

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.....	57
4	LED-Leuchten	59
4.1	Basisdesign der LED-Leuchten.....	59
4.1.1	Basisdesign	59
4.1.2	Zusammenhänge	60
4.1.3	Betriebsverhalten	61
4.2	LED-Leuchte	63
4.2.1	Aufbau einer typischen LED-Leuchte.....	63
4.2.2	Schutzart und Schutzklasse	65
4.2.3	Leistungsfaktor.....	69
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.....	73
4.4	Optisches und thermisches System einer LED-Leuchte.....	74
4.4.1	Optisches System	74
4.4.2	Linsen	75
4.4.3	Reflektoren.....	75
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	Investitionen.....	150
10.2.2	Betriebskosten.....	150
10.2.3	Wartungskosten.....	150
10.3	Gewährleistung und Garantie.....	151
10.3.1	Gewährleistung.....	151
10.3.2	Garantie.....	152
10.3.3	Verträge.....	153
10.4	Beleuchtung, Sehleistung und Kennzahlen.....	153
10.4.1	Beleuchtungsniveau – Beleuchtungsstärke.....	154
10.4.2	Wartungsfaktor.....	154
10.4.3	Gleichmäßigkeit.....	155
10.4.4	Blendungsbegrenzung.....	156
10.4.5	Lichtrichtung und Schattigkeit.....	156
10.4.6	Leuchtdichte.....	157
10.5	Gestalterische Planungsgrundlagen.....	157
10.6	Planungsbeispiele.....	160
10.6.1	Planungsbeispiel Flur.....	160
10.6.2	Planungsbeispiel Treppenhaus.....	164
10.6.3	Planungsbeispiel WC.....	167
10.6.4	Planungsbeispiel Office.....	170
10.6.5	Planungsbeispiel Besprechungsraum.....	174
10.6.6	Planungsbeispiel Wohnung.....	177
10.6.7	Planungsbeispiel Industriehalle.....	182
10.7	Messen von Beleuchtungsanlagen.....	185
10.7.1	Messungsdurchführung.....	185
10.7.2	Messebene und Messraster definieren.....	185
10.7.3	Protokoll.....	186
10.8	Lichtverschmutzung.....	187
10.8.1	Entstehung der Lichtverschmutzung.....	187
10.8.2	Folgen für die Ökologie.....	188
10.8.3	Folgen für die Astronomie.....	188
10.8.4	Maßnahmen zur Verringerung der Lichtverschmutzung.....	189
10.8.5	Vorteile der LED-Leuchte in Bezug auf die Lichtverschmutzung.....	189
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 Leuchtennetzwerks	211
13.3.1	Welche Netzwerke gibt es?	212
13.3.2	DC-Netze und PoE-Leuchtersystem (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	Künstliche Intelligenz.....	239
15.5	Analytics für Beleuchtung.....	244
Literaturverzeichnis.....		247
Stichwortverzeichnis.....		255