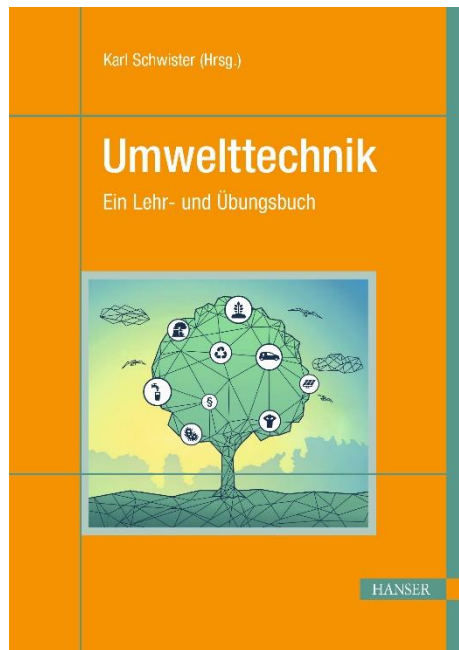


# HANSER



## Leseprobe

zu

## Umwelttechnik

von Karl Schwister (Hrsg.)

Print-ISBN: 978-3-446-45854-3

E-Book-ISBN: 978-3-446-47003-3

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446458543>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

# Vorwort

Die Erde gleicht – in vielen, aber nicht allen Aspekten – einem geschlossenen System, dessen Kreisläufe in unterschiedlichen Wechselbeziehungen zueinander stehen. Diese Beziehungen und deren Wirkungen sind komplex und wurden in der Vergangenheit in vielen Fällen nicht oder zu wenig bei industriellen, gesellschaftlichen und politischen Maßnahmen berücksichtigt. Mit zunehmendem Wissen zu umweltrelevanten Interaktion und einem steigenden politischen und gesellschaftlichem Bewusstsein für den Erhalt einer für alle angemessenen Lebensumwelt, hat sich auch das Bewusstsein zu bestimmten Problemlagen verändert. Die Auseinandersetzung mit verschiedenen Themen hat sich von einem „Randphänomen“ zu einem zentralen Aspekt des gesellschaftlichen Diskurses entwickelt. Zu den zentralen Punkten, die im Kontext mit Umwelt diskutiert werden, gehören u. a. eine steigende Zahl an Erdbewohnern, zunehmende Industrialisierung, gestiegene Mobilitätsansprüche, steigender Energiebedarf, zunehmender Bedarf an Bodenschätzen, Veränderungen des Klimas und Zunahme von in der jüngeren Vergangenheit außergewöhnlichen Wetter-, Klima und Umweltphänomenen. All diese Punkte stellen aktuelle und zukünftige umweltassoziierte Herausforderungen für die Menschheit dar. Der ehemalige UN-Generalsekretär Ban Ki-Moon bezeichnete diese Gemengelage einmal als das „alles bestimmende Problem unserer Zeit“.

Das vorliegende Lehr- und Übungsbuch Umwelttechnik kann diese umfassende Gemengelage natürlich nur in Ansätzen beleuchten, bietet dabei aber eine kompakte, verständliche und praxisorientierte Gesamtdarstellung über die verschiedenen Umweltmedien Boden, Wasser und Luft und deren Wechselwirkung. Darüber hinaus wurde viel Wert auf eine möglichst interdisziplinäre Betrachtung von Umwelt und Technik gelegt, so dass deren Zusammenhänge von verschiedensten naturwissenschaftlichen Standpunkten aus beleuchtet werden. Denn wir sind der Überzeugung, dass nur ein gemeinsames Herangehen an vorhergesagte Umweltprobleme zu umsetzbaren und gesellschaftlich akzeptierten Lösungsmöglichkeiten führen wird.

Neben der Konzeption und Beurteilung umwelttechnischer Maßnahmen nehmen das Umweltmanagement und die Entwicklung von umweltverträglichen industriellen

Produktionsverfahren eine immer wichtigere Rolle ein. Angesichts eines erheblichen Entwicklungs- und Forschungsaufkommens in diesem Themenfeld, kann das vorliegende Buch aber nicht den Anspruch auf Vollständigkeit der Darstellung von Technologien zur Umwelttechnik erheben. Vielmehr wurde versucht, die grundlegende Notwendigkeit interdisziplinärer Verknüpfungen zwischen technologischen Maßnahmen, rechtlichen Rahmenbedingungen und ökologischen Aspekten in den Vordergrund zu stellen.

Dem Einsteiger, dem grundlegende Begriffe aus Chemie, Physik, Biologie und Statistik vielleicht noch nicht ausreichend geläufig sind, wird im Abschnitt „*Interdisziplinäre Grundlagen*“ ein Basiskapitel zur Hand gereicht, um sich schnell mit häufig verwendeten Termini und allgemeinen Gesetzmäßigkeiten vertraut zu machen. Eine Einführung in das Umweltrecht und fachübergreifende Aspekte wie Gesundheit, Risikoabschätzung und Umweltmanagement ergänzen diesen Bereich.

Im Abschnitt „*Umweltschadstoffe*“ geht es um die Entstehung von Schadstoffen und ihre Wirkung auf den Menschen und die Umweltmedien. Die einzelnen Kapitel bieten Basisinformationen zur Wasser- und Luftverschmutzung, zur Bodenbelastung, zu Altlasten, Lärm und Strahlenbelastung. Es werden aber auch aktuelle Probleme angesprochen, wie z. B. Ozonloch, Waldsterben oder Klimawandel, die aktuell intensiv beforscht werden.

Im Abschnitt „*Umwelttechnologien*“ werden moderne Verfahren zur Trinkwasseraufbereitung, Abwasserbehandlung im kommunalen und industriellen Bereich, Abgasreinigung, Abfallbehandlung, Altlastenbeseitigung und Bodensanierung, zum Lärmschutz und zur Lärmvermeidung beleuchtet.

Der Abschnitt „*Technologien zur effektiven Nutzung von erneuerbaren Energien*“ behandelt neben Energieeinsparungsmaßnahmen die unterschiedlichen Formen und Aspekte der regenerativen Energien wie Solarenergie, Wasserkraft, Windenergie, Biomasse und Geothermie.

Das vorliegende Lehr- und Übungsbuch richtet sich vor allem an Studierende der Fach- und Vertiefungsrichtung Umwelttechnik, Verfahrenstechnik, Biotechnologie, Lebensmitteltechnologie, Pharma- und Kosmetikindustrie und andere Industrie- und Umweltbereiche sowie an andere Interessierte, die sich einen Überblick über das Themenfeld verschaffen möchten. Das Buch fasst einerseits Grundwissen zusammen und bietet andererseits durch Zusammenstellung von Aufgaben und Berechnungsbeispielen eine direkte Anwendungsmöglichkeit zur effizienten Einarbeitung.

Wie immer sind allein wir, die Autoren, für die in diesem Buch enthaltenen Fehler verantwortlich und bitten ggf. um geeignete Hinweise.

# 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>

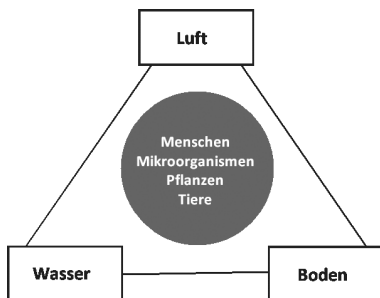
# 1

## Ursachen der Umweltprobleme

### ■ 1.1 Vorbemerkungen

Das Wort **Umwelt** ist eine seit 1800 belegte Übersetzung von *omverden* aus dem Dänischen mit der Bedeutung „umgebenes Land“ oder „umgebene Welt“. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts etablierte sich das aus dem Französischen entlehnte Wort *Milieu* als Ersatzwort für den Begriff Umwelt.

Unter dem **Milieu** verstand man ursprünglich ein Substrat oder Medium, innerhalb dessen Leben entsteht und auch stattfindet. Die inhaltliche Qualität dieses Milieus zu erforschen, galt als die zentrale Herausforderung, um Theorien wie z. B. die Urzeugung zu widerlegen. Die Frage: „Wie die Umgebung eines Lebewesens, die auf dieses einwirkt und seine Lebensumstände beeinflusst“ war in den letzten Jahrzehnten von dominierender Bedeutung in der Forschung. In den naturwissenschaftlichen Disziplinen wurde der Begriff „Umwelt“ bereits 1909 von dem deutschen Biologen JAKOB VON UEXKÜLL eingeführt. Für ihn war „Umwelt“ die Summe aller Aspekte die ein Lebewesen umgeben und auf die es reagiert.



**Bild 1.1**  
Hauptkomponenten der Umwelt



Der Begriff Umwelt ist in der heutigen Zeit ein häufig verwendeter Modebegriff und daher unscharf. So wird die „Umwelt“ auf Lebewesen bezogen, also auf Menschen, Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen wie z. B. Bakterien, Algen oder Pilze. Die Lebewesen stehen in vielfältiger Beziehung untereinander und zu ihrer Umgebung. Diese Umweltfaktoren stellen alle möglichen äußeren Beeinflussungen dar, denen die Lebewesen ausgesetzt sein können. Die Summe aller Umwelteinflüsse bilden die Umwelt und damit die Natur.

Häufig spricht man statt der Umwelt auch von der **Biosphäre** (*griech.* Bios, leben, *lat.* Spaira. Kugel, Erdkugel) und meint damit die Gesamtheit aller lebenden Organismen wie Menschen, Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen der besiedelten Schichten der Erde. Hierzu rechnet man die Erdatmosphäre bis zu einer Höhe von 25 km, die Ozeane bis zu einer Tiefe von 10 km und die Erdkruste bis zu einer Tiefe von 3 km.

Der Mensch als Teil des Ökosystems Erde beeinflusst seine Umwelt, wird aber auch umgekehrt von „seiner“ Umwelt geprägt. Der Mensch verändert die Umwelt durch Technik und Wirtschaft, um seinen Lebensraum und seine Versorgung zu sichern. In der Zwischenzeit ist der Mensch zur dominierenden Größe im Ökosystem geworden. Er hat durch die Industrialisierung extrem in den Naturhaushalt eingegriffen und „seine“ Umwelt dadurch stark verändert. In der heutigen Zeit herrscht die Vorstellung, dass unbegrenzt Wachstum und unbegrenzte Gewinnmaximierung auf Dauer in einer intakten Wirtschaft und einer intakten Umwelt realisierbar sein können. Die wirtschaftlich postulierten **Selbstregulierungsmechanismen** des Marktes waren aber niemals darauf ausgerichtet, entstehende Umweltprobleme als Regulativ zu berücksichtigen und können damit der jetzigen Situation nicht entgegenwirken.

## ■ 1.2 Umweltprobleme unserer Zeit

### 1.2.1 Klimawandel

Grundsätzlich ist der Begriff des Klimawandels als neutral zu bewerten, denn er beschreibt in erster Linie die Veränderung des seit Aufzeichnungsbeginn bekannten Klimas der Erde. Der beschriebene Wandel könnte sich demnach sowohl in einer Erwärmung als auch Abkühlung der Erde äußern. Klar ist aber, dass sich heutzutage alleine die Erderwärmung hinter dem Begriff des Klimawandels verbirgt.

Mit der der Industrialisierung ist die **globale Durchschnittstemperatur** um etwa ein Grad Celsius gestiegen. Hauptursache der menschengemachten Erderwärmung sind die Treibhausgase, die beim Verbrennen fossiler Energieträger, wie Öl, Gas

oder Holz in die Atmosphäre gelangen. Auch durch die Abholzung von Wäldern kann weniger  $\text{CO}_2$  aufgenommen werden und das zuvor von den Bäumen aufgenommene  $\text{CO}_2$  gelangt wieder in die Atmosphäre. Die Verbrennung fossiler Brennstoffe zur Stromerzeugung oder die Abgabe von Fahrzeugen und besonders Flugzeugen haben ebenfalls einen hohen Anteil am Klimawandel. Eine weitere Ursache für den Klimawandel ist unser Fleischverzehr. Für die Herstellung von Tierfutter werden Wälder gerodet, um Platz für Felder und Weiden zu machen. Rinder, Schweine und Schafe, sondern zudem große Mengen an Methan ab. Das Gas  $\text{CH}_4$  ist rund 25-mal klimaschädlicher als  $\text{CO}_2$ .

Übermäßige Hitzewellen, Dürreperioden, Stürme und Überschwemmungen sind die Folgen. Wenn dieser Klimawandel, bzw. diese Erderwärmung, nicht nachhaltig bekämpft wird, gilt ein weltweiter Temperaturanstieg um mehr als drei Grad Celsius bis Ende 2100 als wahrscheinlich. Ein Temperaturanstieg bedeutet aber nicht nur, dass es etwas wärmer wird, sondern dass die Wahrscheinlichkeit für extreme Hitzeereignisse wie Trockenperioden, Starkregen oder Überschwemmungen zunehmen. Die Hitzewellen im Sommer werden immer häufiger, während die für die Vegetation notwendigen Kälteperioden immer kürzer werden.

Diese **extremen Wetterverhältnisse** beinhalten nicht nur für ältere und kranke Menschen, sondern auch für Kinder ein erhöhtes Gesundheitsrisiko. Auch sind die Lebensräume von kaltwasserliebenden Krebs- und Fischarten sowie bestimmter Zwerglibellen bedroht. Außerdem können sich in einem veränderten Klima Tier- und Pflanzenarten ansiedeln, die ebenfalls ein potenzielles Gesundheitsrisiko für den Menschen darstellen können (z. B. Tigermücke, Tsetse-Fliege).

**Auswirkungen** des Klimawandels auf das Ökosystem:

- steigender Meeresspiegel, Gletscherschmelze, Zunahme von Dürre- und Hitzeperioden, Hochwasser, Stürme und Überschwemmungen,
- Wasserknappheit von Trinkwasser,
- Abnahme der biologischen Vielfalt,
- Temperaturanstieg führt zu einem geringeren Sauerstoffgehalt in den Gewässern,
- Verlust von Meeres- und Küstenökosystem (z. B. Korallenriffe),
- extreme Wetterverhältnisse beeinträchtigen die Gesundheit des Menschen (z. B. Herz-Kreislauf-Probleme),
- Ausbreitung von Infektionskrankheiten (z. B. Malaria) auf andere Gebiete.

## 1.2.2 Wasserknappheit

Das Leben auf der Erde hängt von ausreichenden Mengen und ausreichender **Verfügbarkeit von Trinkwasser** ab. Wasserknappheit ist ein massives Umweltproblem unserer Zeit.

- Menschen, Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen bestehen zu großem Teil aus Wasser – der erwachsene menschliche Körper besteht im Durchschnitt aus 60 % Wasser.
- Pflanzen bauen im Rahmen der Photosynthese aus Kohlenstoffdioxid und Wasser organische Stoffe auf, die für die Ernährung von Mensch und Tier unentbehrlich sind.
- Der Mensch nimmt täglich ca. 3 Liter Wasser in Form von Nahrungsmitteln und Getränken auf.

Jeder Deutsche verbraucht pro Tag ca. 120 Liter Wasser für Nahrung, Körperpflege oder Reinigungsarbeiten. Zusammen mit dem indirekten Wasserverbrauch für die verzehrten Lebensmittel steigt diese Menge sogar 5300 Liter pro Tag. Die benötigten Wassermengen werden durch den **Wasserkreislauf der Natur** zur Verfügung gestellt:

- Verdunstung von Meer- Seen- und Flusswasser, aber auch Verdunstung auf dem Festland (Boden und Pflanzen),
- Wolkenbildung,
- Niederschläge.

In Mitteleuropa – und somit auch in Deutschland – fallen ausreichende Niederschläge, günstig über die Jahreszeiten verteilt, dass sie – von extremen Trockenperioden abgesehen – oberirdische Gewässer und Grundwasser (vgl. Abschnitt 9.1) anreichern. Die Voraussetzung ist jedoch, dass durch menschliche Eingriffe in den Natur- und Wasserhaushalt keine Störungen verursacht werden.

Die mitteleuropäische Art zu leben, ist von Wasserverschwendung geprägt und damit mitverantwortlich für die weltweite Wasserknappheit. Aber auch die zunehmende Vergiftung der Flüsse und das Abpumpen des Grundwassers für industrielle Zwecke sorgen dafür, dass vielerorts bereits akute Wasserknappheit herrscht.

## 1.2.3 Luftverschmutzung

Die **Freisetzung umwelt- und gesundheitsschädlicher Schadstoffe** in die Luft wird als Luftverschmutzung bezeichnet. Rauch, Ruß, Staub, Aerosole oder Dämpfe sind nur einige Beispiele. Mit beginnender Industrialisierung hat auch das „Problem“ Luftverschmutzung begonnen. Hierzu gehören insbesondere Abgase aus der

Industrie, von Autos oder Flugzeugen, aber auch private Haushalte. Der Mensch ist die alleinige Ursache für diese Umweltverschmutzung. Sie ist die größte Ursache für Krankheit und vorzeitigen Tod und betrifft alle Menschen, beginnend vom ungeborenen Baby bis hin zu alten Menschen über alle Ländergrenzen hinweg. Durch Luftverschmutzung können nahezu alle Organe des Menschen betroffen sein. Lungenentzündung, Bronchitis und Asthma insbesondere bei Kindern haben ihre Ursache in dieser Umweltverschmutzung.

In Ländern der Dritten Welt, China, Russland und anderen Schwellenländern ist die Luftverschmutzung besonders hoch. In den Industrieländern ist die Luftverschmutzung durch wirksame Maßnahmen der Luftreinhaltung in den letzten Jahrzehnten zurückgegangen. Ungeachtet dieser Maßnahmen ist in Europa die Luftverschmutzung immer noch das größte verschmutzungsbedingte Gesundheitsrisiko [1.1]. Nach einer Studie starben 2018 etwa 8,7 Mio. Menschen – das entspricht ca. 20% aller Todesfälle – durch Luftverschmutzung infolge Verbrennung fossiler Energieträger [1.2].

#### 1.2.4 Bodenerosion

Unter Bodenerosion versteht man den Abtrag von Bodenbestandteilen durch abfließendes Wasser, Wind, Schneeschmelze und Bodenverlagerungen. Damit verlieren die Böden ihren fruchtbarsten und den landwirtschaftlich interessantesten Teil als wichtigste Produktionsgrundlage für Pflanzen.

**Bodenerosion:** Der Abtrag von Bodenpartikel durch Wind oder Wasser ist eigentlich ein natürlicher Prozess, der jedoch durch die Bodenbearbeitung des Menschen um ein Vielfaches erhöht wird.

Seit Beginn der Landwirtschaft durch den Menschen wurde etwa die Hälfte der Oberfläche des Planeten Erde in landwirtschaftlich nutzbare Fläche umgewandelt. Die ursprünglichen Bodenflächen regulierten sich mittels natürlicher Prozesse von selbst. Nicht jedoch bei intensiver, monokultureller Landwirtschaft, Überbeanspruchung und übermäßiger Einsatz von Düngemittel, die zu einer irreversiblen Veränderung der Strukturen und Funktionen (**Bodendegradation**) des Bodens führen.

Landwirte sollten Fruchtfolgen und sinnvolle Brachzeiten einhalten, aber auch für geeignete windschützende natürliche Hecken sorgen. Dichte Wälder und Wiesen sind der ideale Schutz gegen das Umweltproblem der Bodenerosion. Außerdem müssen Flüsse und Seen sowie das Grundwasser vor Gift- und Schadstoffen geschützt werden.

**Überweidung:** Auch das zu häufige Abgrasen von Pflanzen durch Nutztiere führt zur Degradation der Pflanzendecke. Bei zu wenigen Pflanzen ist die Bodenabdeckung nicht mehr sichergestellt und damit der Schutz vor Witterungseinflüssen gefährdet.

**Übernutzung:** Die konventionelle Landwirtschaft strebt möglichst hohe Erträge in möglichst kurzer Zeit an. Das Ackerland muss zu diesem Zweck immer wieder gepflügt und bepflanzt werden. Die Reste der vorherigen Ernte bleiben nicht auf der Bodenoberfläche, wo sie eine Schutzschicht vor aufprallendem Regen bilden würden. Außerdem verliert der Boden durch zu häufiges Pflügen an strukturelle Stabilität.

### 1.2.5 Plastikmüll im Meer

Schätzungen zufolge werden weltweit 4,8 bis 12,7 Mio. Tonnen Plastikmüll in die Meere eingetragen. Das entspricht etwa einer Lkw-Ladung pro Minute. Aktuelle Berechnungen, die Seen, Flüsse und Meere umfassen gehen sogar von einem Eintrag von 19 bis 23 Mio. Tonnen in diese Ökosysteme aus [1.3, 1.4]. Jedes Jahr werden in der Folge 100 000 Meeressäuger und ca. 1 000 000 Seevögel.

Ein zusätzliches Problem ist die **schlechte biologische Abbaubarkeit** von Plastik. Eine Plastikflasche benötigt ca. 500 Jahre, bis sie sich zu Mikroplastik (< 5 mm) umgesetzt hat. Und damit ist Plastik immer noch nicht vollständig biologisch abgebaut, sondern treibt in riesigen Müllstrudel, angetrieben von Meeresströmungen in unseren Ozeanen [1.5]. In 30 Jahren werden bei nahezu allen Meeressäugern Plastikteile im Verdauungstrakt zu finden sein, wenn der Müll weiterhin ins Meer gespült wird. Die Tiere verhungern qualvoll, weil sich ein Sättigungsgefühl einstellt. Auch andere Lebensräume wie Korallenriffe werden durch herumtreibenden Plastikmüll beschädigt. Viele Kunststoffe enthalten umwelt- und gesundheitsschädliche Stoffe (z.B. Flammschutzmittel oder Weichmacher) und werden teilweise im Meer freigesetzt.

Schlechte Entsorgungssysteme, nicht ausreichender Bildungsstand, Bequemlichkeit und natürlich die mangelhafte Verantwortung der Unternehmen für den in Umlauf gebrachten Verpackungsmüll sind wichtige Ursachen. Ein Pfandsystem wie in Deutschland gibt es leider nur in wenigen Ländern. Ein plastikfreier Lebensstil ist jedoch der beste Ansatz um dieses Umweltproblem in den Griff zu bekommen.

### 1.2.6 Abholzung der Wälder

Die weltweite Abholzung der Wälder wird mit großen Schritten vorangetrieben. Sie hat vielschichtige, aber dennoch klare Ursachen [1.6]:

- Schaffung von landwirtschaftlichen Flächen und Rinderweiden,
- neue Nutzungsflächen für Plantagen,

- Ausbeutung von Bodenschätzen aus den Waldböden,
- Herstellung von Konsumgütern.

Eine weitere Ursache für den Waldverlust sind Waldbrände, zu denen es aufgrund vermehrter Dürrephasen häufiger kam.

Wälder müssen für die Schaffung von Ackerflächen weichen, um Platz zum Anbau von **Zuckerrohr, Bananen, Kaffee, Ölpalmen** und vor allem **Soja** zu machen. Der Grund für die extreme Sojaproduktion ist nicht, weil die Menschen so viel Soja verzehren, sondern weil aus dem Sojaschrot überwiegend Tierfutter hergestellt wird, um Rinder, Schweine und Hühner zu mästen. Der globale Soja-Handel hat sich in den letzten 10 Jahren fast verdreifacht auf 180 Mio. Tonnen [1.7]. Um die weltweite Nachfrage nach dem Lebensmittel Fleisch und auch Leder-Produkten aus Kuhhäuten zu befriedigen, nimmt die Abholzung weiter zu.

Die **ökologische Vielfalt in Regenwäldern** muss den Plantagen mit **industrieller Monokultur** weichen. Auf diesen Plantagen wird natürlich mit Pestiziden gearbeitet, was absolut keinen Nutzen für die Natur darstellt. Eine Plantage hat nichts mit einem intakten Regenwald zu tun.

Auch zur Ausbeutung der unter den Wäldern vorkommenden „wertvollen“ **Bodenschätze**, die zur Herstellung von Smartphones, Elektroautos oder Schmuck benötigt werden, werden die Bäume abgeholzt. Bestimmte Erze, wie z. B. Bauxit werden im Tagebau gewonnen. Dabei wird die Oberfläche des Waldbodens großflächig abgetragen. Andere Erze werden hingegen im Untertagebau abgebaut. Hier muss in vielen Fällen der Grundwasserspiegel abgesenkt werden, wodurch die Wasserversorgung der Wälder nicht ausreichend gewährleistet ist.

Viele **Konsumgüter** aus unserem Alltag, wie z. B. Gartenmöbel werden nach wie vor aus Tropenhölzern hergestellt. Eine der größten Gefahren für den Regenwald aber auch der „normalen“ Wälder, ist der weltweite Papierverbrauch.

### 1.2.7 Welthunger

Der Welthunger ist kein direktes Umweltproblem, sondern ein Problem durch die Umwelt. In Afrika, Südamerika und Südost-Asien leiden besonders viele Menschen an Unter- und Mangelernährung. Gemäß dem Welthunger-Index (WHI) 2022 ist die Hungerlage in fünf Ländern besonders ernst: Zentralafrikanische Republik, Tschad, Demokratische Republik Kongo, Madagaskar und Jemen.

Die Ursachen von Hunger und Mangelernährung sind vielfältig:

- **Naturkatastrophen:** Extreme Wetterereignisse haben immer schon zu Hungerkrisen geführt. Dürren und Überschwemmungen führen zu Ernteaussfällen. Mit dem Klimawandel nehmen extreme Wetterereignisse zu.

- **Armut:** Hunger ist in erster Linie eine Folge von Armut. Frauen und Kinder sind besonders benachteiligt. Sind bereits die schwangeren Frauen unterernährt, können sich die ungeborenen Babys nicht richtig entwickeln und kommen häufig zu früh und/oder untergewichtig zur Welt. Hunger und Armut bilden einen Teufelskreis.
- **Kriege und Konflikte:** Aufgrund bewaffneter Auseinandersetzungen sind die Menschen nicht mehr in der Lage ihre Felder zu bestellen. Landwirtschaftliche Infrastruktur wie Bewässerungsanlagen werden zerstört. Durch die eingeschränkte Sicherheit leidet der Handel – Nahrungsmittel sind kaum verfügbar, werden teuer.
- **Ungleichheit:** Die Agenda 2030 ruft uns dazu auf, keinen zurückzulassen. Ungeachtet dieser Absichtserklärung verschärft sich die Ungleichheit zwischen Arm und Reich.

Es entsteht der Eindruck, dass die Menge an produzierter Nahrung auf unserer Erde nicht ausreicht, um dem steigenden Wachstum der Weltbevölkerung standzuhalten. Der Grund für den Welthunger ist aber kein Produktionsproblem, sondern ein Verteilungsproblem. Der überwiegende Teil des Getreides wird z. B. zu Viehfutter für die Produktion von Fleischerzeugnissen verwendet. Mit jedem zusätzlichen Menschen auf unserem Planeten steigt auch der Bedarf an Lebensmitteln. Die Überbevölkerung ist somit auch eine Ursache dieses Problems [1.8].

## Literatur

- [1.1] World Health Organization (WHO) (2014): 7 million premature deaths annually linked to air pollution. 25.03.2014, Zugriff am 18.01.2023, verfügbar unter: <https://www.who.int/news/item/25-03-2014-7-million-premature-deaths-annually-linked-to-air-pollution>
- [1.2] VORA, K. et al. (2021): Global mortality from outdoor fine particle pollution generated by fossil fuel combustion: Results from GEOS-Chem. In: Environmental Research. 195. Jahrgang
- [1.3] SCHULZ, C. (2019): Wie der Plastikmüll Umwelt & Natur zerstört. 20.03.2019, Zugriff am 17.01.2023, verfügbar unter: <http://www.careelite.de/plastikmuell-umwelt-meer/>
- [1.4] WWF (2022): Das kann kein Meer mehr schlucken: Unsere Ozeane versinken im Plastikmüll. Zugriff am 17.01.2023, verfügbar unter: <http://www.wwf.de/themen-projekte/plastik/unsere-ozeane-versinken-im-plastikmuell/>
- [1.5] SCHULZ, C. (2018): Die 5 großen Müllstrudel im Meer. 25.08.2018, Zugriff am 17.01.2023, verfügbar unter: <http://www.careelite.de/muellstrudel-im-meer>
- [1.6] WWF (2018): Der Waldbericht 2018: Die schwindenden Wälder der Welt. Zugriff am 17.01.2023, verfügbar unter: <https://www.wwf.de/themen-projekte/waelder/waldbericht-2018>
- [1.7] OroVerde – Die Tropenwaldstiftung (2023): Wie hängen Fleischkonsum, Soja und Regenwald zusammen? Zugriff am 17.01.2023, verfügbar unter: <https://www.regenwald-schuetzen.org/verbrauchertipps/soja-und-fleischkonsum/fleischkonsum-und-regenwald>
- [1.8] Deutsche Welthungerhilfe (2023): Hunger: Verbreitung, Ursachen & Folgen. Zugriff am 17.01.2023, verfügbar unter: <https://www.welthungerhilfe.de/hunger/>
- [1.9] Umweltbundesamt (2023): Webseite. Zugriff am 17.01.2023, verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klimaenergie/klimawandel/beobachter-klimawandel>
- [1.10] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2022): Klimaschutz in Zahlen – Aktuelle Emissionstrends und Klimaschutzmaßnahmen in Deutschland. Berlin

# 2

## Physikalische Größen und Einheitensysteme

### ■ 2.1 Größen und Größenarten

Ein wesentliches Ziel der naturwissenschaftlichen und technischen Forschung ist die Beschreibung der in der Natur ablaufenden Vorgänge bzw. der technischen Prozesse durch mathematische Gleichungen. Diese werden entweder durch Experimente oder durch theoretische Überlegungen erhalten. Diese Gleichungen stellen einen funktionalen Zusammenhang zwischen den für den betrachteten Prozess maßgeblichen erfassbaren Eigenschaften oder Erscheinungen des Systems her, die auch allgemein Einflussgrößen genannt werden. Solche Größen sind z.B. Länge, Masse, Zeit, Stromstärke, Konzentration, Arbeit oder Energie. Jede dieser **Größe**  $G$  lässt sich aufspalten in ein Produkt aus dem **Zahlenwert**  $\{G\}$  und der dazugehörigen **Einheit**  $[G]$ :

$$G = \{G\} \cdot [G] \quad (2.1)$$

Die Einheit ist eine willkürlich wählbare, aber vereinbarte Größe der gleichen Art wie die betrachtete Größe. Die physikalische Größe der Zeit  $t=60\text{ s}$  besteht beispielsweise aus dem Zahlenwert  $\{t\}=60$  und der Einheit  $[t]=\text{s}$ . Statt der Einheit „Sekunde“ kann auch eine andere Zeiteinheit verwendet werden, z.B. „Minute“ oder „Stunde“.

Eine Gleichung zwischen verschiedenen Einflussgrößen (Größengleichung) beinhaltet immer die Arten (Einheiten) dieser Größe und deren Zahlenwerte. Größengleichungen sind daher im Unterschied zu den reinen Zahlenwertgleichungen (z.B.  $4 \cdot 2 = 8$ ) auch Einheitsgleichungen. Eine Größengleichung ist demzufolge auch nur dann erfüllt, wenn Zahlenwert und Einheit auf beiden Seiten übereinstimmen.

Gleichartige Größen werden unter dem Begriff **Größenarten** zusammengefasst. So stellen die Größen Arbeit und Wärme etwas grundsätzlich Anderes dar, gehören jedoch beide der gemeinsamen Größenart Energie an. Der überwiegende Teil der physikalischen und chemischen Größenarten sind durch Naturgesetze miteinander



der verknüpft. Einige müssen jedoch unabhängig voneinander festgelegt werden. Sie werden als Grundgrößenarten oder **Basisgrößen** bezeichnet. Aus diesen Basisgrößen werden die abgeleiteten Größen definiert.

Bisher existierte eine Vielzahl von Einheitensystemen, z. B. das physikalische und das technische Einheitensystem u. v. a.; daneben kommen noch die britischen und US-Einheitensysteme. Die 26. Generalkonferenz für Maß und Gewicht (CGPM) hat am 16. November 2018 eine Neudefinition der SI-Basiseinheiten beschlossen. Für die Definition der sieben Basisgrößen Länge, Masse, Zeit, Temperatur, Stromstärke, Stoffmenge und Lichtstärke werden nach dem **Internationalen Einheitensystem SI** (Système International d'unités) nur noch Konstanten verwendet. Die Festlegung für die Einheiten Sekunde (s), Meter (m) und Candela (cd) sind nicht geändert worden. Ihre Definition ist jedoch konsistent zu den neuen Definitionen von Kilogramm (kg), Ampere (A), Kelvin (K) und Mol (mol). Die Basisgrößen, Basiseinheiten und Einheitenzeichen sind in Tabelle 2.1 gezeigt.

**Tabelle 2.1** SI-Basisgrößen und Basiseinheiten

Basisgröße	Name der Basiseinheit	Einheitenzeichen
Länge	Meter	m
Masse	Kilogramm	kg
Zeit	Sekunde	s
Stromstärke	Ampere	A
Temperatur	Kelvin	K
Stoffmenge	Mol	mol
Lichtstärke	Candela	cd

Die Basiseinheiten des Internationalen Einheitensystems sind gegenwärtig wie folgt definiert:

Der **Meter** (m) ist die Einheit der Länge und ist definiert als die Strecke, die Licht im Vakuum während  $1/299\,792\,458$  Sekunden durchläuft.  $1\text{ m} = (c/299\,792\,458)\text{ s}$

Das **Kilogramm** (kg) ist die Einheit der Masse und wird über die Planck-Konstante  $h = 6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}\text{ J s}$  definiert. Dabei gilt  $\text{J} \cdot \text{s} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$  und die Sekunde s sowie das Meter m werden durch  $\Delta\nu$  (Frequenz des Hyperfeinstrukturübergangs des Grundzustands von Atomen des Nuklids  $^{133}\text{Cs} = 299\,792\,458\text{ m s}^{-1}$ ) und  $c$  (Lichtgeschwindigkeit im Vakuum =  $299\,792\,458\text{ m s}^{-1}$ ) definiert.

Eine **Sekunde** (s) ist die Einheit der Zeit und definiert als Zeitdauer von  $9\,192\,631\,770$  Schwingungsperioden der Strahlung des  $^{133}\text{Cäsiumisotops}$ .  $1\text{ s} = 9\,192\,631\,770/\Delta\nu$ .

Das **Ampere** (A) ist die Einheit der Stromstärke und wird durch die Elementarladung  $e = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}\text{ C}$  definiert. Es gilt für das Coulomb  $\text{C} = \text{A s}$ , wobei die Sekunde s durch  $\Delta\nu$  definiert wird.

# Stichwortverzeichnis

## Symbole

3-R-Verfahren 483  
100-tägiges Wasser 518

## A

Abbruchabfall 432  
Abbruchabfallrecycling 450  
ABC-Analyse 126  
Abfallbeseitigung 162, 437  
– Grundpflichten 164  
Abfallbeseitigungsanlagen 164  
Abfallbesitzer 159, 162  
Abfälle 158  
Abfalleigenschaft, Ende der 160  
Abfallerzeuger 159, 162  
Abfallhierarchie 160  
Abfallrecycling 437  
Abfallvermeidung 414  
Abfallverwertung 162  
Abgasreinigung 342  
– biologische 383  
– oxidativ thermische 368  
– reduktiv thermische 372  
– thermische 367  
abgeleitete Größen 12  
abhängige Variable 45  
Abholzung 6  
Abscheideeffekte 345  
Abscheidegrad 343  
absolute Häufigkeit 31  
absolute Messunsicherheit 27  
absolute Summenhäufigkeit des  
Merkmalwertes 31  
Absorber 406  
Absorberkolonne 393  
Absorption 355  
– chemische 357  
– physikalisch 356  
Absorptionskolonnen 362  
Abstrahlmaß 401  
Abtrennung saurer Schadgase 479  
Abwasser 280  
– Direkteinleiter 281  
– Einzelsubstanzen 284  
– Gruppenparameter 283  
– Indirekteinleiter 281  
– Inhaltstoffe 281  
– Parameter 284  
– Summenparameter 282  
Abwasserrecht 150  
Abwasserreinigung  
– aerobe Verfahren 301  
– anaerobe Verfahren 306  
– industrielle 301  
– kommunale 280  
Abwasserteiche 298  
acetogene Phase 307, 466  
Adsorber 365  
adsorbierbare organische Halogen-  
verbindungen (AOX) 282  
Adsorption 363  
Adsorptionsgrad 366  
Adsorptionswasser 198  
aerobe Phase 466  
Aerosol 227  
Aerozyklon 349  
Aggregatzustände 64  
Airlift-Verfahren 304

Akkumulator 431  
 Aktivität 22  
 Algen 87  
 Allgemeinwohl 163  
 Alliance to end plastic waste 420  
 Altlasten 153  
 – Sanierung 322  
 Amortisationsmethode  
 – dynamische 491  
 – statische 491  
 anaerober Abbau 522  
 anoxisch 296  
 Antischall-Anlage 407  
 Arbeitsplatznoxen 107  
 Arbeitszahl 495  
 arithmetisches Mittel 35  
 Artikelgesetz 138  
 Asbest 224  
 Atmosphäre 215  
 atomare Masse 50  
 Audit 132  
 Autoprotolyse 69

## B

Bakterien 82  
 Basalt 195  
 Basisgrößen 10  
 Batterie 431  
 Batterierecycling 446  
 BAT-Wert 110  
 Bauabfall 432  
 Bauabfallrecycling 450  
 Befeuchtung 387  
 Bel 234  
 Belastungskategorien 127  
 Belebtschlamm 311  
 Belebtschlammverfahren 393  
 Belebungsverfahren 288  
 Belüftung 288  
 Beseitigung 160  
 Bestandsrechnung 118  
 Bewirtschaftungsgrundsatz 146  
 Bilanz  
 – Bestandsbilanz 118  
 – Flussbilanz 118  
 – physische 118  
 – wertmäßige 118

Bildung für nachhaltige Entwicklung 418  
 biochemische Reaktionen 89  
 Biofilm 387  
 Biofilter 385  
 Biofouling 397  
 Biohochreaktor 303  
 biologisch abbaubar 283  
 biologischer Arbeitsstoff-Referenzwert 111  
 biologischer Leit-Wert 111  
 Biomasse 501, 522  
 Biomembranverfahren 395  
 Biosphäre 2  
 Biowäscher 391  
 Bischoff-Verfahren 359  
 Blasensäulenreaktor 301  
 Blei 204  
 Blockheizkraftwerk (BHKW) 498  
 Boden 153  
 – Funktion 200  
 Bodenbelastungen 193  
 Bodenbestandteile 193  
 Bodendegradation 5  
 Bodenerosion 5  
 Bodenfruchtbarkeit 200  
 Bodenkolonnen 362  
 Bodenluftabsaugung 327, 338  
 Bodenporen 197  
 Bodenreinigungsanlage  
 – thermische 334  
 Bodenstruktur 193  
 Bodenveränderungen  
 – schädliche 153  
 Brennstoff-NOX 372  
 Brennstoffzelle 498  
 Bundes-Bodenschutzgesetz 152  
 Bundes-Bodenschutz- und AltlastenV 152  
 Bundes-Immissionsschutzgesetz 141  
 Bundes-Klimaschutzgesetz 169  
 Bunsenscher Absorptionskoeffizient  
 268

## C

Cadmium 204  
 Carbon-Leakage 171  
 carcinogene Wirkung 206  
 Carnot-Prozess 495  
 Chemisorption 355

- Chlordioxid 276  
Chlogas 276  
Chlorung 275  
Chrom 205  
C/N-Verhältnis 201  
CO<sub>2</sub>-Äquivalent 170  
CO<sub>2</sub>-Bepreisung 172  
Containerbauweise 389  
Contracting 493  
C/P-Verhältnis 201  
C/S-Verhältnis 201
- D**
- Dalton-Gesetz 357  
Darcysches Gesetz 199  
Dauerschalldruckpegel 409  
Deep-Shaft-Verfahren 304  
Deinking 442  
Dekontaminationsmaßnahmen 155, 322, 326  
– biologisch 326  
– chemisch-physikalisch 329  
– hydraulisch 336  
– pneumatisch 337  
– thermisch 332  
Denitrifikation 296  
– Bakterien 296  
– nachgeschaltete 296  
– simultane 298  
– vorgeschaltete 297  
De-Novo-Synthese 478  
– Dioxine 481  
Deponie 164  
Deponiegas 466  
– Bildung 470  
Deponieklasse 462  
Deponierung 460  
– Stoffaustragswege 460  
Design for Recycling 415, 449  
Desorption 365  
Diffusionseffekt 345  
Diffusstrahlung 505  
Dioxine  
– Entfernung 481  
Direktfiltration 272  
Direktstrahlung 505  
DOC (dissolved organic carbon) 189
- Dokumentation  
– externe 132  
– interne 132  
Dokumentationspflicht 117  
Dosis-Effekt-Modell 102  
Dosis-Expositions-Wirkungs-Beziehungen 104  
Downcycling 439  
Drehrohrofen 473  
Drosselung 406  
Düngemittel 209  
Durchlassgrad 343  
Durchlässigkeit des Bodens 199
- E**
- Edaphon 193  
Edelmetalle 443  
EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) 147  
Eigenerzeugung, Grundsatz der 164  
Eindickung 320  
Einheit 9  
Einwegplastik 417  
Einwohnergleichwert EGW 188  
Eisen 443  
Eisenlegierungsmetalle 443  
elektrisch angeregte Nachverbrennung (ENV) 379  
Elektroabscheider 351  
Elektrogeräte 429  
elektromagnetische Felder 245  
elektromagnetisches Spektrum 247  
Elektronikschrott 429  
Elektron/Loch-Paare 513  
Elektroschrott 445  
elektrostatischer Effekt 345  
Eluat 462  
EMAS (Eco-Management and Audit Scheme) 117, 134  
Emission 218  
Emissionsbegrenzung 143  
Emissionshandel 170, 172  
Emissionshandelsregister  
– national 173  
– Rechtsschein 173  
Emissionshandelsrichtlinie 167  
Emissionsquelle 218  
Emissionszertifikate 169  
empirische Verteilungsfunktion 31

Endabbau 283  
 Endenergie 484  
 End-of-the-pipe-Technologie 367  
 endotherm 60  
 Endverbraucher 115  
 Energie  
 – Einsparung 484, 488  
 – innere 58  
 Energiedienstleistung 488  
 Energieeinsparkosten 492  
 Energierücklaufzeit 504  
 Energieumwandlung  
 – Verbraucher 486  
 Energieverbrauch 489  
 Energieverlust 489  
 Energieverlustströme 489  
 Energieversorgung, künftige 525  
 Enteisung 269f.  
 Enthalpie 59f.  
 Entledigung 159  
 – Wille zur 159  
 Entledigungspflicht 159  
 Entmanganung 269, 271  
 Entropie 61  
 Entstaubung 477  
 Entstickung 480  
 epidemiologische Studie 103  
 Epilimnion 184  
 Erdwärme 524  
 Erneuerbare-Energien-Gesetz 168  
 Erwartungswert 36  
 Etagenfilter 390  
 Etagenofen 474  
 EU-Klimaschutzverordnung 167  
 Eutrophierung 186  
 Exosphäre 216  
 exotherm 60  
 Expositionsäquivalente für krebserzeugende  
 Arbeitsstoffe 111  
 Expositionsschätzung 106  
 Extraktionsverfahren 329

## F

Fallfilmabsorber 362  
 Fällung 292  
 Faser-zu-Faser-Recycling 421  
 Faulschlamm 311

Faulung 315  
 FCKW, Fluorchlorkohlenwasserstoffe  
 224  
 Fehlerarten 27  
 Fehlerfortpflanzung 39  
 – Gaußsche 41  
 – lineare 42  
 Fernwärmenetz 499  
 Festbettadsorberanlage 365  
 Festbettreaktor 289, 305  
 Feuchte 217  
 filternde Abscheider 345  
 Filtrationsverfahren 271  
 Flächenfilter 385  
 Flachkollektoren 507  
 Flammenverbrennung 374  
 Fließgewässer 182  
 – Selbstreinigung 182  
 Flockungsfiltration 272  
 Flotationsverfahren 442  
 Flussrechnung 118  
 Formaldehyd 223  
 Fos-Melt-Verfahren 482  
 Freifeld 403  
 Freiflammenfackel 375  
 Füllkörperkolonnen 362  
 Fulvosäuren 194  
 Funnel-and-Gate-Systeme 336  
 Furane  
 – Entfernung 481

## G

Galvanik 426  
 Gärung 523  
 Gasaustausch 268  
 Gaußsche Normalverteilung 35  
 Gefahrencharakterisierung 105  
 Gefahrenidentifizierung 105  
 Gefahrenschwelle 143  
 Gefäßabsorbieren 362  
 Gegenstrahlung  
 – atmosphärische 505  
 Gegenstromprinzip 269  
 Gehaltsangabe 18  
 Gehaltsgrößen 53, 55, 121  
 Geothermie 524  
 geothermische Energie 501

Geräuschemission  
– Messung 408  
Geschwindigkeitsanregung 400  
gesundheitlicher Effekt 98  
gesundheitliches Risiko 99  
Gewässer 180  
– ausdauernde 183  
– periodische 183  
– Schadstoffgehalt 188  
– stehende 183  
Gewässereutrophierung 185  
Gewässergüte 188, 284  
– Stufen 189  
Gewässerschutzrecht 146  
Gewässerversauerung 187  
Gewässerzustand  
– Indikator 89  
Gewebeabscheider 345  
Gewebefilter 347  
Giftstoffe 282  
Glasrecycling 440  
Gleichstromprinzip 269  
Glimmer 196  
globale Durchschnittstemperatur 2  
Globalstrahlung 505  
Globalstrahlungskarte 505  
Globalstrahlungsleistungen 509  
Glühverlust 312  
Gneis 195  
grafische Auswertung 42  
grafische Darstellung 30, 42, 45  
Granit 195  
Green Deal 422  
Grenzwerte 108  
Größe  
– leistungsbezogene 122  
– physikalische 9  
– produktbezogene 122  
– zeitbezogene 121  
Größengleichung 13  
Grundgrößen 10, 11  
Grundwasser 180, 267  
Grundwasserneubildung 181  
Grundwasserspeicher 182  
Grüner Knopf 422

## H

Haftwasser 198  
Hallfeld 403  
Heizkraftwerke 498  
Henry-Daltonsches Gesetz 268  
Henry-Gesetz 356  
Herdofenkoksadsorber 366  
heterogen 18  
Heterosphäre 215  
Hexachlorbenzen 206  
High-Dust-Variante 374  
Hintergrundwerte 109  
Hochleistungs-Kompakt-Reaktor 305  
Hochtechnologiemetalle 443  
homogen 18  
Homosphäre 215  
Hörbelastung 230  
Hot-Dry-Rock-Verfahren 524  
Hüllflächenverfahren 408  
Human-Biomonitoring 109  
Humifizierung 194  
Huminstoffe 194  
Humus 193  
Hydratisierung 68  
Hydrolyse-Phase 307  
Hydrosphäre 215  
Hypochlorid 276  
Hypolimnion 184

## I

ideales Gemisch 18  
Immission 142, 218  
Immissionsgrenzwerte 223  
Immissionsschutz 409  
– gebietsbezogener 145  
– produktbezogener 145  
– verkehrsbezogener 145  
Immissionsschutzgesetze 145  
Indirekteinleitungen 150  
Industrieabfälle 424  
Infraschall 232  
Integrationsgebot  
– materiellrechtliches 138  
– verfahrensrechtliches 138  
Intensivrotte 319  
Interferenz 406

Internationales Einheitensystem 10  
 Ionenprodukt des Wassers 70  
 Isotopen 50  
 Ist-Analyse 129

## K

Kalkverfahren 359  
 Kapillarwasser 198  
 Kapsel 408  
 Katalysator 378, 424  
 katalytische Nachverbrennungsanlage (KNV) 378  
 Kationenaustauschkapazität 199f.  
 Kinetik  
 – Reaktion 0. Ordnung 90  
 – Reaktion 1. Ordnung 91  
 – Reaktion 2. Ordnung 92  
 Kläranlage 285  
 – konventionelle 285  
 Klärschlamm 310  
 Klärschlammbehandlung 289  
 Klima 225  
 – arid 179  
 – humid 179  
 Klimaabkommen von Paris 166  
 Klimamodelle 227  
 Klimarahmenkonvention 166  
 Klimaschutzabkommen von Kyoto 170  
 Klimaschutzprogramm 2030 169f.  
 Klimaschutzrecht 165  
 Klimawandel 2  
 Koc-Wert 212  
 Kohäsionskräfte 66  
 Kohlenstoffdioxid 219  
 Kohlenstoffmonoxid 220  
 Kohlenwasserstoff 223  
 – halogeniert 224  
 Kollektorwirkungsgrad 508  
 Kolonien bildende Einheit (KBE) 267  
 Kompostierung 319, 418, 456  
 Kompostierverfahren 456  
 Kompressions-Wärmepumpe 495  
 Kondensation 366  
 Konditionierung 320  
 Konzentrationsangabe 18  
 Konzentrationsgrößen 52, 121  
 Kooperationsprinzip 137

Kornfraktionen 196  
 Korngrößenverteilung 196  
 Körnung 197  
 Körnungslinien 196  
 Korrosion 278  
 – nasse 278  
 – trockene 278  
 Korrosionsschaden 278  
 Kraft-Wärme-Kopplung 497  
 Kreislaufwirtschaft  
 – Gesetz 158  
 – Grundpflichten 160  
 – Grundsätze 160  
 Krupp-Walther-Verfahren 359, 361  
 Kunststoffrecycling 452  
 Kupfer 205  
 KWK-Aggregat 499  
 Kyoto-Protokoll 166

## L

Ladungsträgerpaare 513  
 Landfarming 327  
 Lärm 230  
 Lärmbelastung  
 – Prognose 409  
 Lärmkarte 242  
 Lärmvermeidung 399  
 Laufwasserkraftwerke 517  
 Lautstärke 233  
 Legierbarkeit 427  
 Leichtmetalle 443  
 Leistungsziffer 495  
 Leitorganismen 189  
 limitierender Faktor 185  
 Limnologie 180  
 Lithosphäre 215  
 Löslichkeit 72  
 Low-Dust-Variante 374  
 Luftdruck 216  
 Luftfeuchtigkeit 217  
 Luftkeime 218  
 Luftschadstoffe 218f., 342  
 – primäre 218  
 – sekundäre 218  
 Luftschallentstehung 399  
 Luftverschmutzung 4, 215  
 Luftzahl 369

## M

Magmatite 195  
MAK, maximale Arbeitsplatzkonzentration  
110, 220  
Management Circle 129  
Manglerscheinung 203  
Marmor 195  
Masse 51  
Massenanteil 19, 54  
Massenkonzentration 21, 54  
Massenkraftabscheider 348  
Maxwell'sche Gleichungen 245  
Mehrweg 417  
Meldepflicht 117  
Membranbioreaktor 395  
Mesosphäre 216  
Messdaten  
– grafische Auswertung 42  
Messreihe 29  
Messunsicherheit 37  
Messwertabweichung 27, 34  
Metabolismus 81  
Metabolite 213  
Metalimnion 184  
Metallabfälle 426  
Metallrecycling 443  
Metamorphite 195  
Methan 221  
methanogene Phase 307, 466  
Mettmanner-System 298  
Mikroorganismen 79  
– Aktivität 183  
– immobilisierte 394  
– Vermehrung 93  
– Wachstum 93  
– Wachstumsphasen 95  
Mikroplastik 420  
Milieu 1  
Mindestsauerstoffbedarf 369  
Mineralisation 213  
Mineralisierung 281  
Mischbiozönose 306  
Mischphase 18  
Mischungseffekt 18  
Mischungsgleichung 23  
mittlerer Nutzungsgrad  
484

Mobilisierung  
– von Aluminium 187  
– von Schwermetallen 187  
– von Schwermetallverbindungen 211  
Mol 51  
Molalität 22  
molare Masse 51  
molares Volumen 52  
Müllverbrennung 471  
Multibarrieresystem 463

## N

Nachfällung 292  
Nachklärung 290  
Nachrotte 319  
Nährstoffe 281  
Nährstoffverfügbarkeit 200  
Nassabscheider 353  
Nebel 217  
Nebenprodukte 160  
Nichteisenmetalle 443  
Nickel 205  
Niederschlagswasser 280  
Nitratatmung 296  
Nitratreduktion 273  
Nitrifikation 294  
Nitrobacter 295  
Nitrosomonas 295  
NOEL 203  
Normalverteilung 35  
Nutzenergie 484

## O

Oberflächenspannung 66  
Oberflächenwasser 180  
Obsoleszenz 415  
Ökobilanz 116  
– Berechnung 123  
– Bewertungsverfahren 126  
– Komponenten 120  
– Modul 121  
– Organisations- 124  
– Produkt- 124  
– Prozessverknüpfung 122  
– Standort- 124  
– Unternehmens- 124



Ökosystem Erde 2  
 Oktavband-Dauerschalldruckpegel 409  
 Oktavbandmittenfrequenzen 409  
 Ombrometer 178  
 Oxidationsgräben 298  
 Oxidationsverfahren 368  
 Ozon 223  
 Ozonisierung 276  
 Ozonloch 227f.

## P

Packungskolonnen 362  
 PAK (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) 206  
 Papierrecycling 441  
 Pegelminderung 404  
 Persistenz 205  
 Pestizide 213  
 Pflanzenkläranlage 298  
 Pflanzennährstoffe 185  
 Pflanzenschutzmittel 208, 213  
 Phosphateintrag 186  
 Phosphateliminierung 290  
 – biologische 293  
 – chemische 292  
 Phosphatfällung 292  
 Photovoltaik 512  
 photovoltaischer Effekt 513  
 pH-Wert 69  
 Physisorption 355  
 Phytosanierung 328  
 Pilze 85  
 Plastikmüll  
 – Meer 6  
 Plastiktütenverbot 421  
 Platten-Elektroabscheider 352  
 polychlorierte Biphenylene 206  
 POP 206  
 Prallabscheider 348  
 Pralleffekt 345  
 Preismodell 172  
 Primärabbau 283  
 Primärenergie 484  
 – aufwand 484  
 – verbrauch 484  
 Primärminerale 195  
 Primärschlamm 311

Prinzipientrias 137  
 produktionsintegrierter Umweltschutz 425  
 Produktlebensweg 124  
 Protozoen 85  
 Prozessgröße 16  
 Pump-and-Treat-Verfahren 336  
 Pumpspeicherkraftwerke 517  
 Pyrolyse 471

## Q

Quecksilber 204

## R

Radon 254  
 Rauchgasentschwefelung 358  
 Rauchgasreinigung 476  
 Raumladungszone 513  
 Reaktionsbegriffe 55  
 Reaktionsgeschwindigkeit 93  
 Reaktionskinetik 90  
 Reaktionsrichtung 63  
 reales Gemisch 18  
 Recycling 160, 437, 439  
 – biogenem Abfall 456  
 – chemisches 439  
 – mechanisches 439  
 – rohstoffliches 438f.  
 – stoffliches 439  
 – thermochemisches 439  
 – werkstoffliches 438f.  
 Recycling-Codes 454  
 Recyclingquote 416  
 Red-Melt-Verfahren 482  
 Reduktionsverfahren 372  
 Referenzwerte 109  
 Reflexion 406  
 Refraktärmetalle 443  
 refurbished 430  
 Regelungsdichte 115  
 Regen  
 – saurer 223  
 – schwefelsaurer 222  
 regenerative Energie 501  
 Regenklärbecken 286  
 Regenrückhaltebecken 286  
 Regenüberlaufbecken 286

Rekultivierungsmaterialien 462  
relative Häufigkeit 31  
relative Summenhäufigkeit 31  
Resonanz 406  
Restabfallbehandlung 456  
Richtwerte 108  
Risikoabschätzung 99  
– qualitative 100  
– quantitativ 102  
Risikobewertung 105  
Risikocharakterisierung 106  
Risikomatrix 100  
Risikovorsorge 137  
Rohr-Elektroabscheider 352  
Röhrenkollektoren 507  
Rohschlamm 311  
Rostfeuerungsreaktor 473  
Rotations-Wäscher 354  
Rotorblätter 521  
Rücklaufschlamm 311  
Rückstandsbehandlung 482  
Rückstandseseitigung 482

## S

Sanierungsplanung 155  
Sanierungsverfahren 323  
Saprobienstystem 189  
Sauerstoffbedarf  
– biochemischer (BSB) 188  
– biologischer (BSB<sub>5</sub>) 283  
– chemischer (CSB) 189, 283  
saurer Regen 187  
Schadgase, saure 202, 210, 479  
Schadstoffe  
– Boden 202  
– im Trinkwasser 208  
– leicht abbaubare organische 182  
– Luft 218  
– organische 212  
– Wasser 181  
Schadwirkung 203  
Schall 230  
– Absorption 237  
Schallausbreitung 409  
– im Freien 402  
– im Innenraum 403  
Schalldämpfer 406  
Schalldruckmessung 235  
Schalldruckpegel 234  
Schallgeschwindigkeit 232  
Schallintensitätspegel 234  
Schalleistung 405  
Schalleistungspegel 405  
Schallschirm 405  
Schallschutz  
– primär 399  
– sekundär 405  
Schallwelle 231  
Schilf-Binsen-Anlage 298  
Schlacke 482  
Schlamm 310  
Schlammalter 293  
Schlammbehandlung 310  
Schlammbeschaffenheit 313  
Schlammfestsorgung 321  
Schlammfentwässerung 319  
– Trocknung 320  
Schlammfenge 313  
Schlammstabilisierung 315  
– aerobe 317  
– aerobthermophile 318  
– anaerobe 315  
– getrennte 318  
– simultane 318  
Schlammverwertung 321  
Schlammwachstum 293  
Schlauchabscheider 346  
Schlaufenreaktor 303  
Schmutzwasser 280  
Schnellrotte 319  
Schüttgutreaktor 474  
Schwefeldioxid 221  
Schwerkraftabscheider 348  
Schwingungserzeuger 230  
SCR-Verfahren 373, 480  
Secondhand 423  
Sedimentation 287  
Sedimente  
– biogene 195  
– chemische 195  
– klastische 195  
Sekundärschlamm 311  
Selbstreinigungspotenzial 188  
Seltenerdmetalle 443  
Sial 195

- SI-Basiseinheiten 10  
 Sicherungsmaßnahmen 155, 322, 324  
 Sickerwasser 466  
 Siebanalyse 196  
 Siedlungsabfall 416, 460  
 Siemens-Martin-Verfahren 444  
 Siliciumzelle 514  
 Simultanfällung 292  
 SNCR-Verfahren 373, 480  
 Solarabsorber 507  
 Solaranlage 507  
   – Brauchwassererwärmung 509  
   – Raumheizung 509  
 Solarenergie 501, 504  
 Solarkollektor 507  
 Solarstrahlung  
   – gestreute 504  
   – reflektierte 505  
 Solarthermie 507  
 Solarzelle 514  
 Sorptions-Wärmepumpe 495  
 Spaltgasmenge 478  
 Speicherkraftwerke 517  
 Sperreffekt 345  
 Sporen 84  
 Sprühwäscher 362  
 Spurengase 225  
 Stakeholder 115  
 Standardabweichung 36  
 Stand der Technik 143  
 statistische Sicherheit 36  
 Staubabscheidung 343, 387  
 Stickstoffeintrag 187  
 Stickstoffeliminierung 293  
 Stickstoffoxid 222  
 Stillstandstemperaturen 509  
 Stöchiometrie 50  
 Stoffeinträge 202  
 Stoffmenge 19, 51  
 Stoffmengenanteil 20  
 Stoffmengenkonzentration 21, 54  
 Stoff- und Energie-Bilanzierung 116  
 Stoff- und Energiewandlungsprozess  
   114  
 Stoffwechsel 81  
 Störstoffe 282  
 Strahlenbelastung 245  
 Strahlenschutz 257  
 Strahlung  
   – ionisierende 252  
   – nicht-ionisierend 247  
   – optische 250  
 Strahlwäscher 362  
 Stratosphäre 215  
 Streuung 37  
 Stromgestehungskosten 504  
 Studentscher Faktor 38  
 Substitutionsmethode 502
- T**
- TA Lärm 410  
 Taschenabscheider 346  
 Taupunkt 218  
 technische Richtkonzentration 110  
 Temperaturhub 495  
 Textilabfälle 421  
 Textilrecycling 447  
 thermische Nachverbrennung 375  
 thermisches NO<sub>x</sub> 372  
 Thermodynamik 57  
   – erster Hauptsatz 58  
   – zweiter Hauptsatz 61  
 Thermosphäre 216  
 Thermosyphon-Anlagen 510  
 Tierarzneimittel 207  
 T-Konto 122  
 Tolerable Daily Intake-Wert 108  
 Ton 196  
 Tonhöhe 232  
 Total Organic Carbon (TOC) 189, 283  
 Trägheitseffekt 345  
 Transmission 218  
 Treibhauseffekt 225  
   – anthropogener 226  
   – natürlicher 225  
 Treibhausgase 169  
 Trennkorngröße 350  
 Trinkwasser 4, 177  
   – Aufbereitung 267  
   – Bakterien 266  
   – Desinfektion 275  
   – Grenzwerte für Substanzen 264  
   – Korrosion im System 278  
   – physikalisch-chemische Kenngrößen  
     265

- Qualität 264
- sensorische Kenngrößen 265
- Trinkwasserverordnung 264
- Trockensubstanz 312
- Tropfkörper 305
- Tropfkörperverfahren 289, 394
- Troposphäre 215
- Trübung 312
- Turmbiologie 302
- Turmfilter 390

## U

- Übereinkommen von Paris 170
- Übernutzung 6
- Überschussschlamm 311
- Überweidung 5
- Ultraschall 232
- Umlenkabscheider 348
- Umrechnung von Stoff- und Gehaltsgrößen 23, 53
- Umwelt 1, 98
- Umweltaspekte 117
- Umweltbeeinflussung
  - Erfassen 116
- Umweltbetriebsprüfung 132
- umweltbezogene Schwachstellen 117
- Umweltinformationsgesetz 140
- Umweltmanagement 114, 128
  - normatives 128
  - operatives 128
  - strategisches 128
  - Unternehmensorganisation 131
- Umweltmanagementsystem 117
- Umwelttoxine 107
- Umweltpolitik 129
- Umweltprobleme 1
- Umweltprogramme 130
- Umweltprüfung 130
- Umweltrecht 136
- Umweltrisikou
  - Abschätzung 99
- Umweltschonung 137
- Umweltschutz 137
  - Mindeststandards 115
- Umweltverträglichkeitsprüfung 139
- Umweltwärme 501
- Umweltziele 130

- unabhängige Variable 45
- Upcycling 439
- Uran 205
- Urban Mining 426
- UV-Licht 229
- UV-Strahlung 227, 250

## V

- Validierung 133
- Varianz 36
- Venturi-Wäscher 354
- Verbrennung 471
  - katalytische 374
  - thermische 374
- Vergärung 457
- Vergasung 471
- Verglasung 482
- Verpackungen, Verzicht 418
- Versäuerungs-Phase 307
- Versäuerungsstufe 466
- Vertrauensbereich 38
- Verursacherprinzip 137
- Verwertung
  - energetische 162
  - stoffliche 162
- Virialkoeffizient 17
- Viskosität 66
- Volumenänderungsarbeit 59
- Volumenanteil 21
- Volumendilatation 18
- Volumenkontraktion 18
- Volumenkonzentration 22, 54
- Vorfällung 292
- Vorrotte 319
- Vorsorgepflicht 156
- Vorsorgeprinzip 137

## W

- Wachstum, exponentielles 94
- Waldschädigung 222
- Walther-Verfahren 372
- Wärme 59
- Wärmenutzung
  - regenerative 377
  - rekuperative 377
- Wärmepumpe 494

Wärmerückgewinnung 372, 472  
Wärmespeichervermögen 200  
Waschturm 354  
Waschverfahren 329  
Wasser 63  
Wasserbedarf 176  
Wasserhaltekapazität 198, 200  
Wasserhaushaltsgesetz 146  
Wasserknappheit 4  
Wasserkraft 501, 516  
Wasserkreislauf 4, 178  
Wasserleitfähigkeitskoeffizient  
199  
Wasserstoffperoxid 277  
Wasserturbine 518  
Wasserverbrauch 176  
Wasserverschmutzung 176  
Wasservorkommen 176  
WEEE-II-Richtlinie 429  
Welthunger 7  
Weltklimakonferenz 170  
Wichtungsfaktor 253  
Windenergie 501  
Windgeschwindigkeit 520

Windkraft 519  
Wirbelschichtofen 474  
Wirbel-Wäscher 354  
Wirkungsabschätzung 127  
Wirkungsgrad 487  
- optischer 508  
Wirkungsgradmethode 502

## Z

Zahlenwert 9  
Zahlenwertgleichung 13  
Zehrstoffe 282  
Zement 432  
Zementverfestigung 483  
Zertifizierung 133  
Zink 205  
Zündgrenze 370  
Zündtemperatur 370  
Zustandsfunktion 16, 57  
Zustandsgröße 14, 57  
Zustandsgrößenänderung 57  
Zustandsvariable 14, 16  
Zyklon 477