

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	<b>V</b>
<b>1 Ursachen der Umweltprobleme</b> .....	<b>1</b>
1.1 Vorbemerkungen .....	1
1.2 Umweltprobleme unserer Zeit .....	2
1.2.1 Klimawandel .....	2
1.2.2 Wasserknappheit .....	4
1.2.3 Luftverschmutzung .....	4
1.2.4 Bodenerosion .....	5
1.2.5 Plastikmüll im Meer .....	6
1.2.6 Abholzung der Wälder .....	6
1.2.7 Welthunger .....	7
<b>2 Physikalische Größen und Einheitensysteme</b> .....	<b>9</b>
2.1 Größen und Größenarten .....	9
2.2 Größen- und Zahlenwertgleichungen .....	13
2.3 Zustandsgrößen und Prozessgrößen .....	14
2.4 Zustandsfunktionen .....	16
2.5 Gehalts- und Konzentrationsangaben .....	18
2.5.1 Massenanteil .....	19
2.5.2 Stoffmengenanteil .....	20
2.5.3 Volumenanteil .....	21
2.5.4 Massenkonzentration .....	21
2.5.5 Stoffmengenkonzentration .....	21
2.5.6 Volumenkonzentration .....	22

2.5.7	Molalität .....	22
2.5.8	Aktivität .....	22
2.6	Umrechnungen und Mischungsrechnung .....	23
2.7	Übungen .....	25
<b>3</b>	<b>Statistische Grundbegriffe .....</b>	<b>27</b>
3.1	Fehlerarten .....	27
3.1.1	Grobe Abweichung von Messwerten .....	28
3.1.2	Systematische Abweichung von Messwerten .....	28
3.1.3	Zufällige Abweichung von Messwerten .....	28
3.2	Darstellung von Messreihen .....	29
3.3	Erfassung der Messwertabweichung .....	34
3.3.1	Normalverteilung nach GAUSS .....	35
3.3.2	Standardabweichung .....	36
3.3.3	Vertrauensbereich .....	38
3.4	Fehlerfortpflanzung .....	39
3.4.1	Methode der oberen und unteren Grenze .....	40
3.4.2	GAUSSsche Fehlerfortpflanzung .....	41
3.4.3	Lineare Fehlerfortpflanzung .....	42
3.5	Grafische Auswertung von Messdaten .....	42
3.5.1	Lineare und nichtlineare Skalen .....	43
3.5.2	Anfertigung einer grafischen Darstellung .....	45
3.5.3	Grafische Auswertung linearer Zusammenhänge .....	45
3.6	Übung .....	49
<b>4</b>	<b>Chemische Grundbegriffe .....</b>	<b>50</b>
4.1	Stöchiometrie .....	50
4.1.1	Stöchiometrische Größen und Formeln .....	50
4.1.2	Umrechnung von Stoff- und Gehaltsgrößen .....	53
4.1.3	Allgemeine Reaktionsbegriffe .....	55
4.2	Einführung in die Thermodynamik .....	57
4.2.1	Systeme und Zustandsgrößen .....	57
4.2.2	Erster Hauptsatz .....	58

4.2.3	Standard-Enthalpien	60
4.2.4	Zweiter Hauptsatz	61
4.3	Chemie und Physik des Wassers	63
4.3.1	Physikalische Eigenschaften	64
4.3.2	Chemische Eigenschaften	66
4.3.3	Autoprotolyse und pH-Wert	69
4.3.4	Härte und Leitfähigkeit	71
4.3.5	Löslichkeit	72
4.4	Übungen	76
<b>5</b>	<b>Mikrobiologische und biochemische Grundbegriffe</b>	<b>79</b>
5.1	Einteilung der Mikroorganismen	79
5.1.1	Bakterien	82
5.1.2	Pilze	85
5.1.3	Protozoen	85
5.1.4	Algen	87
5.1.5	Mehrzellige tierische und pflanzliche Formen	88
5.2	Kinetik biochemischer Reaktionen	89
5.2.1	Reaktionen 0. Ordnung	90
5.2.2	Reaktionen 1. Ordnung	91
5.2.3	Reaktionen 2. Ordnung	92
5.2.4	Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit	93
5.3	Wachstum und Vermehrung von Mikroorganismen	93
5.4	Wachstumsphasen	95
<b>6</b>	<b>Umwelt und Gesundheit</b>	<b>98</b>
6.1	Risikoabschätzung	99
6.1.1	Qualitative Risikoabschätzung	100
6.1.2	Quantitative Risikoabschätzung	102
6.2	Risikobewertung – Risk Assessment	105
6.3	Beurteilungshilfen für das gesundheitliche Risiko von Umwelt- und Arbeitsplatznoxen	107
6.4	Übung	111

<b>7</b>	<b>Umweltmanagement</b> .....	<b>114</b>
7.1	Umweltbeziehungen von Unternehmen .....	114
7.2	Erfassen und Bewerten von Umweltbeeinflussungen in Ökobilanzen ....	116
7.2.1	Grundlagen der Stoff- und Energie-Bilanzierung .....	116
7.2.2	Komponenten der Ökobilanzierung .....	120
7.2.3	Prozess-Ökobilanzen und Module .....	121
7.2.4	Prozessverknüpfungen .....	122
7.2.5	Standort-, Unternehmens- und Organisations-Ökobilanzen ....	124
7.2.6	Produkt-Ökobilanzen .....	124
7.2.7	Bewertungsverfahren .....	126
7.3	Elemente und -Systeme des Umweltmanagements .....	128
7.3.1	Management .....	128
7.3.2	Betriebliche Umweltpolitik und Ist-Analyse .....	129
7.3.3	Umweltziele und Umweltprogramme .....	130
7.3.4	Organisation .....	131
7.3.5	Dokumentation .....	132
7.3.6	Audit (Umweltbetriebsprüfung) .....	132
7.3.7	Zertifizierung/Validierung in Umweltmanagementsystemen ..	133
<b>8</b>	<b>Einführung in das Umweltrecht</b> .....	<b>136</b>
8.1	Allgemeines Umweltrecht .....	136
8.1.1	Rechtsquellen des Umweltrechts .....	136
8.1.2	Ziele und Grundprinzipien des Umweltrechts .....	137
8.1.3	Medialer und integrativer Umweltschutz .....	138
8.1.4	Allgemeine Umweltgesetze .....	139
8.2	Immissionsschutzrecht .....	141
8.2.1	Ziele und Grundbegriffe des BImSchG .....	141
8.2.2	Recht der genehmigungsbedürftigen Anlagen .....	142
8.2.3	Recht der nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen .....	144
8.2.4	Sonstige Instrumente des BImSchG .....	145
8.3	Gewässerschutzrecht .....	146
8.3.1	Ziele, Grundsätze und allgemeine Pflichten des WHG .....	146
8.3.2	Erlaubnis und Bewilligung der Gewässerbenutzung .....	148
8.3.3	Abwasserrecht .....	150

8.3.4	Sonstige Instrumente des WHG	151
8.4	Bodenschutz- und Altlastenrecht	152
8.4.1	Zweck und Grundsätze des BBodSchG	153
8.4.2	Gefahrenabwehr- und Sanierungspflichten	154
8.4.3	Vorsorgepflicht	156
8.4.4	Sonstige Instrumente des Bodenschutzrechts	157
8.5	Kreislaufwirtschafts- und Abfallrecht	158
8.5.1	Ziele und Grundbegriffe des KrWG	158
8.5.2	Grundsätze und Grundpflichten der Kreislaufwirtschaft	160
8.5.3	Grundsätze und Grundpflichten der Abfallbeseitigung	163
8.5.4	Das Recht der Abfallbeseitigungsanlagen	164
8.6	Klimaschutzrecht	165
8.6.1	Völkerrechtliche Grundlagen	166
8.6.2	Europarechtliche Regelungen	167
8.6.3	Nationales Recht	168
8.7	Emissionshandelsrecht	169
8.7.1	Europäischer Emissionshandel	170
8.7.2	Nationaler Brennstoffemissionshandel	172
8.8	Übungen	174
<b>9</b>	<b>Wasserverschmutzung</b>	<b>176</b>
9.1	Wasservorkommen und Wasserverbrauch	176
9.2	Wasserkreislauf	178
9.3	Limnologische Grundlagen	180
9.3.1	Grundwasser	180
9.3.2	Fließgewässer	182
9.3.3	Stehende Gewässer	183
9.4	Gewässereutrophierung	185
9.5	Gewässerversauerung	187
9.6	Gewässergüte	188
9.6.1	Kennwerte zur Einstufung der Gewässergüte	188
9.6.2	Gewässergütestufen	189
9.7	Übungen	191

<b>10</b>	<b>Boden und anthropogene Einwirkungen</b>	<b>193</b>
10.1	Bodenbestandteile und Bodenstruktur	193
10.2	Bodenfunktion/Bodenfruchtbarkeit	200
10.3	Art und Menge von Stoffeinträgen	202
10.4	Verhalten und Wirkung der Bodenbelastung	210
<b>11</b>	<b>Luftverschmutzung</b>	<b>215</b>
11.1	Einteilung der Atmosphäre	215
11.2	Grundbegriffe	216
11.2.1	Luftdruck	216
11.2.2	Luftfeuchtigkeit	217
11.2.3	Luftkeime	218
11.2.4	Emission, Transmission und Immission	218
11.3	Beschreibung der Luftschadstoffe	219
11.3.1	Kohlenstoffdioxid	219
11.3.2	Kohlenstoffmonoxid	220
11.3.3	Methan	221
11.3.4	Schwefeldioxid	221
11.3.5	Stickstoffoxid	222
11.3.6	Formaldehyd	223
11.3.7	Kohlenwasserstoff	223
11.3.8	Halogener Kohlenwasserstoff	224
11.3.9	Asbest	224
11.4	Treibhauseffekt	225
11.4.1	Natürlicher Treibhauseffekt	225
11.4.2	Anthropogener Treibhauseffekt	226
11.5	Ozonloch	227
<b>12</b>	<b>Lärm- und Strahlenbelastung</b>	<b>230</b>
12.1	Lärm	230
12.2	Schall	230
12.2.1	Physikalische Grundlagen	230
12.2.2	Biologische und medizinische Grundlagen	238
12.2.3	Gesundheitliche Auswirkungen	239

12.3	Umwelt- oder Umgebungslärm .....	242
12.4	Strahlenbelastung .....	245
12.4.1	Elektromagnetische Felder .....	245
12.4.2	Nicht-ionisierende Strahlung .....	247
12.4.3	Ionisierende Strahlung .....	252
12.4.3.1	Natürliche (ionisierende) Strahlenquellen .....	254
12.4.3.2	Zivile Strahlenquellen .....	255
12.4.4	Strahlenschutz .....	257
12.5	Übungen .....	259
<b>13</b>	<b>Trinkwasseraufbereitung .....</b>	<b>264</b>
13.1	Anforderungen an die Trinkwasserqualität .....	264
13.2	Aufbereitung von Trinkwasser .....	267
13.2.1	Gasaustausch .....	268
13.2.2	Enteisenung und Entmanganung .....	269
13.2.3	Filtration .....	271
13.2.4	Nitratreduktion .....	273
13.3	Desinfektion von Trinkwasser .....	275
13.3.1	Biologische Verfahren .....	275
13.3.2	Chemische Verfahren .....	275
13.3.3	Physikalische Verfahren .....	277
13.4	Korrosion in Trinkwassersystemen .....	278
<b>14</b>	<b>Kommunale Abwasserreinigung .....</b>	<b>280</b>
14.1	Einführung .....	280
14.2	Abwasserinhaltsstoffe .....	281
14.2.1	Messgrößen zur Abwasserbeurteilung .....	282
14.2.2	Typische Abwasserparameter .....	284
14.3	Aufbau und Funktion einer Kläranlage .....	285
14.3.1	Mechanischer Anlagenteil .....	286
14.3.2	Biologischer Anlagenteil .....	287
14.3.3	Klärschlammbehandlung .....	289
14.3.4	Nachklärung .....	290
14.4	Phosphat- und Stickstoffeliminierung .....	290

14.4.1	Chemische Fällung	292
14.4.2	Biologische P-Eliminierung	293
14.4.3	Eliminierung von Stickstoffverbindungen	293
14.4.4	Biologische Nitrifikation	294
14.4.5	Biologische Denitrifikation	296
14.4.6	Verfahrenskonzepte	296
14.5	Alternative Verfahren	298
<b>15</b>	<b>Industrielle Abwasserreinigung</b>	<b>301</b>
15.1	Aerobe Verfahren	301
15.1.1	Blasensäulenreaktor	301
15.1.2	Schlaufenreaktor	303
15.1.3	Festbettreaktoren	305
15.2	Anaerobe Verfahren	306
15.2.1	Mikrobiologische Besonderheiten	306
15.2.2	Verfahrenstechnische Aspekte	308
<b>16</b>	<b>Schlammbehandlung</b>	<b>310</b>
16.1	Überblick und Kenngrößen von Klärschlämmen	310
16.2	Schlammmenge und Schlammbeschaffenheit	313
16.3	Verfahren zur Schlammstabilisierung	315
16.3.1	Anaerobe Schlammstabilisierung	315
16.3.2	Aerobe Schlammstabilisierung	317
16.4	Schlammmentwässerung	319
16.5	Schlammverwertung und -entsorgung	321
<b>17</b>	<b>Sanierung von Altlasten</b>	<b>322</b>
17.1	Einführung	322
17.2	Sicherungsmaßnahmen	324
17.3	Dekontaminationsmaßnahmen	326
17.3.1	Biologische Verfahren	326
17.3.2	Chemisch-physikalische Verfahren	329
17.3.3	Thermische Verfahren	332
17.3.4	Aktive und passive hydraulische Verfahren	336



17.3.5	Aktive pneumatische Verfahren	337
17.4	Fragen	339
<b>18</b>	<b>Thermische und mechanische Abgasreinigung</b>	<b>342</b>
18.1	Staubabscheidung	343
18.1.1	Filternde Abscheider	345
18.1.2	Massenkraftabscheider	348
18.1.3	Elektroabscheider	351
18.1.4	Mechanische Nassabscheider	353
18.2	Absorption	355
18.2.1	Physikalische Absorption	356
18.2.2	Chemische Absorption	357
18.2.3	Rauchgasentschwefelung	358
18.2.4	Apparaturen	362
18.3	Adsorption	363
18.3.1	Apparaturen	365
18.4	Kondensation	366
18.5	Thermische Abgasreinigung	367
18.5.1	Oxidative thermische Abgasreinigung	368
18.5.2	Reduktive thermische Abgasreinigung	372
18.5.3	Das SCR-Verfahren zur NO <sub>x</sub> -Reduktion	373
18.6	Flammen-, thermische und katalytische Verbrennung	374
18.7	Fragen	380
<b>19</b>	<b>Biologische Abgasreinigung</b>	<b>383</b>
19.1	Grundlagen	383
19.2	Einteilung der Verfahren	385
19.3	Biofilter	385
19.3.1	Funktionsprinzip	386
19.3.2	Verfahrensparameter	387
19.3.3	Bauformen	389
19.3.4	Einsatzgebiete	390
19.4	Biowäscher	391
19.4.1	Funktionsprinzip	391

19.4.2	Verfahrensparameter	392
19.4.3	Bauformen	393
19.4.4	Einsatzgebiete	395
19.5	Membranbioreaktor	395
19.5.1	Funktionsprinzip	396
19.5.2	Bauform	397
19.5.3	Einsatzgebiete	398
<b>20</b>	<b>Lärmschutz und Lärmvermeidung</b>	<b>399</b>
20.1	Luftschallentstehung und primärer Schallschutz	399
20.2	Schallausbreitung im Freien	402
20.3	Schallausbreitung in Räumen	403
20.4	Sekundärer Schallschutz	405
20.4.1	Schallschirme	405
20.4.2	Schalldämpfer	406
20.4.3	Kapsel	408
20.5	Messung der Geräuschemission	408
20.6	Prognose der Lärmbelastung und Immissionsschutz	409
20.7	Übungen	411
<b>21</b>	<b>Konzept zur Abfallvermeidung</b>	<b>414</b>
21.1	Einführung	414
21.2	Siedlungsabfälle	416
21.2.1	Kunststoffe, Verpackungen	418
21.2.2	Textilabfälle	421
21.2.3	Wiederverwendung	423
21.3	Industrieabfälle	424
21.4	Metallabfälle	426
21.4.1	Eisen und Stahl	427
21.4.2	Nichteisenmetall am Beispiel Aluminium	428
21.5	Elektronikschrott	429
21.6	Bau- und Abbruchabfälle	432
21.7	Fragen	433

<b>22</b>	<b>Abfallrecycling</b> .....	<b>437</b>
22.1	Einführung .....	437
22.2	Glasrecycling .....	440
22.3	Papierrecycling .....	441
22.4	Metallrecycling .....	443
22.4.1	Eisen und Stahl .....	444
22.4.2	Nichteisenmetalle am Beispiel Aluminium .....	445
22.4.3	Elektroschrott .....	445
22.5	Batterierecycling .....	446
22.6	Textilrecycling .....	447
22.7	Bau- und Abbruchabfallrecycling .....	450
22.8	Kunststoffrecycling .....	452
22.9	Recycling von biogenem Abfall .....	456
22.10	Fragen .....	457
<b>23</b>	<b>Deponieren von Abfällen</b> .....	<b>460</b>
23.1	Grundlagen der Deponietechnik/Deponien für Siedlungsabfall .....	460
23.2	Deponiegas und Sickerwasser .....	466
<b>24</b>	<b>Müllverbrennung</b> .....	<b>471</b>
24.1	Anlagentechnik und Verfahrensvarianten .....	471
24.2	Rauchgasreinigung .....	476
24.2.1	Entstaubung .....	477
24.2.2	Abtrennung der sauren Schadgase .....	479
24.2.3	Entstickung .....	480
24.2.4	Entfernung von Dioxinen und Furanen .....	481
24.3	Rückstandseseitigung/Rückstandsbehandlung .....	482
<b>25</b>	<b>Energieeinsparung</b> .....	<b>484</b>
25.1	Überblick .....	484
25.2	Wirtschaftlichkeit und Finanzierung .....	490
25.3	Wärmepumpen .....	494
25.4	Kraft-Wärme-Kopplung .....	497

<b>26</b>	<b>Regenerative Energien</b> .....	<b>501</b>
26.1	Überblick .....	501
26.2	Angebot an Solarenergie .....	504
26.3	Solarthermie .....	507
26.3.1	Energieumwandlung im Solarkollektor .....	507
26.3.2	Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung und Raumheizung ..	509
26.3.3	Dimensionierung, Energieertrag und Wirtschaftlichkeit .....	511
26.4	Photovoltaik .....	512
26.4.1	Energieumwandlung in der Solarzelle und Anlagentechnik ....	513
26.4.2	Dimensionierung, Energieertrag und Wirtschaftlichkeit .....	515
26.5	Wasserkraft .....	516
26.5.1	Energieumwandlung mit Turbinen und Wasserrädern .....	517
26.5.2	Dimensionierung, Energieertrag und Wirtschaftlichkeit .....	518
26.6	Windkraft .....	519
26.6.1	Energieumwandlung an Rotorblättern .....	521
26.6.2	Dimensionierung, Energieertrag und Wirtschaftlichkeit .....	521
26.7	Biomasse .....	522
26.8	Geothermie .....	524
26.9	Beiträge zu einer künftigen Energieversorgung .....	525
	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	<b>529</b>