

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Belastung der Umwelt, Klimaerwärmung und Artenverlust	1
1.2	Chemikalien in der Umwelt	5
1.2.1	Belastung von Wasser, Boden und Luft	6
1.2.2	Phosphor und Stickstoff: Vom Nährstoff zum Schadstoff	8
1.2.3	Polychlorierte Biphenyle (PCB)	12
1.2.4	Polychlorierte Dibenzo-1,4-dioxine und Dibenzofurane (PCDD und PCDF)	14
1.3	Ökotoxikologie als Umweltwissenschaft	18
1.3.1	Definition der Ökotoxikologie	18
1.4	Literatur	26
1.4.1	Internetadressen	27
2	Umweltchemische Aspekte der Ökotoxikologie	28
2.1	Chemische Umweltanalytik und Untersuchungskonzepte	28
2.2	Verhalten und Schicksal von Chemikalien in der Umwelt	33
2.2.1	Umweltchemische Prozesse	33
2.2.2	Transportprozesse	36
2.2.3	Transferprozesse	39
2.2.4	Transformationsprozesse	44
2.3	Verhalten von Chemikalien in der Abwasserreinigung	48
2.3.1	Chemikalien im Klärschlamm	50
2.3.2	Pharmazeutika in der Umwelt	51
2.4	Umweltchemikalien und Exposition	54
2.4.1	Erdöl und Tankerunfälle	54
2.4.2	Organozinn-Verbindungen	58
2.4.3	Metalle	60
2.4.4	Neue Stoffe	65
2.5	Literatur	67
2.5.1	Internetadressen	69
3	Allgemeine Prinzipien der Ökotoxikologie	70
3.1	Toxizität	70
3.1.1	Wirkungsarten	71
3.1.2	Wirkungen auf verschiedenen biologischen Ebenen	72
3.1.3	Dosis-Wirkungs-Beziehungen	73
3.2	Rezeptortheorie	77
3.3	Akute Wirkungen	81
3.3.1	Aussagekraft von LC ₅₀ -Werten	81
3.3.2	Unfälle mit Chemikalien in Gewässern	83
3.4	Speziesunterschiede	90
3.5	Chronische Toxizität	92
3.6	Übertragung auf das Ökosystem	95
3.7	Literatur	97
3.7.1	Internetadressen	99

4	Ökotoxikologische Untersuchungsmethoden und Testsysteme	100
4.1	Allgemeine Prinzipien und Konzepte	100
4.1.1	Untersuchungssysteme	103
4.1.2	Standardisierung	104
4.2	Toxizitätstests für aquatische Ökosysteme	106
4.2.1	Bakterien	107
4.2.2	Algen: Hemmung der Zellvermehrung und Photosynthese	108
4.2.3	Krebstiere (Crustacea)	108
4.2.4	Wimpertierchen (Ciliaten) und Rädertierchen (Rotatorien)	111
4.2.5	Fische	111
4.3	Toxizitätstests für terrestrische Ökosysteme	121
4.3.1	Mikrobielle Tests	123
4.3.2	Höhere Pflanzen	124
4.3.3	Regen- oder Dungwürmer	124
4.3.4	Vögel	125
4.4	Ökotoxikologische Bewertung von Umweltsystemen: Sedimente	125
4.5	Chemikalienmischungen	127
4.6	Grenzen der Aussagekraft von Toxizitätstests	129
4.7	Literatur	130
4.7.1	Internetadressen	131
5	Bioverfügbarkeit und Faktoren, welche die Ökotoxizität beeinflussen	132
5.1	Ökotoxikologische und toxikologische Bioverfügbarkeit	132
5.2	Ökotoxikologische Bioverfügbarkeit und Einflussfaktoren in aquatischen Systemen	133
5.2.1	Bedeutung des pH-Wertes: Ammoniak, Ammonium, Cyanid und Schwefelwasserstoff	133
5.2.2	Metalle	135
5.2.3	Organische und Organometall-Verbindungen	143
5.3	Bioverfügbarkeit in Umweltsystemen	144
5.3.1	Sediment	144
5.3.2	Boden	144
5.4	Einfluss von Umweltfaktoren: Temperatur, Salinität und UV-Strahlung	147
5.5	Biologische Einflussgrößen	149
5.5.1	Anpassung (Adaptation) an Umweltchemikalien	149
5.6	Literatur	155
6	Schicksal von Umweltchemikalien im Organismus	158
6.1	Aufnahme	158
6.1.1	Aufnahmewege und Transportprozesse	159
6.1.2	Einfluss des Mediums: pH-Wert	162
6.1.3	Aufnahmeorgane	163
6.2	Verteilung	166
6.3	Stoffwechsel von Umweltchemikalien: Biotransformation und Metabolismus	166
6.3.1	Phase-I-Reaktionen	170
6.3.2	Cytochrom P ₄₅₀ -abhängige Monooxygenasen (CYP)	170
6.3.3	Bioaktivierung von Fremdstoffen	183

6.3.4	Phase-II-Reaktionen	186	6.4	Ausscheidung (Elimination)	191
6.3.5	Einflussfaktoren und ökotoxikologische Bedeutung	188	6.5	Literatur	194
7	Bioakkumulation	197			
7.1	Bioakkumulation in aquatischen Systemen	197	7.3	Determinierende Faktoren und Beeinflussung der Bioakkumulation	204
7.1.1	Bioakkumulationsprozess	198	7.3.1	Physikalisch-chemische Stoffeigenschaften	205
7.1.2	Pharmakokinetik und Bioakkumulation	199	7.3.2	Umweltfaktoren	207
7.2	Modellmäßige Beschreibung der Bioakkumulation	201	7.3.3	Biologische Faktoren	211
7.2.1	Ein-Kompartiment-Modell: Prozess erster Ordnung	201	7.4	Biomagnifikation	214
7.2.2	Zwei-Kompartiment-Modell	202	7.5	Umwelt- und ökotoxikologische Bedeutung	216
7.2.3	Mehr-Kompartiment-Modell	204	7.5.1	Organische Fluorverbindungen ...	220
			7.6	Literatur	221
			7.6.1	Internetadressen	223
8	Molekulare Wirkungsmechanismen und Wirkungen auf die Zelle ...	224			
8.1	Struktur und Funktion der Zelle .	224	8.6	Entgiftungs-, Reparatur- und Schutzprozesse	248
8.2	Beeinträchtigung zentraler zellulärer Prozesse und Funktionen	226	8.6.1	Metallothioneine und Schwermetalle	248
8.2.1	Störung des Calcium- Gleichgewichts	226	8.6.2	Stressproteine	252
8.2.2	Hemmung der Energiebildung (oxidative Phosphorylierung)	228	8.7	Wirkungen auf die Zelle	253
8.2.3	Hemmung von Enzymen	230	8.7.1	Nervenzellen	253
8.2.4	Freie Radikale und reaktive Sauerstoffspezies: oxidativer Stress	231	8.7.2	Cytotoxizität: Apoptose und Nekrose	255
8.3	Wirkungen auf zelluläre Strukturen	234	8.7.3	Cytologische Veränderungen	256
8.3.1	Biologische Membranen	235	8.8	Nanopartikel	257
8.3.2	Organellen	236	8.8.1	Ökotoxizität	257
8.4	Änderung der Genexpression ...	236	8.8.2	Molekulare und zelluläre Wirkungen sowie Wirkungsmechanismen	259
8.5	Zellkern	242	8.8.3	Bioakkumulation	261
8.5.1	Gentoxizität	242	8.9	Literatur	261
8.5.2	Chemische Cancerogenese	245			

9	Wirkungen auf Individuen und Populationen	264
9.1	Wirkungen sind ökologisch vernetzt	264
9.2	Effekte auf die Individualentwicklung: Empfindlichkeit früher Lebensstadien	267
9.2.1	Missbildungen und Entwicklungsstörungen	269
9.3	Chronische Wirkungen auf Gewebe und Organe	273
9.3.1	Unspezifische chronische Wirkungen	273
9.4	Wirkungen auf Organe und Verhalten	274
9.4.1	Kiemens	274
9.4.2	Nervensystem	274
9.4.3	Verhalten	274
9.4.4	Leber	275
9.4.5	Niere	275
9.4.6	Immunsystem	276
9.5	Negative Wirkungen von Umweltchemikalien auf die Reproduktion: Hormonaktive Stoffe	276
9.5.1	DDT und andere Organochlorpestizide: Wirkungen bei Vögeln	279
9.5.2	Polychlorierte Biphenyle (PCB)	284
9.5.3	Vermännlichung durch androgene Umweltchemikalien	290
9.5.4	Amphibien: Globaler Populationsrückgang und hormonaktive Stoffe	293
9.5.5	Verweiblichung durch estrogene Umweltchemikalien	296
9.6	Literatur	316
10	Wirkungen auf Lebensgemeinschaften und Ökosysteme	324
10.1	Veränderung und Schädigung von Lebensgemeinschaften und Ökosystemen	324
10.2	Wirkungsparameter auf der Stufe von Gemeinschaften und Ökosystemen	328
10.2.1	Funktion des Ökosystems	329
10.2.2	Struktur des Ökosystems	331
10.3	Experimentelle Modell-Ökosysteme und Wirkungen ausgewählter Umweltchemikalien	332
10.3.1	Mikrokosmen	333
10.3.2	Mesokosmen: Ausschnitte, Behälter und natürliche Ökosysteme	335
10.4	Wirkung der Versauerung auf Gemeinschaften und Ökosysteme	341
10.5	Literatur	345

11 Praktische Aspekte der Ökotoxikologie. Risikoabschätzung und -beurteilung 347

11.1 Behördliche und gesetzliche Regelungen 347

11.1.1 EU-Chemikalienrecht REACH und Schweizer Chemikalienrecht 347

11.1.2 Pharmazeutika 353

11.1.3 Qualitätsziele und Grenzwerte 353

11.2 Umweltrisikoprüfung und -beurteilung 354

11.2.1 Expositionsabschätzung 355

11.2.2 Gefährlichkeitsabschätzung und Gefahrenbeurteilung 356

11.2.3 Ökotoxikologische Risikoanalyse und -beurteilung 357

11.3 Literatur 362

Internetseiten 362

12 Glossar 363

Sachverzeichnis 373