

Claus Bliefert

504.054 (07)  
504.3 (07)  
631.4 (07)

# Umweltchemie

Weinheim · New York  
Basel · Cambridge · Tokyo



504.054 (07)

# 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 11
  - 1.5 Bevölkerungsexplosion 12
  
- 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 30
  - 2.6 Rohstoff- und Energievorräte 33
  
- 3 Stoffe in der Umwelt 36**
  - 3.1 Grundbegriffe 36
  - 3.2 Physikalische und chemische Eigenschaften 42
    - 3.2.1 Bedeutung für die Umwelt 42
    - 3.2.2 Temperatur, Dampfdruck 43
    - 3.2.3 Löslichkeit, Verteilung 43
    - 3.2.4 Flammpunkt 44
  - 3.3 Produktion und Emission 46
  - 3.4 Anwendung 46
  - 3.5 Dispersion 47

3.6	Persistenz	48
3.7	Abbaubarkeit	49
3.8	Anreicherung	50
3.8.1	Vorbemerkungen	50
3.8.2	Biologische Anreicherung	51
3.8.3	Bioakkumulationsfaktor	53
3.8.4	1-Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient	54
3.9	Schadwirkungen	55
<b>4</b>	<b>Umweltschutz</b>	<b>58</b>
4.1	Vorbemerkungen	58
4.2	Produktionsintegrierter und additiver Umweltschutz	59
4.3	Einsparen von Rohstoffen und Energie	61
4.4	Ökobilanzen	64
<b>5</b>	<b>Umweltrecht</b>	<b>68</b>
5.1	Rechtskenntnisse bei Naturwissenschaftlern und Ingenieuren	68
5.2	Ziele der Umweltgesetzgebung	68
5.3	Gesetze, Rechtsverordnungen, Verwaltungsvorschriften, Technische Regeln	69
5.3.1	Rechtsvorschriften	69
5.3.2	Bestimmte und unbestimmte Rechtsbegriffe	71
5.3.3	EU-Richtlinien und -Verordnungen	72
5.4	Struktur und Prinzipien des Umweltrechts	74
5.4.1	Vorbemerkungen	74
5.4.2	Vorsorgeprinzip	74
5.4.3	Verursacherprinzip, Gemeinlastprinzip	75
5.4.4	Kooperationsprinzip	75
5.5	Instrumente des Umweltrechts	76
5.6	Überblick	78
<b>6</b>	<b>Chemikaliengesetz, Gefahrstoffverordnung</b>	<b>79</b>
6.1	Chemikaliengesetz	79
6.1.1	Allgemeines	79
6.1.2	Alter Stoff, neuer Stoff, Gefahrstoff	80
6.2	Gefahrstoffverordnung	81
6.3	MAK-, TRK-, BAT- und MIK-Wert	86
6.3.1	MAK-Wert	86
6.3.2	TRK-Wert	87
6.3.3	BAT-Wert	88
6.3.4	MIK-Wert	89

**Literatur zu Teil I 91**

## **Teil II Luft**

- 7 Die Lufthülle der Erde 99**
  - 7.1 Vorbemerkungen 99
    - 7.1.1 Bedeutung der Atmosphäre 99
    - 7.1.2 Atmosphärenchemie 100
  - 7.2 Zusammensetzung und Eigenschaften der Atmosphäre 100
    - 7.2.1 Zusammensetzung der Atmosphäre 100
    - 7.2.2 Luftqualität 102
    - 7.2.3 Ubiquitäre Stoffe 105
    - 7.2.4 Durchmischungszeit, Lebensdauer 106
    - 7.2.5 Quellen, Transport 109
    - 7.2.6 Emission, Transmission und Deposition 109
    - 7.2.7 Natürliche Quellen 112
    - 7.2.8 Senken 113
  - 7.3 Schäden durch Luftverunreinigungen 114
  - 7.4 Grundlagen der Photochemie 118
    - 7.4.1 Photochemische Reaktionen 118
    - 7.4.2 Photolyse 121
    - 7.4.3 Photoionisation 122
  - 7.5 OH-Radikale in der Troposphäre 122
- 8 Kohlendioxid 126**
  - 8.1 Eigenschaften 126
  - 8.2 Quellen und Senken, Kohlenstoffkreislauf 127
    - 8.2.1 Quellen und Senken 127
    - 8.2.2 Kohlenstoffkreislauf 131
  - 8.3 Änderungen des CO<sub>2</sub>-Gehalts in der Atmosphäre 132
  - 8.4 Spurengase und Klima 135
    - 8.4.1 Treibhauseffekt 135
    - 8.4.2 Klimaänderung 138
- 9 Kohlenmonoxid 140**
  - 9.1 Eigenschaften 140
  - 9.2 Quellen und Senken 141
    - 9.2.1 Quellen 141
    - 9.2.2 Senken 142
  - 9.3 Wirkungen beim Menschen 144
- 10 Schwefelverbindungen 147**
  - 10.1 Eigenschaften, Verwendung 147
  - 10.2 Quellen und Senken, Schwefelkreislauf 148
  - 10.3 Wirkungen 150
    - 10.3.1 London-Smog 150
    - 10.3.2 Wirkung von Schwefeldioxid auf Lebewesen 152
    - 10.3.3 Schwefeldioxid und Sachgüter 153
  - 10.4 Saurer Regen, neuartige Waldschäden 153
    - 10.4.1 Saurer Regen 153

- 10.4.2 Oxidationsreaktionen 154
- 10.4.3 Neuartige Waldschäden 155
  
- 11 Oxide des Stickstoffs 158**
- 11.1 Eigenschaften 158
- 11.1.1 Überblick 158
- 11.1.2 Brennstoff-, thermisches und promptes NO 160
- 11.1.3 Stickstoffkreislauf 160
- 11.2 Distickstoffmonoxid 162
- 11.3 NO<sub>x</sub>: Gleichgewicht, Quellen, Senken 164
- 11.3.1 NO-NO<sub>2</sub>-Gleichgewicht 164
- 11.3.2 Quellen und Senken für NO<sub>x</sub> 165
- 11.4 Einfluß von NO<sub>x</sub> auf Lebewesen 168
  
- 12 Flüchtige organische Verbindungen 170**
- 12.1 Überblick 170
- 12.2 Methan 171
- 12.2.1 Quellen 171
- 12.2.2 Senken 173
- 12.3 Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe 175
- 12.4 Photooxidantien 175
- 12.4.1 Vorbemerkungen 175
- 12.4.2 Eigenschaften 176
- 12.4.3 Vorkommen, Quellen und Senken von Ozon 177
- 12.4.4 Inversionswetterlagen 178
- 12.4.5 Los-Angeles-Smog 179
- 12.4.6 Reaktionsablauf 181
- 12.4.7 Ozon fern von den Quellen 184
- 12.4.8 Wirkungen, Schäden 185
- 12.5 Automobilabgase 186
- 12.5.1 Zusammensetzung 186
- 12.5.2 Emissionen, Belastungen 187
- 12.5.3 Abgasreinigung, katalytische Nachverbrennung 188
- 12.5.4 Ersatzstoffe für Benzin 192
  
- 13 Ozon in der Stratosphäre 194**
- 13.1 Vorkommen und Eigenschaften 194
- 13.2 Der Chapman-Zyklus 196
- 13.3 Katalytischer Ozonabbau 197
- 13.3.1 Vorbemerkungen 197
- 13.3.2 Katalytischer ClO<sub>x</sub>-Zyklus 198
- 13.3.3 Weitere Zyklen 199
- 13.4 Ozonloch 201
- 13.4.1 Beschreibung 201
- 13.4.2 Ursachen 203
- 13.4.3 Schäden durch Ozon, UV-Strahlung 205
- 13.5 FCKW, CKW, Halone 207
- 13.5.1 Eigenschaften, Verwendung, Ozonzerstörungspotential 207
- 13.5.2 FCKW-Ersatzstoffe 210

- 14      Aerosole 212**
- 14.1    Bedeutung 212
- 14.2    Quellen, Eigenschaften 214
- 14.3    Umwandlungen 216
- 14.4    Zusammensetzung 217
- 14.5    Größe, Lebensdauer, Verteilung 219
- 14.6    Einfluß auf den Menschen 220
- 14.7    Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe 222
- 14.8    Asbeste 224
- 14.8.1   Eigenschaften, Verwendung 224
- 14.8.2   Gesundheitsrisiken, Rechtliches 225
  
- 15      Immissionsschutzrecht 227**
- 15.1    Allgemeines, Begriffe, Aufbau 227
- 15.2    Anlagenbezogener Immissionsschutz 228
- 15.3    Produkt- und gebietsbezogener Immissionsschutz 230
- 15.4    Störfallverordnung 231
- 15.5    TA Luft 232

**Literatur zu Teil II 234**

**Teil III Wasser**

- 16      Wasser: Grundlagen 245**
- 16.1    Bedeutung und Eigenschaften 245
- 16.1.1   Bedeutung 245
- 16.1.2   Physikalische Eigenschaften 247
- 16.2    Säure-Base-Reaktionen 248
- 16.2.1   Vorbemerkungen, Begriffe 248
- 16.2.2   Näherungsweise pH-Wert-Berechnung 251
- 16.3    Offene und geschlossene Systeme 252
- 16.3.1   Vorbemerkungen 252
- 16.3.2   Offenes System, keine chemische Reaktion mit Wasser 252
- 16.3.3   Offenes System, chemische Reaktion mit Wasser 254
  
- 17      Wasserkreislauf, Wasserbelastungen 256**
- 17.1    Wassermengen, Wasserkreislauf 256
- 17.2    Natürliche Gewässer, Ozeane 258
- 17.3    Wasserbelastungen 260
- 17.3.1   Nährstoffe 260
- 17.3.2   Salze 261
- 17.3.3   Selbstreinigung 262
- 17.3.4   Sauerstoffgehalt 263
- 17.4    Bewertung wassergefährdender Stoffe 265
- 17.4.1   Wassergefährdende Stoffe 265
- 17.4.2   Biotests 265
- 17.4.3   Chemischer Sauerstoffbedarf 266
- 17.4.4   Biochemischer Sauerstoffbedarf 267

17.4.5	Einwohnergleichwert	269
17.4.6	AOX und TOC	270
17.4.7	Gewässergüteklassen	271
<b>18</b>	<b>Spezielle Wasserbelastungen</b>	<b>272</b>
18.1	Wasch- und Reinigungsmittel	272
18.1.1	Vorbemerkungen	272
18.1.2	Waschaktive Substanzen (Tenside)	273
18.1.3	Gerüststoffe	275
18.2	Polychlorierte Dibenzodioxine, Dibenzofurane und Biphenyle	276
18.2.1	Chlorchemie	276
18.2.2	Polychlor-Dibenzodioxine und -Dibenzofurane	279
18.2.3	Polychlorierte Biphenyle	281
18.3	Öl	283
18.3.1	Entstehung, Wirkungen	283
18.3.2	Schadensbehebung, Abbau	284
18.3.3	Altöl	285
<b>19</b>	<b>Trinkwassergewinnung und Abwasserreinigung</b>	<b>286</b>
19.1	Trinkwasser	286
19.1.1	Wasserbedarf	286
19.1.2	Anforderungen, Gewinnung	287
19.1.3	Wasserhärte	287
19.1.4	Wasserenthärtung, Wasserentsalzung	289
19.2	Abwasser	290
19.3	Reinigung kommunaler Abwässer	291
19.3.1	Mechanische und biologische Abwasserreinigung	291
19.3.2	Chemische Abwasserreinigung	293
19.3.3	Entkeimung von Trinkwasser	294
19.3.4	Nitrat	295
19.3.5	Phosphat	297
19.4	Behandlung und Beseitigung von Klärschlamm	297
<b>20</b>	<b>Gewässerschutzrecht</b>	<b>300</b>
20.1	Übersicht	300
20.2	Wasserhaushaltsgesetz	302
20.3	Abwasserabgabengesetz	303
20.4	Wasch- und Reinigungsmittelgesetz	304

#### Literatur zu Teil III 305

#### Teil IV Boden

<b>21</b>	<b>Boden: Grundlagen</b>	<b>311</b>
21.1	Zusammensetzung	311
21.1.1	Bodenbestandteile	311
21.1.2	Humus und Huminstoffe	313

- 21.1.3 Tonmineralien 315
- 21.1.4 Bodenlebewesen 315
- 21.2 Bedeutung, Funktionen 316
- 21.3 Verwitterung, Erosion 318
- 21.3.1 Verwitterung 318
- 21.3.2 Erosion 320
- 21.4 Düngemittel 321
- 21.4.1 Nährstoffe 321
- 21.4.2 Stickstoff 322
- 21.4.3 Phosphor 323
- 21.4.4 Düngung 324
  
- 22 Bodenbelastungen 327**
- 22.1 Schadstoffe im Boden 327
- 22.2 Bodenversauerung 329
- 22.2.1 Boden und pH-Wert 329
- 22.2.2 Der Boden als Puffer 330
- 22.3 Pestizide 332
- 22.3.1 Übersicht 332
- 22.3.2 DDT 334
  
- 23 Schwermetalle 336**
- 23.1 Allgemeines 336
- 23.1.1 Bedeutung, Vorkommen 336
- 23.1.2 Emissionen von Metallen, Kreisläufe 339
- 23.1.3 Persistenz von Metallen 341
- 23.1.4 Schwermetalle und Pflanzen 342
- 23.2 Quecksilber 344
- 23.2.1 Eigenschaften, Verwendung, Quellen 344
- 23.2.2 Giftwirkung, ökologische Wirkungen 345
- 23.3 Blei 348
- 23.3.1 Eigenschaften, Verwendung 348
- 23.3.2 Quellen 349
- 23.3.3 Giftwirkung, ökologische Wirkungen 350
- 23.4 Cadmium 353
- 23.4.1 Eigenschaften, Verwendung, Quellen 353
- 23.4.2 Giftwirkung, ökologische Wirkungen 353
  
- 24 Altlasten 356**
- 24.1 Allgemeines 356
- 24.2 Sicherung und Sanierung 357
  
- 25 Bodenschutzrecht 359**

**Literatur zu Teil IV 361**



## **Teil V Abfall**

- 26 Abfall: Überblick 369**
  - 26.1 Abfälle 369
  - 26.2 Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle 372
  - 26.3 Abfälle aus Industrie und Gewerbe 373
  - 26.4 Abfallarten und -schlüssel 375
  
- 27 Entsorgung von Hausmüll 377**
  - 27.1 Deponien 377
  - 27.2 Deponiegas, Biogas 378
  
- 28 Recycling 382**
  - 28.1 Begriffe 382
  - 28.2 Vor- und Nachteile, Beispiele 383
  
- 29 Sonderabfall 387**
  - 29.1 Begriffe 387
  - 29.2 Thermische Behandlung, Sondermülldeponien 388
    - 29.2.1 Vorbemerkungen 388
    - 29.2.2 Verbrennung 389
    - 29.2.3 Andere thermische Verfahren 391
    - 29.2.4 Sonderabfalldeponien 391
  - 29.3 Abfallbeseitigung auf See 392
  
- 30 Abfallrecht 394**
  - 30.1 Abfallgesetz 394
  - 30.2 Abfall-Verordnungen 396

## **Literatur zu Teil V 398**

### **Anhang**

- Anhang A Gehaltsangaben für Gase 403
- Anhang B Gesetze, Verordnungen, Vorschriften 406
- Anhang C Quellen von Abbildungen und Tabellen 413

## **Register 417**