

Ultraviolette Strahlen

Herausgeber Jürgen Kiefer

Autoren

J. Bense! · H. Blume · H. Güsten · G. Heinrich
J. Kiefer · V. Schäfer · R. Schulze · H. Tronnier
I. Wienhard



Walter de Gruyter · Berlin · New York 1977

Inhalt

1	Allgemeine Einführung und Grundbegriffe. <i>R. Schulze, J. Kiefer</i>	1
1.1	Definition und Einteilung der ultravioletten Strahlung	1
1.2	Bestrahlung und Dosis	5
1.3	Charakterisierung von UV-Strahlern	8
1.3.1	Meßgrößen der Ausstrahlung	8
1.3.2	Spektrale Verteilungen	9
1.3.3	Schwarzer Strahler	9
1.3.3.1	Photonendarstellung	9
1.3.3.2	Energiedarstellung	13
	Literatur	16
2	UV-Strahlenklima. <i>R. Schulze</i>	17
2.1	Strahlenquellen der Biosphäre	17
2.1.1	Strahlenquelle Kosmos, einschließlich Sonne	17
2.1.2	Strahlenquelle Atmosphäre	18
2.1.3	Strahlenquelle Erdoberfläche	19
2.1.4	Der Mensch im Strahlenklima	19
2.2	Spektrale Verteilungen	19
2.3	Gesamtbestrahlungsstärken	24
2.3.1	Solarkonstante	25
2.3.2	Globalstrahlung	26
2.3.3	Ultravioletter Anteil an der Globalstrahlung	27
2.4	Tagessummen der Sonnenstrahlung	31
2.4.1	Extraterrestrische Sonnenstrahlung	33
2.4.2	Globalstrahlung	33
2.4.3	Ultravioletter Anteil an der Globalstrahlung	35
	Literatur	46
3	Erzeugung von UV-Strahlen. <i>V. Schäfer, G. Heinrich</i>	47
3.1	Möglichkeiten der UV-Erzeugung	47
3.2	Gasentladungsstrahler	48
3.2.1	Grundsätzliches zur Gasentladung	48
3.2.2	Arten der Gasentladung	49
3.2.2.1	Townsendentladung	50
3.2.2.2	Glimmentladung	50
3.2.2.3	Bogenentladung	52
3.2.3	Elektrische Eigenschaften der Gasentladungslampen	53
3.2.3.1	Die Strom-Spannungs-Charakteristik	53
3.2.3.2	Stabilität	54
3.2.3.3	Wechselstrombetrieb von Gasentladungslampen	55
3.2.3.4	Zündhilfe bei Entladungslampen	58
3.2.4	Quecksilberdampflampen	59
3.2.4.1	Quecksilberdampf-Niederdrucklampen	60
3.2.4.2	Quecksilberdampf-Hochdrucklampen	61

3.2.4.3	Mechanismus der Entladung	62
3.2.4.4	Gradient	63
3.2.4.5	Einbrennvorgang und Wiederzündung	65
3.2.4.6	Spektrum	66
3.2.4.7	Nutzlebensdauer der Hg-Hochdruckstrahler	66
3.3	Handelsübliche Entladungslampen	68
3.3.1	Technische Ausführung von Quecksilberdampf-Niederdrucklampen	68
3.3.1.1	Quecksilberdampf-Niederdrucklampen mit Leuchtstoff	72
3.3.2	Technische Ausführung der Quecksilberdampf-Hochdrucklampe	72
3.3.2.1	Das Entladungsrohr	73
3.3.2.2	Elektroden	74
3.3.2.3	Vakuum und Lampenfüllung	75
3.3.2.4	Spezielle Ausführungsformen der Hg-Hochdrucklampen	75
3.3.2.4.1	Das UV-Normal	75
3.3.2.4.2	Stabillampen	76
3.3.3	Die Quecksilberdampf-Höchstdrucklampe	77
3.3.3.1	Die Kurzbogenlampe	77
3.3.3.2	Die Kapillarlampe	80
3.3.4	Quecksilberdampflampen mit Zusätzen	81
3.3.4.1	Das Spektrum der Metallhalogenidlampen	84
3.3.5	Edelgas-Entladungslampen	86
3.3.5.1	Niederdruck-Edelgas-Entladungslampen	86
3.3.5.2	Edelgas-, Mitteldruck-, Hochdruck- und Höchstdruck-Entladungslampen	88
3.3.5.2.1	Ausführungsformen der Xenonlampen	90
3.3.6	Blitzlampen	91
3.3.6.1	Gasentladungsblitzlampen	92
3.3.6.2	Funkentladung	95
3.3.6.3	Explodierende Drähte	96
3.3.7	Natriumdampf-Hochdrucklampe	96
3.3.8	Die Wasserstofflampe	96
3.3.8.1	Das Spektrum der Deuteriumlampe	98
3.3.9	Die Hohlkathodenlampe	99
3.3.10	Heimsonnen und Solarien	101
3.3.10.1	Geschichte	101
3.3.10.2	Aufbau der Heimsonnen	101
3.3.10.3	Das Spektrum der Heimsonnen	104
3.3.10.4	Filter in Bestrahlungsgeräten	107
3.3.10.5	Bestrahlungstechniken	108
3.3.10.6	Solarien	110
3.3.11	Strahlungsquellen für die Fotochemie	111
3.3.11.1	Pauslampen	116
3.3.12	Optische Geräte	116
3.3.12.1	Fluoreszenz-Analysenlampen	117
3.3.12.2	Lichtechtheitsgeräte	117
3.3.12.3	Optische Spektralapparate	117
3.3.12.4	Entkeimungsgeräte	118
3.4	Temperaturstrahler	118
3.4.1	Allgemeines, Schwarzer Körper	118
3.4.2	Strahlungsgesetze	119
3.4.3	Ultraviolette Strahlung des Schwarzen Körpers	122
3.4.4	Strahlung von nicht schwarzen Körpern	123
3.4.5	Glühlampen	125
3.4.6	Sonstige Temperaturstrahler	128
3.4.7	Die Ultraviolett-Mischlichtlampe	129
3.5	Bogenlampen mit abbrennenden Elektroden	131
3.6	Laser	133

3.6.1 Lasertypen	136
3.6.1.1 Gaslaser	137
3.6.1.2 Flüssigkeitslaser	141
3.6.1.3 Halbleiterlaser	144
3.6.1.4 Festkörperlaser	148
3.6.2 Nichtlineare Effekte	150
3.6.2.1 Erzeugung von Oberwellen	150
3.6.2.2 Parametrische optische Verstärkung	151
3.6.2.3 Induzierte Ramanstreuung	152
3.7 Synchrotronstrahlung	153
3.7.1 Strahlungseigenschaften monoenergetischer Elektronen	153
3.7.2 Strahlungseigenschaften der Synchrotronstrahlung	156
3.8 Wellenlängenselektion	158
3.8.1 Monochromatoren	158
3.8.2 Absorptionsfilter	160
3.8.2.1 Flüssigkeitsfilter	160
3.8.2.2 Glasfilter	165
3.8.3 Interferenzfilter	168
Literatur	171
 4 Physikalische Wirkungen ultravioletter Strahlung. Fotophysikalische Prozesse elektronisch angeregter Moleküle. <i>H. Blume, H. Güsten</i>	179
4.1 Abgrenzung des Lichtbegriffs	179
4.2 Lichtabsorption	179
4.3 Lambert-Beer-Gesetz	181
4.4 Absorptionsspektren	182
4.4.1 Molekulare Orbitale (MO)	184
4.4.2 Elektronische Übergänge und angeregte Elektronenzustände	185
4.4.3 Auswahlregeln (Übergangsverbote)	186
4.4.4 Franck-Condon-Prinzip und Schwingungsstruktur von Absorptionsbanden	187
4.4.5 Singulett-Triplett-Absorption ($S_0 \rightarrow T_1$)	189
4.4.6 Triplett-Triplett-Absorption	192
4.5 Desaktivierung der absorbierten Lichtenergie	192
4.5.1 Desaktivierungsprozesse	192
4.5.2 Quantitative Beschreibung von Desaktivierungsprozessen	194
4.5.3 Emittierende Prozesse	197
4.5.3.1 Fluoreszenz	197
4.5.3.2 Excimer	199
4.5.3.3 Phosphoreszenz	201
4.5.3.4 Verzögerte Fluoreszenz	201
4.5.4 Strahlungslose Desaktivierung	203
4.5.4.1 Intermolekulare Energieübertragung	203
4.5.4.1.1 Strahlende Energieübertragung (Trivialfall)	203
4.5.4.1.2 Strahlungslose Energieübertragung	204
4.5.4.1.2.1 Resonanzenergieübertragung	205
4.5.4.1.2.2 Austauschenergieübertragung	205
4.5.4.2 Intramolekulare Energieübertragung	206
4.5.5 Löschung elektronisch angeregter Zustände (Stern-Volmer-Gleichung)	207
Literatur	211
 5 Messung ultravioletter Strahlung. <i>R. Schulze, J. Bense</i>	215
5.1 Übersicht	215

5.1.1 Nachweismöglichkeiten	215
5.1.2 Betrachtung zur Meßgrenze	216
5.1.2.1 Empfänger	216
5.1.2.2 Signalerfassung	217
5.2 Strahlungsempfänger	220
5.2.1 Thermische Strahlungsempfänger	221
5.2.1.1 Strahlungsthermoelement, Thermosäule	222
5.2.1.2 Bolometer	224
5.2.1.3 Weitere thermische Empfänger	225
5.2.2 Fotoelektrische Empfänger	226
5.2.2.1 Fotozellen, Fotovervielfacher, Zählrohre	228
5.2.2.1.1 Vakuumfotozellen	229
5.2.2.1.2 Gasgefüllte Fotozellen (Zählrohre)	230
5.2.2.1.3 Fotovervielfacher	231
5.2.2.1.4 Eigenschaften von Fotozellen und Fotovervielfachern	232
5.2.2.1.4.1 Spektrale Empfindlichkeit	233
5.2.2.1.4.2 Untere Meßgrenze	233
5.2.2.1.4.3 Linearität	235
5.2.2.1.4.4 Stabilität	236
5.2.2.1.4.5 Frequenzverhalten	236
5.2.2.2 Fotowiderstände	236
5.2.2.2.1 Fotoleitfähigkeit	237
5.2.2.2.2 Eigenschaften und Ausführungsformen	238
5.2.2.3 Fotoelemente und weitere fotoelektrische Sperrschichtableiter	239
5.2.2.3.1 Fotoelemente, Fotodiode	240
5.2.2.3.1.1 Selen-Elemente	241
5.2.2.3.1.2 Silizium-Elemente	241
5.2.2.3.2 Fototransistoren, Fototyristoren	242
5.2.2.4 Bild- und Frequenzwandler	243
5.2.3 Chemische Wirkungen	244
5.2.4 UV-Meßgeräte	246
5.2.4.1 Geräte mit thermischem Strahlungsempfänger	247
5.2.4.2 Geräte mit Fotozelle oder Fotovervielfacher als Empfänger	248
5.2.4.3 Geräte mit Fotoelement als Strahlungsempfänger	248
5.3 Selektion der UV-Strahlung	249
5.3.1 UV-Filter	250
5.3.1.1 Absorptionsfilter	251
5.3.1.2 Interferenz- und Reflexionsfilter	254
5.3.1.3 Einsatz von UV-Filtern	257
5.3.2 Monochromatoren	259
5.3.2.1 Gittergeräte	259
5.3.2.2 Prismengeräte	264
5.3.2.2.1 Strahlungsfluß im Monochromator	268
5.4 Strahlungsnormale	271
5.4.1 UV-Standard (nach Krefft, Rößler, Rüttenauer)	272
5.4.2 Kohlebogen	276
5.4.3 Glühlampen	279
5.5 Praxis der Meßverfahren	280
5.5.1 Zur Messung ungerichteter Strahlung	280
5.5.2 Messung ohne spektrale Zerlegung	283
5.5.2.1 Relative spektrale Empfindlichkeit einiger gebräuchlicher Empfänger- kombinationen	285
5.5.3 Bestimmung strahlungsphysikalischer Größen	286
5.5.3.1 Bestrahlungsstärke, Strahlstärke	287
5.5.3.2 Strahldichte	287
5.5.3.3 Strahlungsfluß	288

5.5.3.3.1	Messung mit der Ulbrichtschen Kugel	289
5.5.3.3.2	Bestimmung aus der räumlichen Strahlungsverteilung	289
5.5.4	Messung der spektralen Strahlungsverteilung	292
5.5.4.1	Relative spektrale Strahlungsverteilung	293
5.5.4.2	Absolute spektrale Strahlungsverteilung	297
5.5.4.2.1	Spektrale Strahldichte	298
5.5.4.2.2	Spektrale Bestrahlungsstärke	298
5.5.5	Bestimmung von Material-Kennzahlen	299
5.5.5.1	Messung des Transmissionsgrades	300
5.5.5.1.1	Messung der Eindringtiefe	301
5.5.5.2	Messung des Reflexionsgrades	303
5.5.5.3	Daten, weitere Meßverfahren	306
Literatur	309
6	Spektroskopische Verfahren. <i>H. Blume, H. Güsten</i>	311
6.1	Filter	311
6.2	Monochromatoren	312
6.3	Absorptionsspektroskopie	312
6.3.1	$S_0 \rightarrow S_X$ -Absorptionsspektroskopie	312
6.3.1.1	Filterfotometer	312
6.3.1.2	Spektralfotometer	314
6.3.1.3	Registrierende Spektralfotometer	315
6.3.2	$S_0 \rightarrow T_1$ -Absorptionsspektroskopie	318
6.3.3	$T_0 \rightarrow T_X$ -Absorptionsspektroskopie	319
6.4	Blitzlichtspektroskopie	319
6.5	Fluoreszenzspektroskopie	322
6.6	Fluoreszenzquantenausbeuten	326
6.7	Fluoreszenzabklingzeiten	329
6.7.1	Phasenfluorimetrie	330
6.7.2	Impulsfluorimetrie	330
6.8	Phosphoreszenzspektroskopie	332
6.9	Phosphoreszenzquantenausbeuten	334
6.10	Phosphoreszenzabklingzeiten	335
6.11	Quantenausbeuten fotochemischer Reaktionen	337
6.11.1	Bestimmung des chemischen Umsatzes	337
6.11.2	Bestimmung der absorbierten Lichtmenge	337
6.11.2.1	Physikalische Lichtstrommessung	337
6.11.2.2	Aktinometrie	338
6.11.3	Messungen von Quantenausbeuten bei Totalabsorption	339
6.11.4	Bestimmung von Quantenausbeuten bei veränderlicher Lichtabsorption (Kinetische Methode)	340
6.11.5	Berechnung von Quantenausbeuten unter Berücksichtigung der inneren Lichtfilterwirkung	341
Literatur	345
7	Chemische Wirkung ultravioletter Strahlen — Chemische Prozesse elektronisch angeregter Moleküle. <i>H. Blume, H. Güsten</i>	349
7.1	Historischer Überblick	349
7.2	Abgrenzung des Begriffs Fotochemie	350

7.3	Thermische und fotochemische Anregung	351
7.4	Allgemeines fotochemisches Reaktionsschema	352
7.5	Fotochemische Arbeitsmethoden	352
7.5.1	Fotochemische Quantenausbeuten	353
7.6	Fotochemische Reaktionen aus elektronisch angeregten Zuständen	355
7.7	Nicht-klassische fotochemische Prozesse	356
7.7.1	„Hot ground state“-Reaktionen	356
7.7.2	Reaktionen aus höheren angeregten Zuständen	357
7.7.3	Nichtvertikale Energieübertragung	357
7.8	Eigenschaften elektronisch angeregter Moleküle	358
7.8.1	Struktur angeregter Moleküle	358
7.8.2	Dipolmoment im angeregten Zustand	359
7.8.3	Azidität und Basizität im angeregten Zustand	360
7.9	Chemische Reaktivität von $n\pi^*$ - und $\pi\pi^*$ -Zuständen	361
7.10	Organische Fotochemie in Lösung	364
7.10.1	Fotodissoziation	364
7.10.1.1	Fotolyse von Diazonium-Salzen	366
7.10.1.2	Fotolyse von Diazoverbindungen	367
7.10.1.3	Fotolyse von Aziden	369
7.10.1.4	Fotolyse von Azoverbindungen	370
7.10.1.5	Fotolyse von Carbonylverbindungen	372
7.10.1.5.1	Fotodecarbonylierung (Norrish Typ I-Spaltung)	373
7.10.1.5.2	Norrish Typ II-Spaltung	375
7.10.1.6	Fotolyse von Sulfonen	376
7.10.1.7	Fotolyse von organischen Halogenverbindungen	377
7.10.1.8	Fotofragmentierung großer organischer Moleküle	378
7.10.2	Fotochemische Umlagerungen	379
7.10.2.1	cis-trans-Isomerisierungen	379
7.10.2.1.1	Direkte fotochemische cis-trans-Isomerisierung	381
7.10.2.1.2	Fotosensibilisierte cis-trans-Isomerisierung	383
7.10.2.1.3	Fotochemische cis-trans-Isomerisierung in der Natur	385
7.10.2.2	Fotochemische Valenzisomerisierungen	387
7.10.2.2.1	Die Fotocyclisierung des cis-Stilbens	390
7.10.2.2.2	Fotochemische Valenzisomerisierung von Aromaten	391
7.10.2.3	Fotochemische Umlagerung der Cyclohexadienone	394
7.10.2.4	Fotochemische Umlagerung von Epoxyketonen	394
7.10.2.5	Fotoinduzierte intramolekulare Sauerstoffübertragung	397
7.10.2.6	Lichtinduzierte optische Aktivität	398
7.10.3	Fotochemische Additionsreaktionen	398
7.10.3.1	Fotodimerisierung	399
7.10.3.2	Fotocycloaddition	403
7.10.4	Fotochemische Oxidation	406
7.10.5	Fotochemische Reduktion	408
7.10.5.1	Intramolekulare Fotoreduktion (Fotoenolisierung)	413
7.10.6	Fotochemische Substitution	414
7.10.7	Fotoionisation	417
7.10.8	Atmosphärische Fotochemie	418
7.10.8.1	Fotochemie in der unteren Atmosphäre	418
7.10.8.2	Stratosphärische Fotochemie	422
7.11	Experimentelle fotochemische Methoden	423
7.11.1	Präparative Fotochemie	423
7.11.1.1	Fotochemische Reaktoren	423
7.11.1.2	Auswahl der Lichtquelle	426
7.11.1.3	Filter und Filterlösungen	427
7.11.1.4	Wahl des Lösungsmittels	428

7.11.1.5	Konzentration und Volumen	429
7.11.1.6	Fotochemische Sensibilisierung	429
7.11.2	Kinetische Fotochemie	431
7.11.2.1	Aktinometrie	431
Literatur		436
8	Biologische Wirkungen. <i>J. Kiefer, I. Wienhard</i>	445
8.1	Vorbemerkung	445
8.2	Optische Eigenschaften von Proteinen, Nukleinsäuren und ihren Bestandteilen	445
8.2.1	Aminosäuren	445
8.2.2	Proteine	449
8.2.3	Nukleinsäurebasen, Nukleoside, Nukleotide	451
8.2.4	Polynukleotide und Nukleinsäuren	458
8.3	UV-induzierte Veränderungen von Proteinen und Nukleinsäuren sowie ihren Bestandteilen	464
8.3.1	Aminosäuren	464
8.3.2	Peptide und Proteine	465
8.3.3	Nukleinsäurebasen, Nukleoside, Nukleotide	467
8.3.3.1	Fotohydrate	468
8.3.3.2	Dimere	469
8.3.4	Polynukleotide und Nukleinsäuren	472
8.3.4.1	Pyrimidindimere	472
8.3.4.2	Hydrate	476
8.3.4.3	Phyrimidinaddukte	476
8.3.4.4	Vernetzungen zwischen Nukleinsäuren und Protein	476
8.3.4.5	Vernetzungen innerhalb der Nukleinsäuren	477
8.3.4.6	Denaturierung	477
8.3.4.7	Strangbrüche	478
8.3.4.8	„Sporenfotoprodukt“	478
8.3.5	Relative biologische Bedeutung UV-induzierter primärer Fotoprodukte	480
8.4	UV-Wirkung auf das Überlebensverhalten von Viren und Zellen	482
8.4.1	Allgemeine Vorbemerkungen	482
8.4.1.1	Überlebenskurven	482
8.4.1.2	Wirkungsspektren	488
8.4.2	Spezielle Systeme	490
8.4.2.1	Transformierende DNS	490
8.4.2.2	Viren und Phagen	493
8.4.2.3	Bakterien	496
8.4.2.4	Einfache Eukaryonten	498
8.4.2.5	Säugerzellen	500
8.5	Reaktivierungs- und Reparaturprozesse	503
8.5.1	Allgemeine Vorbemerkungen	503
8.5.2	Lichtabhängige Prozesse, Fotoreaktivierung	505
8.5.3	Exzisionsreparatur	512
8.5.4	Postreplikationsreparatur	519
8.6	Bedingungen der Strahlenempfindlichkeit	521
8.6.1	Inkubationsbedingungen vor und nach Bestrahlung	521
8.6.1.1	Wachstumsphase	521
8.6.1.2	Temperatur	523
8.6.1.3	Inkubationsmedium	523
8.6.1.4	Verzögerte Ausplattung („delayed plating recovery“ oder „liquid holding recovery“)	524
8.6.2	Zeitliches Bestrahlungsmuster	526
8.6.3	Abhängigkeit der Empfindlichkeit vom Zellzyklusstadium	529

8.6.4 Chemikalien	529
8.6.4.1 Wirkung von Chemikalien bei Bestrahlung	529
8.6.4.2 Nachbehandlung mit Chemikalien	530
8.6.5 Wechselwirkung von ultravioletter und ionisierender Strahlung	532
8.7 Weitere zelluläre Veränderungen	533
8.7.1 Biochemische Wirkungen	533
8.7.1.1 DNS-Synthese	534
8.7.1.2 Andere biochemische Effekte	534
8.7.2 Cytologische und cytomorphologische Effekte, Chromosomenaberrationen	535
8.7.3 Teilungs- und Progressionsverzögerung	536
8.8 Mutationen	537
8.9 UV und Entstehung des Lebens	543
8.9.1 Vorbemerkung	543
8.9.2 Präbiotische Synthese	543
8.9.2.1 UV als Energiequelle	543
8.9.2.2 „Primitiv-Atmosphäre“	544
8.9.2.3 Absorptionsverhalten der Primitiv-Atmosphäre	545
8.9.2.4 Bevorzugte Umgebung für präbiotische Synthesen und Entstehung von UV-Reparatursystemen	546
8.9.3 Simulationsexperimente zur Synthese organischer Verbindungen durch UV	546
8.9.3.1 Aminosäuren	547
8.9.3.2 Peptide	548
8.9.3.3 Zucker	548
8.9.3.4 Purine und Pyrimidine	548
8.9.3.5 Nukleoside und Nukleotide	549
Literatur	551
9 Medizinische Wirkungen. <i>H. Tronnier</i>	567
9.1 Vorbemerkung	567
9.2 Optisches Verhalten der Haut	567
9.2.1 Durchlässigkeit und Absorption der Haut	570
9.2.2 Fluoreszenz der Haut	572
9.3 Lichtreaktion der Haut	572
9.3.1 Lichtentzündung der Haut, Erythem	573
9.3.1.1 Klinik und Histologie der Lichtentzündung	573
9.3.1.2 Messung der Lichtentzündung	574
9.3.1.3 Ablauf, Gradation und Zeitfaktor der Lichtentzündung	577
9.3.1.4 Lichtempfindlichkeit der Haut	580
9.3.1.5 Spektrale Erythemwirkungskurve	581
9.3.1.6 Ursachen der Lichtentzündung	583
9.3.2 Pigmentierung durch Licht	585
9.3.3 Thermische Wirkungen	587
9.3.4 Fotosynthese von Vitamin D	588
9.3.5 Reduzierende Wirkung des Lichtes	588
9.4 Pathologische Lichtwirkungen	589
9.4.1 Lichterkrankungen	589
9.4.2 Lichtkrebs	591
9.4.3 Lichtschutz	592
9.4.3.1 Natürlicher Lichtschutz	592
9.4.3.2 Künstlicher Lichtschutz	593
9.4.3.3 Prüfung von Lichtschutzmitteln	594
9.5 Wirkung des Lichtes auf die übrigen Organe und den Gesamtorganismus	596
Literatur	597

10 Anwendung ultravioletter Strahlen.	599
10.1 Medizinische Lichtbehandlung. <i>H. Tronnier</i>	599
10.1.1 Bestrahlungstechnik	599
10.1.2 Lichtbehandlung in der Dermatologie	606
10.1.3 Lichtbehandlung nicht-dermatologischer Erkrankungen	610
10.1.4 Kosmetische Lichtanwendungen	610
10.1.5 Fotochemotherapie	611
Literatur.	613
10.2 Desinfektion und Sterilisation durch ultraviolette Strahlung. <i>I. Wienhard</i>	613
10.2.1 Wirkungen der kurzwelligen UV-Strahlung	613
10.2.1.1 Bakterientötende Wirkung	613
10.2.1.2 Gesundheitsgefährdung durch UV: Ozonerzeugung, Konjunktivitis, Erythem	614
10.2.2 Kommerzielle UV-Lampen	614
10.2.3 Anwendungsgebiete der UV-Bestrahlung	616
10.2.3.1 Luftdesinfektion	616
10.2.3.2 UV-Desinfektion von Flüssigkeiten	622
10.2.3.3 UV-Oberflächenentkeimung fester Körper und UV-Entkeimung körniger Materialien	624
Literatur	624
10.3 Anwendung fotochemischer Reaktionen. <i>H. Blume, H. Güsten</i>	626
10.3.1 Präparative organische Fotochemie	626
10.3.2 Fotochemische Synthesen in der pharmazeutischen Chemie	628
10.3.3 Großtechnische fotochemische Verfahren	629
10.3.4 Lichtempfindliche Systeme in der Fotografie und Reproduktionstechnik.	631
10.3.4.1 Schwarz-Weiß- und Farbfotografie	631
10.3.4.2 Fotochromie	633
10.3.4.3 Diazotypie	634
10.3.4.4 Fotopolymerisation	635
10.3.5 Fotochemischer Abbau von Polymeren	638
Literatur	638
10.4 Anwendung fotophysikalischer Primärprozesse. <i>H. Blume, H. Güsten</i>	640
10.4.1 Organische Szintillatoren	640
10.4.2 Optische Aufheller	642
10.4.3 Optische Schalter	644
Literatur	645
Sachregister.	647