

Günter S. Hilbert

Sammlungsgut in Sicherheit

Beleuchtung und Lichtschutz
Klimatisierung
Sicherungstechnik
Brandschutz

Unter Mitarbeit von
Barbara Fischer und Klaus Bleker

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, Lichtstrom.....	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-Metall dampflampe.....	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	Lichführung, 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 <i>Zeit</i>	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 <i>Zeit</i>	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 Klimaanlage... ..	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	Quelllüftung	174
8.4.1	Funktion	174
8.4.2	Quellluftvolumenstrom	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 <i>Mensch</i> im Museum	186
9.4.2	Gebäude und Raumklima.....	186
9.4.3	Meteorologische Gesichtspunkte.....	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	Außenluftfrate, 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	Glasflächen 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 Alarmanlagen	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-Früherkennung	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 Klimaanlage	414
E	Zur Vitrinenklimatisierung	417
F	Bewachung der Ausstellung	418

Sachregister	420
---------------------------	-----