
Handbuch Betrieblicher Gewässerschutz

Gabi Förtsch · Heinz Meinholz

Handbuch Betrieblicher Gewässerschutz

2. Auflage

 Springer Vieweg

Gabi Förtsch
Förtsch & Meinholz Personal- und
Managementberatung
Villingen-Schwenningen, Deutschland

Heinz Meinholz
Hochschule Furtwangen
Villingen-Schwenningen, Deutschland

ISBN 978-3-658-36872-2 ISBN 978-3-658-36873-9 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-36873-9>

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

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2014, 2022

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

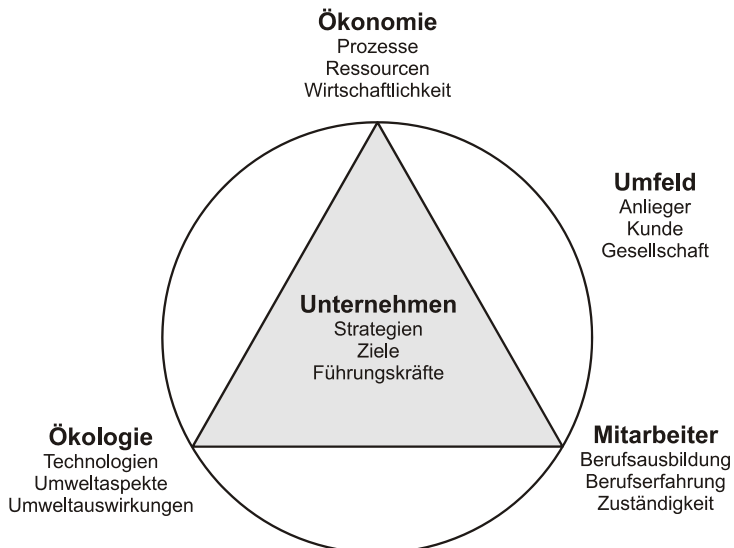
Planung: Dr. Daniel Fröhlich

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Vorwort

In Zukunft wird das gesellschaftliche Umfeld immer verstärkter Anforderungen an eine nachhaltige Unternehmensführung stellen. Von daher ist das Unternehmen gefordert, gleichzeitig ökonomische, ökologische und soziale Aspekte zum Schutz von Mensch und Umwelt zu erfüllen. Verstärkt werden die Anforderungen durch spezifische Kundenwünsche. Nur wenn sich die Unternehmen den entsprechenden Entwicklungen stellen, können sie die sich daraus ergebenden Möglichkeiten als Chancen nutzen und sich zukunftsorientiert aufstellen. Die Anforderungen des Umfelds müssen vom Unternehmen aufgenommen und in langfristige Strategien umgesetzt werden. Die gesamte Organisation sollte die sich daraus ergebenden Ziele nach intern und extern kommunizieren. Eine nachhaltige Zielerreichung ist nur mit gut ausgebildeten, qualifizierten und motivierten Beschäftigten möglich. Führungskräfte und deren Mitarbeiter müssen sich ihrer spezifischen Verantwortung bewusst sein und dieser nachkommen. Dazu sollten sie in ihrem Verantwortungs- und Aufgabenbereich die Nachhaltigkeitsaspekte erkennen und verstehen. Durch das Engagement der Mitarbeiter lassen sich Prozesse optimieren, Ressourcen einsparen und die Unternehmensleistung erhöhen. Aufgrund ihrer Vorbildfunktion und Kompetenzen tragen Führungskräfte eine besondere Verantwortung zur Erreichung der ökonomischen, ökologischen und sozialen Ziele in ihrem Organisationsbereich.



Aspekte einer umweltorientierten, nachhaltigen Unternehmensführung

Die Handbuchreihe zum betrieblichen Umweltschutz besteht aus insgesamt 5 Bänden. Das Basiswerk ist das Handbuch zum betrieblichen Umweltmanagement, das durch Themenbände zum Gefahrstoffmanagement, Immissionsschutz und Energiesektor, Gewässerschutz und zur Kreislaufwirtschaft ergänzt wird. Ganzheitlich betrachten sie den betrieblichen Umweltschutz unter organisatorischen, rechtlichen, technologischen und naturwissenschaftlichen Gesichtspunkten.

Im 1. Kapitel werden einige Aspekte der lebenswichtigen Ressource Wasser beschrieben. Das Vorkommen von Wasser und dessen Verwendung sind überlebenswichtig für den Menschen. Die Aufbereitung zu Trinkwasser liefert das wichtigste Lebensmittel. Zum Schutz von Wasser wurden wichtige Rechtsvorschriften verabschiedet. Dieses Kapitel liefert dazu einen kompakten Überblick.

Auf europäischer Ebene legt die Wasser-Rahmen-Richtlinie (WRRL) wichtige Bedingungen fest (Kapitel 2). Ziel dieser Richtlinie ist die Schaffung eines Ordnungsrahmens für den Gewässerschutz. Zur Gewährleistung eines wirksamen Schutzes werden Anforderungen an die Ableitung bestimmter gefährlicher Stoffe festgelegt. Die Trinkwasser-Richtlinie legt Mindest-Qualitätsstandards für dieses wichtige Lebensmittel fest. Anforderungen an die Sammlung, Behandlung und Einleitung von kommunalem Abwasser schützen Mensch und Umwelt vor negativen Auswirkungen.

Im 3. Kapitel werden die nationalen Anforderungen an das Wasserrecht behandelt. Mit dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) wird eine nachhaltige Gewässerbewirtschaftung angestrebt. Die Kriterien zur Bestimmung des Standes der Technik liefern Anforderungen u.a. an die Bewirtschaftung von Gewässern, die Abwasserbeseitigung und dem Umgang mit wassergefährdenden Stoffen. Im Unternehmen kann ein Gewässerschutzbeauftragter die Betriebsangehörigen beraten und unterstützen. Die Grundwasserverordnung (GrwV) stellt Anforderungen an den Schutz des Grundwasserkörpers und steht in direktem Zusammenhang mit der Trinkwasserverordnung (TrinkwV). Die Abwasserverordnung (AbwV) mit ihren zahlreichen Anhängen bestimmt die Anforderungen an die Abwassereinleitung unterschiedlichster Herkunftsbereiche und Unternehmen. Mit der Eigenkontrollverordnung steht ein Instrument zur Überwachung von Abwasseranlagen und Einleitungen für die Unternehmen zur Verfügung. In diesem Kontext spielt die Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) eine wichtige Rolle. Sie macht Vorgaben zum Schutz der Gewässer und dient damit dem Schutz von Mensch und Umwelt. Die AwSV behandelt die Einstufung von Stoffen und Gemischen in Wassergefährdungsklassen (WGK). Es werden technische und organisatorische Anforderungen an Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen beschrieben, die regelmäßig zu überprüfen sind.

Die naturwissenschaftlichen Grundlagen des 4. Kapitels liefern ein Verständnis für den Ablauf chemischer Reaktionen. In diesem Zusammenhang spielen chemische Gleichgewichte eine wichtige Rolle. Dazu wird das Massenwirkungsgesetz erläutert. Aus der Autoprotolyse des Wassers wird der pH-Wert hergeleitet. Er spielt in der Abwasserbehandlung eine sehr wichtige Rolle, da über den pH-Wert der Verlauf einer chemischen Reaktion stark beeinflusst wird. Für die Fällung von Stoffen zu schwerlöslichen Verbindungen bietet das Löslichkeitsprodukt ein grundlegendes Verständnis.

Das 5. Kapitel behandelt summarische Belastungsgrößen zur Beschreibung des Gewässerzustandes und deren Klassifizierung. Dazu zählen die Gewässerstrukturklassen, die biologische und chemische Gewässergüte und letztlich der ökologische Status für die verschiedenen Gewässertypen. Der biologische (BSB₅) und chemische Sauerstoffbedarf (CSB) geben Auskunft über die Sauerstoffmenge, die zum Abbau organischer Verbindungen notwendig ist. Weitere Summenparameter sind Total Organic Carbon (TOC) und adsorbierbare organische Halogenverbindungen (AOX).

Zur Überwachung der Abwasserbehandlung sind immer analytische Nachweisverfahren notwendig (Kapitel 6). Der Lösungsweg einer analytischen Aufgabe von der Probenahme bis zum Analyseergebnis stellt einen zentralen Prozessablauf dar. Wichtige analytische Methoden sind die Messung des pH-Wertes und die Bestimmung der elektrolytischen Leitfähigkeit. Die Fotometrie ist eine seit Jahrzehnten als Standardverfahren eingesetzte Analysenmethode. Mit der Atomabsorptionsspektroskopie (AAS) lassen sich die meisten Elemente bis in kleinste Konzentrationsbereiche bestimmen. Ionische Spezies (Anionen, Kationen) lassen sich relativ einfach mit der Ionenchromatografie bestimmen.

Das 7. Kapitel beschreibt grundsätzliche Abläufe der Abwasserbehandlung. Dazu bietet eine Übersicht zu Chargenbehandlungsanlagen einen prinzipiellen Einstieg. Beginnend mit Spülprozessen werden über Ionenaustauscher die ersten Prozessschritte behandelt. Entgiftungsverfahren wie Cyanidentgiftung oder die Entgiftung von Cr(VI)-Verbindungen erfordern ein grundlegendes Verständnis über den Ablauf chemischer Reaktionen. Mit Hilfe der UV-Oxidation lassen sich auch schwer abbaubare Verbindungen wie chlorierte Kohlenwasserstoffe sicher zerstören. Elektrolytische Verfahren ermöglichen die Rückgewinnung wertvoller Badbestandteile wie Silber oder Gold. Abwässer dürfen nur eingeleitet werden, wenn sie bestimmte Stoffkonzentrationen an Anionen und Kationen unterschreiten. Für deren Fällung und Flockung lassen sich verschiedene Fällungs- und Neutralisationsmittel verwenden. Die ausgefällten Stoffe lassen sich mit Filterpressen abtrennen. Gelöste Restbestandteile an Schadstoffen können mit Membranverfahren entfernt werden.

Im 8. Kapitel werden weitere Verfahren zur Abwasserbehandlung beschrieben. Dazu gehören u.a. die Adsorption, Strippverfahren und die Extraktion. In der Abwasserreinigung wird die Adsorption zur Entfernung von schwer abtrennbaren Geruchs-, Farb- und Ge-

schmacksstoffen, von verschiedenen organischen Verbindungen und von einigen Schwermetallen eingesetzt. Mit Strippverfahren werden leichtflüchtige Stoffe mittels Luft oder Dampf aus dem Abwasser ausgetrieben. Beim Extraktionsverfahren wird der abzugebende Stoff mit einem selektiven Lösungsmittel aus einer Abgeberphase extrahiert. Die Löslichkeiten der Spezies in einer Abgeber- und einer Aufnehmerphase bewirken die Abtrennung der Substanzen. Verdampfungs- und Verdunstungsverfahren beruhen auf dem gleichen physikalischen Prinzip. Beide Verfahren dienen der Rückgewinnung von Prozesslösungen aus Spülwasser. Sie sind die wichtigsten Verfahren zur Vermeidung von Schlamm und Aufsalzung. Bei der Flotation wird der Dichteunterschied zwischen verschiedenen Feststoffpartikeln künstlich vergrößert, indem die Feststoffpartikel durch aufsteigende Gasblasen aus der Flüssigkeit transportiert werden. Wenn Öle und Fette (Leichtstoffe) in Form von Tröpfchen auf der Wasseroberfläche schwimmen, können sie mit Hilfe von Leichtstoffabscheidern und Skimmern abgetrennt werden. Die Sedimentation bezeichnet grundsätzlich den Vorgang der Fest-Flüssig-Suspensionstrennung unter Einfluss eines Beschleunigungsfeldes. Für die meisten Anwendungen wird die Erdanziehung genutzt. Durch Zentrifugation lässt sich das Fliehkraftfeld vergrößern und damit eine schnellere und bessere Trennung erzielen.

Biologische Verfahren zur Abwasserbehandlung werden im Kapitel 9 beschrieben. Dazu zählen die Grundprinzipien aerober und anaerober Verfahren. In Kläranlagen werden Abwässer durch die Kombination physikalischer, biologischer und chemischer Verfahren gereinigt. Dazu finden sich rechtliche Anforderungen in der Klärschlammverordnung (Abf-KlärV). Ein wichtiger Bestandteil im Klärschlamm und Schlammwasser ist Phosphor. Für die Phosphorrückgewinnung stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Aufgrund der rechtlichen Vorgaben wird die Rückgewinnung zukünftig an Bedeutung gewinnen.

Wichtige und hilfreiche Informationen finden sich z.B. unter folgenden Internetadressen:

- Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI)
www.bgrci.de
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)
www.baua.de
- Bundesministerium der Justiz
www.gesetze-im-internet.de
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)
www.bmu.de
- Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)
www.dbu.de
- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)
www.dguv.de
- Deutsches Institut für Normung e.V.
www.din.de
- Europäische Umweltagentur - European Environment Agency (EEA)
www.eea.europa.eu
- European Chemicals Agency (ECHA)
www.echa.europa.eu
- International Organization for Standardization (ISO)
www.iso.org
- NASA: Climate Change and Global Warming
<https://climate.nasa.gov/>
- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)
www.oecd.org
- Umweltbundesamt (UBA)
www.umweltbundesamt.de
- United Nations Environment Programme (UNEP)
www.unep.org
- Verband der chemischen Industrie (VCI)
www.vci.de
- Verein Deutscher Ingenieure e.V.
www.vdi.de

Ergänzend zu diesem Handbuch wurden weitere Werke zum betrieblichen Umweltschutz publiziert:

- Förtsch, G; Meinholz, H.; *Handbuch Betriebliches Umweltmanagement*, Springer-Vieweg, **2018**, 978-3-658-19150-4
- Förtsch, G.; Meinholz, H.; *Handbuch Betriebliches Gefahrstoffmanagement*, Springer-Vieweg, **2016**, 978-3-658-13087-9
- Förtsch, G; Meinholz, H.; *Handbuch Betriebliche Kreislaufwirtschaft*, Springer-Spektrum, **2015**, 978-3-658-06440-0
- Förtsch, G.; Meinholz, H.; *Handbuch Betrieblicher Immissionsschutz*, Springer-Vieweg, **2020**, 978-3-658-29146-4

Inhaltsverzeichnis

1	Die lebenswichtige Ressource Wasser	1
	1.1 Einführung	1
	1.2 Wasservorkommen und -verwendung	1
	1.3 Die Wassersituation in Deutschland	6
	1.4 Aufbereitung von Süßwasser/Trinkwasser	8
	1.5 Süßwasser aus Meer-/Brackwasser	12
	1.6 Verwendung von Wasser in nicht-öffentlichen Betrieben	14
	1.7 Rechtsvorschriften	16
	1.8 Checkliste betrieblicher Gewässerschutz	17
	1.9 Handlungsgrundlagen, Ziele und Maßnahmen	20
	1.10 Aufgaben für die Praxis	22
	Literatur	22
2	Europäisches Wasserrecht	25
	2.1 Wasser-Rahmen-Richtlinie (WRRL)	25
	2.2 Trinkwasser-Richtlinie (EU 2020/2184)	44
	2.3 Kommunales Abwasser	65
	2.4 Aufgaben für die Praxis	70
	Literatur	70
3	Nationales Wasserrecht	71
	3.1 Einführung	71
	3.2 Wasserhaushaltsgesetz (WHG)	72
	3.2.1 Allgemeine Bestimmungen	72
	3.2.2 Bewirtschaftung von Gewässern	73
	3.2.3 Abwasserbeseitigung	82
	3.2.4 Umgang mit wassergefährdenden Stoffen	85
	3.2.5 Gewässerschutzbeauftragter	87
	3.2.6 Hochwasserschutz	90
	3.2.7 Wasserwirtschaftliche Planung und Dokumentation	92
	3.2.8 Haftung für Gewässeränderungen	93
	3.3 Grundwasserverordnung (GrwV)	94
	3.4 Trinkwasserverordnung (TrinkwV)	99
	3.5 Abwasserverordnung (AbwV)	105
	3.5.1 Inhalt betrieblicher Dokumentation	110

3.5.2	Behandlung von Abfällen durch chemische und physikalische Verfahren (CP-Anlagen) sowie Altölaufarbeitung (Anhang 27)	112
3.5.3	Metallbearbeitung (Anhang 40)	115
3.5.4	Lebensmittelsektor	118
3.6	Industriekläranlagen-Zulassungs- und Überwachungsverordnung (ITÜV)	119
3.6.1	Anwendungsbereich und Begriffsbestimmungen	119
3.6.2	Zulassung und Überwachung industrieller Abwasserbehandlungsanlagen und Gewässerbenutzung	120
3.7	Eigenkontrollverordnung (EKVO)	128
3.7.1	Anforderungen an kommunale Abwasseranlagen	129
3.7.2	Anforderungen an industrielle Abwasseranlagen	133
3.8	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV)	138
3.8.1	Zweck, Anwendungsbereich, Begriffsbestimmungen	138
3.8.2	Einstufung von Stoffen und Gemischen	143
3.8.3	Technische und organisatorische Anforderungen an Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen	148
3.8.4	Sachverständigenorganisationen und Sachverständige, Güte- und Überwachungsgemeinschaften und Fachprüfer, Fachbetriebe	170
3.8.5	Einstufung von Stoffen und Gemischen als nicht wassergefährdend und in Wassergefährdungsklassen	178
3.8.5.1	Einstufung von Stoffen und Gemischen als nicht wassergefährdend	179
3.8.5.2	Bestimmung aufschwimmender flüssiger Stoffe und Gemische als allgemein wassergefährdend	180
3.8.5.3	Einstufung von Stoffen in Wassergefährdungsklassen	180
3.8.5.4	Ermittlung der Wassergefährdungsklasse	188
3.8.5.5	Einstufung von Gemischen in Wassergefährdungsklassen	188
3.8.5.6	Rechnerische Ableitung der Wassergefährdungsklasse aus den Wassergefährdungsklassen der enthaltenen Stoffe	190
3.8.5.7	Ableitung der Wassergefährdungsklasse aus am Gemisch gewonnenen Prüfergebnissen	191
3.8.5.8	Dokumentation der Selbsteinstufung von Stoffen und Gemischen	193
3.8.5.9	Prüfzeitpunkte und -intervalle für Anlagen außerhalb von Schutzgebieten und festgesetzten oder vorläufig gesicherten Überschwemmungsgebieten	194
3.8.5.10	Prüfzeitpunkte und -intervalle für Anlagen in Schutzgebieten und festgesetzten oder vorläufig gesicherten Überschwemmungsgebieten	195
3.9	Unfälle mit wassergefährdenden Stoffen	196
3.10	Aufgaben für die Praxis	197
	Literatur	198

4	Naturwissenschaftliche Grundlagen	201
4.1	Atomaufbau	201
4.2	Vom Element zur Verbindung	204
4.2.1	Ionenbindungen	204
4.2.2	Atombindung	205
4.2.3	Metallbindung	206
4.2.4	Komplexverbindungen	207
4.3	Chemische Gleichgewichte	210
4.3.1	Maßeinheiten	210
4.3.2	Chemische Reaktionsgleichungen	214
4.3.3	Massenwirkungsgesetz	217
4.3.4	Säuren und Basen	221
4.3.5	Löslichkeitsprodukt	225
4.4	Aufgaben für die Praxis	227
	Literatur	227
5	Summarische Belastungsgrößen	229
5.1	Klassifizierung und Zustand der Gewässer	229
5.2	Biologisch-toxische Kenngrößen	234
5.3	Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB ₅)	236
5.4	Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	238
5.5	Total Organic Carbon (TOC)	239
5.6	Adsorbierbare Organische Halogene (AOX)	241
5.7	Gesamtstickstoff	244
5.8	Wasserhärte	247
5.9	Aufgaben für die Praxis	248
	Literatur	249
6	Nachweisverfahren	251
6.1	Der Lösungsweg einer analytischen Aufgabe	251
6.2	Von der Probenahme bis zur Angabe des Analyseergebnisses	253
6.2.1	Probenahme	253
6.2.2	Probenahmegeräte und Probenbehälter	255
6.2.3	Probenkonservierung	256
6.2.4	Dokumentation von Probenahmen	257
6.2.5	Probenvorbereitung	258
6.2.6	Auswertung von Messungen	259
6.2.7	Angabe von Analyseergebnissen	261
6.3	Volumenmessgeräte	262
6.4	Messung des pH-Wertes	268
6.4.1	Indikatoren	268
6.4.2	pH-Elektroden	270
6.5	Bestimmung der elektrolytischen Leitfähigkeit	274
6.6	Fotometrie	278
6.7	Atomabsorptionsspektroskopie	284
6.7.1	Strahlungsquelle	284
6.7.2	Atomisierungseinheit	285

6.7.3	Monochromator und Linienauswahl	287
6.7.4	Detektor und Anzeige	288
6.8	Ionenchromatografie	289
6.9	Aufgaben für die Praxis	295
	Literatur	296
7	Abwasserbehandlungsprozesse	299
7.1	Übersicht Chargenbehandlungsanlage	299
7.2	Spülprozesse	301
7.3	Ionenaustauscher	305
7.3.1	Austauschreaktionen	305
7.3.2	Herstellung von Ionenaustauscherharzen	308
7.3.3	Kationen- und Anionenaustauscher	311
7.3.4	Regeneration von Ionenaustauschern	313
7.3.5	Anwendungsbeispiele	314
7.4	Entgiftungsverfahren	316
7.4.1	Cyanidentgiftung	317
7.4.2	Entgiftung von Cr(VI)-Verbindungen	322
7.4.3	Nitritentgiftung	326
7.4.4	UV-Nassoxidation	328
7.4.5	Elektrolytische Verfahren	332
7.4.6	Elektrodialyse	334
7.5	Fällung und Flockung	338
7.5.1	Neutralisation und Neutralisationsmittel	338
7.5.2	Fällung und Flockung von Kationen	341
7.5.3	Nachweis und Fällung von Anionen	343
	7.5.3.1 Nachweis und Fällung von Fluoriden	343
	7.5.3.2 Nachweis und Fällung von Phosphat	345
	7.5.3.3 Nachweis und Fällung von Sulfat	347
7.6	Filtration	348
7.6.1	Filtersysteme	349
7.6.2	Membranverfahren	354
	7.6.2.1 Verfahrensprinzipien	354
	7.6.2.2 Membranherstellung	358
	7.6.2.3 Membranmodule und Betriebsweisen	360
7.7	Aufgaben für die Praxis	362
	Literatur	363
8	Prozesstechnik zur Abwasserbehandlung	365
8.1	Einleitung	365
8.2	Adsorption	366
8.3	Strippen	374
8.4	Extraktion	379
8.5	Verdampfen	382
8.6	Verdunsten	388
8.7	Flotation	389
8.8	Leichtstoffabscheider und Skimmer	393

8.9	Sedimentation	396
8.10	Zentrifugen	398
8.11	Aufgaben für die Praxis	400
	Literatur	400
9	Biologische Verfahren zur Abwasserbehandlung	403
9.1	Einleitung	403
9.2	Klärschlammverordnung	404
9.2.1	Allgemeine Vorschriften	404
9.2.2	Anforderungen an die Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm	409
9.2.3	Anforderungen an die Verwertung von Klärschlamm, Klärschlammgemisch und Klärschlammkompost auf und in Böden	413
9.2.4	Grenzwerte; Seuchen- und Phytohygiene	415
9.2.5	Abgabe und Auf- oder Einbringung von Klärschlamm	417
9.2.6	Anzeige- und Lieferscheinverfahren (gültig ab 01.01.2029; Registerpflicht)	420
9.2.7	Anforderungen an die regelmäßige Qualitätssicherung	424
9.2.8	Gemeinsame Bestimmungen zur Probenuntersuchung und zur Registerführung	433
9.3	Aerobe Verfahren	436
9.3.1	Grundlagen	436
9.3.2	Herkömmliche Verfahren	436
9.3.3	Industrie-Bauarten zur biologischen Abwasserbehandlung	438
9.4	Anaerobe Verfahren	441
9.5	Kommunale Kläranlage	447
9.6	Rückgewinnung von Phosphor	454
9.7	Aufgaben für die Praxis	465
	Literatur	465
	Stichwortverzeichnis	469



1.1 Einführung

Wasser (H_2O) ist eine ganz besondere chemische Verbindung und für viele physikalische und biologische Vorgänge von zentraler Bedeutung. Seine Eigenschaften beruhen auf der gewinkelten Molekülstruktur. Aufgrund der unterschiedlichen Elektronegativitätswerte (E) der Elemente Sauerstoff ($E_{\text{O}} = 3,44$) und Wasserstoff ($E_{\text{H}} = 2,10$) kommt es zu einer Polarisierung der Bindungen und zur Ausbildung eines Dipols. Da sich entgegengesetzte Ladungen anziehen, treten die Wassermoleküle miteinander in Wechselwirkung und bilden ein Netzwerk aus. Negativ polarisierte Sauerstoffatome (δ^-) treten mit positiv polarisierten Wasserstoffatomen (δ^+) in Kontakt. Es kommt zur Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen. Sie sind verantwortlich für den hohen Siedepunkt des Wassers.

Bei $3,98\text{ }^\circ\text{C}$ hat Wasser seine höchste Dichte (Dichteanomalie des Wassers). Friert Wasser so dehnt sich das gebildete Eis aufgrund der geringeren Dichte aus. Es kommt u.a. zur Verwitterung von Gesteinen. Gewässer frieren oberflächlich zu und schützen das darunter liegende Leben vor der Kälte. Wasser ist für die Funktionsweise von Biomolekülen essenziell. Aufgrund der Polarität seiner Bindungen besitzt Wasser ein unterschiedliches Lösungsverhalten für Verbindungen. Polare Verbindungen wie Kochsalz (NaCl) oder Glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) lösen sich leicht. Sie sind hydrophil. Unpolare Verbindungen wie Benzin oder Heizöl sind hydrophob. Sie sind wasserabweisend und lösen sich nicht in Wasser.

1.2 Wasservorkommen und -verwendung

Etwa $\frac{2}{3}$ der Erdoberfläche sind mit Wasser bedeckt. Das gesamte Wasservolumen beträgt ca. $1,37 \cdot 10^9\text{ km}^3$, was einem Würfel mit einer Kantenlänge von 1.111 km entspricht. 97,5 % des Wassers sind Salzwasser und nur 2,5 % sind Süßwasser. Das sind immerhin noch $35 \cdot 10^6\text{ km}^3$. Circa $\frac{2}{3}$ des Süßwassers sind in Eis gespeichert (Antarktis, Arktis, Grönland, Gletscher); ca. 30 % liegen in tiefen geologischen Schichten verschlossen. Die für den

Menschen als Trinkwasser nutzbare Menge beträgt nur ca. 3 % des gesamten Wasservorkommens (Tab. 1.1).

Tab. 1.1: Wasservorkommen, -kreislauf und -bedarf [17; 26]

Art des Wassers	Menge
Gesamtwasser	1,386 • 10 ⁹ km ³
Salzwasser	1,351 • 10 ⁹ km ³
Süßwasser	35 • 10 ⁶ km ³
<ul style="list-style-type: none"> • Eis • Tiefenwasser • potenzielles Trinkwasser 	66 % 30 % 3 %
Niederschläge	120.000 km ³ /a
<ul style="list-style-type: none"> • blaues Wasser • grünes Wasser 	45.000 km ³ /a 75.000 km ³ /a
Trinkwasser	3,5 L/d • Person
Sanitärwasser	20–40 L/d • Person
Wasser für industrielle Zwecke	130–380 L/d • Person
Ernährung	3.600 L/d • Person

Das Wasser der Erde unterliegt einem natürlichen Kreislauf, der durch die Sonneneinstrahlung aufrechterhalten wird. Von der Oberfläche der Ozeane verdunsten jährlich 470.500 km³ Wasser, die dort größtenteils als Niederschläge (424.000 km³) fallen. Rund 46.000 km³ Wasser werden über die Atmosphäre in Richtung Land transportiert. Unter Berücksichtigung der Verdunstungsrate von 74.000 km³/a fallen auf die Landoberfläche ca. 120.000 km³ Niederschläge in Form von Regen, Schnee und Hagel. Vom Land fließen 45.500 km³ Wasser zurück ins Meer, wodurch sich der globale Wasserkreislauf schließt (Abb. 1.1).

Die Niederschläge werden zu „blauem“ und „grünem“ Wasser. Blaues Wasser bildet Bäche, Flüsse, Seen und Grundwasser. Grünes Wasser verdunstet von der Erdoberfläche bzw. wird von Pflanzen aufgenommen und durch Verdunstung an die Atmosphäre abgegeben. Die pro Jahr auf die Landoberfläche fallenden Niederschläge bilden ca. 45.000 km³ blaues und 75.000 km³ grünes Wasser. Aus dem blauen Wasser deckt der Mensch seine Bedürfnisse für Trink- und Sanitärwasser bzw. den Wasserbedarf für Industrie und Landwirtschaft. Den grünen Wasserfluss benötigt die Vegetation (Wälder, Gräser, Feldfrüchte) zum Wachsen. Neben dem blauen Wasser ist der Mensch auch vom grünen Wasser abhängig, da er beide Wasserarten für die Erzeugung von Nahrungsmitteln benötigt. Für diese Zwecke verbraucht der Mensch 37.500 km³/a an grünem Wasser.

Neben dem „blauen“ und „grünen“ Wasser kann bei der Nutzung auch „grauges“ Wasser entstehen. Dies ist Wasser was bei seiner Nutzung verschmutzt und damit für den gedachten Einsatzzweck nicht mehr benutzt werden kann.

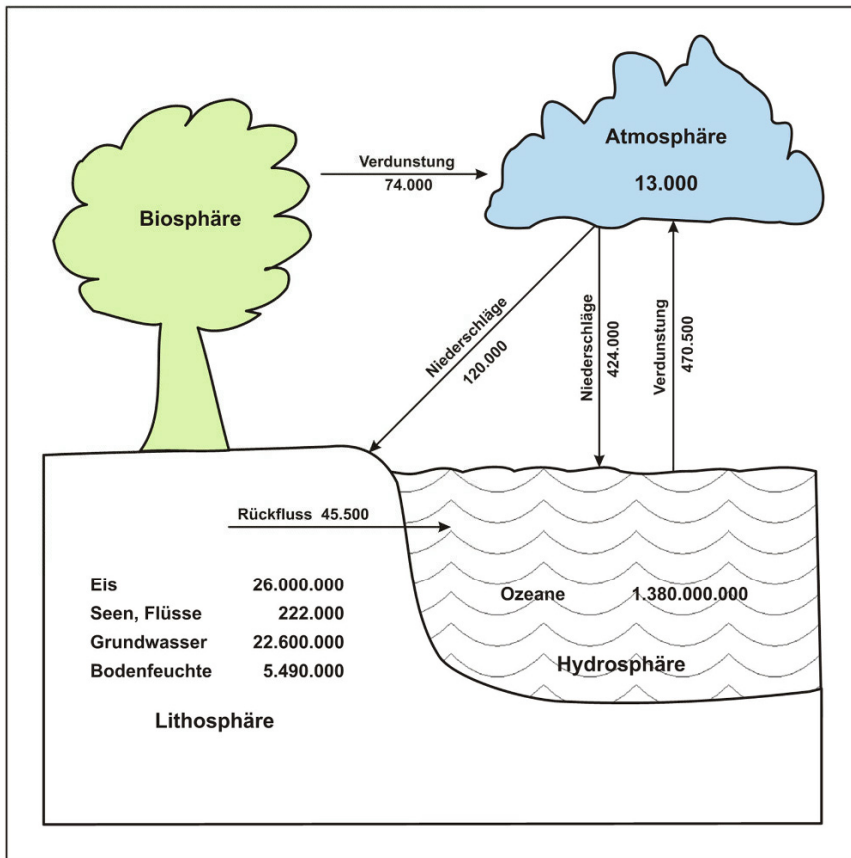


Abb. 1.1: Globaler Wasserkreislauf (km³/a bei den Austauschprozessen, km³ bei den Reservoiren) [2; 9; 16; 17; 25; 26]

Für seine direkten Trinkwasserbedürfnisse braucht der Mensch 5 L/d zum direkten Überleben. Um vernünftige globale sanitäre Verhältnisse zu erzielen, werden weitere 20–40 L/d und Person für Sanitärwasser benötigt. Für industrielle Prozesse schwanken die benötigten Mengen sehr stark und liegen zwischen 130–380 L pro Person. Zur Ernährung werden für jeden Menschen weitere 3.600 Liter/Tag an Wasser benötigt. Damit ergibt sich für jeden Menschen ein durchschnittlicher globaler Wasserbedarf von 4.000 L/d oder 1.500 m³/a. Aufgrund der wachsenden Weltbevölkerung und des industriellen Fortschritts nimmt der weltweite Verbrauch an Wasser stetig zu. Abbildung 1.2 bildet die gesamte jährliche Wasserentnahme für den Zeitraum von 1900–2025 ab. Gegenüber 1950 nimmt die Entnahme von Wasser bis 2025 um den Faktor 4 zu.

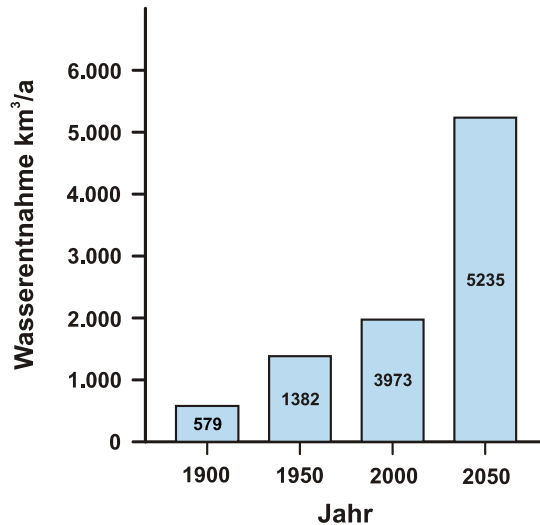


Abb. 1.2: Jährliche Wasserentnahme zwischen 1900 und 2025 [26]

Auf der Landoberfläche verdunsten die Niederschläge, fließen oberflächlich ab oder versickern im Boden. Je nach Beschaffenheit des Kompartiments kommt es zu unterschiedlichen Reinigungsvorgängen. Im Gewässer werden biologisch leicht abbaubare Stoffe durch Flora und Fauna relativ schnell mineralisiert. In Erd- und Gesteinsschichten kommt es je nach Beschaffenheit zu unterschiedlichen Filtrationsprozessen.

Dieser natürliche Wasserkreislauf mit seinen Reinigungsmechanismen ist an vielen Stellen durch den Menschen unterbrochen worden. Er greift hier direkt in den natürlichen Wasserkreislauf ein, indem Wasser für unterschiedliche Zwecke aus dem Kreislauf entnommen und nach Gebrauch – oft erwärmt und mit Schadstoffen belastet – wieder dem Kreislauf zuführt wird.

An einigen Stellen greift er indirekt in den Wasserkreislauf ein

- Durch großflächige Bodenversiegelungen im Straßen- bzw. Städtebau wird die Menge an Wasser, die durch die Erdschichten durchsickern kann, stark vermindert.
- Luftverunreinigungen werden durch die Niederschläge wieder auf die Erdoberfläche verbracht. Die Schadstoffe gelangen über die Niederschläge ins Wasser und erhöhen so die Gewässerbelastung.
- Eingriffe in Systeme von fließenden Oberflächengewässern durch Flussbegradigungen oder Kanalisierungen verändern die Fließgeschwindigkeiten der Gewässer und verhindern so die natürliche Selbstreinigung des Wassers.

Die Hauptbelastung des Wassers entsteht jedoch durch den direkten Eintrag von schädlichen Substanzen. In Deutschland fallen täglich ca. 10 Mio. m³ Abwasser aus privaten Haushalten, ca. 30 Mio. m³ aus Industrie und Gewerbe sowie ca. 50 Mio. m³ aus den Kühlanlagen der Kraftwerke an. Betrachtet man die Art der Wasserbelastung, so kann einerseits zwischen einer thermischen Belastung und andererseits einer stofflichen Belastung unterschieden werden.

Bei der thermischen Belastung wird das Wasser durch Einsatz in Kühlprozessen erwärmt und so den Fließgewässern zugeführt. Aufgrund der Temperaturerhöhung sinkt der Sauerstoffgehalt ab. Einige Organismen werden dadurch in ihrer Entwicklung gehemmt, wovon andere Organismen (z.B. Algen) profitieren. Somit wird das natürliche Gleichgewicht verschoben und das „Ökosystem Fluss“ in seinen Funktionen beeinträchtigt.

Einige Substanzen wirken giftig auf Wasserorganismen und Wassertiere. Cyanide sind beispielsweise starke Gifte, die bei höheren Organismen das Atemzentrum lähmen und sehr schnell zum Tod führen. Niedere Organismen (z.B. Bakterien, Pilze, usw.) werden durch Cyanide nicht geschädigt. Aus diesem Grund können Cyanide unter Umständen unbemerkt durch die biologische Reinigungsstufe einer Kläranlage in die Vorfluter gelangen. Schwermetalle hingegen verursachen innerhalb kurzer Zeit das Absterben ganzer Bakterien- und Pilzkulturen.

Auch Mikroorganismen können durch die Einwirkung von Schadstoffen in ihrem Wachstum beeinflusst werden. So wirken chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW) hemmend auf den Stoffwechsel von Mikroorganismen indem sie deren Enzymhaushalt stören. Auch Mineralöle und Benzine haben hemmende bis giftige Wirkung, da sie den Stofftransport durch die Zellwände der Mikroorganismen und Wasserpflanzen verändern.

Durch Überdüngung, die sog. Eutrophierung, werden Nährstoffe in großen Mengen in die Gewässer eingetragen. Dazu zählen insbesondere Stickstoffverbindungen (Nitratsalze) und Phosphorverbindungen (Phosphatsalze). Die Nitratsalze lösen sich im Gewässer sehr schnell auf und stehen den Wasserorganismen als Nährstoff unmittelbar zur Verfügung. Die Stoffwechselrate der Organismen und dadurch auch der Sauerstoffverbrauch steigen stark an, wodurch der Sauerstoffgehalt im Gewässer absinkt. Durch das überreiche Nährstoffangebot und die Lichteinstrahlung wird insbesondere das Wachstum von Algen stark gefördert. Dadurch werden tiefere Gewässerschichten verdunkelt und Organismen sterben durch den Lichtmangel ab.

Auch der Eintrag von Säuren durch die Luftverschmutzung in Gewässer hat weitreichende Folgen. Eine Absenkung des pH-Wertes auf 4,5 hat beispielsweise den Tod aller Fische zur Folge. Durch eine Versauerung der Gewässer sinkt darüber hinaus auch der Sauerstoffgehalt ab. Ein weiterer Aspekt der Versauerung von Gewässern ist die Löslichkeit von Mineralstoffen. Wasserpflanzen benötigen Mineralstoffe im Boden für ihr Überleben. Durch die

Absenkung des pH-Wertes werden die Mineralstoffe besser gelöst und im Wasser abgeschwemmt. Die Wasserpflanzen als wichtige Filter und Sauerstofflieferanten werden mit Nährstoffen unterversorgt und in ihrem Wachstum gehemmt. Im Extremfall sterben auch sie ab.

1.3 Die Wassersituation in Deutschland

61 % der Deutschen sind der Ansicht, dass der Zustand der Umwelt in Deutschland gut oder sehr gut ist. Für die eigene Gemeinde sind 77 % dieser Ansicht. Die weltweite Umweltqualität wird dagegen nur von 7 % der Bevölkerung als „recht gut“ oder „sehr gut“ eingeschätzt. Diese Einschätzung steht teilweise in krassem Widerspruch zur Wirklichkeit; sie kann mit fatalen Konsequenzen verbunden sein. Wenn nach eigener Einschätzung der Umweltzustand gut/sehr gut ist, braucht man an seinem Verhalten nichts zu ändern. Wenn der weltweite Zustand der Umwelt schlecht ist, so müssen sich „die Anderen“ bewegen.

Abbildung 1.3 zeigt den ökologischen Zustand für Fließgewässer. Danach sind nur ca. 10 % der Fließgewässer in einem sehr guten bzw. guten Zustand, d.h. ca. 90 % sind in einem mäßigen bis schlechten Zustand. Besonders die großen deutschen Flüsse sind keine natürlichen Fließgewässer mehr, sondern (teil)kanalisierte Schifffahrtsstraßen und damit erheblich verändert oder künstlicher Natur.

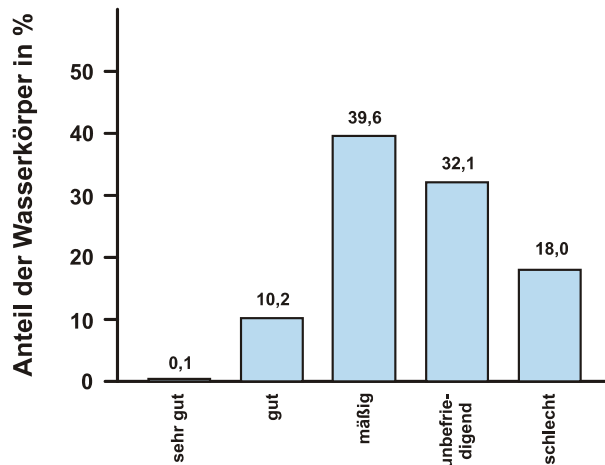


Abb. 1.3: Ökologischer Zustand der Fließgewässer [23]

Ebenfalls unbefriedigend ist die Situation bzgl. Eutrophierung. Auf ca. 50 % der Flächen für empfindliche Ökosysteme werden die Belastungsgrenzen überschritten (Abb. 1.4). Besonders drastisch ist die Situation im Nordwesten Deutschlands. Durch intensive Tierhaltung kommt es zu hohen Stickstoffeinträgen und einer Belastung der Umwelt.

Für die Versauerung sind Schwefeloxide (SO_2 , SO_3) und Stickoxide (NO , NO_2) verantwortlich. Sie bilden in der Atmosphäre Schwefelsäure (H_2SO_4) und Salpetersäure (HNO_3). Aufgrund der Luftreinhaltemaßnahmen der vergangenen Jahrzehnte hat sich hier die Situation deutlich verbessert (Abb. 1.4).

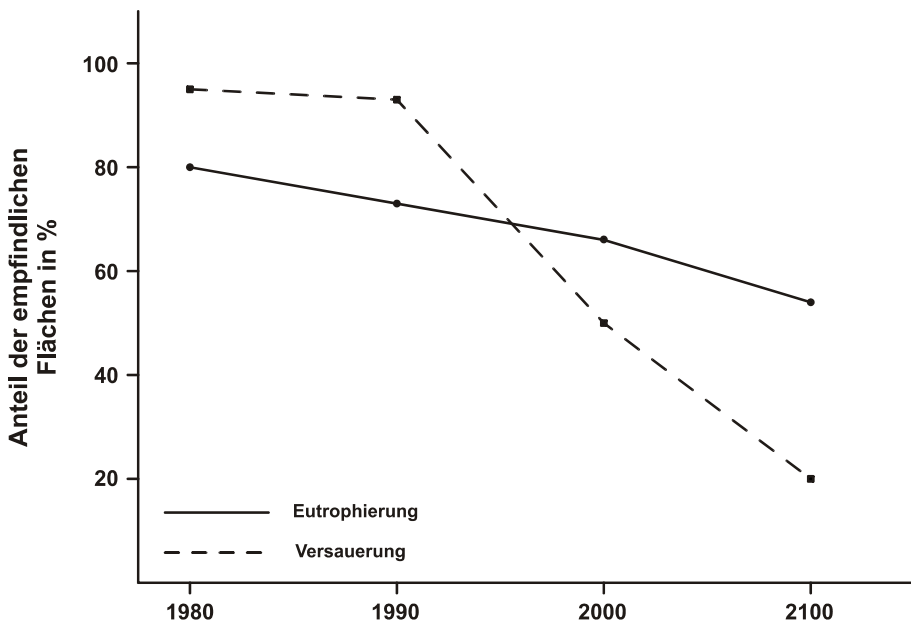


Abb. 1.4: Flächenanteil mit Überschreitung der Belastungsgrenzen [20]

Kritisch ist in vielen Regionen Deutschlands die Belastung des Grundwassers mit Nitrat (NO_3^-). Dies tritt besonders in Regionen mit hoher Tierhaltung auf. Abbildung 1.5 zeigt die Verteilung der Nitratkonzentration im Grundwasser. Der natürliche Hintergrund liegt bei NO_3^- -Konzentrationen von 10 mg/L und weniger. Anthropogen verursachte Nitrat-Emissionen führen teilweise zu einer deutlich höheren Nitratbelastung. So wird an 14 % der deutschen Grundwassermessstellen der Trinkwasser-Grenzwert von 50 mg/L NO_3^- überschritten.

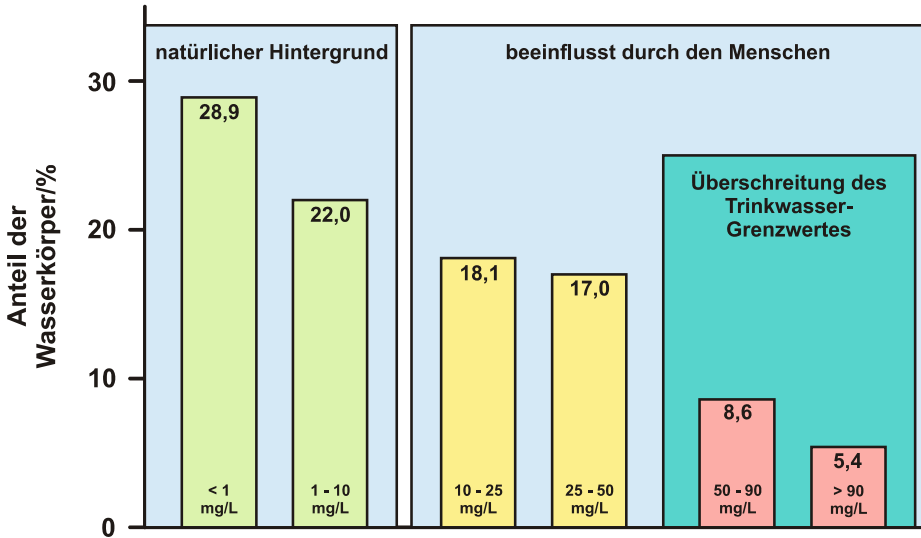


Abb. 1.5: Nitratgehalt (NO_3^-) im Grundwasser [21]

1.4 Aufbereitung von Süßwasser/Trinkwasser

Trinkwasser ist ein Lebensmittel dessen Qualitätsanforderungen sehr hoch sind. Rund 70 % des Trinkwassers in Deutschland werden aus (angereichertem) Grundwasser gewonnen. 20 % stammen aus Quell-, See- und Talsperrenwasser (Abb. 1.6).

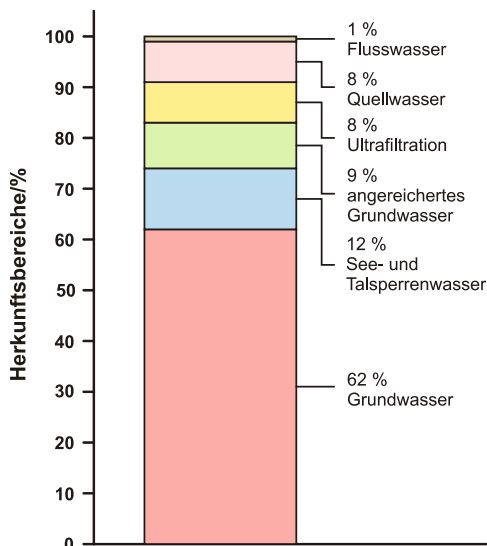


Abb. 1.6: Herkunftsbereiche für die Gewinnung von Trinkwasser [22]

Von den in Abbildung 1.7 beschriebenen Verfahrensstufen zur Gewinnung von Trinkwasser werden nur die wenigsten benutzt.

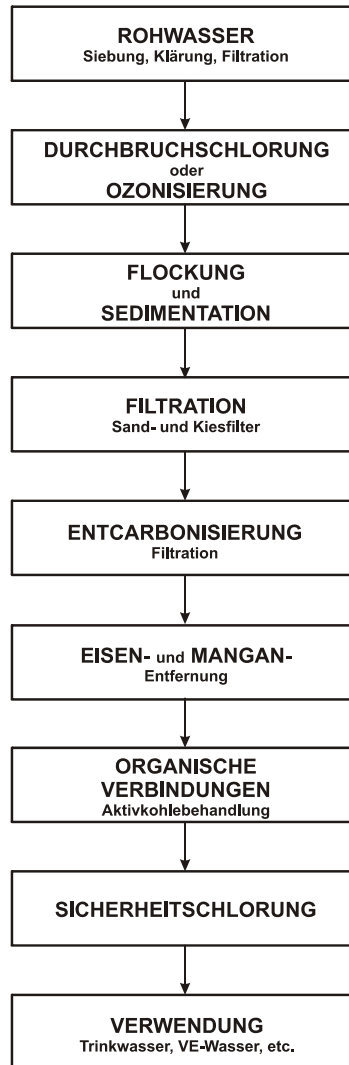
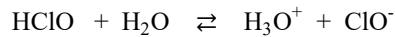
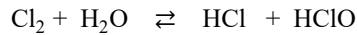


Abb. 1.7: Ablauf der Süßwasseraufbereitung

Durchbruchschlorierung

Stark verunreinigte Oberflächenwässer werden nach der Abtrennung von groben mechanischen Verunreinigungen stark gechlort.



Die entstehende Chlor(I)-Säure (HClO) ist ein starkes Oxidationsmittel. Die Chlorung bewirkt eine Abtötung von Keimen und Inaktivierung von Viren. Eisen(II)- und Mangan(II)-Salze werden oxidiert. Ammoniak, Phenole und organische Verunreinigungen setzen sich zu Chloraminen, Chlorphenolen und zu Chlorwasserstoffen um. Die entstehenden Verbindungen sind teilweise krebserzeugend. Als Alternative steht die Ozonisierung des Wassers zur Verfügung. Mit ihr können die genannten Nachteile nicht auftreten.

Flockung und Sedimentation

Enthält das Rohwasser einen starken Trübungsgehalt, vor allem aber kolloidale organische Verunreinigungen, so muss es durch Flockung vorgereinigt werden. Als Flockungsmittel setzt man Eisen- oder Aluminiumsalze, Kieselsäure oder organische Polymere zu.

Filtration

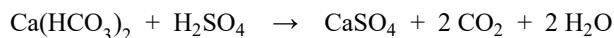
Das durch Flockung vorbehandelte Wasser muss anschließend filtriert werden. Setzt man Rohwasser einer Qualität ein, die eine Flockung und Durchbruchschlorung erübrigt, so ist die Filtration die erste Aufbereitungsstufe.

Entcarbonisierung

Enthält das Rohwasser Hydrogencarbonate, so scheiden sich beim Erhitzen des Wassers vor allem Calciumcarbonat und Magnesiumcarbonat ab.

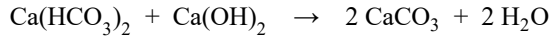


Durch Zugabe von Schwefelsäure lässt sich diese temporäre Härte entfernen.



Das entstandene Kohlendioxid muss ausgetrieben werden, da CO₂-haltiges Wasser korrosiv ist.

In einer technischen Variante gibt man Calciumhydroxid zum hydrogencarbonathaltigem Wasser. Die Lösung fließt über Calciumcarbonatkugeln, an denen das neu entstehende Calciumcarbonat aufwächst.



Entfernung von Eisen und Mangan

Eisen(II)- und Mangan(II)-Ionen kommen in vielen Rohwässern vor. Sie verleihen dem Wasser einen metallischen Geschmack und fallen in Gegenwart von Luft als Metalloxydhydrate aus. Die Abtrennung erfolgt durch Oxidation zu Eisen(III)- und Mangan(IV)-Ionen und Fällung und Filtration der schwerlöslichen Oxidhydrate. Dazu oxidiert man durch Verdüsen oder Verregnen in offenen Anlagen oder durch Einblasen von Luft in geschlossenen Behältern. Durch die Belüftung werden in einem Arbeitsgang Eisen, Mangan und aggressives Kohlendioxid aus dem Wasser entfernt.

Entfernung organischer Verunreinigungen

Für die Entfernung der Vielzahl gelöster organischer Verbindungen bietet sich vor allem die Behandlung mit Aktivkohle an. Wird pulverisierte Aktivkohle eingesetzt, ist eine Regenerierung nicht möglich. Gekörnte Aktivkohle lässt sich dagegen regenerieren. Neben der Beseitigung organischer Verunreinigungen bewirkt die Aktivkohlebehandlung eine Zersetzung von überschüssigem Chlor, eine biologische Teiloxidation von Ammoniak und organischen Verbindungen und eine Abtrennung der Eisen- und Manganoxidhydraten.

Sicherheitschlorung

Um eine Reinfektion des Wassers im Verteilungssystem zu verhindern, ist nach abgeschlossener Aufbereitung noch eine Sicherheitschlorung erforderlich. Dies gilt auch nach einer vorhergehenden Ozonisierung. Trinkwasser enthält etwa 0,1–0,2 mg/L Chlor.

In Deutschland belaufen sich die vorkommenden Süßwasserressourcen auf $188 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{a}$. Davon werden jährlich für die nichtöffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung $27,2 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ und für die öffentliche Wasserversorgung $5,1 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ entnommen.

Der tägliche Wasserverbrauch pro Person beträgt in Deutschland ca. 120 L/Tag (Abb. 1.8). Dieser Verbrauch setzt sich hauptsächlich aus

- 36 % Körperhygiene,
- 27 % Toilettenspülung,
- 12 % Wäsche waschen,

- 4 % Essen und Trinken,
- 6 % Geschirr spülen und
- 15 % weitere Verbraucher

zusammen. Weitere Verbraucher im Haushalt sind z.B. Raumreinigung, Geschirrspüler, Garten.

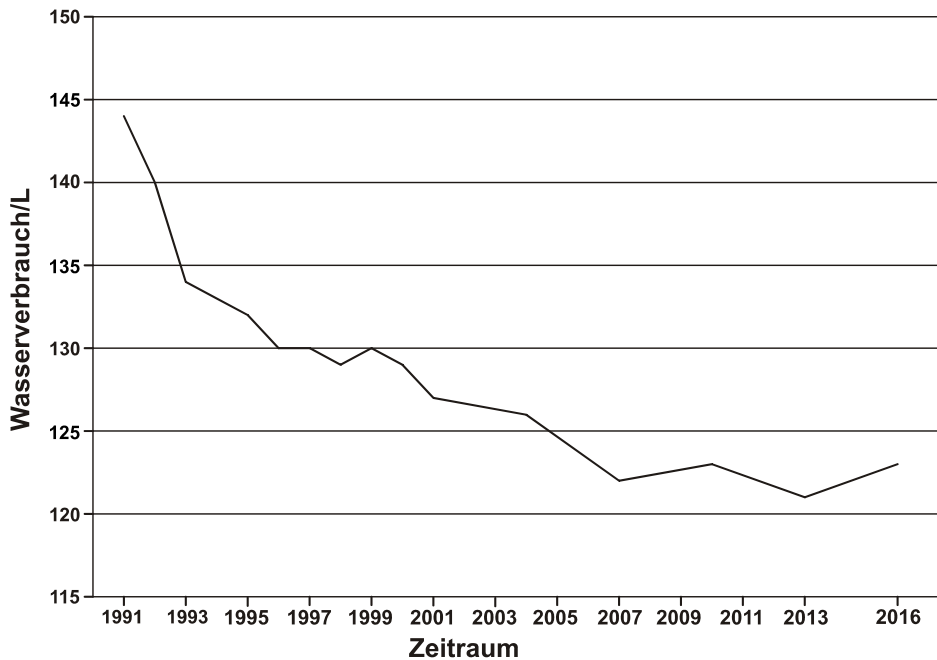


Abb. 1.8: Wasserverbrauch in Deutschland pro Einwohner und Tag [18; 23]

1.5 Süßwasser aus Meer-/Brackwasser

Meerwasser enthält ca. 3,5 % an gelösten Salzen. Die Hauptmenge davon ist Natriumchlorid. Trinkwasser sollte nicht mehr als 0,05 % NaCl und weniger als 0,1 % an gelösten Feststoffen enthalten. Zur Gewinnung von Süßwasser Meer- und Brackwasser stehen großtechnisch zwei Verfahren zur Verfügung. Dies sind die mehrstufige Vakuum-Entspannungs-Verdampfung und die Umkehrosmose.

Vakuum-Entspannungs-Verdampfung

An die Qualität des Meerwassers werden gewisse Ansprüche gestellt. Grobmechanische oder biologische Verunreinigungen sind zu entfernen und die Härtebildner sind zu eliminieren oder zu stabilisieren. Aus unbehandeltem Meerwasser scheiden sich CaCO_3 und Mg(OH)_2 unter Abgabe von Kohlendioxid auf den Wärmetauscherflächen ab. Dadurch verringert sich die Destillatleistung der Anlage.

Die Abscheidung der Härtebildner kann durch Zugabe von Schwefelsäure verhindert werden. Die Dosierung muss jedoch sehr exakt erfolgen. Unterdosierung führt zur Verkrustung, Überdosierung zur Korrosion der Anlage. Vielfach setzt man daher Polyphosphate zur Stabilisierung ein. Das vorbehandelte Meerwasser wird bei 90–120 °C in mehreren hintereinander geschalteten Stufen verdampft. Als Kühlwasser für die Kondensation des entstandenen Dampfes dient das einlaufende Meerwasser. Es erwärmt sich dabei von Stufe zu Stufe, bis im Enderhitzer mit Heißdampf die letztendlich erforderliche Energie zugeführt wird. In den einzelnen Verdampferstufen kühlt sich das erhitzte Meerwasser unter Abgabe von Dampf langsam auf ca. 40 °C ab. In den letzten Stufen ist zur Kühlung zusätzliches Meerwasser erforderlich. Damit und mit der aufkonzentrierten Sole geht ein erheblicher Teil der zugeführten Energie verloren. Die Kosten für die Gewinnung von Trinkwasser nach diesem Verfahren hängen wesentlich von den Energiekosten ab.

Umkehrosmose

Das Phänomen des osmotischen Drucks tritt immer auf, wenn zwei Lösungen verschiedener Konzentration durch eine semipermeable Membran getrennt sind. So tritt bei der Osmose Wasser von einer verdünnteren Lösung in eine konzentriertere Lösung über. Dieser Prozess geht so lange von statten, bis die Konzentrationen der durch die semipermeable Membran getrennten Lösungen gleich sind. Die Konzentration der Lösung hängt mit dem osmotischen Druck π durch die Beziehung

$$\pi = c \cdot R \cdot T$$

zusammen. c ist die Konzentration, R die universelle Gaskonstante und T die absolute Temperatur.

Umgekehrt lässt sich daher durch Anwendung eines äußeren Drucks, der mindestens dem osmotischen Druck entsprechen muss, aus einer salzhaltigen Lösung salzärmeres Wasser gewinnen. So liegt der osmotische Druck einer 0,5%igen Salzlösung bei 3,5 bar; der zur Wassergewinnung aus solch einer Salzlösung aufzuwendende Druck bei 40–70 bar. Da die freiwillig ablaufende Osmose umgekehrt wird, bezeichnet man das Verfahren als Umkehrosmose. Die Membranen bestehen bevorzugt aus Polyamid. Sie sind als Hohlkapillaren mit

einem Außendurchmesser von 100 μm und einem Innendurchmesser von 40 μm ausgebildet. Auch in diesem Verfahren muss mehrstufig gearbeitet werden. Ca. $\frac{1}{3}$ des Meerwassers geht als Produktwasser durch die Kapillarwände. Dies entspricht der Entspannungs-Verdampfung. Die Umkehrosmose benötigt jedoch nur die Hälfte der Energie.

1.6 Verwendung von Wasser in nicht-öffentlichen Betrieben

Mit steigender Industrialisierung nimmt auch die jährliche Wasserentnahme zu. Abbildung 1.9 zeigt dazu die Entwicklung zwischen 1950 und 2025. Betrug die Wasserentnahme 1950 noch 204 km^3/a so erhöht sie sich um den Faktor 6 auf 1.170 km^3/a in 2025.

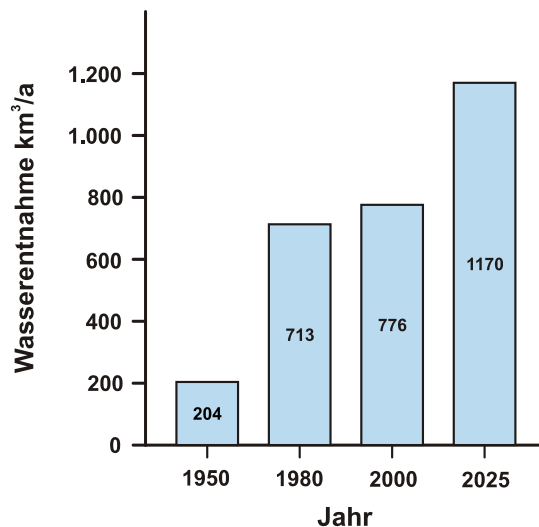


Abb. 1.9: Jährliche Wasserentnahme in der Industrie zwischen 1950 und 2025 [26]

Wasser wird in vielen Industriebranchen verwendet. In Abbildung 1.10 wird das Wasseraufkommen nach verschiedenen Wirtschaftszweigen dargestellt. Den Löwenanteil trägt mit ca. $\frac{2}{3}$ die Energieversorgung für Kühlzwecke. Danach folgt das verarbeitende Gewerbe mit einem weiteren Viertel. Zum verarbeitenden Gewerbe zählen beispielsweise die Chemieindustrie und die Metallbranche. Der Bergbau und die Gewinnung von Erden und Steinen machen 7,8 % des Wasseraufkommens aus. Die restlichen 3 % verteilen sich u.a. auf Forst- und Landwirtschaft, die Wasserversorgung und andere Wirtschaftszweige. Insgesamt ist mit ca. 90 % die Kühlung der Hauptverwendungszweck bei einem Gesamtwassereinsatz von 20 Milliarden Kubikmeter.

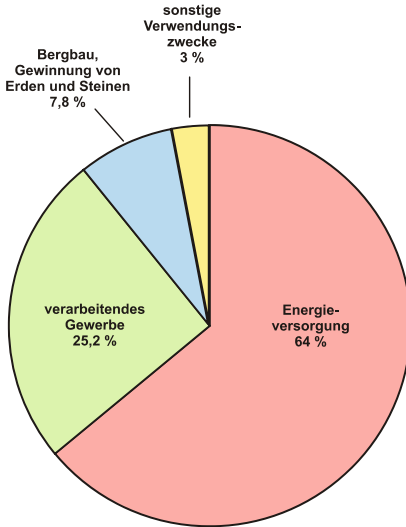


Abb. 1.10: Wasseraufkommen nach Wirtschaftszweigen in nicht-öffentlichen Betrieben [19]

Wird Wasser erwärmt, kann es in technischen Systemen zur Bildung von Legionellen kommen. Ideale Wachstumsbedingungen finden sie bei Temperaturen zwischen 25 °C und 55 °C. Erst ab 70 °C sterben sie ab (Abb. 1.11). Deshalb sollte warmes Wasser in Leitungssystemen mindestens eine Temperatur von 55 °C aufweisen.

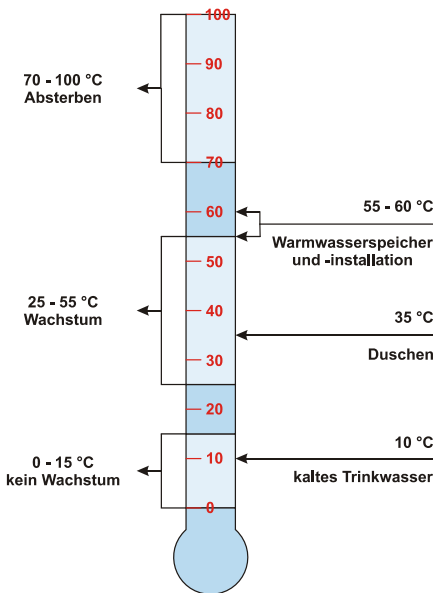


Abb. 1.11: Temperaturabhängigkeit des Legionellenwachstums [21]

1.7 Rechtsvorschriften

Eine wichtige Grundlage für den betrieblichen Gewässerschutz ist die Einhaltung der europäischen und nationalen Rechtsvorschriften. Dazu gehören auch Anlagen- und Betriebsgenehmigungen. Um weitergehende Verbesserungen zu erzielen kann eine zusätzliche Checkliste hilfreiche Dienste leisten. In Tabelle 1.2 findet sich ein allgemeiner Überblick zu entsprechenden Rechtsvorschriften.

Tab. 1.2: Übersicht zu europäischen und nationalen Rechtsvorschriften im Gewässerschutz

Gewässerschutz			
Europäische Union		Deutschland	
Wasser-Rahmen-Richtlinie (WRRL) Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik	31.10.14	WHG - Wasserhaushaltsgesetz Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts	02.06.21
		AbwV- Abwasserverordnung Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer	16.06.20
Kommunales Abwasser Richtlinie 91/271/EWG des Rates vom 21. Mai 1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser	28.12.13	IZÜS – Industriekläranlagen-Zulassungs- und Überwachungsverordnung Verordnung zur Regelung des Verfahrens bei Zulassung und Überwachung industrieller Abwasserbehandlungsanlagen und Gewässerbenutzungen	09.12.20
		AwSV – Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen	19.06.20
Grundwasser-Richtlinie Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzungen und Verschlechterung	21.06.14	GrwV – Grundwasserverordnung Verordnung zum Schutz des Grundwassers	04.05.17
Trinkwasser-Richtlinie Richtlinie 98/83/EG des Rates vom 03. November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch	23.12.20	TrinkwV - Trinkwasserverordnung Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch	19.06.20