

# Inhalt

<b>Vorwort zur zweiten Auflage</b>	<b>XI</b>
<b>Vorwort zur ersten Auflage</b>	<b>XIII</b>
<b>1 Globale Umwelt. Klima und Mikroorganismen</b>	<b>1</b>
1.1 Klimasystem	1
1.1.1 Komponenten des Klimasystems	1
1.1.2 Wechselwirkungen zwischen den Komponenten	6
1.1.3 Energiebilanz der Erde	6
1.1.4 Klimaänderungen und ihre Auswirkungen	8
1.1.5 Welche Stoffe haben welchen Effekt auf das Klima	12
1.1.6 Projektionen	12
1.2 Globale Kreisläufe mit Reservoirs und Stoffflüssen	14
1.2.1 Globaler Kohlenstoffkreislauf	14
1.2.2 Globaler Stickstoffkreislauf	16
1.2.3 Globaler Schwefelkreislauf	21
1.2.4 Globaler Phosphorkreislauf	23
1.2.5 Zusammenfassung globale Kreisläufe	24
<b>2 Mikroorganismen, Akteure in der Umwelt</b>	<b>27</b>
2.1 Mikroorganismen, Zuordnung zu Gruppen	27
2.2 Mikroorganismen, der Vorteil einer geringen Größe	28
2.3 Mikroorganismen, klein aber viele	32
2.4 Mikroorganismen, leben nicht alleine	33
<b>3 Zusammenhang von mikrobieller Energiegewinnung und Stoffkreisläufen</b>	<b>45</b>
3.1 Prinzipien der Energiegewinnung	45
3.1.1 Atmungsketten und ATP-Synthase	48
3.2 Haupttypen des mikrobiellen Stoffwechsels	52
3.2.1 Phototrophie	52
3.2.2 Chemotrophie	54
3.2.3 Kohlenstoffquelle: Hetero- und Autotrophie	57
<b>4 Kohlenstoffkreislauf</b>	<b>59</b>
4.1 Entstehung der Erdatmosphäre und der fossilen Rohstoffe	59
4.2 Stoffflüsse im Kohlenstoffkreislauf	60

4.3	Autotrophe CO <sub>2</sub> -Fixierung	62
4.3.1	Calvin-Zyklus	64
4.3.2	Reduktiver Citrat-Zyklus	67
4.3.3	Reduktiver Acetyl-CoA-Weg (Acetogenese)	67
4.3.4	CO <sub>2</sub> -Fixierungszyklus in <i>Crenarchaeota</i>	68
4.3.5	3-Hydroxypropionat-Bi-Zyklus	71
4.3.6	Vergleich der Prozesse der CO <sub>2</sub> -Fixierung	71
4.4	Abbau von Naturstoffen	73
4.4.1	Abbau von Kohlenhydraten	73
4.4.2	Abbau von Proteinen	81
4.4.3	Abbau von Fetten	82
4.4.4	Abbau von pflanzlichen Substanzen/Lignin und anderen Naturstoffen/Humusentstehung	83
4.5	Methankreislauf/methanogene Nahrungskette/Methanotrophie	93
4.5.1	Methanbildung	93
4.5.2	Methanabbau	101
<b>5</b>	<b>Umweltchemikalien</b>	<b>109</b>
5.1	Chemikalien in der Umwelt: Ausbreitung und Konzentration	109
5.1.1	Transportprozesse	110
5.1.2	Transferprozesse zwischen Umweltmedien oder Kompartimenten	111
5.1.3	Transformationsprozesse	114
5.2	Beurteilung von Chemikalien: Allgemeine Prinzipien und Konzepte	117
5.2.1	Abbaubarkeitstests	120
5.2.2	Toxizitäts- und Mutagenitätsprüfungen mit mikrobiellen Systemen	126
<b>6</b>	<b>Mikrobieller Abbau von Schadstoffen</b>	<b>133</b>
6.1	Abbau von Kohlenwasserstoffen	133
6.1.1	Erdöl: Zusammensetzung und Eigenschaften	134
6.1.2	Der Ablauf einer Verölung im Meer	135
6.1.3	Abbau von Alkanen, Alkenen und cyclischen Alkanen	137
6.1.4	Abbau von monoaromatischen Kohlenwasserstoffen	142
6.1.5	Abbau und Humifizierung von Mehrkern-Kohlenwasserstoffen	161
6.1.6	Abbau von Heterocyclen	167
6.1.7	Bildung von Biotensiden/Aufnahme von Mineralöl-Kohlenwasserstoffen	172
6.2	Abbau chlorierter Schadstoffe	177
6.2.1	Abbau von Chloraromaten	177
6.2.2	Abbau von Hexachlorcyclohexan	188
6.2.3	Abbau von Triazinen	197
6.2.4	Abbau von Chloraliphatischen Verbindungen	198
6.3	Abbau und Humifizierung von Nitroaromaten	208
6.3.1	Umweltproblem durch Nitroaromaten	208
6.3.2	Möglichkeit des mikrobiellen Abbaus von Nitroaromaten	209
6.3.3	Eliminierung von Trinitrotoluol durch Sequestrierung an Boden	211
6.4	Abbau von aromatischen Sulfonsäuren und Azofarbstoffen	212
6.4.1	Aromatische Sulfonsäuren	212
6.4.2	Abbau von Azofarbstoffen	214
6.5	Kunststoffe, Biokunststoffe	217
6.5.1	Abbaubarkeit von Kunststoffen	220

6.5.2	Biokunststoff	221
6.5.3	Einschätzung zur ökologischen Bewertung von Kunststoffen und Biokunststoffen	224
6.6	Komplexbildner: Aminopolycarbonsäuren	226
6.7	Endokrin wirksame Verbindungen	228
6.7.1	Tributylzinverbindungen	228
6.7.2	Alkylphenole	229
6.7.3	Bisphenol A	230
6.8	Methyl- <i>tert</i> -butylether	230
<b>7</b>	<b>Mikrobieller Stickstoffkreislauf</b>	<b>239</b>
7.1	Stickstofffixierung	239
7.2	Ammonifikation	240
7.3	Nitrifikation	243
7.4	ANAMMOX	245
7.5	Nitratreduktion	246
7.5.1	Denitrifikation	246
7.5.2	Dissimilatorische Nitratreduktion zu Ammonium	247
<b>8</b>	<b>Kreisläufe von Schwefel, Eisen und Mangan</b>	<b>251</b>
8.1	Schwefelkreislauf	251
8.1.1	Sulfatreduktion	251
8.1.2	Reduktion von Elementarschwefel	254
8.1.3	Schwefeldisproportionierung	254
8.1.4	Oxidation von Sulfid und Elementarschwefel	255
8.1.5	Organische Schwefelverbindungen	255
8.2	Eisenkreislauf	261
8.2.1	Oxidation von zweiwertigem Eisen	262
8.2.2	Reduktion von dreiwertigem Eisen	267
8.3	Mangankreislauf	268
8.3.1	Oxidation von zweiwertigem Mangan	268
8.3.2	Reduktion von vierwertigem Mangan ( $Mn^{4+}$ ): anaerobe Atmung	268
<b>9</b>	<b>Schwermetalle und andere toxische anorganische Ionen</b>	<b>271</b>
9.1	Toxizität	271
9.2	Umweltqualitätsnormen	272
9.3	Natürliche und anthropogene Vorkommen	272
9.4	Resistenz von Mikroorganismen	273
9.5	Quecksilber	277
9.6	Arsen	279
9.6.1	Arsenitoxidation	280
9.6.2	Arsenatreduktion	280
9.6.3	Arsenatmethylierung	281
9.7	Selen	281
9.8	Uran	282
<b>10</b>	<b>Mikroorganismen an unterschiedlichen Standorten: Lebensbedingungen und Anpassungsstrategien</b>	<b>287</b>
10.1	Mikrobielle Konkurrenz und Kooperation	287
10.1.1	Wachstumsraten und Nährstoffkonzentrationen	289

10.1.2	Adaptation	291
10.1.3	Mischsubstrate	300
10.1.4	Grenzkonzentrationen	300
10.1.5	Mikrobielle Kooperation	301
10.2	Anheftung an Oberflächen und Biofilme	301
10.2.1	Oberflächen	301
10.2.2	Biofilme	303
10.3	Boden als mikrobielles Habitat	304
10.4	Aquatische Biotope	311
10.4.1	Süßwasser Umgebung	311
10.4.2	Marine Umgebungen	313
<b>11</b>	<b>Lebensgemeinschaften. Strukturelle und funktionelle Analysen mit klassischer Vorgehensweise</b>	<b>331</b>
11.1	Summarische Methoden	331
11.1.1	Bestimmung von Keimzahlen und Biomassen	331
11.1.2	Bestimmung von Aktivitäten	335
11.2	Nachweis bestimmter Mikroorganismen	339
11.3	Mikroorganismen, aus der Natur ins Labor, die Isolierung von Reinkulturen	342
11.3.1	Organismen nicht kultivierbar?	342
11.3.2	Isolierung und Probleme	342
11.3.3	Anreicherungs-system	343
11.3.4	Analoganreicherung: Sinn oder Unsinn?	344
11.3.5	Impfmateri-al für eine Anreicherungs-kultur	348
<b>12</b>	<b>Mikrobielle Lebensgemeinschaften. Strukturelle und funktionelle Analysen mit molekularbiologischer Vorgehensweise</b>	<b>349</b>
12.1	Grundlegende molekulargenetische Methoden zur Klassifizierung und Identifizierung von Reinkulturen	350
12.2	Molekulargenetische Methoden zur Charakterisierung von Lebensgemeinschaften	360
12.3	Metagenomik	372
12.3.1	Gemeinschaft eines sauren Minenwassers	373
12.3.2	Gemeinschaft der Sargasso See	375
12.3.3	Die Global Ocean Sampling Expedition	377
12.3.4	Sequenzdaten und Funktionalität – eine kritische Sicht	381
<b>13</b>	<b>Schäden an anorganischen Materialien durch mikrobielle Aktivitäten, Biokorrosion</b>	<b>385</b>
13.1	Eisenkorrosion	385
13.2	Betonkorrosion	385
13.3	Gebäudekorrosion/Schädigung von Stein	387
<b>14</b>	<b>Biologische Abwasserreinigung</b>	<b>389</b>
14.1	Entstehung und Zusammensetzung von Abwässern	389
14.2	Abwasserreinigung in mechanisch-biologischen Kläranlagen mit aerober Stufe	392
14.3	Biologische Phosphateliminierung	397
14.4	Stickstoffeliminierung bei der Abwasserreinigung	400
14.5	Anaerobe Schlammbehandlung, direkte anaerobe Abwasserreinigung und Biogasgewinnung	404

14.6	Reinigung von Industrieabwässern .....	407
14.7	Naturnahe Abwasserbehandlungsverfahren .....	408
<b>15</b>	<b>Biologische Abluftreinigung .....</b>	<b>411</b>
<b>16</b>	<b>Biologische Bodensanierung .....</b>	<b>415</b>
16.1	Altlasten-Problematik .....	415
16.2	Verfahren der biologischen Bodensanierung .....	416
16.2.1	<i>Ex situ</i> -Verfahren .....	419
16.2.2	<i>In situ</i> -Bodensanierung .....	425
<b>17</b>	<b>Biologische Abfallbehandlung .....</b>	<b>433</b>
17.1	Abfall-Problematik .....	433
17.2	Verfahren der biologischen Abfallverwertung .....	434
17.2.1	Kompostierungsprozess .....	435
17.2.2	Kompostierungsverfahren .....	436
17.2.3	Anaerobe Abfallbehandlung durch Vergärung .....	437
<b>18</b>	<b>Biotechnologie und Umweltschutz .....</b>	<b>439</b>
18.1	Biologische Schädlingsbekämpfung .....	439
18.1.1	Bioinsektizide .....	439
18.1.2	Biofungizide und -herbizide .....	446
18.2	Design neuer Chemikalien .....	446
18.2.1	Struktur-Wirkungs-Beziehung/Vorhersage der Abbaubarkeit .....	446
18.2.2	Abbaubare Alternativen zu heutigen Chemikalien .....	448
18.3	Produktintegrierter Umweltschutz durch Biotechnologie .....	453
18.3.1	Verfahrensvergleich: Biotechnische und chemisch-technische Prozesse .....	455
18.3.2	Umweltentlastungseffekte durch Produktsubstitution .....	460
18.3.3	Zusammenfassung PIUS .....	461
18.4	Biokraftstoffe .....	462
18.4.1	Bioethanol .....	462
18.4.2	Biodiesel .....	465
18.4.3	Biomass-to-Liquid-Kraftstoff .....	465
18.5	Strom aus Mikroorganismen .....	466
18.5.1	Wasserstoff-Produktion in Bioreaktoren für konventionelle Brennstoffzellen .....	466
18.5.2	Mikrobielle Herstellung von Brennstoff im Anodenraum der Brennstoffzelle .....	467
18.5.3	Direkter Elektronentransport von der Zelle zur Elektrode. ....	467
18.5.4	Mediatoren zum Elektronentransport .....	467
<b>19</b>	<b>Denkanstöße .....</b>	<b>471</b>
19.1	Nachhaltigkeit, der Begriff .....	471
19.2	Nachhaltigkeit, Umweltmikrobiologie ein Beitrag .....	471
19.3	Umwelt und Umweltmikrobiologie, Nachdenken .....	472
<b>Index .....</b>	<b>483</b>	