

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	17
2	Lichttechnische Grundlagen	21
2.1	Spektrale Bewertung	21
2.2	Lichtstrom	21
2.3	Beleuchtungsstärke	22
2.3.1	Stufen der Beleuchtungsstärke	23
2.3.2	Horizontale, vertikale und zylindrische Beleuchtungsstärke.....	23
2.3.3	Gleichmäßigkeit	24
2.3.4	Beleuchtungsstärkenraster	24
2.3.5	Wartungsfaktor	25
2.4	Raumwinkel.....	26
2.5	Lichtstärke	26
2.6	Leuchtdichte	28
2.7	Blendung	29
2.7.1	Psychologische Blendung	29
2.7.2	Physiologische Blendung.....	29
2.7.3	Direktblendung	29
2.7.4	Reflexblendung	30
2.7.5	Bewertung der Blendung	31
2.7.5.1	Innenbeleuchtung	31
2.7.5.2	Außenbeleuchtung	31
2.8	Äquivalente Schleierleuchtdichte (für physiologische Blendung oder Schleierreflexionen)	32
2.9	Lichtfarbe	32
2.10	Farbwiedergabe.....	32
2.11	Flimmern und stroboskopische Effekte.....	33
2.12	Reflexionsgrad – Transmissionsgrad – Absorptionsgrad	33
	Literaturverzeichnis	34
3	Europäische Richtlinien und Arbeitsschutzanforderungen	35
3.1	Allgemeines	35
3.2	Rechtsgrundlagen in der Europäischen Union	37

3.3	Regulierung ohne Handelshemmnisse in der EU	38
3.4	Arbeitsschutz	42
3.5	Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU	44
3.6	EMV-Richtlinie 2014/108/EG (Elektromagnetische Verträglichkeit) integriert in die Niederspannungs- richtlinie 2014/35/EU	44
3.7	EMF-Richtlinie 2013/35/EU (Elektromagnetische Felder).....	45
3.8	ATEX-Richtlinien (Atmosphères Explosibles)	46
3.8.1	EU-Richtlinie 2014/34/EU (ATEX 95- Produktrichtlinie)	46
3.8.2	EU-Richtlinie 1999/92/EG (ATEX 137- Betriebsrichtlinie).....	47
3.9	Gefährdung durch optische Strahlung	47
3.10	RoHS-Richtlinie 2011/65/EU	48
3.11	WEEE-Richtlinie 2012/19/EU	49
3.12	ErP-Richtlinie zur umweltgerechten Gestaltung von energieverbrauchsrelevanten Produkten (Ökodesign- Richtlinie 2009/125/EG)	51
3.13	Gebäudeenergieeffizienzrichtlinie 2010/31/EU	52
3.14	Verordnung 244/2012 zur Ergänzung der Gebäude- energieeffizienzrichtlinie	53
3.15	Grüne öffentliche Beschaffung	54
3.15.1	GPP-Kriterien	56
3.15.2	Überwachung und Bewertung des GPP-Niveaus der EU-Mitgliedstaaten	57
3.15.3	GPP-Kriterien für die Straßenbeleuchtung und für Verkehrsampeln	58
3.15.4	EU-Kriterien für die umweltorientierte öffentliche Beschaffung von Innenbeleuchtungen	58
3.15.5	EU-Ecolabel- und GPP-Kriterien für Bürogebäude	59
3.16	Das EU-Umweltzeichen für Lichtquellen	59
3.17	Zusammenfassung und Ausblick	60
	Literaturverzeichnis	63
4	Beleuchtungsaufgaben im Industriebereich	65
4.1	Arbeitsstätten in Innenräumen	65
4.1.1	Normung	66
4.1.2	Produktivitätsfaktor Licht.....	67
4.1.3	Licht für die Sehaufgabe	71
4.1.4	Energieeffizientes Licht	73

4.1.5	DIN EN 12464-1 [2] – ASR A3.4.....	75
4.1.6	Wartung.....	77
4.2	Beleuchtung von Arbeitsstätten im Freien.....	82
4.2.1	Grundlagen der Gestaltung der Beleuchtung von Arbeitsstätten im Freien.....	82
4.2.2	Lichttechnische Anforderungen	83
4.2.3	Gegenüberstellung der Anforderungen der DIN EN 12464-1 [2] und der ASR A3.4.....	89
4.2.4	Verkehr, Straßen und Wege.....	92
4.2.5	Lager und Logistik	96
4.2.6	Baustellen	98
4.2.7	Kanäle, Schleusen und Hafenanlagen	99
4.2.8	Flughäfen und Bahnanlagen	101
4.3	Tageslichttechnik	102
4.3.1	Tageslichttechnik mit Fenster	108
4.3.2	Tageslicht Dachoberlichter.....	111
4.3.2.1	Lichttechnische Planung	112
4.4	Not- und Sicherheitsbeleuchtung.....	150
4.4.1	Allgemeines	150
4.4.2	Historie zu den lichttechnischen Anforderungen in der Notbeleuchtung.....	151
4.4.3	Änderungen in DIN EN 1838:2013-10 [66] gegenüber der Ausgabe von 1999 [81]	152
4.4.4	Wesentliche Aspekte der DIN EN 1838 [66].....	153
4.4.4.1	Arten der Notbeleuchtung	153
4.4.4.2	Sicherheitsbeleuchtung.....	154
4.4.4.3	Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege	154
4.4.4.4	Antipanikbeleuchtung	156
4.4.4.5	Sicherheitsbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung.....	157
4.4.4.6	Ersatzbeleuchtung.....	158
4.4.5	Anforderungen an Sicherheitszeichen	159
	Literaturverzeichnis	160
5	Wirkung des Lichtes auf den Menschen.....	167
5.1	Circadianer Wirkrhythmus	171
5.2	Aktivierende Wirkung von Licht.....	177
5.3	Folgerungen für die Industriebeleuchtung.....	178
5.4	Stand der Normung.....	180
	Literaturverzeichnis	184

6	Elektrische Lichtquellen	189
6.1	Übersicht und Struktur der relevanten Normen für Lichtquellen	189
6.2	Glühlampen	189
6.2.1	Funktionsprinzip	189
6.2.2	Lichtausbeute	192
6.2.3	Lichtspektrum und Farbtemperatur	192
6.2.4	Lebensdauer	193
6.2.5	Niedervolt-Glühlampen	193
6.2.6	Halogen-Glühlampen	194
6.3	Niederdruck-Entladungslampen	194
6.3.1	Leuchtstofflampen (Quecksilberdampf- Niederdrucklampe)	194
6.3.1.1	Einsatz von T5-Lampenadapter für T8-Leuchten	197
6.3.2	Natrium-Niederdrucklampe	199
6.4	Hochdruck-Entladungslampen	201
6.4.1	Übersicht Entladungslampen	201
6.4.2	Lebensdauer und Gleichrichtereffekt bei Hochdruck-Entladungslampen	203
6.5	LED-Lichtquellen	204
6.5.1	Technische Grundlagen von LED-Lichtquellen	204
6.5.2	Definitionen von Begriffen der LED-Lichtquellen- technologie	211
6.6	Retrofit-Lampen	212
	Literaturverzeichnis	216
7	Sonderthemen mit LED	217
7.1	Umwelteinflüsse, chemische Beständigkeit	217
7.2	Lebensdauer	220
7.3	Thermomanagement	226
7.3.1	Einfluss des Thermomanagements auf die licht- technischen Eigenschaften	226
7.3.2	Grundlagen der Wärmeübertragung	228
7.3.3	Durchführung des Thermomanagements	232
7.4	Binning und Farbwiedergabe	234
7.4.1	Farbraum und MacAdam-Ellipsen	234
7.4.2	Binning von LEDs	239
7.4.3	Farbwiedergabe	245
	Literaturverzeichnis	257

8	Betriebsgeräte.....	259
8.1	Übersicht und Struktur der relevanten Normen.....	262
8.2	Betriebsgeräte für Leuchtstofflampen	264
8.3	Betriebsgeräte für Hochdruck-Entladungslampen.....	270
8.3.1	Leistungsreduzierung bei Hochdruck-Entladungslampen	277
8.3.2	Zündgeräte für Hochdruck-Entladungslampen.....	279
8.4	EVG für LED-Module (LED-Treiber)	286
8.4.1	Schutz gegen netzseitige Überspannungsspitzen	288
8.4.1.1	Maßnahmen zur Verbesserung der Immunität von Leuchten in Verbindung mit LED-Vorschaltgeräten ..	289
8.4.2	Weitere Eigenschaften von LED-Vorschaltgeräten	291
8.4.3	LED-Vorschaltgeräte mit Konstantstromquelle	292
8.4.4	LED-Vorschaltgeräte mit Konstantspannungsquelle ..	293
8.5	Betrieb von LED-Modulen an Netzspannung (ohne EVG).....	293
	Literaturverzeichnis	294
9	Dimmen, Überwachen und Steuern	297
9.1	Dimmen von Lichtquellen	297
9.1.1	Netzspannungsglühlampen und Hochvolt-Halogenglühlampen	298
9.1.2	Niedervolt-Halogenglühlampen	299
9.1.3	Leuchtstofflampen	299
9.1.4	Hochdruck-Entladungslampen.....	299
9.1.5	LED-Lichtquellen.....	301
9.1.6	Dimmen von LED-Lichtquellen	302
9.1.6.1	Analoges Dimmen	302
9.1.6.2	Puls-Weiten-Modulation.....	303
9.1.6.3	Kombinierte Analogsteuerung und Pulsweitenmodulation.....	304
9.2	Dimmmethoden.....	304
9.2.1	Dimmen mit analoger Schnittstelle 1–10 V.....	304
9.2.2	Dimmen mit der Schnittstelle „Digital Addressable Lighting Interface“ (DALI)	306
9.3	Anwesenheitsdefinierte und tageslichtabhängige Steuerung/Regelung.....	308
9.3.1	Gebäudemanagementsystem	309
9.4	Powerline	310
9.5	IP-basierende Systeme.....	311

9.6	Digitale lastleistungsseitige Schnittstelle zur Beleuchtungssteuerung (DLT)	311
	Literaturverzeichnis	314
10	Sicherheitsanforderungen an Leuchten unter besonderer Berücksichtigung von LED-Lichtquellen	315
10.1	Sicherheit nach IEC/EN 60598	315
10.1.1	Kennzeichnungen von Leuchten	315
10.1.2	Schutzklassen	321
10.1.3	Hinweise in Montageanweisungen	323
10.1.4	Thermische Anforderungen	325
10.1.5	Schutz gegen elektrischen Schlag, Berührbarkeit von LED	329
10.1.6	Kriech- und Luftstrecken	333
10.1.7	Isolation von Leuchteneinbaukomponenten	339
10.1.8	IP-Schutzart, mechanische Sicherheit	342
10.1.9	Wartung, Austausch von Lampen und LED-Modulen	346
10.1.10	Photobiologische Sicherheit von Leuchten	347
10.2	Elektromagnetische Felder (EMF) von Leuchten	352
10.2.1	Wirkungen von EMF auf den menschlichen Organismus	353
10.2.2	Messverfahren zur Messung elektrischer Felder von Leuchten	354
10.2.3	Anwendung der DIN EN 62493 [21]	356
10.2.4	Abschätzungskriterien, ob die Anforderungen der DIN EN 62493 [21] eingehalten werden	359
10.2.5	„Van der Hoofden“-Messaufbau für Leuchten	361
	Literaturverzeichnis	362
11	Explosionsgeschützte Beleuchtung	365
11.1	Einleitung	365
11.2	Gesetzliche Grundlagen	365
11.2.1	Richtlinie 94/9/EG	365
11.2.2	EG-Richtlinie 99/92/EG	366
11.3	Technische Grundlagen	367
11.3.1	Gerätegruppen	367
11.3.2	Zoneneinteilung (nach Richtlinie 1999/92/EG)	367
11.3.3	Gerätegruppen	369
11.3.4	Temperaturklassen gemäß IEC 60079-0 [2]	370

11.3.5	Gruppe II.....	371
11.3.6	Gruppe III.....	371
11.3.7	Einordnung brennbarer Gase, Nebel, Dämpfe	371
11.3.8	Zündschutzarten	371
11.3.8.1	Druckfeste Kapselung „D“	373
11.3.8.2	Erhöhte Sicherheit „e“	374
11.3.9	Kennzeichnung.....	374
11.3.10	Brennbare Stäube, Fasern und Flusen	375
11.4	Besondere Einsatzbedingungen.....	378
	Literaturverzeichnis	379
12	Performance: Anforderungen an Lichtquellen und Leuchten	381
12.1	Allgemeine Anforderungen an LED-Module (DIN EN 62717 [3])	382
12.2	Allgemeine Anforderungen an Leuchten (DIN EN 62722-1[4])	388
12.3	Spezielle Anforderungen an LED-Leuchten (DIN EN 62722-2-1[5])	390
12.4	Anwendungshinweise zu den DIN EN Arbeitsweise- normen für LED-Module und LED-Leuchten	393
	Literaturverzeichnis	406
13	Kunststoffe im Leuchtenbau	409
13.1	Definition der Bezeichnung Kunststoffe	409
13.2	Anforderungen an Kunststoffe	410
13.2.1	Mechanische Anforderungen.....	410
13.2.2	Thermische Anforderungen.....	413
13.2.3	Beständigkeit gegen Feuer und Entzündung.....	416
13.2.4	Elektrische Anforderungen	419
13.2.5	Konstruktive Anforderungen an Kunststoffteile	422
13.2.5.1	Kriech- und Luftstrecken	422
13.2.5.2	Berührungsstrom und Schutzleiterstrom	423
13.2.6	Wasseraufnahme, UV- und chemische Beständigkeit	424
13.3	Thermoplaste.....	427
13.3.1	Polymethylemetacrylat (PMMA)	427
13.3.2	Polycarbonat (PC).....	431
13.3.3	Polyamid (PA)	433
13.3.4	Polypropylen (PP).....	435

13.3.5	Polyoxymethylen (POM)	436
13.3.6	Polyvinylchlorid (PVC)	438
13.3.7	Polybutylenterephthalat (PBT)	439
13.3.8	Polyethylen (PE)	440
13.3.9	Polystyrol (PS), Styrol/Acrylnitril-Copolymer (SAN) ..	441
13.3.10	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Polymer (ABS)	442
13.4	Verarbeitungsverfahren für Thermoplaste	443
13.4.1	Spritzgießen	443
13.4.2	Extrusion	447
13.4.3	Warmverformung/Thermoformen	448
13.4.4	Rotationsformen	449
13.5	Duroplast [glasfaserverstärktes ungesättigtes Polyester (GF-UP)]	451
	Literaturverzeichnis	455
14	Elektromagnetische Verträglichkeit von Leuchten	457
14.1	Gesetzliche Grundlagen – Das EMV-Gesetz (EMVG)	458
14.2	CE-Kennzeichnung und Konformitätsbewertung	459
14.3	Normungsgremien	461
14.4	Störaussendung	462
14.5	Störfestigkeit	472
14.6	Netzstromüberschwingungen	472
14.7	Spannungsschwankungen und Flicker	475
14.8	Verhalten von unabhängigen Komponenten und Retrofit-Lampen	479
14.9	Verhalten von Einbaukomponenten	479
14.10	Verhalten von kompletten Leuchten	480
	Literaturverzeichnis	481
15	Zertifizierungsverfahren von Leuchten	483
15.1	Die CE-Kennzeichnung	483
15.1.1	Richtlinien	483
15.1.2	EU-Konformitätserklärung	484
15.2	Nationale Zulassungen durch Prüf- und Zertifizierungs- institute (z. B. Sicherheit, Arbeitsweise, EMV)	485
15.2.1	Privatrechtliche Prüfzeichen für Sicherheit (Beispiel VDE-Zeichen)	485
15.2.2	Nationale gesetzliche Zeichen für Sicherheit (DE) ...	486

15.2.3	Privatrechtliches EMC-Zeichen (Beispiel VDE-EMC-Zeichen)	487
15.2.4	Privatrechtliche Zertifikate über die Einhaltung der Arbeitsweise	488
15.2.4.1	Zertifikate zur ErP-Richtlinie	488
15.2.4.2	Zertifikate zur Lichtverteilungskurve (LVK)	489
15.2.4.3	Zertifikate zu photometrischen Eigenschaften	489
15.2.4.4	Zertifikat zu Arbeitsweiseeigenschaften	490
15.2.4.5	Das Zertifikat Qualitätsprodukte	490
15.3	Europäische Zulassungen	490
15.3.1	ENEC-Zeichen	490
15.3.2	ENEC+	492
15.4	Internationale Zulassungen (CB-Verfahren)	494
	Literaturverzeichnis	495
16	Energieeffizienz	497
16.1	Übersicht der europäischen Richtlinien	497
16.2	Produktanforderungen für Lichtquellen, Betriebsgeräte und Leuchten	499
16.2.1	Ungerichtete Lichtquellen, Verordnungen 244, 859 und 1428	501
16.2.2	Lampen, Betriebsgeräte und Leuchten für den tertiären Bereich, Verordnung 245, 347 und 1428	503
16.2.3	Gerichtete Lichtquellen einschließlich LED und LED-Module, LED-Betriebsgeräte und LED- Leuchten, Verordnung 1194/2012 und 1428/2015	511
16.2.4	Energieverbrauchskennzeichnung von elektrischen Lampen und Leuchten, Verordnung 874/2012	521
16.3	Gebäude und Anlagen	524
16.3.1	Energetische Bewertung von Gebäuden – Energetische Anforderungen an die Beleuchtung, EN 15193 [1]	524
16.3.2	National: ENEC (DIN EN 15603 [3] etc., DIN V 18599 [4])	525
16.4	EU Eco-Label und „Blauer Engel“, „EU-Blume“	525
	Literaturverzeichnis	527
	Stichwortverzeichnis	528