

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	5
<b>1 Einleitung und Beleuchtungsmarkt .....</b>	<b>13</b>
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
<b>2 Grundlagen der Lichttechnik.....</b>	<b>23</b>
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
<b>3 LED-Systeme – Grundlagen.....</b>	<b>41</b>
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
<b>4</b>	<b>LED-Leuchten.....</b>	<b>59</b>
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	Linse.....	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
<b>5</b>	<b>Vorschaltgerätekunde und ihr Einsatz in der Elektroinstallation..</b>	<b>85</b>
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
<b>6</b>	<b>Retrofitlampen und ihr Einsatz – Umrüstung im Bestand .....</b>	<b>99</b>
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
<b>7</b>	<b>Konversionsleuchten – Sonderfall des Retrofiteinsatzes.....</b>	<b>113</b>
7.1	Umbau einer Leuchte zur Konversionsleuchte .....	113
7.2	Rechtliche Rahmenbedingungen.....	116
<b>8</b>	<b>Zuverlässigkeit und Lebensdauer.....</b>	<b>119</b>
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
<b>9</b>	<b>Sicherheitsanforderungen an LEDs und LED-Systeme .....</b>	<b>143</b>
9.1	Allgemein.....	143
9.2	Kennzeichnung.....	144
9.3	Photobiologische Sicherheit.....	145

<b>10</b>	<b>Planungsgrundlagen und Anforderungen in der Anwendung.....</b>	<b>147</b>
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
<b>11</b>	<b>Richtlinien, Arbeitsschutz und Normen .....</b>	<b>191</b>
11.1	Situation.....	191
11.2	Funkanlagenrichtlinie RED.....	193

---

<b>12</b>	<b>Installationstechnik bei LED-Lampen und Leuchten</b> .....	<b>195</b>
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
<b>13</b>	<b>Intelligente LED-Beleuchtung</b> .....	<b>209</b>
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-Leuchtensystem (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
<b>14</b>	<b>Auswahl von LED-Leuchten</b> .....	<b>223</b>
14.1	Einleitung.....	223
14.2	Entscheidungshilfe und Qualitätsmerkmale.....	224
<b>15</b>	<b>Ausblick</b> .....	<b>237</b>
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
<b>Literaturverzeichnis</b> .....		<b>247</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....		<b>255</b>