EUROPA-FACHBUCHREIHE
Umweltschutz und Umwelttechnik

Fachwissen Umwelttechnik

Bearbeitet von Lehrern, Biologen, Technikern und Ingenieuren an beruflichen Schulen, Fachschulen und Produktionsstätten

8. überarbeitete und erweiterte Auflage

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 34915

Autoren von Fachwissen Umwelttechnik:

Hartmut Fritsche	Dipl.-Ing. (FH)	Massen
Gregor Häberle	Dr.-Ing.	Tettnang
Verena Häberle	MSc ETH	Zürich
Elisabeth Heinz	Dr. rer.-nat., Privatdozentin	Dillingen Donau
Claus-Dieter Paul	Dipl.-Biol.	Frankfurt a. M.

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel GmbH & Co. KG, Ostfildern

Leiter des Arbeitskreises:

Dr.-Ing. Häberle, Tettnang

Diesem Buch wurden die neuesten Ausgaben der DIN-Blätter und der VDE-Bestimmungen zugrunde gelegt. Verbindlich sind jedoch nur die DIN-Blätter und VDE-Bestimmungen selbst.

Die DIN-Blätter können von der Beuth-Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, bezogen werden. Die VDE-Bestimmungen sind bei der VDE-Verlag GmbH, Bismarckstraße 33, 10625 Berlin, erhältlich.

8. Auflage 2023

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-8085-3538-7

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2023 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten, www.europa-lehrmittel.de

Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Erftstadt
Umschlag: braunwerbeagentur, Radevormwald unter Verwendung der Fotos von
© li-graphics – stock.adobe.com und © MEV Agency UG
Druck: LD Medienhaus GmbH & Co. KG, 44149 Dortmund, www.ld-medienhaus.de

Vorwort zur 8. Auflage
Preface to the 8th Edition

Die **Umwelt** und unser **Klima** sind die Grundlage für jede wirtschaftliche Tätigkeit. Arbeiten für die Umwelt und das Klima sowie mit der Umwelt sind Gegenstände der **Umwelttechnik**. Die nach politischen Entscheidungen oft entstehenden Herausforderungen für Lösungen erfordern **spezielle Umwelttechniken,** z. B. bei der **Energiewende** für den Stromtransport oder die Stromspeicherung. In Produktionsprozessen oder durch Gebrauch entstehende unvermeidbare Abfallstoffe werden in **modernen Verfahren der Umwelttechnik** zu Stoffen umgesetzt, die kein Gefährdungspotenzial darstellen und dazu noch wirtschaftlich von Nutzen sind. Ferner sind auch für die Umwelttechnik und den **Umwelt- und Klimaschutz** die Themen Industrie 4.0/5.0 und **Digitalisierung** von wesentlicher Bedeutung. Wichtige Berufe der Umwelttechnik sind:

- **Fachkraft für Kreislauf- und Abfallwirtschaft,**
- **Fachkraft für Abwassertechnik,**
- **Fachkraft für Wasserversorgung,**
- **Fachkraft für Rohr-, Kanal- und Industrieservice,**
- **Fachkraft für Umwelttechnik und Arbeitssicherheit sowie**
- **Fachkraft für Klimaschutz.**

Diesen Berufen liegen gemeinsame Kernqualifikationen zugrunde. Die Rahmenlehrpläne der Berufe sind nach **Lernfeldern** gegliedert, die in wesentlichen Teilen berufsübergreifend übereinstimmen.

Zielgruppen: Das vorliegende Lehrbuch **„Fachwissen Umwelttechnik“** richtet sich an Angehörige der genannten Berufe, und zwar für deren Grundausbildung zur Fachkraft, aber auch für deren Weiterbildung zum Techniker oder Meister. Darüber hinaus richtet sich das Buch an **umweltschutz-technische Assistenten** sowie an **Chemie- und Biologielaboranten,** die sich im Bereich der Umwelttechnik weiterbilden, ebenso an Schüler von Fachschulen und Technischen Gymnasien. **Studierenden der Umwelttechnik** an Hochschulen und Universitäten bietet das Buch eine verständliche Einführung in das vielschichtige Fachgebiet, auch unter Berücksichtigung klimatischer Auswirkungen.

Methodische Schwerpunkte des Buchs sind didaktische Reduktion bei der Beschreibung chemischer, physikalischer, biologischer und technischer Vorgänge, informationsreiche „farblich sprechende“ Bilder und Tabellen, zahlreiche Merksätze, Fragen zur Wiederholung und Vertiefung wie bei einem Prüfungsbuch sowie ein ausführliches Sachwortverzeichnis für das selbstorganisierte Lernen.

Die Bilder und Tabellen des Buchs sowie die Lösungen der im Buch gestellten Fragen und Aufgaben zur Wiederholung und Vertiefung sind über die **Europathek** abrufbar. Dies erleichtert das Lernen in der Gruppe und auch das Präsentieren der gewonnenen Erfahrungen.

Neu ins Buch der 8. Auflage wurden infolge der Weiterentwicklung der Umwelttechnik, des Klimaschutzes, der allgemeinen Technik sowie dem damit verbundenen Grundlagenwissen aufgenommen:

- Mobilitätskonzepte, elektrische Antriebe der Elektromobilität,
- Arten der Wasserstoffherstellung für Brennstoffzellen, Lithium-Ionen-Akkumulatoren,
- Temperatur, Wärme, Energiearten, Energieumwandlung, Wirkungsgrad, Arbeitsgrad,
- weitere Sensorelemente,
- Schutzarten elektrischer Betriebsmittel, Kennzeichnung explosionsgeschützter Betriebsmittel,
- wohnklimatische Grundlagen, Brennwerttechnik, Smart Home und Digitalisierung,
- Filterationstechniken und Partikelmessung bei Feinstaub.

Wir wünschen unseren Leserinnen und Lesern viel Erfolg und Freude bei ihrem Einstieg in die Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten der modernen Umwelttechnik. Hinweise und Ergänzungen, die zur Verbesserung und Weiterentwicklung des Buchs beitragen, nehmen wir gerne entgegen unter der Verlagsadresse oder per E-Mail an lektorat@europa-lehrmittel.de.

Winter 2022/2023 Autoren und Verlag

Inhaltsverzeichnis
Contents

1 Umwelttechnik, Umweltschutz, Klimaschutz ... 11
1.1 Umwelt ... 11
1.2 Arbeitsbereiche ... 11
1.3 Umweltkonzepte ... 13
1.4 Mobilitätskonzepte ... 15
1.5 Digitalisierung ... 16

2 Chemische und physikalische Grundlagen ... 17
2.1 Chemische Grundbegriffe ... 17
2.1.1 Aufbau der Atome ... 17
2.1.2 Chemische Bindungen ... 18
2.1.3 Anorganische Reaktionen ... 21
2.2 Wässrige Lösungen ... 23
2.2.1 Eigenschaften von Wasser ... 23
2.2.2 Wasser als Lösemittel ... 24
2.2.3 Konzentration von Lösungen ... 26
2.3 Organische Lösemittel ... 29
2.3.1 Lösungsvorgang ... 29
2.3.2 Eigenschaften organischer Lösemittel ... 30
2.3.3 Wichtige organische Lösemittel ... 32
2.4 Disperse Systeme ... 41
2.4.1 Grundbegriffe ... 41
2.4.2 Kolloide Lösungen ... 41
2.4.3 Besondere Eigenschaften kolloider Lösungen ... 42
2.5 Chemische Reaktionen ... 44
2.5.1 Reaktionswärme und Aktivierungsenergie 44
2.5.2 Reaktionsgeschwindigkeit ... 45
2.5.3 Chemisches Gleichgewicht ... 46
2.5.4 Ionenprodukt des Wassers und pH-Wert ... 47
2.6 Korrosion ... 49
2.6.1 Chemische Korrosion ... 49
2.6.2 Elektrochemische Korrosion ... 49
2.6.3 Korrosionsschutz ... 52
2.6.4 Mikrobiologisch induzierte Korrosion ... 54
2.7 Physikalische Grundbegriffe ... 56
2.7.1 Mechanische Größen ... 56
2.7.2 Elektrische Größen ... 58
2.7.3 Schaltung von Zweipolen ... 60
2.7.4 Strommessung, Spannungsmessung ... 62
2.7.5 Schaltzeichen, Schaltpläne ... 63
2.7.6 Generatorprinzip, Trafoprinzip ... 64
2.7.7 Stromwirkungen ... 65
2.7.8 Gefahren der Elektrizität ... 65
2.7.9 Kapazität und Induktivität ... 66
2.7.10 Transformatoren ... 67
2.7.11 Motorprinzip ... 68
2.7.12 Elektrochemische Stromquellen ... 69
2.7.13 Elektrolyse ... 75
2.7.14 Temperatur und Wärme ... 77
2.7.15 Energie, Energieumwandlung, Wirkungsgrad, Arbeitsgrad ... 79
2.7.16 Stromversorgungsnetz ... 81

3 Biologische Grundlagen ... 84
3.1 Struktur und Funktion von Zellen ... 84
3.1.1 Begriffe ... 84
3.1.2 Aufbau der Zellen ... 84
3.1.3 Zellteilung ... 91
3.1.4 Mutationen ... 92
3.1.5 Mutagene Faktoren ... 93
3.1.6 Mutationen und Krebs ... 94
3.2 Stoffwechselprozesse ... 95
3.2.1 ATP (Adenosintriphosphat) ... 95
3.2.2 Fotosynthese ... 96
3.2.3 Biologische Oxidation ... 97
3.2.4 Proteinbiosynthese ... 99
3.3 Einwirkung von Schadstoffen auf den Organismus ... 102
3.3.1 Schadstoffe ... 102
3.3.2 Verhalten von Schadstoffen im Organismus ... 103
3.3.3 Schadstoffwirkungen in Zellen ... 105
3.3.4 Grenzwerte von Schadstoffen ... 106
3.3.5 Grenzwerte für Gefahrstoffe am Arbeitsplatz ... 107
3.4 Mikroorganismen ... 108
3.4.1 Lebewesen des mikrobiologischen Bereichs ... 108
3.4.2 Vorkommen von Mikroorganismen ... 108
3.4.3 Bau und Lebensweise von Mikroorganismen ... 110
3.4.4 Lebensbedingungen von Mikroorganismen 115
3.4.5 Bedeutung der Mikroorganismen ... 116
3.4.6 Gefährdungen durch Mikroorganismen ... 117
3.4.7 Schutzimpfung und Hygienemaßnahmen ... 118
3.5 Ökologische Grundbegriffe ... 120
3.5.1 Kennzeichen ökologischer Systeme ... 120
3.5.2 Abiotische Umweltfaktoren ... 122
3.5.3 Biotische Umweltfaktoren ... 125
3.5.4 Ökologische Kreisläufe ... 126

4 Analytik ... 129
4.1 Aufgaben der chemischen Analytik ... 129
4.2 Analytische Schnelltests ... 130
4.3 Instrumentelle Analytik ... 133
4.3.1 Einführung ... 133
4.3.2 Probenahme und Probenvorbereitung ... 134
4.3.3 Verfahren der instrumentellen Analytik ... 135
4.3.4 Analysegeräte für spektroskopische Verfahren ... 136
4.3.5 Analysegeräte für chromatografische Verfahren ... 139
4.4 Klassische Verfahren der Umweltanalytik 143
4.4.1 Bestimmung des Phenolindex durch Fotometrie ... 143
4.4.2 Bestimmung des Ammonium-Stickstoffs durch Fotometrie ... 143
4.4.3 Bestimmung des Sulfatgehalts durch komplexometrische Titration ... 144
4.4.4 Bestimmung von Fluorid mit der ionensensitiven Elektrode ... 145
4.5 Sensorik ... 146
4.5.1 Sensor ... 146
4.5.2 Sensoren in Messanlagen ... 146
4.5.3 Elemente der Signalverarbeitung ... 147
4.5.4 Sensorelemente ... 148

5 Umweltrecht ... 154
5.1 Gesetzgebung ... 154
5.1.1 Gewaltenteilung ... 154
5.1.2 Entstehung von Gesetzen ... 155
5.2 Einführung in das Umweltrecht ... 157
5.2.1 Rechtliche Begriffe ... 157

5.2.2 Maßnahmen bei Verstößen gegen das Umweltrecht ... 158
5.2.3 Umwelthaftung ... 159

5.3 Gesetze und Verordnungen ... 161
5.3.1 Naturschutz und Landschaftspflege ... 161
5.3.2 Gewässerschutz ... 162
5.3.3 Immissionsschutz ... 167
5.3.4 Lichtimmissionen ... 174
5.3.5 Abfallrecht ... 175
5.3.6 Gefahrstoffe ... 180
5.3.7 Kennzeichnung von Gefahrstoffen nach GHS ... 181
5.3.8 Transporte ... 189
5.3.9 Biostoffverordnung ... 191
5.3.10 Pflanzenschutzgesetz ... 193
5.3.11 Gentechnikgesetz ... 193

5.4 Betriebsbeauftragte für Umweltschutz ... 195

5.5 Umwelthaftung, Umweltstrafrecht ... 197
5.5.1 Zivilrechtliche Haftung ... 197
5.5.2 Umweltstrafrecht, Ordnungswidrigkeitenrecht ... 198

6 Umwelt- und Klimabelastungen 199

6.1 Boden, Wasser, Luft ... 199
6.1.1 Bodenbelastungen ... 199
6.1.2 Wasserbelastungen ... 199
6.1.3 Luftbelastungen ... 201

6.2 Belastung durch Strahlung ... 206
6.2.1 Strahlungsarten ... 206
6.2.2 Elektrisches Feld ... 206
6.2.3 Magnetisches Feld ... 207
6.2.4 Elektromagnetische Felder ... 208
6.2.5 Elektrosmog ... 211
6.2.6 Sonnenstrahlung ... 213
6.2.7 Ionisierende Strahlen ... 214

6.3 Lärm ... 218
6.3.1 Schallwellen ... 218
6.3.2 Schalldruck ... 219
6.3.3 Lärmschutz ... 220

6.4 Arbeitsschutzbestimmungen ... 222
6.4.1 Gefahrenquellen ... 222
6.4.2 Vorschriften und Gesetze ... 223
6.4.3 Allgemeine Maßnahmen ... 224
6.4.4 Persönliche Schutzausrüstung und Atemschutzgeräte ... 225
6.4.5 Arbeiten in Anlagen der Abfalltechnik ... 230
6.4.6 Arbeiten in Anlagen der Abwassertechnik ... 232
6.4.7 Arbeiten bei Lärm und Vibrationen ... 235
6.4.8 Arbeiten in engen Räumen und Behältern ... 240
6.4.9 Arbeiten in elektrischen Anlagen ... 243
6.4.10 Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag ... 244
6.4.11 Elektrische Geräte anschließen ... 251
6.4.12 Schutzarten elektrischer Betriebsmittel ... 253
6.4.13 Arbeiten auf Baustellen ... 255
6.4.14 Arbeiten in Biogasanlagen ... 257
6.4.15 Arbeiten bei Umweltunfällen ... 259
6.4.16 Kennzeichnung für Sicherheit und Gesundheit ... 260

6.5 Einflüsse durch Industrie und Gewerbe ... 265
6.5.1 Metall verarbeitende Betriebe ... 265
6.5.2 Betriebe der elektrotechnischen Fertigung 268
6.5.3 Betriebe des Baugewerbes ... 271
6.5.4 Betriebe der Holzverarbeitung ... 273
6.5.5 Maler- und Lackiererhandwerk ... 275
6.5.6 Chemische Industrie ... 277
6.5.7 Papierindustrie ... 281
6.5.8 Gesundheitsbetriebe ... 284

6.6 Einflüsse durch Haushaltungen ... 286
6.6.1 Luftbelastungen ... 286
6.6.2 Abwasser ... 287
6.6.3 Siedlungsabfälle ... 288

6.7 Einflüsse durch die Landwirtschaft ... 289

6.8 Gründe des Klimawandels ... 292

7 Energieversorgung ... 295

7.1 Grundlagen der Stromerzeugung ... 295

7.2 Wasserkraftwerke ... 296
7.2.1 Laufkraftwerke ... 296
7.2.2 Speicherkraftwerke und Pumpspeicherkraftwerke ... 297
7.2.3 Gezeitenkraftwerke ... 297
7.2.4 Wellenkraftwerke ... 298

7.3 Windkraftwerke ... 298

7.4 Wärmekraftwerke ... 304
7.4.1 Effizienz der Stromerzeugung durch Wärmekraftwerke ... 304
7.4.2 Arten der Wärmekraftwerke ... 305
7.4.2.1 Verbrennungskraftwerke ... 305
7.4.2.2 Geothermische Kraftwerke ... 307
7.4.2.3 Solarthermische Kraftwerke ... 308
7.4.2.4 Kernkraftwerke (Atomkraftwerke) ... 308
7.4.3 Fracking ... 311

7.5 Stromtransport ... 312
7.5.1 Anlass und Mittel für den Stromtransport ... 312
7.5.2 Wirtschaftlicher Transport ... 312
7.5.3 Spannungstransformation ... 313
7.5.4 Drehstromnetze ... 313
7.5.5 Leitungsmaterial ... 314
7.5.6 Wirkungen der Netze auf die Umgebung ... 315
7.5.7 Hochspannungs-Gleichstrom-übertragung HGÜ ... 315
7.5.8 Regelung der Netzspannung ... 317
7.5.9 Regelung der Netzfrequenz ... 319
7.5.10 Intelligente Stromnetze (Smart Grids) ... 320

7.6 Nutzung der Solarenergie ... 322
7.6.1 Verteilung der Solarenergie ... 322
7.6.2 Solarthermie ... 322
7.6.3 Photovoltaik ... 325

7.7 Stromerzeugung mit Brennstoffzellen ... 328
7.7.1 Prinzip der Brennstoffzelle FC ... 328
7.7.2 Technische Ausführung der FC ... 328
7.7.3 Herstellung von Wasserstoffgas ... 329
7.7.4 Wirtschaftlichkeit der Brennstoffzellen ... 331

7.8 Ausgleich schwankender Stromerzeugung 332
7.8.1 Speichern elektrischer Energie ... 332
7.8.2 Ausgleich durch Pumpentechnik ... 332
7.8.3 Elektrochemische Verfahren ... 333
7.8.4 Weitere Ausgleichsverfahren ... 333

7.9 Erneuerbare-Energien-Gesetz ... 334
7.9.1 Ziel und Anwendungsbereich ... 334
7.9.2 Netzkosten ... 334
7.9.3 Vergütung für regenerative Energien ... 335
7.9.4 Netzanschluss von Eigenerzeugungsanlagen ... 336

7.10 Nutzung nachwachsender Rohstoffe ... 338
7.10.1 Nutzung der Biomasse ... 338
7.10.2 Kraftstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen ... 340
7.10.3 Biokraftstoffe der ersten Generation ... 341
7.10.4 Biokraftstoffe weiterer Generationen ... 343

7.11 Wärmepumpe ... 344
7.11.1 Kosten der Elektroenergie zum Heizen ... 344
7.11.2 Wirkungsweise der Wärmepumpe ... 344
7.11.3 Leistungszahl ... 345
7.11.4 Gewinnung des Wärmeträgers ... 345

7.12 Maßnahmen zur Energieeinsparung ... 347

7.12.1 Gebäudeenergiegesetz ... 347
7.12.2 Energiemanagement-Systeme (EnMS) ... 348
7.12.3 Energieausweis (Energiepass) ... 350
7.12.4 Energieeffizienzklassen ... 351
7.12.5 Wohnklimatische Grundlagen ... 353
7.12.6 Wärmedämmung ... 355
7.12.7 Kontrolliertes Lüften ... 358
7.12.8 Brennwerttechnik ... 359
7.12.9 Energieeffiziente Lichtquellen ... 360
7.12.10 Smart Home ... 362

8 Elektrische Antriebe, Elektromobilität ... 363

8.1 Elektromotoren ... 363
8.1.1 Leistungsschild ... 363
8.1.2 Arten von Elektromotoren ... 364
8.1.3 Drehmomente von Elektromotoren ... 366
8.1.4 Klemmenbretter von Elektromotoren ... 367
8.1.5 Anlassschaltungen ... 367
8.1.6 Energieffiziente Elektromotoren ... 370
8.1.7 Schütze ... 372

8.2 Elektromobilität ... 374
8.2.1 Hybridantriebe ... 374
8.2.2 Elektrische Antriebe ... 377
8.2.3 Stromversorgung von Elektrofahrzeugen ... 379

9 Umgang mit Umwelt- und Klimabelastungen ... 381

9.1 Vermeiden und Entsorgen ... 381
9.1.1 Vermeiden ... 381
9.1.2 Entsorgen ... 382

9.2 Wasserwirtschaft ... 384
9.2.1 Kreislauf des Wassers ... 384
9.2.2 Trinkwassergewinnung ... 385
9.2.3 Trinkwasseraufbereitung ... 386
9.2.4 Härte des Wassers ... 391
9.2.5 Einsparung von Wasser durch Kreisläufe ... 392
9.2.6 Abwassersammlung und Abwasserentsorgung ... 396
9.2.7 Mechanische Stufe der Kläranlage ... 398
9.2.8 Biologische Stufe der Kläranlage ... 400
9.2.9 Anaerobe Wasserreinigung ... 404
9.2.10 Vierte Reinigungsstufe ... 405
9.2.11 Klärschlammbehandlung ... 406

9.3 Abfallwirtschaft ... 407
9.3.1 Begriffe der Abfallwirtschaft ... 407
9.3.2 Sammelsysteme ... 409
9.3.3 Abfallbeförderung ... 412
9.3.4 Verfahren zur Abfallverwertung und Abfallbeseitigung ... 413
9.3.5 Abfallverwertung von Flüssigkeiten ... 414
9.3.6 Abfallverwertung von festen Stoffen ... 421
9.3.7 Biologische Behandlung von Abfall ... 433
9.3.8 Thermische Behandlung ... 440
9.3.9 Rauchgasentschwefelung im Regenerativ-Verfahren ... 451
9.3.10 Entstickung von Rauchgasen ... 451

9.4 Deponierung ... 452
9.4.1 Arten von Deponien ... 452
9.4.2 Oberirdische Deponie ... 452
9.4.3 Unterirdische Deponie ... 456
9.4.4 Deponiebetrieb ... 457
9.4.5 Abschluss der Deponie ... 457

9.5 Entsorgung radioaktiver Abfälle ... 458
9.5.1 Anfall von radioaktiven Abfällen ... 458
9.5.2 Entsorgungskonzept radioaktiver Abfälle ... 458
9.5.3 Zwischenlagerung ... 459
9.5.4 Endlagerung ... 460

9.6 Luftreinhaltung ... 461
9.6.1 Herkunft der Emissionen ... 461
9.6.2 Abscheidung von Partikeln ... 463
9.6.3 Abscheidung von Gasen ... 464

9.7 Behandlung von Altlasten ... 470
9.7.1 Auftreten von Altlasten ... 470
9.7.2 Erfassung der Altlasten ... 470
9.7.3 In-Site-Verfahren ... 471
9.7.4 Ex-Site-Verfahren ... 474

9.8 Schutz gegen Elektrosmog ... 478
9.8.1 Prinzipielle Maßnahmen ... 478
9.8.2 Schutz gegen hochfrequente EMIs ... 479
9.8.3 Schutz gegen niederfrequente EMIs ... 479

10 Rohrsysteme und Kanalsysteme ... 481

10.1 Grafische Symbole ... 481

10.2 Rohrsysteme ... 482
10.2.1 Anwendung von Rohrleitungen ... 482
10.2.2 Komponenten von Rohrleitungen ... 482
10.2.3 Inbetriebnahme und Betrieb ... 486
10.2.4 Kennzeichnung von Rohrleitungen ... 488

10.3 Kanalsysteme ... 489
10.3.1 Aufbau ... 489
10.3.2 Kanalreinigung ... 490
10.3.3 Orten von Rohren und Lecks ... 492

11 Betriebswirtschaft und IT-Einsatz ... 493

11.1 Umwelt-Ökonomie ... 493

11.2 Umwelt-, Klimaschutz-Audit ... 496

11.3 IT-Arbeitsplatz ... 498
11.3.1 Komponenten ... 498
11.3.2 Ergonomische Gestaltung ... 499

11.4 Vernetzte Computer ... 500
11.4.1 Lokales IT-Netzwerk ... 500
11.4.2 Internet ... 501

11.5 Programme für den Anwender ... 502
11.5.1 Tabellenkalkulation ... 502
11.5.2 Datenbanksysteme ... 504
11.5.3 Anwendungsprogramme ... 507

11.6 Schutz vor Datenmissbrauch, Datenbeschädigung ... 511

11.7 Industrielle Computernutzung ... 513
11.7.1 Kleinsteuerung LOGO! ... 513
11.7.2 Industrie-PC ... 515
11.7.3 Feldbussysteme ... 516
11.7.4 Regelungstechnik ... 518

12 Anhang ... 521

12.1 H-Sätze und P-Sätze ... 521

12.2 Glossar ... 525

12.3 Periodensystem, chemische Bindung ... 534

12.4 Symbole der Verfahrenstechnik ... 535

12.5 Symbole der Elektrotechnik ... 536

12.6 ATEX-Kennzeichnung explosionsgeschützter Betriebsmittel ... 537

12.7 Organisationsformen in Unternehmen ... 538

12.8 Arbeiten im Team ... 539

12.9 Präsentation durch Vortrag ... 540

12.10 Normen ... 541

Fachliches Englisch ... 542

Sachwortverzeichnis ... 550

Bildquellenverzeichnis ... 559

Firmen und Dienststellen ... 560

Auskunftsstellen zum Umwelt- und Klimaschutz
Information Offices for Pollution and Climate Control

Außer den aufgeführten Dienststellen können auch die meisten Landratsämter und Bürgermeisterämter Auskünfte erteilen.

Aktionsgemeinschaft Umwelt, Gesundheit, Ernährung e.V.
Reimertswiete 22
20457 Hamburg

Bayerisches Institut für Angewandte Umweltforschung und -technik GmbH
Am mittleren Moos 46 B
86167 Augsburg

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz
Rosenkavalierplatz 2
81925 München

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
Lazarettstr. 67
80636 München

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V.
Am Hubland
97074 Würzburg

Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemischen Industrie
Kurfürsten-Anlage 62
69115 Heidelberg

Bremer Umweltinstitut Gesellschaft für Schadstoffanalytik und Begutachtung mbH
Fahrenheitstr. 1
28359 Bremen

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.
Im Rheingarten 7
53225 Bonn

Bundesamt für Naturschutz
Konstantinstr. 110
53179 Bonn

Bundesanstalt für Strahlenschutz
Willy-Brandt-Straße 5
38226 Salzgitter

Bundesamt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Friedrich-Henkel-Weg 1-25
44149 Dortmund

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
Stresemannstr. 128
10117 Berlin

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
11019 Berlin

Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V.
Kochstr. 6
10969 Berlin

Bundesverband Altöl e.V.
Von-der-Heydt-Str. 2
10785 Berlin

Bundesverband der Deutschen Entsorgungswirtschaft e.V.
Schönhauserstr. 3
50968 Köln

Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie e.V.
Frankfurter Str. 720–726
51145 Köln

Bundesverband Energie, Umwelt, Feuerungen e.V.
Birkenwaldstr. 163
70191 Stuttgart

Bundesverband Erneuerbare Energie e.V.
EUREF-Campus 16
10829 Berlin

Bundesverband Gesundes Bauen und Wohnen e.V.
Postfach 1543
38005 Braunschweig

Bundesverband für Umweltberatung e.V.
Frankfurter Str. 87
97082 Würzburg

Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling u. Entsorgungsunternehmen e.V.
Berliner Allee 57
40212 Düsseldorf

Deutsch-Brasilianische Industrie- und Handelskammer
Ricardo E. Rose
Umwelt-Area-Manager
Rua Verbo Divino 1488
04719-904 São Paulo
Brasil
www.ahkbrasil.com

Deutsche Bundesstiftung Umwelt
An der Bornau 2
49090 Osnabrück

Deutsche Gesellschaft für Abfallwirtschaft e.V.
Nieritzweg 23
14165 Berlin

Deutsche Klimastiftung
Am Längengrad 8
27568 Bremerhafen

Deutsche Stiftung für Umweltpolitik
Godesberger Allee 108
53175 Bonn

Deutscher Fachverband für Luft- und Wasserhygiene e.V.
Marburgerstr. 3
10789 Berlin

Deutsches Windenergie-Institut
Ebertstr. 96
26382 Wilhelmshaven

Deutsche Wirtschaft in Shanghai
Katja Hellkötter
Umwelt-Area-Managerin China
29/F Pos plaza
480 Pudian Road – Pudong
Shanghai 200122
China
www.china.ahk.de

Deutsch-Indische Handelskammer
Dr. Ganesh Shankar
Umwelt-Area-Manager Indien
P.O. Box 11092
Bombay 400020
India
www.indo-german.com

Deutsch-Indonesische Industrie- und Handelskammer
Jan Roennfeld
Umwelt-Area-Manager Indonesien
P.O. Box 3151
Jakarta 10310
Indonesien
www.germancentre.co.id
www.io.com/ekonid

Deutsch-Tschechische Industrie- und Handelskammer
Hanna Potuckva
Vaclavske Namesti 40
11000 Praha 1
Czech Republic

Ionenbindung

Atome der Elemente mit wenigen Außenelektronen, das sind die im Periodensystem links stehenden Metalle, können ein Außenelektron oder mehrere Außenelektronen an Atome der Elemente mit vielen Außenelektronen abgeben, d.h. an die Nichtmetalle im Periodensystem rechts. Ein Natriumatom Na kann z.B. sein Außenelektron an die Außenschale eines Chloratoms Cl liefern. Durch diesen **Elektronenübergang** entstehen ein positives Na^+-Ion Kation und ein negatives Cl^--Ion Anion **(Bild 2, vorhergehende Seite)**.

> Durch Elektronenübergang von einem Atom zum anderen entstehen positiv geladene Ionen und negativ geladene Ionen.

Beide Ionen erreichen auf diese Weise die besonders stabilen Achterschalen (Elektronenoktette). Zwischen den beiden Ionenarten wirken elektrostatische Anziehungskräfte, die nach allen Richtungen des Raums ausgehen und zur Entstehung eines Ionenkristalls führen können **(Bild 1)**. Ein Ionenkristall leitet den elektrischen Strom nicht, weil die Ionen fest an ihren Platz gebunden sind.

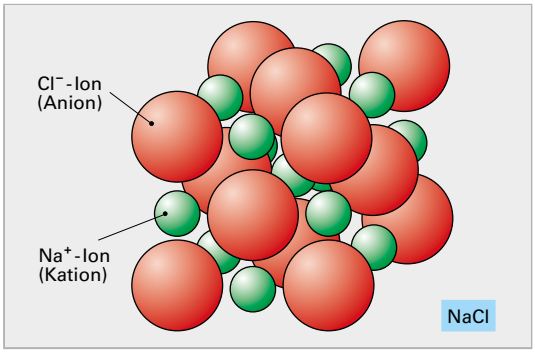

Bild 1: Ionenkristall von Natriumchlorid

Atombindung

Bei der Atombindung nähern sich gleiche oder ähnliche Atome so weit, dass sich die äußeren Elektronenschalen überlappen. Dadurch bilden sich *gemeinsame Elektronenpaare* **(Bild 2)**. Die Atombindung nennt man deshalb auch **Elektronenpaarbindung**. Im Überlappungsbereich sind beide Elektronen etwa gleich weit von beiden Atomkernen entfernt und werden fast gleich stark von beiden Kernen angezogen. Das Elektronenpaar gehört also beiden Atomen gemeinsam an.

> Atombindungen treten nur zwischen Nichtmetall-Atomen auf.

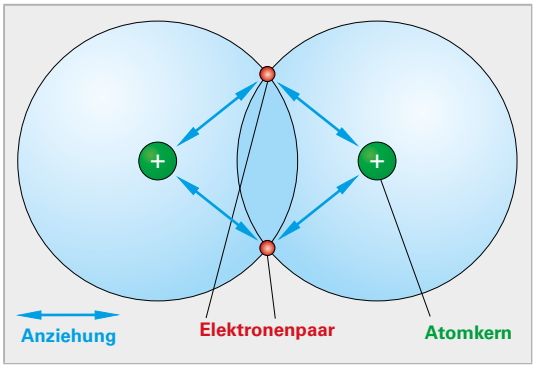

Bild 2: Gemeinsames Elektronenpaar der Atombindung

Eine Atombindung kann man durch einen Strich darstellen, z.B. Cl-Cl. Der Strich ersetzt dabei ein bindendes Elektronenpaar. Die Doppelbindung (zwei Elektronenpaare) wird durch zwei parallele Striche angezeigt, z.B. O=O, und die Dreifachbindung durch drei wie in N≡N.

Polarisierte Atombindung

Atome gleicher Art, z.B. Chlormoleküle Cl_2, können *reine* Atombindungen aufbauen. Bei Molekülen aus verschiedenen Atomen zieht der Kern des stärker elektronegativen Elements das gemeinsame Elektronenpaar näher zu sich heran, z.B. im Chlorwasserstoffmolekül HCl der Kern des Chloratoms das gemeinsame Elektronenpaar mit dem Wasserstoffatom **(Bild 3)**. Dadurch entsteht zwischen den beteiligten Atomen eine unsymmetrische Ladungsverteilung. Das Cl-Atom bekommt eine negative Teilladung δ^- (δ griech. Kleinbuchstabe Delta) und das H-Atom eine positive Teil-

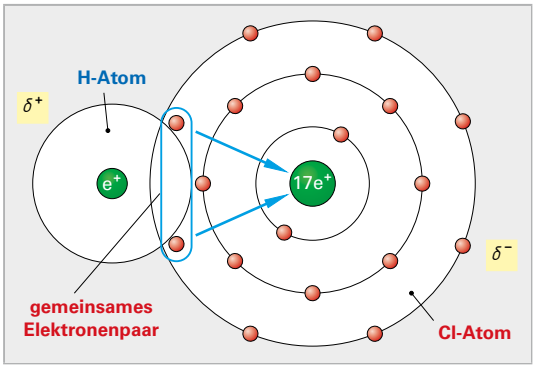

Bild 3: Polarisierte Atombindung beim HCl-Molekül

2.6.4 Mikrobiologisch induzierte Korrosion

Durch Mikroorganismen, insbesondere Bakterien, mikroskopisch kleine Pilze, Algen und Flechten, können fast alle Werkstoffe verändert und sogar zerstört werden **(Bild 1)**. Das bezeichnet man als mikrobiologisch induzierte (lat. inducere = herbeiführen) Korrosion bzw. als mikrobielle Korrosion. Nach Schätzungen sind bei bis zu 20 % aller Korrosionsschäden Mikroorganismen beteiligt.

Anorganische Werkstoffe	Metallische Werkstoffe	Organische Werkstoffe
• Naturstein	• Eisenmetalle	• Kunststoffe
• Beton	• Nichteisenmetalle	• Holz, Papier
• Keramik		• Gummi
• Glas		• Farben

Bild 1: Beispiele für durch mikrobiologisch induzierte Korrosion gefährdete Werkstoffe

Biofilme

Eine Voraussetzung für die mikrobiologisch induzierte Korrosion ist die Besiedelung der Werkstoffoberfläche durch Mikroorganismen in Form von aufwachsenden festhaftenden Belägen, die als **Biofilme** bezeichnet werden **(Bild 2)**. Die sich vermehrenden Mikroorganismen unterschiedlichster Arten sind dabei in eine selbst produzierte schleimige Grundmasse aus Kohlenhydraten, aber auch Eiweißen und Fetten, eingebettet, die sie sowohl einige Zeit vor dem Austrocknen als auch vor dem Wegschwemmen schützen kann. Biofilme sind eine natürliche Erscheinung. Mehr als 90 % aller Mikroorganismen wachsen angeheftet an eine Unterlage.

Bild 2: Biofilm an einem Wärmeaustauscher

Allein das Vorhandensein von Biofilmen führt bei technischen Anlagen zu Problemen. So werden z. B. bei Wärmeaustauschern der Wärmedurchgang erschwert und der Strömungswiderstand teilweise drastisch erhöht **(Bild 3)**. Bei Anlagen der Nahrungsmittelindustrie können Biofilme dazu führen, dass das hergestellte Produkt mit Mikroorganismen kontaminiert ist.

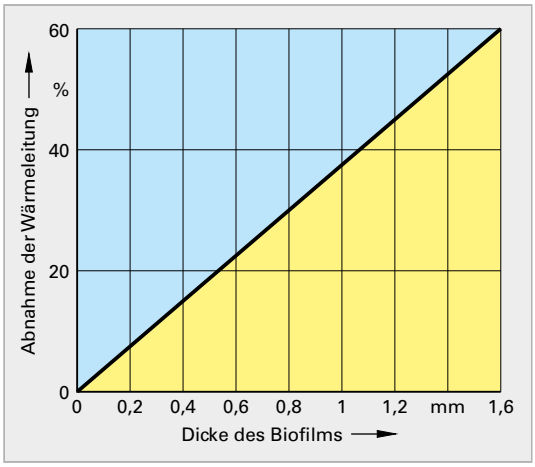

Bild 3: Verringerung der Wärmeleitung durch einen Biofilm

Mikrobiologisch induzierte Korrosion von organischen Werkstoffen

Besonders leicht werden organische Stoffe durch mikrobiologisch induzierte Korrosion verändert und unbrauchbar gemacht. Hier stellen die Werkstoffe die Nahrung für die Mikroorganismen dar und dienen zur Bildung von Zellmasse und Stoffwechselenergie. Der Pilzbefall von Holz ist berüchtigt. Auch Schäden an Pappe und Papier, an Textilien und Gummi zeigen die korrosive Tätigkeit von Pilzen und Bakterien. Technische Fette, Schmier- und Kühlmittel sowie Treibstoffe können von Mikroorganismen befallen und damit zumindest verunreinigt werden, vor allem wenn sie mit Kondenswasser in Berührung kommen.

Kunststoffe wie Polyamid, Polyethylen, Polyvinylchlorid oder Polyurethan sind häufig außerordentlich chemikalienbeständig, werden aber nicht immer von Mikroorganismen verschont, können korrodieren und dadurch unbrauchbar werden. Mehr als 250 Kunststoffe abbauende Bakterienarten sind bisher bekannt.

Gerade das Problem der mikrobiologisch induzierten Korrosion zeigt aber, wie schwierig es im Einzelfall sein kann, die Forderungen des Umwelt-

Die in Schaltungen eingetragenen Stromrichtungen und Spannungsrichtungen sind nicht unbedingt identisch mit der tatsächlichen Stromrichtung bzw. Spannungsrichtung. Derartige **Bezugspfeile** geben die Richtung an, in welcher man den Strom oder die Spannung als positiv bezeichnet **(Bild 2)**. Ist der Zahlenwert der Größe negativ, dann ist die Richtung entgegengesetzt (Bild 2).

Diese Bezugspfeile verwendet man auch bei Wechselstrom **(Bild 3)**. Fließt der Strom kurzzeitig in die Richtung des Bezugspfeils, dann bezeichnet man ihn als positiv und gibt bei Zahlenangaben einen positiven Wert an.

Elektrischer Widerstand

Die Ladungsträger, aus denen der Strom besteht, bewegen sich in der Leitung sowie in den Verbrauchsmitteln durch die Atome hindurch. Dadurch entsteht ein *elektrischer Widerstand*. Die Stromstärke ist umso größer, je größer die Spannung und je kleiner der elektrische Widerstand ist.

Ohm'sches Gesetz

Das nach dem deutschen Physiker Ohm benannte Ohm'sche Gesetz (oder ohmsche Gesetz) beschreibt den Zusammenhang der Größen Stromstärke, Spannung und Widerstand.

Merkformel

$$I = \frac{U}{R} \quad (1) \qquad R = \frac{U}{I} \quad (2) \qquad U = R \cdot I \quad (3)$$

I Stromstärke U Spannung R Widerstand

und $[R] = [U] : [I] = \mathbf{V/A} = \mathbf{\Omega}$

Für die Einheit V/A des elektrischen Widerstandes wird der nach dem deutschen Physiker benannte Einheitenname Ohm, Kurzzeichen Ω, verwendet. Ω ist der griech. Großbuchstabe Omega, wird hier aber ausgesprochen als „Ohm". Der Kehrwert des Widerstandes *R* wird als *Leitwert G* bezeichnet.

Leitwert

$$G = \frac{1}{R} \quad (4) \qquad \text{und } [G] = [1] : [R] = 1/\Omega = \mathbf{S}$$

An Stelle von 1/Ω verwendet man in Deutschland den nach dem deutschen Ingenieur genannten Einheitennamen Siemens mit dem Einheitenzeichen S.

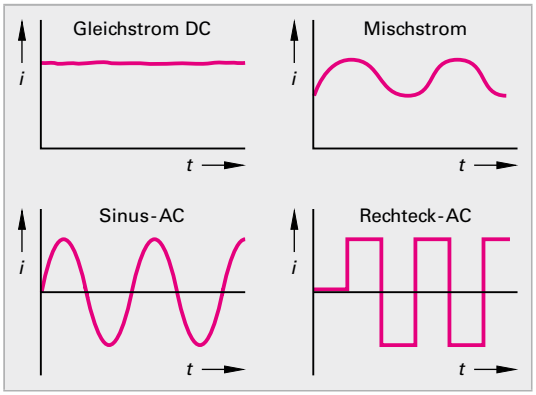

Bild 1: Stromarten

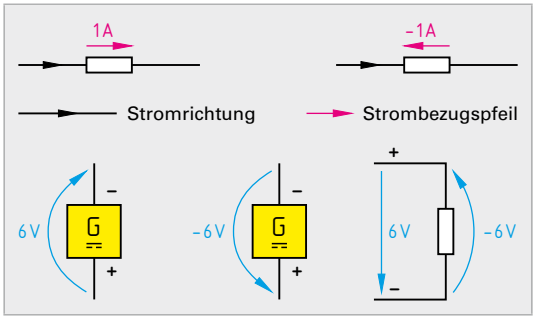

Bild 2: Bezugspfeile für Stromstärke und Spannung

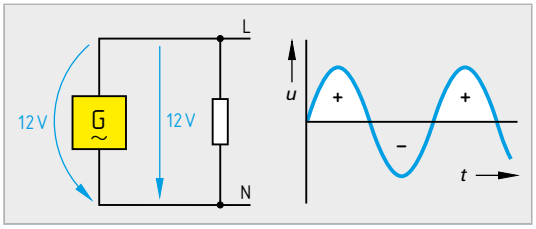

Bild 3: Bezugspfeile in einem AC-Stromkreis

2.7.3 Schaltung von Zweipolen

Als Zweipole bezeichnet man elektrische Betriebsmittel, die zwei Anschlüsse (Pole) haben, z. B. Widerstände, Batterien, Spulen oder Kondensatoren.

Reihenschaltung nennt man eine Schaltung von mehreren Zweipolen, bei denen der 2. Pol eines Zweipols mit dem 1. Pol des folgenden verbunden ist **(Bild 1, folgende Seite)**. Dann fließt durch alle Zweipole derselbe Strom.

> In der Reihenschaltung ist der Strom überall gleich.

Parallelschaltung nennt man die Schaltung von mehreren Zweipolen, wenn einerseits die einen

Tabelle 1: Farben und Umschlagbereich von Indikatoren

Indikator	Umschlagbereich pH	Farbwechsel
Brillantgrün	0,0 … 2,6	gelb – grün
Kresolrot	0,2 … 1,8	rot – gelb
Thymolblau	1,2 … 2,8	rot – gelb
Bromkresolgrün	3,8 … 5,4	gelb – blau
Lackmus	5,0 … 8,0	rot – blau
Thymolblau	8,0 … 9,6	gelb – blau
Titangelb	12,0 … 13,0	gelb – rot

dikator zeigt durch Farbumschlag den Endpunkt der chemischen Reaktion zwischen Reagenz und zu bestimmendem Stoff an **(Tabelle 1)**. Aus dem Volumen und der Konzentration der verbrauchten Maßlösung wird die Konzentration des gesuchten Stoffs ermittelt. Werden Titrierpipetten verwendet, ist die gesuchte Konzentration direkt auf der Pipettenskale abzulesen **(Bild 1)**.

> Titrimetrische Verfahren beruhen auf chemischen Reaktionen, die schnell und quantitativ verlaufen sowie stöchiometrisch eindeutig sind.

Titrimetrische Schnelltests werden z. B. zur Ermittlung der Acidität, der Alkalität, des Calciumgehalts, der Carbonathärte, der Gesamthärte, der Chlorid- oder Sulfit-Ionenkonzentration sowie des Sauerstoffgehalts einer Probenlösung verwendet.

Kolorimetrische Verfahren. Bei der *Kolorimetrie* (lat. colorare = färben) erfolgt die Konzentrationsbestimmung anhand einer Farbreaktion. Der Aggregatzustand der zu analysierenden Probe und die angestrebte Nachweisempfindlichkeit bestimmen die anzuwendende Testmethode.

Die Durchführung von Gasanalysen erfolgt mithilfe von *Prüfröhrchen-Mess-Systemen.* Jedes Prüfröhrchen besteht aus einer Glashülse, die abhängig vom nachzuweisenden Stoff mit einem spezifischen Reaktionssystem ausgestattet ist **(Bild 2)**. Die Glashülsen sind an den Enden zugeschmolzen. Dadurch hat das Analyseverfahren unter gleichen Bedingungen immer das gleiche Ergebnis. Unmittelbar vor Durchführung einer Messung wird das Prüfröhrchen an den Enden geöffnet und auf eine Balgpumpe gesteckt. Nach Freigabe des zusammengedrückten Balges läuft der Saugvorgang selbsttätig ab und eine genau festgelegte Gasmenge strömt durch das Prüfröhrchen.

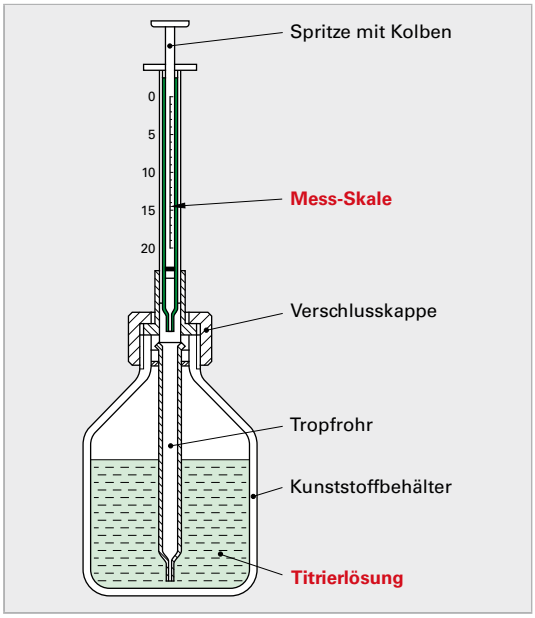

Bild 1: Titrierpipette mit Behälter zur Bestimmung der Gesamthärte

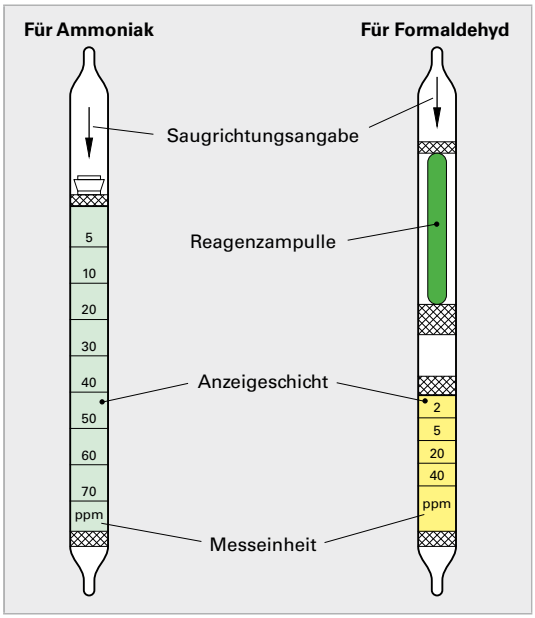

Bild 2: Prüfröhrchen

> Prüfröhrchen sind auf das Fördervolumen und den zeitlichen Verlauf des Volumenstromes abgestimmt.

Ionenchromatografie-Anlage (IC-Anlage)

Für die instrumentelle Umweltanalytik in den Bereichen Boden, Wasser und Luft hat die *Ionenchromatografie IC* als eigenständiges HPLC-Verfahren eine herausragende Bedeutung erlangt.

Dabei ist die Bestimmung *anorganischer Anionen* im Trinkwasser zur Kontrolle der Grenzwerte nach der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) eine der wichtigsten Anwendungen der IC. Nach DIN EN ISO 10304-1 werden die Konzentrationen der gelösten Anionen Bromid (Br^-), Chlorid (Cl^-), Fluorid (F^-), Nitrit (NO_2^-), Nitrat (NO_3^-), Phosphat (PO_4^{3-}) und Sulfat (SO_4^{2-}) auf diese Weise ermittelt. Diese Methode gilt auch für die Bestimmung dieser Ionen im Grundwasser, Oberflächenwasser Abwasser, Sickerwasser und Meerwasser **(Tabelle 1)**.

Die gleichzeitige Bestimmung wichtiger *anorganischen Kationen* wie Ammonium (NH_4^+), Calcium (Ca_2^+), Kalium (K^+), Magnesium (Mg_2^+) und Natrium (Na^+) beispielsweise in Trink-, Oberflächen- oder Mineralwasser lässt sich ebenfalls schnell mittels Ionenchromatografie durchführen **(Bild 1)**.

Prinzipiell lassen sich Ionen mit diesem Verfahren auch in Aerosolen und Stäuben nachweisen und bestimmen.

> Mit der Ionenchromatografie können umweltrelevante Ionen in wässrigen Lösungen qualitativ und quantitativ bestimmt werden.

Praktisch erfolgt die Ionenchromatografie in einem *Ionenchromatografen*, dessen prinzipieller Aufbau dem einer HPLC-Anlage entspricht **(Bild 1, vorhergehende Seite)**.

Das Kernstück der IC-Anlage ist die Trennsäule, die je nach zu trennenden Ionen als Anionenaustauschersäule mit positiv geladener stationärer Phase oder als Kationenaustauschersäule mit negativ geladener stationärer Phase ausgeführt ist.

Die sich in einem wässrigen Lösemittel befindliche Probe mit den zu trennenden Ionen wird auf die Trennsäule aufgegeben und mittels der Hochdruckpumpe durch sie hindurch befördert. Dabei treten die Ionen, abhängig von ihrer Größe und Ladungsstärke, mit der entgegengesetzt geladenen stationären Phase der Trennsäule in verschieden starke Wechselwirkungen, was den Transport durch die Säule entsprechend behindert und zu unterschiedlichen ionenspezifischen Retentionszeiten führt **(Tabelle 2)**.

Tabelle 1: Mit IC bestimmbare Stoffe (Beispiele)

Umweltbereich Wasser, Boden, Luft	
Anionen:	Bromid, Chlorid, Fluorid, Nitrit, Nitrat, Phosphat, Sulfat
Kationen:	Ammonium, Kalium, Calzium, Magnesium, Natrium

Bild 1: Ionenchromatografie-Anlage (IC-Anlage)

Tabelle 2: Typische Reihenfolge der Retentionszeiten bei der IC (Beispiele)

Anionen:	Fluorid ▸ Chlorid ▸ Nitrit ▸ Phosphat ▸ Bromid ▸ Nitrat ▸ Sulfat
Kationen:	Natrium ▸ Kalium ▸ Calcium ▸ Magnesium

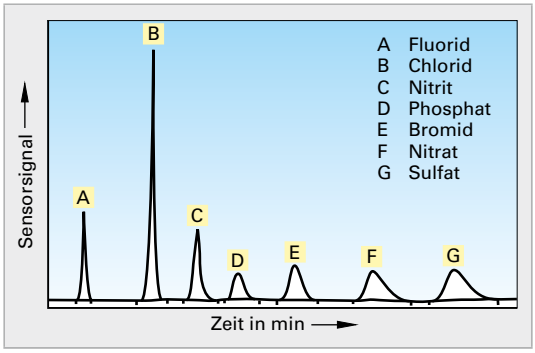

Bild 2: Chromatogramm eines Teststandards für Anionen

Am Säulenende registriert ein Leitfähigkeits-Sensor in einem Chromatogramm die elektrische Leitfähigkeit der die Säule zeitverzögert einzeln verlassenden Ionen als Stoffpeaks **(Bild 2)**. Die Größe der jeweiligen Peakflächen ist dabei proportional der Ionenkonzentration in der aufgegebenen Probe.

5.2.2 Maßnahmen bei Verstößen gegen das Umweltrecht

Bei Verstößen gegen das Umweltrecht werden gegen den Verursacher von der Exekutive strafende Maßnahmen eingeleitet.

Umweltstrafrecht

Das Umweltstrafrecht wird bei Vergehen gegen das Umweltrecht angewendet **(Bild 1)**. Die Strafen können dabei immer nur gegen natürliche Personen, also Menschen, ausgesprochen werden, nicht gegen juristische Personen, z. B. nicht gegen eine GmbH.

> Nach dem Strafrecht können nur natürliche Personen ab 14 Jahren belangt werden.

Die strafbaren Handlungen des Umweltrechts sind im Strafgesetzbuch StGB aufgeführt, insbesondere in den §§ 324 bis 330. Die Strafen reichen bei Vorsatz meist bis zu fünf Jahren Freiheitsentzug oder entsprechenden Geldstrafen, bei Fahrlässigkeit bis zu drei Jahren.

Strafbar sind Gewässerverunreinigung, Bodenverunreinigung und Luftverunreinigung, aber auch Verursachen von Lärm, von Erschütterungen und von nicht ionisierenden Strahlen, umweltgefährdende Abfallbeseitigung, unerlaubtes Betreiben von Anlagen, unerlaubter Umgang mit gefährlichen Stoffen und Gütern sowie Gefährdung schutzbedürftiger Gebiete **(Bild 2)**.

Eine Bestrafung kann nur bei einem Verschulden der betreffenden natürlichen Person erfolgen. Allerdings gilt in Unternehmen das Prinzip der Allzuständigkeit der Geschäftsleitung. Deren Mitglieder können also auch bestraft werden, wenn ihnen die Verletzung der Aufsichtspflicht vorgeworfen werden kann. Wichtig bei der Delegation von Aufgaben des Umweltschutzes sind daher

- Nachweis der Qualifikation des Beauftragten,
- schriftliche Arbeitsanweisungen und
- Dokumentation durchgeführter Kontrollen.

Recht der Ordnungswidrigkeiten

Ordnungswidrigkeiten aus dem Bereich des Umweltschutzes sind in zahlreichen Einzelgesetzen zum Umweltschutz enthalten, z. B. im Wasserhaushaltsgesetz. Das Ordnungswidrigkeitengesetz sieht keine Strafen vor, sondern Geldbußen.

Achtundzwanzigster Abschnitt, Straftaten gegen die Umwelt.

§ 324. Gewässerverunreinigung. (1) Wer unbefugt ein Gewässer verunreinigt oder sonst dessen Eigenschaften nachteilig verändert, wird mit Freiheitsstrafe bis zu fünf Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

(2) Der Versuch ist strafbar.

(3) Handelt der Täter fahrlässig, so ist die Strafe Freiheitsstrafe bis zu drei Jahren oder Geldstrafe.

Bild 1: Strafandrohung des StGB für Gewässerverunreinigung

§ 325 a. Verursachen von Lärm, Erschütterung und nichtionisierenden Strahlen. (1) Wer beim Betrieb einer Anlage, insbesondere einer Betriebsstätte oder Maschine, unter Verletzung verwaltungsrechtlicher Pflichten Lärm verursacht, der geeignet ist, außerhalb des zur Anlage gehörenden Bereichs die Gesundheit eines anderen zu schädigen, wird mit Freiheitsstrafe bis zu drei Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

(2) Wer beim Betrieb einer Anlage, insbesondere einer Betriebsstätte oder Maschine, unter Verletzung verwaltungsrechtlicher Pflichten, die dem Schutz vor Lärm, Erschütterung oder nichtionisierenden Strahlen dienen, die Gesundheit eines anderen, ihm nicht gehörende Tiere oder fremde Sachen von bedeutendem Wert gefährdet, wird mit Freiheitsstrafe bis zu fünf Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

(3) Handelt der Täter fahrlässig, so ist die Strafe

1. in den Fällen des Absatzes 1 Freiheitsstrafe bis zu zwei Jahren oder Geldstrafe,
2. in den Fällen des Absatzes 2 Freiheitsstrafe bis zu drei Jahren oder Geldstrafe.

(4) Die Absätze 1 bis 3 gelten nicht für Kraftfahrzeuge, Schienen-, Luft- oder Wasserfahrzeuge.

Bild 2: Auszug aus dem StGB

Geldbußen können auch juristische Personen, z. B. eine Aktiengesellschaft, treffen.

> Geldbußen können bei Ordnungswidrigkeiten natürlichen und juristischen Personen auferlegt werden.

Sowohl bei den Vergehen nach dem Strafgesetzbuch wie auch bei Ordnungswidrigkeiten nach den verschiedenen Umweltgesetzen wird bisher keine Beweislastumkehr angewendet. Der Staatsanwalt muss also dem Angeklagten seine Schuld nachweisen.

Natürliches Oberflächenwasser (Seewasser und Flusswasser) und Grundwasser (Quell- und Brunnenwasser) enthalten neben gelösten Gasen (O_2, N_2, CO_2) vor allem Salze und organische Verbindungen, die aus Böden oder Gesteinen herausgelöst oder durch Abwässer eingeleitet wurden. Die häufigsten mineralischen Bestandteile sind die Salze von Calcium und Magnesium (Härtebildner), meist Hydrogencarbonate, Chloride und Sulfate.

Die **elektrische Leitfähigkeit** des Wassers in $1/(\Omega \cdot m)$ ist ein Maß für den Gehalt an Ionen im Wasser. Bei konstantem ph-Wert eignen sich Leitfähigkeitsmessungen zum schnellen Ermitteln zeitlicher und räumlicher Änderungen im Salzgehalt, z. B. bei Abwassereinleitungen. Der natürliche **Chlorid-Gehalt** des Wassers liegt unter 20 mg/L. Industrielle und häusliche Abwassereinleitungen sowie gelöstes Streusalz von Straßen können die Chloridwerte so erhöhen, dass die Gewässerflora (Flora = Pflanzenwelt) und die Wasserfauna (Fauna = Tierwelt) beeinträchtigt werden. Konzentrationen über 200 mg/L schaffen Probleme für die Landwirtschaft und für die Trinkwasserversorgung.

Aus der Atmosphäre gelangt **Sauerstoff** in das Wasser. Davon kann Wasser umso mehr aufnehmen, je größer die Wasseroberfläche ist, je mehr Wasserturbulenzen (von lat. turbulentus = unruhig, stürmisch) es gibt, je kräftiger die Luftbewegung, je niedriger die Wassertemperatur und je geringer der Sättigungsgrad (mit Sauerstoff) ist. Auch die Fotosynthese der Wasserpflanzen setzt Sauerstoff frei. Andererseits verbraucht der Abbau organischer Stoffe durch Mikroorganismen im Wasser sowie die Atmung der Wassertiere Sauerstoff.

Das Lösungsgleichgewicht der *Sauerstoff-Konzentration* mit der Atmosphäre führt zu einem Sättigungswert von 14,6 mg/L bei 0 °C und 9,1 mg/L bei 20 °C. Der „fischkritische" Wert liegt bei 4 mg/L, kleinere Konzentrationen schädigen empfindliche Fischarten.

> Der biochemische Sauerstoff-Bedarf BSB gibt an, wieviel mg Sauerstoff je Liter Wasser Mikroorganismen brauchen, um in bestimmter Zeit, z. B. in 5 Tagen (BSB_5), die organischen Substanzen im Wasser durch Oxidation abzubauen.

Bei der Messung des **BSB** sind weitere Bedingungen vorgeschrieben, z. B. eine Temperatur von 20 °C und Dunkelheit. Welche Werte dabei und für andere Schadstoffe als *erhöht,* als *hoch* und als *sehr hoch* gelten, zeigt **Tabelle 1, folgende Seite**.

Tabelle 1: Güte von Fließgewässern

Güteklasse	Beschreibung
I (unbelastet bis sehr wenig belastet)	Gewässerabschnitte mit reinem, fast sauerstoffgesättigtem und nährstoffarmem Wasser.
I–II (wenig belastet)	Abschnitte mit geringer Nährstoffzufuhr und mit wenig Sauerstoffzehrung.
II (mäßig belastet)	Mäßige Verunreinigung, noch gute Sauerstoff-Versorgung.
II–III (kritisch belastet)	Belastung mit organischen, Sauerstoff zehrenden Stoffen verursacht kritischen Zustand.
III (stark verschmutzt)	Starke organische, Sauerstoff zehrende Verschmutzung und niedriger Sauerstoffgehalt, örtlich Faulstoff-Ablagerungen.
III–IV (sehr stark verschmutzt)	Lebensbedingungen durch sehr starke Verschmutzung mit organischen, Sauerstoff zehrenden Stoffen eingeschränkt, durch toxische Einflüsse noch verstärkt, ausgedehnte Faulstoff-Ablagerungen.
IV (übermäßig verschmutzt bis ökologisch zerstört)	Übermäßige Verschmutzung durch organische, Sauerstoff zehrende Stoffe, z. B. in Abwässern, Fäulnisprozesse vorherrschend, kein oder nur wenig Sauerstoff. Starke toxische Belastung führt zu biologischer Verödung.

Organisch gebundenen **Kohlenstoff** misst man als **TOC-Wert** (von lat. Total Organic Carbon = gesamter, organisch gebundener Kohlenstoff).

> Der TOC-Wert in mg/L gibt den Kohlenstoffanteil der gelösten oder suspendierten (aufgeschwemmten oder schwebenden), festen organischen Stoffe im Wasser an.

Der *DOC-Wert* (von engl. Dissolved Organic Carbon = gelöster, organisch gebundener Kohlenstoff) berücksichtigt nur den Kohlenstoffanteil der gelösten organischen Stoffe.

Zu viele *Nährstoffe* im Wasser, nämlich Verbindungen des Phosphors und des Stickstoffs, fördern die Massenentwicklung von Pflanzen, z. B. von Algen. **Phosphor-Verunreinigungen** stammen zu

- 48 % aus der Landwirtschaft,
- 38 % von kommunalen Kläranlagen,
- 8 % von der Regenwasserbehandlung und
- 6 % von industriellen Einleitern.

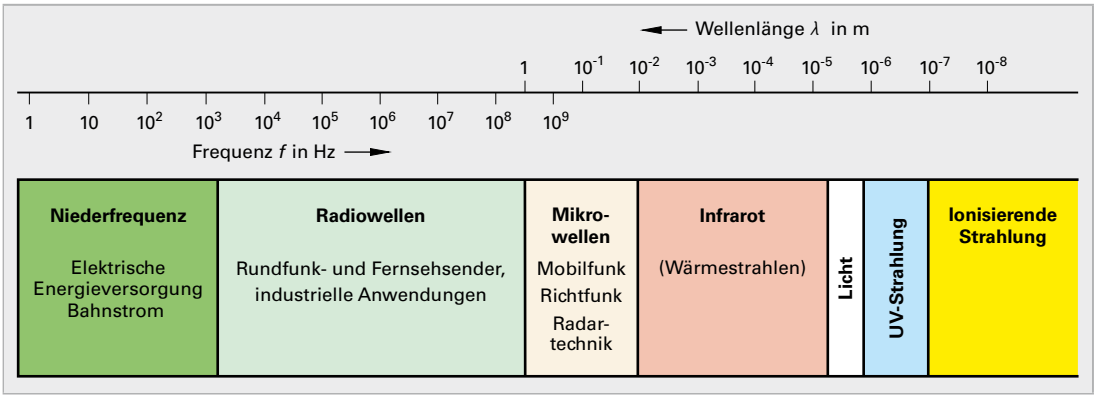

Bild 1: Spektrum elektromagnetischer Wellen

Natürliche hochfrequente Strahlung kommt mit kleineren Wellenlängen vor als Infrarotstrahlung, Licht, UV-Strahlung und ionisierende Strahlung **(Bild 1)**.

Radiowellen werden von Rundfunk- und Fernsehsendern hervorgerufen und treten in den Gebäuden mit kleinen Feldstärken auf. Mikrowellen dienen dem Mobilfunk, z. B. den Smartphones, und der Erwärmung in Mikrowellengeräten. Beim Senden treten beim Mobilfunk verhältnismäßig große Feldstärken auf, Mikrowellengeräte arbeiten mit sehr großen Feldstärken.

> Elektromagnetische Felder mit Frequenzen von 1 kHz bis 2,2 GHz dienen mit verschiedenen Feldstärken vor allem der Signalübertragung.

Bei Frequenzen über 10 GHz bzw. Wellenlängen von weniger als 30 mm tritt mit wachsender Frequenz Infrarotstrahlung, Lichtstrahlung, UV-Strahlung und ionisierende Strahlung auf.

Umwelttechnisch relevant sind Sonnenstrahlung (Seite 213) und ionisierende Strahlung (Seite 214). Mit Hochspannung betriebene Bildschirmgeräte, emittieren ebenfalls elektromagnetische Strahlen. Besonders energiereich und dadurch ionisierend sind dabei Strahlen mit Wellenlängen von 0,02 nm bis 0,06 nm. Ohne ionisierende Strahlung und ohne Hochspannung arbeiten Flachbildschirme.

Bei den Monitoren treten außerdem statische Felder, niederfrequente Felder sowie mechanische Schwingungen in Form von Schall (20 Hz bis 15 kHz) und Ultraschall (15 kHz bis 409 kHz) auf. Keine dieser Felder bzw. Schwingungen erreichen aber eine Gefahrengrenze.

Bei hochfrequenten Feldern:

$$S \approx E \cdot H \quad (1)$$

S Leistungsflussdichte
E elektrische Feldstärke
H magnetische Feldstärke
$[S] = \mathrm{V/m} \cdot \mathrm{A/m} = \mathrm{VA/m^2} = \mathrm{W/m^2}$

Tabelle 1: Grenzwerte hochfrequenter Felder nach BImSchV

f in MHz	S in W/m²	E in V/m	B in µT
10 bis 400	2	28	0,073
400 bis 2000	$0{,}005 \cdot f$	$1{,}375 \cdot \sqrt{f}$	$0{,}0037 \cdot \sqrt{f}$
2000 bis 300000	10	61	0,16

f ist in den Formeln in MHz einzusetzen.
B magnetische Flussdichte
E elektrische Feldstärke
f Frequenz
S Leistungsflussdichte, Strahlungsdichte

Bei den hochfrequenten elektromagnetischen Feldern sind die elektrischen Felder fest mit den magnetischen Feldern verbunden. Multipliziert man die elektrische Feldstärke E mit der magnetischen Feldstärke H, erhält man eine *Leistungsflussdichte S*.

> Bei hochfrequenten elektromagnetischen Feldern gibt man die Leistungsflussdichte in Watt je Quadratmeter (W/m²) an.

Grenzwerte hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung sind je nach veröffentlichender Stelle sehr verschieden. Nach der BImSchV (Bundes-Immissionsschutzverordnung) sind die Grenzwerte je nach Frequenz angegeben **(Tabelle 1)**. Diese

6.4.6 Arbeiten in Anlagen der Abwassertechnik

Der Arbeitsschutz in Anlagen der Abwassertechnik **(Bild 1)** umfasst Schutzmaßnahmen zur Reduzierung der Gesundheitsgefahren der Beschäftigten in solchen Anlagen bei Tätigkeiten im Rahmen ihrer Aufgaben. Hierbei führen die Beschäftigten Tätigkeiten mit Abwasser und Klärschlamm durch.

> Beschäftigte in Anlagen der Abwassertechnik können bei ihrer Arbeit mit Krankheitserregern in Berührung kommen.

Prozessbedingt findet in Anlagen der Abwassertechnik eine Vermehrung von Biostoffen (biologischen Arbeitsstoffen) statt. Die Beschäftigten in diesen Anlagen kommen daher mit Biostoffen in Kontakt, ohne dass die Tätigkeiten gezielt hierauf ausgerichtet sind. Die Handhabung von Biostoffen im Sinne der BioStoffV (Abschnitt 5.3.9) erfordert besondere Arbeitsschutzmaßnahmen.

> Bei Tätigkeiten in Anlagen der Abwassertechnik sind zum Schutz vor dem Kontakt mit Biostoffen besondere Schutzmaßnahmen zu ergreifen.

Tätigkeiten in Anlagen der Abwassertechnik

Zu den Anlagen der Abwassertechnik gehören Anlagen jeder Art, die für die Aufnahme, Sammlung, Weiterleitung und Behandlung von Abwasser und Schmutzwasser bestimmt sind. Hierbei zählen z. B. Kanäle, Rückhaltebecken, Pumpstationen und Abwasserbehandlungsanlagen. Bei den anfallenden Tätigkeiten handelt es sich z. B. um

- Kontrolltätigkeiten,
- Begehung von Kanälen und Schächten,
- Beseitigung von Verstopfungen,
- Auswechseln defekter Apparate und Maschinen,
- Reinigung von Rechenwerken und Pumpensümpfen,
- Absaugen von Kanälen, Gruben und Abscheidern,
- Entnahme von Abwasserproben und Schlammproben,
- Arbeiten in Bereichen erhöhter Aerosolbildung, z. B. im Belüfterbereich einer Kläranlage.

Bild 1: Anlage der Abwassertechnik

Wege der Biostoffe in den Körper

Eine Reihe von Biostoffen kann zu Erkrankungen beim Menschen führen. Voraussetzung hierfür ist, dass der Krankheitserreger über einen Aufnahmeweg in den menschlichen Körper gelangt. Für Krankheitserreger können folgende Wege in den Körper eine Rolle spielen.

Aufnahme über den Mund kann erfolgen durch

- Nahrungsmittel und Getränke, die verunreinigt sind,
- Essen und Trinken ohne ausreichende Reinigung der Hände,
- Hand-Mund-Kontakt ohne ausreichende Reinigung der Hände,
- direkte Spritzer in den Mundbereich.

Aufnahme über Haut und Schleimhaut kann erfolgen durch

- jeden Kontakt mit der Haut und dem Gesicht,
- direkte Spritzer in Augen und Nase,
- vorhandene Hautverletzungen,
- ungeschützte aufgeweichte Haut.

Aufnahme über die Atemwege kann erfolgen durch

- Aerosole in Form von Tröpfchen oder Staub.

Aufnahme über tiefes Gewebe kann erfolgen durch

- auftretende Verwundungen der Unterhaut,
- auftretende Verwundungen der Muskulatur.

> Biostoffe können auf unterschiedlichen Wegen in den menschlichen Körper gelangen.

6.5.6 Chemische Industrie

Die deutsche chemische Industrie gehört wie der Fahrzeugbau, der Maschinenbau und die Elektrotechnik zu den großen Wirtschaftszweigen und leistet mit ihren Produkten einen wesentlichen Beitrag für viele Bereiche des Lebens, z. B. für Ernährung, Gesundheit, Umwelt und Sicherheit **(Tabelle 1)**.

Ein besonderes Merkmal der chemischen Industrie ist der Umgang mit Stoffen. Als Stoffe werden nach dem Chemikaliengesetz ChemG chemische Elemente oder chemische Verbindungen bezeichnet, die natürlich vorkommen oder hergestellt werden. Etwa 30000 Stoffe sind von industrieller Bedeutung und jährlich kommen etwa 200 neue Stoffe hinzu.

> Stoffe nach dem ChemG sind chemische Elemente oder chemische Verbindungen, die natürlich vorkommen oder hergestellt werden.

Die chemische Industrie führt im industriellen Maßstab Stoffumwandlungen zur Herstellung von Wirtschaftsgütern durch. Ausgehend von relativ wenigen Rohstoffen, z. B. Steinsalz, Luftstickstoff, Wasser, Schwefelkies, Rohphosphat, Kohle, Erdöl, Erdgas, nachwachsenden Rohstoffen und Industriepflanzen, führen **Veredelungsstufen**, die meist als chemische Reaktionen ablaufen, über zahlreiche Grundprodukte und Zwischenprodukte schließlich zu den vielfältigen Endprodukten, z. B. Arzneimitteln, Pflanzenbehandlungsmitteln, Düngemitteln, Waschmitteln, Kosmetika, Kunststoffen, Fasern, Folien, Farbstoffen **(Bild 1)**.

> Zur Herstellung von Wirtschaftsgütern wandelt die chemische Industrie Stoffe um.

Sowohl bei den Produktionsprozessen, der Lagerung und dem Transport von Chemieprodukten als auch bei der Anwendung dieser Produkte werden Stoffe emittiert und Abfälle erzeugt, die in die Umweltbereiche Boden, Wasser und Luft gelangen, z. B. polychlorierte Biphenyle PCB. Durch Wechselwirkungen können sie den Menschen, z. B. über Nahrungsketten, wieder erreichen **(Bild 2)**.

Um die Wirkungen chemischer Stoffe auf Gesundheit und Umwelt abzuschätzen und zu gewährleisten, dass sie in sicheren Verwendungen eingesetzt werden, gilt seit 2007 die EU-Verordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe *REACH* (Registration, Evaluation, Authorisation of Chemicals).

Tabelle 1: Prozentuale Verteilung der chemischen Produkte

Bereich	in %
Anorganische Grundchemikalien Industriegase und sonstige anorganische Grundstoffe und Chemikalien	6,8
Petrochemikalien und Derivate	17,9
Polymere Kunststoffe, synth. Kautschuk, Chemiefasern	23,0
Fein- und Spezialchemikalien Farbstoffe und Pigmente, Anstrichmittel, Druckfarben, andere chemische Erzeugnisse	19,4
Pharmazeutische Erzeugnisse Pharmazeutische Grundstoffe und Spezialitäten, sonstige pharmazeutische Erzeugnisse	22,5
Agrochemikalien Düngemittel, Schädlingsbekämpfungs- und Pflanzenschutzmittel	2,7
Wasch- und Körperpflegemittel Seifen, Wasch- und Reinigungsmittel, Duftstoffe und Körperpflegemittel	7,7

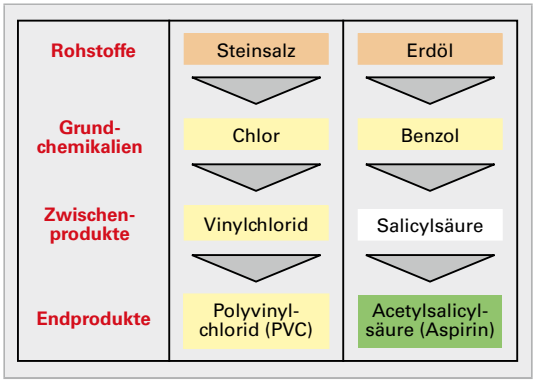

Bild 1: Veredelungsstufen bis zum Endprodukt

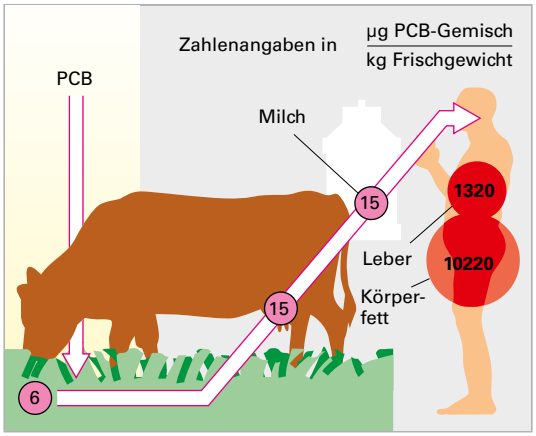

Bild 2: Anreicherung von PCB in der Nahrungskette

Gefahrstoffe in der großtechnischen Produktion

Beim Umgang mit Gefahrstoffen muss jeder Arbeitgeber die einschlägigen Bestimmungen einhalten und eine Gefährdungsbeurteilung nach der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) vornehmen. Abhängig von den Gefährlichkeitsmerkmalen des Stoffes und den geplanten Tätigkeiten werden dann die erforderlichen Schutzmaßnahmen festgelegt und deren Wirksamkeiten kontinuierlich überprüft **(Bild 1)**. Bei Tätigkeiten mit den in Anhang V der GefStoffV aufgelisteten Gefahrstoffen hat der Arbeitgeber für die zur Verhütung arbeitsbedingter Gesundheitsgefahren erforderlichen arbeitsmedizinischen Maßnahmen zu sorgen.

Zu den in der Liste aufgeführten Gefahrstoffen, die besondere Sicherheitsvorkehrungen erfordern, gehören das Element *Fluor* und die anorganischen Fluorverbindungen.

> Fluor ist ein sehr giftiges und ätzendes Gas mit durchdringendem, chlorähnlichem Geruch.

Fluor ist außerdem extrem reaktionsfähig und eines der stärksten Oxidationsmittel. Viele Stoffe reagieren mit Fluor direkt und unter Flammenerscheinung. Die Metalle Eisen, Kupfer, Nickel und Monelmetall (Kupfer/Nickellegierung) werden von Fluor nur an der Oberfläche angegriffen. Es bildet sich daher eine dichte, festhaftende Metallfluoridschicht, die das darunterliegende Metall schützt.

Die großtechnische Produktion von Fluor und seinen Verbindungen ist von enormer wirtschaftlicher Bedeutung. So kommen beispielsweise Fluorverbindungen auf dem Gebiet der Aluminium-Elektrolyse, der Schweiß- und Lötmittel, der Glasbearbeitung, der Kerntechnik und der Elektrotechnik zur Anwendung.

Großtechnische Fluorherstellung. Wegen des hohen Standardpotenzials lässt sich Fluor nicht direkt durch Reaktion von Oxidationsmittel mit Fluoriden produzieren. Die Produktion gelingt nur auf elektrochemischem Weg durch anodische Oxidation von Fluoridionen in wasserfreiem Elektrolyt. Als Ausgangsstoff dient Calciumfluorid (CaF_2), das bergmännsich in Mexiko, China und Namibia abgebaut wird.

Bei der Herstellung werden die für Tätgkeiten mit Fluor festgelegten Arbeitsplatz-Grenzwerte AGW zum Schutz der Gesundheit regelmäßig überprüft und den Erfordernissen angepasst **(Tabelle 1)**. Zudem sind die Beschäftigten im Umgang mit gefährlichen Arbeitsstoffen geschult und arbeiten mit entsprechender Schutzkleidung **(Bild 2)**.

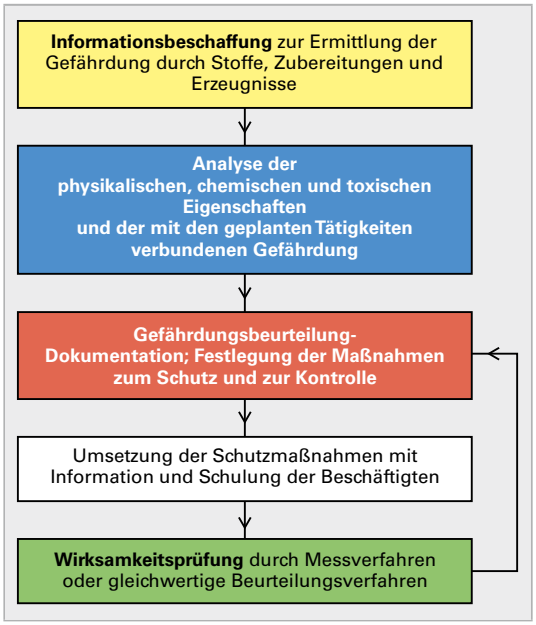

Bild 1: Maßnahmen bei Arbeiten mit Gefahrstoffen

Tabelle 1: Arbeitsplatz-Grenzwerte für Halogene

AGW	Fluor	Chlor	Brom	Jod
Massenkonzentration β in mg/m^3	0,16	1,5	0,7	1,1
Volumenkonzentration σ in mL/m^3	1,0	0,5	–	0,1

Bild 2: Schutzkleidung für Vollschutz

Die Stromerzeugung beruht auf der Umwandlung einer vorhandenen Energie in elektrische Energie **(Bild 1)**. In den meisten Ländern erfolgt die Stromerzeugung zum größten Teil durch Verbrennung von Kohle, Erdgas (zunehmend) oder Öl (abnehmend) **(Bild 2)**. Zunehmend ist in vielen Ländern die Stromerzeugung durch Kernenergie (Atomkraft, Atomstrom). In Bulgarien lag 2020 der Anteil der Kernenergie bei 41 %. In Deutschland wurde das Betriebsende von Kernkraftwerken beschlossen.

Man spricht von regenerativer (erneuerbarer) Stromerzeugung, wenn der Energieträger sich durch Naturkräfte ständig erneuert. Diese Stromerzeugung deckt in Deutschland etwa 50 % des Verbrauchs an elektrischer Energie. Den größten Anteil dabei haben im öffentlichen Versorgungsnetz mit etwa 74 % der regenerativen Stromerzeugung die Windkraftwerke und Photovoltaikkraftwerke. Diese beiden wichtigsten regenerativen Stromerzeuger deckten in Deutschland 2021 zusammen etwa 33 % des Strombedarfs.

Wiederholung und Vertiefung

1. **Welche Eigenschaft hat der Strom in Bezug auf seine Speicherung?**
2. **Wie lautet der Energieerhaltungssatz?**
3. **Auf welche grundsätzliche Weise wird der elektrische Strom gewonnen?**
4. **Was versteht man unter regenerativer Stromerzeugung?**

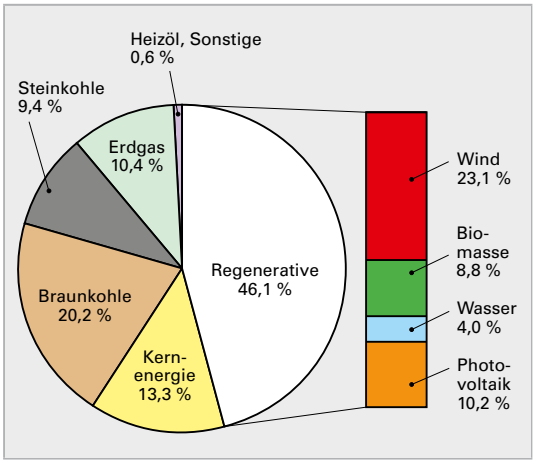

Bild 1: Anteile an der Stromerzeugung in der Bundesrepublik Deutschland 2021 (Fraunhofer ISE)

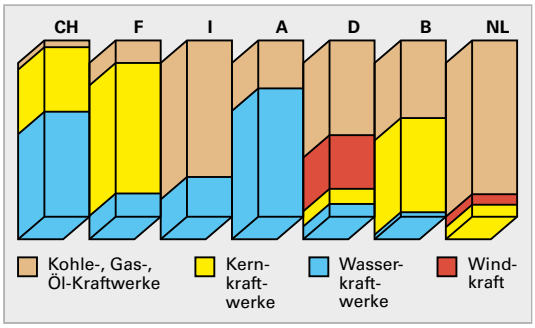

Bild 2: Kraftwerksanteile an der Stromversorgung in Westeuropa 2021 (ohne Photovoltaikanlagen)

7.2 Wasserkraftwerke
Water Power Stations

Die Verwertung der Wasserkraft ist uralt und erfolgte in Mühlen. Wasserkraftwerke verwerten die Strömungsenergie oder die potenzielle Energie des Wassers zur Stromgewinnung. Dabei wird die mechanische Energie des Wassers in einer Turbine in Bewegungsenergie zum Antrieb eines Generators umgesetzt.

7.2.1 Laufkraftwerke

Laufkraftwerke benötigen dauernd fließendes Wasser, z. B. eines Flusses **(Bild 3)**. Meist haben Laufkraftwerke eine nach dem Erfinder benannte *Kaplanturbine* mit senkrechter Welle oder mit waagerechter Welle. Kaplanturbinen mit waagerechter Welle ermöglichen den unauffälligen Einbau der Anlage in das Gewässer. Der Höhenunterschied (die Fallhöhe) kann bis etwa 30 m betragen.

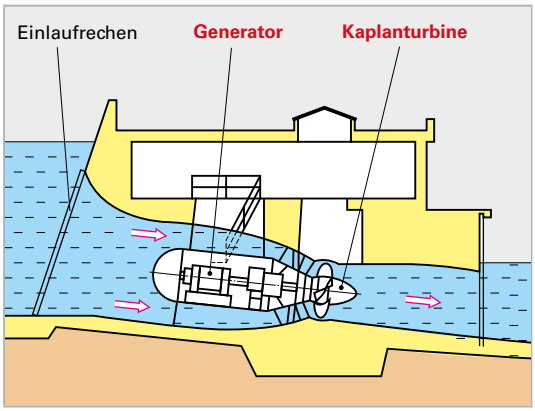

Bild 3: Laufkraftwerk mit Kaplanturbine

Bei Siedewasserreaktoren wird die Turbine von Dampf angetrieben, der direkt aus dem Reaktor stammt.

Beim **Druckwasserreaktor** gibt das im Reaktor hoch erhitzte, unter Druck stehende Wasser des Primärkreises seine Energie in einem Wärmetauscher an den Sekundärkreis ab **(Bild 2)**. Dessen nicht radioaktiver Dampf treibt dann eine Dampfturbine an. Dieser bevorzugte Reaktortyp weist eine höhere Betriebssicherheit auf, da der radioaktive Dampf des Primärkreises nicht zur Turbine gelangt.

Kernkraftwerke erfordern umfangreiche Regeleinrichtungen. Deshalb dauert ein Hochfahren der Anlage einige Stunden.

Kernkraftwerke arbeiten als Grundlastkraftwerke.

In Bezug auf den Umweltschutz und Klimaschutz erscheinen Kernkraftwerke günstiger als Verbrennungskraftwerke, da sie bei normalem Betrieb fast keine Emissionen hervorrufen, auch kaum CO_2-Emissionen. Außerhalb von Deutschland werden Kernkraftwerke daher für das Erreichen der angestrebten **Klimaziele** als notwendig erachtet.

Die gasförmigen Spaltprodukte (Xenon und Krypton) der Brennelemente werden in einer Abgasanlage zurückgehalten, bis ihre Radioaktivität abgeklungen ist. Danach werden sie an die Luft abgegeben, und zwar mit weniger als 1 % der natürlichen Radioaktivität.

In der Umgebung von Kernkraftwerken darf die Radioaktivität höchstens um 1 % höher sein als die natürliche Radioaktivität.

Radioaktives Abwasser der Siedewasserreaktoren wird gereinigt und dem Kühlkreislauf zugeführt. Kurzlebige radioaktive Rückstände, z. B. aus Luftfiltern oder Ionenaustauschern, werden verbrannt. Radioaktive Rückstände der Verbrennung werden in 200-Liter-Fässern einbetoniert, im Kraftwerk zwischengelagert und in ein Endlager gebracht.

Verbrauchte Brennelemente werden in wassergefüllten Brennstofflagerbecken im Kraftwerk etwa sechs Monate zum Abklingen der Radioaktivität gelagert. Danach werden sie in Zwischenlager verbracht, in denen sie in Deutschland auch weiterhin bleiben. Die Brennelemente aus anderen Staaten werden nach der Zwischenlagerung aufgearbeitet, z. B. in Frankreich, Russland, England.

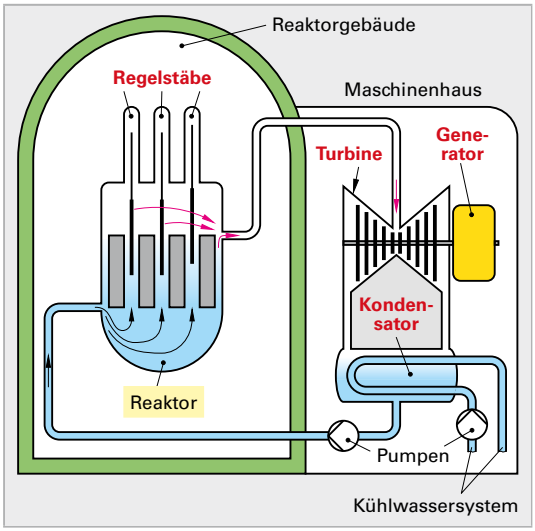

Bild 1: Prinzip des Siedewasserreaktors

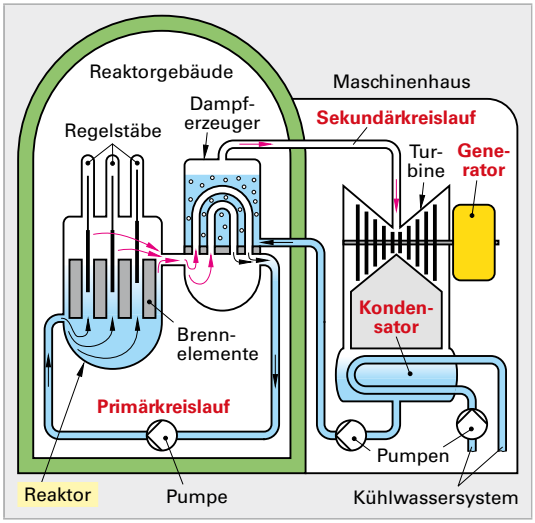

Bild 2: Prinzip des Druckwasserreaktors

Für den Transport werden dickwandige Transportbehälter verwendet, die einem Unfall standhalten **(Bild 2, Seite 459)**. Bei der Aufarbeitung werden die meist radioaktiven Spaltprodukte vom Uran bzw. Plutonium getrennt. Das so gereinigte Uran bzw. Plutonium wird wieder zu Brennelementen verarbeitet **(Bild 1, folgende Seite)**. Die Spaltprodukte fallen während der Aufarbeitung als Säurelösung an. Diese wird in einem Drehrohrofen eingedampft. Das entstehende Oxidpulver wird mit einem Borsilikatglas bei 1100 °C verschmolzen. Die schmelzflüssige Glasmasse von etwa 400 kg wird in einen Edelstahlbehälter eingefüllt, in der sie erstarrt.

Die Verbrennung erfolgt CO_2-neutral, da Holzpellets aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden. Die Feinstaub-Emissionen der Holzpellet-Heizungsanlagen liegen auf dem Niveau von Ölheizungen und betragen weniger als 10 %, zum Teil sogar nur 1 %, der Emissionen von Heizungen, die Scheitholz als Brennstoff einsetzen. Die Diskussion über die Gesundheitsrelevanz einzelner Feinstaubanteile ist jedoch noch nicht abgeschlossen.

> Die steigende Bedeutung der Holzpellets liegt in der CO_2-neutralen Nutzung nachwachsender Rohstoffe.

Meist handelt es sich beim Restholzabfall um ein regionales Produkt, die geringfügigen Anteile tropischer Hölzer sind vernachlässigbar. Weitere ökologische Aspekte sind die vergleichsweise kurzen Transportwege sowie die geringen Umweltrisiken des Transports, insbesondere im Vergleich mit Öl und Erdgas. Zudem ist zumindest in Mitteleuropa genügend Rohstoff vorhanden, ohne dass mit einer Übernutzung der bestehenden Wälder zu rechnen ist.

Hackschnitzel

Bei Hackschnitzeln handelt es sich um gehäckselte Holzabfälle in loser Schüttung. Sie werden in Heizungsanlagen, die denen der Holzpellets entsprechen, verfeuert. Meist wird mit solchen Anlagen Fernwärme erzeugt.

Biogasanlagen

Biogasanlagen sind Anlagen, in denen organisches Material anaerob abgebaut wird. Dabei wird Methan gebildet, das verbrannt wird. Im einfachsten Fall wird damit Wasser zum Heizen erwärmt. In größeren Anlagen wird zusätzlich in Blockheizkraftwerken mit speziellen Gasmotoren (Abschnitte 6.4.14, 7.4.2, Seite 435) Strom erzeugt. Die so gewonnene Energie kann bei Kraft-Wärme-Kopplung eine Siedlung komplett mit Strom und Wärme versorgen.

Als Ausgangsmaterial können Stallabfälle wie Mist und/oder Gülle dienen. Des Weiteren können unterschiedlichste pflanzliche „Abfälle“ eingesetzt werden. Häufig kommen auch sogenannte Energiepflanzen, z. B. gehäckselter Mais, zum Einsatz.

Je nach Ausgangsmaterial muss das entstandene Biogas aufbereitet werden, da neben Methan und Kohlenstoffdioxid auch Schwefelwasserstoff und sonstige Sulfide im Biogas zu finden sind.

Eine Besonderheit stellen die Müllbehandlungsanlagen (MBA) dar. Hier wird unsortierter Hausmüll als Ausgangsmaterial eingesetzt. Zunächst werden mittels eines Sortierbandes Metalle und Grobstoffe abgetrennt. Der Rest wandert in die Biogasanlage und wird dort vergoren. Nach der Biogasanlage können Kunststoffe abgetrennt werden. Eine MBA kann Fernwärme und Strom liefern.

Bild 1: Biomasse-Kraftwerk Malchin (Mecklenburg-Vorpommern, Siemens)

Der anfallende Schlamm wird dem aus Kläranlagen gleichgesetzt und entsprechend entsorgt.

Biomasse-Kraftwerke

In Biomasse-Kraftwerken **(Bild 1)** wird getrocknetes organisches Material direkt verbrannt. Zum Einsatz kommen z. B. Stroh, Altholz oder Holzabfall. Durch die dabei entstehende Wärme wird Wasserdampf erzeugt, der eine Turbine antreibt, mit deren Hilfe ein Generator Strom erzeugt. Die Restwärme kann zum Heizen in ein Fernwärmenetz eingespeist werden. www.siemens.com

Wiederholung und Vertiefung

1. **Welche Formen der Nutzung nachwachsender Rohstoffe gibt es?**
2. **Beschreiben Sie die unterschiedlichen Anlagentypen zur Nutzung von Biomasse.**
3. **Warum ist es sinnvoll, nachwachsende Rohstoffe zur Energieversorgung einzusetzen?**
4. **Warum ist es problematisch, nachwachsende Rohstoffe zur Energieversorgung einzusetzen?**

7.11.3 Leistungszahl

Die Leistungszahl einer Wärmepumpe ist das Verhältnis von abgegebener Wärmeleistung am Verflüssiger zur elektrischen Leistung am Verdichter. Die Leistungszahl gibt an, das Wievielfache der zu bezahlenden elektrischen Leistung als Wärmeleistung abgegeben wird.

Leistungszahl

$$\varepsilon = P_{th}/P \quad (1)$$

ε	Leistungszahl (Epsilon), auch COP (Coefficient of Performence)
P_{th}	Wärmeleistung am Verflüssiger
P	elektrische Leistung am Verdichter

Die Leistungszahl ε ist umso größer, je höher die Temperatur des Wärmeträgers am Verdampfer ist und je niedriger die Temperatur am Verflüssiger sein darf. Bei einer Fußbodenheizung genügt die Vorlauftemperatur der Heizung von 30 °C **(Bild 1)**. Die Leistungszahl beträgt je nach Temperatur des Wärmeträgers 2,5 bis 6. Für Radiatorenheizung oder Badewasser ist die erforderliche Temperatur 55 °C. Da ist die Leistungszahl nur 2 bis 4.

> Wärmepumpen sind am wirtschaftlichsten für niedrige Temperatur der abgegebenen Wärme, z. B. bei gut gedämmten Gebäuden mit Fußbodenheizung.

Unter den Bedingungen des Beispiels der vorhergehenden Seite ist die Warmwasserheizung mittels Wärmepumpe gegenüber der Warmwasserheizung mittels Heizöl durchaus wirtschaftlich.

7.11.4 Gewinnung des Wärmeträgers

Für den *nachträglichen* Einbau einer Wärmepumpe ist Luft als Wärmeträger besonders geeignet **(Bild 2)**. Dabei wird die Wärmepumpe z. B. im Freien aufgestellt und das Heizwasser wird über isolierte Rohrleitungen zum Gebäude geführt. Nachteilig kann das Geräusch des Ventilators sein. Die Leistungszahl ist nur in einem strengen Winter bei z. B. – 20 °C niedrig (Bild 1). Man wendet deshalb meist eine zusätzliche Heizung, z. B. Gasheizung oder Elektroheizung, an und spricht dann von einem **bivalenten Betrieb** (bivalent = zweiwertig).

Bei Wärmepumpen mit horizontalem *Erdkollektor* ist der Wärmeträger eine Flüssigkeit, die dem Erdreich gespeicherte Wärme entnimmt **(Bild 3)**.

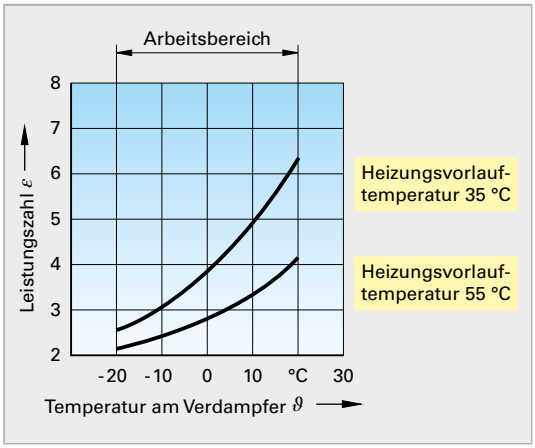

Bild 1: Leistungszahl in Abhängigkeit von der Temperatur am Verdampfer

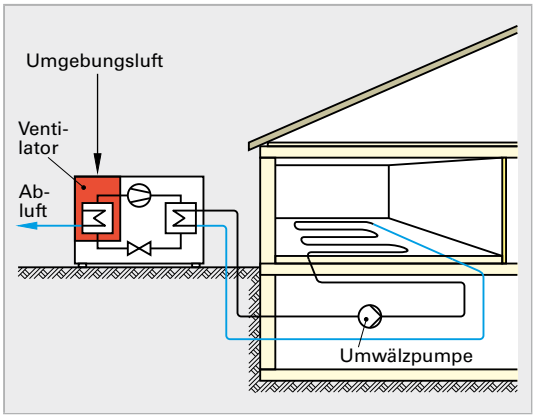

Bild 2: Wärmepumpenanlage für Wärmeträger Luft

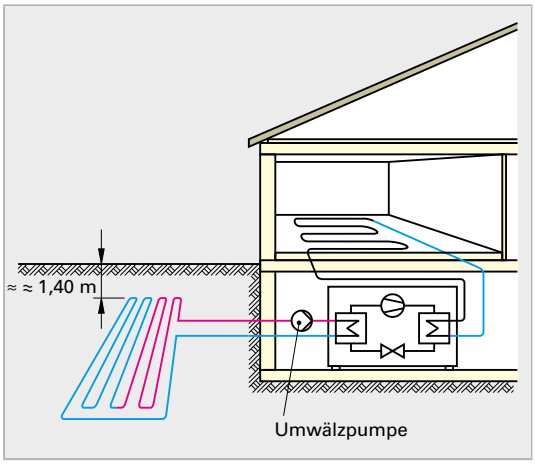

Bild 3: Wärmepumpenanlage mit horizontalem Erdkollektor

Sauerstoff-Kohlenstoffdioxid-Austausch. Dem sauren Grundwasser muss Kohlenstoffdioxid CO_2 entzogen und dafür Sauerstoff O_2 zugesetzt werden. Hierzu zerteilen Düsen das Wasser in feinste Tröpfchen. Der Unterdruck an der Düse durch den dünnen aber sehr schnellen Wasserstrahl reißt die Luft mit (wie in einer Wasserstrahlpumpe). Der Sauerstoff der frischen Luft löst sich in den feinen Wassertröpfchen und die umgebende Luft nimmt daraus Kohlenstoffdioxid auf.

Der Gasaustausch kann auch in Säulen, gefüllt mit Kunststoffkörnchen, stattfinden, durch die das Wasser rieselt und sich mit der von unten eingeblasenen Luft durchmischt (Gegenstromprinzip). Auch Wellbahnkolonnen eignen sich für den Gasaustausch. Das Wasser rinnt dabei über gewellte Bleche, der Rieselfilm gerät in turbulente Strömungen, die den Austausch von CO_2 durch O_2 ermöglichen.

> Aus dem Grundwasser muss im Wasserwerk zunächst Kohlenstoffdioxid ausgetrieben und stattdessen Sauerstoff gelöst werden.

Entfernen von Eisen und Mangan. Das Grundwasser löst aus dem Gestein zweiwertige Eisen-Ionen Fe^{2+} und Mangan-Ionen Mn^{2+} heraus, die leicht lösliche Verbindungen bilden. Dabei wirken anaerobe (von griech. a(n) = un-, nicht und aerob) Bakterien mit (ohne Sauerstoff lebende einzellige Kleinstlebewesen).

Diese Eisen- und Mangan-Ionen sind zwar nicht gesundheitsschädlich, oxidieren aber zu Fe^{3+}-Ionen und Mn^{4+}-Ionen, die zu unlöslichen Verbindungen führen. Finden die Oxidationen im Wasserleitungsnetz statt, verstopfen die Ablagerungen die Rohre mit der Zeit:

$$4\ Fe(HCO_3)_2 + 2\ H_2O + O_2 \rightleftharpoons 4\ Fe(OH)_3\downarrow + 8\ CO_2 \text{ bzw.}$$

$$2\ MnCl_2 + 2\ H_2O + O_2 \rightleftharpoons 2\ MnO_2\downarrow + 4\ HCl$$

Die Oxidation der Wasserinhaltsstoffe führt man im Wasserwerk in Kiesfiltern mit Hilfe des im Wasser gelösten Sauerstoffs durch. Bei den Reaktionen entstehen neben den unlöslichen Niederschlägen Säuren.

Das chemische Gleichgewicht verschiebt sich jeweils mehr in Richtung der Reaktionsprodukte, wenn der pH-Wert hoch gehalten wird. Falls man ohnehin Calciumhydroxid zum Enthärten zugibt, erreicht das Wasser kurzfristig hohe pH-Werte:

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightleftharpoons 2\ CaCO_3\downarrow + 2\ H_2O$$

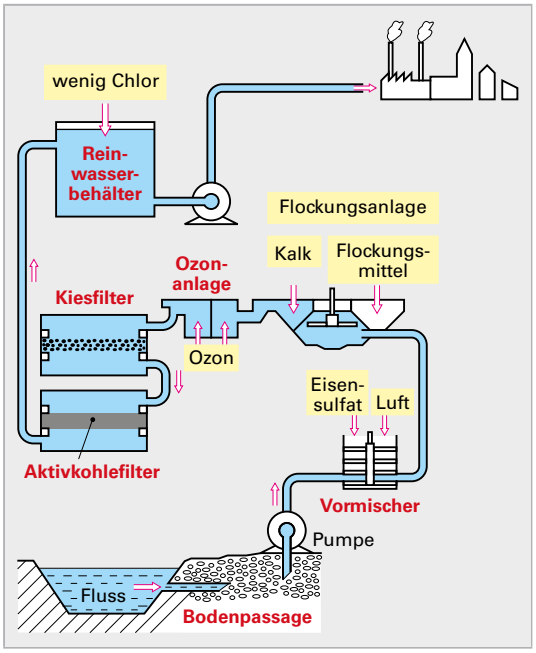

Bild 1: Prinzipieller Aufbau eines Wasserwerks

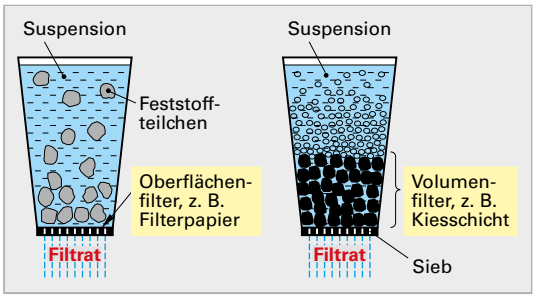

Bild 2: Filterarten

> Die Wasserwerke sollen nach der Trinkwasserverordnung (TVO) das Trinkwasser mit einem pH-Wert von mehr als 6,5 abgeben.

Filtrieren. Filteranlagen entfernen aus dem Rohwasser suspendierte und kolloidale Teilchen. Dies ist vor allem dann notwendig, wenn das Wasser viel Oberflächenwasser enthält. Man kann **Oberflächenfilter** zur Siebfiltration und **Volumenfilter** zur Tiefenfiltration unterscheiden **(Bild 2)**. Oberflächenfilter sind z. B. Papierfilter, Textilfilter, Membranfilter und Filterpressen. Beispiele für Volumenfilter findet man bei Sand-, Kies- oder Aktivkohlefiltern. Bei manchen Filtern trennt erst

Tabelle 1: Vergleich des Tropfkörperverfahrens mit dem Belebtschlammverfahren

Merkmal	Tropfkörperverfahren	Belebtschlammverfahren
Historische Herkunft	Weiterentwicklung der Landberieselung	Weiterentwicklung der Abwasserteiche
Vorbild in der Natur	Natürlicher Abbau im Boden und an Wasseroberflächen, die mit Bakterien besiedelt sind.	Natürliche Gewässerreinigung durch suspendierte Bakterien
Durchströmung	Vertikal	Horizontal
Belüftung	Künstlich	Offene Bauweise, technische Lüftung
Flächenbedarf	Kleine Grundfläche, weil Bau in die Höhe möglich ist.	Große Fläche nötig
Stationierung der Bakterien	Im biologischen Rasen an der Oberfläche der Füllkörper	Beweglich schwebend und gleichmäßig im Wasser verteilt
Schlammanfall	Nur wenig Schlamm durch tote Bakterien	Viel Schlamm durch lebende und tote Bakterien
Schlammaustrag	Kontinuierlich	Kontinuierlich aus Nachklärbecken
Rücklaufschlamm	Nicht notwendig	Nötig, um Bakterienmasse aufrechtzuerhalten.

aus Kunststoffwaben überzieht ein *biologischer Rasen* mit der aktiven Biomasse. Ein elektromotorisch angetriebener oder durch Rückstoß rotierender Drehsprenger spritzt das Abwasser oben auf die Füllkörper. Das Wasser rieselt durch den Reaktionsraum. Am Anfang siedeln sich in kurzer Zeit die Mikroorganismen an und bauen den biologischen Rasen auf.

Scheibentauchkörper sind ebenfalls Festbettreaktoren. Auf einer waagerecht angeordneten Welle sind nebeneinander runde Scheiben befestigt. Die Scheiben drehen sich langsam in einem Trog, der etwa halb gefüllt vom Abwasser durchflossen wird. Auf den Scheiben bildet sich ein festsitzender biologischer Rasen, der beim Auftauchen Sauerstoff aus der Luft aufnimmt. Auch bei schwankender Belastung baut der Scheibentauchkörper organische Schmutzstoffe zuverlässig ab.

Das **Belebtschlamm-Verfahren** ist das am häufigsten eingesetzte Verfahren biologischer Abwasser-Reinigung. Die Unterschiede zwischen Tropfkörperverfahren und Belebtschlamm-Verfahren zeigt **Tabelle 1**. Das Belebtschlamm-Verfahren wurde zu Beginn des 20. Jahrhunderts entwickelt. Man hatte damals beobachtet, dass sich beim Belüften von Abwasser Schlammflocken bilden, die sich rasch absetzen. Füllt man neues Abwasser nach, hält aber den Schlamm zurück, vermehren sich die Schlammflocken und die Belüftungszeit zur Reinigung wird immer kürzer. Der Schlamm ist also „belebt“. Der Belebtschlamm enthält aerobe Mikroorganismen neben Kolloiden und suspendierten organischen und anorganischen Stoffen. Das mechanisch vorgereinigte Abwasser kommt in das Belebtschlammbecken.

Die Mikroorganismen sind im ganzen Wasser gleichmäßig verteilt. Oberflächenbelüfter oder Gebläse blasen über Filterkerzen Luft auf bzw. in das Wasser. Die Luftblasen wirbeln den Belebtschlamm auf und halten die Flocken in Schwebe. Die Bakterien nehmen die Schwebstoffe und die gelösten Stoffe in ihren Stoffwechsel auf und überführen sie in die belebte Schlamm-Masse.

Ist die zugeführte organische Masse im Abwasser groß, bauen die Bakterien vor allem Kohlenstoffverbindungen ab. Eine niedrige Schlammbelastung lässt eher zu, dass sich langsam wachsende Mikroorganismen entwickeln, z. B. spezialisierte Bakterien (Nitrosomas), die aerob Ammonium NH_4^+ zu Nitrit (NO_2^-) und Nitrat (NO_3^-) oxidieren.

Das Abwasser gelangt nach der Reinigung in **Nachklärbecken**, in denen sich das gereinigte Wasser vom Schlamm trennt. Das Abwasser fließt dort nur mit einer Geschwindigkeit von weniger als 1 cm/s durch ein Becken. Die Aufenthaltszeit des abgesetzten Schlamms beträgt bis zu zwei Stunden.

> Ein Teil des Schlamms im Nachklärbecken muss zurück in das Belebtschlammbecken gepumpt werden, weil das Wachstum der Bakterien nicht mit dem Austragsverlust Schritt hält.

Klärverfahren der Industrie nutzen für große Abwassermengen die Turmbiologie oder Hochbiologie. Der Belebtschlamm-Prozess findet in einem

Wiederholung und Vertiefung

1. **Wodurch unterscheiden sich aerobe von anaeroben Bakterien?**
2. **Vergleichen Sie die Wirkungsweise von a) Tropfkörpern und b) Scheibentauchkörpern.**
3. **Welche Vorteile hat das Belebtschlammverfahren bei der biologischen Abwasser-Reinigung?**
4. **Warum muss aus dem Nachklärbecken noch ein Teil des Schlamms in das Belebtschlammbecken zurückgeführt werden?**
5. **Erläutern sie das Verfahren der Nitrifikation und der Denitrifikation.**

9.2.11 Klärschlammbehandlung

Beim Klärschlamm lassen sich verschiedene Arten unterscheiden **(Tabelle 1)**. Der Schlamm wird gesammelt und der anaeroben Schlammfaulung unterworfen. Der Frischschlamm, der aus den Vorklärbecken und den Nachklärbecken stammt, enthält noch viel Wasser. Leichtes Rühren und Absetzen in Voreindickbehältern erhöht den Feststoffanteil auf 6 % bis 10 % **(Bild 1)**.

Der abgesaugte Schlamm verrottet im **Faulturm**, einem luftdicht abgeschlossenen Behälter. Dort zersetzen anaerobe Bakterien die organischen Stoffe bei ständigen 34 °C in 20 bis 30 Tagen. Die Bakterien sind sehr temperaturempfindlich. Der ausgefaulte Schlamm enthält 30 % organische und 70 % anorganische Feststoffe. Der Wassergehalt liegt bei 96 %.

Im Faulturm erfolgt ein mehrstufiger biologischer Abbau der organischen Wasserinhaltsstoffe, bei dem verschiedene Bakteriengruppen zusammenarbeiten. Dabei bilden sich als Gärungsprodukte eine Mischung aus Methan CH_4 und Kohlenstoffdioxid CO_2, ein Gasgemisch, das man als **Faulgas**, *Klärgas* oder *Biogas* bezeichnet. In kommunalen Anlagen, die organische Stoffe zu etwa 50 % abbauen, fallen 400 L bis 500 L Faulgas je Kilogramm organischer Substanz mit einem Methangehalt von 65 % bis 70 % an.

> In Klärwerken heizt man mit Faulgas und betreibt damit auch die Verbrennungsmotoren.

Kleine Klärwerke entwässern den Schlamm auf Trockenbeeten, große Anlagen entziehen maschinell das Wasser mit Pressen oder Zentrifugen, unterstützt von Flockungsmitteln, z. B. Kalk, Eisen(II)-sulfat, Polymeren, oder durch Erhitzen. Das Wasser aus der Schlammbehandlung ist noch stark belastet und muss nochmals die biologische Reinigung durchlaufen.

Tabelle 1: Klärschlammarten

Bezeichnung	Herkunft	Zusammensetzung
Roh-schlamm	Schlamm aus Abwasser, durch Sedimentation und Flotation abgetrennt, ohne Rechengut und Sand.	95 % bis 99 % Wassergehalt, 1 % bis 4 % Feststoffanteil, davon 60 % bis 80 % organischer Anteil in Trockensubstanz.
Primär-schlamm	Schlamm aus mechanicher Reinigungs-stufe.	5 % bis 10 % Feststoffgehalt, der 70 % organische Stoffe enthält.
Vorklär-schlamm	Schlamm aus den Vorklär-becken.	Kann auch Überschuss-Schlamm enthalten.
Sekundär-schlamm	Schlamm aus den biologischen Reinigungs-stufen.	Wassergehalt 90 % bis 94 %, organischer Feststoffanteil 70 %, geringer Anteil absorbierter Schwebstoffe und Kolloide.
Tertiär-schlamm	Schlamm aus der dritten Reinigungs-stufe.	Geringer Anteil organischer Stoffe, enthält meist erhebliche Mengen Fällungsmittel, z. B. Fe-, Al- und Ca-Verbindungen.

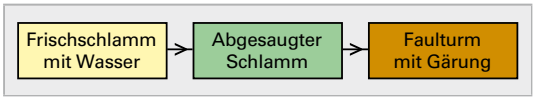

Bild 1: Behandlung des Klärschlamms

Ist der getrocknete Schlamm nicht mit Schwermetallen belastet, kann man ihn mit Biomüll, Stroh, Rinden, Gartenabfällen, Holzsplittern, Sägemehl oder anderen organischen Abfällen mischen und in einfachen Mieten und Verrottungsanlagen kompostieren. Den getrockneten Schlamm kann man landwirtschaftlich als Dünger nutzen oder er wird verbrannt und die Asche auf einer Deponie gelagert.

Wiederholung und Vertiefung

1. **Welche Klärschlammarten unterscheidet man?**
2. **Auf welche Arten kann man Schlamm entwässern?**
3. **Was geschieht mit den brennbaren Gasen aus dem Faulturm eines Klärwerks?**
4. **Warum muss man den Faulbehälter an kalten Tagen beheizen?**
5. **Welche Giftstoffe kann Klärschlamm enthalten?**
6. **Aus welchem Grund muss man den getrockneten Klärschlamm mit organischen Abfällen mischen, um ihn zu kompostieren?**

autos = selbst, therme = Wärme). Meist muss aber eine kleine Stützfeuerung durch Erdgaszufuhr eingesetzt werden.

Überschüssige Wärme kann bei TNV durch Wärmeaustauscher für Prozesswärme oder für Heißwasserbereitung verwendet werden (Bild 1, vorhergehende Seite).

Katalytische Nachverbrennung (KNV). Wenn die Gasbestandteile mittels Katalysatoren verbrennen, liegt KNV vor. Dieses Verfahren hat wegen der Herabsetzung der Aktivierungsenergie auf etwa 300 °C eine Arbeitstemperatur von etwa 400 °C. Damit ist schon bei kleinerer Luftbelastung mit organischen Schadstoffen ein autothermer Betrieb möglich.

> KNV-Verfahren erlauben eine niedrigere Arbeitstemperatur als TNV-Verfahren und eine kleinere Stützfeuerung bis hin zum autothermischen Betrieb.

Die Verbrennung der Schadstoffe erfolgt nach denselben Reaktionsgleichungen wie beim TNV-Verfahren. Die KNV-Anlage ist grundsätzlich wie eine TNV-Anlage ausgeführt, jedoch enthält die Brennkammer einen Katalysator **(Bild 1)**.

Zur Inbetriebnahme wird der Brenner unter Zugabe von Erdgas und Zündluft gezündet. Danach wird die zu reinigende Abluft über den Wärmetauscher der Brennkammer zugeführt, sodass im Katalysator die autothermische Reaktion erfolgen kann. Der Brenner wird entsprechend gedrosselt oder ganz abgeschaltet.

Der Katalysator hat meist eine Wabenform nach **Bild 2** und bildet nur einen kleinen Strömungswiderstand. Seine aktiven Komponenten sind Edelmetalle, z. B. Platin, auf keramischer Unterlage oder Titandioxid TiO_2. Leider lässt die Wirksamkeit der Katalysatoren im Laufe der Zeit infolge von unvermeidlichen Katalysatorgiften, z. B. Blei, nach. Deshalb ist nach wenigen Jahren ein Ersatz des Katalysators erforderlich.

> Katalysatoren haben wegen der Katalysatorgifte nur eine beschränkte Lebensdauer.

Katalysatortechnik für Ottomotoren. Katalysatoren mit einem Wabenkörper nach **Bild 1, folgende Seite,** können auch manche Emissionen von Ottomotoren (Verbrennungsmotoren für Benzin) beseitigen. Dabei werden die Abgase unmittelbar dem Katalysator zugeführt **(Bild 3)**.

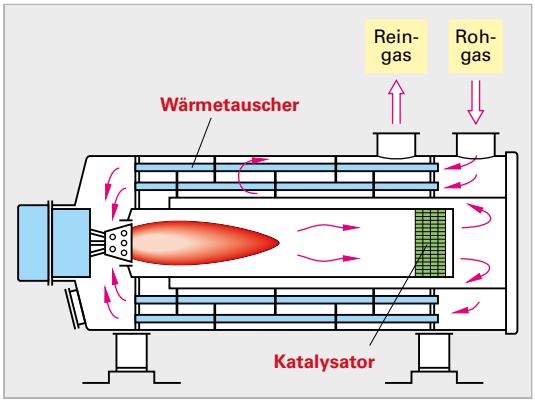

Bild 1: Brennkammer mit Katalysator

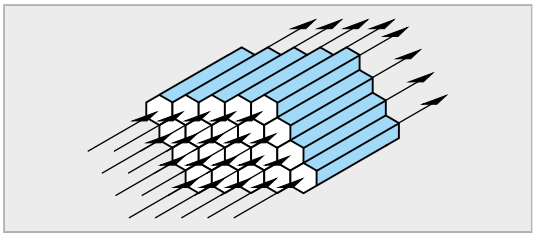

Bild 2: Form des Katalysators

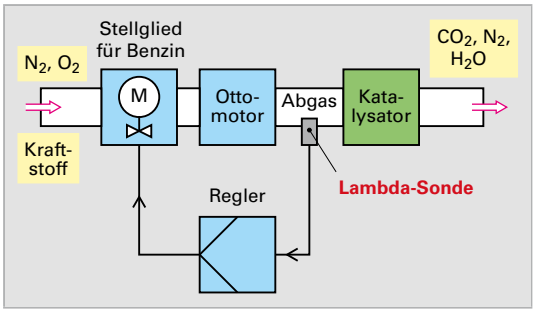

Bild 3: Prinzip des geregelten Katalysators

Der Katalysator wird allerdings erst einige Minuten nach dem Starten wirksam, weil er vorher nicht die zur Verbrennung erforderliche Temperatur von 300 °C bis 400 °C besitzt.

> Katalysatoren ohne Vorheizung wirken erst einige Zeit nach dem Starten.

Bei der Verbrennung von Benzin im Ottomotor entstehen außer Kohlenstoffmonoxid und Kohlenstoffdioxid auch Stickstoffoxide NO_X. Diese können im Katalysator zu Stickstoff reduziert werden. CO wird zu CO_2 oxidiert.

$$2\,CO + 2\,NO \rightarrow N_2 + 2\,CO_2$$

Neben dem Hochdruck-Reinigungsverfahren kommen bei der Kanal- und Rohrreinigung noch andere Reinigungsverfahren zum Einsatz **(Tabelle 1)**. In begehbaren Kanälen erfolgt auch manuelles Reinigen durch Personen. Auf entsprechenden Arbeitsschutz, z. B. Schutzanzug, Handschuhe, Atemmaske, ist zu achten.

Für **Inspektionen** von Rohren oder Kanälen werden Miniaturkameras mobiler Inspektionseinrichtungen **(Bild 1)** oder entsprechender Einrichtungen von Kanalreinigungsfahrzeugen **(Bild 2)** verwendet. Die Kameras sind an Schiebekabel, z. B. mit 1000 m Länge, schwenkbar montiert. Damit können Rohre mit einem Mindestdurchmesser von z. B. DN 20 inspiziert werden. Die Visualisierung erfolgt mittels USB-Schnittstelle und Laptop-PC, über den mittels Software auch eine Speicherung auf z. B. DVD erfolgen kann.

Derartige Inspektionen werden durchgeführt, um Schäden zu erkennen oder um wiederholte Rückstauereignisse zu untersuchen. Insbesondere im Anschluss an eine Kanalreinigung bietet sich eine Videoanalyse an. Der zeitliche Abstand zwischen Reinigung und Inspektion sollte nicht mehr als 24 Stunden betragen.

Vor Beginn der Kanalreinigung müssen Informationen zum baulichen Zustand der zu reinigenden Anlage eingeholt werden. Bei vorgeschädigten Kanälen ist eine Schadensausweitung bis hin zum etwaigen Einsturz des Kanals zu verhindern. Infolge des Reinigungsverfahrens können Abplatzungen, Risse oder Löcher in den Kanal- und Rohrwandungen entstehen. Auch umherwirbelnde Teile können zu Beschädigungen führen.

Während des Reinigungsprozesses muss der anfallende Abfall, also der Reinigungsrückstand, kontrolliert werden, um z. B. auf Bruchstücke des Kanalrohres rechtzeitig reagieren zu können. Die Kanalreinigungsrückstände sind überwachungsbedürftige Abfälle und müssen nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz behandelt und ggf. einer Verwertung zugeführt werden.

> Bei der Auswahl der Reinigungsgeräte muss auf mögliche Kanal- oder Rohrbeschädigungen durch ihren Einsatz geachtet werden.

Während der Kanalreinigungsarbeiten müssen aus Sicherheitsgründen für das Arbeitspersonal sowie für vorbeikommende Passanten entsprechende Absperrmaßnahmen am Kanaleinstieg vorgenommen werden.

Tabelle 1: Weitere Kanalreinigungsverfahren

Verfahren	Beschreibung, Anwendung
Schwallspülung	Zum Entfernen loser, nicht verfestigter Ablagerungen in großen Rohren.
mechanische Reinigung	Einsatz von Bohr-, Fräs-, Schneid- oder Sandstrahlgeräten bei verfestigten Ablagerungen oder Wurzeln.
Chemisch/biologische Reinigung	Bei Inkrustationen (Ablagerung schwerlöslicher chemischer Verbindungen), Lösen von Fett- und Faserstoffen.
Molch	Pfropfen, meist aus Schaumstoff, der z. B. in eine Pumpendruckleitung eingesetzt wird. Diese wird mit Hochdruck beaufschlagt. Der Molch gleitet durch das Rohr und reinigt die Innenwände.

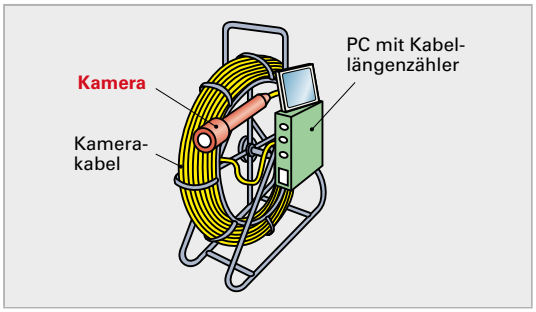

Bild 1: Mobile Inspektionseinrichtung

Bild 2: Einrichtung eines Kanalreinigungsfahrzeuges

Wiederholung und Vertiefung

1. **Erklären Sie das Prinzip der Kanalreinigung, basierend auf Wasserhochdruck.**
2. **Durch welchen Mechanismus bewegen sich bei der Hochdruckreinigung Wasserschlauch und Düse vorwärts?**
3. **Welche Düsenart ist bei Verstopfungen anzuwenden?**
4. **Wodurch können Kanalrohre bei ihrer Reinigung beschädigt werden?**