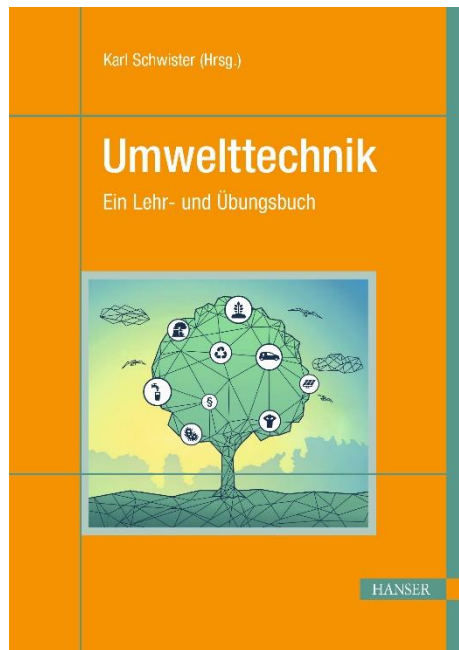


HANSER



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

Vorwort	V
1 Ursachen der Umweltprobleme	1
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
2 Physikalische Größen und Einheitensysteme	9
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
3	Statistische Grundbegriffe	27
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
4	Chemische Grundbegriffe	50
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
5	Mikrobiologische und biochemische Grundbegriffe	79
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
6	Umwelt und Gesundheit	98
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

7	Umweltmanagement	114
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
8	Einführung in das Umweltrecht	136
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
9	Wasserverschmutzung	176
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

10	Boden und anthropogene Einwirkungen	193
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
11	Luftverschmutzung	215
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
12	Lärm- und Strahlenbelastung	230
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
13	Trinkwasseraufbereitung	264
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
14	Kommunale Abwasserreinigung	280
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
15	Industrielle Abwasserreinigung	301
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
16	Schlammbehandlung	310
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
17	Sanierung von Altlasten	322
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
18	Thermische und mechanische Abgasreinigung	342
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_x -Reduktion	373
18.6	Flammen-, thermische und katalytische Verbrennung	374
18.7	Fragen	380
19	Biologische Abgasreinigung	383
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
20	Lärmschutz und Lärmvermeidung	399
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
21	Konzept zur Abfallvermeidung	414
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

22	Abfallrecycling	437
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
23	Deponieren von Abfällen	460
23.1	Grundlagen der Deponietechnik/Deponien für Siedlungsabfall	460
23.2	Deponiegas und Sickerwasser	466
24	Müllverbrennung	471
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
25	Energieeinsparung	484
25.1	Überblick	484
25.2	Wirtschaftlichkeit und Finanzierung	490
25.3	Wärmepumpen	494
25.4	Kraft-Wärme-Kopplung	497

26	Regenerative Energien	501
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
	Stichwortverzeichnis	529

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.

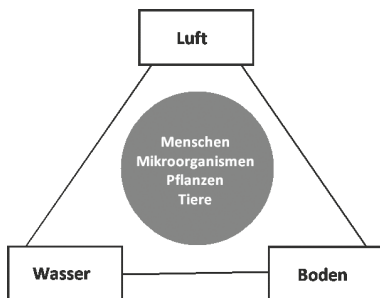


Bild 1.1
Hauptkomponenten der Umwelt

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 unbegrenztes 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 CO_2 aufgenommen werden und das zuvor von den Bäumen aufgenommene 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 CH_4 ist rund 25-mal klimaschädlicher als 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
 Arbeitsplatznoxe 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
 CO₂-Äquivalent 170
 CO₂-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
 Primärmineralien 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
Saprobienystem 189
Sauerstoffbedarf
– biochemischer (BSB) 188
– biologischer (BSB5) 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_x 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