

# **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/](http://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](mailto:info@asw-verlage.de)  
[www.asw-verlage.de](http://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](mailto:info@bauing.uni-weimar.de)  
[www.uni-weimar.de/wbbau](http://www.uni-weimar.de/wbbau)

DWA  
T: 02242 872333, F: 02242-872100  
[kundenzentrum@dwa.de](mailto:kundenzentrum@dwa.de)  
[www.dwa.de](http://www.dwa.de)

Redaktion: Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt  
Satz und Layout: Satzservice S. Matthies · [www.doctype-satz.de](http://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

	<b>Autorenverzeichnis</b> .....	I
<b>1</b>	<b>Vorwort</b> .....	III
<b>1</b>	<b>Grundlagen der Siedlungsentwässerung</b> .....	1
<b>1.1</b>	<b>Aufgaben und Ziele</b> .....	1
<b>1.2</b>	<b>Entwässerungsverfahren</b> .....	1
<b>1.3</b>	<b>Anlagen und Bauwerke öffentlicher Entwässerungssysteme</b> .....	3
<b>1.4</b>	<b>Sonderbauwerke in Entwässerungssystemen</b> .....	4
<b>1.5</b>	<b>Regentlastungsbauwerke in der Mischkanalisation</b> .....	5
1.5.1	Funktion und Anwendung .....	5
1.5.2	Zielsetzung .....	6
1.5.3	Bemessung von Regentlastungsbauwerken .....	7
<b>1.6</b>	<b>Abflussgrößen</b> .....	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
<b>1.7</b>	<b>Fremdwasser</b> .....	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



<b>2</b>	<b>Hydraulische Grundlagen der Abwasserableitung</b>	31
<b>2.1</b>	<b>Einführung</b>	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
<b>2.2</b>	<b>Grundlagen der Rohrhydraulik</b>	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
<b>2.3</b>	<b>Einsatz von Pumpen in der Abwasserableitung</b>	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
<b>2.4</b>	<b>Grundlagen der stationären Gerinnehydraulik</b>	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
<b>2.5</b>	<b>Sonderfälle im Abflussgeschehen</b>	<b>90</b>
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
<b>2.6</b>	<b>Bauwerke in der Abwasserableitung</b>	<b>99</b>
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
<b>2.7</b>	<b>Durchflussmessung</b>	<b>108</b>
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
<b>2.8</b>	<b>Berechnungsverfahren nach DWA</b>	<b>112</b>
2.8.1	Geltende Vorschriften	112
2.8.2	Berechnungsbeispiel	112

<b>3</b>	<b>Druck-, Unterdruck- und Absetzentwässerung</b>	115
<b>3.1</b>	<b>Abwasserableitung in dünn besiedelten Gebieten</b>	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
<b>3.2</b>	<b>Unterdruckentwässerung</b>	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
<b>3.3</b>	<b>Druckentwässerung</b>	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
<b>3.4</b>	<b>Druckluftgespülte Abwassertransportleitungen</b>	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
<b>3.5</b>	<b>Europäische Normung – Druck- und Unterdruckentwässerung</b>	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

<b>3.6</b>	<b>Absetzentwässerung – Weiterentwicklung für die Entwässerung dünn besiedelter Gebiete</b> .....	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
<b>3.7</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	141
<b>4</b>	<b>Gebäude-, Grundstücks- und Straßenentwässerung</b> .....	143
<b>4.1</b>	<b>Vorbemerkungen zum „Buch Integrale Siedlungsentwässerung - Grundlagen und Lösungsansätze in Planung und Betrieb“</b> .....	143
4.1.1	Änderungen in DIN 1986-100 (2016) .....	143
4.1.2	Überflutungs- und Überlastungsnachweise .....	143
<b>4.2</b>	<b>Grundlagen</b> .....	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
<b>4.3</b>	<b>Lüftungssysteme und Belüftungsventile</b> .....	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
<b>4.4</b>	<b>Verlegerregeln für Abwasserleitungen</b> .....	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
<b>4.5</b>	<b>Schutz gegen Rückstau</b> .....	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
<b>4.6</b>	<b>Abscheideranlagen – Rückhalten schädlicher Stoffe</b> .....	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	Heizölsperren .....	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 KÜCHENEINRICHTUNG .....	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
<b>4.7</b>	<b>Bemessung von Schmutzwasserleitungen</b> .....	<b>180</b>
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
<b>4.8</b>	<b>Bemessung von Regenwasserleitungen</b> .....	<b>190</b>
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
<b>4.9</b>	<b>Bemessung von Mischwasserleitungen</b> .....	<b>194</b>
4.9.1	Bemessungsregeln .....	194
4.9.2	Bemessungsbeispiel .....	194
<b>4.10</b>	<b>Straßenentwässerung</b> .....	<b>194</b>
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
<b>5</b>	<b>Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung</b> .....	<b>199</b>
<b>5.1</b>	<b>Regenwasserbewirtschaftung statt Regenwasserableitung</b> .....	<b>199</b>
<b>5.2</b>	<b>Grundlagen und Zielgrößen einer naturnahen Regenwasserbewirtschaftung</b> .....	<b>202</b>
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
<b>5.3</b>	<b>Abflussvermeidung und Flächenentsiegelung</b> .....	<b>207</b>
<b>5.4</b>	<b>Dachbegrünung</b> .....	<b>209</b>
<b>5.5</b>	<b>Regenwassernutzung</b> .....	<b>210</b>
5.5.1	Anlagenteile .....	210
5.5.2	Auslegung der Speichergröße .....	211
5.5.3	Abnahme, Wartung und Betrieb .....	212

<b>5.6</b>	<b>Versickerung</b> .....	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
<b>5.7</b>	<b>Regenwasserrückhaltung</b> .....	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
<b>5.8</b>	<b>(Offene) Ableitung</b> .....	235
5.8.1	Generelle Randbedingungen .....	235
5.8.2	Bewertung der stofflichen Verträglichkeit .....	235
5.8.3	Bewertung der hydraulischen Verträglichkeit .....	236
<b>5.9</b>	<b>Potenziale und Umsetzung einer naturnahen Regenwasserbewirtschaftung</b> .....	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
<b>5.10</b>	<b>Auswirkungen naturnaher Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen</b> .....	238
5.10.1	Auswirkungen auf den lokalen Wasser- und Stoffhaushalt .....	238
5.10.2	Auswirkungen auf die bestehenden Infrastruktursysteme .....	241
<b>5.11</b>	<b>Rechtliche Grundlagen der naturnahen Regenwasserbewirtschaftung</b> .....	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
<b>6</b>	<b>Verschmutzung und Behandlung von Regenwetterabflüssen</b> .....	253
<b>6.1</b>	<b>Gewässerbelastung durch Regenwetterabflüsse</b> .....	253
<b>6.2</b>	<b>Rechtliche Grundlagen zum Umgang mit Niederschlagswasser</b> .....	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
<b>6.3</b>	<b>Verschmutzung von Niederschlagsabflüssen</b> .....	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
<b>6.4</b>	<b>Konzepte der Regenwasserbehandlung</b>	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
<b>6.5</b>	<b>Mischwasserbehandlung</b>	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
<b>6.6</b>	<b>Anlagen zur Behandlung von Regenwetterabflüssen</b>	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
<b>7</b>	<b>Abfluss- und Schmutzfrachtmodellierung</b>	283
<b>7.1</b>	<b>Kanalnetzberechnung</b>	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
<b>7.2</b>	<b>Abflussmodelle und kommunale Überflutungsvorsorge</b>	<b>300</b>
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
<b>7.3</b>	<b>Schmutzfrachtberechnung</b>	<b>303</b>
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
<b>7.A</b>	<b>Anhang</b>	<b>314</b>
<b>7.A.1</b>	<b>Ergebnisdarstellung – Abflussmodelle</b>	<b>314</b>
<b>7.A.2</b>	<b>Ergebnisdarstellung – Schmutzfrachtmodelle</b>	<b>319</b>
<b>8</b>	<b>Sanierung</b>	<b>325</b>
<b>8.1</b>	<b>Anforderungen an die Sanierung</b>	<b>325</b>
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
<b>8.2</b>	<b>Zustandserfassung, -klassifizierung und -bewertung</b>	<b>333</b>
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
<b>8.3</b>	<b>Planung der Sanierung</b>	<b>338</b>
<b>8.4</b>	<b>Technische Sanierungsansätze</b>	<b>340</b>
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
<b>8.5</b>	<b>Reparatur</b> .....	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
<b>8.6</b>	<b>Renovierung</b> .....	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
<b>8.7</b>	<b>Erneuerung</b> .....	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
<b>8.8</b>	<b>Auswahlkriterien für Verfahren zur baulichen Sanierung</b> .....	373
8.8.1	Entscheidungsprozess zur Verfahrensauswahl .....	373
8.8.2	Reparatur – Renovierung – Erneuerung .....	374
8.8.3	Auswahlkriterien Wirtschaftlichkeit und Lebenszyklus .....	374
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	377
	<b>Glossar</b> .....	397
	<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	413