

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	5
1 Einleitung und Beleuchtungsmarkt	13
1.1 Das LED-System – Standard der Beleuchtung.....	13
1.1.1 Qualitätskriterien und Einsatz der LED	14
1.1.2 Eine kurze Einführung in die Geschichte der LED	14
1.2 Der Beleuchtungsmarkt	18
1.3 Die Revolution in der Beleuchtung durch LEDs	20
1.4 Die aktuell zweite Revolution der LED-Beleuchtung.....	21
2 Grundlagen der Lichttechnik.....	23
2.1 Das Lichtspektrum von Lichtquellen (LED).....	23
2.2 Grundgrößen der Lichttechnik	25
2.2.1 Lichtstrahlung.....	26
2.2.2 Lichtstrom und Beleuchtungsstärke	26
2.2.3 Lichtstärke und Leuchtdichte	28
2.2.4 Photometrisches Entfernungsgesetz.....	30
2.2.5 Die Effizienz	31
2.2.6 Lichttechnische Einheiten in der Zusammenfassung.....	32
2.2.7 Einfaches Rechnen mit Licht (nur zur Orientierung).....	32
2.2.8 Lichtfarbe und Farbwiedergabe	32
2.2.9 TM-30-Farbwiedergabe	34
2.3 Lichtfarbe und Farbwiedergabe in der Anwendung	36
2.3.1 Farbort in Bezug auf die Anwendung	36
2.3.2 Farbwiedergabe	37
2.3.3 Farbkonsistenz	37
2.3.4 Homogenität über den Ausstrahlwinkel	38
2.3.5 Die einzelnen Anwendungen	38
3 LED-Systeme – Grundlagen.....	41
3.1 LED – Strahlungserzeugung, Eigenschaften und Binning	41
3.1.1 Funktionsweise einer LED	41
3.1.2 Strahlungserzeugung in einer LED.....	41
3.1.3 LED-Bauformen – LED-Packages	43

3.1.4	Aufbau einer LED.....	44
3.1.5	Abstrahlcharakteristik.....	45
3.1.6	Binning.....	46
3.2	LED-Module.....	50
3.2.1	Leiterplatte.....	50
3.2.2	Leiterplattendesign.....	51
3.2.3	LED-Streifen.....	52
3.3	Ansteuerung einer LED.....	53
3.4	Vor-, Nachteile und Performance.....	55
3.4.1	Mythen und Märchen zur LED.....	56
4	LED-Leuchten.....	59
4.1	Basisdesign der LED-Leuchten.....	59
4.1.1	Basisdesign.....	59
4.1.2	Zusammenhänge.....	61
4.1.3	Betriebsverhalten.....	62
4.2	LED-Leuchte.....	63
4.2.1	Aufbau einer typischen LED-Leuchte.....	63
4.2.2	Schutzart und Schutzklasse.....	67
4.2.3	Leistungsfaktor.....	70
4.3	Aufschriften und Datenblätter.....	71
4.3.1	Typenschild einer LED-Leuchte.....	71
4.3.2	Photometrischer Code.....	72
4.3.3	Datenblatt LED-Leuchte.....	74
4.4	Optisches und thermisches System einer LED-Leuchte.....	75
4.4.1	Optisches System.....	75
4.4.2	Linse.....	75
4.4.3	Reflektoren.....	76
4.4.4	Thermisches System.....	76
4.5	Lichtverteilung und deren Anwendung.....	80
4.6	Einbauhinweise des Leuchtenherstellers.....	82
5	Vorschaltgerätetechnik und ihr Einsatz in der Elektroinstallation..	85
5.1	Grundlagen in der Anwendung, Aufschriften.....	85
5.2	Programmierbarkeit der EVGs und CLO-Technik.....	89
5.2.1	CLO-Technik (Constant Light Output).....	89
5.3	CC-/CV-Vorschaltgeräte.....	91
5.3.1	Konstantstrom-Vorschaltgerät (CC-EVG).....	91
5.3.2	Konstantspannungs-Vorschaltgerät (CV-EVG).....	91
5.4	Dimmen.....	93

5.4.1	Stromdimmung.....	94
5.4.2	Dimmung über Pulsweitenmodulation (PWM)	95
5.4.3	Dimmen mit Phasendimmern.....	95
5.4.4	Dim to warm – Änderung der Farbtemperatur während des Dimmens.....	96
5.4.5	Tunable White – Veränderung der Farbtemperatur	96
6	Retrofitlampen und ihr Einsatz – Umrüstung im Bestand	99
6.1	Einsatz der Lampe und ihre Grenzen	99
6.1.1	LED-Retrofitlampen.....	99
6.1.2	Dimmen von Retrofitlampen	105
6.1.3	Rechtliche Aspekte	107
6.2	T8- und T5-Retrofitlampen.....	107
6.2.1	Konventionelles oder verlustarmes Vorschaltgerät (KVG/VVG).....	107
6.2.2	T8-KVG/VVG-Umbauablauf.....	108
6.2.3	T8- und T5-Retrofitlampen am elektronischen Vorschaltgerät (EVG)	109
6.3	Umrüstsätze für Lichtbandsysteme.....	110
7	Konversionsleuchten – Sonderfall des Retrofiteinsatzes	113
7.1	Umbau einer Leuchte zur Konversionsleuchte	113
7.2	Rechtliche Rahmenbedingungen.....	116
8	Zuverlässigkeit und Lebensdauer.....	119
8.1	Ausfall, Lichtstromrückgang und Farbshift	124
8.1.1	Reihenschaltung von LEDs im Cluster.....	125
8.1.2	Parallelschaltung von Clustern	126
8.1.3	Veränderung Farbtemperatur (Color Shift).....	127
8.1.4	Einfluss auf die Zuverlässigkeit und Lebensdauer der Leuchte	129
8.2	Einige typische technische Probleme der LED-Leuchte	131
8.2.1	Einschaltverhalten (Sicherungsautomaten)/Inrush Current.....	131
8.2.2	Netzurückwirkungen und Power Factor Correction (PFC)	133
8.2.3	Hot Plugging.....	135
8.2.4	Transiente Überspannungen.....	136
8.2.5	Flimmern von LED-Produkten.....	137
8.3	Chemische Unverträglichkeiten.....	141
9	Sicherheitsanforderungen an LEDs und LED-Systeme	143
9.1	Allgemein.....	143
9.2	Kennzeichnung.....	144
9.3	Photobiologische Sicherheit.....	145

10	Planungsgrundlagen und Anforderungen in der Anwendung.....	147
10.1	Einführung.....	147
10.2	Wirtschaftlichkeit und Amortisation	149
10.2.1	Investment.....	150
10.2.2	Betriebskosten.....	150
10.2.3	Wartungskosten	151
10.3	Gewährleistung und Garantie.....	152
10.3.1	Gewährleistung.....	152
10.3.2	Garantie	153
10.3.3	Verträge.....	154
10.4	Beleuchtung, Sehleistung und Kennzahlen	154
10.4.1	Beleuchtungsniveau – Beleuchtungsstärke.....	155
10.4.2	Wartungsfaktor.....	155
10.4.3	Gleichmäßigkeit	156
10.4.4	Blendungsbegrenzung	157
10.4.5	Lichtrichtung und Schattigkeit	157
10.4.6	Leuchtdichte	158
10.5	Gestalterische Planungsgrundlagen	158
10.6	Planungsbeispiele.....	161
10.6.1	Planungsbeispiel Flur.....	161
10.6.2	Planungsbeispiel Treppenhaus.....	165
10.6.3	Planungsbeispiel WC.....	168
10.6.4	Planungsbeispiel Office	171
10.6.5	Planungsbeispiel Besprechungsraum	175
10.6.6	Planungsbeispiel Wohnung.....	178
10.6.7	Planungsbeispiel Industriehalle.....	183
10.7	Messen von Beleuchtungsanlagen	186
10.7.1	Messungsdurchführung	186
10.7.2	Messebene und Messraster definieren	186
10.7.3	Protokoll.....	187
10.8	Lichtverschmutzung	188
10.8.1	Entstehung der Lichtverschmutzung	188
10.8.2	Folgen für die Ökologie	189
10.8.3	Folgen für die Astronomie	189
10.8.4	Maßnahmen zur Verringerung der Lichtverschmutzung	190
10.8.5	Vorteile der LED-Leuchte in Bezug auf die Lichtverschmutzung.....	190
11	Richtlinien, Arbeitsschutz und Normen	191
11.1	Situation.....	191
11.2	Funkanlagenrichtlinie RED.....	193

12	Installationstechnik bei LED-Lampen und Leuchten	195
12.1	Elektrische Installation.....	195
12.2	Leuchtenmontage.....	197
12.2.1	Montageanleitung	197
12.2.2	Probleme bei der Leuchtenmontage.....	197
12.3	Wartung und Austausch von LED-Modulen	201
12.3.1	Lampen- und Modulwechsel.....	201
12.3.2	Austausch von LED-Modulen.....	202
12.4	Entsorgung.....	203
13	Intelligente LED-Beleuchtung	209
13.1	Human Centric Lighting.....	209
13.2	Smart Lighting und IoT	209
13.3	Aufbau eines Leuchtnetzwerks	211
13.3.1	Welche Netzwerke gibt es?	212
13.3.2	DC-Netze und PoE-Leuchtsystem (Power over Ethernet).....	214
13.3.3	Basisstation	215
13.4	Sensor und Aktoren der Beleuchtung – Mehrwert Leuchte.....	215
13.5	Digitale Assistenten und Leuchtensteuerung.....	216
13.6	Serviceleistung – Geschäftsmodelle des Elektroinstallateurs und anderer	219
13.7	Sicherheit – Connected Lighting Security	221
14	Auswahl von LED-Leuchten	223
14.1	Einleitung.....	223
14.2	Entscheidungshilfe und Qualitätsmerkmale.....	224
15	Ausblick	237
15.1	Dezentrale Energieversorgung	237
15.2	Digitaler Wandel.....	237
15.3	Branchenveränderung und Neue Player	239
15.4	Analytics für Beleuchtung.....	239
	Literaturverzeichnis	241
	Stichwortverzeichnis	251