Günter S. Hilbert

Sammlungsgut in Sicherheit

Beleuchtung und Lichtschutz
Klimatisierung
Sicherungstechnik
Brandschutz

Unter Mitarbeit von
Barbara Fischer und Klaus Bleker

GEBR. MANN VERLAG · BERLIN

INHALTSVERZEICHNIS V
VORBEMERKUNG XVII
VORWORT 1

I BELEUCHTUNG UND LICHTSCHUTZ 3

1 Einleitung 3

2 Lichttechnische Grundlagen 4
2.1 Strahlung und Licht 4
2.2 Strahlungsphysikalische und lichttechnische Begriffe 5
2.2.1 Strahlung von Lichtquellen 5
2.2.2 Strahlungsleistung, Lichtstom 6
2.2.3 Bestrahlungsstärke, Beleuchtungsstärke 7
2.2.4 Bestrahlung, Belichtung 8
2.3 Photometrisches Grundgesetz 8
2.4 Lichtstärke 9
2.5 Leuchtdichte und Beleuchtungsstärke 9
2.6 Energiebilanz und Lichtausbeute von Lampen 11

3 Beleuchtung und Sehleistung 12
3.1 Unterschiedsempfindlichkeit und Sehschärfe 12
3.2 Farbwahrnehmung 14
3.3 Adaptation 14
3.4 Blendung 14
3.5 Physiologische Wirkung 15

4 Tageslicht 15
4.1 Bestrahlungs- und Beleuchtungsstärken 16
4.1.1 Bestrahlungs- und Beleuchtungsstärken im Freien 16
4.1.2 Eigenschaften 17
4.1.3 Tageslicht im Raum 18

5 Künstliche Lichtquellen 20
5.1 Lichterzeugung 21
5.1.1 Lichtausbeute 23
5.1.2 Lichtfarbe, Farbwiedergabe-Eigenschaft 23
5.1.3 Normlichtarten 24
5.2 Glühlampe 24
5.2.1 Aufbau und Betrieb 24
5.2.2 Eigenschaften der Glühlampe 25
5.2.3 Ausführungsformen, Anwendungsbereich 25
5.3 Halogenglühlampe 26
5.3.1 Aufbau und Betrieb 26

5.3.2 Eigenschaften ... 27
5.3.3 Ausführungsformen, Anwendungsbereich ... 29
5.4 Kaltlicht-Reflektorlampe ... 30
5.5 Leuchtstofflampe ... 32
5.5.1 Aufbau und Betrieb ... 32
5.5.2 Eigenschaften ... 33
5.5.3 Ausführungsformen, Anwendungsbereich ... 34
5.6 Halogen-Metalldampflampe ... 36
5.6.1 Aufbau und Betrieb ... 36
5.6.2 Eigenschaften ... 37
5.6.3 Ausführungsformen, Anwendungsbereich ... 38

6 Beleuchtungstechnik ... 38
6.1 *Lichtausbreitung* ... 38
6.2 Tageslicht ... 40
6.2.1 Tageslichtversorgung, Fenster, Verglasung ... 40
6.2.2 Tageslichtschwächung und -lenkung ... 41
6.3 Beleuchtung mit künstlichem Licht ... 43
6.3.1 Beleuchtungsniveau, Beleuchtungsstärke ... 44
6.3.2 Leuchtdichteplanung ... 44
6.3.3 Beleuchtungsplanung ... 47
6.3.4 Das Licht gebende Element: Die Leuchte ... 47
6.3.5 *Lichtleiter, faseroptische Systeme* ... 49
6.3.6 Anschlußleistung ... 51

7 Beleuchtung im Museum – Ausstellungsbeleuchtung ... 51
7.1 Tageslicht im Museum ... 53
7.1.1 *Tageslichtöffnungen, Gestaltung und Bemessung* ... 53
7.1.2 Tageslichtschwächung ... 57
7.1.3 Verglasung ... 58
7.2 Künstliches Licht ... 61
7.2.1 Ausstellungs-Beleuchtungssysteme ... 62
7.2.2 Lichtplanung, Beleuchtungskonzeptionen ... 64
7.2.3 Mindestbeleuchtungsstärke ... 65
7.2.4 Leuchtdichteverteilung, Wandhelligkeit ... 69
7.2.5 Lichtführung, Licht und Schatten, Streiflicht, Blendung ... 71

8 Geschichte des Lichtschutzes in Museen ... 72
8.1 Der ‚Russell and Abney Report' ... 72
8.2 Das Echo auf den ‚Report' ... 75
8.3 Der ‚Relative Damage Factor' D_λ ... 76
8.4 Weitere Untersuchungen zum musealen Lichtschutz ... 80
8.5 Der Faktor *Zeit* ... 81
8.6 Der neue Begriff: Die relative spektrale Empfindlichkeit $s(\lambda)_{dm,rel}$ ... 83

9 Farbliche Veränderungen von beleuchtetem Museumsgut – neuere Erkenntnisse ... 87
9.1 Photochemische Wirkungen ... 87
9.2 Beleuchtung, Farbveränderung – Kausalitätsprinzip ... 88
9.2.1 Ursache ... 88
9.2.2 Wirkung ... 90
9.3 Schwellenbestrahlung – der Maßstab für Lichtempfindlichkeit ... 90
9.4 Schwellenbelichtung ... 93
9.5 Farbliche Veränderungen – vorbelichtetes Material ... 94

10 Lichtschutz heute – konservatorische Maßnahmen ... 96
10.1 Strahlungsverteilung S_λ – Kriterium für die Auswahl geeigneter Lichtquellen ... 97
10.2 Spektraler Transmissionsgrad $\tau(\lambda)$, UV-Schutz ... 101
10.2.1 Kantenlage von UV-Filtern ... 101
10.2.2 Farbliche Umstimmung ... 101
10.2.3 Filtermaterial ... 101
10.2.4 Alterung von Filtermaterial ... 102
10.2.5 Kriterien zur Auswahl geeigneter Filter ... 103
10.3 Faktor *Zeit* ... 103
10.3.1 Kunstlicht – zeitliches Begrenzen ... 104
10.3.2 Tageslicht – Zeitfaktor ... 104
10.4 Anwendung auf die konservatorische Praxis ... 105
10.4.1 Soll-Beleuchtungsstärke ... 105
10.5 Verfahrensschritte praktischen Lichtschutzes ... 106
10.5.1 Kunstlicht, Schwellenbelichtung ... 106
10.5.2 Tageslicht, Begrenzen der Beleuchtungsstärke ... 108
10.6 Lichtschutz in der Praxis, Berechnungsbeispiel ... 110

11 Thermische Wirkungen der Beleuchtung ... 111
11.1 Thermische Empfindlichkeit ... 112
11.2 Beleuchtungsbedingte Trockenschäden ... 112
11.3 Thermische Belastung des Lichtstroms ... 114
11.4 Effektive thermische Belastung, Schutzmaßnahmen ... 114

12 Meßgeräte ... 116
12.1 Beleuchtungsstärke ... 116
12.2 Messung des UV-Anteils ... 117
12.3 Belichtung ... 117
12.4 Tageslichtquotient ... 118
12.5 Oberflächentemperatur ... 118

Literatur zu Teil I – Beleuchtung und Lichtschutz ... 119

II	**KLIMATISIERUNG**	124
1	**Einleitung**	124
2	**Raumklima**	126
2.1	Relative Feuchte (rF) φ und Feuchtegehalt x	126
2.2	Das h,x-Diagramm für feuchte Luft	127
2.3	Zustandsänderungen der Luft	129
2.3.1	Mischen zweier Luftmengen	129
2.3.2	Erwärmung	129
2.3.3	Kühlung	130
2.3.4	Befeuchtung	131
2.3.5	Entfeuchtung	132
2.4	Thermodynamische Begriffe und Gesetze	132
2.4.1	Wärmeübertragung – Wärmebilanz	132
2.4.2	Wärmeübergang, Strahlungsaustausch	134
2.4.3	Stoffübertragung, Stoffbilanz	135
2.4.4	Andere Vorgänge	135
3	**Mensch und Raumklima**	136
3.1	Thermische Behaglichkeit	136
3.1.2	Raumlufttemperatur	136
3.1.3	Strahlungstemperatur	137
3.2	Zugluft	138
3.3	Relative Feuchte	139
3.4	Hygienische Aspekte, gesundheitliche Gefährdung durch Klimaanlagen	139
3.4.1	Luftqualität	139
3.4.2	Geruchsstoffe	140
3.4.3	Gesundheitliche Gefährdung	140
4	**Objekt und Raumklima**	140
4.1	Leitlinien	140
4.2	Temperatur	141
4.2.1	Temperaturabhängige Prozesse	141
4.2.2	Temperaturbedingte innere Spannungen	142
4.3	Relative Feuchte	143
4.3.1	Hygroskopisches Material	143
4.3.2	Sorption	143
4.3.3	Sorptionsisothermen	145
4.3.4	Volumenänderungen	146
4.4	Andere Einflüsse	147
5	**Baukörper und Raumklima**	147
5.1	Einleitung	147
5.2	Thermisches Verhalten des Baukörpers	148

5.2.1 Außenwand, Dach, Thermostabilität ... 148
5.2.2 Innenwände, Decken, Ausbau ... 149
5.3 Transparente Außenbauteile, Fenster ... 150
5.4 Feuchteschutz und Dichtigkeit des Baukörpers ... 150
5.4.1 Schwitzwasser ... 150
5.4.2 Dampfdiffusion, Absorption von Luftfeuchte ... 152
5.4.3 Fugenlüftung ... 153

6 Energiehaushalt eines Gebäudes ... 153
6.1 Heizung, Heizwärmebedarf ... 153
6.1.1 Normtemperaturen ... 153
6.1.2 Normwärmebedarf ... 154
6.2 Kühllast ... 154
6.2.1 Innere Kühllast ... 155
6.2.2 Äußere Kühllast ... 155
6.3 Energiebilanz, energiewirtschaftliche Aspekte ... 157

7 Klimatechnik ... 157
7.1 Einleitung ... 157
7.2 Funktion einer Klimaanlage ... 158
7.3 Betrieb von Klimaanlagen ... 159
7.3.1 Außenluftversorgung ... 159
7.4 Systeme, Komponenten ... 161
7.4.1 Wasser/Luft-System ... 161
7.4.2 Nur-Luft-Systeme ... 162
7.5 Klimazentrale ... 162
7.5.1 Befeuchtungseinrichtung ... 162
7.5.2 Luftfilter ... 165
7.6 Ventilatoren ... 167
7.7 Wärme- und Kälteversorgung ... 168
7.8 Wärmerückgewinnung ... 168
7.9 Regelungstechnik ... 169
7.9.1 Regelkreis ... 169
7.9.2 Regelungstechnische Ausrüstung ... 170
7.10 Instandhaltung und Wartung von Klimaanlagen ... 170

8 Luftmengen, Lüftungsarten ... 171
8.1 Zuluftmenge, Luftkanäle, Lüftungsart ... 171
8.2 Mischungslüftung ... 173
8.3 Verdrängungslüftung ... 173
8.4 Quellüftung ... 174
8.4.1 Funktion ... 174
8.4.2 Quelluftvolumenstrom ... 176
8.4.3 Kühldecke ... 177
8.4.4 Hygiene ... 177

9 Klimaanlagen für Museen – Planungsgrundlagen ... 178
9.1 Rückblick ... 178
9.2 Klimatisierte Räume ... 180
9.3 Konservatorische Anforderungen an das Raumklima in Museen ... 181
9.3.1 Temperatur und Temperaturänderungen ... 181
9.3.2 Relative Feuchte ... 184
9.4 Andere Anforderungen ... 186
9.4.1 Der Aspekt *Mensch* im Museum ... 186
9.4.2 Gebäude und Raumklima ... 186
9.4.3 Meteorologische Gesichtpunkte ... 187
9.5 Sollwerte –Sollwertprogramm ... 188
9.5.1 Ausstellungsbereiche ... 188
9.5.2 Magazine ... 189
9.5.3 Sollwerte nach Ortswechsel ... 190
9.5.4 Konstanz des Raumluftzustands ... 190
9.5.5 Regelungstechnische Aspekte ... 191
9.6 Kühllast – Planungsvorgaben des Museums ... 192
9.6.1 Innere Kühllast – Anteil Personenwärme ... 192
9.6.2 Kühllastanteil Kunstlicht ... 193
9.6.3 Kühllastanteil Tageslicht ... 194
9.6.4 Kühllast und Speicherwirkung ... 195
9.6.5 Kühllast in Magazinen und Studiensammlungen ... 195
9.7 Außenluftrate, Lüftungsprinzip ... 195
9.7.1 Ausstellungen ... 195
9.7.2 Luftwechsel in Magazinen ... 197
9.8 Ausstattung der Klimazentrale, Hinweise zur Ausführungsplanung ... 198
9.8.1 Luftfilter ... 198
9.8.2 Befeuchtungseinrichtung ... 198
9.8.3 Klimazentralgerät, Raumbedarf ... 199

10 Klimatisierung von Vitrinen ... 199
10.1 Einfluß der Beleuchtung ... 200
10.1.1 Thermische Belastung ... 200
10.1.2 Beleuchtungswärme ... 200
10.1.3 Tageslicht ... 202
10.1.4 Raumklima und Vitrinenbeleuchtung ... 203
10.2 Klimatisieren der Vitrine ... 204
10.3 Dichtigkeit und Luftaustausch natürlich klimatisierter Vitrinen ... 206

11 Raumlufttechnische Geräte ... 207
11.1 Lüftungsgeräte ... 207
11.2 Raumklimageräte ... 208

11.3 Verdunstungs-Luftbefeuchter ... 208
11.3.1 Fahrbare Luftbefeuchter ... 208
11.3.2 Zerstäubungs-Luftbefeuchter ... 210
11.4 Luftentfeuchter ... 211

12 Meßgeräte zur Kontrolle des Raumklimas ... 211
12.1 Lufttemperatur ... 211
12.2 Oberflächentemperatur ... 211
12.3 Relative Feuchte ... 212
12.3.1 Taupunkttemperatur ... 212
12.3.2 Feuchtkugeltemperatur ... 212
12.3.3 Hygrometer ... 213
12.4 Strömungsgeschwindigkeit der Luft ... 213
12.5 Luftreinheit ... 214
12.6 Überwachung von Temperatur und relativer Feuchte ... 214
12.6.1 Thermo-Hygrograph ... 214
12.6.2 Meßdatensammler ... 215

Literatur zu Teil II – Klimatisierung ... 216

III SICHERUNGSTECHNIK ... 219

1 Einleitung ... 219

2 Begriffe ... 220
2.1 Diebstahl – Beschädigung ... 220
2.2 Tagessicherung – Nachtsicherung ... 220
2.3 Innere Sicherheit ... 221

3 Grundlagen ... 222
3.1 Ausgangssituation ... 222
3.2 Sicherungssysteme ... 226
3.3 Zeitverhalten eines Sicherungssystems ... 228

4 Bauliche und mechanische Sicherungen ... 231
4.1 Bemessung mechanischer Schutzvorrichtungen ... 231
4.2 Das Museumsgebäude als Schutzhülle ... 232
4.2.1 Umschließungsflächen ... 232
4.2.2 Glasfächen in Fenstern und Türen, Glasfassadenelemente ... 233
4.2.3 Fenster ... 236
4.2.4 Außentüren ... 237
4.2.5 Schließsicherungen ... 237
4.3 Einrichtungen zum Schutz von Exponaten ... 245

4.3.1 Vitrinen ... 245
4.3.2 Schutzverglasung ... 248
4.3.3 Befestigung ... 249
4.4 Kombination baulicher und mechanischer Sicherung mit einer Alarmanlage ... 250

5 Automatische Alarmierung ... 252
5.1 Alarmanlagen ... 252
5.1.1 Bezeichnungen und Begriffe ... 252
5.1.2 Anforderungen an Alamanlagen ... 254
5.2 Alarmanlagen für Museen ... 255
5.3 Einbruchmelder zur Außenhaut- und Raumsicherung ... 257
5.3.1 Öffnungsmelder ... 258
5.3.2 Durchbruchmelder ... 260
5.3.3 Einstiegmelder – Durchstiegmelder ... 264
5.3.4 Trittmelder ... 265
5.3.5 Bewegungsmelder ... 265
5.3.6 „Kompakt"-Alarmanlagen ... 269
5.4 Einbruchmelder zur Sicherung von Vitrinen ... 270
5.4.1 Glasbruchmelder, Vibrationsmelder ... 270
5.4.2 Volumenüberwachung ... 270
5.4.3 Kapazitive und andere Sicherungen ... 271
5.5 Gefährdungsmelder zur Sicherung einzelner Exponate ... 271
5.5.1 Annäherungsmelder – kapazitive Überwachung ... 272
5.5.2 Berührungsmelder ... 274
5.6 Diebstahlmelder ... 277
5.6.1 Wegnahmemelder ... 277
5.6.2 „Ladendiebstahl"-Meldesysteme ... 278
5.7 Alarmübermittlung ... 279
5.7.1 Örtliche Alarmierung ... 280
5.7.2 Alarmweiterleitung an die Polizei und an Bewachungsunternehmen ... 281
5.7.3 Einsatzbedingungen für Überfall-Einbruchmeldeanlagen gemäß ÜEA-Richtlinie ... 282
5.7.4 Bewachungs-Notruf; Automatische Wähl- und Übertragungsgeräte (AWUG) ... 284
5.7.5 Automatische Wähl- und Ansagegeräte für Alarmabgabe (AWAG) ... 284
5.8 Die Technik der Überwachung der Leitungswege ... 285
5.8.1 Interne Signalübertragung, Linientechnik ... 285
5.8.2 Weiterleitung von Gefahrenmeldungen an Alarmempfangszentralen ... 288
5.8.3 Drahtlose Signalübertragung ... 290
5.8.4 Stromversorgung ... 291
5.8.5 Das Scharfschalten ... 292
5.8.6 Die Zentrale ... 293

6 Bewachung – Überwachung ... 297
6.1 Nachtbewachung ... 297
6.1.1 Wächterrundgänge ... 298
6.1.2 Außenbewachung ... 299
6.2 Bewachung der Ausstellung ... 299
6.2.1 Bewachung und Ausstellungsarchitektur ... 300
6.2.2 Bewachungsgrad ... 301
6.2.3 Personalmangel, unterbesetzte Aufsichtsbereiche ... 304
6.2.4 Alarmierung, Bewachung von Eingängen und Notausgängen ... 305
6.2.5 Aufsichtspersonal ... 306
6.3 Überwachung ... 307
6.3.1 Video-Überwachung in der Tagessicherung ... 308
6.3.2 Video-Überwachung und Nachtsicherung ... 309
6.3.3 Akustische Überwachung ... 310
6.3.4 Die Wachzentrale ... 310

7 Planungsbeispiele ... 310
7.1 Fallstudien zur Nachtsicherung ... 312
7.2 Fallstudien zur Tagessicherung ... 316
7.3 Beispiel: Einbruchmeldeanlage für ein kleineres Museum ... 317
7.4 Beispiel: Einbruchmeldeanlage ... 320

8 Entscheidungshilfen für die sicherungstechnische Ausstattung eines Museums ... 321
8.1 Tagessicherung – Bewachung der Ausstellungen ... 322
8.2 Nachtsicherung – Bewachung des Gebäudes ... 324

Literatur zu Teil III – Sicherungstechnik ... 327

IV BRANDSCHUTZ IN MUSEEN ... 329

1 Einleitung ... 329
1.1 Aufgabenstellung ... 329
1.2 Das System des Brandschutzes ... 330
1.2.1 Vorbeugender Brandschutz ... 331
1.2.2 Abwehrender Brandschutz ... 333
1.2.3 Betrieblicher Brandschutz ... 334

2 Der Brand ... 334
2.1 Entstehung und Entwicklung eines Brandes ... 334
2.2 Begleiterscheinungen eines Brandes ... 336
2.2.1 Wärmeentwicklung ... 336
2.2.2 Rauchentwicklung ... 336

2.2.3 Brandgase von Kunststoffbränden ... 336
2.2.4 Sonstige Begleiterscheinungen eines Brandes ... 337

3 Betrieblicher Brandschutz in Museen ... 337
3.1 Brandgefahren ... 338
3.1.1 Elektrische Anlagen ... 338
3.1.2 Mängel in Beleuchtungsanlagen ... 339
3.1.3 Andere elektrische Geräte ... 340
3.1.4 Bau- und Reparaturarbeiten ... 340
3.1.5 Raumlufttechnische Anlagen ... 341
3.1.6 Feuerungsanlagen ... 341
3.1.7 Blitzschlag ... 341
3.1.8 Andere Ursachen ... 341
3.2 Organisatorische Maßnahmen ... 342
3.2.1 Brandschutzordnung ... 342
3.2.2 Schulung der Mitarbeiter ... 343
3.2.3 Pläne für die Feuerwehr ... 344
3.2.4 Besondere Vorkehrungen für den Schutz von Kulturgut im Brandfall ... 344

4 Die Brandlast ... 346

5 Baulicher Brandschutz ... 349
5.1 Die Bauordnung ... 349
5.2 Das Grundstück, seine Lage und die Nachbarbebauung ... 351
5.3 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen ... 353
5.3.1 Baustoffe ... 353
5.3.2 Bauteile ... 354
5.3.3 Bekleidungen und Beschichtungen ... 358
5.4 Brandschutztechnische Gliederung eines Gebäudes ... 359
5.4.1 Der innere Brandabschnitt ... 359
5.4.2 Rauchabschnitte ... 360
5.5 Rettungswege ... 360
5.5.1 Allgemeine Anforderungen ... 360
5.5.2 Notausgänge – freie Bahn für Diebe? ... 362
5.6 Versicherungstechnische Aspekte des Brandschutzes ... 364

6 Baulicher Brandschutz in Museen ... 366
6.1 Aspekte des baulichen Brandschutzes bei Museumsneubauten ... 366
6.1.1 Raumplanung ... 366
6.1.2 Gestaltung des Ausstellungsbereichs ... 367
6.1.3 Bergungswege ... 368
6.2 Probleme des baulichen Brandschutzes in älteren Museumsgebäuden ... 368
6.2.1 Markante Schwachstellen ... 368
6.2.2 Bestandsschutz ... 369

7 Brandmeldeeinrichtungen ... 370
7.1 Fernsprechanlagen ... 371
7.2 Brandmeldeanlagen ... 371
7.3 Nichtautomatische Brand-Druckknopfmelder ... 373
7.4 Automatische Brandmelder ... 374
7.4.1 Rauchmelder ... 374
7.4.2 Kombinierte Melder ... 375
7.4.3 IR-Flammenmelder ... 376
7.4.4 Lineare Lichtschrankenmelder ... 376
7.4.5 Wärmemelder ... 377
7.4.6 Rauch-Ansaug-Systeme ... 377
7.4.7 Systeme zur Brand-Frühesterkennung ... 378
7.5 Meldertechnik ... 379
7.6 Brandmeldezentrale ... 380
7.6.1 Steuer- und Auswerteeinheit ... 380
7.6.2 Zusatzeinrichtungen ... 381
7.6.3 Linientechniken ... 383
7.7 Alarmübermittlung ... 384
7.8 Planungshinweise für Museen ... 385
7.8.1 Anordnung und Auswahl von Brandmeldern ... 385
7.8.2 Sicherheit vor Falschalarmen ... 385

8 Brandbekämpfung ... 386
8.1 Löschen und Löschmittel ... 386
8.1.1 Wasser ... 387
8.1.2 Löschpulver ... 389
8.1.3 Kohlendioxid (CO_2) ... 390
8.1.4 Schaum ... 391
8.1.5 Löschgase ... 391
8.2 Löschwasserversorgung ... 391
8.3 Brandbekämpfung, Löscheinrichtungen ... 391
8.3.1 Wandhydranten ... 392
8.3.2 Tragbare Feuerlöscher ... 392
8.3.3 Löschdecken ... 395
8.4 Ortsfeste, automatische Feuerlöschanlagen ... 395
8.4.1 Sprinkleranlagen ... 396
8.4.2 *MicroDrop*-Systeme ... 398
8.4.3 Gas-Löschanlagen ... 398
8.4.4 Zusammenfassung ... 399

9 Rauch- und Wärmeabzugsanlagen ... 400

Literatur zu Teil IV – Brandschutz in Museen ... 403

Anhang

A Mathematische Ableitungen 407
B Spezifikation einer für Museen, insbesondere Gemäldegalerien, geeigneten Verglasung 411
C Auswahl gebräuchlicher UV-Filter 413
D Hygienische Aspekte des Betriebs von Klimaanlagen 414
E Zur Vitrinenklimatisierung 417
F Bewachung der Ausstellung 418

Sachregister 420