

# Inhaltsverzeichnis

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>1 Einführung ... 1</b></p> <p>1.1 Belastung der Umwelt, Klimaerwärmung und Artenverlust ... 1</p> <p>1.2 Chemikalien in der Umwelt ... 5</p> <p>1.2.1 Belastung von Wasser, Boden und Luft ... 5</p> <p>1.2.2 Phosphor und Stickstoff: Vom Nährstoff zum Schadstoff ... 7</p> <p>1.2.3 Polychlorierte Biphenyle (PCB) ... 11</p> <p>1.2.4 Polychlorierte Dibenzo-1,4-dioxine und Dibenzofurane (PCDD und PCDF) ... 14</p> <p>1.3 Ökotoxikologie als Umweltwissenschaft ... 17</p> <p>1.3.1 Definition der Ökotoxikologie ... 17</p> <p>1.4 Literatur ... 23</p> <p><b>2 Umweltchemische Aspekte der Ökotoxikologie ... 25</b></p> <p>2.1 Chemische Umweltanalytik und Untersuchungskonzepte ... 25</p> <p>2.2 Verhalten und Schicksal von Chemikalien in der Umwelt ... 28</p> <p>2.2.1 Umweltchemische Prozesse ... 28</p> <p>2.2.2 Transportprozesse ... 31</p> <p>2.2.3 Transferprozesse ... 34</p> <p>2.2.4 Transformationsprozesse ... 37</p> <p>2.3 Verhalten von Chemikalien in der Abwasserreinigung ... 42</p> <p>2.3.1 Chemikalien im Klärschlamm ... 44</p> <p>2.3.2 Pharmazeutika in der Umwelt ... 44</p> <p>2.4 Umweltchemikalien und Exposition ... 46</p> <p>2.4.1 Erdöl und Tankerunfälle ... 46</p> <p>2.4.2 Organozinn-Verbindungen ... 50</p> <p>2.4.3 Metalle ... 51</p> <p>2.4.4 Neue Stoffe: Nanopartikel ... 56</p> <p>2.5 Literatur ... 57</p> | <p><b>3 Allgemeine Prinzipien der Ökotoxikologie ... 61</b></p> <p>3.1 Toxizität ... 61</p> <p>3.1.1 Wirkungsarten ... 62</p> <p>3.1.2 Wirkungen auf verschiedenen biologischen Ebenen ... 63</p> <p>3.1.3 Dosis-Wirkungs-Beziehungen ... 64</p> <p>3.2 Rezeptortheorie ... 67</p> <p>3.3 Akute Wirkungen ... 72</p> <p>3.3.1 Aussagekraft von LC<sub>50</sub>-Werten ... 72</p> <p>3.3.2 Unfälle mit Chemikalien in Gewässern ... 73</p> <p>3.4 Speziesunterschiede ... 80</p> <p>3.5 Chronische Toxizität ... 82</p> <p>3.6 Übertragung auf das Ökosystem ... 85</p> <p>3.7 Literatur ... 87</p> <p><b>4 Bioverfügbarkeit und Faktoren, welche die Ökotoxizität beeinflussen ... 89</b></p> <p>4.1 Ökotoxikologische und toxikologische Bioverfügbarkeit ... 89</p> <p>4.2 Ökotoxikologische Bioverfügbarkeit und Einflussfaktoren in aquatischen Systemen ... 90</p> <p>4.2.1 Bedeutung des pH-Wertes: Ammoniak, Ammonium, Cyanid und Schwefelwasserstoff ... 90</p> <p>4.2.2 Metalle ... 92</p> <p>4.2.3 Organische und Organometall-Verbindungen ... 99</p> <p>4.3 Bioverfügbarkeit in Umweltsystemen ... 100</p> <p>4.3.1 Sediment ... 100</p> <p>4.3.2 Boden ... 101</p> <p>4.4 Einfluss von Umweltfaktoren: Temperatur, Salinität und UV-Strahlung ... 103</p> <p>4.5 Biologische Einflussgrößen ... 105</p> <p>4.5.1 Anpassung an Umweltchemikalien ... 105</p> <p>4.6 Literatur ... 110</p> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

- 5 Ökotoxikologische Untersuchungsmethoden und Testsysteme ... 113**
- 5.1 Allgemeine Prinzipien und Konzepte ... 113
    - 5.1.1 Untersuchungssysteme ... 115
    - 5.1.2 Standardisierung ... 116
  - 5.2 Toxizitätstests für aquatische Ökosysteme ... 118
    - 5.2.1 Bakterien ... 118
    - 5.2.2 Algen: Hemmung der Zellvermehrung und Photosynthese ... 120
    - 5.2.3 Krebstiere (Crustacea) ... 121
    - 5.2.4 Wimpertierchen (Ciliaten) und Rädertierchen (Rotatorien) ... 123
    - 5.2.5 Fische ... 123
  - 5.3 Toxizitätstests für terrestrische Ökosysteme ... 132
    - 5.3.1 Mikrobielle Tests ... 133
    - 5.3.2 Höhere Pflanzen ... 134
    - 5.3.3 Regen- oder Dungwürmer ... 135
    - 5.3.4 Vögel ... 135
  - 5.4 Ökotoxikologische Bewertung von Umweltsystemen: Sedimente ... 135
  - 5.5 Chemikalienmischungen ... 137
  - 5.6 Grenzen der Aussagekraft von Toxizitätstests ... 139
  - 5.7 Literatur ... 140
- 6 Schicksal von Umweltchemikalien im Organismus ... 143**
- 6.1 Aufnahme ... 143
    - 6.1.1 Aufnahmewege und Transportprozesse ... 144
    - 6.1.2 Einfluss des Mediums: pH-Wert ... 146
    - 6.1.3 Aufnahmeorgane ... 148
  - 6.2 Verteilung ... 150
  - 6.3 Stoffwechsel von Umweltchemikalien: Biotransformation und Metabolismus ... 151
    - 6.3.1 Phase-I-Reaktionen ... 152
    - 6.3.2 Cytochrom P<sub>450</sub>-abhängige Monooxygenasen (CYP) ... 154
    - 6.3.3 Bioaktivierung von Fremdstoffen ... 167
    - 6.3.4 Phase-II-Reaktionen ... 170
    - 6.3.5 Einflussfaktoren und ökotoxikologische Bedeutung ... 171
  - 6.4 Ausscheidung (Elimination) ... 175
  - 6.5 Literatur ... 176
- 7 Bioakkumulation ... 179**
- 7.1 Bioakkumulation in aquatischen Systemen ... 179
    - 7.1.1 Bioakkumulationsprozess ... 180
    - 7.1.2 Pharmakokinetik und Bioakkumulation ... 181
  - 7.2 Modellmäßige Beschreibung der Bioakkumulation ... 183
    - 7.2.1 Ein-Kompartiment-Modell: Prozess erster Ordnung ... 183
    - 7.2.2 Zwei-Kompartiment-Modell ... 184
    - 7.2.3 Mehr-Kompartiment-Modell ... 184
  - 7.3 Determinierende Faktoren und Beeinflussung der Bioakkumulation ... 186
    - 7.3.1 Physikalisch-chemische Stoffeigenschaften ... 186
    - 7.3.2 Umweltfaktoren ... 189
    - 7.3.3 Biologische Faktoren ... 193
  - 7.4 Biomagnifikation ... 196
  - 7.5 Umwelt- und ökotoxikologische Bedeutung ... 198
  - 7.6 Literatur ... 201
- 8 Molekulare Wirkungsmechanismen und Wirkungen auf die Zelle ... 203**
- 8.1 Struktur und Funktion der Zelle ... 203
  - 8.2 Beeinträchtigung zentraler zellulärer Prozesse und Funktionen ... 205
    - 8.2.1 Störung des Calcium-Gleichgewichts ... 205
    - 8.2.2 Hemmung der Energiebildung (oxidative Phosphorylierung) ... 207
    - 8.2.3 Hemmung von Enzymen ... 209
    - 8.2.4 Freie Radikale und reaktive Sauerstoffspezies: oxidativer Stress ... 209
  - 8.3 Wirkungen auf zelluläre Strukturen ... 212
    - 8.3.1 Biologische Membranen ... 212
    - 8.3.2 Organellen ... 214
  - 8.4 Zellkern ... 215
    - 8.4.1 Gentoxizität ... 215
    - 8.4.2 Chemische Cancerogenese ... 218
  - 8.5 Entgiftungs-, Reparatur- und Schutzprozesse ... 220
    - 8.5.1 Metallothioneine und Schwermetalle ... 220
    - 8.5.2 Stressproteine ... 224

- 8.6 Wirkungen auf die Zelle ... 225
  - 8.6.1 Nervenzellen ... 225
  - 8.6.2 Cytotoxizität: Apoptose und Nekrose ... 227
  - 8.6.3 Cytologische Veränderungen ... 228
  - 8.7 Literatur ... 228
- 9 Wirkungen auf Individuen und Populationen ... 233**
  - 9.1 Wirkungen sind ökologisch vernetzt ... 233
  - 9.2 Unspezifische chronische Wirkungen ... 235
    - 9.2.1 Wachstum ... 236
    - 9.2.2 Verhalten ... 237
  - 9.3 Effekte auf die Individualentwicklung: Empfindlichkeit früher Lebensstadien ... 237
    - 9.3.1 Missbildungen und Entwicklungsstörungen ... 239
  - 9.4 Chronische Wirkungen auf Gewebe und Organe ... 241
    - 9.4.1 Wirkungen auf das Immunsystem ... 242
  - 9.5 Negative Wirkungen von Umweltchemikalien auf die Reproduktion: Hormonaktive Stoffe ... 242
    - 9.5.1 DDT und andere Organochlorpestizide: Wirkungen bei Vögeln ... 245
    - 9.5.2 Polychlorierte Biphenyle (PCB) ... 250
    - 9.5.3 Vermännlichung durch androgene Umweltchemikalien ... 256
    - 9.5.4 Amphibien: Globaler Populationsrückgang und hormonaktive Stoffe ... 258
    - 9.5.5 Verweiblichung durch estrogene Umweltchemikalien ... 260
  - 9.6 Literatur ... 275
    - 9.6.1 Toxische Wirkungen, Organozinn, Androgene Effekte ... 275
    - 9.6.2 PCB, DDT (Greifvögel) ... 276
    - 9.6.3 Deformationen, Wirkungen auf Amphibien ... 277
    - 9.6.4 Übersichtsartikel Endocrine Disrupters ... 277
    - 9.6.5 Estrogene Stoffe ... 277
    - 9.6.6 Estrogene Effekte: Mensch und Säuger ... 278
    - 9.6.7 Estrogene Effekte: Fische ... 278
    - 9.6.8 Testsysteme für hormonaktive Stoffe ... 280
- 10 Wirkungen auf Lebensgemeinschaften und Ökosysteme ... 281**
  - 10.1 Veränderung und Schädigung von Lebensgemeinschaften und Ökosystemen ... 281
  - 10.2 Wirkungsparameter auf der Stufe von Gemeinschaften und Ökosystemen ... 283
    - 10.2.1 Funktion des Ökosystems ... 285
    - 10.2.2 Struktur des Ökosystems ... 286
  - 10.3 Experimentelle Modell-Ökosysteme und Wirkungen ausgewählter Umweltchemikalien ... 288
    - 10.3.1 Mikrokosmen ... 289
    - 10.3.2 Mesokosmen: Ausschnitte, Behälter und natürliche Ökosysteme ... 290
  - 10.4 Wirkung der Versauerung auf Gemeinschaften und Ökosysteme ... 296
  - 10.5 Literatur ... 301
- 11 Praktische Aspekte der Ökotoxikologie: Risikoabschätzung und -beurteilung ... 303**
  - 11.1 Behördliche und gesetzliche Regelungen ... 303
    - 11.1.1 EU-Chemikalienrecht REACH und Schweizer Chemikalienrecht ... 303
  - 11.2 Umweltrisikoaabschätzung und -beurteilung ... 309
    - 11.2.1 Expositionsabschätzung ... 310
    - 11.2.2 Gefährlichkeitsabschätzung und Gefahrenbeurteilung ... 310
    - 11.2.3 Ökotoxikologische Risikoanalyse und -beurteilung ... 312
  - 11.3 Literatur ... 315
- 12 Glossar ... 317**
- 13 Sachverzeichnis ... 329**