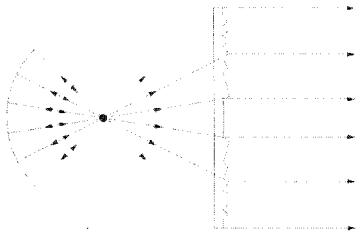
HANDBUCH DER LICHTTECHNIK

FORMELN, TABELLEN UND PRAXISWISSEN



KNOW-HOW FÜR FILM, FERNSEHEN, THEATER, VERANSTALTUNGEN UND EVENTS

JENS MUELLER

me Ingenieurbüro für CAD und technische Planungen mediaengineer

Ein Fachbuch von

PPVMEDIEN

Inhaltsverzeichnis

TEIL 1 – Wissen und Informationen

1. Grundlagen ... 27
1.1. Einheiten ... 27
1.1.1. SI-Einheiten ... 27
1.1.2. Abgeleitete Einheiten ... 27
1.1.3. Gesetzlich unzulässige Einheiten ... 28
1.1.4. Formelzeichen ... 28
1.1.5. Einheiten-Vorsätze ... 29
1.2. Umrechnungstabellen ... 30
1.2.1. Längen-Einheiten ... 30
1.2.2. Flächen-Einheiten ... 30
1.2.3. Volumen-Einheiten ... 30
1.2.4. Hohlmaße ... 30
1.2.5. Zeit-Einheiten ... 30
1.2.6. Masse-Einheiten ... 30
1.2.7. Kraft-Einheiten ... 31
1.2.8. Druck-Einheiten ... 31
1.2.9. Leistungs-Einheiten ... 31
1.2.10. Arbeits-Einheiten ... 31
1.2.11. US-Längen-Einheiten ... 31
1.2.12. US-Flächen-Einheiten ... 32
1.2.13. US-Volumen-Einheiten ... 32
1.2.14. US-Massen-Einheiten ... 32

2. Mathematische Grundlagen ... 33
2.1. Mathematische Zeichen ... 33
2.2. Grundrechenarten ... 33
2.3. Algebra ... 34
2.4. Geometrie ... 36
2.4.1. Winkeleinheiten ... 36
2.4.2. Winkelfunktionen im rechtwinkligen Dreieck ... 37
2.4.3. Satz des Pythagoras ... 37
2.4.4. Flächen ... 38
2.4.5. Körper ... 39

3. Physikalische Grundlagen ... 41
3.1. Das elektromagnetische Spektrum ... 41
3.2. Ultraviolette Strahlung ... 42
3.3. Lichttechnische Stoffkennzahlen ... 42
3.3.1. Reflexionsgrad ... 42
3.3.2. Transmissionsgrad ... 43
3.3.3. Absorptionsgrad ... 43

3.4. Reflexionsgesetz ... 43
3.4.1. Gerichtete Reflexion ... 43
3.4.2. Diffuse Reflexion ... 44
3.5. Brechungsgesetze ... 44
3.5.1. Dispersion ... 46
3.5.2. Totalreflexion ... 46
3.6. Polarisation ... 46
3.7. Interferenz ... 47
3.8. Beugung (Diffraktion) ... 48

4. Sehen und Wahrnehmung ... 49
4.1. Physiologie des Auges ... 49
4.1.1. Stäbchen ... 49
4.1.2. Zapfen ... 49
4.1.3. Der fotochemische Prozess ... 50
4.1.4. Fovea ... 50
4.1.5. Akkomodation ... 50
4.1.6. Blick- und Gesichtsfeld ... 50
4.1.7. Fixation ... 51
4.1.8. Auflösungsvermögen und Sehschärfe ... 51
4.1.9. Zeitauflösung ... 51
4.1.10. Helligkeitswahrnehmung ... 52
4.2. Spektrale Helligkeitsempfindung (V(λ)-Kurve) ... 52
4.3. Adaptation ... 53
4.3.1. Typische Beleuchtungsstärken ... 53
4.3.2. Allgemeine Helligkeits-Adaptation ... 53
4.3.3. Lokale Helligkeits-Adaptation ... 53
4.3.4. Laterale Helligkeits-Adaptation ... 53
4.3.5. Allgemeine Farb-Adaptation ... 54
4.3.6. Lokale Farb-Adaptation ... 54
4.3.7. Laterale Farb-Adaptation ... 54
4.4. Konstanz-Phänomene ... 55
4.5. Kontrast ... 55
4.6. Zones of Proximity ... 56
4.7. Räumliche Wahrnehmung ... 57
4.8. Licht und Wahrnehmung ... 57

5. Farbe und Farbmetrik ... 59
5.1. Farbe ... 59
5.2. Farbempfinden ... 60
5.3. Farbmetrik ... 61
5.4. Historische Entwicklung der Farbenlehre ... 61
5.5. Additive Farbmischung ... 63
5.6. RGB-Farbmodell ... 64

5.7. Subtraktive Farbmischung ... 65
5.8. CMY-Farbmodell ... 66
5.9. Integrierte Farbmischung ... 67
5.10. HSV(HSB)-Farbmodell ... 67
5.11. HLS-Farbmodell ... 68
5.12. Dreifarbentheorie ... 69
5.13. CIE-Normfarbwerte (XYZ-Farbsystem) ... 70
5.14. CIE-Normalbeobachter ... 70
5.15. CIE-Normfarbtafel ... 71
5.15.1. Color Gamut ... 72
5.15.2. CIE-Farbabstandsräume ... 72
5.16. CIE-UCS-Farbtafel ... 73
5.17. CIE-LUV-System ... 74
5.18. CIE-LAB-System ... 75

6. Farbordnungssysteme ... 77
6.1. Munsell Book of Color ... 77
6.2. Munsell-Renotation-System (OSA) ... 79
6.3. Natural Color System (NCS) ... 79
6.4. DIN-Farbkartensystem (DIN 6164) ... 80
6.5. RAL-Design ... 81
6.6. Ostwald-Farbkreisel ... 82

7. Farbmessung (Colorimetrie) ... 83
7.1. Normlichtarten ... 83
7.2. Farbwiedergabe-Index R_a ... 83
7.3. Physikalische Zerlegung des Lichts ... 84
7.4. Reflexionsgrade von Oberflächen (Körperfarben) ... 84
7.5. Messgeometrien ... 85
7.5.1. Messgeometrie 45°/0° ... 85
7.5.2. Messgeometrie 2x45°/0° ... 85
7.5.3. Messgeometrie diffus d/0° ... 86
7.5.4. Messgeometrie diffus d/8° ... 86
7.6. Dreibereichs-Messverfahren ... 86
7.7. Spektralphotometrisches Messverfahren ... 86

8. Farbtemperatur ... 87
8.1. Schwarzer Strahler ... 87
8.2. Korrelierte Farbtemperatur ... 88
8.3. Konsistente Farbtemperatur ... 89
8.3.1. Film ... 90
8.3.2. Video ... 90
8.4. Messen der Farbtemperatur ... 90

8.5. MIRED-Werte ... 91
8.6. MIRED-Kelvin-Tabellen ... 92
8.6.1. Kelvin zu Mired ... 92
8.6.2. Mired zu Kelvin ... 92

9. Farbfilter ... 93
9.1. Pigment-Farbfilter ... 93
9.1.1. Gelatinefilter ... 93
9.1.2. Farbgläser ... 93
9.1.3. Polyesterfilter ... 94
9.1.4. Polycarbonatfilter ... 94
9.2. Dichroitische Farbfilter (Interferenz-Filter) ... 94
9.3. Filtersysteme für dichroitische Farbfilter ... 95
9.3.1. Lineare Blockmischeinheiten ... 95
9.3.2. Keilfilter ... 96
9.3.3. Verlaufsfilter ... 96

10. Filter für besondere Anwendungen ... 97
10.1. Weichzeichner (Diffusionsfilter) ... 97
10.1.1. Tough-White-Diffusion ... 97
10.1.2. Tough Frost ... 97
10.1.3. Tough Spun ... 97
10.1.4. Tough Rolux ... 97
10.1.5. Grid Cloth ... 97
10.1.6. Tough Silk ... 97
10.2. Polarisationsfilter ... 98
10.3. UV-Filter ... 98
10.4. Wärmefilter ... 98
10.4.1. Thermashield ... 98
10.4.2. Heat Shield ... 98
10.5. Neutral-Density-Filter ... 98

11. Grundlagen der Fotometrie ... 99
11.1. Lichtstärke I ... 99
11.2. Lichtstrom ϕ (phi) ... 99
11.3. Lichtausbeute η (eta) ... 100
11.4. Leuchtdichte L ... 101
11.5. Beleuchtungsstärke E ... 102
11.5.1. Fotometrisches Entfernungs-Gesetz ... 102
11.5.2. Lamberts Cosinus-Gesetz ... 102
11.5.3. Typische Beleuchtungsstärken ... 103
11.5.4. Beleuchtungsniveaus ... 103
11.5.5. Halbstreuwinkel ... 103
11.6. Gleichmäßigkeit der Beleuchtung ... 104

11.6.1. Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte ... 104
11.6.2. Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke ... 104

12. Fotometrie ... 105
12.1. Leuchtdichtemessgerät (Luminance Meter) ... 105
12.2. Beleuchtungsstärkemessgerät (Incident Light Meter) ... 106
12.3. Tristimulus-Farbmeter ... 107

13. Optik ... 109
13.1. Prisma ... 109
13.2. Linsen ... 109
13.2.1. Sammellinsen (Konvexlinsen) ... 110
13.2.2. Zerstreuungslinsen (Konkavlinsen) ... 111
13.2.3. Fresnellinsen (Stufenlinsen) ... 112
13.3. Linsengesetze ... 112
13.3.1. Abbildungsgleichung ... 112
13.3.2. Abbildungsmaßstab ... 113
13.3.3. Linsen mit verschiedenen Krümmungsradien ... 113
13.3.4. Systeme dünner Linsen ... 113
13.3.5. Dicke Linsen ... 114
13.3.6. Systeme dicker Linsen ... 114
13.3.7. Zeichnerische Konstruktion des Linsenbildes ... 114
13.4. Projektionslinse ... 115
13.5. Fotografische Linse ... 115
13.6. Lupe ... 116
13.7. Brechkraft, Dioptrie ... 117
13.8. Ebener Spiegel ... 117
13.9. Hohlspiegel (Konkavspiegel) ... 117
13.9.1. Zeichnerische Lösung des Strahlengangs ... 118
13.9.2. Sphärische Spiegel ... 118
13.9.3. Parabolspiegel ... 119
13.9.4. Ellipsenspiegel ... 119
13.10. Wölbspiegel ... 119
13.11. Blenden ... 120
13.12. Tiefenschärfe ... 121
13.13. Abbildungsfehler ... 122
13.14. Auflösungsvermögen ... 123
13.15. Vergütung optischer Systeme ... 123

14. Gobo ... 125
14.1. Anwendung von Gobos ... 125
14.2. Wichtige Hinweise zum Umgang mit Glasgobos ... 126
14.3. Daten und Vorlagen für die Goboproduktion ... 126

15. Scheinwerfer ... 129
15.1. Stufenlinsen-Scheinwerfer (Fresnel-Linsen) ... 129
15.2. Plan-Konvex-Scheinwerfer (PC-Scheinwerfer) ... 129
15.3. Profil-Scheinwerfer ... 130
15.4. Verfolger-Scheinwerfer ... 131
15.5. Parabolspiegel-Scheinwerfer ... 131
15.6. Symmetrische Flächen-Scheinwerfer ... 132
15.7. Asymmetrische Flächen-Scheinwerfer ... 132
15.8. Weichstrahler ... 133
15.9. Leuchtstoff-Lampen ... 133
15.10. Moving Lights (Multifunktions-Scheinwerfer) ... 134

16. Leuchtmittel ... 135
16.1. Festkörperlampen ... 135
16.1.1. Übliche Defekte bei Halogen-Glühlampen ... 137
16.1.2. Wendelformen ... 137
16.2. Gasentladungslampen ... 138
16.2.1. Niederdrucklampen ... 139
16.2.1.1. Natriumdampf-Niederdrucklampen ... 140
16.2.1.2. Leuchtstofflampen ... 140
16.2.2. Hochdrucklampen ... 142
16.2.2.1. Quecksilberdampf-Hochdrucklampe ... 145
16.2.2.2. Natriumdampf-Hochdrucklampe ... 145
16.2.2.3. Hochdruck-Metalldampflampe ... 145
16.2.2.4. Xenon-Bogenlampe ... 147
16.2.3. Übliche Defekte bei Gasentladungslampen ... 147
16.3. Leuchtdioden (LED) ... 148
16.3.1. Wirkungsgrad ... 148
16.3.2. Abstrahlwinkel ... 148
16.3.3. Intensität ... 148
16.3.4. Lebensdauer ... 149
16.3.5. Weißes Licht mit Leuchtdioden ... 149
16.3.6. Farbmessung von Leuchtdioden ... 150
16.3.7. Binning ... 150
16.3.8. LED-Typen ... 150
16.3.8.1. T-Type ... 150
16.3.8.2. SMD-Type ... 151
16.3.8.3. COB-Type ... 151
16.3.9. Helligkeitssteuerung ... 151
16.4. PAR-Leuchtmittel ... 152
16.5. Brennlage ... 152
16.6. Leuchtmittelsockel ... 153
16.6.1. Einseitige Sockel ... 153

16.6.2. Zweiseitige Sockel ... 154
16.6.3. Glassockel ... 154
16.6.4. Keramiksockel ... 154
16.6.5. Metallsockel ... 154
16.6.6. Sockelbezeichnungssystem ... 155
16.7. Entsorgung von Leuchtmitteln ... 156
16.7.1. Entsorgung von Festkörperlampen ... 156
16.7.2. Entsorgung von Gasentladungslampen ... 156
16.7.3. Vorschaltgeräte ... 156

17. Beleuchtungsarten ... 157
17.1. Allgemeine Lichtgestaltung ... 157
17.1.1. Licht zum Sehen (Ambient Light) ... 157
17.1.2. Licht zum Hinsehen (Focal Glow) ... 157
17.1.3. Licht zum Ansehen (Play of Brilliance) ... 157
17.1.4. Direktes Licht (hartes Licht) ... 157
17.1.5. Indirektes Licht (weiches Licht) ... 157
17.1.6. Hauptlicht ... 158
17.1.7. Aufhelllicht ... 158
17.1.8. Akzentlicht ... 158
17.2. Bühnenbeleuchtung ... 158
17.2.1. Vorderlicht ... 158
17.2.2. Oberlicht ... 158
17.2.3. Kopflicht ... 158
17.2.4. Gegenlicht ... 159
17.2.5. Seitenlicht ... 159
17.2.6. Gassenlicht ... 159
17.2.7. Unterlicht, Fußlicht ... 159
17.2.8. Horizont-/Hintergrundlicht ... 159
17.3. Hintergrund-Beleuchtung ... 159
17.4. Film- und Fernsehbeleuchtung ... 160
17.4.1. Führungslicht ... 160
17.4.2. Aufhelllicht ... 161
17.4.3. Spitzlicht ... 161
17.4.4. Augenlicht/Vorderlicht ... 161
17.4.5. Unterlicht ... 162
17.4.6. Seitenlicht ... 162
17.4.7. Kantenlicht ... 162
17.4.8. Fülllicht ... 163
17.4.9. Kicker ... 163
17.4.10. Grundlicht ... 163
17.4.11. Dekorationslicht ... 163
17.4.12. Horizont-/Hintergrundlicht ... 163
17.4.13. Dreipunkt-Ausleuchtung ... 163
17.4.14. Vierpunkt-Ausleuchtung ... 163
17.4.15. Mehrpunkt-Mehrkamera-Ausleuchtung ... 164

17.5. Lichtstile für Film- und Fernsehen ... 164
17.5.1. Normalstil ... 164
17.5.2. Low-Key-Stil ... 164
17.5.3. Aufgehellter Low-Key-Stil ... 164
17.5.4. Very-Low-Key-Stil ... 164
17.5.5. High-Key-Stil ... 164

18. Grundlagen der Film- und Fernsehbeleuchtung ... 165
18.1. Oberflächenhelligkeit ... 165
18.1.1. Reflexion von Oberflächen ... 165
18.1.2. Oberflächenbeschaffenheit ... 166
18.1.3. Betrachtungswinkel ... 166
18.1.4. Oberflächenform ... 167
18.2. Beleuchtung ... 167
18.3. Kontraste ... 167
18.3.1. Tonaler Kontrast ... 167
18.3.2. Kontrastbereich ... 168
18.3.3. Kontrastumfang ... 168
18.3.4. Details ... 169
18.4. Schatten ... 169
18.5. Grauskala ... 170

19. Film ... 173
19.1. Film- und Fotomaterial ... 173
19.2. Belichtung von Filmmaterial ... 174
19.3. Entwicklung von Filmmaterial ... 175
19.4. Definition der Belichtung H ... 176
19.5. Filmempfindlichkeit ... 177

20. Video ... 179
20.1. Erzeugen von Farbwertanteilen mit CCD-Wandler ... 179
20.2. Weißabgleich ... 179
20.2.1. Weißabgleich mit einer weißen Vorlage ... 180
20.2.2. Weißabgleich mit einer farbigen Vorlage ... 180
20.3. Schwarzabgleich ... 180
20.4. YUV-Farbmodell für PAL-Farbfernsehen ... 181
20.5. YIQ-Farbmodell für NTSC-Farbfernsehen ... 183
20.6. sRGB (standardisierter RGB-Farbraum) ... 184

21. Bildwiedergabesysteme ... 185
21.1. CRT-Bildschirme ... 185
21.2. Gamma-Korrektur (Gradation) ... 186
21.3. Flüssigkristall-Anzeigen (LCD) ... 186
21.4. Plasma-Anzeigen ... 187

22. Großbildprojektion ... 189
22.1. Kathodenstrahl-Projektor (CRT-Projektor) ... 189
22.2. LCD-Projektor ... 189
22.3. ILA-Projektor ... 190
22.4. Eidophor-Projektor ... 190
22.5. DLP-Projektor ... 191
22.6. Definition von ANSI-LUMEN ... 192
22.7. Brennweitenbestimmung einer Projektionsoptik ... 193
22.8. Brennweitenbestimmung für Dia-Projektion ... 194

23. Grundlagen der Moving Light Programmierung ... 195
23.1. Terminologie ... 195
23.2. Benutzeroberfläche von Moving-Light-Konsolen ... 195
23.3. Scheinwerfer-Nummerierung ... 196
23.4. DMX (Digital Multiplex) ... 196
23.5. Parameter ... 197
23.5.1. Crossfade ... 197
23.5.2. Bump, Snap Change ... 198
23.5.3. Indizierte Parameter ... 198
23.5.4. Parameterarten ... 198
23.5.4.1. Pan und Tilt ... 198
23.5.4.2. Intensität (Intensity) ... 198
23.5.4.3. Shutter Strobe ... 198
23.5.4.4. CMY-Farbmischung ... 198
23.5.4.5. Feste Farben (Fixed Color) ... 199
23.5.4.6. Feste Gobos (Fixed Gobo) ... 199
23.5.4.7. Rotierende Gobos (Rotating Gobo) ... 199
23.5.4.8. Rotiergeschwindigkeit (Rotation Speed) ... 199
23.5.4.9. Iris ... 199
23.5.4.10. Frost ... 199
23.5.4.11. Mode Channel ... 199
23.5.4.12. Speed ... 200
23.5.4.13. Control ... 200
23.5.5. Speed Channel ... 200
23.6. Paletten/Presets ... 201
23.7. HTP/LTP ... 201
23.8. Tracking ... 202
23.8.1. Vorteile von Tracking ... 202
23.8.2. Nachteile von Tracking ... 202
23.9. BLOCK Cue ... 203
23.10. MARK Cue ... 203
23.11. Effekte und Effektgeneratoren ... 205
23.12. Manuelle Effekte (Chaser) ... 206

23.12.1. Kicks ... 206
23.12.2. Stabs ... 206
23.12.3. Ballyhoo ... 206
23.12.4. Fading Pulse ... 206
23.12.5. Random Strobe ... 206
23.12.6. Fireworks, Droplet ... 206
23.12.7. Line Chase ... 207
23.12.8. Gobo Rocker ... 207
23.12.9. Rainbow ... 207
23.13. Timecode und MIDI ... 207
23.13.1. Timecode ... 207
23.13.2. MIDI/MSC ... 208
23.13.2.1. MIDI ... 209
23.13.2.2. MSC ... 209
23.14. Notizen zur Programmierung ... 210
23.15. Digitale Scheinwerfer (Digital Lighting) ... 211

24. Grundlagen der Elektrotechnik ... 213
24.1. Formeltabelle ... 213
24.2. Elektrischer Strom [I] ... 214
24.3. Elektrische Spannung [U] ... 214
24.4. Elektrischer (Ohm'scher) Widerstand [R] ... 214
24.5. Elektrischer Widerstand von Leitern ... 215
24.6. Elektrische Reihenschaltung ... 215
24.7. Elektrische Parallelschaltung ... 215
24.8. Elektrische Leistung (P) ... 216
24.9. Elektrische Arbeit (W) ... 216
24.10. Kosten elektrischer Arbeit (K) ... 216
24.11. Wirkungsgrad (η) ... 216
24.12. Wechselspannung und -strom ... 217
24.12.1. Induktiver Widerstand ... 217
24.12.2. Kapazitiver Widerstand ... 217
24.12.3. Phasenverschiebung und Leistung ... 217
24.12.4. Scheinleistung und Cos φ ... 218
24.12.5. Cos φ bei Aggregaten ... 218
24.13. Drehstrom ... 219

25. Elektrotechnik ... 221
25.1. Die fünf Sicherheitsregeln ... 221
25.2. Schutz gegen direktes Berühren ... 221
25.3. Dimmer ... 222
25.4. Typische Leistungen und Ströme ... 224
25.4.1. Schutzkontaktsteckdose ... 224

25.4.2. CEE ... 224
25.4.3. Typische Dimmerströme ... 224
25.5. Typische Strombelastbarkeit elektrischer Leitungen ... 224
25.6. Sicherungen (MCB) ... 225
25.7. FI-Schutzschalter (RCD) ... 225
25.8. Dimensionierung von Leitungsschutzsicherungen ... 227
25.8.1. Strombelastbarkeit für flexible Leitungen ... 227
25.8.2. Umrechnungsfaktoren für abweichende Umgebungstemperaturen ... 227
25.8.2.1. Umgebungstemperatur über 30° C ... 227
25.8.2.2. Umgebungstemperatur über 50° C ... 228
25.9. CEE-Anschlussbuchsenbelegung und Norm ... 228
25.10. Kennfarben von Leitungen und Kabeln ... 229
25.10.1. Aderkennzeichnung nach DIN VDE 0100, Teil 200 ... 229
25.10.2. Aderkennzeichnung nach DIN VDE 0293 ... 229
25.10.2.1. Mehr- und vieladrige flexible Leitung ... 229
25.10.2.2. Mehr- und vieladrige Kabel und Leitungen für feste Verlegung ... 229
25.11. Bezeichnung von Leitungen ... 230
25.12. Geräte-Steckverbinder nach IEC ... 230
25.13. Schutzklassen ... 231
25.14. IP-Schutzarten ... 231
25.15. Sicherheitskennzeichen an Leuchten ... 232
25.15.1. ENEC-Zeichen ... 232
25.15.2. CE-Zeichen ... 232
25.16. Kenn- und Prüfzeichen ... 233
25.17. Funkentstörung ... 234

26. DMX512 und ACN ... 235
26.1. DMX512-Protokoll ... 235
26.1.1. Bit- und Spannungszuordnung ... 235
26.1.2. Steckerbelegung ... 235
26.1.3. Leitungsdimensionierung und -abschluss ... 235
26.1.4. Digital Multiplex, Topologie und Adressierung ... 236
26.1.5. Übertragungsprotokoll ... 237
26.1.6. Nachteile ... 238
26.2. ACN (Architecture for Control Networks) ... 238

27. Ethernet ... 239
27.1. Netzwerk-Topologien ... 239
27.1.1. Peer-to-Peer-Netzwerke ... 239
27.1.2. Client-Server-Netzwerke ... 239
27.1.3. LAN (Local Area Network) ... 239
27.1.4. WAN (Wide Area Network) ... 239
27.1.5. WLAN (Wireless Local Area Network) ... 240
27.1.6. Internet ... 240

27.1.7. Intranet 240
27.2. Netzwerk-Protokolle 240
27.2.1. CSMA/CD 240
27.2.2. TCP/IP 240
27.2.2.1. TCP 241
27.2.2.2. IP 241
27.3. grandMA-IP-Adressen 242
27.4. WholeHogIII-IP-Adressen 243
27.5. Verkabelungsformen 243
27.5.1. Netzwerke mit Koaxialkabel 243
27.5.2. Netzwerke mit Twisted-Pair-Kabel 244
27.5.3. Steckverbindungen 245
27.5.4. Crossover-Kabel 246
27.6. Systemvergleich DMX - Ethernet 246

28. Mechanik 247
28.1. Grundlagen der Statik 247
28.1.1. Freistellen von Kräften 247
28.1.2. Kräfte auf einer Wirkungslinie 248
28.1.3. Kräfte auf einer Wirkungslinie mit beliebigen Richtungen 248
28.1.4. Zentrales Kräftesystem mit beliebigen Richtungen 249
28.1.5. Gleichgewichtsbedingungen im zentralen Kräftesystem 249
28.1.6. Gleichgewichtsbedingungen im allgemeinen Kräftesystem 249
28.1.7. Gleichgewichtsbedingungen mit Streckenlasten 250
28.2. Berechnung von Bridle-Längen 251
28.3. Berechnung von Bridle-Kräften 251
28.4. Tabelle zur Bridle-Kraft F_1 252
28.5. Tabelle zur Bridle-Kraft F_2 253

29. Rigging 255
29.1. Traversen 255
29.2. Traversen-Typen 256
29.3. Fachwerksverlauf 257
29.4. Verbinder-Typen 258
29.4.1. Flanschplatten-Verbinder 258
29.4.2. Rohr-Verbinder 258
29.4.3. Gabel-Zapfen-Verbinder 259
29.4.4. Konus-Verbinder 259
29.5. Kräfte innerhalb einer Traverse 259
29.5.1. Biegung 259
29.5.2. Durchbiegung 259
29.5.3. Querkraft 260
29.6. Belastungsarten 261
29.6.1. Gleichmäßig verteilte Last 261

29.6.2. Punktlasten 261
29.6.3. Mehrere Punktlasten 262
29.6.4. Ungleichmäßige Belastung 262
29.6.5. Lasteinleitung 262
29.6.6. Kriterien zur Auswahl eines geeigneten Traversen-Typen 262
29.6.7. Belastungen von Leiter-Traversen 263
29.6.8. Belastung von Traversen-Knoten (Ecken) 263
29.7. Trägerarten 263
29.7.1. Einfeldträger 263
29.7.2. Beidseitig eingespannter Träger 263
29.7.3. Auskragende Träger 264
29.7.4. Mehrfeldträger 264
29.8. Anschlagmethoden 264
29.8.1. Einfache Aufhängung (Direct Hitch) 265
29.8.2. Geschnürte Aufhängung (Choke Hitch) 265
29.8.3. Korbaufhängung (Basket Hitch) 265
29.9. Anschlagmittel 266
29.9.1. Anschlagöse 266
29.9.2. Starre Anschlagmittel 266
29.9.3. Ketten 266
29.9.4. Stahlseile 266
29.9.5. Rundschlingen (Spansets) 267
29.9.6. Rundschlingen mit Stahleinlage (Steel-Flex) 267
29.10. Traglastverluste verschiedener Anschlagmethoden 267
29.10.1. Festgezogene Schlinge 267
29.10.2. Umgelegte Schlinge 268
29.10.3. Anschlagen von Dreipunkt-Traversen 268
29.10.4. Anschlagen von Vierpunkt-Traversen 269
29.10.5. Anschlagen von Folding-Traversen 269
29.11. Wichtige Sicherheitsregeln für Traversensysteme 270
29.11.1. Sicherheitstechnische Festlegungen 270
29.11.2. Qualifikationen und Tätigkeiten bei Benutzung von Traversensystemen 270
29.12. Aufhängungen 271
29.13. Wichtige Sicherheitsregeln für Anschlagmittel 272
29.13.1. Vorschriften für die Prüfung und Wartung von Anschlagmittel 272
29.13.2. Art und Verfahren für die Prüfung und Wartung von Anschlagmitteln nach EG-Recht 272
29.14. Wichtige Sicherheitsregeln bei Lastaufnahme 273
29.14.1. SWL und WLL 273
29.14.2. Sicherheitsfaktoren gemäß EN292-2 273
29.14.3. Sicherheitsfaktoren gemäß BGV C1 273
29.14.4. Gegenüberstellung EN292-2/BGV C1 274
29.14.5. Ketten 274

29.14.6. Drahtseilklemmen (Frösche) ... 274
29.15. Sicherungsseil (Safety) ... 276
29.16. Punktzüge und Hebezeuge ... 279
29.16.1. BGV D8 (früher VBG 8) ... 279
29.16.2. BGV D8+ ... 279
29.16.3. BGV C1 (früher VBG 70) ... 279
29.16.3.1. Lastart „Einzellast" ... 280
29.16.3.2. Lastart „Streckenlast an zwei Zügen" ... 280
29.16.3.3. Lastart „Streckenlast an mehr als zwei Zügen ... 281
29.16.3.4. Lastart „Biegemoment freie Last" ... 281
29.16.3.5. Lastart „Flächenlast an drei Zügen" ... 281
29.16.3.6. Lastart „Flächenlast an mehr als drei Zügen" ... 281
29.16.3.7. Lastart „Geführte Last" ... 281
29.16.4. Planung und Prüfung nach BGV C1 ... 282

30. Technisches Zeichnen ... 283
30.1. Blattgrößen ... 283
30.2. Faltungen ... 284
30.2.1. Mit gelochtem Heftrand für Ablage in Heftern ... 284
30.2.2. Ohne Heftung für Ablage in Fächern oder Taschen ... 285
30.3. Linienarten und Anwendungen ... 287
30.4. Das Schriftfeld ... 288
30.5. Maßstäbe ... 288

TEIL 2 – Daten und Tabellen

31. Winkeltabelle ... 291

32. Scheinwerferintensitäten ... 293
32.1. Kunstlicht ... 293
32.1.1. 500 W-PAR ... 293
32.1.2. 1000 W-PAR ... 293
32.1.3. 1 KW-Stufenlinsen ... 293
32.1.4. 2 KW-Stufenlinsen ... 293
32.1.5. 5 KW-Stufenlinsen ... 293
32.1.6. 10 KW-Stufenlinsen ... 294
32.2. Weichstrahler ... 294
32.2.1. 1,2 KW-Weichstrahler ... 294
32.2.2. 2,5 KW-Weichstrahler ... 294
32.2.3. 5 KW-Weichstrahler ... 294
32.3. Profilscheinwerfer ... 294
32.3.1. 600 W-Profilscheinwerfer 19° ... 294
32.3.2. 600 W-Profilscheinwerfer 36° ... 295

32.3.3. 600 W-Profilscheinwerfer 15°/32° Zoom ... 295
32.3.4. 1200 W-Profilscheinwerfer 24°/40° Zoom ... 295
32.3.5. 1000 W-Xenon Verfolger 6°/15° Zoom ... 295
32.4. Tageslicht ... 295
32.4.1. 200 W-Stufenlinsen ... 295
32.4.2. 575 W-Stufenlinsen ... 296
32.4.3. 1,2 KW-Stufenlinsen ... 296
32.4.4. 2,5 KW-Stufenlinsen ... 296
32.4.5. 4 KW-Stufenlinsen ... 296
32.4.6. 6 KW-Stufenlinsen ... 297
32.4.7. 12 KW-Stufenlinsen ... 297
32.4.8. 18 KW-Stufenlinsen ... 297
32.4.9. 1,2 KW-PAR ... 297
32.4.10. 2,5 KW-PAR ... 298
32.4.11. 4 KW-PAR ... 298
32.4.12. 6 KW-PAR ... 298

33. Gobogrößen ... 299
33.1. Standardgrößen ... 299
33.1.1. Metallgobos ... 299
33.1.2. Glasgobos ... 299
33.2. Gobogrößen für Moving Lights und Projektoren ... 299
33.2.1. Metall- und Glasgobos ... 299
33.2.2. Glasgobos ... 303
33.3. Gobogrößen für Profilscheinwerfer ... 303

34. DMX-Tabellen für Moving Lights und Effekte ... 305
34.1. Clay Paky ... 305
34.2. Coemar ... 308
34.3. High End Systems ... 311
34.4. Martin Professional ... 314
34.5. Robe ... 321
34.6. SGM ... 326
34.7. Vari Lite ... 328
34.8. Verschiedene Hersteller ... 332

35. DMX-DipFix-Adressierung ... 341

36. Steckerbelegungen ... 347
36.1. Lastkabel 2 KW für Dimmer und Stromverteilungen ... 347
36.2. Lastkabel 5 KW für Dimmer und Stromverteilungen ... 347
36.3. DMX-Steckerbelegung ... 347
36.4. Rainbow/Colorfader Distrobox → Farbwechsler ... 348
36.5. Rainbow-Farbwechsler PSA → Distrobox (NL4) ... 348

36.6. Wybron Distrobox → Farbwechsler ... 348
36.7. Multicore-Auflösung für Motorcontroller ... 348
36.8. Steckerbelegung Tageslichtscheinwerfer, TL-575 VEAM ... 349
36.9. Steckerbelegung Tageslichtscheinwerfer, TL-1200 VEAM ... 349
36.10. Steckerbelegung Tageslichtscheinwerfer, TL-2500 VEAM ... 349
36.11. Steckerbelegung Tageslichtscheinwerfer, TL-4000 VEAM ... 349
36.12. SOCAPEX-Lastkabeladapter 2 KW für Dimmer und Stromverteilungen, SOCAPEX → HAN16 ... 350
36.13. SOCAPEX-Lastkabeladapter 2 KW für Dimmer und Stromverteilungen, Schuko → SOCAPEX ... 350
36.14. SOCAPEX-Lastkabeladapter 2 KW für Dimmer und Stromverteilungen, SOCAPEX → Schuko ... 351
36.15. SOCAPEX-Multicore-Auflösung für Motorcontroller ... 351

37. Leuchtmittel-Vergleichstabelle ... 353
37.1. Halogen-Quarzglaslampen, einseitig gesockelt ... 353
37.2. Halogen-Quarzglaslampen, zweiseitig gesockelt ... 354
37.3. Kleinspannung Halogen-Quarzglaslampen ... 354
37.4. PAR56- und PAR64- Halogen-Reflektorlampe ... 355
37.5. Entladungslampen, einseitig gesockelt ... 355
37.6. Entladungslampen, zweiseitig gesockelt ... 356

38. Farbfilter-Vergleichslisten ... 357
38.1. LEE ↔ ROSCO ... 357
38.2. LEE ... 360
38.3. ROSCO ... 363
38.4. EUROFILTER ↔ ROSCO Supergel ... 366
38.5. EUROFILTER ↔ ROSCO Cinecolor ... 368
38.6. EUROFILTER ↔ GAMcolor ... 368
38.7. LEE ↔ MAC500, MAC250 ... 370
38.8. LEE ↔ MAC600 ... 370
38.9. ROSCO ↔ MAC2000 ... 372
38.10. ROSCO ↔ Studio Color ... 374
38.11. Korrekturfilter LEE ↔ ROSCO ... 375

39. Korrektur- und Kompensationsfilter ... 377
39.1. Farbtemperatur-Korrekturfilter ... 377
39.2. Farbtemperatur-Kompensationsfilter ... 378
39.3. Neutral-Density-Filterreihe ... 378

40. Belastungsgrenzen verschiedener Traversensysteme ... 379
40.1. Thomas Engineering ... 379
40.1.1. 30,5 cm General Purpose Truss ... 379

40.1.2. 45 cm x 30,5 cm General Purpose Truss ... 379
40.1.3. 59 cm General Purpose Triangular Truss ... 379
40.1.4. 52 cm General Purpose Truss ... 379
40.1.5. Heavy Duty Truss ... 379
40.1.6. 30,5 cm Superlite Truss ... 379
40.1.7. 40 cm Superlite Truss ... 379
40.1.8. 30,5 cm Squarelite Truss ... 380
40.1.9. 40 cm Squarelite Truss ... 380
40.1.10. 30,5 cm Supertruss ... 380
40.1.11. 45 cm x 30,5cm Supertruss ... 380
40.1.12. 52 cm Supertruss ... 380
40.1.13. 52 cm Fold Flat Supertruss ... 380
40.1.14. 52 cm Folding Supertruss ... 380
40.1.15. 76 cm Folding Supertruss ... 381
40.1.16. 76 cm x 52 cm Supertruss ... 381
40.1.17. Supermegatruss ... 381
40.1.18. Pre-rig Truss ... 381
40.1.19. Pre-rig Truss, bestückt ... 381
40.1.20. Single Bar Pre-rig Supertruss ... 381
40.1.21. Pre-rig Supertruss ... 382
40.2. Total Fabrications ... 382
40.2.1. Double Par Truss ... 382
40.2.2. Fold Flat Truss ... 382
40.2.3. Folding Catwalk Truss ... 382
40.2.4. Folding Triangular Truss ... 382
40.2.5. 30,5 cm Light Duty Truss ... 383
40.2.6. 30,5 cm x 45,7 cm Light Duty Truss ... 383
40.2.7. Medium Duty Truss ... 383
40.2.8. Heavy Duty Truss ... 383
40.2.9. Serious Light Duty Truss ... 383
40.2.10. Serious Medium Duty Truss ... 384
40.2.11. Serious Heavy Duty Truss ... 384
40.2.12. Triangular Medium Duty Truss ... 384
40.2.13. Triangular XO Truss ... 384
40.2.14. Square XO Truss ... 384
40.3. Slick Systems ... 385
40.3.1. Litebeam ... 385
40.3.2. Litebox ... 385
40.3.3. Minibeam ... 385
40.3.4. Maxibeam ... 386
40.3.5. Novabeam Lite ... 386
40.3.6. Novabeam ... 386
40.3.7. GS Light ... 387
40.3.8. GS Truss ... 387
40.3.9. Superbeam ... 387
40.3.10. Folding Truss ... 388
40.4. Prolyte ... 388

40.4.1. X30D ... 388
40.4.2. X30V ... 388
40.4.3. H30D ... 388
40.4.4. H30V ... 389
40.4.5. X40D ... 389
40.4.6. X40V ... 389
40.4.7. H40D ... 390
40.4.8. H40V ... 390
40.4.9. S36R ... 390
40.4.10. S36V ... 390
40.4.11. S52F ... 391
40.4.12. S52SV und S52V ... 391
40.4.13. S66R und S66V ... 391
40.4.14. S100F ... 392
40.4.15. B100RV ... 392

41. Gewichtstabellen ... 393
41.1. Effekt-Scheinwerfer ... 393
41.1.1. Projektoren ... 393
41.1.2. Moving Heads ... 393
41.1.3. Scanner ... 394
41.1.4. Farbwechsler ... 395
41.1.5. Stroboskope ... 395
41.1.6. Schwarzlicht ... 396
41.1.7. Outdoor-Effekte ... 396
41.2. Effekte ... 397
41.2.1. Nebel und Spezialeffekte ... 397
41.2.2. Gebläse ... 397
41.3. Kunstlicht-Scheinwerfer ... 397
41.3.1. Stufenlinsen-Scheinwerfer ... 397
41.3.2. Plan- und Prismen-Konvex-Scheinwerfer ... 398
41.3.3. Profil-Scheinwerfer ... 399
41.3.4. Flächen-Leuchten ... 400
41.3.5. Horizont-Leuchten ... 400
41.3.6. Weichstrahler ... 401
41.3.7. PAR-Scheinwerfer ... 401
41.3.8. Spezial-Scheinwerfer ... 401
41.3.9. Leuchtstoff-Flächenleuchten ... 402
41.3.10. Verfolger-Scheinwerfer ... 402
41.4. Tageslicht-Scheinwerfer ... 402
41.4.1. Stufenlinsen-Scheinwerfer ... 402
41.4.2. PAR-Scheinwerfer ... 403
41.4.3. Weichstrahler ... 403
41.4.4. Vorschaltgeräte ... 404
41.4.5. Profil-Scheinwerfer ... 404
41.4.6. Verfolger-Scheinwerfer ... 404

41.5. Steuerungen ... 405
41.5.1. Lichtsteuerungen ... 405
41.5.2. Signaltechnik DMX ... 405
41.5.3. Dimmer ... 406
41.6. Traversen ... 406
41.6.1. Thomas Engineering ... 406
41.6.2. Total Fabrications ... 412
41.6.3. Slick Systems ... 414
41.6.4. Prolyte ... 417
41.7. Rigging-Zubehör ... 419
41.7.1. Motoren und Züge ... 419
41.7.2. Grip ... 419
41.7.3. Stative ... 420
41.7.4. Lifte ... 421
41.8. Zubehör ... 422
41.8.1. Stomverteilungen ... 422
41.8.2. Kabel ... 422
41.8.3. Podeste ... 422

42. Belastungstabellen für Anschlagmittel ... 423
42.1. Anschlagseile, Kabelschlagseile prEN 13144-3 mit SE ... 423
42.2. Anschlagseil „Flämisches Auge" prEN 13411-3 mit SE ... 423
42.3. Polyester Rundschlinge nach DIN EN 1492-2 ... 423
42.4. Anschlagkette Güteklasse 8 DIN EN 818-4 ... 424
42.5. Ringschraube DIN 580 Werkstoff C15 ... 424

TEIL 3 – Sicherheit und Organisation

43. Arbeitssicherheit ... 427
43.1. Arbeitsschutzbestimmungen ... 427
43.2. Gültigkeit und Verbindlichkeit ... 428
43.3. Die Berufsgenossenschaften ... 428
43.4. Unfallverhütungsvorschriften und DIN-Normen ... 429
43.5. Regeln der Sicherheitstechnik für Veranstaltungs- und Produktionsstätten für szenische Darstellung (BGV C1) ... 429
43.6. Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) und BGV A1 ... 430
43.7. Sicherheits-Hierarchie ... 431
43.8. Anwesenheitspflicht technischer Fachkräfte bei Produktionen in Veranstaltungs- und Produktionsstätten ... 432
43.9. Anwesenheitspflicht der Verantwortlichen für Veranstaltungstechnik nach §40 Muster-VstaettVO ... 432
43.10. Kriterien zur Auswahl der erforderlichen Qualifikation ... 433
43.11. Prüfug elektrischer Anlagen und maschinentechnischer Einrichtungen ... 433

43.12. Persönliche Schutzausrüstung 435
43.13. Einige Fragen zur Sicherheitstechnik für Veranstaltungs- und Produktionsstätten für szenische Darstellung 436
43.14. Tatsächliche Unfallursachen 441

44. Die wichtigsten Punkte der BGV C1 443

45. Die wichtigsten Punkte der Muster-Versammlungsstätten-Verordnung 453

46. Wichtige Gesetze, Normen und Vorschriften 459
46.1. Wichtige Gesetze und Vorschriften 459
46.1.1. Gesetze 459
46.1.2. Verordnungen 459
46.1.3. Vorschriften (autonome Rechtsnormen) 459
46.1.4. Allgemein anerkannte Regeln und Normen der Technik 459
46.1.5. Richtlinien 459
46.2. Vorschriften der Berufsgenossenschaften (BGV) 460
46.3. Unfallverhütungsvorschriften (UVV) 461
46.4. DIN- und EU-Normen: Schwerpunkt Licht und Elektrik 462
46.5. DIN- und EU-Normen: Schwerpunkt Bühne 465
46.6. VDE-Regelwerk (mit EN-Bezeichnungen) 466
46.7. Nationale Normen: Traversensysteme 468
46.8. Internationale Normen: Traversensysteme 469
46.9. Bezugsquellen 470

47. Leitfaden für Sicherheit und Organisation 471
47.1. Behördliche Anmeldeverfahren und Regelungen 471
47.2. Zu beachtende Regelungen 472
47.3. Sonstiges 473

48. Checkliste für eine erfolgreiche Veranstaltung 475
48.1. Veranstaltungsort, -halle 475
48.2. Rigging 475
48.3. Allgemeines 476

Anhang

Anhang A – Wörterbuch Deutsch → Englisch 479

Anhang B – Wörterbuch Englisch → Deutsch 489

Anhang C – Literaturverzeichnis 501

Anhang D – INDEX 503