

Inhalt

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Vorwort zur deutschen Ausgabe | XI |
| Vorwort der Autoren | XIII |
| I. Grundlagen | 1 |
| 1. Einführung | 3 |
| 1.1 Umweltverschmutzung in der modernen Welt | 4 |
| 1.2 Umweltverschmutzung definiert | 7 |
| Zitierte Literatur | 17 |
| Weiterführende Literatur zu den Themengebieten dieses Buches | 17 |
| 2. Transport und Verhalten von Schadstoffen in der Umwelt | 23 |
| 2.1 Ein Grundmodell der Schadstoffausbreitung | 23 |
| 2.2 Die Quellen der Schadstoffe | 23 |
| 2.3 Die Schadstoffe | 26 |
| 2.3.1 Schadstoffe mit hoher Priorität | 26 |
| 2.3.2 Pestizide | 27 |
| 2.3.3 Schadstoffbelastung von Innenräumen | 28 |
| 2.4 Die Transportmedien | 29 |
| 2.5 Schadstofftransport in der Luft | 30 |
| 2.6 Schadstofftransport im Wasser | 37 |
| 2.6.1 Nitrat als Belastungsstoff im Wasser | 39 |
| 2.6.2 Biochemische Vorgänge im Wasser | 39 |
| 2.6.3 Abhängigkeit der Stofffracht von der Wassermenge | 41 |
| 2.7 Das Verhalten der Schadstoffe im Boden | 44 |
| 2.7.1 Die Zusammensetzung und die physikalisch-chemischen Eigenschaften von Böden | 44 |
| 2.7.2 Kationen- und Anionenadsorption in Böden | 46 |
| 2.7.3 Adsorption und Zersetzung von organischen Schadstoffen | 48 |
| 2.8 Abschließende Bemerkungen | 51 |
| Zitierte Literatur | 51 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3. Die Gefährdung von Mensch und Umwelt durch Schadstoffe – Einschätzung, Grenzwerte und gesetzliche Regelungen | 53 |
| 3.1 Grundprinzipien der Toxikologie | 53 |
| 3.2 Die Auswirkungen von Schadstoffen auf Tiere und Pflanzen | 56 |
| 3.2.1 Die Auswirkungen von Schadstoffen auf den Menschen und auf andere Säugetiere | 56 |
| 3.2.2 Teratogenese, Mutagenese, Carcinogenese und Störungen des Immunsystems | 57 |
| 3.2.3 Ökotoxikologie | 59 |
| 3.2.4 Einschätzung der Gefährlichkeit von Umweltschadstoffen | 60 |
| 3.3 Gesetzliche Regelungen – das deutsche Schadstoffrecht | 61 |
| 3.3.1 Gefahrstoffrecht | 62 |
| 3.3.2 Regelungen für Schadstoffe im Wasser | 64 |
| 3.3.3 Regelungen für Luftschadstoffe | 67 |
| 3.3.4 Regelungen im Bereich Abfall/Boden (mit internationalem Vergleich) | 69 |
| 3.3.5 Perspektiven im deutschen Schadstoffrecht | 78 |
| 3.4 Erweiterte Bedeutung von Grenzwerten | 81 |
| Zitierte Literatur | 83 |
| 4. Analyse und Überwachung von Schadstoffen | 87 |
| 4.1 Chromatographie | 87 |
| 4.2 Dünnschichtchromatographie (DC) | 88 |
| 4.2.1 Trennung von Pestizidgemischen | 89 |
| 4.2.2 Auftrennung von Metallkationen | 89 |
| 4.3 Gaschromatographie (GC) | 90 |
| 4.3.1 Nachweis der eluierten Substanzen | 93 |
| 4.3.2 Einige theoretische Überlegungen | 95 |
| 4.3.3 Optimierung der Trennleistung | 97 |
| 4.3.4 Kapillarsäulen für die Gaschromatographie | 98 |
| 4.3.5 Analyse schadstoffbelasteter Stadtluft | 98 |
| 4.3.6 Massenspektrometrische Analyse | 100 |
| 4.4 Hochdruckflüssigkeitschromatographie (HPLC) | 105 |
| 4.4.1 Komponenten eines HPLC-Systems | 106 |
| 4.4.2 Detektoren | 107 |
| 4.4.3 Luftanalytik | 110 |
| 4.4.4 Wasseranalytik | 112 |
| 4.4.5 Anreicherung und nachfolgende GC-Analyse | 113 |
| 4.5 Der Nachweis von Schwermetallbelastungen und die Technik der Atomabsorptionsspektroskopie | 114 |
| 4.5.1 Historisches | 114 |
| 4.5.2 Die grundlegende Theorie der Atomabsorption und -emission | 115 |
| 4.5.3 Das Lambert-Beersche Gesetz | 116 |
| 4.5.4 Instrumenteller Aufbau | 117 |
| 4.5.5 Interferenzen | 118 |

| | | |
|--------|----------------------------------------------------|-----|
| 4.5.6 | Probenvorbereitung | 120 |
| 4.5.7 | Präzision und Genauigkeit der Messung | 120 |
| 4.5.8 | Graphitrohrfen-AAS | 121 |
| 4.6 | Plasmabrenner und die Atomemissionsspektroskopie | 122 |
| 4.7 | Qualitätssicherung in der Analytik | 124 |
| 4.8 | Umweltüberwachung (Umweltmonitoring) | 125 |
| 4.8.1 | Einführung | 125 |
| 4.8.2 | Emissionsüberwachung | 126 |
| | Zitierte Literatur | 131 |
| | | |
| II. | Die Schadstoffe | 133 |
| | | |
| 5. | Anorganische Schadstoffe | 135 |
| | | |
| 5.1 | Ozon | 135 |
| 5.1.1 | Historisches | 135 |
| 5.1.2 | Bildung | 135 |
| 5.1.3 | Physikalische Eigenschaften und Struktur | 135 |
| 5.1.4 | Die Ozonschicht | 136 |
| 5.1.5 | Störungen des natürlichen Gleichgewichts | 137 |
| 5.1.6 | Die Chemie der FCKW in der Stratosphäre | 138 |
| 5.1.7 | Kontrollmaßnahmen | 139 |
| 5.1.8 | Ozon in der Troposphäre | 140 |
| 5.1.9 | Tageszeitliche Schwankungen der Ozonkonzentration | 141 |
| 5.1.10 | Toxizität | 141 |
| 5.2 | Oxide von Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel | 142 |
| 5.2.1 | Kohlendioxid | 142 |
| 5.2.2 | Stickstoffoxide | 150 |
| 5.2.3 | Schwefeloxide | 155 |
| 5.3 | Schwermetalle | 165 |
| 5.3.1 | Allgemeine Eigenschaften | 165 |
| 5.3.2 | Biochemische Eigenschaften von Schwermetallen | 165 |
| 5.3.3 | Quellen für Schwermetalle | 167 |
| 5.3.4 | Betroffene Umweltmedien | 174 |
| 5.3.5 | Das Verhalten der Schwermetalle in der Umwelt | 175 |
| 5.3.6 | Toxische Wirkungen von Schwermetallen | 179 |
| 5.3.7 | Analysemethoden | 180 |
| 5.3.8 | Beispiele bestimmter Schwermetalle | 181 |
| 5.4 | Leichtmetalle und andere anorganische Schadstoffe | 185 |
| 5.4.1 | Aluminium | 185 |
| 5.4.2 | Beryllium | 186 |
| 5.4.3 | Fluor | 187 |
| 5.5 | Radionuklide | 188 |
| 5.5.1 | Geschichte | 188 |
| 5.5.2 | Formen radioaktiver Strahlung | 189 |
| 5.5.3 | Energieeinheiten und Messung der Strahlenbelastung | 190 |

VIII Inhalt

| | | |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.5.4 | Radioaktives Kalium | 191 |
| 5.5.5 | Die Produktion von künstlichen Radionukliden | 191 |
| 5.5.6 | Kernspaltung | 192 |
| 5.5.7 | Emissionen von Radionukliden | 194 |
| 5.5.8 | Beobachtungen bei größeren Unfällen | 195 |
| 5.5.9 | Radioaktivität in Gebäuden | 199 |
| 5.5.10 | Gesellschaftliche Aspekte der Erzeugung von Atomstrom | 200 |
| 5.5.11 | Stromerzeugung durch Kernfusion | 200 |
| 5.6 | Mineralfasern und Mineralstäube | 202 |
| 5.6.1 | Allgemeine Aspekte | 202 |
| 5.6.2 | Analyse | 203 |
| 5.6.3 | Beispiele für mineralische Schadstoffe | 203 |
| | Zitierte Literatur | 205 |
| 6. | Organische Schadstoffe | 209 |
| 6.1 | Rauch | 209 |
| 6.2 | Methan und andere Kohlenwasserstoffe – Kohle und Erdöl als Emissionsquellen | 212 |
| 6.2.1 | Die Bildung von Kohle | 212 |
| 6.2.2 | Erdöl | 213 |
| 6.2.3 | Methan | 215 |
| 6.2.4 | Höhere Alkane | 216 |
| 6.2.5 | Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) | 218 |
| 6.3 | Organische Lösungsmittel | 223 |
| 6.3.1 | Klebstoffe | 224 |
| 6.3.2 | Anstriche und Druckfarben | 225 |
| 6.3.3 | Aerosolsprays | 226 |
| 6.3.4 | Metallreinigung | 226 |
| 6.3.5 | Chemische Textilreinigung | 227 |
| 6.3.6 | Lösungsmitteltoxikologie | 228 |
| 6.3.7 | Organische Chlorverbindungen | 229 |
| 6.3.8 | Detergentien | 230 |
| 6.3.9 | Schadstoffe in Innenräumen | 233 |
| 6.4 | Organische Halogenverbindungen: Pestizide, polychlorierte Biphenyle und Dioxine | 234 |
| 6.4.1 | Historisches | 234 |
| 6.4.2 | Herstellung organischer Chlorverbindungen | 234 |
| 6.4.3 | DDT (Dichlordiphenyltrichlorethan) | 235 |
| 6.4.4 | Lindan (Hexachlorcyclohexan, γ -HCH) | 236 |
| 6.4.5 | Einige andere chlorierte Pestizide | 237 |
| 6.4.6 | Organische Chlorherbizide | 238 |
| 6.4.7 | Toxische Auswirkungen von Insektiziden | 239 |
| 6.4.8 | Kontrolle des Pestizideinsatzes | 242 |
| 6.4.9 | Vinylchlorid und Polyvinylchlorid | 242 |
| 6.4.10 | Polychlorierte Biphenyle (PCB) | 244 |
| 6.4.11 | Toxische Substanzen in Herbiziden | 248 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.4.12 Stoffwechsel aromatischer Chlorverbindungen | 253 |
| 6.4.13 Beseitigung organischer Chlorverbindungen | 254 |
| 6.4.14 Mikrobielle Zersetzung | 255 |
| 6.5 Natürliche Pestizide, organische Phosphor- und Carbamatpestizide | 255 |
| 6.5.1 Natürlich vorkommende Pestizide | 256 |
| 6.5.2 Organophosphorpestizide | 259 |
| 6.5.3 Carbamatpestizide | 264 |
| 6.6 Gerüche | 265 |
| 6.6.1 Wichtige Eigenschaften von Gerüchen | 266 |
| 6.6.2 Methoden der Kontrolle von Geruchsemissionen | 267 |
| 6.6.3 Maßnahmen zur Vermeidung von Gerüchen | 267 |
| Zitierte Literatur | 267 |
| | |
| III. Erfassung und Behandlung von Schadstoffbelastungen | 271 |
| (von Ulrich Förstner) | |
| | |
| 7. Grundwasserverschmutzung | 273 |
| 7.1 Chemische und biologische Prozesse im Grundwasser | 274 |
| 7.1.1 Wechselwirkungen zwischen gelösten und festen Phasen | 274 |
| 7.1.2 Verhalten verschiedener Wasserinhaltsstoffe im Untergrund | 275 |
| 7.1.3 Biologische Umsetzungen im oberen Grundwasserbereich | 277 |
| 7.1.4 Mobilisierung von Metallen aus kontaminierten Feststoffen | 278 |
| 7.1.5 Schadstofftransport durch Kolloide im Grundwasser | 280 |
| 7.2 Organische Schadstoffe im Grundwasser | 282 |
| 7.2.1 Grundwassergängigkeit von organischen Schadstoffen | 282 |
| 7.2.2 Überlagerung von Diffusion und Konvektion | 286 |
| 7.2.3 Ausbreitungsvorgänge im natürlichen Untergrund | 288 |
| 7.2.4 Pflanzenschutzmittel im Grundwasser | 289 |
| 7.3 Schwermetalle und Salze im Grundwasser | 289 |
| 7.3.1 Schwermetalle in Deponiesickerwässern | 291 |
| 7.3.2 Schwermetalle bei der Untergrundpassage von Oberflächenwasser | 294 |
| 7.3.3 Erhöhte Salz- und Nitratgehalte im Grundwasser | 299 |
| 7.4 Versauerung von Böden und Grundwasser | 302 |
| 7.4.1 Durchbruch der Säurelast ins Grundwasser unter Waldböden | 303 |
| 7.4.2 Metallmobilisierung durch geänderte Bodennutzung | 305 |
| 7.5 Frühwarnsysteme für Veränderungen der Grundwasserqualität | 307 |
| 7.5.1 Grundlagen für Systementwicklungen | 308 |
| 7.5.2 Frühwarnsysteme für den Grundwasserbereich | 309 |
| 7.5.3 Integriertes umweltchemisches Frühwarnsystem | 310 |
| Zitierte Literatur | 312 |

| | | |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------|------------|
| X | Inhalt | |
| 8. | Behandlung von schadstoffhaltigen Wässern, Feststoffen und Abgasen | 317 |
| 8.1 | Behandlung von Oberflächen- und Grundwässern | 317 |
| 8.1.1 | Belastungs- und Schadstoffe | 317 |
| 8.1.2 | Abfolge von Behandlungsstufen | 319 |
| 8.1.3 | Entfernung von Schwermetallen | 320 |
| 8.2 | Behandlung von Abwasser | 321 |
| 8.2.1 | Stickstoff und Phosphor | 322 |
| 8.2.2 | Entfernung von Schwermetallen aus Abwässern | 325 |
| 8.2.3 | Behandlung von Abwässern mit organischen Schadstoffen | 327 |
| 8.3 | Behandlung von Abgasen | 327 |
| 8.3.1 | Staubabscheidung | 328 |
| 8.3.2 | Gasreinigungsverfahren | 330 |
| 8.3.3 | Stickoxidreduktion und Entschwefelung von Kraftwerksemissionen | 331 |
| 8.3.4 | Abwasser- und Abgasreinigung in Müllverbrennungsanlagen | 334 |
| 8.4 | Behandlung von festen Abfällen | 335 |
| 8.4.1 | Behandlung halogenorganischer Abfälle | 336 |
| 8.4.2 | Schadstoffentfrachtung des Hausmülls | 337 |
| 8.4.3 | Schadstoffe in Deponiesickerwässern – künftige Anforderungen an Deponien | 337 |
| 8.4.4 | Thermische Restmüllbehandlung – Schadstoffemissionen | 339 |
| 8.4.5 | Nachbehandlung von Filterstäuben | 340 |
| 8.5 | Behandlung kontaminierter Böden | 342 |
| 8.5.1 | Mikrobiologische Verfahren | 345 |
| 8.5.2 | Chemische Verfahren | 346 |
| 8.5.3 | Thermische Behandlung | 346 |
| 8.6 | Ingenieurgeochemische Behandlungsmethoden | 347 |
| 8.7 | Schadstoffreduktion durch Abfallvermeidung und Energiesparen | 351 |
| 8.7.1 | Vermeidung von Rückständen | 352 |
| 8.7.2 | Einsparung von Energie | 353 |
| 8.7.3 | Regenerative Energien | 354 |
| | Zitierte Literatur | 358 |
| Index | | 361 |