

Vorwort zur 7. 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 Grenzentfernung	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_{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

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 Lichtquellen	68
3	Lichtquellen	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	Elektrosmog 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
4	Leuchten	145
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
5	Beleuchtungsplanung im Innenraum.....	173
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	Leuchtdichtevertelung.....	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 η_R	207
5.5.3.2	Beleuchtungswirkungsgrad η_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
6	Ausführung von Innenraumanlagen	235
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	Leuchtdichteverteilung	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 Leuchtenauswahl	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	Restauranträume	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

7	Wartung und Sanierung von Innenraumanlagen	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	Schauftgaben	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
8	Beleuchtungsanlagen im Freien	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
9	Pflanzenbestrahlung	415
9.1	Biologische Reaktionen auf Licht	415
9.1.1	Photosynthetisch aktive Strahlung PAR	417
9.2	Strahlungsquellen	418
9.3	Praktische Hinweise	421
10	Lichttechnische Messungen	423
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