

Ultraviolette Strahlen

Herausgeber Jürgen Kiefer

Autoren

J. Bensel · 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-Hochstdrucklampe | 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 Lösung elektronisch angeregter Zustände (Stern-Volmer-Gleichung) | 207 |
| Literatur | 211 |
| | |
| 5 Messung ultravioletter Strahlung. <i>R. Schulze, J. Bensel</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 Fotovervielfächern | 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 Sperrsichthalbleiter | 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 Basitität 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 Be- standteilen | 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 Fotoproducte | 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 Säuerzellen | 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. H. Tronnier | 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 kurzweligen 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 |