

Claus Bliefert

Umweltchemie

Zweite, erweiterte Auflage

 **WILEY-VCH**

Weinheim · New York · Chichester · Brisbane · Singapore · Toronto

Inhalt

Teil I Umwelt, Stoffe

- 1 Umweltchemie, Chemie der Umwelt 3**
 - 1.1 Vorbemerkungen 3
 - 1.1.1 Zum Begriff „Umwelt“ 3
 - 1.1.2 Systeme 4
 - 1.1.3 Mensch und Umwelt 5
 - 1.1.4 Umweltbelastung und -verschmutzung 6
 - 1.2 Umweltchemie 6
 - 1.3 Historisches 7
 - 1.3.1 Luftverunreinigungen 7
 - 1.3.2 Wasserverunreinigungen 8
 - 1.3.3 Verunreinigungen durch die Industrie 8
 - 1.3.4 Arbeitsschutz, Berufsrisiko 9
 - 1.3.5 Umweltbelastung durch landwirtschaftliche Nutzung 10
 - 1.4 Umweltbewußtsein 10
 - 1.5 Bevölkerungsexplosion 13
- 2 Entstehung und Aufbau der Erde 16**
 - 2.1 Entstehung der Elemente 16
 - 2.2 Entstehung der Atmosphäre 18
 - 2.2.1 Entwicklung der Atmosphäre 18
 - 2.2.2 Photosynthese, Atmung und Gärung 21
 - 2.3 Chemische Evolution 24
 - 2.4 Aufbau der Erde 25
 - 2.4.1 Vorbemerkungen 25
 - 2.4.2 Erdinneres, Erdrinde 25
 - 2.4.3 Aufbau der Atmosphäre 27
 - 2.5 Globale Stoffkreisläufe 31
 - 2.6 Rohstoff- und Energievorräte 34
- 3 Stoffe in der Umwelt 37**
 - 3.1 Grundbegriffe 37
 - 3.2 Physikalische und chemische Eigenschaften 43
 - 3.2.1 Bedeutung für die Umwelt 43
 - 3.2.2 Temperatur, Dampfdruck 44
 - 3.2.3 Löslichkeit, Verteilung 45
 - 3.2.4 Flammpunkt 45
 - 3.3 Produktionsmengen 47
 - 3.4 Anwendung 49
 - 3.5 Transport, Dispersion 49

3.6	Persistenz	52
3.7	Abbaubarkeit	52
3.8	Anreicherung	53
3.8.1	Vorbemerkungen	53
3.8.2	Biologische Anreicherung	54
3.8.3	Bioakkumulationsfaktor	56
3.8.4	1-Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient	57
3.9	Schadwirkungen	58
3.10	Geruchsbelästigung	61
4	Umweltschutz	63
4.1	Vorbemerkungen	63
4.2	Produktionsintegrierter und additiver Umweltschutz	64
4.3	Einsparen von Rohstoffen und Energie	68
4.4	Ökobilanzen	71
4.5	Nachhaltige Entwicklung, Verantwortliches Handeln	76
5	Umweltrecht	79
5.1	Rechtskenntnisse bei Naturwissenschaftlern und Ingenieuren	79
5.2	Ziele der Umweltgesetzgebung	79
5.3	Gesetze, Rechtsverordnungen, Verwaltungs- vorschriften, Technische Regeln	80
5.3.1	Rechtsvorschriften	80
5.3.2	Bestimmte und unbestimmte Rechtsbegriffe	82
5.3.3	EU-Richtlinien und -Verordnungen	83
5.4	Struktur und Prinzipien des Umweltrechts	85
5.4.1	Vorbemerkungen	85
5.4.2	Vorsorgeprinzip	85
5.4.3	Verursacherprinzip, Gemeinlastprinzip	86
5.4.4	Kooperationsprinzip	87
5.5	Instrumente des Umweltrechts	87
5.6	Überblick	89
6	Chemikaliengesetz, Gefahrstoffverordnung, Gefahrgutgesetz	90
6.1	Chemikaliengesetz	90
6.1.1	Allgemeines	90
6.1.2	Alter Stoff, neuer Stoff, Gefahrstoff	91
6.2	Gefahrstoffverordnung	93
6.3	MAK-, TRK-, BAT- und MIK-Wert	97
6.3.1	MAK-Wert	97
6.3.2	TRK-Wert	99
6.3.3	BAT-Wert	99
6.3.4	MIK-Wert	100
6.4	Gefahrgutgesetz	102

Teil II Luft

- 7 Die Lufthülle der Erde 113**
 - 7.1 Vorbemerkungen 113
 - 7.1.1 Bedeutung der Atmosphäre 113
 - 7.1.2 Atmosphärenchemie 114
 - 7.2 Zusammensetzung und Eigenschaften der Atmosphäre 114
 - 7.2.1 Zusammensetzung der Atmosphäre 114
 - 7.2.2 Luftqualität 116
 - 7.2.3 Ubiquitäre Stoffe 119
 - 7.2.4 Durchmischungszeit, Lebensdauer 120
 - 7.2.5 Quellen 123
 - 7.2.6 Emission, Transmission und Deposition 124
 - 7.2.7 Natürliche Quellen 127
 - 7.2.8 Senken 128
 - 7.3 Schäden durch Luftverunreinigungen 128
 - 7.3.1 Allgemeines 128
 - 7.3.2 Innenraumluft 132
 - 7.4 Grundlagen der Photochemie 136
 - 7.4.1 Photochemische Reaktionen 136
 - 7.4.2 Photolyse 139
 - 7.4.3 Photoionisation 141
 - 7.5 OH-Radikale in der Troposphäre 141
- 8 Kohlendioxid 144**
 - 8.1 Eigenschaften 144
 - 8.2 Quellen und Senken, Kohlenstoffkreislauf 145
 - 8.2.1 Quellen und Senken 145
 - 8.2.2 Kohlenstoffkreislauf 149
 - 8.3 Änderungen des CO₂-Gehalts in der Atmosphäre 150
 - 8.4 Spurengase und Klima 153
 - 8.4.1 Treibhauseffekt 153
 - 8.4.2 Klimaänderung 156
- 9 Kohlenmonoxid 159**
 - 9.1 Eigenschaften 159
 - 9.2 Quellen und Senken 160
 - 9.2.1 Quellen 160
 - 9.2.2 Senken 161
 - 9.3 Wirkungen beim Menschen 163
- 10 Schwefelverbindungen 166**
 - 10.1 Eigenschaften, Verwendung 166
 - 10.2 Quellen und Senken, Schwefelkreislauf 167
 - 10.3 Wirkungen 170
 - 10.3.1 London-Smog 170
 - 10.3.2 Wirkung von Schwefeldioxid auf Lebewesen 171
 - 10.3.3 Schwefeldioxid und Sachgüter 172
 - 10.4 Saurer Regen, neuartige Waldschäden 172

10.4.1	Saurer Regen	172
10.4.2	Oxidationsreaktionen	173
10.4.3	Neuartige Waldschäden	175
11	Oxide des Stickstoffs	178
11.1	Eigenschaften	178
11.1.1	Überblick	178
11.1.2	Brennstoff-, thermisches und promptes NO	180
11.1.3	Stickstoffkreislauf	180
11.2	Distickstoffmonoxid	182
11.3	NO _x : Gleichgewicht, Quellen, Senken	184
11.3.1	NO-NO ₂ -Gleichgewicht	184
11.3.2	Quellen und Senken für NO _x	185
11.4	Einfluß von NO _x auf Lebewesen	189
12	Flüchtige organische Verbindungen	190
12.1	Überblick	190
12.2	Methan	191
12.2.1	Quellen	191
12.2.2	Senken	194
12.3	Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe	195
12.4	Photooxidantien	196
12.4.1	Vorbemerkungen	196
12.4.2	Eigenschaften	196
12.4.3	Vorkommen, Quellen und Senken von Ozon	197
12.4.4	Inversionswetterlagen	199
12.4.5	Los-Angeles-Smog	200
12.4.6	Reaktionsablauf	201
12.4.7	Ozon fern von den Quellen	204
12.4.8	Wirkungen, Schäden	205
12.5	Automobilabgase	206
12.5.1	Zusammensetzung	206
12.5.2	Emissionen, Belastungen	207
12.5.3	Abgasreinigung, katalytische Nachverbrennung	208
12.5.4	Ersatzstoffe für Benzin	212
13	Ozon in der Stratosphäre	214
13.1	Vorkommen und Eigenschaften	214
13.2	Der Chapman-Zyklus	216
13.3	Katalytischer Ozonabbau	217
13.3.1	Vorbemerkungen	217
13.3.2	Katalytischer ClO _x -Zyklus	218
13.3.3	Weitere Zyklen	219
13.4	Ozonloch	221
13.4.1	Beschreibung	221
13.4.2	Ursachen	223
13.4.3	Schäden durch Ozon, UV-Strahlung	225
13.5	FCKW, CKW, Halone	227

- 13.5.1 Eigenschaften, Verwendung, Ozonzerstörungspotential 227
- 13.5.2 FCKW-Ersatzstoffe 230
- 14 Aerosole 233**
 - 14.1 Bedeutung 233
 - 14.2 Quellen, Eigenschaften 235
 - 14.3 Umwandlungen 237
 - 14.4 Zusammensetzung 238
 - 14.5 Größe, Lebensdauer, Verteilung 240
 - 14.6 Einfluß auf den Menschen 241
 - 14.7 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe 243
 - 14.8 Tabakrauch 245
 - 14.9 Asbeste 248
 - 14.9.1 Eigenschaften, Verwendung 248
 - 14.9.2 Gesundheitsrisiken, Rechtliches 249
- 15 Immissionsschutzrecht 251**
 - 15.1 Allgemeines, Begriffe, Aufbau 251
 - 15.2 Anlagenbezogener Immissionsschutz 252
 - 15.3 Produkt- und gebietsbezogener Immissionsschutz 254
 - 15.4 Störfallverordnung 255
 - 15.5 TA Luft 256

Literatur zu Teil II 258

Teil III Wasser

- 16 Wasser: Grundlagen 269**
 - 16.1 Bedeutung und Eigenschaften 269
 - 16.1.1 Bedeutung 269
 - 16.1.2 Physikalische Eigenschaften 271
 - 16.2 Säure-Base-Reaktionen 272
 - 16.2.1 Vorbemerkungen, Begriffe 272
 - 16.2.2 Näherungsweise pH-Wert-Berechnung 275
 - 16.3 Offene und geschlossene Systeme 276
 - 16.3.1 Vorbemerkungen 276
 - 16.3.2 Offenes System, keine chemische Reaktion mit Wasser 276
 - 16.3.3 Offenes System, chemische Reaktion mit Wasser 278
 - 16.4 Fällung von Hydroxiden 280
 - 16.5 Flockung 282
- 17 Wasserkreislauf, Wasserbelastungen 284**
 - 17.1 Wassermengen, Wasserkreislauf 284
 - 17.2 Natürliche Gewässer, Ozeane 286
 - 17.3 Wasserbelastungen 288
 - 17.3.1 Nährstoffe 288
 - 17.3.2 Salze, Schwermetalle 289

17.3.3	Selbstreinigung	290
17.3.4	Sauerstoffgehalt	291
17.4	Bewertung wassergefährdender Stoffe	293
17.4.1	Wassergefährdende Stoffe	293
17.4.2	Biotests	294
17.4.3	Chemischer Sauerstoffbedarf	294
17.4.4	Biochemischer Sauerstoffbedarf	296
17.4.5	Einwohnergleichwert	298
17.4.6	AOX und TOC	299
17.4.7	Gewässergüteklassen	300
18	Spezielle Wasserbelastungen	302
18.1	Wasch- und Reinigungsmittel	302
18.1.1	Vorbemerkungen	302
18.1.2	Waschaktive Substanzen (Tenside)	303
18.1.3	Gerüststoffe	306
18.2	Polychlorierte Dibenzodioxine, Dibenzofurane und Biphenyle	307
18.2.1	Chlorchemie	307
18.2.2	Polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane	309
18.2.3	Polychlorierte Biphenyle	312
18.3	Öl	313
18.3.1	Entstehung, Wirkungen	313
18.3.2	Schadensbehebung, Abbau	314
18.3.3	Altöl	315
19	Trinkwassergewinnung und Abwasserreinigung	316
19.1	Trinkwasser	316
19.1.1	Wasserbedarf	316
19.1.2	Anforderungen, Gewinnung	317
19.1.3	Wasserhärte	317
19.1.4	Wasserenthärtung, Wasserentsalzung	319
19.2	Abwasser	320
19.3	Reinigung kommunaler Abwässer	321
19.3.1	Mechanische und biologische Abwasserreinigung	321
19.3.2	Chemische Abwasserreinigung	323
19.3.3	Entkeimung von Trinkwasser	324
19.3.4	Nitrat	325
19.3.5	Phosphat	327
19.4	Behandlung und Beseitigung von Klärschlamm	327
20	Gewässerschutzrecht	330
20.1	Übersicht	330
20.2	Wasserhaushaltsgesetz	332
20.3	Abwasserabgabengesetz	334
20.4	Wasch- und Reinigungsmittelgesetz	335

Literatur zu Teil III 337

Teil IV Boden

21 Boden: Grundlagen 343

- 21.1 Zusammensetzung 343
 - 21.1.1 Bodenbestandteile 334
 - 21.1.2 Humus und Huminstoffe 345
 - 21.1.3 Tonmineralien 347
 - 21.1.4 Bodenlebewesen 347
- 21.2 Bedeutung, Funktionen 348
- 21.3 Verwitterung, Erosion 351
 - 21.3.1 Verwitterung 351
 - 21.3.2 Erosion 352
- 21.4 Düngemittel 353
 - 21.4.1 Nährstoffe 353
 - 21.4.2 Stickstoff 354
 - 21.4.3 Phosphor 355
 - 21.4.4 Düngung 356

22 Bodenbelastungen 359

- 22.1 Schadstoffe im Boden 359
- 22.2 Bodenversauerung 361
 - 22.2.1 Boden und pH-Wert 361
 - 22.2.2 Der Boden als Puffer 362
- 22.3 Pestizide 364
 - 22.3.1 Übersicht 364
 - 22.3.2 DDT 365

23 Schwermetalle 369

- 23.1 Allgemeines 369
 - 23.1.1 Bedeutung, Vorkommen 369
 - 23.1.2 Emissionen von Metallen, Kreisläufe 372
 - 23.1.3 Persistenz von Metallen 374
 - 23.1.4 Schwermetalle und Pflanzen 376
- 23.2 Quecksilber 378
 - 23.2.1 Eigenschaften, Verwendung, Quellen 378
 - 23.2.2 Giftwirkung, ökologische Wirkungen 379
- 23.3 Blei 382
 - 23.3.1 Eigenschaften, Verwendung 382
 - 23.3.2 Quellen 383
 - 23.3.3 Giftwirkung, ökologische Wirkungen 384
- 23.4 Cadmium 386
 - 23.4.1 Eigenschaften, Verwendung, Quellen 386
 - 23.4.2 Giftwirkung, ökologische Wirkungen 387

24 Altlasten 389

- 24.1 Allgemeines 389
- 24.2 Bewertung 390
- 24.3 Sicherung und Sanierung 392

25 Bodenschutzrecht 396

Literatur zu Teil IV 398

Teil V Abfall

26 Abfall: Überblick 405

- 26.1 Abfälle 405
- 26.2 Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle 408
- 26.3 Abfälle aus Industrie und Gewerbe 409
- 26.4 Abfallarten und -schlüssel 411

27 Hausmüll 413

- 27.1 Deponien 413
- 27.2 Deponiegas, Biogas 414
- 27.3 Deponieklassen 417
- 27.4 Verbrennung 419

28 Recycling 421

- 28.1 Begriffe 421
- 28.2 Möglichkeiten, Grenzen 423
- 28.3 Baustoffe 428

29 Sonderabfall 431

- 29.1 Begriffe 431
- 29.2 Thermische Behandlung, Sonderabfalldeponien 433
- 29.2.1 Vorbemerkungen 433
- 29.2.2 Verbrennung 434
- 29.2.3 Andere thermische Verfahren 434
- 29.2.4 Sonderabfalldeponien 435
- 29.3 Abfallbeseitigung auf See 436

30 Abfallrecht 438

- 30.1 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz 438
- 30.2 Abfallverordnungen und Abfallverwaltungsvorschriften 440

Literatur zu Teil V 443

Anhang

- Anhang A Gehaltsangaben für Gase 449
- Anhang B Gesetze, Verordnungen, Vorschriften 452
- Anhang C Quellen von Abbildungen und Tabellen 462

Register 467