares Kunstlicht	341
6.11.1	Regelkonzepte	342
6.11.1.1	Messen der Leuchtdichte auf einer repräsentativen Fläche	342
6.11.1.2	Messen der Fensterleuchtdichte in einem Einzelraum	343
6.11.1.3	Lichtmanagementsystem	344
6.11.2	Passiv-Infrarot-Präsenzmelder (PIR)	346
6.11.3	Lichtmanagement und Energieeinsparung	350
6.11.3.1	Unnötigen Energieverbrauch verhindern	350
6.12	Notbeleuchtung	351
6.12.1	Arten der Notbeleuchtung	352
6.12.2	Ersatzbeleuchtung	353
6.12.3	Sicherheitsbeleuchtung	353
6.12.3.1	Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege	355
6.12.3.2	Antipanikbeleuchtung	357
6.12.3.3	Sicherheitsbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung	357
6.12.4	Sicherheitszeichen	358
6.12.5	Schaltung der Sicherheitsbeleuchtung	359

6.12.6	Lichttechnische Projektierung	359
6.12.7	Anlagedokumentation und Abnahmeprüfung.....	362
7	Wartung und Sanierung von Innenraumanlagen.....	365
7.1	Wartungsfaktor.....	365
7.1.1	Wartungsplanung.....	366
7.1.2	Wartungsplanarten und Wartungsplantypen.....	366
7.2	Sanierungsgründe	367
7.2.1	Veraltete Beleuchtungsanlagen	368
7.2.2	Bessere Ergonomie.....	369
7.2.3	Hohes Energieeinspar-Potential.....	370
7.3	Vorgehen bei der Beleuchtungssanierung.....	370
7.3.1	Schaufgaben	371
7.3.2	Tageslichtbeleuchtung	371
7.3.3	Beleuchtungskonzept	371
7.3.3.1	Beleuchtungsart	371
7.3.4	Technische Anforderungen.....	372
7.3.5	Alternativlösungen	372
8	Beleuchtungsanlagen im Freien.....	375
8.1	Straßenbeleuchtung.....	375
8.1.1	Blendungsbegrenzung	377
8.1.1.1	Psychologische Blendung	377
8.1.1.2	Physiologische Blendung.....	378
8.1.2	Gütemerkmale.....	380
8.1.3	Fahrbahnklassen.....	381
8.1.4	Berechnungsmethoden.....	383
8.1.4.1	Berechnung der Leuchtdichte.....	383
8.1.4.2	Berechnung der Beleuchtungsstärke.....	385
8.1.5	Beleuchtungsklassen.....	387
8.1.5.1	Bestimmen der Beleuchtungsklasse	388
8.1.5.2	Beleuchtungsklasse M1 bis M6	390
8.1.5.3	Beleuchtungsklasse P1 bis P6.....	391
8.1.5.4	Beleuchtungsklasse C0 bis C5	393
8.1.6	Betrieb und Wartung.....	394
8.1.6.1	Dynamische Beleuchtung	394
8.1.6.2	Effizienz von Straßenbeleuchtungsanlagen.....	395
8.1.6.3	Wartungsfaktor.....	397
8.1.6.4	Konstant-Lichtstrom CLO	399
8.1.7	Fußgängerbereiche.....	400

8.1.7.1	Halbzylindrische Beleuchtungsstärke.....	400
8.1.7.2	Vertikale Beleuchtungsstärke	400
8.1.7.3	Halbsphärische Beleuchtungsstärke	401
8.1.8	Parkplätze.....	401
8.1.9	Fußgängerüberwege	402
8.2	Arbeitsplätze im Freien	404
8.2.1	Beleuchtungsstärke	405
8.3	Fassadenanstrahlung.....	406
8.4	Sportanlagen.....	407
8.4.1	Fußballstadien für TV-Aufnahmen.....	408
8.4.1.1	Flutlicht für Fußballstadien.....	409
8.4.1.2	Beleuchtungsanforderungen der UEFA/FIFA.....	410
8.4.1.3	Lichtquellen und Leuchten	411
8.4.2	Fußballplätze.....	411
8.4.3	Tennisplätze.....	413
8.5	Lichtimmissionen und Ökologie	414
8.5.1	Schutz nachtaktiver Insekten.....	416
9	Pflanzenbestrahlung	419
9.1	Biologische Reaktionen auf Licht	419
9.2	Strahlungsquellen	422
9.3	Praktische Hinweise	425
10	Lichttechnische Messungen.....	427
10.1	Grundlagen	427
10.1.1	Lichtelektrische Empfänger.....	428
10.1.2	Genauigkeitseinflüsse	429
10.1.3	Messgeräte für die Praxis	435
10.1.3.1	Beleuchtungsstärkemesser.....	435
10.1.3.2	Leuchtdichtemesser	435
10.1.3.3	Weitere Messgeräte	436
10.2	Messungen an Leuchten.....	437
10.2.1	Lichtstärkeverteilung.....	438
10.2.2	Leuchtdichtemessung	440
10.2.3	Leuchten-Betriebswirkungsgrad	440
10.3	Messungen im Innenraum.....	441
10.3.1	Messung der Beleuchtungsstärke.....	442
10.3.1.1	Leere Räume	443
10.3.1.2	Räume mit Inneneinrichtungen.....	444
10.3.1.3	Darstellung der Beleuchtungsstärkeverteilung	445

10.3.1.4	Messung des Tageslichtquotienten	445
10.3.2	Messung der Leuchtdichte	447
10.3.2.1	Örtliche Leuchtdichte	447
10.3.2.2	Mittlere Leuchtdichte	448
10.3.3	Reflexion der Raumbegrenzungsfläche	448
10.3.4	Farben messen	449
10.3.5	Einflussgrößen	450
10.3.6	Auswerten der Messung	451
10.3.6.1	Korrekturfaktoren	451
10.3.6.2	Messprotokoll	453
10.3.6.3	Genauigkeit der Messung	453
11	Normen	455
	Stichwortverzeichnis	461