

Kurt Lecher
Hans-Peter Lühr
Ulrich C. E. Zanke *Hrsg.*

Taschenbuch der Wasserwirtschaft

Grundlagen – Maßnahmen – Planungen

10. Auflage

 Springer Vieweg

Kurt Lecher
Hans-Peter Lühr
Ulrich C. E. Zanke
Hrsg.

Taschenbuch der Wasserwirtschaft

Grundlagen – Maßnahmen – Planungen

10. Auflage

 Springer Vieweg

Hrsg.

Kurt Lecher
Institut für Wasserwirtschaft
Leibniz Universität Hannover
Hannover, Deutschland

Hans-Peter Lühr
HPL-Umwelt-Consult
Berlin, Deutschland

Ulrich C. E. Zanke
Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
TU Darmstadt
Darmstadt, Deutschland

ISBN 978-3-658-31287-9 ISBN 978-3-658-31288-6 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-31288-6>

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

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 1958 ... 2001, 2015, 2021

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.

Lektorat: 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

Verzeichnis der Herausgeber und Hauptautoren

Rolf Anselm

(Kapitel 9 „Gewässerregelung“)

IDN Ingenieur-Dienst-Nord Dr. Lange – Dr. Anselm GmbH, Oyten

Matthias Barjenbruch

(Kapitel 15 „Abwassertechnik“)

Technische Universität Berlin, Institut für Bauingenieurwesen, Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft

Oliver Bens

(Kapitel 5 „Boden“)

Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ

Günter Blöschl

(Kapitel 7 „Ingenieurhydrologie“)

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie

Mathias Döring

(Kapitel 11.1 „Stauanlagen“)

ehemals Fachhochschule Darmstadt, Fachbereich Bauingenieurwesen, Wasserbau

Leopold Füreder

(Kapitel 3 „Gewässerökologie“)

Universität Innsbruck, Fakultät für Biologie, Institut für Ökologie

Andreas N. Grohmann

(Kapitel 1 „Physik und Chemie des Wassers“)

Vormaliger Leiter der Trinkwasserabteilung des Umweltbundesamtes, hon. Prof. TU Berlin, Wasserreinhalteung

Herbert Grubinger

(Kapitel 9 „Gewässerregelung“)

ehemals Institut für Kulturtechnik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule
ETH Zürich

Uwe Grünewald

(Kapitel 18 „Wasserwirtschaftliche Planungen“)

Brandenburgische Technische Universität Cottbus – Senftenberg, Fakultät Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik

Dieter Gutknecht

(Kapitel 7 „Ingenieurhydrologie“)

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie

Stephan Heimerl

(Kapitel 11.2 „Wasserkraftanlagen“)

Fichtner Water & Transportation GmbH

Hanspeter Hodel

(Kapitel 2 „Wasserhaushalt, Gewässer, Hydrometrie“)

Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, Abteilung Hydrologie

Marion Huber-Humer

(Kapitel 16 „Abfallwirtschaft heute – der Weg zur Kreislaufwirtschaft“)

Universität für Bodenkultur BOKU Wien, Department für Wasser, Atmosphäre und Umwelt, Institut für Abfallwirtschaft

Reinhard F. Hüttl

(Kapitel 5 „Boden“)

Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg, Lehrstuhl für Bodenschutz und Rekultivierung

Bernhard Keim

(Kapitel 6 „Grundwasser“)

Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH, Stuttgart

Helmut Kobus

(Kapitel 6 „Grundwasser“)

Universität Stuttgart, Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung

Stefan Kopp-Assemacher

(Kapitel 8 „Wasserrecht und Abfallrecht“)

Kopp-Assemacher Rechtsanwälte, Berlin

Hans-Peter Koschitzky

(Kapitel 6 „Grundwasser“)

Universität Stuttgart, Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung

Julia Krümmelbein

(Kapitel 5 „Boden“)

Brandenburgische Technische Universität Cottbus – Senftenberg, Lehrstuhl für Geopedologie und Landschaftsentwicklung

Rudolf Kuhn

(Kapitel 13 „Binnenverkehrswasserbau“)

Gräfelting

Kurt Lecher

(Kapitel 2 „Wasserhaushalt, Gewässer, Hydrometrie“ und

Kapitel 9 „Gewässerregelung“)

Leibniz Universität Hannover, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau

Peter Lechner

(Kapitel 16 „Abfallwirtschaft heute – der Weg zur Kreislaufwirtschaft“)

Universität für Bodenkultur BOKU Wien, Department für Wasser, Atmosphäre und Umwelt, Institut für Abfallwirtschaft

Bernd Lennartz

(Kapitel 10 „Be- und Entwässerung“)

Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Bodenphysik und Ressourcenschutz

Hans-Peter Lühr

(Kapitel 17 „Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“)

HPL-Umwelt-Consult, Berlin

Julian Mosbach

(Kapitel 14 „Wasserversorgung“)

Technische Universität Darmstadt, Institut IWAR, Fachgebiet Wasserversorgung und Grundwasserschutz

Hocine Oumeraci

(Kapitel 12 „Küsteningenieurwesen“)

Technische Universität Braunschweig, Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Abteilung Hydromechanik und Küsteningenieurwesen

Bernhard Söhngen

(Kapitel 13 „Binnenverkehrswasserbau“)

Bundesanstalt für Wasserbau BAW, Referatsleiter Schiff/Wasserstraße, Naturuntersuchungen

Wilhelm Urban

(Kapitel 14 „Wasserversorgung“)

Technische Universität Darmstadt, Institut IWAR, Fachgebiet Wasserversorgung und Grundwasserschutz

Peter Widmoser

(Kapitel 10 „Be- und Entwässerung“)

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Abteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft

Ulrich C. E. Zanke

(Kapitel 4 „Hydraulik“)

Technische Universität Darmstadt, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
Z & P – Prof. Zanke & Partner, Ingenieurbüro für Modellierungen und wissenschaftliche Beratung im Wasserwesen

Martin Zimmermann

(Kapitel 14 „Wasserversorgung“)

ISOE – Institut für sozial-ökologische Forschung GmbH, Frankfurt am Main

Zuständigkeit der Herausgeber

Innerhalb der Herausgebergemeinschaft war die Zuständigkeit für die herausgeberische Betreuung wie folgt aufgeteilt:

Professor Kurt Lecher

für die Kapitel 2, 7, 9, 10, 12 und 18

Professor Hans-Peter Lühr

für die Kapitel 1, 3, 5, 6, 8, 15 und 17

Professor Ulrich C. E. Zanke

für die Kapitel 4, 11, 13, 14 und 16

Vorwort

Das „Taschenbuch der Wasserwirtschaft“ wurde erstmals im Jahre 1958 von Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. h. c. mult. Heinrich Press auf Anregung von Ing. (grad.) Bodo Cousin als Gemeinschaftsarbeit von mehreren anerkannten Fachleuten auf dem weiten Gebiet der Wasserwirtschaft herausgegeben. Bis zum Beginn der 1990iger Jahre gaben Prof. h. c. Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Bretschneider, TU Berlin, und Dr.-Ing. Martin Schmidt, ehem. Direktor der Harzwasserwerke des Landes Niedersachsen, das Taschenbuch heraus.

In den nunmehr fast sieben Jahrzehnten seit seinem ersten Erscheinen ist das „Taschenbuch der Wasserwirtschaft“ längst zu einem Standardwerk geworden, das in konzentrierter Form und fortlaufend aktualisiert eine umfassende wasserwirtschaftliche Gesamtübersicht bietet, die den Blick für das Ganze fördern und die Verbindung der einzelnen Spezialbereiche zueinander erhellen hilft.

Im „Taschenbuch der Wasserwirtschaft“ kommen die neuesten technischen Normen und Regelwerke der drei für die Wasserwirtschaft wichtigsten Verbände zum Zuge: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V. (BWK) und Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW). Dem Gesetz über Einheiten im Messwesen entsprechend wird das internationale Einheitensystem (SI) verwendet. Erläuterungen hierzu sind wiederum dem Anhang zu entnehmen. Dort sind auch Tabellen enthalten, die die Umrechnung physikalischer Größen mit anderen Einheiten – z. B. des amerikanischen Maßsystems – erleichtern.

Das Buch wendet sich vor allem an die im Beruf stehenden Ingenieure aus Wasserbau- und Wasserwirtschaft sowie an die Studierenden, die Mitarbeiter der Wasserwirtschafts-, Wasser- und Schifffahrtsverwaltungen, Wasserwerke und Abwasserverbände, Stadtbauämter, Bau- und Hafenbehörden, Wasserwirtschafts-, Wasser- und Bodenverbände, Ingenieurbüros und Bauunternehmen, sowie an Geografen, Geodäten, Geologen, Chemiker, Land- und Forstwirte, Biologen, Limnologen, Ökologen, Landschaftsarchitekten und Umweltbeauftragte.

In unserer Zeit der Arbeits- und Wissensteilung und der sich daraus ergebenden Spezialisierung auch der entsprechenden Fachliteratur gibt die vorliegende 10. Auflage erneut auf aktuellem Stand eine Gesamtdarstellung über die verschiedenen Spezialbereiche der Wasserwirtschaft und des Wasserbaus wieder.

Hannover, Berlin, Darmstadt
Dezember 2020

Kurt Lecher
Hans-Peter Lühr
Ulrich C. E. Zanke

Inhaltsverzeichnis

1	Physik und Chemie des Wassers	1
	Andreas N. Grohmann	
1.1	Physikalische Eigenschaften	1
1.1.1	Struktur des Wassers	1
1.1.2	Aggregatzustände des Wassers	2
1.1.3	Physikalische Größen	3
1.2	Physikochemische Eigenschaften	7
1.2.1	Wasser als Lösemittel	7
1.2.2	Konzentrationsangaben für Stoffe im Wasser	9
1.2.3	Löslichkeit von Gasen	12
1.2.4	Löslichkeit fester Stoffe	13
1.2.5	Färbung und Trübung	14
1.2.6	Elektrische Leitfähigkeit	14
1.2.7	Redoxpotenzial und Redoxspannung	18
1.2.8	Osmotischer Druck, Siedepunkterhöhung und Gefrierpunktniedrigung	20
1.3	pH-Wert und vom pH-Wert abhängige Eigenschaften des Wassers	22
1.3.1	Definition des pH-Wertes	22
1.3.2	Säuren und Basen	23
1.3.3	Einfluss des pH-Wertes auf Desinfektion und Toxizität	24
1.3.4	Kohlensäure, Kohlenstoffdioxid und deren Summe CO_2aq	26
1.3.5	pH-Wert-Pufferung, Carbonatpuffer und Neutralisation	27
1.3.6	pH-Wert von Regenwasser, Gewässern und Aquarien	29
1.3.7	pH-Wert der Calcitsättigung (Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht)	30
1.3.8	pH-Wert von Mischwasser in der Wasserversorgung	33
1.4	Wirkung von Stoffen im Wasser	34
1.4.1	Art der Stoffe im Wasser	34
1.4.2	Die Wasseruntersuchung	35
1.4.3	Grenzwerte und ihre Festlegung	36
1.4.4	Sensorische Parameter	37

1.4.5	Härte des Wassers und die Rolle des Magnesiums	37
1.4.6	Aluminium und Eisen	38
1.4.7	Stickstoffverbindungen	40
1.4.8	Organische Chlorverbindungen	41
1.4.9	Nährstoffe und Biofilme	41
1.5	Wasser und Werkstoffe	42
1.5.1	Allgemeines	42
1.5.2	Metallische Werkstoffe	42
1.5.3	Zementgebundene Werkstoffe	44
1.5.4	Kunststoffe	45
	Literatur	46
2	Wasserhaushalt, Gewässer, Hydrometrie	47
	Kurt Lecher, Hanspeter Hodel und Werner Kresser	
2.1	Wasserhaushalt und Wasserkreislauf	47
2.1.1	Wasserkreislauf	47
2.1.2	Wasserhaushaltsgleichungen	48
2.1.3	Hygrothermale Klassifikationen	49
2.2	Gewässer	53
2.2.1	Quellen	53
2.2.2	Oberflächengewässer	53
2.3	Messung klimatologischer Größen	58
2.3.1	Niederschlag	58
2.3.2	Verdunstung	65
2.3.3	Lufttemperatur	68
2.3.4	Luftfeuchte	69
2.3.5	Wind	70
2.3.6	Strahlung und Sonnenscheindauer	71
2.4	Messung gewässerkundlicher Kennwerte	72
2.4.1	Wasserstand	72
2.4.2	Abfluss	78
2.4.3	Wassertemperatur	87
2.4.4	Eis – Vereisung der Gewässer	89
2.4.5	Ergänzende Kennwerte	90
2.5	Datenerfassung und -auswertung	90
2.5.1	Datenerfassung und -übertragung	90
2.5.2	Datenauswertung	92
	Literatur	99
3	Gewässerökologie	101
	Leopold Füreder	
3.1	Einleitung	101
3.1.1	Biozönotische Grundprinzipien	104

3.1.2	Ökologische Nische	104
3.1.3	Habitat	105
3.1.4	Choriotop	105
3.2	Gewässerlebensräume und Lebensgemeinschaften	106
3.2.1	Grundwasser	106
3.2.2	Standgewässer	110
3.2.3	Fließgewässer	115
3.3	Beispiele wirbelloser Tiere in Fließgewässerökosystemen	122
3.3.1	Würmer, kleine Nichtinsekten und Kleinkrebse	122
3.3.2	Gewässergebundene Säugetiere (Mammalia)	127
3.4	Ökologisch relevante physikalische Faktoren der Gewässer	128
3.4.1	Dichte, Dichteanomalie, Oberflächenspannung	128
3.4.2	Abfluss, Strömung und hydraulische Verhältnisse	129
3.4.3	Fließgewässerdynamik	135
3.5	Moderne Konzepte in der Gewässerökologie	138
3.5.1	RCC – Das River Continuum Concept	138
3.5.2	NSC – Das Nutrient Spiralling Concept	140
3.5.3	SDC – Das Serial Discontinuity Concept	142
3.5.4	FPC – Das Flood Pulse Concept	142
3.6	Gewässermanagement und Gewässerschutz	144
3.6.1	Europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)	145
3.6.2	Ökologische Bewertung von Oberflächengewässern	146
3.7	Bewertungskategorien und Bewertungskriterien	148
3.7.1	Einzugsgebiet, Hydrografie, Gewässermorphologie, physikalisch-chemische Eigenschaften	148
3.7.2	Mikroorganismen, pflanzlichen und tierische Indikatoren	151
3.7.3	Biozönotische Bewertungskriterien	159
3.7.4	Beispiele komplexer biozönotischer Bewertungsverfahren	164
3.7.5	Neue Wege der ökologischen Fließgewässerbewertung am Beispiel Makrozoobenthos und Fische	175
	Literatur	187
4	Hydraulik	193
	Ulrich C. E. Zanke	
4.1	Hydrostatik	193
4.1.1	Druck	193
4.1.2	Ausrichtung der Oberfläche	194
4.1.3	Druckkraft	195
4.1.4	Lage des Kraftangriffs	195
4.1.5	Schräge ebene Wände	197
4.1.6	Teilflächen unter der Oberfläche	197
4.1.7	Gekrümmte Wände	197

4.1.8	Überdruck, Unterdruck, Atmosphärendruck	198
4.1.9	Druckhöhe	198
4.2	Strömende Flüssigkeiten (Hydrodynamik)	199
4.2.1	Allgemeines	199
4.2.2	Definitionen	200
4.3	Berechnungsgrundlagen.	202
4.3.1	Massenerhaltung (Kontinuitätsgleichung)	202
4.3.2	Energieerhaltung (Bernoulli-Gleichung)	203
4.3.3	Impulsstrom, Kräftebilanz	205
4.3.4	Druckhöhenlinie und Energiehöhenlinie	207
4.4	Energieverluste in Rohren und Gerinnen.	208
4.4.1	Verlusthöhen, Widerstands- und Verlustbeiwerte	208
4.4.2	Strömungszustand	209
4.4.3	Grenzschicht	210
4.4.4	Reibungs-Verluste	210
4.4.5	Örtliche Verluste	212
4.5	Strömungen in Rohren.	214
4.5.1	Allgemeines	214
4.5.2	Berechnungsgrundlagen.	216
4.5.3	Örtliche Verluste	218
4.5.4	Geschwindigkeits- und Durchsatzmessung	224
4.6	Strömungen in offenen Gerinnen.	225
4.6.1	Allgemeines	225
4.6.2	Strömen-Schießen-Wechselsprung	226
4.6.3	Normalabfluss	232
4.6.4	Örtliche Verluste (Querschnittsänderungen, Einbauten, Richtungsänderungen)	235
4.6.5	Gerinnequerschnitte.	240
4.6.6	Gegliederte Querschnitte	241
4.6.7	Gerinne mit Bewuchs.	242
4.6.8	Steilgerinne	243
4.6.9	Teilgefüllte Rohrleitungen.	244
4.6.10	Ausfluss und Überfall	245
4.7	Ungleichförmige Strömung	255
4.7.1	Iterative Wasserspiegelberechnung	255
4.7.2	Überschlägige Berechnung der Stauweite	257
4.8	Instationäre Strömung	258
4.8.1	Allgemeines	258
4.8.2	Schwall und Sunk	258
4.8.3	Druckstoß in Rohrleitungen.	260
4.9	Sedimenttransport	260
4.9.1	Relevanz.	260

4.9.2	Quantitativer Transport	261
4.9.3	Transportmengen-Dauerlinie	267
4.9.4	Morphodynamische Modelle	268
4.10	Wasserbauliches Versuchswesen	269
4.10.1	Allgemeines	269
4.10.2	Modellgesetze	270
	Literatur	272
5	Boden	275
	Oliver Bens, Claus Gerhard Bannick und Reinhard F. Hüttl	
5.1	Boden – ein integrales Landschaftselement	275
5.1.1	Bodenbildung und Bodenentwicklung	276
5.1.2	Bodensystematik	277
5.2	Bodeneigenschaften	278
5.2.1	Physikochemische Bodeneigenschaften	278
5.2.2	Biologische Bodeneigenschaften	283
5.2.3	Physikalische Bodeneigenschaften	285
5.3	Bodenwasserhaushalt	288
5.3.1	Wechselwirkungen zwischen Wasser und Boden	288
5.3.2	Wasserbewegung im Boden	291
5.3.3	Wasserhaushalt im Boden	294
5.4	Bodenbelastungen und Bodendegradation	295
5.4.1	Strukturelle und physikalische Einwirkungen	296
5.4.2	Stoffliche Einwirkungen	302
5.5	Bodenschutz	314
5.5.1	Bodenschutzrecht	314
5.5.2	Bodenschutz in anderen Rechtsbereichen	315
5.5.3	Bodenschutz und Gewässerschutz	316
5.5.4	Sanierung, Rekultivierung und Renaturierung	316
	Literatur	318
6	Grundwasser	321
	Helmut Kobus, Bernhard Keim und Hans-Peter Koschitzky	
6.1	Bedeutung des Grundwassers	321
6.2	Hydrogeologische Grundlagen	322
6.2.1	Definitionen	322
6.2.2	Grundwasserleitersysteme	322
6.2.3	Poren-, Kluft- und Karstgrundwasserleiter	323
6.2.4	Grundwasserneubildung	324
6.3	Grundwasserströmung	326
6.3.1	Strömungsvorgänge in porösen Medien	326
6.3.2	Strömungsvorgänge in Festgesteinsgrundwasserleitern	330
6.3.3	Berechnung von Fließvorgängen	331

6.4	Wärme- und Stofftransport im Untergrund	339
6.4.1	Stoffeintrag ins Grundwasser.	339
6.4.2	Stofftransport im Grundwasserleiter	340
6.4.3	Grundlagen der Wärmeausbreitung im Grundwasser	346
6.5	Numerische Strömungs- und Transportmodelle	348
6.5.1	Einsatzmöglichkeiten von numerischen Modellen	348
6.5.2	Numerische Verfahren	349
6.5.3	Vorgehen bei der numerischen Modellierung	351
6.6	Grundwassererkundung	351
6.6.1	Erkundung des Untergrundaufbaus	351
6.6.2	Konstruktion von Grundwassergleichenplänen	352
6.6.3	Bestimmung der hydraulischen Eigenschaften	353
6.6.4	Beurteilung der Grundwasserqualität	355
6.7	Grundwasserkontaminationen	355
6.7.1	Entstehung von Grundwasserkontaminationen	355
6.7.2	Erkundung von Grundwasserschäden	357
6.7.3	Schadstoffquelle und Schadstofffahne im Grundwasser	357
6.7.4	Sanierungsstrategien	358
6.8	Grundwassersanierungs- und -sicherungsverfahren	359
6.8.1	Hydraulische und pneumatische Verfahren	359
6.8.2	In-situ-Sanierungsverfahren.	361
6.8.3	Permeable Reaktive Wände	365
6.8.4	Verfahrenswahl	366
6.9	Grundwasserschutzkonzepte	367
6.9.1	Grundwasser – ein schützenswerter Naturschutz.	367
6.9.2	Gesetzliche Rahmenbedingungen und vorbeugender Grundwasserschutz	367
6.9.3	Grundwasserüberwachung.	368
6.9.4	Grundwassermanagement	368
	Literatur.	369
7	Ingenieurhydrologie	373
	Günter Blöschl und Dieter Gutknecht	
7.1	Analyse von Prozessen.	373
7.1.1	Datenerhebung, -prüfung und -ergänzung.	374
7.1.2	Analyse von Beobachtungsdaten	375
7.1.3	Einsatz von Modellen	378
7.2	Modellierung von Prozessen	384
7.2.1	Niederschlag-Abfluss-Prozess	384
7.2.2	Abflussvorgang in Flussstrecken	402

7.3	Bemessungsabflüsse	410
7.3.1	Allgemeines	410
7.3.2	Bemessungshochwasser	413
7.3.3	Niedrigwasser	429
7.4	Simulation	432
7.4.1	Maßgebende Daten	433
7.4.2	Simulation unter Verwendung von Zeitreihenmodellen	434
7.4.3	Simulation unter Verwendung von Abflussmodellen für Szenarien	436
7.4.4	Sensitivitätsanalysen	437
7.5	Analyse von Veränderungen	437
7.5.1	Aufgabenstellungen und generelle Vorgangsweise	437
7.5.2	Analyse von Hoch- und Niedrigwassersituationen	438
7.5.3	Analyse von Klimaänderungen	439
7.5.4	Analyse von Landnutzungsänderungen	441
7.6	Vorhersage	441
	Literatur	443
8	Wasserrecht und Abfallrecht	447
	Stefan Kopp-Assenmacher	
8.1	Allgemeines zum Wasserrecht	447
8.1.1	Begriff des Wasserrechts	447
8.1.2	Rechtsgrundlagen	449
8.2	Bewirtschaftung von Gewässern	452
8.2.1	Allgemeine Grundsätze der Gewässerbewirtschaftung	452
8.2.2	Bewirtschaftung nach Flussgebietseinheiten	453
8.2.3	Bewirtschaftungsziele §§ 27–31 WHG	453
8.2.4	Verwirklichung der Bewirtschaftungsziele durch wasserwirtschaftliche Planung	458
8.2.5	Hochwasserschutz	459
8.3	Rechtliche Grundlagen der Benutzung von Gewässern	460
8.3.1	Grundsatz	460
8.3.2	Begriff der Benutzungen	460
8.3.3	Genehmigungsfreie Benutzungen	461
8.3.4	Wasserrechtliche Genehmigung	462
8.3.5	Materiell-rechtliche Voraussetzungen für Erlaubnis und Bevilligung	463
8.3.6	Bewirtschaftungsermessen	464
8.3.7	Rechtsschutzmöglichkeiten im Rahmen von wasserrechtlichen Genehmigungen	465

8.4	Abwasserbeseitigung	465
8.4.1	Abwasserbegriff und Abwasserbeseitigung	466
8.4.2	Grundsätze der Abwasserbeseitigung	466
8.4.3	Einleiten von Abwasser in Gewässer	467
8.4.4	Einleitung von Abwasser in öffentliche und private Abwasseranlagen	469
8.5	Anlagenbezogene Regelungen	470
8.5.1	Abwasseranlagen	470
8.5.2	Selbstüberwachung bei Abwassereinleitung und Abwasseranlagen	470
8.6	Umgang mit wassergefährdenden Stoffen	471
8.6.1	Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen	471
8.6.2	Begriff der wassergefährdenden Stoffe	471
8.6.3	Besondere Anforderungen an den Umgang mit wassergefährdenden Stoffen	472
8.7	Öffentliche Wasserversorgung	473
8.8	Wasserschutzgebiete	474
8.9	Gewässerunterhaltung und -ausbau	474
8.10	Haftung für Gewässerveränderungen	475
8.11	Gewässeraufsicht	476
8.12	Gewässerstrafrecht und Ordnungswidrigkeiten	476
8.12.1	Strafrechtliche Vorschriften	476
8.12.2	Ordnungswidrigkeiten	477
8.13	Allgemeines zum Abfallrecht	477
8.14	Anwendungsbereich des KrWG	478
8.14.1	Allgemeines	478
8.14.2	Schnittstellen zum Wasserrecht	479
8.15	Abfallbegriff	480
8.15.1	Weiter Abfallbegriff	480
8.15.2	Entledigungstatbestand	480
8.15.3	Abfälle zur Verwertung und Abfälle zur Beseitigung	481
8.16	Nebenprodukte	481
8.17	Ende der Abfalleigenschaft	481
8.18	Grundsätze und Grundpflichten der Abfallbewirtschaftung	482
8.18.1	Abfallhierarchie	482
8.18.2	Grundpflichten der Abfallbewirtschaftung	482
8.18.3	Weitere Maßnahmen der Abfallbewirtschaftung	483
8.19	Anzeige- und Erlaubnispflicht	484
	Literatur	484
9	Gewässerregelung	487
	Rolf Anselm, Herbert Grubinger und Kurt Lecher	
9.1	Regelungsgrundlagen	487
9.1.1	Naturnahe Gewässergestaltung	487

9.1.2	Entwicklungsziele	488
9.1.3	Laufentwicklung	489
9.1.4	Profilgestaltung	490
9.2	Sicherung der Gewässer	492
9.2.1	Verfahren	492
9.3	Profilsicherung durch ingenieurbio- logische Bauweisen	495
9.3.1	Wirkung	495
9.3.2	Maßnahmen im aquatischen Bereich	496
9.3.3	Lebendbau in der Röhrlichtzone	498
9.3.4	Lebendbau in der Überwasserzone	502
9.4	Profilsicherung durch bautechnische Maßnahmen	508
9.4.1	Materialeinsatz	508
9.5	Kombination Lebendbau – Totbau	513
9.6	Bauwerke	516
9.6.1	Allgemeines	516
9.6.2	Kreuzungsbauwerke	516
9.6.3	Sohlenbauwerke	520
9.6.4	Fischaufstiege	523
9.6.5	Sandfänge	526
9.6.6	Stauanlagen, Wehre, Wasserkraftwerke	528
9.7	Gebirgswasserbau	528
9.7.1	Vom Wildbach zum Talfluss	528
9.7.2	Aus der Wildbachkunde	532
9.7.3	Umfassende (integrale) Regelungsprojekte	535
9.7.4	Flächenschutz	537
9.7.5	Gerinnesicherung	538
9.7.6	Schutzkonzept Gefahrenzonenplan	544
9.8	Gewässerunterhaltung	545
9.8.1	Umfang der Unterhaltung	545
9.8.2	Unterhaltungsplan	545
9.8.3	Unterhaltungsarbeiten	546
9.8.4	Häufigkeit und Zeitpunkte der Unterhaltungsarbeiten	548
9.9	Hochwasserschutz	549
9.9.1	Integrierter Hochwasserschutz	549
9.9.2	Flussdeiche	551
9.9.3	Hochwasserrückhaltebecken	553
	Literatur	555
10	Be- und Entwässerung	557
	Bernd Lennartz und Peter Widmoser	
10.1	Allgemeine Anmerkungen zu Be- und Entwässerung	557
10.2	Bewässerung in der Landwirtschaft	558
10.2.1	Bewässerung als landwirtschaftlicher Produktionsfaktor	558
10.2.2	Verbreitung und Geschichte der Bewässerung	559

10.3	Wasserspeicherung im Boden	561
10.3.1	Sättigung und Teilsättigung	561
10.3.2	Feldkapazität (<i>FK</i>), permanenter Welkepunkt (<i>PWP</i>) und nutzbare Feldkapazität (<i>nFK</i>)	563
10.4	Verdunstung und Wasserverbrauch	565
10.4.1	Verdunstung von freien Wasserflächen	566
10.4.2	Evapotranspiration und Wasserverbrauch von Pflanzenbeständen	566
10.4.3	Bewässerungswassergaben und -intervalle	567
10.4.4	Bewässerungswirkungsgrad	569
10.5	Wasserbeschaffung für Bewässerung	571
10.5.1	Wasserbauliche Einrichtungen zur Wasserbeschaffung	571
10.5.2	Wasserverteilung im Bewässerungsperimeter	577
10.5.3	Bauwerke zur Wasserverteilung und -messung	579
10.5.4	Wasserbeschaffenheit	581
10.5.5	Versalzung unter Bewässerung	582
10.6	Bewässerungsverfahren	584
10.6.1	Schwerkraftbewässerung	584
10.6.2	Beregnung	592
10.6.3	Mikrobewässerung	595
10.6.4	Tropfbewässerung	596
10.6.5	Unterflurbewässerung	598
10.7	Entwässerung in der Landwirtschaft	599
10.7.1	Entwässerung als landwirtschaftlicher Produktionsfaktor	599
10.7.2	Verbreitung und Geschichte der Entwässerung	600
10.7.3	Vernässungsursachen und ihre Erkennung	601
10.8	Entwässerungsmaßnahmen	603
10.8.1	Maßnahmen bei Grundwasservernässung	604
10.8.2	Maßnahmen bei Stau- und/oder Haftnässe	606
10.8.3	Maßnahmen bei Haftnässe	608
10.8.4	Maßnahmen bei Grundwasseranstieg und Versalzung	609
10.8.5	Bauausführung von Meliorationen	612
10.8.6	Bemessungsgrundlagen zur Entwässerung grundwasservernässter Böden (Dräntheorie)	613
10.9	Planung und Betrieb von Be- und Entwässerungsprojekten	618
10.9.1	Planung	619
10.9.2	Betrieb und Unterhalt	622
10.10	Auswirkungen von Be- und Entwässerungsmaßnahmen auf die Umwelt	623
10.10.1	Bewässerung	623
10.10.2	Entwässerung	624
10.10.3	Nährstoffausträge aus Dränflächen	625

10.10.4	Rückbau von Entwässerungssystemen	625
10.10.5	Dränmanagement	627
	Literatur	628
11	Stau- und Wasserkraftanlagen	633
	Mathias Döring und Stephan Heimerl	
11.1	Stauanlagen	633
11.1.1	Zweck und Anforderungen	633
11.1.2	Wehre	634
11.1.3	Talsperren	647
11.1.4	Hochwasserrückhaltebecken	687
11.1.5	Pumpspeicherbecken	690
11.2	Wasserkraftanlagen	690
11.2.1	Entwicklung der Wasserkraftnutzung	690
11.2.2	Physikalische Grundlagen	691
11.2.3	Bauweisen und umgesetzte Techniken	695
11.2.4	Triebwasserweg	703
11.2.5	Krafthaus	712
11.2.6	Hydraulische Strömungsmaschinen	713
11.2.7	Umweltbelange	719
	Literatur	723
12	Küsteningenieurwesen	725
	Hocine Oumeraci	
12.1	Einführung	725
12.1.1	Bedeutung der Küste und Bedrohungspotenzial	725
12.1.2	Aufgaben des Küsteningenieurs	728
12.2	Gezeiten an Küsten und in Tideflüssen	729
12.2.1	Entstehung und Vorhersage der Gezeiten an offenen Küsten	729
12.2.2	Gezeiten in Tideflüssen	731
12.3	Sturmfluten und Wasserstände	737
12.3.1	Entstehung und Entwicklung von Sturmfluten	737
12.3.2	Einflussfaktoren auf die Entwicklung von Sturmfluten	739
12.3.3	Klassifizierung von Sturmfluten und Verweilzeiten	741
12.3.4	Bemessungswasserstände	743
12.3.5	Grenzen statistischer Analysen und Prognosen von Extremsturmfluten	746
12.4	Wellen und Seegang	747
12.4.1	Entstehung und Klassifikation von Meereswellen	747
12.4.2	Wellentheorien	748
12.4.3	Wellentransformation	749
12.4.4	Natürlicher Seegang	760

12.5	Küstennahe Strömungen	766
12.5.1	Klassifizierung	766
12.5.2	Seegangsinduzierte Strömungen	766
12.5.3	Nicht seegangsinduzierte Strömungen	770
12.6	Küstennaher Sedimenttransport und morphologische Veränderungen	771
12.6.1	Allgemeiner Überblick	771
12.6.2	Küstenlängstransport und Küstenquertransport	773
12.6.3	Anmerkungen zu weiteren Aspekten des Sedimenttransports unter Seegang	776
12.7	Schutz gegen Seegang und Hochwasser	778
12.7.1	Hafenschutzwerke	778
12.7.2	Küstenschutzwerke	785
12.7.3	Hochwasserschutzwerke im Küstenraum	799
12.8	Schlussbetrachtungen: Neue Herausforderungen und integriertes Küstenmanagement	805
	Literatur	808
13	Binnenverkehrswasserbau	811
	Rudolf Kuhn, Bernhard Söhngen, Petra Fleischer, Nils Huber, Claus Kunz, Detlef Spitzer, Oliver Stelzer, Carsten Thorenz und Stefanie Wassermann	
13.1	Aufgabenstellung	811
13.2	Schiff und Fahrwasser	812
13.2.1	Schiff und Schiffsverband	812
13.2.2	Das fahrende Schiff	817
13.2.3	Fahrwasser und Fahrrinne	827
13.3	Binnenwasserstraßen	828
13.3.1	Niedrigwasserregelung	828
13.3.2	Flüsse mit Stauregelung	834
13.3.3	Kanäle	837
13.3.4	Ufersicherungen	839
13.4	Bauwerke an Binnenwasserstraßen	844
13.5	Binnenhäfen	849
13.5.1	Gesamtanlage	850
13.5.2	Uferanlagen	852
13.5.3	Umstrukturierung vorhandener Hafenanlagen	852
13.6	Schleusen	854
13.6.1	Hydraulisches System	854
13.6.2	Bauwerk	855
13.6.3	Verschlüsse	857
13.6.4	Ausrüstung	861

13.6.5	Sonderformen der Schleuse	862
13.6.6	Leistungsfähigkeit von Schleusen	863
13.7	Schiffshebewerke	867
	Literatur.	872
14	Wasserversorgung.	875
	Wilhelm Urban, Martin Zimmermann und Julian Mosbach	
14.1	Einleitung.	875
14.2	Trinkwassergüte.	877
14.2.1	Wasser für den menschlichen Gebrauch	877
14.2.2	Anforderungen an Trinkwasser	878
14.2.3	Wassergüteparameter	879
14.2.4	Maßnahmen des zuständigen Gesundheitsamtes.	880
14.2.5	Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren	882
14.2.6	Anzeige- und Untersuchungspflichten.	885
14.2.7	Überwachung und Information	886
14.3	Planung von Wasserversorgungsanlagen	887
14.3.1	Wasserverbrauch und Wasserbedarf.	887
14.3.2	Wasserbereitstellung für unterschiedliche Bedarfsträger.	887
14.3.3	Ermittlung des Wasserbedarfs zur Bemessung von Anlagenteilen	888
14.3.4	Wasserbedarf der Haushalte und des Kleingewerbes.	888
14.3.5	Bedarfsermittlung für weitere Verbrauchergruppen und Zwecke	891
14.3.6	Benchmarking	892
14.4	Wassergewinnung	893
14.4.1	Wassergewinnung und -bezug in Deutschland.	893
14.4.2	Wasserdargebot und Wasserfassungen.	896
14.4.3	Wasserschutzgebiete	906
14.5	Wasseraufbereitung	908
14.5.1	Gasaustausch	909
14.5.2	Flockung.	909
14.5.3	Filtration.	913
14.5.4	Adsorption	918
14.5.5	Oxidation	919
14.5.6	Desinfektion.	921
14.5.7	Entsäuerung und Aufhärtung	926
14.5.8	Enthärtung, Entcarbonisierung und Entsalzung.	927
14.5.9	Enteisenung und Entmanganung	928
14.5.10	Entfernung von Stickstoffverbindungen	930

14.6	Wasserspeicherung	931
14.6.1	Aufgaben der Wasserspeicherung	932
14.6.2	Arten von Speicherbehältern	933
14.6.3	Lage zum Versorgungsgebiet	935
14.6.4	Speicherbemessung	936
14.6.5	Funktionelle Anforderungen an die Wasserqualität	938
14.6.6	Bauliche Anforderungen an Trinkwasserbehälter	940
14.7	Wasserförderung	942
14.7.1	Anwendungen und Arten von Pumpen	942
14.7.2	Hydraulische Grundlagen	943
14.7.3	Pumpenbetrieb	948
14.8	Wasserverteilung	954
14.8.1	Rohrleitungsklassen und Rohrnetzformen	954
14.8.2	Planung von Wasserverteilungsnetzen	957
14.8.3	Berechnung von Wasserverteilungsnetzen	963
14.8.4	Anforderungen an Rohrleitungsteile	971
14.8.5	Rohrleitungen	972
14.8.6	Armaturen	975
	Literatur	977
15	Abwassertechnik	985
	Matthias Barjenbruch und Luisa Otto	
15.1	Einführung in die Abwassertechnik	985
15.1.1	Ziele der Siedlungsentwässerung	985
15.1.2	Gesetzliche Vorgaben	989
15.1.3	Gewässergütekriterien	992
15.1.4	Qualitätsanforderungen und Emissionsbetrachtungen	994
15.1.5	Immissionsbetrachtungen	996
15.2	Abwasseranfall und Beschaffenheit	997
15.2.1	Abwasseranfall	997
15.2.2	Abwasserbeschaffenheit	1005
15.3	Abwasserableitung	1014
15.3.1	Haus- und Grundstücksentwässerung	1014
15.3.2	Siedlungsentwässerung	1017
15.4	Abwasserreinigung	1057
15.4.1	Entwicklung der kommunalen Klärtechnik	1057
15.4.2	Verfahren der kommunalen Abwasserreinigung	1058
15.5	Schlammbehandlung	1116
15.5.1	Ziele der Schlammbehandlung	1116
15.5.2	Schlammanfall	1118
15.5.3	Schlammbeschaffenheit	1118
15.5.4	Verfahren der Schlammbehandlung	1120
15.5.5	Schlammverwertung und -entsorgung	1135
	Literatur	1141

16	Abfallwirtschaft heute – der Weg zur Kreislaufwirtschaft	1147
	Marion Huber-Humer und Peter Lechner	
16.1	Einführung	1147
16.2	Gesetzliche Situation	1148
16.3	Kommunale Abfälle – Mengen, Zusammensetzung und Prognose	1150
	16.3.1 Abfallaufkommen im europäischen Vergleich	1150
	16.3.2 Abfallmengenprognose als Planungsinstrument	1150
16.4	Vermeidung und Vorbereitung zur Wiederverwendung	1152
16.5	Stoffliche Verwertung (Materialrecycling)	1152
	16.5.1 Sammlung	1153
	16.5.2 Stoffliche Verwertung von Abfällen	1154
16.6	Herstellerverantwortung	1155
	16.6.1 Regelungen in Europa	1156
	16.6.2 Umsetzung	1157
	16.6.3 Kritik	1158
16.7	Kompostierung	1158
	16.7.1 Kompostqualität	1159
	16.7.2 Der Rotteprozess	1160
	16.7.3 Rottetechnik	1161
16.8	Energetische Verwertung (Verbrennung, Biogasgewinnung)	1163
	16.8.1 Verbrennung, Thermische Behandlung	1164
	16.8.2 Abgasreinigung und Behandlung fester Rückstände	1165
	16.8.3 Biogas: Gewinnung, Aufbereitung, Energieumwandlung	1166
16.9	Behandlung und Ablagerung von kommunalen Abfällen und Reststoffen	1168
	16.9.1 Behandlung vor der Ablagerung – Systembestandteile	1170
	16.9.2 Ablagerung von MBA-Material	1171
	16.9.3 Ablagerung von MVA-Schlacke	1172
	16.9.4 Standortanforderungen und Basisdichtung gemäß EU-Richtlinie (1999/31/EG)	1173
	16.9.5 Grundwasserabstand und freie Sickerwasservorflut	1174
	16.9.6 Reaktordeponie (alte Hausmülldeponien), Langzeitverhalten	1174
16.10	Altablagerungen – Untersuchung, Monitoring, Sanierung und Nachnutzung	1175
	16.10.1 Untersuchung und Monitoring von Abfällen und Altablagerungen	1175
	16.10.2 In-situ-Stabilisierung von Altablagerungen	1177
	16.10.3 Nachnutzung von Deponieflächen	1178
16.11	Ausblick – Herausforderungen der Abfallwirtschaft im Kreislaufwirtschaftssystem	1178
	Literatur	1179

17	Umgang mit wassergefährdenden Stoffen	1183
	Hans-Peter Lühr	
17.1	Einführung	1184
17.2	Vorsorgepolitik zum Schutz des Grundwassers	1185
17.3	Grundlagen des anlagenbezogenen Umgangs mit wassergefährdenden Stoffen	1186
17.4	Technische und organisatorische Anforderungen an eine Anlage gemäß AwSV	1193
17.4.1	Allgemeines	1193
17.4.2	Stoffspezifisches Gefährdungspotenzial	1195
17.4.3	Überprüfung der Selbsteinstufung	1198
17.4.4	Technische Regeln wassergefährdender Stoffe	1199
17.4.5	Technische Anforderungen an Anlagen	1201
17.4.6	Anwendungsbereich	1201
17.4.7	Begriffsbestimmungen	1203
17.4.8	Allgemeine Anforderungen an Anlagen	1206
17.4.9	Grundsatzanforderungen	1208
17.4.10	Anforderungen an die Rückhaltung	1209
17.4.11	Nutzung von Abwasseranlagen als Auffangvorrichtung	1212
17.4.12	Besondere Anforderungen an die Rückhaltung bei bestimmten Anlagen	1214
17.4.13	Gefährdungspotenzial und Gefährdungsstufen	1215
17.4.14	Bestehende Anlagen	1216
17.5	Organisatorische Anforderungen	1217
17.5.1	Betreiberpflichten	1217
17.5.2	Fachbetriebspflichtige Tätigkeiten	1218
17.5.3	Überwachung und Prüfung von Anlagen	1219
17.6	Fachbetriebe	1221
17.7	Sachverständige	1223
17.8	Behördliche Vorkontrollen	1223
17.9	Praktische Beispiele ausgeführter Anlagenkonfigurationen	1233
17.9.1	Lageranlagen	1233
17.9.2	Tankstellen	1237
17.9.3	Unterschiedliche HBV-Anlagen	1238
17.9.4	Komplex-Anlage in der Chemischen Industrie	1238
	Literatur	1247
18	Wasserwirtschaftliche Planungen	1249
	Uwe Grünewald	
18.1	Wasserwirtschaft, Wasserbewirtschaftung und wasserwirtschaftliche Planung	1249
18.1.1	Veränderte Europäische (wasserbezogene) Richtlinien führen zu veränderten wasserwirtschaftlichen Plänen	1259

18.1.2	Ableitung von Bewirtschaftungsplänen für Talsperren als methodische Grundlage für die Entwicklung von flussgebietsbezogenen wasserwirtschaftlichen Planungen	1267
18.2	Instrumente der wasserwirtschaftlichen Planung.	1278
18.2.1	Datengrundlagen und die stochastische Simulation des Wasserangebotes.	1278
18.2.2	Wasserbedarf und wasserwirtschaftlich relevante Ziele.	1286
18.2.3	Von wasserwirtschaftlichen Bilanzen unterschiedlicher Detailliertheit zu interaktiven Simulationsmodellen für die Planung und Bewirtschaftung von Flusseinzugsgebieten . .	1287
18.2.4	Nutzung von Geografischen Informationssystemen in der wasserwirtschaftlichen Planung.	1295
18.3	Anwendungsbeispiel für die Einbindung detaillierter wasserwirtschaftlicher Bilanzierungen in wasserwirtschaftliche Planungen.	1296
18.3.1	Planungsraum und Ziele.	1296
18.3.2	Ableitung von Planungsaussagen auf der Grundlage wasserwirtschaftlicher Bilanzen unterschiedlicher Detailliertheit	1299
	Literatur.	1303
	Anhang: Begriffe, Formelzeichen und Einheiten sowie Umrechnungstabellen . . .	1307
	Stichwortverzeichnis.	1317