

Integrale Siedlungsentwässerung – Grundlagen und Lösungsansätze in Planung und Betrieb

**Bemessungsgrundlagen, Regenwasserbewirtschaftung,
Gebäude-, Grundstücks-, Straßenentwässerung, Abfluss- und
Schmutzfrachtmodellierung, Netzsanierung**

Impressum:

Integrale Siedlungsentwässerung – Grundlagen und Lösungsansätze in Planung und Betrieb
ISBN: 978-3-95773-225-5

Herausgeber:

Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt
Bauhaus-Universität Weimar
Coudraystr. 7, 99421 Weimar
Internet: www.uni-weimar.de/wbbau/

in fachlicher Kooperation mit der
DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
Theodor-Heuss-Allee 17, 53773 Hennef

Bezugsmöglichkeiten:

Bauhaus-Universitätsverlag im Jonas Verlag für Kunst und Literatur GmbH
Eselsweg 17, 99441 Kromsdorf
T: +49 (0) 3643-83030, F: +49 (0) 3643-830313
E-Mail: info@asw-verlage.de
www.asw-verlage.de

Weiterbildendes Studium »Wasser und Umwelt«
Bauhaus-Universität Weimar
Coudraystr. 7, 99421 Weimar
T: +49 (0) 3643-584627, F: +49 (0) 3643-584637
info@bauing.uni-weimar.de
www.uni-weimar.de/wbbau

DWA
T: 02242 872333, F: 02242-872100
kundenzentrum@dwa.de
www.dwa.de

Redaktion: Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt
Satz und Layout: Satzservice S. Matthies · www.doctype-satz.de

Gedruckt in der Bundesrepublik Deutschland

2. Auflage 2017

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

BAUHAUS
UNIVERSITÄTSVERLAG



Autorenverzeichnis

Kapitel 1 – Grundlagen der Siedlungsentwässerung

Prof. Dr.-Ing. T. G. Schmitt, Prof. Dr.-Ing. I. Kaufmann Alves

Kapitel 2 – Hydraulische Grundlagen der Abwasserableitung

Prof. Dr.-Ing. F. Valentin; überarbeitet durch Dr.-Ing. C. Rapp

Kapitel 3 – Druck-, Unterdruck- und Absetzentwässerung

Dipl.-Ing. J. Jedlitschka

Kapitel 4 – Gebäude-, Grundstücks- und Straßenentwässerung

Doz. P. Grunwald, ergänzt durch: Prof. Dr.-Ing. T. G. Schmitt

Kapitel 5 – Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung

Prof. Dr.-Ing. I. Kaufmann Alves, Dipl.-Ing. M. Becker

Kapitel 6 – Verschmutzung und Behandlung von Regenwetterabflüssen

Prof. Dr.-Ing. T. G. Schmitt

Kapitel 7 – Abfluss- und Schmutzfrachtmodellierung

Prof. Dr.-Ing. T. G. Schmitt

Kapitel 8 – Sanierung

Prof. Dr.-Ing. B. Bosseler, Dipl.-Ing. B. Diburg



BAUHAUS
UNIVERSITÄTSVERLAG

Vorwort des Herausgebers

Die Arbeitsgruppe Weiterbildendes Studium "Wasser und Umwelt" bietet ein Fernstudium mit den Schwerpunkten Wasserbau und Hydraulik sowie Siedlungswasserwirtschaft an. Das vorliegende Buch enthält in Schriftform den Lehrinhalt eines Kurses aus diesem Studium. Es ist als inhaltliche Neustrukturierung des in die Jahre gekommenen Kurses Abwasserableitung und Anpassung an aktuelle technische aber auch gesellschaftliche Anforderungen und damit als neuer Band aus der aktuellen Reihe der Fernstudienkurse zu sehen.

Dieses Buch wie auch das Weiterbildende Studium „Wasser und Umwelt“ richtet sich an Hochschulabsolventen/innen, die im Bereich Wasser und Umwelt als Fachkräfte bei Behörden, Unternehmen, Verbänden, Ingenieurbüros, Instituten und anderen Einrichtungen tätig sind oder zukünftig tätig werden. Die Kursteilnehmer des Fernstudiums erhalten über die Schriftform hinaus, die in etwa dem Inhalt dieses Buches entspricht, eine fortlaufende Betreuung in Form von Aufgaben, die zu einer abschließenden Prüfung führt. Außerdem sind die Herausforderungen beim Schutz der Umwelt und bei der nachhaltigen Nutzung der Ressource Wasser so groß, dass die Lehrinhalte ständig angepasst werden müssen. Hier sehen wir die Chance, diese neuen Inhalte auch einem erweiterten Kreis zugänglich zu machen.

Das vorliegende Buch basiert auf einer vollständig überarbeiteten und aktualisierten Fassung der Lehrskripte des Kurses „Abwasserableitung – WW51“, die in den Jahren 1999 und 2006 unter Leitung von Herrn Prof. H. Orth von den Autoren

- Univ.-Prof. i.R. Dr.-Ing. Franz Valentin,
- Prof. Dr.-Ing. Theo G. Schmitt,
- Dipl.-Ing. Michael Becker,
- Dipl.-Ökol. Ulrike Raasch,
- Dr.-Ing. Bert Bosseler,
- Dipl.-Ing. Bianca Diburg,
- MR Jens Jedlitschka,
- O.Univ.-Prof. i.R. Dipl.-Ing. Dr. Helmut Renner und
- Doz. Peter Grunwald

erarbeitet und 2015 unter der Federführung von Prof. Dr.-Ing. Theo G. Schmitt und Prof. Dr.-Ing. Inka Kaufmann Alves unter dem neuen zeitgemäßen Titel „Integrale Siedlungsentwässerung – Grundlagen und Lösungsansätze in Planung und Betrieb“ aktualisiert wurde.

Folgende Autoren waren an dieser grundlegenden Überarbeitung beteiligt:

- Prof. Dr.-Ing. Theo G. Schmitt,
- Prof. Dr.-Ing. Inka Kaufmann Alves,
- Dr.-Ing. Christoph Rapp,
- Dipl.-Ing. Jens Jedlitschka,
- Dipl.-Ing. Michael Becker,
- Prof. Dr.-Ing. Bert Bosseler und
- Dipl.-Ing. Bianca Diburg.

Mit diesen namhaften Fachleuten können wir gewährleisten, dass ausgehend von den ingenieurtheoretischen Grundlagen bis hin zu den aktuellen Erfordernissen und Problemen bei der Planung, dem Bau, dem Betrieb und der Sanierung von Entwässerungsnetzen mit den Inhalten des Buches die Interessen einer breiten, aber auch fachlich anspruchsvollen Zielgruppe abgedeckt werden.

Mit diesem Buch werden darüber hinaus auch die Qualität und der Umfang der Zusammenarbeit mit der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) gefestigt.

Wir danken allen, die an der Bearbeitung und Herausgabe mitgewirkt haben recht herzlich, insbesondere hierbei Frau Stephanie Schneider M.Sc. und Herrn Dipl.-Ing. S. Matthies. Dieser Dank gilt auch den anderen Mitarbeitern der Arbeitsgruppe „Wasser und Umwelt“ der Bauhaus-Universität Weimar und den Kursteilnehmern für ihr Interesse und ihre Rückmeldung.

Möge die Fortsetzung dieser Reihe im Wissensgebiet „Wasser und Umwelt“ in der Fachwelt eine freundliche Aufnahme finden und mithelfen, die Qualität unserer Arbeit zu verbessern.

Weimar, im Januar 2017

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Londong
Leiter der Professur Siedlungswasserwirtschaft
Bauhaus-Institut für zukunftsweisende Infrastruktursysteme (b.is)

Vorwort der Autoren

Ein umfassender und möglichst weitgehender Schutz und der sorgsame Gebrauch des Wassers sind zentrale Grundanliegen bei der nachhaltigen Nutzung natürlicher Ressourcen durch den Menschen.

Hierbei ist neben der mengen- und gütegerechten Versorgung der Bevölkerung, der Industrie und der Landwirtschaft mit Trink- und Brauchwasser auch die umweltgerechte Entsorgung des Abwassers wesentlicher Bestandteil der nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung. Dabei artikuliert sich in dem seit 1990 gebräuchlichen Begriff der Regenwasserbewirtschaftung eine Neuorientierung im Umgang mit Regenwasser innerhalb von Siedlungen. In ähnlicher Weise zeichnet sich in der fachlichen Erörterung ressourcenorientierter Sanitärtechnologien ein möglicher Weg von der flächendeckenden Ableitung des Abwassers und der zentralen Behandlung in Kläranlagen hin zur Abwasserbewirtschaftung ab.

Die kommunalen Entwässerungssysteme sind als Netze zur Ableitung von Schmutz- und Regenwasser überwiegend als geschlossene, unterirdische Rohr- und Kanalsysteme mit entsprechenden Bauwerken konzipiert und dienen der Sammlung und dem Transport der anfallenden Abwässer zu den Behandlungsanlagen bzw. bei getrennter Ableitung des Regenwassers (bisher) zur Einleitung in die Gewässer.

Seit nunmehr über 150 Jahren hat sich mit der modernen Kanalisation schrittweise ein technisch sehr anspruchsvoller Teil unserer komplexen kommunalen Infrastruktur entwickelt, der aus einem funktionierenden, modernen und urban geprägten Lebensumfeld nicht mehr wegzudenken ist. Sie ist in verdichteten Räumen eine unverzichtbare Grundlage eines hygienischen Lebensumfeldes und schützt vor materiellen Schäden. Die weitere Nutzung und die künftige Entwicklung der Abwasserinfrastruktursysteme sind an das Verstehen und das Beherrschen der dabei relevanten komplexen Wirkzusammenhänge und Bedingungen durch die Verantwortlichen bzw. Beteiligten gebunden. Dies gilt in besonderem Maße hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das urbanisierte Umfeld und die Natur. Planung, Bau und Betrieb dieser Systeme und Anlagen sind somit eine anspruchsvolle und interdisziplinär zu bewältigende Aufgabe.

Im vorliegenden Buch wird ausgehend von einer Vermittlung der hydraulischen Grundlagen und Berechnungsansätze sowie der Darstellung der Konzepte und Verfahren der Siedlungsentwässerung (Freispielsysteme, Druck-, Unterdruck- und Absetzentwässerung) ausführlich auf die Regenwasserbewirtschaftung und weitere neuere Entwicklungen in der Siedlungsentwässerung eingegangen. Die Verschmutzung und Behandlung von Regenwetterabflüssen wird ebenso gewürdigt wie aktuelle Fragestellungen des kommunalen Überflutungs-

schutztes und der Überflutungsvorsorge. Ein besonderes Kapitel befasst sich mit der Kanalsanierung und den heute hierbei möglichen Reparatur- und Sanierungstechniken. Abgerundet wird das Themenfeld durch eine ausführliche Betrachtung der Gebäude- und Grundstücksentwässerung (ergänzt durch Hinweise zur Straßentwässerung), die zunehmend im Fokus der Betrachtung stehen wird, wenn es um die Erhaltung und die konzeptionelle Erweiterung der abwassertechnischen Infrastruktur geht.

Die Autoren begrüßen, dass die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) zur Zusammenarbeit bei der Herausgabe dieses Buches gewonnen werden konnte. An einer Vielzahl von Stellen des Buches wird das wasserwirtschaftliche Regelwerk zitiert, das mithin auch die Entwicklung und Veränderung der hier dargestellten Fachinhalte aufzeigt und das historisch bedingt mit den Namen ATV, DVWK bzw. auch ATV-DVWK* verbunden ist.

Mit der Kooperation mit der DWA ist auch die Erwartung verbunden, dass das Buch einer erweiterten Gruppe von Fachleuten und Interessierten zugänglich wird und somit einen nachhaltigen Beitrag zur Sicherung einer modernen Siedlungsentwässerung leisten kann.

Allen an der Herausgabe des Buches Beteiligten möchten wir herzlich danken. Dieser Dank gilt insbesondere der Arbeitsgruppe um Herrn Prof. Dr.-Ing. Jörg Londong und in besonderem Maße Herrn Sebastian Büttner, die effizient und unbürokratisch die technische Bearbeitung besorgten.

Kaiserslautern, im Januar 2017

im Namen der Verfasser;
Prof. Dr.-Ing. Theo Schmitt, TU Kaiserslautern,
Prof. Dr.-Ing. Inka Kaufmann Alves, Hochschule Mainz

* Entsprechend dem Zeitpunkt der Drucklegung einzelner Schriften des Regelwerkes tauchen in diesem Buch die verschiedenen Namen auf. Sie bezeichnen alle die heutige DWA.

Inhaltsverzeichnis

	Autorenverzeichnis	I
1	Vorwort	III
1	Grundlagen der Siedlungsentwässerung	1
1.1	Aufgaben und Ziele	1
1.2	Entwässerungsverfahren	1
1.3	Anlagen und Bauwerke öffentlicher Entwässerungssysteme	3
1.4	Sonderbauwerke in Entwässerungssystemen	4
1.5	Regentlastungsbauwerke in der Mischkanalisation	5
1.5.1	Funktion und Anwendung	5
1.5.2	Zielsetzung	6
1.5.3	Bemessung von Regentlastungsbauwerken	7
1.6	Abflussgrößen	7
1.6.1	Abflusskomponenten im technischen Regelwerk	7
1.6.2	Abflusskomponenten nach WHG 2009	8
1.6.3	Flächenkennwerte und -parameter zur Niederschlagsabflussberechnung	8
1.6.4	Berechnung des Schmutzwasserabflusses	9
1.6.4.1	Häusliches Schmutzwasser	9
1.6.4.2	Betriebliches Schmutzwasser	11
1.6.4.3	Summe des Schmutzwasserabflusses	11
1.6.5	Fremdwasser	11
1.6.5.1	Fremdwasserabfluss zur Bemessung und dem Nachweis von Entwässerungssystemen nach DWA-A 118	11
1.6.5.2	Fremdwasserabfluss bei der Bemessung von Regentlastungsanlagen in Mischsystemen nach ATV-A 128	12
1.6.6	Berechnung des Trockenwetterabflusses	13
1.6.7	Berechnung des Niederschlagsabflusses	13
1.6.7.1	Begriffe	13
1.6.7.2	Konventionelle Berechnung des Niederschlagsabflusses	14
1.6.8	Grundsätze der Bemessung von Entwässerungssystemen	16
1.7	Fremdwasser	17
1.7.1	Grundbegriffe	17
1.7.1.1	Definition Fremdwasser	17
1.7.1.2	Parameter zum Fremdwasser	18
1.7.2	Ursachen und Auftreten von Fremdwasser	19
1.7.3	Wirkungen und Handlungsbedarf	21
1.7.3.1	Wirkungen in der Kanalisation	21
1.7.3.2	Wirkungen bei der Misch- und Regenwasserbehandlung	21
1.7.3.3	Wirkungen in Kläranlagen	22
1.7.3.4	Wirkungen auf Gewässer	22
1.7.3.5	Handlungsbedarf	22
1.7.3.6	Identifikation von Fremdwasserschwerpunkten	23
1.7.4	Fremdwasserbestimmung	23
1.7.4.1	Deskriptive Methoden	23
1.7.4.2	Deterministische Methoden	27
1.7.5	Fremdwasservermeidung und -reduzierung	28
1.7.5.1	Technische Maßnahmen zum Umgang mit Fremdwasser	28
1.7.5.2	Technische Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung	28
1.7.5.3	Präventivmaßnahmen zur Vermeidung von Fremdwasser	29

2	Hydraulische Grundlagen der Abwasserableitung	31
2.1	Einführung	31
2.1.1	Einordnung und Bedeutung der Hydraulik in der Abwasserableitung	31
2.1.2	Wichtige Grundbegriffe	31
2.1.2.1	Bewegungsformen in der Hydrodynamik	31
2.1.2.2	Eindimensionale Bewegung, Stromfadentheorie, Kontinuität	31
2.1.2.3	Strömungsbegriffe	32
2.1.3	Bewegungsgleichungen für den stationären Zustand	33
2.1.3.1	Eulersche Bewegungsgleichungen	34
2.1.3.2	Bernoulli-Gleichung	35
2.1.3.3	Impulssatz	38
2.1.3.4	Unterschiedliche Anwendungsbereiche von Bernoulli-Gleichung und Impulssatz	39
2.2	Grundlagen der Rohrhydraulik	39
2.2.1	Allgemeines zur Rohrhydraulik	39
2.2.1.1	Anwendung in der Abwasserableitung	39
2.2.1.2	Besonderheiten der stationären Rohrströmung	39
2.2.2	Widerstandsverhalten des geraden Kreisrohres/Reibungsverluste	40
2.2.2.1	Voraussetzungen und Annahmen	40
2.2.2.2	Wandschubspannung und Energieliniengefälle	40
2.2.2.3	Einführung und Definition des Reibungsbeiwertes	42
2.2.2.4	Unterschiede zwischen laminarer und turbulenter Strömung	42
2.2.2.5	Laminare Strömung	43
2.2.2.6	Turbulente Strömung	43
2.2.2.7	Beispiel – Berechnung des Reibungsbeiwertes für die turbulente Rohrströmung	48
2.2.3	Sonstige, örtliche Verluste	48
2.2.3.1	Berechnungsansatz	48
2.2.3.2	Ein- und Auslaufverluste	49
2.2.3.3	Querschnittswechsel	50
2.2.3.4	Richtungsänderungen	51
2.2.3.5	Absperr- und Regelorgane	51
2.2.4	Darstellung im Energieplan und Beispiele zur Rohrhydraulik	52
2.2.4.1	Ergänzungen zum Zeichnen des Energieplans	52
2.2.4.2	Beispiel – Hydraulische Drossel	53
2.3	Einsatz von Pumpen in der Abwasserableitung	54
2.3.1	Aufgaben und Pumpenarten	54
2.3.1.1	Anwendungsbereiche	54
2.3.1.2	Schneckenpumpen	54
2.3.1.3	Kreiselpumpen	55
2.3.2	Pumpengleichung und Pumpenkennlinie	55
2.3.2.1	Erstellung der Pumpengleichung	55
2.3.2.2	Ermittlung der Pumpenkennlinie	56
2.3.3	Berechnung der Anlagenkennlinie	57
2.3.4	Ermittlung des Betriebspunktes	58
2.3.5	Auslegung und Betrieb von Pumpwerken	58
2.3.5.1	Einstellen von Betriebsbereichen	58
2.3.5.2	Weitere Hinweise zur Dimensionierung von Pumpwerken	61
2.3.5.3	Beispiel – Dimensionierung einer Pumpenanlage	61
2.4	Grundlagen der stationären Gerinnehydraulik	62
2.4.1	Kennzeichen, Besonderheiten, Querschnittsarten	62
2.4.2	Fließzustand und Grenzverhältnisse	62
2.4.2.1	Die Bernoulli-Gleichung der Gerinneströmung	62
2.4.2.2	Berechnung der Grenzverhältnisse	64
2.4.2.3	Einführung der Froude-Zahl	64
2.4.3	Stationär-gleichförmige Bewegung	65
2.4.3.1	Allgemeine Betrachtung längs eines Gerinnes	65
2.4.3.2	Betrachtung am Gerinneabschnitt – Herleitung der DGL (Differenzialgleichung) der Spiegellinie	65
2.4.3.3	Ableitung einer Geschwindigkeitsformel	66
2.4.3.4	Gebrauchsformeln	67
2.4.3.5	Berechnung der Normalwassertiefe in Gerinnen	68
2.4.3.6	Teilfüllung im Kreisrohr	68
2.4.3.7	Andere Querschnittsformen	71
2.4.3.8	Beispiel – Fließtiefen im Kreisrohr	73

2.4.4	Ungleichförmige Bewegung	73
2.4.4.1	Herleitung der DGL (Differenzialgleichung) der ungleichförmigen Bewegung	73
2.4.4.2	Zusammenhang zwischen Fließtiefe und Energieliniengefälle nach de Chézy	74
2.4.4.3	Zusammenhang zwischen Fließtiefen- und Energiehöhenänderung nach Bernoulli	75
2.4.4.4	Beispiel – Ungleichförmiger Abfluss ohne Fließwechsel	76
2.4.4.5	Wasserspiegellagen	77
2.4.4.6	Fließwechsel vom Strömen zum Schießen – Durchlaufen der Grenzverhältnisse	78
2.4.4.7	Fließwechsel vom Schießen zum Strömen – Wechselsprung	78
2.4.4.8	Einfluss von Querschnittsänderungen auf den Abflussvorgang	81
2.4.4.9	Abschnittsweise Berechnung der Wasserspiegellage (Böß-Verfahren)	82
2.4.5	Ausbreitung von Störungen bei schießendem Abfluss	83
2.4.5.1	Störungswellen	83
2.4.5.2	Stau- und Sunkwellen	84
2.4.5.3	Ermittlung des Fließzustandes	84
2.4.6	Zusammenfassung Stationäre Gerinneströmung	85
2.4.6.1	Vorgehensweise bei der Ermittlung des Wasserspiegel- und Energielinienverlaufs	85
2.4.6.2	Beispiel – Ungleichförmiger Abfluss mit Fließwechsel	86
2.4.7	Diskontinuierliche Strömung	88
2.5	Sonderfälle im Abflussgeschehen	90
2.5.1	Instabilitäten beim Übergang zwischen Freispiegel- und Druckabfluss in überdeckten Gerinnen	90
2.5.2	Instationäre Gerinneströmung	91
2.5.2.1	Allgemeines	91
2.5.2.2	Saint-Venantsche Gleichungen für den instationären Gerinneabfluss	91
2.5.2.3	Abfluss von Hochwasserwellen	92
2.5.2.4	Sprunghafte Veränderungen des Durchflusses (Schwall und Sunk)	93
2.5.3	Mehrphasenströmungen	95
2.5.3.1	Luftaufnahme in Steilstrecken	95
2.5.3.2	Flachstrecken und Ablagerungen	96
2.6	Bauwerke in der Abwasserableitung	99
2.6.1	Entlastungsbauwerke	99
2.6.2	Abfluss unter Planschützen und Planschiebern	100
2.6.2.1	Freier Abfluss	100
2.6.2.2	Rückgestauter Abfluss	101
2.6.2.3	Beispiel – Freier Ausfluss unter einer Planschütze	102
2.6.3	Kontrollschächte	103
2.6.4	Bauwerke zur Überwindung von Höhenunterschieden und Energieumwandlung	105
2.6.4.1	Allgemeines	105
2.6.4.2	Absturz	105
2.6.4.3	Fallschacht	106
2.6.4.4	Wirbelfallschacht	107
2.6.5	Düker	107
2.7	Durchflussmessung	108
2.7.1	Zweck von Durchflussmessungen	108
2.7.2	Überblick über unterschiedliche Messprinzipien	108
2.7.2.1	Volumetrische Bestimmung	108
2.7.2.2	Ermittlung aus der Kontinuität	108
2.7.2.3	Einengungs- und Überfallbauwerke	108
2.7.3	Induktive Geschwindigkeits- bzw. Durchflussmessung	109
2.7.4	Messwehre	109
2.7.5	Venturi-Kanäle	110
2.7.5.1	Wirkungsprinzip	110
2.7.5.2	Dimensionierung	110
2.7.5.3	Kurz- oder Khafagi-Venturi-Kanal	111
2.8	Berechnungsverfahren nach DWA	112
2.8.1	Geltende Vorschriften	112
2.8.2	Berechnungsbeispiel	112

3	Druck-, Unterdruck- und Absetzentwässerung	115
3.1	Abwasserableitung in dünn besiedelten Gebieten	115
3.1.1	Verfahren	115
3.1.2	Ökonomische Aspekte der Abwasserableitung in ländlichen Gebieten	115
3.1.3	Regeln der Technik – Arbeitsblatt DWA A 116	115
3.2	Unterdruckentwässerung	116
3.2.1	Anwendungsbereich	116
3.2.2	Normative Verweisungen	116
3.2.3	Definitionen	116
3.2.4	Systembeschreibung	116
3.2.4.1	Allgemeines	116
3.2.4.2	Hausanschlusschächte	117
3.2.4.3	Verlegung der Unterdruckleitungen	118
3.2.4.4	Unterdruckstation	118
3.2.5	Anforderungen	119
3.2.5.1	Satzungsfragen	119
3.2.5.2	Allgemeine Anforderungen	119
3.2.5.3	Besondere Anforderungen an Komponenten	119
3.2.5.4	Anforderungen an die Planung	120
3.2.6	Leitungsverlegung	123
3.2.7	Prüfungen	123
3.2.8	Inbetriebnahme – Abnahme – Wartung	123
3.2.9	Kosten	123
3.2.10	Betriebserfahrungen	124
3.3	Druckentwässerung	124
3.3.1	Systembeschreibung	124
3.3.1.1	Hausanschluss und Druckluftspülstation	125
3.3.1.2	Sammeldruckrohrleitungen	125
3.3.2	Anforderungen	126
3.3.3	Hydraulische Berechnung	126
3.3.3.1	Bemessungsparameter	126
3.3.3.2	Bemessung des Rohrnetzes und der Pumpen	126
3.3.3.3	Bemessung der Druckluftspülstation	127
3.3.4	Ausführung und Betrieb	127
3.3.4.1	Eingesetzte Werkstoffe und Betrieb/Wartung	127
3.3.4.2	Kosten	128
3.3.4.3	Betriebserfahrungen	128
3.3.4.4	Neuere Entwicklungen	128
3.3.5	Entwässerungssatzung	128
3.4	Druckluftgespülte Abwassertransportleitungen	128
3.4.1	Allgemeines	128
3.4.2	Hydraulische Förderanlagen mit Druckluftspülung	129
3.4.2.1	Verfahrensbeschreibung	129
3.4.2.2	Ausführung und Betrieb	129
3.4.3	Pneumatische Förderanlagen	130
3.4.3.1	Verfahrensbeschreibung	130
3.4.3.2	Betrieb und Einsatz	130
3.4.4	Gefälledruckleitungen mit Druckluftspülung	131
3.4.4.1	Verfahrensbeschreibung	131
3.4.4.2	Ausführung und Betrieb	131
3.4.5	Dükerleitungen mit Druckluftspülung	131
3.5	Europäische Normung – Druck- und Unterdruckentwässerung	132
3.5.1	CEN/TC 165/WG 23 „Druck- und Unterdruck-Entwässerungssysteme“	132
3.5.2	Europäische Norm Unterdruckentwässerung	132
3.5.2.1	Entwicklung und Anwendungsbereiche der europäischen Norm DIN EN 1091	132
3.5.2.2	Gliederung der europäischen Norm DIN EN 1091	133
3.5.2.3	Inhalt der europäischen Norm DIN EN 1091	133
3.5.2.4	Wertung – Vergleich mit Arbeitsblatt A 116 alt	134
3.5.3	Europäische Norm Druckentwässerung	134
3.5.3.1	Entwicklung der europäischen Norm EN 1671	134
3.5.3.2	Inhalt der europäischen Norm EN 1671 – Bezug zur ATV-A 116	134
3.5.3.3	Wertung – Vergleich der europäischen Norm mit Arbeitsblatt A 116 alt	135

3.6	Absetzentwässerung – Weiterentwicklung für die Entwässerung dünn besiedelter Gebiete	135
3.6.1	Entwicklung des Verfahrens	135
3.6.1.1	Einleitung	135
3.6.1.2	Ursachen für Modifikationen der herkömmlichen Kanalisationstechnik	135
3.6.1.3	Entwicklung und Begriffsbestimmungen	136
3.6.2	Systembeschreibung	137
3.6.2.1	Hausanschlüsse und Absetzgruben	137
3.6.2.2	Kanalisation	138
3.6.3	Entwurfskriterien	139
3.6.3.1	Gefälle und Mindestüberdeckung	139
3.6.3.2	Hydraulische Berechnung	139
3.6.3.3	Reinigungsöffnungen und Schächte	139
3.6.3.4	Anlagen zur Abwasserreinigung	139
3.6.3.5	Vergleich der Entwurfskriterien für die konventionelle Entwässerung und die Absetzentwässerung	139
3.6.4	Betrieb und Betriebserfahrungen	140
3.6.4.1	Absetzgruben und Kanalspülung	140
3.6.4.2	Geruchs- und Korrosionsprobleme	140
3.6.4.3	Das Beispiel Aurich	140
3.7	Zusammenfassung	141
4	Gebäude-, Grundstücks- und Straßenentwässerung	143
4.1	Vorbemerkungen zum „Buch Integrale Siedlungsentwässerung - Grundlagen und Lösungsansätze in Planung und Betrieb“	143
4.1.1	Änderungen in DIN 1986-100 (2016)	143
4.1.2	Überflutungs- und Überlastungsnachweise	143
4.2	Grundlagen	145
4.2.1	Begriffsbestimmungen	145
4.2.2	Rechtliche Grundlagen	145
4.2.3	Normen für die Gebäude- und Grundstücksentwässerung	145
4.2.4	Geltungsbereiche der Normen	146
4.2.5	Anlagegrundsätze	147
4.2.5.1	Energie- und Wasserverbrauch	147
4.2.5.2	Schwerkraftentwässerung	147
4.2.5.3	Trenn- und Mischsystem	147
4.2.5.4	Allgemeine Anforderungen	147
4.2.5.5	Schutzziele	147
4.2.5.6	Brandschutz	147
4.2.5.7	Schallschutz	147
4.2.5.8	Frostschutz	148
4.2.5.9	Dichtheit	148
4.2.6	Leitungsbezeichnungen	148
4.2.7	Leitungswerkstoffe nach DIN 1986-4	149
4.3	Lüftungssysteme und Belüftungsventile	151
4.3.1	Zweck und Funktion der Lüftung bei Entwässerungsanlagen	151
4.3.2	Grundsätze zur Lüftung von Entwässerungsanlagen	152
4.3.3	Lüftungssysteme	152
4.3.3.1	Hauptlüftung	152
4.3.3.2	Sammel-Hauptlüftung	152
4.3.3.3	Nebenlüftung	152
4.3.3.4	Umlüftung	152
4.3.4	Belüftungsventile	153
4.3.5	Bemessung von Lüftungsleitungen	153
4.3.5.1	Bemessung von Hauptlüftungsleitungen	153
4.3.5.2	Bemessung von Sammelhauptlüftungsleitungen	153
4.3.5.3	Bemessung von Neben- und Umlüftungsleitungen	154
4.4	Verlegerregeln für Abwasserleitungen	155
4.4.1	Allgemeine Verlegerichtlinien	155
4.4.2	Gefälle der Leitungen	155
4.4.2.1	Gefälleberechnung	155
4.4.2.2	Gefälle, Füllungsgrad und Fließgeschwindigkeit von Abwasserleitungen nach DIN 1986-100	156
4.4.3	Geruchverschlüsse	156

4.4.4	Schutz gegen Überflutung	157
4.4.4.1	Balkontwässerungen	157
4.4.5	Regenwasserableitung kleiner Flächen	157
4.4.6	Grundsätze für die Verlegung liegender Leitungen	157
4.4.7	Reinigungsrohre / Reinigungsverschlüsse	158
4.4.8	Verlegeregeln gegen Rückspülungen usw.	158
4.4.9	Physikalische Grundlagen zur Verlegung und Bemessung von Schmutzwasser-Falleitungen	159
4.4.9.1	Verlegeregeln für Falleitungen	160
4.4.9.2	Verhinderung von Ein- und Überspülungen	161
4.4.9.3	Verziehungen und Umlenkungen von Falleitungen	162
4.5	Schutz gegen Rückstau	164
4.5.1	Allgemeine Richtlinien nach DIN EN 12056 und DIN 1986	164
4.5.1.1	Was ist Rückstau?	164
4.5.1.2	Welche Teile einer Entwässerungsanlage sind rückstaugefährdet?	164
4.5.1.3	Was ist die Rückstauenebene und wo liegt sie?	164
4.5.2	Rückstauverschlüsse, Funktion und Typen	164
4.5.2.1	Typ 0 bis Typ 3	164
4.5.2.2	Typ 4 und 5	165
4.5.2.3	Rückstauverschlüsse, Verwendungsbereiche in Deutschland	165
4.5.2.4	Besondere Rückstauverschlüsse	165
4.5.3	Hebeanlagen – Allgemeine Grundlagen	166
4.5.3.1	Was ist eine Abwasserhebeanlage?	166
4.5.3.2	Aufstellräume für Abwasserhebeanlagen	166
4.5.3.3	Doppelanlagen	166
4.5.3.4	Leitungsanschlüsse	166
4.5.3.5	Leitungsbemessung	167
4.5.3.6	Lüftung	167
4.5.4	Hebeanlagen zur begrenzten Verwendung	168
4.5.5	Bemessung von Hebeanlagen nach DIN EN 12056-4	169
4.5.5.1	Druckverluste in Armaturen und Formstücken $H_{V,A}$	170
4.5.5.2	Rohrreibungsverluste $H_{V,R}$	170
4.5.5.3	Bemessung des Nutzvolumens	171
4.6	Abscheideranlagen – Rückhalten schädlicher Stoffe	171
4.6.1	Grundsätze	171
4.6.1.1	Allgemeine Vorschriften	172
4.6.1.2	Normen für Abscheideranlagen	172
4.6.2	Leichtflüssigkeitsabscheider	172
4.6.2.1	Abscheideranlage	172
4.6.2.2	Abscheiderklassen	172
4.6.2.3	Einsatzzweck der Abscheideranlage	173
4.6.2.4	Anschluss und Einbau	173
4.6.2.5	Komponenten einer Abscheideranlage	173
4.6.2.6	Funktionsbeschreibung und Bauarten	173
4.6.3	Bemessung von Leichtflüssigkeitsabscheidern	174
4.6.3.1	Nenngrößen (NS)	174
4.6.3.2	Erschwernisfaktor f_x	174
4.6.3.3	Dichtefaktor f_d	174
4.6.3.4	Schmutzwasserzufluss	175
4.6.3.5	Regenwasserzufluss (Q_r)	175
4.6.4	Heizölsperrn	176
4.6.5	Fettabscheider	176
4.6.5.1	Anschluss und Einbau	176
4.6.5.2	Lüftung	176
4.6.5.3	Funktionsbeschreibung	176
4.6.5.4	Bauarten	177
4.6.6	Bemessung von Fettabscheidern	178
4.6.6.1	Nenngrößen (NS)	178
4.6.6.2	Maximaler Schmutzwasserabfluss	178
4.6.6.3	Schmutzwasserabfluss auf der Grundlage der KÜCHEINEINRICHTUNG	178
4.6.6.4	Schmutzwasserabfluss auf der Grundlage der Art des Betriebes	179
4.6.6.5	Stoßbelastungsfaktor F	179
4.6.6.6	Temperaturfaktor f_t	179
4.6.6.7	Dichtefaktor f_d	179

4.6.6.8	Erschwernisfaktor f_r	179
4.6.7	Bemessungsbeispiel	180
4.7	Bemessung von Schmutzwasserleitungen	180
4.7.1	Bemessungsgrundsätze für Schmutzwasserleitungen	180
4.7.2	Begriffe für die Bemessung nach DIN EN 12056-2	180
4.7.3	Bemessung des Schmutzwasserabflusses	181
4.7.4	Typische Abflusskennzahlen (K)	181
4.7.5	Gesamtschmutzwasserabfluss (Q_{tot})	181
4.7.6	Ermittlung des Schmutzwasserabflusses	181
4.7.7	Bemessung von unbelüfteten Anschlussleitungen	181
4.7.8	Bemessung von belüfteten Anschlussleitungen	182
4.7.9	Anwendungsbereiche der Nennweite 80 / 90	183
4.7.10	Bemessung von Schmutzwasser-Falleleitungen	183
4.7.10.1	Gesonderte Küchen-Falleleitungen	183
4.7.10.2	Bemessung von Schmutzwasser-Falleleitungen (Abzweigtypen)	183
4.7.11	Bemessung von Grund- und Sammelleitungen	184
4.7.11.1	Begriffe – Grundleitung/Sammelleitung	184
4.7.11.2	Bemessungsgrundlagen für Grund- und Sammelleitungen	184
4.7.11.3	Hinweise zur Bemessung von Grund- und Sammelleitungen	184
4.7.11.4	Bemessungstabellen für Grund- und Sammelleitungen	185
4.7.12	Leitungsbemessung nach einem Hebeanlagenanschluss	186
4.7.12.1	Anschluss mehrerer Hebeanlagen	187
4.7.12.2	Bemessungsregenspende bei Hebeanlagen für Regenwasser	187
4.7.13	Bemessungsbeispiel Schmutzwasserleitungen	187
4.7.13.1	Anschlussleitungen eines Komfortbades in einem Einfamilienhaus	187
4.7.13.2	Beispiele zur Bemessung von Falleleitungen	189
4.7.13.3	Beispiel der Bemessung einer Sammelleitung eines Bürogebäudes	189
4.8	Bemessung von Regenwasserleitungen	190
4.8.1	Bemessungsgrundsätze für Regenwasserleitungen	190
4.8.1.1	Allgemeines	190
4.8.1.2	Regenwasserabfluss	190
4.8.1.3	Berechnungsregenspende	190
4.8.2	Abflussbeiwerte C zur Ermittlung des Regenwasserabflusses	191
4.8.3	Beispiele für Regenereignisse in Deutschland	192
4.8.4	Erforderliche Stauhöhe am Dachablauf	192
4.8.5	Abflussvermögen von Regenfalleleitungen	192
4.8.6	Bemessungsbeispiel Regenwasserleitungen	193
4.9	Bemessung von Mischwasserleitungen	194
4.9.1	Bemessungsregeln	194
4.9.2	Bemessungsbeispiel	194
4.10	Straßenentwässerung	194
4.10.1	Allgemeines	194
4.10.2	RAS-Ew	195
4.10.2.1	Planung und Entwurf	195
4.10.2.2	Bemessungsgrundlagen – Abflussgrößen	197
4.10.2.3	Behandlung von Straßenabflüssen	197
4.10.2.4	Rückhalteanlagen	197
4.10.3	RiStWag	198
4.10.3.1	Inhaltsübersicht	198
4.10.3.2	Behandlung von Straßenoberflächenabflüssen	198
5	Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung	199
5.1	Regenwasserbewirtschaftung statt Regenwasserableitung	199
5.2	Grundlagen und Zielgrößen einer naturnahen Regenwasserbewirtschaftung	202
5.2.1	Größe und Verschmutzung des Niederschlagsabflusses	202
5.2.2	Siedlungsstrukturelle und geogene Einflussfaktoren	202
5.2.3	Ziele einer naturnahen Regenwasserbewirtschaftung	204
5.3	Abflussvermeidung und Flächenentsiegelung	207
5.4	Dachbegrünung	209
5.5	Regenwassernutzung	210
5.5.1	Anlagenteile	210
5.5.2	Auslegung der Speichergröße	211
5.5.3	Abnahme, Wartung und Betrieb	212

5.6	Versickerung	213
5.6.1	Grundlagen der Versickerung	213
5.6.1.1	Örtliche Randbedingungen	213
5.6.1.2	Qualitative Anforderungen für die Versickerung von Niederschlagswasser	215
5.6.1.3	Versickerungsanlagen	217
5.6.1.4	Bemessungsgrundsätze	217
5.6.2	Flächenversickerung	220
5.6.3	Muldenversickerung	221
5.6.4	Rohr- und Rigolenversickerung	223
5.6.5	Mulden-Rigolen-Element und Mulden-Rigolen-System	224
5.6.6	Versickerungsschächte	225
5.6.7	Beckenversickerung	226
5.6.8	Bau und Betrieb von Anlagen zur Regenwasserversickerung	228
5.7	Regenwasserrückhaltung	228
5.7.1	Dezentrale Rückhaltemaßnahmen	228
5.7.1.1	Dezentrale Rückhaltebehälter	228
5.7.1.2	Einstaudächer	229
5.7.2	Zentrale Rückhalteräume	229
5.7.2.1	Funktion und Notwendigkeit von Regenrückhalteräumen	229
5.7.2.2	Bemessungsverfahren	230
5.7.2.3	Bemessungsvorgaben	232
5.7.2.4	Nachweisverfahren	232
5.7.2.5	Hinweise zur baulichen Gestaltung	234
5.8	(Offene) Ableitung	235
5.8.1	Generelle Randbedingungen	235
5.8.2	Bewertung der stofflichen Verträglichkeit	235
5.8.3	Bewertung der hydraulischen Verträglichkeit	236
5.9	Potenziale und Umsetzung einer naturnahen Regenwasserbewirtschaftung	236
5.9.1	Potenzial naturnaher Regenwasserbewirtschaftung	236
5.9.2	Einbindung der Entwässerung in die städtebauliche und Bebaungsplanung	237
5.9.3	Ökonomische Aspekte	238
5.10	Auswirkungen naturnaher Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen	238
5.10.1	Auswirkungen auf den lokalen Wasser- und Stoffhaushalt	238
5.10.2	Auswirkungen auf die bestehenden Infrastruktursysteme	241
5.11	Rechtliche Grundlagen der naturnahen Regenwasserbewirtschaftung	242
5.11.1	Einführung	242
5.11.2	Abwasserbeseitigungspflicht	242
5.11.3	Einleitung und Versickerung	248
5.11.3.1	Einleitung in oberirdische Gewässer	248
5.11.3.2	Versickerung	249
5.11.3.3	Die Beteiligung der Wasserbehörden	249
5.11.4	Weitere notwendige Anlagengenehmigungen	250
5.11.4.1	Wasserrecht	250
5.11.4.2	Bauordnungsrecht	250
5.11.5	Technische Anforderungen an die naturnahe Regenwasserbewirtschaftung	250
5.11.6	Kommunales Gebührenrecht	251
6	Verschmutzung und Behandlung von Regenwetterabflüssen	253
6.1	Gewässerbelastung durch Regenwetterabflüsse	253
6.2	Rechtliche Grundlagen zum Umgang mit Niederschlagswasser	254
6.2.1	EU-Recht	254
6.2.2	Wasserhaushaltsgesetz	254
6.2.3	Anhang Niederschlagswasser zur Abwasserverordnung (Entwurf 2008)	254
6.2.4	Technisches Regelwerk	254
6.2.5	Länderspezifische Regelungen – Beispiel Nordrhein-Westfalen	255
6.2.6	Begriffliche Festlegungen	255
6.3	Verschmutzung von Niederschlagsabflüssen	256
6.3.1	Methodik zur Darstellung der Daten zur Abflussverschmutzung	256
6.3.2	Relevante Schmutzstoffparameter und Stoffgruppen	257
6.3.2.1	Feststoffparameter	257
6.3.2.2	Kohlenstoffparameter und sauerstoffzehrende Verbindungen	258
6.3.2.3	Nährstoffe Stickstoff und Phosphor	259
6.3.2.4	Ausgewählte Schwermetalle (Zink, Kupfer, Cadmium, Blei)	259

6.3.2.5	Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	262
6.3.2.6	Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)	263
6.3.3	Orientierungswerte zur Verschmutzung der Niederschlagsabflüsse	263
6.4	Konzepte der Regenwasserbehandlung	264
6.4.1	Begriffsdefinition	264
6.4.2	Behandlungserfordernis von Niederschlagsabflüssen	264
6.4.2.1	Kategorisierung von Niederschlagsabflüssen	264
6.4.2.2	Bewertungsverfahren nach DWA-M 153	265
6.5	Mischwasserbehandlung	267
6.5.1	Problemstellung	267
6.5.2	Regelungen zur Mischwasserbehandlung	267
6.5.2.1	Arbeitsblatt ATV-A 128	267
6.5.2.2	Länderspezifische Regelungen zur Mischwasserbehandlung	268
6.5.3	Umsetzung der Mischwasserbehandlung	268
6.5.3.1	Status Quo	268
6.5.3.2	Bemessungszufluss zur Kläranlage	269
6.5.3.3	Undurchlässige Fläche A_U , A128	269
6.5.4	Hinweise zum Nachweisverfahren	271
6.5.4.1	Niederschlagsdaten für die Langzeitsimulation (Regenreihen)	271
6.5.4.2	Abflussberechnung für befestigte und unbefestigte Flächen	271
6.5.4.3	Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung und modifizierte Mischsysteme	271
6.5.4.4	Berücksichtigung von Abkoppelungsmaßnahmen im Nachweisverfahren	271
6.5.4.5	Drosselabflüsse bei dezentraler Regenwasserbewirtschaftung	271
6.5.4.6	Modellansätze zu Akkumulation/Abtrag und Absetzwirkung	271
6.5.5	Weiterentwicklung der Regelungen zur Mischwasserbehandlung	271
6.6	Anlagen zur Behandlung von Regenwetterabflüssen	272
6.6.1	Dezentrale Anlagen zur Behandlung von Niederschlagsabflüssen	272
6.6.2	Zentrale Anlagen zur Behandlung von Niederschlagsabflüssen	275
6.6.2.1	Regenklärbecken	275
6.6.2.2	Retentionsbodenfilter	277
6.6.3	Zentrale Anlagen zur Mischwasserbehandlung	279
6.6.3.1	Zwischenspeicherung von Mischwasser	279
6.6.3.2	Klärtechnische Maßnahmen im Kanalnetz	279
6.6.3.3	Erhöhte Mischwasserbehandlung in Kläranlagen	281
6.6.3.4	weitere technische Entwicklungen	281
7	Abfluss- und Schmutzfrachtmodellierung	283
7.1	Kanalnetzberechnung	283
7.1.1	Aufgabenstellung	283
7.1.2	Bearbeitungsschritte der Kanalnetzberechnung	283
7.1.2.1	Neuplanung („Entwurf“)	283
7.1.2.2	Nachrechnung bestehender Systeme	284
7.1.3	Grundsätze zur Berechnung des Niederschlagsabflusses	284
7.1.4	Bemessungs- und Nachweiskriterien	285
7.1.4.1	Häufigkeit von Bemessungsregen	286
7.1.4.2	Begrifflichkeit zur Aus- und Überlastung von Kanalnetzen	286
7.1.4.3	Überstau- und Überflutungshäufigkeit	286
7.1.5	Abflussmodelle zur Kanalnetzberechnung	287
7.1.5.1	Phasen des Niederschlagsabflussvorganges	287
7.1.5.2	Modellansätze zur Abflussbildung	290
7.1.5.3	Berechnung der Abflusskonzentration	291
7.1.5.4	Modellierung des Kanalabflusses	292
7.1.6	Wahl der Niederschlagsbelastung	294
7.1.6.1	Regenspendenlinien und Blockregen	294
7.1.6.2	Einzelmodellregen	294
7.1.6.3	Modellregengruppen	295
7.1.6.4	Gemessene Starkregenserien	295
7.1.6.5	Weitergehende Ansätze	296
7.1.7	Durchführung der hydraulischen Berechnung	296
7.1.7.1	Bearbeitungsschritte und Anwendungskriterien	296
7.1.7.2	Zuordnung Niederschlagsbelastung und Berechnungsmethode	296
7.1.7.3	Neubemessung von Entwässerungsnetzen	297
7.1.7.4	Nachrechnung bestehender Systeme	297
7.1.7.5	Berechnung von Sanierungsvarianten	297

7.1.7.6	Nachweis der Überstauhäufigkeit	298
7.1.8	Überflutungsvorsorge	298
7.1.9	Prüfung der Berechnungsergebnisse	299
7.1.9.1	Belastungsdaten und Berechnungsparameter	299
7.1.9.2	Auswertung und Prüfung	299
7.2	Abflussmodelle und kommunale Überflutungsvorsorge	300
7.2.1	Aufgabenstellung	300
7.2.2	Gefährdungsanalyse in der kommunalen Überflutungsvorsorge	301
7.2.2.1	Bereiche mit besonderer Überflutungsgefährdung	301
7.2.2.2	Hydraulische Überlastung der Entwässerungseinrichtungen	301
7.2.3	Methodische Ansätze und Arbeitsschritte der Gefährdungsanalyse	302
7.2.4	Detaillierte Überflutungsberechnung	302
7.2.4.1	2D-Simulationen	303
7.2.4.2	Gekoppelte 1D/2D-Simulationen	303
7.3	Schmutzfrachtberechnung	303
7.3.1	Veranlassung, Anwendung und Bedeutung	303
7.3.1.1	Ziel von Schmutzfrachtberechnungen	303
7.3.1.2	Anwendungskontext Mischwasserbehandlung und ATV-A 128	303
7.3.1.3	Schmutzfrachtberechnung als Nachweisverfahren nach ATV- A 128	304
7.3.1.4	Anwendungskontext EU-Wasserrahmenrichtlinie	304
7.3.1.5	Vergleichende Charakterisierung der Aufgabenstellung	305
7.3.2	Phänomenbeschreibung Niederschlagsabflussverschmutzung	306
7.3.2.1	Teilprozesse in niederschlagsfreien Zeiten	307
7.3.2.2	Teilprozesse beim Niederschlagsabflussereignis	307
7.3.3	Modellierung der Abflussverschmutzung	308
7.3.3.1	Abflussverschmutzung – Allgemeines	308
7.3.3.2	Verschmutzung des Trockenwetterabflusses	309
7.3.3.3	Verschmutzung des Niederschlagsabflusses	309
7.3.3.4	Schmutzstofftransport im Kanalnetz	311
7.3.4	Einbeziehung der Sonderbauwerke	311
7.3.5	Anwendung der Schmutzfrachtberechnung	312
7.3.5.1	Anwendung als Nachweisverfahren	312
7.3.5.2	Berechnung des niederschlagsbedingten Schmutzfrachtaustrages	313
7.3.6	Anwendungs- und Einsatzbereiche von Schmutzfrachtmodellen	313
7.3.7	Aussagefähigkeit und Ergebnisdarstellung	313
7.A	Anhang	314
7.A.1	Ergebnisdarstellung – Abflussmodelle	314
7.A.2	Ergebnisdarstellung – Schmutzfrachtmodelle	319
8	Sanierung	325
8.1	Anforderungen an die Sanierung	325
8.1.1	Allgemeines	325
8.1.2	Schäden, Schadensursachen, Schadensfolgen	325
8.1.2.1	Abnutzungsvorrat und Qualitätsverlauf	325
8.1.2.2	Ursachen und Folgen baulicher Schäden	327
8.1.2.3	Schadensbeispiel Wurzeleinwuchs	328
8.1.2.4	Praxisbeispiel Zustandsbildkatalog Abwasserschächte	328
8.1.3	Anforderungen	329
8.1.3.1	Funktionalanforderungen	329
8.1.3.2	Leistungsanforderungen	329
8.1.3.3	Normung, Richtlinien und Zulassungen	331
8.1.4	Praxisbeispiel IKT-Warentest	332
8.2	Zustandserfassung, -klassifizierung und -bewertung	333
8.2.1	Zustandserfassung	333
8.2.2	Zustandsklassifizierung und -bewertung	334
8.2.3	Praxisbeispiel: Inspektion teilgefüllter Kanäle	334
8.2.4	Grenzen der optischen Inspektion	336
8.2.5	Neue Methoden zur Erfassung und Bewertung des Rohr-Boden-Systems	337
8.3	Planung der Sanierung	338
8.4	Technische Sanierungsansätze	340
8.4.1	Erarbeitung ganzheitlicher Lösungen	340
8.4.2	Hydraulische Sanierung	340
8.4.3	Umweltrelevante Sanierung	340
8.4.4	Bauliche Lösungen	340

8.4.5	Betriebliche Lösungen	341
8.5	Reparatur	341
8.5.1	Einteilung der Verfahren	341
8.5.2	Innenmanschetten in nicht begehbaren Kanälen	343
8.5.2.1	Verfahrensmöglichkeiten	343
8.5.2.2	Örtlich erhärtende, reaktionsharzgetränkte Gewebemanschetten	343
8.5.3	Injektionsverfahren – Allgemeines	344
8.5.3.1	Injektionsmittel	344
8.5.3.2	Wirkung der Injektionsmittel auf das Grundwasser	345
8.5.4	Injektion von Außen	345
8.5.5	Injektion von Innen	346
8.5.5.1	Boden- und/oder Hohlrauminjektion	346
8.5.5.2	Rissinjektion	347
8.5.5.3	Injektion von Rohrverbindungen	347
8.5.6	Verfahren zur Abdichtung von Kanalabschnitten	348
8.5.7	Praxisbeispiel Sanierung von Anschlussstutzen	349
8.5.7.1	Schäden	349
8.5.7.2	Reparatur	349
8.6	Renovierung	351
8.6.1	Beschichtungsverfahren	351
8.6.1.1	Mörtelbeschichtung	351
8.6.1.2	Polyurethanbeschichtung	353
8.6.1.3	Verfahrenstechniken	354
8.6.2	Auskleidung von Kanälen – Verfahren und Anforderungen	356
8.6.2.1	Einteilung der Auskleidungsverfahren – Begriffsdefinition	356
8.6.2.2	Anforderungen	357
8.6.2.3	Auskleidung mit montierten Einzelelementen	358
8.6.2.4	Auskleidung mit Rohren	359
8.6.3	Rohrrelining – Auskleidung mit vorgefertigten Rohren	359
8.6.3.1	Konventionelle Rohrstrangverfahren	360
8.6.3.2	Weiterentwickelte Rohrstrangverfahren	361
8.6.3.3	Einzelrohr-Lining	364
8.6.4	Wickelrohrverfahren – Auskleidung mit örtlich hergestellten Rohren	365
8.6.5	Schlauchverfahren – Auskleidung mit örtlich hergestellten und erhärtenden Rohren	366
8.7	Erneuerung	370
8.7.1	Notwendigkeit und Umsetzung der Erneuerung	370
8.7.2	Erneuerung in geschlossener Bauweise	371
8.7.2.1	Überfahren	371
8.7.2.2	Berstverfahren	372
8.8	Auswahlkriterien für Verfahren zur baulichen Sanierung	373
8.8.1	Entscheidungsprozess zur Verfahrensauswahl	373
8.8.2	Reparatur – Renovierung – Erneuerung	374
8.8.3	Auswahlkriterien Wirtschaftlichkeit und Lebenszyklus	374
	Literaturverzeichnis	377
	Glossar	397
	Abkürzungsverzeichnis	413