

Karl Schwister (Hrsg.)

Umwelttechnik

Ein Lehr- und Übungsbuch



HANSER



Bleiben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Herausgeber:

Prof. Dr. rer. nat. Karl Schwister

Hochschule Düsseldorf, Professor für Chemie und Bioverfahrenstechnik

Die Autor:innen:

Prof. Dr.-Ing. Mario Adam (Kapitel 25, 26)

Hochschule Düsseldorf, Professor für nachhaltige Energiesysteme und Energieeffizienz

Prof. i. R. Dr.-Ing. Barbara Dietzsch (Kapitel 17, 18)

Beuth Hochschule für Technik Berlin

Dr. jur. Gernot-Rüdiger Engel (Kapitel 8)

Luther Rechtsanwaltsgesellschaft, Partner Practice Group Environment, Planning and Regulatory

Prof. i. R. Dr.-Ing. Wiljo Fleischhauer (Kapitel 18)

Hochschule Düsseldorf

Prof. Dr. rer. nat. Johanna Hopp (Kapitel 10, 23, 24)

Ernst-Abbe Hochschule Jena, Professorin für Umwelttechnik

Dipl.-Ing. Volker Leven (Kapitel 14, 19)

Hochschule Düsseldorf, wissenschaftlicher Mitarbeiter

Prof. Dr.-Ing. Frank-Joachim Möller (Kapitel 7)

Ernst-Abbe Hochschule Jena, Professor für Wirtschaftsingenieurwesen und betrieblicher Umweltschutz

Prof. Dr. med. Elke Ochsmann (Kapitel 6, 12)

Universität des Saarlandes, Direktorin Institut für Arbeitsmedizin und Public Health

Dr.-Ing. Peter Reiser (Kapitel 20)

Prof. Dr. rer. nat. Karl Schwister (Kapitel 1, 2, 3, 4, 5, 9, 11, 13, 14, 15, 16)

Hochschule Düsseldorf, Professor für Chemie und Bioverfahrenstechnik

Prof. Dr. rer. nat. Nadine Warkotsch (Kapitel 17, 18, 21, 22)

Technische Hochschule Augsburg, Professorin für Chemie

Karl Schwister (Hrsg.)

Umwelttechnik

Ein Lehr- und Übungsbuch

HANSER



Alle in diesem Buch enthaltenen Informationen wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt geprüft und getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Buch enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor(en, Herausgeber) und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Weise aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht.

Ebenso wenig übernehmen Autor(en, Herausgeber) und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, sind vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) – auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2023 Carl Hanser Verlag München

Internet: www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Dipl.-Ing. Natalia Silakova-Herzberg

Herstellung: le-tex publishing services, Leipzig

Covergestaltung: Max Kostopoulos

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Titelbild: © Max Kostopoulos

Satz: Eberl & Koesel Studio, Kempten

Druck und Bindung: CPI books GmbH, Leck

Printed in Germany

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

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

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.

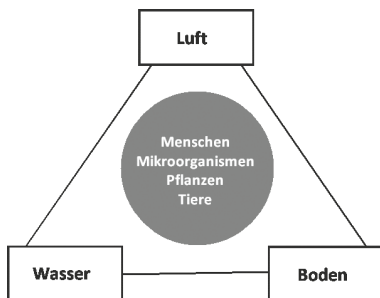


Bild 1.1
Hauptkomponenten der Umwelt

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 Einheitengleichungen. 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.