

Umweltforschungsplan
des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 37 11 26 326

Kanalabdichtungen – Auswirkungen auf die Reinigungsleistung der Kläranlagen und der Einfluss auf den örtlichen Wasserhaushalt

von

Bert Bosseler
Thomas Brüggemann
Amely Dyrbusch
Daniela Beck
Thomas Kohler
Thomas Kramp
Christian Klippstein
Harro Stolpe
Andreas Borgmann
Markus Disse
Frank Wolfgang Günthert
Patrick Keilholz
Sascha Rödel

IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur
Exterbruch 1
45886 Gelsenkirchen

IM AUFTRAG
DES UMWELTBUNDESAMTES

November 2014

Berichtskennblatt

Berichtsnummer	UBA-FB 00
Titel des Berichts	Kanalabdichtungen – Auswirkungen auf die Reinigungsleistung der Kläranlagen und der Einfluss auf den örtlichen Wasserhaushalt
Autor(en) (Name, Vorname)	<p>IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur (Leitung): Bosseler, Bert; Brüggemann, Thomas; Dyrbusch, Amely; Beck, Daniela.</p> <p>Pirker + Pfeiffer Ingenieure GmbH & Co. KG: Kohler, Thomas; Kramp, Thomas; Klippstein, Christian.</p> <p>Ruhr-Universität Bochum: Stolpe, Harro; Borgmann, Andreas.</p> <p>Universität der Bundeswehr München: Disse, Markus; Günthert, Frank Wolfgang; Keilholz, Patrick; Rödel, Sascha.</p>
Durchführende Institution (Name, Anschrift)	IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur Exterbruch 1 D-45886 Gelsenkirchen
Fördernde Institution	Umweltbundesamt Postfach 14 06 D-06813 Dessau-Roßlau
Abschlussjahr	2014
Forschungskennzahl (FKZ)	37 11 26 326
Seitenzahl des Berichts	251
Zusätzliche Angaben	
Schlagwörter	Kanalisation, Abwasserkanäle, Abwasserleitungen, Kanalabdichtung, Kanalsanierung, Kanalleckagen, Fremdwasser, Kläranlage, Entlastungsbauwerke, Regenbecken, Ökoeffi- zienz, Ökoeffizienzbewertung, Nachhaltigkeit, Wasserhaushalt, Grundwasser

Report Cover Sheet

Report No.	UBA-FB 00
Report Title	Sealing of sewer pipes – Effects on the purification performance of wastewater treatment plants and their impact on the local water balance
Author(s) (Family Name, First Name)	<p>IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur (Leitung): Bosseler, Bert; Brüggemann, Thomas; Dyrbusch, Amely; Beck, Daniela.</p> <p>Pirker + Pfeiffer Ingenieure GmbH & Co. KG: Kohler, Thomas; Kramp, Thomas; Klippstein, Christian.</p> <p>Ruhr-Universität Bochum: Stolpe, Harro; Borgmann, Andreas.</p> <p>Universität der Bundeswehr München: Disse, Markus; Günthert, Frank Wolfgang; Keilholz, Patrick; Rödel, Sascha.</p>
Performing Organisation (Name, Address)	<p>Umweltbundesamt Postfach 14 06 D-06813 Dessau-Roßlau</p>
Funding Agency	<p>IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur (Institute for Underground Infrastructure) Exterbruch 1 D-45886 Gelsenkirchen</p>
Report Date (Year)	2014
Project No. (FKZ)	37 11 26 326
No. of Pages	252
Supplementary Notes	
Keywords	<p>sewage system, sewer, sewage pipes, sealing of sewer pipes, sewer rehabilitation, sewage leaks, extraneous water, infiltration water, sewage treatment plant, spillway construction, stormwater tank, stormwater basin, eco-efficiency, eco-efficiency assessment, sustainability, water balance, groundwater</p>

Kurzbeschreibung

Undichte Kanäle im Bereich der öffentlichen Abwasserentsorgung und der Grundstücksentwässerung können je nach örtlichen Gegebenheiten zu Problemen durch Infiltration von Grund-, Schichten- oder Sickerwasser führen. Im Mischsystem kann es zu vermehrten Mischwasserabschlägen und damit zur zusätzlichen Belastung der Gewässer kommen. Ein erhöhter Fremdwasseranteil wirkt sich zudem negativ auf die Kläranlagenleistung aus.

Sanierungsmaßnahmen am Kanalnetz sind erforderlich, um öffentliche und private Abwasserleitungen und -kanäle abzudichten und das Fremdwasseraufkommen deutlich zu reduzieren. Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung sind diesbezüglich nicht nur die positiven Auswirkungen reduzierter Fremdwasserzuflüsse zur Kläranlage und zu den Entlastungsbauwerken von Interesse, sondern auch die Ökoeffizienz der eigentlichen Fremdwassersanierungsmaßnahmen am Kanalnetz und die Folgen für den örtlichen Grundwasserhaushalt. Risiken für die Umwelt können sich beispielsweise beim Einsatz energieintensiver Techniken oder ökologisch bedenklicher Baumaterialien im Zuge der Kanalsanierung ergeben. Zudem besteht bei flächenhaften Kanalabdichtungen im Grundwasser das Risiko, dass es zu einem Anstieg des Grundwassers auf ein kritisches Niveau kommt, so dass Gebäude und Vegetation beeinträchtigt werden können. Dies wird bewirkt durch den Wegfall der Dränagewirkung undichter Kanäle.

Im Forschungsvorhaben wurden Nutzen, Aufwand und Risiken flächenhafter Kanalabdichtung an undichten Abwasserleitungen und -kanälen anhand von Praxisbeispielen untersucht, umfassend dargestellt und Anforderungen für die Kanalsanierung erarbeitet.

Abstract

Leaking sewers in public wastewater disposal networks and land drainage systems can cause varying degrees of problems, depending on local conditions, resulting from the infiltration of groundwater, stratum water or percolating water. In combined sewer systems, this can result in an increase in combined sewage discharges, leading to an increase in the level of pollution entering water bodies. An increase in the proportion of infiltration water also has a negative effect on the performance of sewage treatment plants.

Rehabilitation of the sewer network is necessary to seal public and private sewage pipes and tunnels and thus effect a significant reduction in the volume of infiltrating water. To take a holistic view, it is not merely the positive effects of reducing the level of extraneous water entering treatment plants and relief structures that are of interest, but also the eco-efficiency of the infiltration water rehabilitation measures themselves that are performed on the sewer network and the consequences of these on the local groundwater balance. The use of energy-intensive techniques or ecologically questionable construction materials in the course of sewer rehabilitation, for example, can also involve environmental risks. Moreover, performing sewer sealing on a large scale creates the danger of groundwater rising to a critical level and putting buildings and vegetation at risk, due to the absence of the drainage effect attributable to leaking sewers.

The aim of the research project is to investigate the benefits, costs and risks associated with the large-scale sealing of leaking sewage pipes and tunnels on the basis of practical examples, to present the findings, and to draw up a list of requirements for sewer rehabilitation.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	12
Abkürzungen	14
1 Zusammenfassung.....	19
1.1 Hintergrund und Zielstellung des Forschungsvorhabens.....	19
1.2 Undichte Kanäle und deren Auswirkungen auf das Fremdwasseraufkommen	19
1.3 Rechtliche und technische Regelungen zum Umgang mit undichten Kanälen	21
1.4 Auswirkungen auf Kläranlagen.....	24
1.5 Auswirkungen auf Entlastungsbauwerke.....	25
1.6 Kanalsanierung: Ökoeffizienz und Nachhaltigkeit.....	27
1.7 Auswirkungen auf den örtlichen Wasserhaushalt	31
1.8 Schlussfolgerungen	33
2 Summary	40
2.1 Background and objective of the research project.....	40
2.2 Leaking sewers and their effect on the volume of infiltration water.....	40
2.3 Legal and technical regulations relating to the handling of leaking sewers.....	42
2.4 Effects on treatment plants	45
2.5 Effects on stormwater overflows.....	46
2.6 Sewer rehabilitation: eco-efficiency and sustainability.....	48
2.7 Effects on the local water balance.....	52
2.8 Conclusions	54
3 Einleitung	60
3.1 Hintergrund	60
3.2 Zielstellung.....	60
3.3 Vorgehensweise.....	61
4 Situation der Kanalisation und Fremdwasseraufkommen in Deutschland.....	63
4.1 Allgemeine Situation	63
4.1.1 Länge und Entwässerungsart.....	64
4.1.2 Altersverteilung.....	66
4.1.3 Rohrmaterialien.....	67
4.1.4 Schäden, Schadensverteilung und Zustandsklassifizierung	67

4.1.5	Fremdwasseraufkommen und dessen Herkunft	69
4.1.6	Einfluss von Fremdwasser auf Entlastungsbauwerke.....	71
4.2	Situation in den Modellgebieten	72
4.2.1	Stadt Billerbeck	73
4.2.2	Gemeinde Schwanau.....	73
4.2.3	Abwasserverband Starnberger See.....	74
4.2.4	Zuordnung zu den Arbeitspaketen.....	75
4.3	Zusammenfassung	77
5	Rechtliche und technische Regelungen.....	79
5.1	Gesetzliche Regelungen und Vorschriften.....	79
5.1.1	Europäische Richtlinien.....	80
5.1.2	Rechtliche Vorgaben auf Bundesebene	81
5.1.3	Rechtliche Vorgaben auf Länderebene.....	84
5.2	Technische Regelwerke.....	94
5.2.1	DIN-Normen.....	94
5.2.2	DWA-Regelwerk.....	99
5.3	Zusammenfassung	103
6	Auswirkungen auf Kläranlagen	106
6.1	Fallbeispiel „Kläranlage Starnberger See“.....	106
6.1.1	Situation und Datenlage.....	106
6.1.2	Auswirkungen auf die Reinigungsleistung	109
6.1.3	Auswirkungen auf die energierelevanten Betriebskosten	113
6.1.4	Indirekte Auswirkungen.....	119
6.1.5	Fazit Kläranlage Starnberger See	125
6.2	Fallbeispiel „Kläranlage Billerbeck“	125
6.2.1	Situation und Datenlage.....	125
6.2.2	Fremdwasser auf der Kläranlage.....	128
6.2.3	Zusammenhang zwischen Fremdwasser und Summenparameter	131
6.2.4	Energiebilanzen	133
6.2.5	Fazit Kläranlage Billerbeck.....	134
6.3	Abgleich der Fallbeispiele mit in der Literatur beschriebenen Praxisbeispielen	134
6.4	Übertragbarkeit fremdwasserbezogener Zusammenhänge und Energieverbrauch fremdwasserbeeinflusster Anlagenkomponenten	146

6.5	Zusammenfassung	150
7	Auswirkungen auf Entlastungsbauwerke	152
7.1	Grundlagen und theoretische Voruntersuchungen	152
7.2	Fallbeispiel „Gemeinde Schwanau“ (Simulation)	156
7.2.1	Situation und Datenlage.....	156
7.2.2	Grundannahmen und Vorgehensweise	156
7.2.3	Ergebnisse der Simulation.....	157
7.3	Fallbeispiel „Stadt Billerbeck“ (Datenanalyse)	164
7.3.1	Situation und Datenlage.....	165
7.3.2	Auswertung von Messdaten.....	166
7.4	Zusammenfassung	173
8	Nachhaltigkeit von Kanalsanierungstechniken.....	175
8.1	Grundlagen	175
8.1.1	Nachhaltigkeit und Ökoeffizienz.....	175
8.1.2	Kanalsanierungstechniken.....	176
8.2	Fallbeispiele	178
8.3	Vorgehensweise zur Ökoeffizienzbewertung von Kanalsanierungstechniken	184
8.3.1	Bestandteile der Ökoeffizienz	184
8.4	Umweltverträglichkeit von Kanalsanierungsmitteln	212
8.5	Zusammenfassung	216
9	Auswirkungen auf den örtlichen Wasserhaushalt.....	219
9.1	Allgemeine Situation und Schadensfälle.....	220
9.2	Fallstudien und theoretische Betrachtungen	221
9.2.1	Fallstudie 1: „Gebiet mit parallelen Straßenzügen im urbanen Raum“	222
9.2.2	Fallstudie 2: „Siedlungsgebiet in Hanglage“	228
9.2.3	Fallstudie 3: „Allgemeine Setzungsbetrachtungen“	230
9.3	Zusammenfassung	232
10	Schlussfolgerungen	234
11	Ausblick.....	241
12	Quellenverzeichnis	243

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Art der Kanalisation in Deutschland in 2010	64
Abbildung 2:	Entwicklung der Altersverteilung der Kanalisation in Deutschland von 1987 bis 2009	66
Abbildung 3:	Für die Kanalisation verwendete Rohrmaterialien im Verlauf von 1987 bis 2009, in [%] der Gesamtlänge	67
Abbildung 4:	Festgestellte Schäden an Abwasserkanälen und -leitungen in 2009	68
Abbildung 5:	Prozentuale Verteilung der Zustandsklassen von Abwasserkanälen und -leitungen in 2009.....	69
Abbildung 6:	Fremdwasseraufkommen und Abwassermenge in Deutschland.....	71
Abbildung 7:	Anzahl der Regenentlastungsanlagen der Kanalisation und der Abwasserbehandlungsanlagen in Deutschland.....	72
Abbildung 8:	Anlagenübersicht Kläranlage Starnberger See.....	107
Abbildung 9:	Verfahrensfließschema der Kläranlage Starnberger See	107
Abbildung 10:	Fremdwasseranfall und Niederschlag auf der Kläranlage Starnberg	109
Abbildung 11:	N_{ges} Zu- und Ablaufkonzentrationen bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen.....	110
Abbildung 12:	P_{ges} Zu- und Ablaufkonzentrationen bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen.....	111
Abbildung 13:	CSB Zu- und Ablaufkonzentrationen bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen.....	111
Abbildung 14:	Mittlere Abwasser-Temperatur bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen.....	112
Abbildung 15:	N_{ges} Zu- und Ablauffrachten bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen.....	113
Abbildung 16:	Verschiedene Abbauleistungen (in % der Fracht) bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen.....	113
Abbildung 17:	Aufteilung der Betriebskosten der Kläranlage Starnberg für 2007	114
Abbildung 18:	Anteile der einzelnen Verfahrensstufen am Energiebedarf der Kläranlage Starnberg für 2007.....	115
Abbildung 19:	Stromverbrauch mechanische Reinigung in Abhängigkeit vom Fremdwasseranteil	115
Abbildung 20:	Stromverbrauch Biofilter in Abhängigkeit vom Fremdwasseranteil	116
Abbildung 21:	Stromverbrauch Hygienisierung in Abhängigkeit vom Fremdwasseranteil	116
Abbildung 22:	Stromverbrauch der Rücklaufschlamm-pumpen in Abhängigkeit vom Fremdwasseranteil	117
Abbildung 23:	Stromverbrauch der Belebungsstufe in Abhängigkeit vom Fremdwasseranteil	118
Abbildung 24:	Gesamtstromverbrauch und Gesamtstromkosten in Abhängigkeit vom Fremdwasseranteil	119

Abbildung 25:	Aufwand für fremdwasserbedingte Wartung- und Instandhaltung der Kläranlage Starnberg 2007.....	120
Abbildung 26:	Fremdwasserbedingte Abwasserabgabe in Abhängigkeit vom Fremdwasseranteil	124
Abbildung 27:	Einfluss des Fremdwasseranteils auf die Höhe der Abwasserabgabe	125
Abbildung 28:	Fließschema der Kläranlage Billerbeck.....	127
Abbildung 29:	Jährlicher Fremdwasseranteil auf der Kläranlage Billerbeck.....	129
Abbildung 30:	Jährlicher Fremdwasserabfluss auf der Kläranlage Billerbeck.....	129
Abbildung 31:	Verteilung des Fremdwasseranteils in Billerbeck und gemessene Niederschlagshöhen 2009 (Station Coesfeld).....	130
Abbildung 32:	Verteilung des Fremdwasseranteils in Billerbeck und gemessene Niederschlagshöhen 2010 (Station Coesfeld).....	130
Abbildung 33:	Verteilung des Fremdwasseranteils in Billerbeck und gemessene Niederschlagshöhen 2011 (Station Coesfeld).....	130
Abbildung 34:	Fremdwasseraufkommen und Niederschlag Kläranlage Billerbeck 2008 - 2011	131
Abbildung 35:	Fremdwasseranteil und CSB-Konzentration KA Billerbeck, 2011	132
Abbildung 36:	Fremdwasseranteil und N_{ges} -Konzentration KA Billerbeck, 2010.....	132
Abbildung 37:	Fremdwasseranteil und P_{ges} -Konzentration KA Billerbeck, 2011.....	132
Abbildung 38:	Energieverbrauch und angeschlossene Einwohnerwerte der Kläranlage Billerbeck.....	133
Abbildung 39:	Energieverbrauch und Fremdwasseraufkommen Kläranlage Billerbeck	134
Abbildung 40:	CSB-Ablaufmengen und -konzentrationen bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen	138
Abbildung 41:	Wirkungsgrad der CSB-Elimination bei verschiedenen Fremdwasseranteilen	138
Abbildung 42:	Wirkungsgrad der Stickstoffelimination bei verschiedenen Fremdwasseranteilen	139
Abbildung 43:	Wirkungsgrade der Frachtelimination	139
Abbildung 44:	Erforderliche Volumina für Vorklärbecken, Belebungsbecken und Nachklärbecken sowie Wirkungsgrad der Stickstoffelimination bei Fremdwasseranteilen zwischen 0 und 70 %	140
Abbildung 45:	Fremdwasserbedingte Kapitalkosten einer Beispielkläranlage mit 40.000 EW bei verschiedenen Fremdwasseranteilen	140
Abbildung 46:	Jährliche fremdwasserbedingte Betriebskosten bei verschiedenen Fremdwasseranteilen für eine Beispielanlage mit 40.000 EW	142
Abbildung 47:	Fremdwasserbedingte Jahreskosten für eine Beispielanlage mit 40.000 EW bei verschiedenen Fremdwasseranteilen	142
Abbildung 48:	Fremdwasserbedingte Betriebskosten auf den Kläranlagen des Wupperverbandes.....	146

Abbildung 49:	Anlagenspezifische Berechnungsansätze für Verbraucher einer Kläranlage nach DWA.....	148
Abbildung 50:	Stromverbräuche bei verschiedenen Fremdwasseranteilen.....	150
Abbildung 51:	Prozentuale Änderung der zulässigen Entlastungsrate e_0 in Abhängigkeit vom Fremdwasserzuschlag.....	158
Abbildung 52:	Prozentuale Änderung des vorhandenen Mischverhältnisses $m_{1,vorh}$ in Abhängigkeit vom Fremdwasserzuschlag.....	159
Abbildung 53:	Prozentuale Änderung des erforderlichen Gesamtspeichervolumens V in Abhängigkeit vom Fremdwasserzuschlag.....	159
Abbildung 54:	Prozentuale Änderung der Einstaudauer T_{ein} in Abhängigkeit vom Fremdwasserzuschlag.....	160
Abbildung 55:	Prozentuale Änderung des Überlaufvolumens VQ_{ue} in Abhängigkeit vom Fremdwasserzuschlag.....	161
Abbildung 56:	Prozentuale Änderung der Überlaufdauer T_{ue} in Abhängigkeit vom Fremdwasserzuschlag.....	161
Abbildung 57:	Prozentuale Änderung der CSB - Überlauffracht SF_{ue} in Abhängigkeit vom Fremdwasserzuschlag.....	162
Abbildung 58:	Prozentuale Änderung der rechnerischen Entleerungsdauer t_e in Abhängigkeit vom Fremdwasserzuschlag (SKU Rheinstraße).....	163
Abbildung 59:	Prozentuale Änderung des Mischwasserzuflusses zur Kläranlage VQ_{zu} in Abhängigkeit vom Fremdwasserzuschlag.....	163
Abbildung 60:	Fremdwasserzuschläge im Zulauf zur Kläranlage Billerbeck.....	165
Abbildung 61:	Gesamtentlastungsvolumen in Abhängigkeit von Fremdwasserzuschlag und Niederschlagsklassen (mm/Monat).....	168
Abbildung 62:	Verfahren zur baulichen Sanierung von Entwässerungssystemen.....	177
Abbildung 63:	Vergebene Gütezeichen in der Gruppe der Reparaturverfahren.....	178
Abbildung 64:	Vergebene Gütezeichen in der Gruppe der Renovierungsverfahren.....	178
Abbildung 65:	Schadens- und Sanierungsszenarien.....	180
Abbildung 66:	„Grabenlose“ Reparatur mit vor Ort härtendem Kurzliner – Umwickeln des Versetzpackers mit dem Kurzliner (links), schematische Darstellung zum Einbau (rechts).....	182
Abbildung 67:	„Grabenlose“ Reparatur mittels Injektion – Packer für Anschlussbereiche mit Injektionsöffnung (links), schematische Darstellung zum Einbau (rechts).....	182
Abbildung 68:	„Offene“ Reparatur mittels Kleinbaugrube – Außenmanschette zur Abdichtung von Rohrverbindungen (links), Anschlussstutzen (rechts).....	183
Abbildung 69:	„Grabenlose“ Renovierung mittels Schlauchlining-Verfahren – schematische Darstellung zum Einbau (links), eingebauter Schlauchliner (rechts).....	184
Abbildung 70:	Bestandteile der entwickelten Vorgehensweise zu Bewertung der Ökoeffizienz von Kanalsanierungstechniken.....	185
Abbildung 71:	Vergleich der Wirkbilanzen grabenlose und offene Reparaturverfahren für die in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele.....	202

Abbildung 72:	Vergleich der Wirkbilanzen grabenlose Renovierung und offene Erneuerung für die in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele.....	202
Abbildung 73:	Vergleich des Produktsystemnutzens für grabenlose und offene Reparaturverfahren für die in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele.....	209
Abbildung 74:	Vergleich des Produktsystemnutzens für grabenlose Renovierung und offene Erneuerung für die in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele	210
Abbildung 75:	Ursache – Wirkung – Folgen – Kette.....	220
Abbildung 76:	Untersuchungsgebiet für Fallstudie 1 mit undichtem Kanalnetz	222
Abbildung 77:	Systemskizze des vertikalen Grundwassermodells (5-fach überhöht)	224
Abbildung 78:	Modellaufbau in FEFLOW mit den Randbedingungen, Durchlässigkeit der Bodenschichten und einem Detail des triangulierten Berechnungsnetzes an der Rohrleitung A.....	225
Abbildung 79:	Modellierte Grundwasserstände für das Szenario 13 und der Extremszenarien 1 und 16.....	227
Abbildung 80:	Gemessene Grundwasserflurabstände und Niederschläge.....	229
Abbildung 81:	Bodenkörper mit unterschiedlichen Bodenarten.....	230
Abbildung 82:	Setzungen in Folge veränderter Grundwasserstände in verschiedenen Bodenkörpern	231
Abbildung 83:	Kanalabdichtungen – Aufwendungen und Auswirkungen bei undichten Abwasserkanälen und -leitungen im Grundwasser oder Grundwasserschwankungsbereich.....	234

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Überblick zu den Projektinhalten, angewandter Methodik und beteiligten Institutionen	61
Tabelle 2:	Veröffentlichungen zum Zustand der Abwasserkanäle u. -leitungen in Deutschland (Beispiele).....	63
Tabelle 3:	Fremdwasserkomponenten in Entwässerungssystemen [vgl. DWA- M 182].....	70
Tabelle 4:	Randbedingungen zur Fremdwassersituation in den Modellgebieten	76
Tabelle 5:	Europa-, Bundes- und Landesrecht mit Blick auf Betrieb und Unterhaltung von Entwässerungsanlagen (Richtlinien, Gesetze, Verordnungen)	79
Tabelle 6:	Landeswassergesetze und Verordnungen der Bundesländer (Beispiele).....	84
Tabelle 7:	DIN-Normen zu Bau, Betrieb und Instandhaltung von Abwasserkanälen und -leitungen (Beispiele)	95
Tabelle 8:	DWA-Regelwerk zu Bau, Betrieb und Instandhaltung von Abwasserkanälen und -leitungen (Beispiele)	100
Tabelle 9:	Gemessene Fremdwasseranteile in Starnberg für 2007 (Daten bearbeitet nach Günthert, 2008)	109
Tabelle 10:	Vergleich spezifischer Stromverbräuche	114
Tabelle 11:	Fremdwasserbedingte Energiekosten der Kläranlage Starnberg im Jahr 2007	119
Tabelle 12:	Aufwand für fremdwasserbedingte Tätigkeiten auf der Kläranlage Starnberg und Ringkanalisation 2007	121
Tabelle 13:	Aufwand für fremdwasserbedingten Betriebsmittelbedarf 2007 (Auflistung nach Betriebsabrechnungsbogen).....	122
Tabelle 14:	Aufwand für die fremdwasserbedingte Reststoffentsorgung 2007.....	123
Tabelle 15:	Mindestanforderungen und erklärte Überwachungswerte.....	123
Tabelle 16:	Vergleich der Kläranlagen Starnberg und Billerbeck	135
Tabelle 17:	Energieeinsparungen durch Fremdwasserreduzierung.....	143
Tabelle 18:	Zusammenfassung der Auswirkungen von Fremdwasser auf einer Kläranlage	144
Tabelle 19:	Einfluss des Fremdwassers auf die Investitions- und Betriebskosten einer Abwasserreinigungsanlage nach Michalska et al. (2004).....	144
Tabelle 20:	Veröffentlichungen zum Thema Auswirkungen von Fremdwasser auf Kläranlagen	145
Tabelle 21:	Wassermengen für Mischwasserabfluss bei 100.000 E	149
Tabelle 22:	Berechnete Verbrauchswerte nach DWA-A 216 bei verschiedenen Fremdwassermengen.....	149
Tabelle 23:	Änderung des Mischwasserzuflussvolumens zur Kläranlage $V_{Q_{zu}}$ anteilig nach Schmutz-, Fremd- und Regenwasser	164

Tabelle 24:	Korrelationskoeffizienten für das Gesamtentlastungsvolumen	167
Tabelle 25:	Korrelation von Einstau- und Entlastungskenngrößen mit den monatlichen Niederschlagssummen vor und nach Fremdwassersanierung.....	168
Tabelle 26:	Korrelation von Einstau- und Entlastungskenngrößen mit Fremdwasserzuschlag vor und nach Fremdwassersanierung	169
Tabelle 27:	Regressionsanalyse für die abhängige Variable Gesamtentlastungsvolumen vor und nach Fremdwassersanierung	170
Tabelle 28:	Korrelation von Einstau- und Entlastungskenngrößen mit dem Fremdwasserzuschlag nach Klassen auf der Grundlage der monatlichen Niederschlagssummen.....	171
Tabelle 29:	Grundscenario „Bestand“	179
Tabelle 30:	Randbedingungen/Merkmale Beispiele „Trennsystem“ und „Mischsystem“	179
Tabelle 31:	Sachbilanz Energie bezogen auf 1 m Baulänge und 1 Jahr Nutzungsdauer für die in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele.....	189
Tabelle 32:	Sachbilanz Wasser bezogen auf 1 m Baulänge und 1 Jahr Nutzungsdauer für die in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele.....	192
Tabelle 33:	Sachbilanz Abfall bezogen auf 1 m Baulänge und 1 Jahr Nutzungsdauer für die in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele.....	195
Tabelle 34:	Wirkbilanz bezogen auf 1 m Baulänge und 1 Jahr Nutzungsdauer für die in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele	198
Tabelle 35:	Schutzgüter und Umweltauswirkungen im Nahbereich einer Kanalsanierungsmaßnahme und Bewertung der in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele	203
Tabelle 36:	Angenommene Bewertung des Nutzens der Anspruchsgruppen von Kanalsanierungen für die in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele	205
Tabelle 37:	Direkte Kosten von Kanalsanierungen bezogen auf 1 m Baulänge und 1 Jahr Nutzungsdauer für die in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele.....	207
Tabelle 38:	Bewertung des Produktsystemnutzens für die in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele	209
Tabelle 39:	Steckbrief Ökoeffizienzbewertung für die in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele.....	210
Tabelle 40:	Schadstoffe in Baumaterialien der Kanalsanierung (Beispiele)	214
Tabelle 41:	Parametrisierung des Grundwassermodells.....	224
Tabelle 42:	Fremdwasseranfall in den Kanalhaltungen A-D für die Berechnungsszenarien.....	226

Abkürzungen

a.a.R.d.T	Allgemein anerkannte Regeln der Technik
AbwAG	Abwasserabgabengesetz
AbwAGBln	Berliner Abwasserabgabengesetz
AbwR	Abwasserrichtlinie (Richtlinie 91/271/EWG)
AbwV	Abwasserverordnung
ADP	abiotischer Ressourcenverbrauch (Abiotic Depletion Potential)
A _E	kanalisierte Fläche
A _U	undurchlässige Fläche / Abflusswirksame Fläche
AEUV	Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union
AOX	Adsorbierbare Organisch gebundene Halogene
AP	Versauerungspotenzial (Acidification Potential)
ATV-DVWK	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
BauO Bln	Bauordnung für Berlin
BauO NRW	Landesbauordnung von Nordrhein-Westfalen
BauPVO	Bauproduktenverordnung
BayAbwAG	Bayerisches Abwasserabgabengesetz
BayWG	Bayerisches Wassergesetz
BbgKAbwV	Brandenburgische Kommunalabwasserverordnung
BbgWg	Brandenburgisches Wassergesetz
BDI	Bundesverband der Deutschen Industrie e.V.
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BremWG	Bremisches Wassergesetz
BSB ₅	Biochemischer Sauerstoffbedarf nach 5 Tagen
BTXE	Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol
BVerGE	Bundesverfassungsgericht
BWG	Berliner Wassergesetz
C	Kohlenstoff
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DBN	Durchlaufbecken im Nebenanschluss
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DN	Nennweite (Diameter Nominal)
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.

DWD	Deutscher Wetterdienst
e_0 [%]	zulässige Entlastungsrate
EDL-RL	EG-Richtlinie über Endenergie und Energiedienstleistungen
EDPM	Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk
EG	Emschergenossenschaft
EigÜVO	Eigenüberwachungsverordnung Sachsen-Anhalt
EKVO	Eigenkontrollverordnung Baden-Württemberg oder hessische Abwasser- Abwassereigenkontrollverordnung
EKVO Sachs	Eigenkontrollverordnung Sachsen
EKVO SL	Eigenkontrollverordnung Saarland
EOG	Entwässerungsortsgesetz der Stadt Bremen
EP	Eutrophierungspotenzial (Eutrophication Potential)
E_s	Steifemodul
ERNE	Erneuerungsverfahren
EU	Europäische Union
EWFD	EU Water Framework Directive (Directive 2000/60/EC)
EÜV	Eigenüberwachungsverordnung Bayern
EÜVOA	Landesverordnung über die Eigenüberwachung von Abwasseranlagen (Rheinland-Pfalz)
EW	Einwohnerwerte
EWOG Brhvn	Entwässerungsortsgesetz der Stadt Bremerhaven
FEFLOW	Finite Element Subsurface FLOW & Transport Simulation System
FW	Fremdwasser
FWA	Fremdwasseranteil
FWZ	Fremdwasserzuschlag
GEA	Grundstücksentwässerungsanlage
GEB	Göttinger Entsorgungsbetriebe
GfK	Glasfaserkunststoff
GG	Grundgesetz
GOK	Geländeoberkante
GrwV	Grundwasserverordnung
GSTT	German Society for Trenchless Technology e.V.
GW	Grundwasser
GWP	Treibhauspotenzial (Greenhouse Warming Potential)
GWRL	Grundwasserrichtlinie (Richtlinie 2006/118/EG)
GZ	Gütezeichen
HBauO	Hamburgische Bauordnung

HBO	Hessische Bauordnung
HmbAwG	Hamburgisches Abwassergesetz
HSS	Hauptsammelstraße
HWaG	Hamburgisches Wassergesetz
HWG	Hessisches Wassergesetz
IKT	IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur
JSM	Jahresschmutzwassermenge
KA	Kläranlage
KAG BW	Kommunalabgabengesetz des Landes Baden-Württemberg
k_f	Durchlässigkeitsbeiwert
KomAbwV Brem	Kommunalabwasserverordnung Bremen
KomAbwRL	Kommunalabwasserrichtlinie (Richtlinie 91/271/EWG)
KomAbwVO RP	Kommunale Abwasserverordnung Rheinland-Pfalz
KomAbwVO	Kommunale Abwasserverordnung Berlin
KomNetGEW	Kommunales Netzwerk Grundstücksentwässerung
KOSIM	Kontinuierliches Langzeit-Simulationsmodell
kWh/E*a	Kilowattstunde pro Einwohner und Jahr
LBauO M-V	Landesbauordnung Mecklenburg-Vorpommern
LBauO RP	Landesbauordnung Rheinland-Pfalz
LBO BW	Landesbauordnung für Baden-Württemberg
LBO SL	Landesbauordnung Saarland
LUBW	Landesamt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
LWaG M-V	Wassergesetz des Landes Mecklenburg-Vorpommern
LWG NRW	Wassergesetz für das Land Nordrhein-Westfalen
LWG RP	Wassergesetz für das Land Rheinland-Pfalz
MEwS Bay	Musterentwässerungssatzung Bayern
MJ	Megajoule
MUFV	Ministeriums für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz in Rheinland-Pfalz
m_{vorh} [-]	vorhandenes Mischverhältnis
MW	Mischwasser
N	Stickstoff
NBauO	Niedersächsische Bauordnung
N_{anorg}	Stickstoff (anorganisch)
N_{ges}	Stickstoff (gesamt)
N_{org}	Stickstoff (organisch)
NRW	Nordrhein-Westfalen

NWG	Niedersächsisches Wassergesetz
O ₂	Sauerstoff
O ₂ /l	Sauerstoff pro Liter
ODP	Ozonabbaupotenzial (Ozone Depletion Potential)
P	Phosphor
P+P	Pirker + Pfeiffer Ingenieure GmbH & Co. KG
PE	Polyethylen
P _{ges}	Phosphor (gesamt)
POCP	Photooxidantienpotenzial (Photochemical Ozone Creation Potential)
Q	Zufluss / Abfluss
Q _D [l/s]	Drosselabfluss
Q _{F,aM} [m ³ /d]	Fremdwasserabfluss im Jahresmittel
Q _{F,pM}	Fremdwasserabfluss
q _f [l/(E*d)]	Fremdwasseranfall
Q _M [m/a]	Jahresmenge Mischwasser
Q _{M,aM} [m ³ /d]	Mischwasserabfluss im Jahresmittel
q _r [l/(E*d)]	Niederschlagswasser
Q _{RS}	Rücklaufschlammstrom
Q _{R,aM} [m ³ /d]	Regenwasserzufluss im Jahresmittel
Q _s [m ³ /a]	Schmutzwassermenge
q _s [l/(E*d)]	Schmutzwasseranfall
Q _{s,aM} [m ³ /d]	Schmutzwasserabfluss im Jahresmittel
Q _{s,pM}	Schmutzwasserabfluss
Q _{s24} [l/s]	mittlerer Schmutzwasserabfluss
Q _{t24} [l/s]	mittlerer Trockenwetterabfluss
RAL	Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung
RASt	Richtlinie für die Anlage von Straßen
REPA	Reparaturverfahren
RENO	Renovierungsverfahren
RÜB	Regenüberlaufbecken
RÜ	Regenüberlauf
r _{krit} [l/s]	Kritische Regenspende
RKB	Regenklärbecken
RRB	Regenrückhaltebecken
r _s	Korrelationskoeffizient
R _v	Rücklaufverhältnis
RW	Regenwasser

SächsWG	Sächsisches Wassergesetz
SF _{ue} [kg/a]	CSB-Überlauffracht
SK	Stauraumkanal
SKU	Stauraumkanal mit unten liegender Entlastung
SLW	Schwerlastwagen
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
StGB	Strafgesetzbuch
SÜVO M-V	Selbstüberwachungsverordnung Mecklenburg-Vorpommern
SüwVO Abw	Selbstüberwachungsverordnung Abwasser Nordrhein-Westfalen
SüwV Kan	Selbstüberwachungsverordnung Kanal Nordrhein-Westfalen
SW	Schmutzwasser
SWA	Professur für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität der Bundeswehr München
SWG	Saarländisches Wassergesetz
TDI	Toluoldiisocyanat
t _e [h]	rechnerische Entleerungsdauer
T _{ein} [h/a]	Einstaudauer
ThürAbwEKVO	Thüringer Abwassereigenkontrollverordnung
ThürWG	Thüringer Wassergesetz
TOC	gesamter organischer Kohlenstoff (total organic carbon)
T _{ue} [h/a]	Überlaufdauer
U+Ö	Professur für Umwelttechnik und Ökologie im Bauwesen der Ruhr-Universität Bochum
UBA	Umweltbundesamt
UV	Ultraviolett-Strahlung
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
V	Volumen
VQ _{ue} [m ³ /a]	Überlaufvolumen
VQ _{zu} [m ³ /a]	Mischwasserzufluss zur Kläranlage
V _s	Spezifisches Beckenvolumen
WG	Wassergesetz für Baden-Württemberg
WG LSA	Wassergesetz für das Land Sachsen-Anhalt
WG SH	Wassergesetz des Landes Schleswig-Holstein
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRRL	Europäische Wasserrahmenrichtlinie (Richtlinie 2000/60/EG)
WWR	Professur für Wasserwesen und Ressourcenschutz der Universität der Bundeswehr München
ZK	Zustandsklasse

1 Zusammenfassung

1.1 Hintergrund und Zielstellung des Forschungsvorhabens

Undichte Kanäle im Bereich der öffentlichen Abwasserentsorgung und der Grundstücksentwässerung können je nach örtlichen Gegebenheiten einen hohen Fremdwasseranteil durch Infiltration von Grund-, Schichten- oder Sickerwasser mit sich führen. Im Mischsystem kann es zu vermehrten Mischwasserabschlägen und damit zur zusätzlichen Belastung der Gewässer kommen. Ein erhöhter Fremdwasseranteil in Misch- und Schmutzwasserkanälen wirkt sich zudem negativ auf die Kläranlagenleistung aus. Zum einen bewirkt eine Verdünnung und Abkühlung des Abwassers durch Fremdwasser eine Beeinträchtigung der Reinigungsleistung der Kläranlage hinsichtlich der Eliminierung der Schadstofffrachten. Zum anderen erhöht sich der Energiebedarf der Pumpwerke und der Kläranlagen.

In der Regel sind umfangreiche Sanierungsmaßnahmen am Kanalnetz erforderlich, um öffentliche und private Abwasserleitungen und -kanäle abzudichten und das Fremdwasseraufkommen deutlich zu reduzieren. Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung sind diesbezüglich aber nicht nur die Auswirkungen reduzierter Fremdwasserzuflüsse zur Kläranlage und zu den Entlastungsbauwerken von Interesse, sondern auch die Ökoeffizienz der eigentlichen Fremdwassersanierungsmaßnahmen am Kanalnetz und die Folgen für den örtlichen Grundwasserhaushalt. Dem eigentlichen Nutzen einer flächenhaften Abdichtung undichter Abwasserleitungen und -kanäle (z.B. Reduzierung des Fremdwasseranteils, Gewässer- und Bodenschutz) stehen Aufwand und Risiken gegenüber. Bei Sanierungsmaßnahmen können sich diese beispielsweise durch den Einsatz energieintensiver Techniken oder ökologisch bedenklicher Baumaterialien ergeben. Zudem besteht bei flächenhaften Kanalabdichtungen im Grundwasser das Risiko, dass es – aufgrund der fehlenden Dränagewirkung undichter Abwasserkanäle und -leitungen – zu einem Anstieg des Grundwassers auf ein kritisches Niveau kommt, so dass Gebäude und Vegetation beeinträchtigt werden können.

Ziel des Forschungsprojektes war es, Vorschläge für Sanierungsanforderungen zu erarbeiten, die als Grundlagen in die Entscheidungsgremien für die Neukonzeption der Abwasserverordnung eingebracht werden sollen. Dazu wurde der Einfluss hoher Fremdwasseranteile auf die Leistung der Abwasserbehandlung, auf die Energiebilanz von Kläranlagen sowie auf die Gewässerbelastung durch Mischwasserabschläge dargestellt. Der Auswirkung des Fremdwassers wurde die Aufwendung für die Sanierung von Kanälen und Grundstücksentwässerungsleitungen gegenübergestellt. Anhand konkreter Fallbeispiele wurden verfügbare Informationen über Ökoeffizienz und Nachhaltigkeit der Sanierungsmaterialien und -techniken zusammengestellt und – soweit möglich – bewertet. Darüber hinaus wurden aber auch mögliche Probleme an Gebäuden und Vegetation durch Fortfall der Dränagewirkung nach Sanierung der undichten Kanäle näher untersucht.

In Kapitel 3 werden Hintergrund und Zielstellung des Vorhabens detailliert beschrieben. Darüber hinaus wird in Kapitel 3 auch ein umfassender Überblick gegeben zu den Projektinhalten, den angewandten Methodiken und den am Vorhaben beteiligten Institutionen.

1.2 Undichte Kanäle und deren Auswirkungen auf das Fremdwasseraufkommen

Die Ursachen von Fremdwasseranfall an Abwasserleitungen und -kanälen können unterschiedlich sein. Neben Zuflüssen aus Bach- und Quellwasser sowie niederschlagsbedingtem Fremdwasser führt das über undichte Abwasserleitungen und -kanäle eindringende Grundwasser zu einem erhöhten Fremdwasseraufkommen.

Daher ist die Sanierung schadhafter Abwasserleitungen und -kanäle mit Blick auf eine Reduzierung des Fremdwasseraufkommens von großer Bedeutung. Zur Verdeutlichung, welche Aspekte hier eine Rolle spielen und um welche Größenordnungen es sich handelt, wurden statisti-

sche Daten und Berichte zur Situation der Kanäle und Grundstücksentwässerungsleitungen in Deutschland zusammengestellt und ausgewertet (vgl. Kapitel 4). Von Interesse sind insbesondere Aussagen über die Gesamtlänge der öffentlichen und privaten Kanäle und über deren Zustand. In diesem Zusammenhang wurde auch vorliegendes Datenmaterial zur Altersverteilung und zu Rohrmaterialien ausgewertet, mit dem Ziel, die Häufigkeit der „fremdwasserrelevanten“ Schäden und damit die Relevanz für den Fremdwasseranfall einschätzen zu können.

Zusammenfassend lässt sich das Ergebnis der Auswertung wie folgt darstellen:

- Mischwasser- und Schmutzwasserkanäle in Deutschland machen zusammen etwa 80 % (440.644 km) des Abwassernetzes aus, d.h. bei schadhafte Leitungen kann die Infiltration von Grundwasser erhebliche Auswirkungen auf das Fremdwasseraufkommen haben. Wenn sanierungsbedürftige Schmutzwasser- oder Mischwasserleitungen, die im Grundwasser oder im Grundwasser-Schwankungsbereich liegen, saniert werden, kann der Fremdwasserabfluss reduziert werden.
- Die Länge der öffentlichen Regenwasserkanäle in Deutschland beträgt 120.937 km (Statistisches Bundesamt 2013, Seite 42). Auch in undichte Regenwasserkanäle im Grundwasser oder Grundwasser-Schwankungsbereich kann Grundwasser infiltrieren, wodurch die Gewässer hydraulisch und stofflich belastet werden können (vgl. Kapitel 4.1.1).
- Bei der Planung von Sanierungsmaßnahmen am öffentlichen Kanal müssen Grundstücksentwässerungsanlagen (GEA) insbesondere bei hohem Grundwasserstand einbezogen werden. Nur durch die ganzheitliche Betrachtung wird gewährleistet, dass das Grundwasser nicht nach abgeschlossener Sanierung des öffentlichen Kanals über defekte GEA als Fremdwasser in den Kanal eingeleitet wird. In diesem Zusammenhang ist interessant, dass die Länge der GEA in Deutschland das 2- bis 3-fache der öffentlichen Entwässerung beträgt.
- Die Statistiken zur Altersverteilung (vgl. Kapitel 4.1.2) machen deutlich, dass der weitaus größte Teil der Kanäle nicht älter ist als 50 Jahre (68%). Im Bezug auf die Dichtheit von Kanälen ist das Jahr 1965 mit der Einführung von Elastomerdichtungen von Bedeutung (Purde, 2006, Seite 40). Ca. 30 % der Kanäle wurden bis Ende der 50er Jahre errichtet. Bis dahin wurden die Abdichtungen der Rohrverbindungen auf der Baustelle handwerklich hergestellt (z.B. Teerstrick mit Bitumenverguss). Diese sind im Zuge des Alterungsprozesses inzwischen i.d.R. verrottet. Somit ist davon auszugehen, dass Leitungen mit einem Baujahr vor 1965 nicht mehr dicht sind.
- Die vorherrschenden Rohrmaterialien im öffentlichen Kanalbau sind in 2009 wie auch vor 2009 Beton und Steinzeug (vgl. Kapitel 4.1.3).
- Aussagen über die Art und Häufigkeit von Schäden und somit zum Fremdwassereintritt anhand der verwendeten Rohrmaterialien gibt es nicht.
- Schäden, die – bei entsprechender Lage im Grundwasser – zu erhöhtem Fremdwasseranfall und zur Beeinflussung des örtlichen Wasserhaushaltes führen können, sind Undichtheiten (5%), Rissbildung (20%), Rohrbruch/Einsturz (3%), Verbindung verschoben/einragend (20%) und schadhafte Verbindungen (13%) (vgl. Kapitel 4.1.4).
- Fremdwasser im Kanal kann unterschiedlicher Herkunft sein. Neben Grundwasserzuflüssen über undichte Kanäle und Dränagen können z. B. Bach- und Quellwasserzuflüsse sowie Niederschläge Fremdwasserkomponenten sein. Statistische Auswertungen zum Anteil verschiedener Fremdwasserkomponenten an der gesamten Fremdwassermenge liegen nicht vor. Die hohe Anzahl „fremdwasserrelevanter“ Schäden (60% aller festgestellten Schäden, vgl. Kapitel 4.1.4) bei gleichzeitig hohem Fremdwasseraufkommen (23% der Gesamtabwassermenge, vgl. Kapitel 4.1.5) legen jedoch den Rückschluss nahe, dass ein Großteil des Fremdwassers auf Grundwasserinfiltration über undichte Kanäle zurückzuführen ist. Dabei ist davon auszugehen, dass ein nicht unerheblicher Anteil der

schmutzwasserführenden Abwasserleitungen und -kanäle in Deutschland im Grundwasser oder Grundwasser-Schwankungsbereich liegt. Statistische Untersuchungen für Bayern zeigen (Puhl, 2008, Seite 30/31), dass ca. 20% der öffentlichen Mischwasser- und Schmutzwasserkanäle im Grundwasser bzw. Grundwasser-Schwankungsbereich liegen.

- Private Leitungsnetze haben ein noch höheres Infiltrationspotenzial als die öffentlichen Kanäle. Dies liegt zum einen daran, dass deren Länge gegenüber dem öffentlichen Kanalnetz das Zwei- bis Dreifache beträgt (vgl. Kapitel 4.1.1). Außerdem ist in Fachkreisen unbestritten, dass der Zustand der privaten Entwässerungsanlagen in Deutschland schlechter als der Zustand öffentlicher Kanäle ist, auch wenn es keine statistisch abgesicherten Untersuchungen gibt (Berger/Falk 2009, Seite 13). Die GEA müssen in Fremdwassersanierungskonzepten zwingend berücksichtigt werden, da nach Wegfall der Dränagewirkung undichter öffentlicher Kanäle nach der Sanierung der Grundwasserstand ansteigen kann und über die undichten privaten Leitungen das Fremdwasser weiterhin in die Kanalisation gelangt.
- Es gibt in Deutschland über 68.000 Entlastungsbauwerke und der Fremdwasseranfall beträgt 23% an der Gesamtmenge des Abwasseraufkommens (vgl. Kapitel 4.1.5). Die fachgerechte Sanierung undichter Kanäle und damit Reduzierung von Fremdwasser würde dazu beitragen, die Häufigkeit von Entlastungen an Regenentlastungsanlagen zu verringern.

Im Rahmen des Projektes wurde die Fremdwassersituation anhand konkreter Beispiele – Abwasserbetrieb der Stadt Billerbeck, Abwasserverband Starnberger See, Gemeinde Schwanau – analysiert und beschrieben (vgl. Kapitel 4.2). Hierbei wurde deutlich, dass sich die Kläranlagen der Stadt Billerbeck und des Abwasserverbandes Starnberger See für die weitergehenden Untersuchungen hinsichtlich der Auswirkungen des Fremdwasseraufkommens (vgl. Kapitel 6) anbieten, da in diesen Fällen umfangreiche Informationen über den Betrieb der Kläranlagen und Daten aus Fremdwassermessungen vorliegen. Für die Untersuchungen zu den Auswirkungen auf Entlastungsbauwerke (vgl. Kapitel 7) wurde der Ortsteil Ottenheim der Gemeinde Schwanau gewählt, da hier umfangreiches Datenmaterial vorliegt.

1.3 Rechtliche und technische Regelungen zum Umgang mit undichten Kanälen

Im Zusammenhang mit undichten Abwasserleitungen und -kanälen bzw. deren Sanierung sind wasserrechtliche Belange von Bedeutung, die sich mit Bau, Betrieb und Instandhaltung befassen, sowie Regelungen zum Schutz und zur Bewirtschaftung von Grundwasser.

Vor diesem Hintergrund wurde eine Recherche nach entsprechenden Regelungen in der Gesetzgebung auf europäischer Ebene, auf Bundes- und auf Länderebene durchgeführt (vgl. Kapitel 5.1). Darüber hinaus wurde recherchiert, inwieweit in Normen und Technischen Regelwerken für den Bereich Bau, Betrieb und Instandhaltung von Abwasserkanälen und -leitungen, Aussagen zu den Themen „Dichtheit“ und „Wechselwirkungen zwischen dem Grundwasserstand und der Dränagewirkung undichter Kanäle bzw. den Auswirkungen von Sanierungsmaßnahmen auf den örtlichen Grundwasserstand“ zu finden sind (vgl. Kapitel 5.2).

Die Hauptzielsetzungen der einzelnen Rechtsvorschriften sind unterschiedlich: Schutz von Oberflächengewässern, Schutz von Menge und Qualität des Grundwassers oder schadlose Abwasserentsorgung.

Die EU Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) hat zum Ziel, in allen Mitgliedsstaaten einen guten Zustand der Gewässer herbeizuführen. Die dazu vorgesehenen Maßnahmenprogramme für die einzelnen Flussgebiete werden in Deutschland auf Länderebene aufgestellt.

Wenngleich sich die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) nicht direkt zum Thema Abwasserentsorgung äußert, so sind deren Vorgaben dennoch für die Abwasserbeseitigung relevant. Das Gleichgewicht zwischen Grundwasserentnahme und -neubildung ist ein wesentliches Ziel der

WRRL. In dieses Gleichgewicht wird bei Infiltration von Grundwasser in undichte Kanäle eingegriffen. In der bundesdeutschen Broschüre zur Umsetzung des WRRL-Maßnahmenplanes (vgl. BMU/UBA 2010, Seite 61) heißt es daher, „...Ziel dabei ist es vor allem, die Menge an Fremdwasser zu verringern, das über undichte Stellen ins Kanalnetz sickert.“ Das wird insbesondere in den Gegenden besondere Bedeutung erlangen, die sich infolge des Klimawandels auf zunehmende saisonale Trockenheit einstellen müssen. Auch die EG Richtlinie über die Behandlung von kommunalem Abwasser (Richtlinie 91/271/EWG) enthält in Anhang I die Forderung zur Vermeidung von Leckagen.

Auf Bundesebene sind sowohl wasserrechtliche (Wasserhaushaltsgesetz, WHG) als auch strafrechtliche Regelungen (Strafgesetzbuch § 324 StGB) im Zusammenhang mit der Infiltration von Grundwasser und der Sanierung von undichten Kanälen zu beachten. Die Dichtheit von Kanälen wird im WHG nicht direkt gefordert, sondern die Einhaltung der a.a.R.d.T.¹ (vgl. Czychowski/Reinhardt 2010, § 60 Rn. mit Verweis auf BVerfGE 49, 135), womit ein Interpretationsspielraum bleibt. Der Begriff „Fremdwasser“ ist im WHG nicht aufgeführt.

Gesetzlich ist der Begriff „Fremdwasser“ bisher nicht geregelt (vgl. LUBW 2007). Einzig über das Verdünnungsverbot von Abwasser zur Einhaltung zulässiger Schadstoffkonzentrationen sowie über die Forderung nach einer Einhaltung der a.a.R.d.T. beim Bau und Betrieb von Abwasseranlagen, kann auf die Fremdwasserproblematik Bezug genommen (vgl. LUBW 2007).

Ob Fremdwasser zu Abwasser im Sinne des WHG gezählt werden kann, ist umstritten. Hierzu gibt es widersprüchliche Rechtsauslegungen (z.B. Wellmann/Queitsch/Fröhlich 2010, WHG-Kommentar, § 55 WHG Rz.11 oder Fischer 2011, Seite 1828). Nach Nisipeanu/Maus (2007, Seite 91) ist Fremdwasser als „Schmutzwasser im Rechtssinne“ definitorischer Teil des Abwassers. Grundwasser, das beispielweise durch undichte Teile der Kanalisation dringt (Infiltration), wird erst zum Abwasser, wenn es mit Schmutzwasser bei Trockenwetter zusammen abfließt. Laut Nisipeanu/Maus (2007, Seite 324) ist Grund-, Quell-, Drainage- oder Oberflächenwasser bevor es sich mit dem bei Trockenwetter abfließenden Schmutzwasser vermischt kein Schmutzwasser und damit rechtlich auch kein Abwasser. Damit greift dann auch nicht die Abwasserbeseitigungspflicht der Kommune. Es ist der Schluss möglich, dass die Kommune als Kanalnetzbetreiber nicht verpflichtet ist, nach einer Kanalsanierung Maßnahmen gegen steigendes Grundwasser (z.B. durch Bau von Drainagewasserleitungen) zu ergreifen.

Ein wirtschaftlicher Anreiz für Betreiber von Abwasseranlagen so wenig Fremdwasser wie möglich zu behandeln, kann sich durch das Abwasserabgabengesetz (AbwAG) ergeben, da sich die Reinigungsleistung einer Kläranlage bei geringeren Schadstoffkonzentrationen verringert.

Mit dem in der Abwasserverordnung festgelegten Verdünnungsverbot (§ 3 Abs. 3 AbwV) kann über wasserrechtliche Genehmigungen auf den Fremdwasserzulauf Einfluss genommen werden.

Die Grundwasserverordnung greift u. a. die Vorgabe der WRRL auf, den guten mengenmäßigen Zustand des Grundwassers zu gewährleisten. Hierzu sind jedoch Ausnahmeregelungen möglich, die Spielräume eröffnen, ob, wie, in welchem Umfang und in welchem Zeitrahmen eine Kanalsanierung durchzuführen ist.

§ 324 StGB stellt die Verunreinigung von Gewässern unter Strafe. Falls eine Kommune Kenntnis von undichten Kanälen hat, durch die das Grundwasser verunreinigt wird, so ist auch zu prü-

¹ Allgemein anerkannte Regeln der Technik sind nach Czychowski/Reinhardt 2010 die Prinzipien und Lösungen, die in der Praxis erprobt und bewährt sind und sich bei der Mehrheit der auf dem betreffenden technischen Gebiet tätigen Fachleute durchgesetzt haben.

fen, ob die für sie Tätigen bei Untätigkeit diesen Straftatbestand erfüllen. Allerdings dürften Kausalitäten und ein Verschulden i. d. R. schwer nachweisbar sein.

Die Länderregelungen sind unterschiedlich in Bezug auf die Detailtiefe. Fast alle fordern, dass Abwasseranlagen funktionsfähig und betriebssicher sind und nach den a.a.R.d.T. bzw. unter Zugrundelegung der optimalen technischen Kenntnisse gebaut und betrieben werden, wobei das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt werden darf. Vereinzelt greifen die Länder die Regelungen aus der EG-Kommunalabwasserrichtlinie auf, dass Leckagen zu vermeiden sind.

Normen und Technische Regelwerke sind als Empfehlungen und technische Vorschläge zu verstehen. Die meisten normativen Regeln für den Bereich Bau, Betrieb und Instandhaltung von Abwasserkanälen und -leitungen finden sich in den Veröffentlichungen des Deutschen Institutes für Normung e.V. (DIN) und der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA). An vielen Stellen wird hier die Dichtheit erdverlegter Leitungen gefordert.

Anforderungen an den Umgang mit ‚Fremdwasser‘ werden in den Veröffentlichungen des DIN und der DWA nur am Rande thematisiert.

Anders als in den rechtlichen Regelungen werden in den technischen Regelwerken auch die Wechselwirkungen zwischen dem Grundwasser und der Dränagewirkung undichter Kanäle bzw. den Auswirkungen von Sanierungsmaßnahmen auf den örtlichen Grundwasserstand betrachtet. Im DWA Merkblatt DWA-M 182 „Fremdwasser in Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden“ werden mögliche Nutzungskonflikte angesprochen und auf eine ganzheitliche Betrachtung hingewiesen: *„Im Vorfeld einer flächendeckenden Kanalnetzsanierung sollten deshalb die Auswirkungen einer Kanalnetzabdichtung auf den Grundwasserkörper abgeschätzt werden. In der Sanierungsplanung muss die Dränagewirkung eines stark durch Fremdwasser beeinflussten Kanalnetzes berücksichtigt werden, um evtl. schädliche Auswirkungen einer Sanierung zu vermeiden.“*

Für den Begriff „Fremdwasser“ gibt es in Deutschland keine einheitliche Definition. In Abstimmung mit dem Umweltbundesamt wurde für diesen Bericht eine Definition zugrunde gelegt, die im Rahmen des Forschungsvorhabens „Umgang mit Dränagewasser von privaten Grundstücken“ (Bosseler/Dyrbusch 2012, Seite 54) erarbeitet wurde und sich im Wesentlichen an der Definition des Merkblattes DWA-M 182 (vgl. DWA-M 182, Seite 9) orientiert:

„Fremdwasser ist das in Abwasseranlagen abfließende Wasser, welches weder durch häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch in seinen Eigenschaften verändert ist, noch bei Niederschlägen von bebauten oder befestigten Flächen gesammelt und bestimmungsgemäß eingeleitet wurde. Fremdwasser erfordert auf Grund seiner Qualität keine Abwasserbehandlung, erschwert diese bzw. belastet aufgrund seiner Quantität Abwasseranlagen unnötig und ist unter dem Aspekt des Gewässerschutzes unerwünscht. Fremdwasser ist z.B. Grundwasser, welches über undichte Leitungen und Schächte in den Kanal gelangt oder Dränagewasser, das unerlaubt in den Schmutzwasserkanal eingeleitet wird.“

Zusammenfassend wird festgestellt, dass nach derzeitiger Rechtslage für viele Verantwortliche der Druck besteht, Fremdwasser zu minimieren. Dabei geben die rechtlichen und die technischen Regelungen teilweise Interpretationsspielraum. Die Gesetzgebung gibt aber den Kommunen kaum Rückhalt und Orientierung im Umgang mit ansteigendem Grundwasser nach Sanierungsmaßnahmen. Dies betrifft insbesondere die Frage der Zuständigkeit für das Grundwassermanagement und die rechtliche Situation bei der Ableitung infiltrierenden Grundwassers, um negative Folgen der Kanalabdichtungen (z.B. Gebäudevernässung infolge Grundwasseranstieg) zu vermeiden. In wasserwirtschaftlichen Problemgebieten könnte es sinnvoll sein, Dränagewasser unter definierten Randbedingungen in die Abwasserbeseitigungspflicht aufzunehmen.

Die Grundwasserregulierung in Siedlungsgebieten zur Vermeidung von Schäden an Gebäuden und Vegetation wurde in Deutschland bisher nur in Sonderfällen gesetzlich geregelt. Ein Bei-

spiel ist die Emscherregion. Über das Emschergenossenschaftsgesetz (EmscherGG) wird der Emschergenossenschaft diese Aufgabe für die Auswirkungen des Steinkohlebergbaus zugewiesen (§2 des EmscherGG). Der Bergbau hat in großen Gebieten durch Senkungen die Grundwasserflurabstände verringert. Durch die Maßnahmen der Emschergenossenschaft und die nicht sanierten öffentlichen und privaten Abwasserkanäle werden die Grundwasserstände auf einem unschädlichen Niveau gehalten. Zusätzlich kommt es nun zu Grundwasseranstiegen durch die Abdichtung der bisher dränierend wirkenden Abwasserkanäle.

1.4 Auswirkungen auf Kläranlagen

Die Auswirkungen des Fremdwassers auf die Reinigungsleistung sowie die Kosten- und Energieeffizienz von Kläranlagen konnten im Rahmen des Projektes anhand zweier konkreter Fallbeispiele (Kläranlage Starnberger See, Kläranlage Billerbeck) aufgezeigt, bewertet und mit Angaben aus der einschlägigen Fachliteratur abgeglichen werden (vgl. Kapitel 6).

Die Untersuchungen am Fallbeispiel der Kläranlage Starnberger See zeigen, dass der Fremdwasseranteil im Abwasser Auswirkungen auf den Betrieb der Abwasserableitung und -reinigung hat und in der Konsequenz auf die Wirtschaftlichkeit des Abwasserverbandes Starnberger See, dem Kläranlagenbetreiber. Der durchschnittliche Fremdwasseranteil auf der Kläranlage Starnberg lag für das Jahr 2007 bei ca. 42 %. Das Fremdwasser, das als unverschmutztes Wasser mit abgeleitet und mit behandelt wird, verursacht vor allem zusätzlichen energetischen Aufwand, der sich außer in den direkt zu ermittelnden Energiekosten auch in allen anderen Betriebskostenpositionen bemerkbar macht. Hauptenergieverbraucher, die direkt vom Fremdwasseranteil beeinflusst werden, sind die Pump- und Hebeanlagen. Darüber hinaus wirkt sich der Fremdwasseranteil im Abwasser auf die Reinigungsleistung der Kläranlage Starnberg aus. Je höher der Fremdwasseranteil desto geringer die Abbauleistung. Neben einer Erhöhung der direkten Kosten wirkt sich der Fremdwasseranteil auch auf die indirekten Kosten, wie Abschreibungen, Instandhaltungskosten, Personalkosten, Reststoffentsorgung und Abwasserabgabe aus. Erst die Berücksichtigung aller Betriebskostenkomponenten bei der Ermittlung der fremdwasserbedingten direkten und indirekten Energie- und Betriebskosten kann zu einer realistischen Gesamtbetrachtung führen, sodass tatsächlich mögliche Einsparpotenziale ermittelt werden können. Eine Reduzierung des Fremdwasseranteils im Abwasser kann für das Beispiel Starnberg zu größeren Einsparungen bei den Energiekosten führen.

Für die Kläranlage Billerbeck wurden Daten zum Fremdwasseranfall im Kanalnetz vor und nach der Sanierung eines Teileinzugsgebietes ausgewertet. Es ist der Trend erkennbar, dass Fremdwasser nach erfolgter Sanierung für ein Teileinzugsgebiet reduziert wird. Des Weiteren wurden die ausgewerteten Niederschlagsdaten für die Region Billerbeck mit dem Fremdwasseraufkommen auf der Kläranlage verglichen, um den Zusammenhang zwischen auftretenden Niederschlagsereignissen und erhöhten Fremdwasseranfall abbilden zu können. Für einen längeren Betrachtungszeitraum (2007 bis 2012) kann tendenziell ein Zusammenhang festgestellt werden. Der Fremdwasseranfall der Kläranlage Billerbeck liegt für die Jahre 2007 bis 2011 im Schnitt bei 65 %.

Im Vergleich zu Starnberg sind der jährliche Gesamtstromverbrauch und der spezifische Energieverbrauch der Kläranlage Billerbeck wesentlich geringer. Dies ist auf die unterschiedliche Struktur, Verfahrenstechnik und Betriebsweise der beiden Kläranlagen zurückzuführen. Die Analyse der Messdaten zeigt, dass bei höherem Fremdwasseranteil der Wirkungsgrad der CSB- und Stickstoffelimination aufgrund des Verdünnungseffektes sinkt. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass Fremdwasser Einfluss auf die Reinigungsleistung und den Energieverbrauch der Kläranlage Billerbeck hat.

Das Energieeinsparpotenzial bei einer Fremdwasserreduzierung ist im Wesentlichen abhängig von der anteiligen Fremdwassermenge und der energetischen Situation sowie Größenordnung der Kläranlage. Generell gilt, dass der spezifische Stromverbrauch deutlich abnimmt, je größer

die Kläranlage ist. Bei kleinen bis mittleren spezifischen Abwassermengen ist der Einfluss auf den Stromverbrauch gering (DWA, 2012, Seite 3). Steigt der spezifische Abwasseranfall aber auf mehr als $120 \text{ m}^3 / (\text{EW} \cdot \text{a})$, so ist ein deutlicher Einfluss auf den Stromverbrauch erkennbar. Hohe spezifische Abwassermengen resultieren aus einem größeren Fremdwasseranfall und dem beim Mischsystem auf den Kläranlagen mit behandelten Regenwasserabfluss (DWA, 2012, Seite 3 - 4). Es wird deutlich, dass die vorliegenden örtlichen Randbedingungen auf den Kläranlagen einen wesentlichen Einfluss auf den Stromverbrauch haben. Nach DWA (2012), Seite 3 - 4 hat auch die mittlere Belastung der Kläranlagen im Verhältnis zur Ausbaugröße Auswirkungen auf den Stromverbrauch. Bei niedriger Belastung der Anlagen wird deutlich mehr Strom verbraucht als bei höheren Belastungen. Für eine detaillierte Betrachtung und Beurteilung der Einsparpotenziale auf einer Kläranlage ist eine Energieanalyse (vgl. DWA-A 216 "Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen" (Entwurf, April 2013)) auf der Kläranlage zielführend.

Über die Höhe der Energieeinsparungen bestimmter Kläranlagenkomponenten können keine repräsentativen Aussagen gemacht werden, da aufgrund unterschiedlicher Randbedingungen, die Art und Weise des Einflusses von Fremdwasser auf die Wirtschaftlichkeit von Kläranlagen verschieden sein kann. Demnach ist für die Darstellung fremdwasser- und energiebezogener Zusammenhänge immer eine Einzelfallbetrachtung durchzuführen.

Die Zusammenhänge zwischen Fremdwassermenge und Energieverbrauch lassen sich aber auch ganz explizit anhand theoretischer Beispielrechnungen belegen. Im Projekt wurde dazu eine Berechnung zum Energieverbrauch anhand anlagenspezifischer Berechnungsansätze nach DWA-A 216 durchgeführt. Mit der Bestimmung von anlagenspezifischen Idealwerten werden wesentliche Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch/-erzeugung quantitativ beschrieben und transparent gemacht. Die Ergebnisse der Beispielrechnung für eine Modellkläranlage (>100.000 EW, einstufiges Belebungsverfahren mit vorgeschalteter Denitrifikation) machen deutlich, dass sich bei den drei ausgewählten Komponenten (Hebwerk, Rezirkulation, Rücklaufschlamm-pumpe) der Stromverbrauch erhöht, wenn sich der Fremdwasseranteil erhöht. Bei einer Verzehnfachung des Fremdwasseranfalls verdoppelt sich der Stromverbrauch des Hebwerkes. Steigt der Fremdwasseranteil von 14,3 % auf 50 %, so erhöht sich der Stromverbrauch für die Rezirkulationspumpe um mehr als das Anderthalbfache. Auch für die Rücklaufschlamm-pumpe ist mit einem höheren Energieverbrauch zu rechnen. Bei ungefährender Verdoppelung des Fremdwasseranteils von 33 % auf ungefähr das Doppelte (62,5 %) steigt der Stromverbrauch um ca. 35 %.

1.5 Auswirkungen auf Entlastungsbauwerke

Im Forschungsvorhaben wurden Untersuchungen zu den Auswirkungen verschiedener Fremdwassersituationen auf die Entlastungsbauwerke in der Mischwasserkanalisation durchgeführt (vgl. Kapitel 7).

Zunächst wurden die rechnerischen Grundlagen des ATV-Arbeitsblattes (A 128 „Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Gegenwasseranlagen in Mischwasserkanälen“) dargestellt (vgl. Kapitel 7.1). Diese zeigen, dass ein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Fremdwasserzuschlag und den Anforderungen an das Beckenvolumen, das zur Regenwasserbehandlung im Einzugsgebiet einer Kläranlage zur Verfügung stehen muss. Mit zunehmendem Fremdwasserzuschlag erhöht sich das rechnerisch erforderliche Beckenvolumen im Einzugsgebiet.

Liegt der tatsächliche Fremdwasserzufluss zum Becken im Betrieb über dem bei der Bemessung angesetzten Wert, so kann dies zu höheren Entlastungsdauern (Überlaufdauer T_{ue}) und -volumina (Überlaufvolumen VQ_{ue}) führen. Als Folge kommt es durch die Zunahme der Entlastungsfracht (CSB-Überlauffracht SF_{ue}) zu einer erhöhten Gewässerbelastung an den Einleitungsstellen. Dies kann zeitweise zu einer höheren Gewässerbelastung führen als durch den Ablauf der Kläranlage.

Die Simulation des Einstau- und Entlastungsverhaltens eines Regenüberlaufbeckens wurde mit dem Schmutzwasserfrachtberechnungsmodell KOSIM (KONTinuierliches Langzeit- SIMulationsmodell²) für ein real existierendes Einzugsgebiet am Beispiel eines Ortsteiles der Gemeinde Schwanau durchgeführt (vgl. Kapitel 7.2). Bei der Beurteilung der Auswirkungen eines erhöhten Fremdwasseraufkommens wurde unterschieden zwischen den Auswirkungen auf die Bemessung der Entlastungsbauwerke und den Auswirkungen auf das Einstau- und Entlastungsverhalten des realisierten Entlastungsbauwerkes.

Für ein Einzugsgebiet der Gemeinde Schwanau wurde das erforderliche Beckenvolumen für verschiedene Fremdwasserzuschläge bestimmt und auf die hydraulische Leistungsfähigkeit der bestehenden Kläranlage abgestimmt. Unter Verwendung einer 30-jährigen Regenreihe wurde das Systemverhalten von Einzugsgebiet und Regenüberlaufbecken für verschiedene Fremdwasserzuschläge untersucht und ausgewertet.

Der Zusammenhang zwischen zunehmendem Fremdwasserzuschlag und der Zunahme des erforderlichen Beckenvolumens sowie zunehmender Einstau- und Entlastungsdauer und Entlastungsvolumina bei vergleichbaren Niederschlagsverhältnissen konnte dadurch beispielhaft belegt werden.

Es ist anzumerken, dass bei diesen Betrachtungen nur der Parameter Fremdwasserzuschlag variiert wurde, nicht aber andere maßgebende Einflussgrößen wie Niederschlag und Schmutzwasserzufluss.

In der Realität treten dagegen ständig wechselnde Belastungssituationen mit zufälligen Kombinationen aus Schmutz-, Fremd- und Regenwasserzufluss auf. Daher wurden im zweiten Fallbeispiel für die Stadt Billerbeck die Ergebnisse und Zusammenhänge aus der Langzeitsimulation für den Ortsteil der Gemeinde Schwanau Ottenheim anhand von Messdaten für ein bestehendes Becken verifiziert. Es wurde der Zusammenhang zwischen Fremdwasserzuschlag und Einstau- bzw. Entlastungsverhalten erfasst, indem verfügbare Betriebsdaten eines Regenüberlaufbeckens (RÜB) der Stadt Billerbeck ausgewertet wurden (vgl. Kapitel 7.3).

Die Stadt Billerbeck hat im Einzugsgebiet eines Regenüberlaufbeckens (RÜB) Fremdwassersanierungen in der Zeit von Februar bis Oktober 2008 durchgeführt und durch ein Messprogramm begleitet. Dadurch konnte für den Zeitraum von 2006 bis 2011 auf Datenmaterial für den Fremdwasserabfluss zur Kläranlage sowie über das Einstau- und Entlastungsverhalten des RÜB zugegriffen werden. Messdaten zu Überlaufrachten und -konzentrationen standen nicht zur Verfügung.

Die vorhandenen Messdaten wurden statistisch ausgewertet. Um den Zusammenhang zwischen Fremdwasserzuschlag und Einstau- und Entlastungskenngrößen zu erfassen und zu bewerten, wurden eine Korrelationsanalyse sowie eine lineare Regressionsanalyse durchgeführt.

Die Auswertung hat gezeigt, dass der Zusammenhang zwischen Fremdwasserzuschlag und Entlastungsverhalten am RÜB in Billerbeck vorhanden ist.

Die Niederschlagsmengen wirken sich insbesondere bei starken Regenereignissen so stark auf die Regenentlastungsmengen aus, dass der Einfluss des Fremdwasserzuschlags überlagert wird. Um dem entgegen zu wirken wurden 6 Niederschlagsklassen von < 25 mm/Monat bis >150 mm/Monat eingeführt.

² Das Kontinuierliche Langzeit-SIMulationsprogramm ist ein Software-Produkt des Institutes für technische Hydrologie GmbH (itwh) für den Nachweis von Bauwerken der Regenwasserbehandlung, Regenwasserbewirtschaftung und Regenwasserrückhaltung.

Durch diese notwendige Klasseneinteilung konnte zwar die Überlagerung des Fremdwassereinflusses durch das Niederschlagsgeschehen vermindert werden, dadurch reduzierte sich aber gleichzeitig die Anzahl der verfügbaren Werte innerhalb der einzelnen Klassen. Deshalb konnte nicht für alle möglichen Wirkungsgrößen der Einfluss und die daraus resultierenden Wechselwirkungen ausreichend erfasst werden. Auch konnte der zweifelsohne vorhandene Zusammenhang zwischen zunehmendem Fremdwasserzuschlag und zunehmender Entlastungstätigkeit am Entlastungsbauwerk RÜB nicht durchgehend über alle Niederschlagsklassen aufgezeigt werden. Für einzelne Untersuchungsgrößen konnte aber in einzelnen Niederschlagsklassen ein Zusammenhang mit der Zunahme des Fremdwasserzuschlags dargestellt werden, beispielsweise für die Zunahme der Anzahl der Einstauereignisse, für die Zunahme des Entlastungsvolumens des Klärüberlaufs oder des Gesamtentlastungsvolumens.

Aus den Untersuchungen zu den Auswirkungen von Fremdwasser auf das Entlastungsverhalten von Entlastungsbauwerken lassen sich folgende wesentliche Erkenntnisse ableiten:

- Bei der Dimensionierung von Regenüberlaufbecken erhöht sich das erforderliche Beckenvolumen mit zunehmendem Fremdwasserzuschlag. Das rechnerisch erforderliche Beckenvolumen nach den a.a.R.d.T. steigt mit dem Fremdwasserzuschlag stark an. Eine sachgerechte Auslegung der Regenentlastungsanlagen kann nur auf der Grundlage einer realistischen Erfassung des tatsächlichen Fremdwasseranfalls und der Fremdwasser-Verteilung im Netz erfolgen.
- Durch einen erhöhten Fremdwasserzufluss über den Bemessungswert hinaus, kommt es an den Regenüberlaufbecken im Mischsystem zu einer erhöhten Gewässerbelastung.
- Zur Verminderung der Gewässerbelastung an Regenüberlaufbecken besteht die Möglichkeit den Fremdwasseranfall im Netz zu reduzieren, den Drosselabfluss zur Kläranlage zu erhöhen oder das Beckenvolumen zu vergrößern. Die Festlegung von Sanierungsmaßnahmen an Abwasserkanälen und -leitungen kann sinnvollerweise nur unter Abwägung aller technischen und wirtschaftlichen Aspekte und unter Einbeziehung der Kläranlage erfolgen. Wie bei der Neuplanung ist auch die realistische Erfassung des Fremdwasseranfalls und der Verteilung im Netz eine notwendige Voraussetzung für die Fremdwassersanierung. In die Überlegungen sind auch die Auswirkungen von Kanalabdichtungen auf den örtlichen Wasserhaushalt einzubeziehen.

1.6 Kanalsanierung: Ökoeffizienz und Nachhaltigkeit

Nachfolgend wird die im Projekt entwickelte Vorgehensweise zur Ermittlung der Ökoeffizienz und Nachhaltigkeit von Kanalsanierungstechniken erläutert (vgl. Kapitel 8). Die entwickelte systematische Vorgehensweise umfasst folgende Bestandteile:

- Die Umweltauswirkung setzt sich aus der Ökobilanz der verwendeten Baumaterialien und Werkstoffe sowie aus der Ermittlung und Bewertung der Umweltauswirkungen im Nahbereich der Baustelle zusammen.
- Der Produktsystemnutzen von Kanalsanierungstechniken wird in Anlehnung an DIN EN ISO 14045 (vgl. DIN EN ISO 14045, Seite 17) anhand folgender Bestandteile ermittelt: Nutzen für Anspruchsgruppen der Kanalsanierung, direkte Kosten der Kanalsanierung bezogen auf die durchschnittliche technische Nutzungsdauer, Verwertbarkeit des sanierten Abwasserkanals.

Die Ökoeffizienzbewertung fasst die Umweltauswirkungen und den Produktsystemnutzen zusammen.

Der zusätzliche Aspekt Nachhaltigkeit wird aus den Ergebnissen der Ökoeffizienzbewertung anhand des abiotischen Ressourcenverbrauches, der direkten Kosten und des Nutzens der Anspruchsgruppen abgeleitet.

Die Bewertung der Ökoeffizienz wird exemplarisch anhand von vier Beispielen, bei denen unterschiedliche Kanalsanierungstechniken zum Einsatz kommen, für einen undichten Schmutzwasserkanal DN 300 (Trennsystem) durchgeführt. Dabei liegt der zu sanierende Altkanal im urbanen Bereich mittig in einer Straße mit Straßenbäumen und Wohngebäuden. Auch wird davon ausgegangen, dass aufgrund der vorhandenen gering durchlässigen Böden keine Grundwasserhaltung erforderlich ist.

Kanalsanierungstechniken

Im Einzelnen handelt es sich um folgende Sanierungsszenarien:

- Grabenloses Reparaturverfahren: Nach Hochdruckreinigung des Altkanals wird eine undichte Stelle im Altkanal und im Bereich eines Hausanschlusses mit Epoxidharz und Robotertechnik vorabgedichtet. Der anschließend mittels Druckluft aufgestellte Kurzliner besteht aus Silikatharz und Glasfasern.
- Grabenloses Renovierungsverfahren: Nach Hochdruckreinigung des Altkanals werden mehrere undichte Stellen im Altkanal und im Bereich eines Hausanschlusses mit Epoxidharz und Robotertechnik vorabgedichtet. Der anschließend mittels Druckluft aufgestellte Schlauchliner besteht aus ungesättigtem Polyesterharz, Glasfasern und dem Lösungsmittel Styrol.
- Offenes Reparaturverfahren: Nach Erstellung der Kleinbaugrube (Tiefe 3 m, Breite 0,9 m, Länge 1 m) werden um die undichte Stelle im Altkanal eine Außenmanschette aus Edelstahl mit elastischen Dichtringen aus EPDM (Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk) montiert. Im Bereich des Hausanschlusses wird ein Anschlussstutzen aus PE-HD (Polyethylen mit hoher Dichte) eingebaut. Nach Abschluss der Reparaturarbeiten wird die Kleinbaugrube mit Sand, Schotter, Splitt verfüllt und die Straßendecke erneuert.
- Offene Erneuerung: Nach Erstellung der Baugrube (Tiefe 3 m, Breite 0,9 m, Länge 50 m) wird der defekte Altkanal ausgebaut. Anschließend wird ein neuer Schmutzwasserkanal aus Steinzeugrohren gebaut, die mit Steckmuffen aus EPDM verbunden sind. Im Bereich der Hausanschlüsse werden Anschlussstutzen aus PP (Polypropylen) eingebaut. Nach Abschluss der Erneuerungsarbeiten wird die Baugrube mit Sand, Schotter, Splitt verfüllt und die Straßendecke erneuert.

Bezugsgrößen

Mit Blick auf die Nachhaltigkeit und die Ökoeffizienz ist insbesondere auch die technisch mögliche Nutzungsdauer bzw. die zu erwartende technische Lebensdauer sanierter Abwasserleitungen und Abwasserkanäle von wesentlicher Bedeutung.

Für die Lebensdauer der Kanalsanierungstechniken wird die durchschnittliche technische Nutzungsdauer der DWA-Umfrage 2009 angesetzt (vgl. Berger/Falk 2009, Seite 10). Diese beträgt beim grabenlosen Reparaturverfahren 17 Jahre, bei offenen Reparaturverfahren 20 Jahre, bei Renovierungsverfahren 46 Jahre und bei Erneuerungsverfahren 86 Jahre.

Um die Vergleichbarkeit der verschiedenen betrachteten Kanalsanierungstechniken zu erreichen, wird die nachfolgende Bezugsgröße verwendet, auf die sich die nachfolgenden Betrachtungen beziehen, soweit sie quantifizierbar sind:

- 1 Meter Baulänge (z. B. 1 m Schlauchlining oder 1 m Steinzeugrohr) und
- 1 Jahr Nutzung, ermittelt auf Grundlage der von Kanalsanierungstechniken abhängigen durchschnittlichen technischen Nutzungsdauer des jeweils sanierten Abwasserkanals

Die Input- und Outputdaten werden auf die Bezugsgrößen normiert. Die Baulänge wird als funktionelle Einheit definiert. Weiterhin werden die Mengen quantifiziert, die notwendig sind, um die Funktion zu erfüllen (Referenzfluss). Sie werden auf die Nutzungsdauer bezogen.

Ökobilanzielle Betrachtung

Für die ökobilanzielle Betrachtung der bei der Kanalsanierung verwendeten Baumaterialien und Werkstoffe werden der Produktlebensweg sowie die zugehörigen ökologischen Auswirkungen betrachtet. Dabei werden auftretende Stoff- und Energieumsätze anhand signifikanter Parameter erfasst und die daraus resultierenden potenziellen Umweltbelastungen bewertet.

Wegen des Umfangs möglicher Vorgänge und Parameter ist für eine ökobilanzielle Betrachtung eine Eingrenzung durch eine geeignete Ziel- und Rahmendefinition erforderlich. Ziel der hier entwickelten Vorgehensweise zur Ökoeffizienzbewertung ist ihre Verwendung zum Vergleich verschiedener Verfahren zur Kanalsanierung. Hierfür muss der gewählte Umfang der berücksichtigten Vorgänge und Parameter geeignet sein. Das bedeutet eine Festlegung der betrachteten Vorgänge und eine Einschränkung auf den hier durchzuführenden Vergleich verschiedener Kanalsanierungstechniken.

Für die ökobilanzielle Betrachtung wird im vorliegenden Zusammenhang die Ökobau.dat 2011 verwendet. Die Ökobau.dat 2011 umfasst hunderte von Datensätzen zu Umweltindikatoren für Baumaterialien und Baufahrzeuge. Sie stützt sich auf die GaBi-Datenbank, die Standarddatenbank für Umweltindikatoren u. a. im Bau- und Energiewesen. In der Ökobau.dat 2011 sind u. a. Daten zu Energie, zum Abfall, zum Wasserverbrauch und zu Wirkungskategorien enthalten, allerdings keine Daten zu Abwasser und Luftemissionen.

Die ökobilanzielle Betrachtung bezieht sich auf die Sachverhalte: Energie, Abfall und Wasser; sie werden im Sinne maßgeblicher Indikatoren verwendet. Abwasser- und Luftemissionen werden nur soweit einbezogen, wie sie mit den Sachverhalten Energie, Abfall und Wasser in der Ökobau.dat 2011 in Verbindung stehen.

Auf Grundlage von Verfahrensbeschreibungen für konkrete Fallbeispiele wurden die eingesetzten Baumaterialien und Werkstoffe in relevante Bestandteile zur Verwendung bei der ökobilanziellen Betrachtung differenziert:

- Straßenoberbau: Asphaltdeck-, -binder- und -tragschicht, Schotter, Splitt und Sand
- Schlauchliner aus Polyesterharz: Polyester, Styrol und Glasfasern
- Kurzliner aus Silikatharz: Silikatharz und Glasfasern
- Steinzeugrohr: Steinzugrohr und Steckmuffen
- Außenmanschette: Edelstahlmanschette und Dichtring aus EPDM

Wesentlicher Bestandteil einer ökobilanziellen Betrachtung ist eine geeignete Sachbilanz. Hierfür werden umweltrelevante Inputs und Outputs zusammengestellt. Für die Sachbilanz werden im vorliegenden Verfahren auf Grundlage der Ökobau.dat 2011 signifikante Inputs und Outputs bei der Herstellung und dem Transport der verwendeten Baumaterialien zur Baustelle, bei den Arbeiten auf der Baustelle, beim Abtransport und bei der Verwertung von Abfall- und Reststoffen betrachtet.

Es werden ausgewählte, signifikante Parameter betrachtet, die einen Vergleich der verwendeten Verfahren zur Kanalsanierung ermöglichen.

Für die Sachbilanz werden folgende Inputparameter betrachtet:

- Primär- und Sekundärenergieaufwand
- Wasserverbrauch bei der Herstellung der Baumaterialien und Werkstoffe

Für die Sachbilanz wird folgender Outputparameter betrachtet:

- Abfall bei der Herstellung der Baumaterialien und Werkstoffe und auf der Baustelle

Für die Wirkbilanz werden ausgehend von der Sachbilanz potenzielle Umweltauswirkungen abgeschätzt. Als Outputkategorien werden der Treibhauseffekt, der Abbau stratosphärischen Ozons, die Bildung von Photooxidantien, die Versauerung und die Eutrophierung berücksichtigt. Die Humantoxizität- und die Ökotoxizität lassen sich nicht quantifizieren und werden in der hier ermittelten Wirkbilanz nicht verwendet.

Aufgrund der Sachbilanz haben grabenlose im Vergleich mit offenen Verfahren Vorteile in der Energie-, Wasser- und Abfallbilanz. Ursächlich dafür sind die geringere Anzahl von Transporten mit LKWs und das Fehlen von Baugruben und Schächten in der Straße mit den dabei anfallenden Abfall- und Reststoffen.

Dies wird auch in der Wirkbilanz bestätigt: Transportvorgänge beeinflussen fünf der sechs Wirkungskategorien stark.

Umweltauswirkungen im Nahbereich

Für die Ermittlung und Bewertung möglicher Umweltauswirkungen im Nahbereich einer Kanalsanierung wird der Kriterienkatalog zur Auswahl der Bauweisen für die Sanierung von Entwässerungsleitungen (vgl. GSTT 2000, Seite 7 - 35) der German Society for Trenchless Technology e.V. (GSTT) verwendet und den Schutzgütern gemäß dem Gesetz zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG 1990, § 2) zugeordnet.

Die möglichen Beeinträchtigungen der Schutzgüter treten in der Sanierungsphase auf. In der Nutzungsphase ist für die angenommenen Randbedingungen mit keiner erheblichen Beeinträchtigung der Schutzgüter zu rechnen.

Allerdings können sich Nachwirkungen der Baumaßnahme hinsichtlich des Schutzgutes „Pflanzen“ (z. B. nachwirkende Veränderung des Bodenwassers und Nährstoffhaushaltes) sowie des Schutzgutes „Kultur- und sonstige Sachgüter“ (z.B. nach Abschluss der Sanierung fortlaufende Setzungen) ergeben.

Produktsystemnutzen

Der Produktsystemnutzen von Kanalsanierungstechniken wird anhand einer tabellarischen Zusammenfassung der Ergebnisse zu den nachfolgend Komponenten beschrieben: Nutzen für Anspruchsgruppen der Kanalsanierung, direkte Kosten der Kanalsanierung pro Jahr (bzw. im Vergleich Kostenersparnis), Nutzungsdauer und Verwertbarkeit des sanierten Abwasserkanals. Er wird verbal-argumentativ bewertet.

Nach DIN EN ISO 14045:2012 (vgl. DIN EN ISO 14045, Seite 14) handelt es sich bei den Anspruchsgruppen um Gruppen, die einen unmittelbaren Nutzen aus der Kanalsanierung ziehen. Mit Blick auf die Instandhaltung von Abwasserkanälen werden fünf Anspruchsgruppen und deren Hauptziele in Anlehnung an Orth (vgl. Orth/Lange 2008, Seite 52) wie folgt definiert:

- Anschlussnehmer / Gebührenzahler: Funktionierende Abwasserableitung, dauerhafte Gebührenstabilität
- Aufsichts- und Überwachungsbehörden: Einhaltung rechtlicher Vorgaben, insbesondere mit Blick auf den Gewässerschutz
- Kanalnetzbetreiber / Eigentümer des Kanalnetzes: Werterhaltung der Infrastruktur, dauerhaft wirtschaftlicher Kanalbetrieb, sicheres Arbeitsumfeld der Mitarbeiter
- Kläranlagenbetreiber: Geringe Beeinträchtigung der Abwasserreinigung durch Fremdwasser
- Kommunalpolitik: Dauerhafte Gebührenstabilität, Finanzierbarkeit

Im Einzelfall wird der Nutzen der Anspruchsgruppen beispielsweise mittels Befragungen und Abstimmungen in Versammlungen ermittelt. Dabei werden die jeweiligen Nutzenarten unter den jeweils konkreten Randbedingungen vor Ort erfasst und erläutert.

Grabenlose Verfahren bewirken in den untersuchten Fallbeispielen einen höheren Nutzen für Anspruchsgruppen als offene Verfahren.

Die Kosten von Kanalsanierungsmaßnahmen werden in direkte und indirekte Kosten gegliedert und - soweit verwendet – auf 1 m Baulänge und 1 Jahr Nutzungsdauer bezogen.

Zu den direkten Kosten zählen beispielsweise:

- unmittelbare Sanierungskosten
- Kosten für die Sicherung der Vorflut im Zuge der Sanierungsmaßnahmen
- Kosten für die Erneuerung der Straßendecke im Zuge einer Kanalsanierung in offener Bauweise

Zu den indirekte Kosten zählen beispielsweise:

- Kosten für die Beseitigung von Baumschäden infolge der Bauarbeiten
- Kosten, die den Verkehrsteilnehmern aufgrund von Umleitungen entstehen
- Kosten der Umsatzminderung des Handels

Im vorliegenden Zusammenhang werden nur die direkten Kosten angesetzt. Als Datengrundlage wird in diesem Fallbeispiel die Submissionsauswertung für Kanalsanierungen in den Arbeitshilfen Abwasser (vgl. BMVBS/BMVG 2011, Arbeitsblatt A-6.4) herangezogen. Im Einzelfall sind ggf. auch die indirekten Kosten anzusetzen.

Die Verwertbarkeit saniertes Abwasserkanäle wird auf Grundlage von Literaturlauswertungen dahingehend beurteilt, inwieweit heute bereits Recycling, energetische Verwertung und Verfüllung möglich sind.

Der Produktsystemnutzen für grabenlose Renovierung und offene Erneuerung unterscheidet sich stärker als bei den Reparaturverfahren. Die betrachteten Fallbeispiele machen deutlich, dass die grabenlose Renovierung Vorteile hat beim Nutzen der Anspruchsgruppen und den Kosten. Bei der Verwertbarkeit hat die offene Erneuerung Vorteile.

Ökoeffizienz und Nachhaltigkeit

Bei der Gesamtbewertung der Ökoeffizienz und der Nachhaltigkeit werden die Ergebnisse zur Umweltauswirkung und zum Produktsystemnutzen von Kanalsanierungstechniken tabellarisch zusammengefasst und verbal-argumentativ bewertet. Eine Kanalsanierungstechnik ist umso ökoeffizienter je mehr Vorteile sie hinsichtlich ihrer Umweltauswirkung und ihres Produktsystemnutzen gegenüber einer anderen Kanalsanierungstechnik aufweist.

Die Bewertung der Nachhaltigkeit erfolgt ebenfalls verbal-argumentativ. Es werden hierzu der abiotische Ressourcenverbrauch, der Nutzen der Anspruchsgruppen und die direkten Kosten tabellarisch zusammengefasst und bewertet. Die Ökoeffizienzbewertung wird tabellarisch in Form von Steckbriefen für die betrachteten Kanalsanierungstechniken zusammengefasst (vgl. Kapitel (vgl. Kapitel 8.3.1.4)).

1.7 Auswirkungen auf den örtlichen Wasserhaushalt

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden die Auswirkungen des in undichten Schmutz- und Mischwasserleitungen infiltrierenden Grundwassers auf den örtlichen Grundwasserhaushalt untersucht (vgl. Kapitel 9). Vom besonderen Interesse waren hierbei die Auswirkungen von Abdichtungsmaßnahmen an Schmutz- und Mischwasserleitungen auf den Grundwasserspiegel und deren mögliche Folgen für Gebäude und Vegetation.

Um einen Überblick über Schäden an Gebäuden und Vegetation infolge einer veränderten Grundwassersituation durch Kanalabdichtungen zu bekommen, wurde diesbezüglich eine

bundesweite Umfrage bei Kanalnetzbetreibern und Wasserverbänden durchgeführt. Die Ergebnisse der Umfrage machen deutlich, dass infolge von Kanalsanierungsmaßnahmen besonders häufig Schäden durch steigende Grundwasserstände zu verzeichnen sind.

Im Rahmen dieser Untersuchungen konnte aufgezeigt werden, dass Vernässungsschäden oftmals durch eine lange Vorgeschichte entstehen. Durch schadhafte Abwassersysteme kann es zu einer nicht ordnungsgemäßen Dränierung von Siedlungsgebieten kommen. Bei der Planung und Errichtung neuer Gebäude werden diese künstlich entstandenen Grundwasserstände häufig zugrunde gelegt. Stellt sich der natürliche Grundwasserstand nach einer Sanierungsmaßnahme wieder ein, so kann es zu entsprechenden Schäden kommen.

In drei Fallstudien wurden die Auswirkungen flächendeckender Kanalsanierungsmaßnahmen auf den örtlichen Wasserhaushalt detailliert untersucht.

Die erste Fallstudie bezieht sich auf ein Gebiet mit parallelen Straßenzügen im urbanen Raum. Mit dem Berechnungsprogramm FEFLOW (vgl. Diersch 2009, Seite 13) wurden die Auswirkungen auf den Grundwasserspiegel für unterschiedliche Sanierungsszenarien simuliert. Es wurde deutlich, dass sich das Fremdwasseraufkommen durch die planlose punktuelle Abdichtung einzelner Schäden nicht wesentlich verändert. Das Grundwasser gelangt in diesem Fall vermehrt über benachbarte Schäden in den Abwasserkanal. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse der Simulation, dass es beim Abdichten sämtlicher Schäden an den Abwasserkanälen und -leitungen (Komplettabdichtung) in dem untersuchten Gebiet zu einer Vermeidung von grundwasserbürtigem Fremdwasser kommt. Auf der anderen Seite kann dies aber – aufgrund der fehlenden Dränagewirkung der Abwasserkanäle und -leitungen – auch zu einem Anstieg des Grundwassers auf ein kritisches Niveau führen, so dass Gebäude und Vegetation beeinträchtigt werden (Gebäudevernässung, Degradation).

Die Ergebnisse der Untersuchung machen auch deutlich, dass durch eine gezielte und angepasste Vorgehensweise bei der Abdichtung von Abwasserkanälen und -leitungen (Teilabdichtung) – unter Berücksichtigung der lokalen Grundwasserverhältnisse – bereits eine nennenswerte Verringerung des Fremdwasseraufkommens erreicht werden kann, ohne dass dabei der Grundwasserspiegel ein Niveau erreicht, welches für die vorhandene Bebauung kritisch ist.

Bei der Entwicklung eines Gesamtsanierungskonzeptes für ein Gebiet mit mehreren undichten Kanälen sollten die zeitliche Abfolge der Sanierungsmaßnahmen und damit die temporären Auswirkungen der Einzelmaßnahmen Berücksichtigung finden.

In dem betrachteten Fallbeispiel ist eine Verringerung des in den Abwasserkanal infiltrierenden Grundwassers (Fremdwasser) um ca. 57% möglich, ohne die vorhandene Bebauung und Vegetation zu beeinträchtigen. Bei einer weiteren Abdichtung wären dann entsprechende Gegenmaßnahmen erforderlich, um Schäden an der Bebauung und Vegetation zu vermeiden, wie z.B. der Bau von Ersatzsystemen zur Ableitung von Dränagewasser.

In einer weiteren Fallstudie wurden Siedlungsgebiete an Hängen untersucht, die besonders durch Schichtenwasser gefährdet sind. Dieses im hydraulischen Gefälle abfließende Grundwasser steigt im betrachteten Fallbeispiel besonders nach starken Niederschlägen in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte und den initialen Grundwasserflurabständen stark an. Durch das Abklemmen von häuslichen Dränagen vom öffentlichen Abwassersystem gelangt vermehrt Niederschlagswasser in den Untergrund und führt dort ggf. zu einer Erhöhung des Wasserstandes. Darüber hinaus wurden in dem untersuchten Fallbeispiel Kanalhaltungen abgedichtet, so dass die Dränagewirkung für das Schichtenwasser auch hier entfällt. Diese Maßnahmen haben dazu geführt, dass das Schichtenwasser nach Niederschlägen stark ansteigen kann. In der Folge kann es zu einer Vernässung der Keller von Gebäuden kommen.

In der dritten Fallstudie wurden die Auswirkungen veränderter Grundwasserstände auf die Bodeneigenschaften näher untersucht. Anhand eines theoretischen Beispiels wurden für unterschiedliche Bodenarten Setzungen in Abhängigkeit der Grundwasserstände ermittelt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen, dass insbesondere von bindigen inhomogenen Böden

eine hohe Setzungs- und Hebungsfahr ausgeht, wenn es zu Veränderungen der Grundwasserstände kommt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen insgesamt, dass Kanalsanierungsmaßnahmen bei entsprechenden hydrogeologischen Randbedingungen einen hohen Einfluss auf den Grundwasserhaushalt und die Bodeneigenschaften haben können. Dies trifft sowohl auf Sanierungsmaßnahmen an Kanälen im Grundwasser oder Grundwasserschwankungsbereich zu, als auch auf Kanalsanierungsmaßnahmen in Bereichen, in denen Schichtenwasser eine Rolle spielt (Hanglage). Aus diesem Grund sollten im Vorfeld von Kanalsanierungsmaßnahmen mögliche Auswirkungen auf den Grundwasserhaushalt abgeschätzt werden, um ggf. entsprechende Gegenmaßnahmen (z.B. Bau von Drainagekanälen) zu ergreifen. Darüber hinaus kann durch eine angepasste Vorgehensweise bei der Sanierung von Abwasserkanälen und -leitungen (z.B. Teilabdichtung, zeitliche Priorisierung) das Fremdwasseraufkommen in einem ersten Schritt deutlich reduziert werden, ohne dass dabei die vorhandene Bebauung und Vegetation infolge eines Grundwasseranstieges beeinträchtigt wird. In einem zweiten Schritt kann dann eine Vollabdichtung der Abwasserkanäle und -leitungen in Verbindung mit dem Bau von Drainagesystemen erfolgen.

1.8 Schlussfolgerungen

Aus den Untersuchungen hinsichtlich der Fremdwassersituation in Deutschland und deren Ursachen (vgl. Kapitel 1.2) sowie hinsichtlich rechtlicher Vorgaben im Umgang mit Fremdwasser (vgl. Kapitel 1.3) lassen sich für das Projekt folgende wesentliche Schlussfolgerungen ableiten:

- Anhand statistischer Auswertungen kann derzeit zwar nicht zuverlässig nachgewiesen werden, wie groß exakt der Anteil der im Grundwasser oder im Grundwasserschwankungsbereich liegenden undichten Abwasserkanäle und -leitungen ist und wie viel Fremdwasser hierüber in das Entwässerungssystem infiltriert. Die hohe Anzahl infiltrationsrelevanter Schäden (rd. 62% der festgestellten Schäden) bei gleichzeitig hohem Fremdwasseraufkommen (23% der gesamten Abwassermenge) legen jedoch den Rückschluss nahe, dass ein Großteil des Fremdwassers auf Grundwasserinfiltration zurückzuführen ist.
- Konkrete Beispiele aus der Praxis machen deutlich, dass Abdichtungen am Kanalnetz zu einer deutlichen Reduzierung des Fremdwasseraufkommens führen können (vgl. Schlüter 2009, Seite 71).
- Derzeit gibt die Gesetzgebung den Kommunen kaum Rückhalt und Orientierung zum Umgang mit ansteigendem Grundwasser nach Sanierungsmaßnahmen (vgl. Kapitel 1.7). Andererseits wird aber dadurch Handlungsdruck aufgebaut, dass Fremdwasser über undichte Kanäle möglichst vermieden werden soll, so z.B. durch die qualitativen und quantitativen Vorgaben der WRRL, durch die Arbeitshilfe zur Umsetzung der WRRL (vgl. LAWA 2003, Anhang 1), durch das Verdünnungsverbot der AbwV (vgl. AbwV 2004, Anhang 1), durch die Pflicht zur „Vermeidung von Leckagen“ in einigen Länderregelungen. Außerdem besteht bei Kenntnis über undichte Kanäle das Risiko der Gewässerunreinigung (Straftatbestand gem. § 324 StGB). Ein Zwiespalt entsteht dann dadurch, dass auch die Funktionsfähigkeit und Betriebssicherheit des Gesamtsystems ohne Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit gefordert wird (in fast allen LWGs). Ein Grundwasseranstieg infolge Kanalsanierung kann aber bekanntlich zu Vernässungen und Setzungen führen.

Die Zuständigkeit zur Auflösung dieses Zwiespaltes bleibt offen, denn die Grundwasserregulierung in Siedlungsgebieten zur Vermeidung von Schäden an Gebäuden und Vegetation wurde in Deutschland bisher nur in Sonderfällen gesetzlich geregelt. Ein Beispiel ist die Emscherregion. Über das Emschergenossenschaftsgesetz (EmscherGG) wird der Emschergenossenschaft diese Aufgabe zugeteilt (§ 2 des EmscherGG). In dieser Re-

gion liegt allerdings die Ursache für die Verringerung des Grundwasserflurabstandes insbesondere beim Bergbau, denn es kommt nicht zum Anstieg des Grundwassers sondern zur Absenkung der Geländeoberfläche.

Mit Blick auf die Auswirkungen von Kanalabdichtungen – den möglichen Nutzen und denkbaren Risiken – für Kläranlagen (vgl. Kapitel 1.4) und Entlastungsbauwerke (vgl. Kapitel 1.5) sowie für den örtlichen Wasserhaushalt (vgl. Kapitel 1.7) kann folgendes Fazit gezogen werden:

- Je höher der Fremdwasseranteil im Kläranlagen-Zulauf, desto geringer ist die Abbauleistung, insbesondere bedingt durch den Verdünnungseffekt. Ein maßgeblicher Einfluss der Temperatur kann in der Praxis i. d. R. nicht nachgewiesen werden. Aus Gründen des Gewässerschutzes ist die Frachtbetrachtung der Konzentrationsüberwachung vorzuziehen (wie z.B. in Österreich).
- Ein erhöhtes Fremdwasseraufkommen verursacht zusätzliche Kosten auf der Kläranlage. Realistische Einsparpotenziale können nur durch Gesamtbetrachtung aller Komponenten ermittelt werden: Bemessungsgrundlagen, Betriebszustände, Betriebsstunden, Energiekosten, Wartung/Instandhaltung, Betriebsmittel, Reststoffentsorgung, aber auch Abwasserabgabe.
- Einsparungen im Bereich Energie durch Fremdwasserreduzierungsmaßnahmen setzen eine detaillierte Erfassung, Darstellung und Bewertung der Energieverbräuche insbesondere hydraulisch beeinflusster Anlagenkomponenten voraus (vgl. Energiecheck & Energieanalyse nach DWA-A 216).
- Im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit einer Kläranlage kann eine Erfolgskontrolle bzw. der Nachweis erfolgreich durchgeführter Fremdwasserreduzierungsmaßnahmen im Zuge eines Prozessbenchmarkings (Energiecontrolling) erfolgen.
- Bei der Dimensionierung von Regenüberlaufbecken erhöht sich das erforderliche Beckenvolumen mit zunehmendem Fremdwasserzuschlag. Das rechnerisch erforderliche Beckenvolumen nach den a.a.R.d.T. steigt mit dem Fremdwasserzuschlag stark an. Eine sachgerechte Auslegung der Regenentlastungsanlagen kann nur auf der Grundlage einer realistischen Erfassung des tatsächlichen Fremdwasseranfalls und der Fremdwasser-Verteilung im Netz erfolgen.
- Durch einen erhöhten Fremdwasserzufluss über den Bemessungswert hinaus, kommt es an den Regenüberlaufbecken im Mischsystem zu einer erhöhten Gewässerbelastung.
- Zur Verminderung der Gewässerbelastung an Regenüberlaufbecken besteht die Möglichkeit den Fremdwasseranfall im Netz zu reduzieren, den Drosselabfluss zur Kläranlage zu erhöhen oder das Beckenvolumen zu vergrößern. Die Festlegung von Sanierungsmaßnahmen an Abwasserkanälen und -leitungen kann sinnvollerweise nur unter Abwägung aller technischen und wirtschaftlichen Aspekte und unter Einbeziehung der Kläranlage erfolgen. Wie bei der Neuplanung ist auch die realistische Erfassung des Fremdwasseranfalls und der Verteilung im Netz eine notwendige Voraussetzung für die Fremdwassersanierung. In die Überlegungen sind auch die Auswirkungen von Kanalabdichtungen auf den örtlichen Wasserhaushalt einzubeziehen.
- Bei ins Grundwasser einbindenden Kanalsystemen können Undichtigkeiten durch ihre Infiltrationswirkung ganz wesentliche Auswirkungen auf den Grundwasserstand haben. Werden die Leckagen durch Kanalsanierungsmaßnahmen abgedichtet, so kann es zum Grundwasseranstieg kommen, mit Wechselwirkungen auf den Gebäudebestand (Kellervernässungen, Beeinträchtigung der Standsicherheit) und die Vegetation. Das gilt sowohl in flachen Gebieten als auch in Hanglagen (Schichten- und Sickerwasser).
- Daher sollte bei Sanierungsmaßnahmen insbesondere an Kanälen im Grundwasser immer im Vorfeld eine ganzheitliche Betrachtung der Auswirkungen unter Berücksichti-

gung der hydrologischen und geologischen Verhältnisse durchgeführt werden. Ganzheitlich in Bezug auf die Auswirkungen auf Bauwerke und Vegetation, ganzheitlich aber auch im Zusammenhang mehrerer über das Grundwasser in Beziehung stehender, interagierender (öffentlicher und privater) Kanäle.

- Ist zu erwarten, dass der Anstieg des Grundwassers nach einer Kanalsanierung zu Konflikten führt, so sollte versucht werden diesen über eine zeitliche Priorisierung der Abdichtungsmaßnahmen und/oder alternative Maßnahmen zur Ableitung des Grundwassers (z.B. separates Dränagesystem mit Anschluss an einen geeigneten Vorfluter) entgegenzuwirken.
- Grundwasserschwankungen, die über das niederschlagswasserbedingte, natürliche Maß der Schwankungsbreite hinausgehen – wie es durch die Sanierung der als Drainage wirkenden undichten Kanäle der Fall sein kann – wirken sich in Abhängigkeit vom anstehenden Boden unterschiedlich aus. Setzungen an Bauwerken oder Setzungsrisse in Straßenkörpern können insbesondere bei bindigen Böden auftreten.
- Die Wechselwirkungen zwischen Grundwasser und der Dränagewirkung undichter Kanäle bzw. den Auswirkungen von Sanierungsmaßnahmen auf den örtlichen Grundwasserstand werden im DWA Merkblatt DWA-M 182, Seite 54 bis 56 betrachtet. Hier werden mögliche Nutzungskonflikte angesprochen und auf eine ganzheitliche Betrachtung hingewiesen.

Mit Blick auf die Abdichtung von Abwasserkanälen und -leitungen sind nicht nur Nutzen und Risiken von Interesse, sondern auch Aufwendungen und Emissionen beim Einsatz bestimmter Kanalsanierungstechniken (vgl. Kapitel 1.6). Eigens dafür wurde eine Ökoeffizienzbewertung für Kanalsanierungstechniken entwickelt und exemplarisch auf konkrete Schadens- und Sanierungsszenarien und Randbedingungen (z. B. Innenstadtbereich) angewendet. Die Auswertung der Fallbeispiele (1: Vergleich der grabenlosen Reparatur „Injektion/Verpressung/Kurzliner“ mit der Reparatur in offener Bauweise durch „Bauteilaustausch und Außenmanschette mittels Kleinbaugrube“, 2: Vergleich der grabenlosen Renovierung mittels „Schlauchlining“ mit der Erneuerung in offener Bauweise) macht folgendes deutlich:

- Bei der ökobilanziellen Betrachtung weist das grabenlose Reparaturverfahren im Fallbeispiel Vorteile gegenüber dem offenen Verfahren auf. Dies zeigt sich insbesondere im Energie- und Wasserbedarf bei der Herstellung der verwendeten Baumaterialien. Außer dem Ozonabbaupotenzial sind die betrachteten Umweltwirkungen in den einzelnen Wirkungskategorien beim grabenlosen Verfahren kleiner als beim offenen Verfahren.
- Bei den Umweltauswirkungen im Nahbereich der Baustelle sind in den Fallbeispielen die möglichen Beeinträchtigungen durch die betrachteten grabenlosen Verfahren geringer (Anzahl der betroffenen Schutzgüter und Intensität der möglichen Beeinträchtigungen) als durch die offenen Verfahren.
- Beim Produktsystemnutzen zeigt das Fallbeispiel des offenen Reparaturverfahrens leichte Vorteile gegenüber dem grabenlosen Reparaturverfahren. Die betrachtete grabenlose Renovierung hat im Produktsystemnutzen Vorteile gegenüber der offenen Erneuerung.
- Die Ökoeffizienz des grabenlosen Reparaturverfahrens weist im Fallbeispiel trotz seiner Nachteile im Produktsystemnutzen Vorteile (geringere Werte in der Sach- und Wirkbilanz, Vorteile bei den Umweltauswirkungen im Nahbereich) gegenüber dem offenen Reparaturverfahren auf und wird mit einer höheren Ökoeffizienz bewertet. Die Ökoeffizienz des grabenlosen Renovierungsverfahrens weist im Fallbeispiel Vorteile in der Ökobilanz, in den Umweltauswirkungen im Nahbereich und im Produktsystemnutzen auf und wird daher gegenüber dem offenen Erneuerungsverfahren mit einer höheren Ökoeffizienz bewertet.

- Bei der Nachhaltigkeit zeigt das Fallbeispiel des grabenlosen Reparaturverfahrens gegenüber dem offenen Reparaturverfahren ein geringeres abiotisches Ressourcenpotenzial, einen leicht höheren Zuspruch seitens der Anspruchsgruppen und leicht höhere Kosten. Vor diesem Hintergrund wird das grabenlose Reparaturverfahren trotz der Nachteile im Produktsystemnutzen als nachhaltiger bewertet als das offene Reparaturverfahren. Bei der Nachhaltigkeit zeigt das Fallbeispiel des grabenlosen Renovierungsverfahrens gegenüber dem offenen Erneuerungsverfahren ein geringeres abiotisches Ressourcenpotenzial, einen höheren Zuspruch seitens der Anspruchsgruppen und geringere Kosten. Vor diesem Hintergrund wird das grabenlose Renovierungsverfahren in diesem Fall als nachhaltiger bewertet als das offene Erneuerungsverfahren.
- Kanäle müssen betriebssicher, standsicher und dicht sein, und dies über die gesamte geplante Nutzungsdauer. Die angebotenen Bau- und Sanierungsverfahren tragen in unterschiedlicher Weise zur Erfüllung dieser Leistungsziele bei. Da in diesem Projekt die „Auswirkungen aus Kanalabdichtung bei Infiltration“ im Vordergrund stehen, bezieht sich die dargestellte Ökoeffizienzbewertung (s. o.) allein auf den Fall der Wiederherstellung der „Dichtheit“. Dabei wurden Randbedingungen vorausgesetzt, die auch einen Einsatz von Renovierungs- und Reparaturverfahren möglich machen. Dies betrifft insbesondere das Vorliegen langfristig unveränderter Anforderungen an die Netzstruktur. Darüber hinaus wird von einer alleinigen Maßnahmendurchführung durch einen einzelnen Netzbetreiber ausgegangen.
- Ergeben sich im Zuge der offenen Bauweise Synergieeffekte, wie z.B. die Erneuerung von Gas- und Wasserversorgungsleitungen oder die Erneuerung der Straßendecke, sind diese bei der Ökoeffizienzbewertung zu berücksichtigen. Durch die gemeinsame Verlegung bzw. Erneuerung von Ver- und Entsorgungsleitungen können sich beispielsweise erhebliche Potenziale zur Reduzierung von Umweltauswirkungen und damit auch eine verbesserte Ökoeffizienz ergeben. Seitens der Kanalnetzbetreiber wird die Erneuerung aber auch häufig gewählt, weil – im Gegensatz zu den geschlossenen Verfahren (Renovierung und Reparatur) – ein Kanal errichtet wird, der vollständig (auch hydraulisch) den aktuellen Anforderungen entsprechen kann. Zudem lassen bestimmte Schadensbilder auch kaum Alternativen zur Erneuerung zu, wie z.B. Defekte im Rohr-Boden-System (Bodeneinbrüche und Bodenveränderungen, Unterbögen, Hohlräume). Für die Auswahl von Sanierungsverfahren in der Praxis ist daher zu berücksichtigen, dass neben der bloßen „Abdichtwirkung“ auch die übrigen Leistungsziele, wie die Wiederherstellung der Standsicherheit und ggf. Verbesserung der hydraulischen Leistungsfähigkeit in die Entscheidungsfindung einzubeziehen sind.
- Die Wirtschaftlichkeit ist wiederum maßgeblich durch den mit dem sanierten System tatsächlich erreichbaren Planungshorizont bestimmt, der auch durch die demografische Entwicklung und die möglichen Folgen eines Klimawandels geprägt sein kann. Auch hier kann die offene Bauweise mit Blick auf den Netzausbau und -rückbau weitere Flexibilität bieten, mit dann voraussichtlich höherem Produktsystemnutzen und auch höherer Ökoeffizienz.
- Die Ergebnisse der Ökoeffizienzbewertung gelten nur für die betrachteten Fallbeispiele. Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse wäre falsch, da sich diese immer nur auf die jeweiligen vorzufindenden Randbedingungen beziehen. Aus diesem Grund ist eine Ökoeffizienzbewertung für jeden Sanierungsfall erneut durchzuführen (Einzelfallbetrachtung). Im Einzelfall ist eine transparente, nachvollziehbare Wichtung der Faktoren des Produktsystemnutzens zwingend erforderlich.

Im Zuge der Bewertung der Ökoeffizienz und Nachhaltigkeit wurde auch eine Recherche zur Umweltverträglichkeit von Kanalsanierungsmitteln durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Recherche machen deutlich, dass bei der Kanalsanierung – je nach Bauverfahren – Schadstoffe (z. B. Styrol, Bisphenol A, Toluoldiisocyanat) zum Einsatz kommen. Da Styrol und Toluoldiisocyanat

zum Teil in geringen Konzentrationen vorliegen und/oder abbaubar sind, wird die Umweltbeeinträchtigung als gering eingestuft. Wissenschaftliche Erkenntnisse zur Freisetzung von Bisphenol A aus Sanierungsmaterialien liegen bislang nicht vor. Generell sollten Kanalsanierungsarbeiten sach- und fachgerecht ausgeführt werden, um die Umweltauswirkungen zu minimieren.

Als Fazit lassen sich aus den Ergebnissen des Projektes folgende **Empfehlungen** ableiten:

- Rechtlicher Rahmen

Derzeit gibt die Gesetzgebung den Kommunen kaum Rückhalt und Orientierung im Umgang mit ansteigendem Grundwasser nach Sanierungsmaßnahmen. Wünschenswert wäre die Schaffung rechtlicher Grundlagen und die Erarbeitung von Orientierungshilfen für die Realisierung zielführender, ganzheitlicher Lösungsansätze mit dem Ziel, die Auswirkungen durch den Grundwasseranstieg infolge Kanalsanierung schon im Vorfeld besser abzuschätzen und das weitere Vorgehen hierauf auszurichten.

- Infiltration durch Kanalleckagen: Untätigkeit führt zu Problemen

Infiltrationen durch undichte Abwasserkanäle und -leitungen, die über ihre Dränwirkung Grundwasser ableiten, können umfassende Auswirkungen auf die Kläranlagen, die Regenentlastungsanlagen und den örtlichen Grundwasserhaushalt haben:

- Kläranlagen werden durch Fremdwasser in ihrer Leistungsfähigkeit (Verminderung der Reinigungsleistung durch Verdünnungseffekt) und Wirtschaftlichkeit (Kosten- und Energieeffizienz) beeinträchtigt.
- An Regenentlastungsanlagen kommt es durch erhöhten Fremdwasserzufluss – besonders an Regenüberlaufbecken – im Mischsystem zu einer erhöhten Gewässerbelastung.
- Die örtliche Absenkung des Grundwasserspiegels führt zu Risiken für den Boden, die Bebauung und die Vegetation, wie Einspülungen von Bodenmaterial aus der Leitungszone bis hin zur Straßenoberfläche (Folge: Hohlräume und veränderte Betungsbedingungen), Bauwerkssetzungen durch veränderte Bodeneigenschaften (veränderte Wichte, „Schrumpfprozess“), Verlust des natürlichen Grundwasseranschlusses tiefwurzelnder Pflanzen wie Bäume.

⇒ Maßnahmen sind zu ergreifen!

Aber: Kanalabdichtungen ohne ganzheitliche Betrachtung kann zu neuen Problemen führen

Werden Leckagen an Abwasserleitungen und -kanälen durch Sanierungsmaßnahmen abgedichtet, so kann es zum Grundwasseranstieg (Veränderung des Status Quo) kommen, mit Wechselwirkungen zum Boden, zum Gebäudebestand und zur Vegetation (vgl. Kapitel 1.7). Das gilt sowohl in flachen Gebieten als auch in Hanglagen (Schichten- und Sickerwasser), durch

- Mobilisierung (Rücklösung) von Altlasten, Bodenverflüssigung, Auftrieb von Boden und unterirdischen Infrastrukturen (Boden),
 - Vernässung von Gebäuden, Überflutung, Bauwerkshebungen durch veränderte Bodeneigenschaften („Quellen“) (Bebauung),
 - Schädigung von Bäumen durch fortlaufende Wassersättigung des Erdreiches bzw. Versumpfung (Vegetation).
- Auswirkungen flächendeckender Sanierungen sind vorher abzuschätzen

Im Vorfeld flächendeckender Sanierungsmaßnahmen sollte immer eine ganzheitliche Betrachtung der Auswirkungen der Kanalsanierung unter Berücksichtigung der hydrologischen und geologischen Verhältnisse durchgeführt werden – ganzheitlich in Bezug auf die Auswirkungen auf Bauwerke und Vegetation, ganzheitlich aber auch im Zusammenhang mehrerer über das Grundwasser in Beziehung stehender, interagierender (öffentlicher und privater) Kanäle.

An der Kläranlage können im Zuge der ganzheitlichen Betrachtung realistische Einsparpotenziale nur durch eine detaillierte Erfassung, Darstellung und Bewertung der Energieverbräuche aller fremdwasserrelevanten Anlagenkomponenten ermittelt werden.

Es wird empfohlen, von behördlicher Seite als Überwachungswert im Ablauf der Kläranlage statt der Konzentration die Ablauffracht anzusetzen.

An Regenentlastungsanlagen sind die Auswirkungen möglicher Maßnahmen zum Umgang mit Fremdwasser gegeneinander abzuwägen: Erhöhung des Drosselabflusses zur Kläranlage, Anpassung des Beckenvolumens oder vorzugsweise Reduzierung des Fremdwasserzuflusses.

- Umgang mit Fremdwasser: ergänzende Empfehlungen für Sanierungskonzepte

Eine effiziente Kanalsanierung erfordert das Erkennen der Fremdwasserquellen und der -verteilung.

Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung sind auch die Aufwendungen für Kanalabdichtungen von Bedeutung: Ökoeffizienzbewertungen können eine wichtige Orientierung bei der Auswahl von Sanierungsverfahren geben. Dazu gehören

- die ökobilanzielle Betrachtung verwendeter Baumaterialien, Werkstoffe und Bauvorgänge,
- die Umweltauswirkungen im Nahbereich,
- und der Produktsystemnutzen.

Im Vorfeld von flächendeckenden Kanalsanierungsmaßnahmen sollten mögliche Auswirkungen auf den Grundwasserhaushalt abgeschätzt werden. Ist mit entsprechenden Schäden an der Bebauung und Vegetation infolge eines Grundwasseranstieges zu rechnen, sollte bei der Kanalsanierung eine ganzheitliche Vorgehensweise angestrebt werden. Es können Sofortmaßnahmen durchgeführt werden, die zu keinen Schäden an der Bebauung, aber zu einer deutlichen Fremdwasserreduzierung führen. Eine Vollabdichtung der Abwasserkanäle und -leitungen bietet sich in diesem Fall nur an, wenn diese in Verbindung mit dem Bau von Dränagesystemen erfolgt.

- Zuständigkeit für das Grundwassermanagement sollte geklärt werden

Nach derzeitiger Rechtslage besteht für viele Verantwortliche der Druck, Fremdwasser zu minimieren (vgl. Kapitel 4.3, z.B. Anforderungen der WRRL, Verdünnungsverbot gem. AbwV, Straftatbestand nach StGB bei Kenntnis der Undichtheit). Die rechtlichen und die technischen Regelungen geben teilweise Interpretationsspielraum, aber keine konkreten Vorgaben. Dies betrifft insbesondere die Frage der Zuständigkeit für das Grundwassermanagement und die rechtliche Situation bei der Ableitung infiltrierendes Grundwassers, um negative Folgen der Kanalabdichtungen (z.B. Gebäudevernässung infolge Grundwasseranstieg) zu vermeiden. In wasserwirtschaftlichen Problemgebieten könnte es sinnvoll sein, Dränagewasser unter definierten Randbedingungen in die Abwasserbeseitigungspflicht aufzunehmen.

Die Grundwasserregulierung in Siedlungsgebieten zur Vermeidung von Schäden an Gebäuden und Vegetation wurde in Deutschland bisher nur in Sonderfällen gesetzlich ge-

regelt. Ein Beispiel ist die Emscherregion. Über das Emschergenossenschaftsgesetz (EmscherGG) wird der Emschergenossenschaft diese Aufgabe für die Auswirkungen des Steinkohlebergbaus zugewiesen (§2 des EmscherGG). Wie bereits oben beschrieben, hat der Bergbau in großen Gebieten durch Senkungen die Flurabstände verringert. Durch die Maßnahmen der Emschergenossenschaft und die nicht sanierten öffentlichen und privaten Abwasserkanäle werden die Grundwasserstände auf einem unschädlichen Niveau gehalten. Zusätzlich kommt es nun zu Grundwasseranstiegen durch die Abdichtung der bisher dränierend wirkenden Abwasserkanäle.

Die möglichen negativen Folgen eines verringerten Grundwasserflurabstandes sind Gebäudevernässung und Schäden an der Vegetation.

Im **Gesamtblick** bleibt festzuhalten, dass bei undichten Abwasserkanälen und -leitungen sowohl das Handeln als auch das Unterlassen immense Auswirkungen haben können. Mit Blick auf eine ganzheitliche Vorgehensweise bei der Fremdwassersanierung sind zwar viele Erkenntnisse verfügbar, die Frage der Verantwortung bzw. Zuständigkeit muss jedoch geklärt sein. Zudem ist diesem Zusammenhang auch die Finanzierung zu sichern.

Während es sich bei der Exfiltration von Schmutzwasser eher um eine lokal begrenztes Problem handelt, ist die Infiltration von Grundwasser (Fremdwasser) in Abwasserkanäle und -leitungen ein echte Systemfragestellung, da die Auswirkungen vielfältig sind (z.B. Auswirkungen auf den Betrieb von Kläranlagen und Abschlagsbauwerken, Auswirkungen auf den örtlichen Wasserhaushalt). Dies ist bei der Zuweisung von Verantwortung und der Formulierung von Anforderungen zu berücksichtigen.

2 Summary

2.1 Background and objective of the research project

Depending on local conditions, leaking sewers in public wastewater disposal networks and land drainage systems may transport a high proportion of extraneous water made up of infiltrated groundwater, stratum water or percolating water. In combined sewer systems, this can lead to an increase in combined sewage discharges and in turn in the level of pollution entering water bodies. An increase in the proportion of infiltration water in combined and sanitary sewers also has a negative effect on the performance of sewage treatment plants. The dilution and cooling of wastewater caused by infiltration water impairs the purification performance of the treatment plant in terms of its ability to eliminate pollutants. It also affects the amount of energy required to power the pumps and treatment facilities.

As a rule, extensive rehabilitation measures are required in the sewer network to seal public or private sewage pipes and tunnels and in turn to significantly reduce the incidence of extraneous water. To take a holistic view, it is however not merely the positive effects of reducing the level of infiltration water entering treatment plants and relief structures that are of interest, but also the eco-efficiency of the infiltration water rehabilitation measures themselves that are performed on the sewer network, and the consequences of these on the local groundwater balance. The actual benefits of large-scale sealing of leaking sewage pipes and tunnels (e.g. reduction in the volume of infiltration water, protection of water bodies and soils) must be weighed up against the costs and risks involved. These may result from the use of energy-intensive techniques or ecologically questionable construction materials in the course of the sewer rehabilitation. Moreover, the use of large-scale sewer sealing in the groundwater results in the risk – due to the absence of the drainage effect of leaking sewers – of groundwater rising to a critical level and putting buildings and vegetation at risk.

The objective of the research project was to draw up proposals for a method of sewer rehabilitation to be used by decision-making bodies as a basis for revising wastewater regulations. For this purpose, the effects that high levels of infiltration water have on the performance of sewage treatment plants, on the energy balance of treatment plants, and on water pollution caused by combined sewage discharges were described. The effect of infiltration water was weighed up against the cost of renovating public and private sewers. On the basis of specific case studies, the available information relating to eco-efficiency and sustainability of rehabilitation materials and techniques was compiled and – as far as possible – evaluated. Furthermore, possible problems affecting buildings and vegetation caused by the absence of the drainage effect after rehabilitating leaking sewers were also investigated.

In section 3 the background and objective of the project are described in detail. Moreover, in section 3, a comprehensive overview is given regarding the project content, the methods applied, and the institutions involved in the project.

2.2 Leaking sewers and their effect on the volume of infiltration water

The causes of extraneous water in sewage tunnels and pipes are varied. In addition to infiltration from streams and spring water and the inflow of water from precipitation, it is the infiltration of groundwater into leaking sewer pipes and tunnels that increase the volume of extraneous water.

Hence the rehabilitation of damaged sewer pipes and tunnels is a significant factor in reducing the volume of infiltration water. To clarify which aspects are relevant and what magnitudes are involved, statistical data and reports on the condition of public and private sewers Germany were compiled and analysed (see Section 4). Of particular interest are assertions on the overall length and condition of public and private sewers. In this context, available data regarding the

age structure and pipe materials was analysed for the purpose of enabling an estimation of the frequency of damage "of relevance to infiltration water" and in turn their relevance to the volume of infiltration water.

The results of the analysis can be summarised as follows:

- Combined and sanitary sewers in Germany represent about 80 % (440,644 km) of the sewerage network, i.e. the infiltration of groundwater into damaged sewers can have a severe impact on the volume of extraneous water. The rehabilitation of sanitary or combined sewage pipelines located in the groundwater or groundwater-fluctuation zone can significantly reduce the volume of infiltration water discharge.
- The length of public stormwater sewers in Germany is 120,937 km (according to Statistisches Bundesamt 2013, page 42). Groundwater is also able to infiltrate leaky stormwater sewers located at groundwater or groundwater-fluctuation level. This results in both a hydraulic and material impact on water bodies (cf. Sections 4.1.1 and 7.1).
- When planning rehabilitation measures to public sewers, private systems must be taken into account, especially when the groundwater level is high. Only by taking a comprehensive view can it be ensured that the groundwater does not enter the sewer as infiltration water through defective private systems once rehabilitation of the public sewer is completed. In this context, it is interesting to note that the total length of private sewers in Germany is two to three times that of the public drainage system.
- Statistics relating to age structure (cf. Section 4.1.2) clearly indicate that the vast majority of sewers are no older than 50 years (68%). With reference to the leak integrity of the sewerage system, the year 1965 is of great significance as the year in which elastomer seals were introduced (Purde, 2006, page 40). Approximately 30 % of all sewers were built before the end of the 1950s. Up to that point, the seals of the pipe joints were created by hand on the building site (e.g. from tar rope with bitumen grout). These have generally become rotten as a result of ageing. It can therefore be assumed that pipes built before the year 1965 will have leaks.
- The predominant pipe materials used in public sewer construction are concrete and stoneware in 2009 and the years before (cf. Section 4.1.3).
- No statements are available relating to the type and frequency of damage occurrences and in turn the penetration of extraneous water on the basis of the pipe materials used.
- The types of damage that might lead to an increased volume of infiltration water and an impact on the local water balance – if the groundwater is at the corresponding level – comprise leaks (5%), fractures (20%), ruptured or collapsed pipes (3%), slipped/jutting connections (20%) and damaged connections (13%) (cf. Section 4.1.4).
- Extraneous water in sewers may originate from several places. In addition to groundwater infiltration through leaking sewer pipes and tunnels, extraneous water can include water from streams and springs as well as precipitation. No statistical analyses of the proportions of the various components in relation to the overall volume of extraneous water are available. The large proportion of damage "of relevance to infiltration water" (60% of all damage determined, cf. Section 4.1.4) with a simultaneous high volume of infiltration water (23% of total sewage volume, cf. Section 4.1.5) does however suggest that a large amount of the extraneous water is attributable to groundwater infiltration through leaking sewers. It can be assumed that a considerable proportion of sanitary sewage pipes and tunnels in Germany are located in the groundwater or groundwater-fluctuation zone. Statistical investigations for Bavaria (Puhl, 2008, page 30/31) show that about 20% of public combined sewage and sanitary sewage pipes are situated in the groundwater or groundwater-fluctuation zone.

- Private sewer networks have an even higher infiltration potential than public sewers. This is first of all because their total length is between two and three times greater than that of the public sewer network (cf. Section 4.1.1). Furthermore, it is undisputed among experts that the condition of private drainage systems in Germany is poorer than that of public sewers, even if no statistically reliable investigations have been made (Berger/Falk 2009, page 13). It is essential that private systems are included in infiltration water rehabilitation projects because the groundwater level can rise once the drainage effect formerly attributable to leaking public sewers is absent, while infiltration water can still enter the sewerage system via leaky private pipelines.
- There are more than 68,000 stormwater overflows throughout Germany and the volume of infiltration water represents 23% of the total wastewater volume (cf. Section 4.1.5). The professional rehabilitation of leaking sewers and the consequent reduction in infiltration water would play a role in reducing the frequency of discharges from stormwater structures with overflows.

Over the course of the project, the situation relating to extraneous water was analysed and described on the basis of concrete examples – the sewage works of the Town of Billerbeck, the Lake Starnberg Wastewater Organisation (Abwasserverband Starnberger See), and the municipality of Schwanau (cf. Section 4.2). It became clear that the treatment plants operated by the Town of Billerbeck and the Abwasserverband Starnberger See were suitable for further investigation into the effects of infiltration water (cf. Section 6), because extensive information was available regarding the operation of the treatment plants as was infiltration water measurement data. The district of Ottenheim in the municipality of Schwanau was selected for the investigations into the effects of stormwater overflows (cf. Section 7), since extensive data was available.

2.3 Legal and technical regulations relating to the handling of leaking sewers

There are a number of relevant legislative issues in the context of leaking sewers and drains and their rehabilitation that deal with the construction, operation and maintenance of sewers as well as a number of regulations concerning groundwater protection and management.

Against this background, research was made to locate appropriate legislative regulations on European, Federal and State levels (cf. Section 5.1). Research was also carried out to ascertain the extent to which statements on the subject of "leak integrity" and "interactions between the groundwater level and the drainage effect of leaking sewers/the effects of rehabilitation measures on the local groundwater level" could be found in standards and technical regulations relating to the construction, operation and maintenance of sewage tunnels and pipes. (cf. Section 5.2).

The main objectives of the individual legal regulations are varied and include the protection of surface water bodies, the protection of the quantity and quality of the groundwater, and harmless sewage disposal.

The objective of the EU Water Framework Directive (EWFd) is to achieve good quality status of water bodies in all member states.

The measures programmes planned for the individual river regions are set out in Germany on state level.

Even though the Water Framework Directive contains nothing that is of direct relevance to the subject of sewage disposal, its specifications are nevertheless relevant to wastewater treatment. One of the primary aims of the Directive is to maintain a balance between groundwater abstraction and recharge. The infiltration of groundwater into leaking sewers affects this balance. Hence, it is written in the Federal German brochure on the implementation of the Directive's measures plan that (cf. BMU/UBA 2010, page 61) "...the aim is above all to reduce the quantity

of extraneous water percolating into the sewer network through leaks". This will be of particular importance in those areas which are having to adapt to increasing levels of seasonal dryness as a consequence of climate change. Annex I of the EC Directive on the treatment of municipal sewage (Directive 91/271/EWC) also makes reference to the requirement of preventing leaks.

On Federal level, there are regulations that must be observed in both water law (Water Resources Act, WHG) and criminal law (Criminal Code § 324 StGB) in the context of groundwater infiltration and the rehabilitation of leaking sewers. The Water Resources Act does not demand directly that sewers be free of leaks, but compliance with the generally accepted rules of engineering practice³ is required (cf. Czychowski/Reinhardt 2010, § 60 Rn. with reference to BVerfGE 49, 135), which leaves room for interpretation. The term 'Fremdwasser' (infiltration / extraneous water) is not mentioned in the Water Resources Act.

The term 'Fremdwasser' is not as yet legally regulated (cf. LUBW 2007). Reference can only be made to the problem of extraneous water by way of the ban on the dilution of sewage to comply with permitted pollutant concentrations and by way of the demand to comply with the generally accepted rules of engineering practice in the construction and operation of sewage treatment facilities (cf. LUBW 2007).

Whether infiltration water can be considered sewage in the sense of the WHG is disputed. There are contradictory legal interpretations (e.g. Wellmann/Queitsch/Fröhlich 2010, WHG-Kommentar, § 55 WHG Rz.11 or Fischer 2011, page 1828). According to Nisipeanu/Maus (2007, page 91), infiltration water is by definition "wastewater in the legal sense" and thus sewage. For instance, groundwater that infiltrates the sewer system through leaks becomes sewage when it is collected together with wastewater in dry weather. According to Nisipeanu/Maus (2007, page 324), groundwater, spring water, drainage water and surface water are not themselves wastewater until they have become mixed with wastewater discharges in dry weather and are therefore legally also not sewage. In such cases, the municipal obligation to dispose of sewage does not apply. It can be concluded that the municipality is not obliged, as the operator of the sewer network, to take measures against rising groundwater (e.g. by constructing drainage conduits).

An economic incentive for operators of sewage treatment plants to process as little infiltration water as possible could derive from the Wastewater Levy Act (AbwAG), since a treatment plant's purification performance drops off with lower concentrations of contaminants.

It is possible to exercise an influence on the inflow of extraneous water by way of the dilution ban laid down in the Wastewater Regulations (§ 3 Para. 3 AbwV).

One of the aspects taken up from the Water Framework by the Groundwater Regulations Directive is the requirement to guarantee a sufficient volume of groundwater. However, exemption clauses are possible that create scope for interpretation as to whether, how, to what extent and in what timeframe a sewer requires rehabilitation.

In the Criminal Code, § 324 StGB makes the contamination of water bodies punishable by law. If a municipality is aware of leaking sewers that are contaminating the groundwater, it must be established whether the non-action on the part of those working on their behalf is a criminal offence. However, as a rule, it will most probably be very difficult to prove the causalities and culpability.

³ 'Allgemein anerkannte Regeln der Technik' ('generally recognised rules of engineering practice') are, according to Czychowski/Reinhardt 2010, the principles and solutions that have been tested, have proven themselves in practice and have become accepted among the majority of experts active in the respective technical field.

State regulations vary in terms of their depth of detail. Almost all of them require that sewage treatment plants be functioning properly and operationally safe and that they are built and operated in accordance with the generally accepted rules of engineering and on the basis of optimum technical knowledge, whereby the well-being of the public must not be impaired. In individual cases, the states act on the regulations from the EC Urban Wastewater Treatment Directive stating that leakages must be avoided.

Standards and technical regulations should be taken as recommendations and technical suggestions. The majority of normative regulations concerning the construction, operation and repair of sewers and sewage pipelines can be found in the publications of the German Institute for Standardisation (DIN) and the German Association for Water Management, Sewage and Waste (DWA). The leak integrity of underground pipelines is a requirement made at several points throughout these publications.

The requirements concerning the treatment of 'infiltration/extraneous water' is discussed only marginally in the DIN and DWA publications.

In contrast to legal regulations, technical regulations additionally consider the interactions between the groundwater and the drainage effect of leaking sewers/the effects of rehabilitation measures on the local groundwater level. The DWA pamphlet DWA-M 182 "Infiltration water in drainage systems outside buildings" mentions possible conflicts of use and stresses the need to take a holistic view: "Therefore, before performing large-scale sewer rehabilitation, an appraisal should be made of the effects that sealing a sewer network will have on the groundwater body. The rehabilitation plan must take into account the drainage effect of a sewer network under heavy influence from infiltration water, to avoid any possible damaging effects of rehabilitation."

There is no uniform definition in Germany of the term "Fremdwasser" ("infiltration/extraneous water"). In coordination with the Umweltbundesamt (Federal Environment Agency), a definition was taken as a basis for this report that was devised in conjunction with the research project "Umgang mit Dränagewasser von privaten Grundstücken" ("Handling Drainage Water from Private Properties") (Bosseler/Dyrbusch 2012, page 54) and which is essentially based on the definition from the pamphlet DWA-M 182 (cf. DWA-M 182, page 9):

"Extraneous water is water that flows into a sewage treatment system, the characteristics of which have neither been modified through domestic, industrial, agricultural or other use, nor has it been collected and duly fed into the system from precipitation onto built-up or paved areas. Due to its quality, extraneous water requires no sewage treatment, but it hinders and unduly encumbers treatment plants due to its quantity, and is undesirable from the point of view of water body conservation. Extraneous water may, for example, be groundwater that infiltrates the sewer via leaking pipelines or shafts or else drainage water that is fed illicitly into the sanitary sewer."

In conclusion, it can be established that according to the current legal situation, many responsible bodies are under pressure to minimise infiltration water. Legal and technical frameworks provide partial scope for interpretation. However, legislation provides little backing or orientation to councils in handling rising groundwater levels in the wake of rehabilitation measures. In particular, this concerns both the question of who is responsible for groundwater management as well as the legal situation as regards the diversion of infiltrating groundwater to avoid negative consequences of sewer sealing (e.g. wetness in buildings caused by a rise in the groundwater). In areas where water management is problematic, it might make sense under defined marginal conditions to incorporate drainage water in the obligation to dispose of sewage.

The control of groundwater to avoid damaging buildings and vegetation in settlement areas has only been enacted in special cases in Germany. One example of this is the Emscher region. The Emschergenossenschaft ('Emscher Association') has been assigned to perform this task on the basis of the Emscher Association Law (EmscherGG) with regard to the impact of coal mining

(§2 des EmscherGG). Subsidence resulting from coal mining has reduced the distance to the groundwater table over wide areas. However, groundwater levels are being maintained at a harmless level through the activities of the Emschergenossenschaft and the non-rehabilitated public and private sewers. Moreover, the sealing of sewers with their formerly drainage impact leads to an increase in groundwater.

2.4 Effects on treatment plants

The effects of infiltration water on purification performance and both the cost and energy efficiency of treatment plants were identified and evaluated on the basis of two concrete case examples (the Lake Starnberger sewage treatment plant and the Billerbeck sewage treatment plant); these were then compared with information from the relevant technical literature (cf. Section 6).

Investigations in the case example of the Lake Starnberger sewage treatment plant show that the extraneous water content of the sewage impacts on the operation of the wastewater discharge and purification processes and consequently also affects the economic efficiency of the treatment plant's operator, the Lake Starnberg Wastewater Association (Abwasserverband Starnberger See). The average infiltration water content at the Starnberg treatment plant in 2007 was approximately 42 %. The infiltration water which, as unsoiled water, is additionally discharged and treated, primarily results in increased energy consumption, the impact of which is not only directly discernable in terms of cost but also makes itself felt in all other operating costs. The main energy consumers directly affected by the extraneous water content are the pump and lifting systems. Moreover, the extraneous water content of the sewage also affects the purification performance of the Starnberg treatment plant. The higher the extraneous water content, the lower the purification efficiency. Apart from increasing direct costs, it also affects indirect costs such as depreciation, maintenance costs, personnel costs, residue disposal and sewage charges. Only by taking into account all the cost components attributable to extraneous water when calculating direct and indirect energy and operating costs will it be possible to gain a realistic overview and determine the possible savings potential. In the example case of Starnberg, a reduction in the infiltration water content of sewage can lead to considerable savings in energy costs.

As regards the Billerbeck sewage treatment plant, data relating to the infiltration water content in the sewer network was analysed before and after the rehabilitation of a section of the catchment area. The trend shows that once a section of a catchment area has been rehabilitated, the volume of infiltration water is reduced. Furthermore, the evaluated precipitation data for the Billerbeck region was compared with the infiltration water volume in the treatment plant, to enable the relationship between the precipitation events and the increased volume of infiltration water to be modelled. Observations made over a long period (2007 to 2012), point towards a relationship. The infiltration water content at the Billerbeck sewage treatment plant between 2007 and 2011 was on average 65 %.

Overall, annual electricity consumption and specific energy consumption of the Billerbeck sewage treatment plant are considerably lower than at Starnberg. This can be attributed to the differences in the structure, process engineering and modes of operation of the two treatment plants. An analysis of the measurement data shows that when the infiltration water content is higher, the degree of efficiency of COD and nitrogen elimination falls, due to the effects of dilution. In general, it can be stated that infiltration water has an effect on purification performance and energy consumption at the Billerbeck sewage treatment plant.

The potential energy savings resulting from reducing infiltration water essentially depends on the proportion of extraneous water and the general energy conditions as well as the size of the treatment facility. In general, specific electricity consumption drops significantly the larger the treatment plant is. With small to medium specific sewage volumes, the impact on electricity

consumption is only slight (DWA, 2012, page 3). If the specific wastewater volume increases to more than $20 \text{ m}^3/(\text{EW} \cdot \text{a})$, then there is a clear impact on electricity consumption. High specific wastewater volumes result from a larger volume of extraneous water and the stormwater runoff also treated in the combined system at the sewage treatment plants (DWA, 2012, pages 3-4). It is evident that the existing local marginal conditions at the treatment plants have an essential impact on electricity consumption. According to DWA (2012), pages 3-4, the effect of the mean load on electricity consumption in the treatment plants is proportional to its capacity. Considerably more electricity is required for lower plant loads than with higher loads. For a detailed consideration and evaluation of savings potentials in a sewage treatment plant, it is useful to conduct an energy analysis of the plant (cf. DWA-A 216 "Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen" ("Energy check and energy analysis – instruments of energy optimisation in sewage treatment plants") (draft, April 2013)).

No representative statements can be made regarding the amount of energy that can be saved in specific components of the treatment plant, as the way in which extraneous water impacts on the productivity of sewage treatment plants can vary due to differences in marginal conditions. Accordingly, it is always necessary to consider individual cases for revealing interrelations between extraneous water and energy consumption.

The interrelations between extraneous water volume and energy consumption can be demonstrated quite explicitly on the basis of example calculations, however. In the project, energy consumption was determined on the basis of plant-specific calculation approaches pursuant to DWA-A 216. By determining ideal values specific to the plant, essential influence factors affecting energy consumption/generation could be quantitatively described and rendered transparent. The results of an example calculation for a model treatment plant (>100,000 PE, one-step activated sludge process with prior denitrification) clearly show that with the three selected components (air lift pump, recirculation unit, return activated sludge pump), electricity consumption increases as the extraneous water content increases. A tenfold increase in extraneous water content results in a doubling of electricity consumed by the air lift pump unit. If the extraneous water content rises from 14.3 % to 50 %, electricity consumption for the recirculation pump increases by more than one-and-a-half times. An increase in energy consumption can also be expected from the return activated sludge pump. If the extraneous water content roughly doubles from 33 % to 62.5 %, electricity consumption rises by approximately 35 %.

2.5 Effects on stormwater overflows

In the course of the joint project, a number of studies were conducted to ascertain the effects of various extraneous water situations on the relief structures in the combined sewer system (see Section 7).

First of all, the mathematical principles of the ATV worksheet (A 128 "Guidelines for the design and dimensioning of rainwater treatment plants in combined sewers") were described (see Section 7.1). These show that there must be an unambiguous correlation between the infiltration water load and the required tank volume in the catchment area of a sewage treatment plant. As the infiltration water load increases, so does the required nominal tank volume in the catchment area.

If the actual extraneous water inflow to the tank during operation is higher than the value taken for dimensioning, this can lead to higher overflows intervals (overflow duration T_{ue}) and volumes (overflow volume VQ_{ue}). Consequently, the increase in the overflow load (COD overflow load SF_{ue}) leads to an increase in water pollution at the feed-in points. This can at times lead to a higher water pollution than caused by the discharge from the sewage treatment plant.

A simulation of the filling and relief behaviour of a stormwater overflow tank was implemented with the sanitary sewage load calculation model KOSIM ("Kontinuierliches Langzeit-

SIMulationsmodell" ("Continuous long-term simulation model")⁴) for an actual existing catchment area, based on the example of a district of the municipality of Schwanau (see Section 7.2). In the evaluation of the effects, a distinction was drawn between the effects on the dimensioning of the relief structures and the effects on the filling and relief behaviour of the relief structure implemented.

The necessary tank volume for a catchment area of the municipality of Schwanau was determined for various infiltration water loads and coordinated with the hydraulic performance of the existing treatment plant. By employing a thirty-year rainfall record, the system behaviour of the catchment area and stormwater overflow tank was investigated and analysed for various infiltration water loads.

This served as an example to demonstrate the relationship between increasing infiltration water load and the increase in the necessary tank volume on the one hand and increasing filling and relief durations in comparable precipitation conditions on the other.

It should be noted that in these observations, only the infiltration water load parameter was varied but not the other significant parameters, such as precipitation and sanitary sewage inflow.

In reality this is countered by constantly changing load situations with random combinations of sanitary, infiltration and stormwater inflows. For this reason, in the second case example for the town of Billerbeck, the results and interrelationships from the long-term simulation for the district of the municipality of Schwanau were verified on the basis of measurement data for an existing tank. The relationship between infiltration water load and filling/relief behaviour was identified by analysing available operational data from a stormwater overflow tank in the town of Billerbeck (see Section 7.3).

The town of Billerbeck performed infiltration water rehabilitation in the period between February and October 2008 in the catchment area of a stormwater overflow tank, accompanied by a measurement programme. This supplied data for the discharge of extraneous water to the sewage system for the period 2006 to 2011 and regarding the filling and relief behaviour of the overflow tank. No measurement data was available regarding overflow loads and concentrations.

The existing measurement data was subjected to statistical analysis. A correlation analysis and linear regression analysis were performed to assess and evaluate the relationship between infiltration water load and filling and relief parameters.

The evaluation showed that the relationship between infiltration water load and relief behaviour exists in the stormwater overflow tank in Billerbeck.

The quantity of precipitation in a strong rainfall event has such a great effect on the stormwater discharge volume that influence of infiltration water load is superimposed. To counter this effect, six precipitation classes were introduced, ranging from < 25 mm/month to >150 mm/month.

This necessary classification serves to reduce the superimposition of the precipitation event on the infiltration water, but the number of available values within the individual classes is reduced as a result. Therefore it was not possible to sufficiently ascertain the effect and resultant

⁴The "Kontinuierliche Langzeit-SIMulationsprogramm" is a software package from the Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie GmbH (itwh) devised for the verification of structures used for stormwater treatment, management and retention.

interactions for all possible impact factors. Neither was it possible to consistently indicate the undoubted connection between increasing infiltration water load and increasing relief activity in the stormwater overflow tank for all precipitation classes. For individual investigation factors, however, it was possible to show a relationship with the increase in infiltration water load in certain precipitation classes, for example the increase in the number of filling events, the increase in the relief discharge volume or the total relief volume.

The following essential findings can be derived from the investigations of the effects of extraneous water on the behaviour of relief structures:

- In the dimensioning of stormwater overflow tanks, the required tank volume increases with increasing infiltration water load. The nominal tank volume required to comply with the generally accepted rules of engineering practice increases virtually with the infiltration water load. Due dimensioning of the stormwater relief tanks can only be done on the basis of a realistic record of actual infiltration water content and the distribution of infiltration water in the network.
- The increased inflow of infiltration water beyond the dimensioned value results in an increase in water pollution in the stormwater overflow tanks in the combined sewer system.
- To reduce water pollution in the stormwater overflow tanks, it is possible to either reduce the volume of infiltration water in the network, to increase the regulated flow to the treatment plant or to enlarge the size of the tank. The only sensible way to determine rehabilitation measures in sewer tunnels and pipelines is by weighing up all the technical and economic aspects and taking into consideration the sewage treatment plant. As when planning new systems, the realistic recording of infiltration water volume and its distribution in the network are necessary conditions of infiltration water rehabilitation. The effects of sewer seals on the local water balance should also be taken into account in deliberations.

2.6 Sewer rehabilitation: eco-efficiency and sustainability

The following section outlines the approach developed in the project for determining the eco-efficiency and sustainability of sewer rehabilitation techniques (see Section 8). This systematic approach consists of the following components:

- The environmental impact, comprising the ecobalance of the construction and other materials used and also comprising the determination and assessment of the environmental impact in the vicinity of the construction site.
- The product system value of the sewer rehabilitation techniques, which is determined on the basis of DIN EN ISO 14045 (cf. DIN EN ISO 14045, page 17), comprising the following components: value for stakeholder groups in the rehabilitation process, direct costs of sewer rehabilitation with respect to the average technical service life, usability of the rehabilitated sewer.

The eco-efficiency assessment comprises the environmental impacts and the product system value.

The additional aspect of sustainability is derived from the results of the eco-efficiency assessment based on abiotic depletion potential, direct costs, and benefit to stakeholder groups.

The evaluation of eco-efficiency is performed on the basis of four examples, representing four different rehabilitation techniques for a leaking DN 300 sanitary sewer (separate sewer system). The sewer requiring rehabilitation is located in the urban zone in the middle of a road lined with trees and residential buildings. It is also assumed that due to the existence of low permeability soils, no groundwater drainage is necessary.

Sewer rehabilitation techniques

Rehabilitation scenarios are as follows:

- Trenchless repair procedure: After high-pressure cleaning of the old sewer, a leak in the sewer in the vicinity of the house connection is given a preliminary seal using epoxy resin applied by robot equipment. The short liner subsequently applied with compressed air consists of silicate resin and glass fibres.
- Trenchless renovation procedure: After high-pressure cleaning of the old sewer, several leaks in the sewer in the vicinity of the house connection are given preliminary seals using epoxy resin applied by robot equipment. The short liner subsequently applied with compressed air consists of unsaturated polyester resin, glass fibres, and styrene as a solvent.
- Open repair procedure: After creating the small trench (depth 3 m, width 0.9 m, length 1 m), an external sleeve is placed around the leak in the old sewer, made of stainless steel with elastic sealing rings made of EPDM (ethylene propylene diene monomer). A connection piece is installed in the vicinity of the house connection made of PE-HD (high density polyethylene). After completing the repair work, the trench is filled with sand, gravel and chippings and the road surface renewed.
- Open replacement: After creating the trench (depth 3 m, width 0.9 m, length 50 m), the defective old sewer is dismantled. A new sanitary sewer is then constructed, made of stoneware pipes, connected by plug-in sleeves made of EPDM. Connection pieces made of PP (polypropylene) are installed in the vicinity of the house connections. After completing the replacement work, the trench is filled with sand, gravel and chippings and the road surface renewed.

Reference

The technically possible period of use or the expected technical service life (useful life) of rehabilitated sewer tunnels and pipelines are of considerable importance with respect to the factors of sustainability and eco-efficiency.

The average technical service life from the DWA study 2009 is applied to obtain the service life expected from these rehabilitation techniques (cf. Berger/Falk 2009, page 10). For the trenchless repair procedure, this is 17 years, for the open repair procedure 20 years, for the renovation procedure 46 years and for the replacement procedure 86 years.

To enable comparison of the various rehabilitation techniques under consideration, the following reference is used, to which the ensuing considerations will refer, assuming they are quantifiable:

- 1 metre construction length (e.g. 1 m pipe lining or 1 m stoneware pipe), and
- 1 year of use, calculated on the basis of the average technical service life of each rehabilitated sewer with respect to the sewer rehabilitation technique.

Input data and output data are normalized to the reference. The construction length is defined as functional unit. Furthermore the values are quantified, necessary to fulfil functions (reference flow). The values are referred to useful life.

Life-cycle assessment

The life-cycle assessment of the construction and other materials used in the sewer rehabilitation process takes into consideration the product life-cycle and associated ecological impacts. Material and energy turnovers are recorded on the basis of significant parameters and the resultant potential environmental impacts assessed.

Due to the scope of the possible processes and parameters, a life-cycle assessment requires demarcation on the basis of a suitable objective and framework definition. The aim of the eco-efficiency assessment approach developed here is for it be used to compare different sewer rehabilitation procedures. The selected scope of processes and parameters taken into consideration must be appropriate for this purpose. This means defining the processes observed and limiting the observation to the comparison of the different rehabilitation techniques performed here.

In the present context, Ökobau.dat 2011 is used for the life-cycle assessment. Ökobau.dat 2011 comprises hundreds of datasets relating to environmental indicators for construction materials and vehicles. It is based on the GaBi database, the standard database for environmental indicators used in the building and energy industries, among others. Ökobau.dat 2011 contains data relating to energy, waste, water consumption and impact categories, among others, but it does not contain data relating to sewage or airborne emissions.

The life-cycle assessment refers to the issues of energy, waste and water; it is applied in the interest of creating lead indicators. Sewage and airborne emissions are only included to the extent that these emissions are related to situation of energy, waste and water in Ökobau.dat 2011.

On the basis of the process descriptions for concrete case examples, the construction and other materials employed are categorised into relevant components for application in the life-cycle assessment:

- Upper road structure: asphalt paving, binder course, base layer, gravel, chippings and sand,
- Pipe liners made of polyester resin: polyester, styrene and glass fibres,
- Short liners made of silicate resin: silicate resin and glass fibres,
- Stoneware piping: stoneware pipe and plug-in sleeves,
- Outer sleeve: stainless steel sleeve and sealing ring made of EPDM.

An essential component of a life-cycle assessment is an appropriate life-cycle inventory. Environmentally relevant inputs and outputs are compiled for this purpose. For the life-cycle inventory in the current procedure, significant inputs and outputs, based on Ökobau.dat 2011, are considered to the manufacture of construction materials and their transportation to the building site, the work on the building site, the transport away from the site, and the recycling of waste and residual materials.

Significant issues are considered enabling a comparison to be made of different rehabilitation scenarios.

The following input parameters are considered in the life-cycle inventory:

- Primary and secondary energy costs,
- Water consumption in the production of building and other materials.

The following output parameters are considered in the life-cycle inventory:

- Waste occurring in the production of building and other materials and on the building site.

For the impact assessment, potential environmental impacts are assessed on the basis of the life-cycle inventory. The output categories considered are the greenhouse effect, the depletion of ozone in the stratosphere, the formation of photochemical oxidants, acidification and eutrophication. Human toxicity and ecotoxicity cannot be quantified and are not used in the impact assessment determined here.

On the basis of the life-cycle inventory, trenchless procedures have benefits in comparison to open procedures in terms of energy, water and waste balance factors. This is due to the lower frequency of truck transport and the absence of trenches and shafts in the road with all the accompanying wastes and residues.

This is confirmed in the impact assessment: transport processes have a strong effect on five of the six impact categories.

Environmental impacts in the immediate vicinity

The criteria catalogue for selecting building methods for the rehabilitation of drain and sewer pipes (cf. GSTT 2000, pages 7-35) published by the German Society for Trenchless Technology e.V. (GSTT) is used to determine and assess possible environmental impacts in the immediate vicinity of a sewer rehabilitation procedure and the protected goods allocated in accordance with the Environmental Impact Assessment Act (UVPG 1990, § 2).

Potential impairments of protected goods occur in the rehabilitation phase. No appreciable impairment of protected goods is expected in the utilisation phase for the assumed marginal conditions.

However, there may be subsequent after-effects resulting from the building activity that impact on protected goods such as plants (e.g. sustained change to soil water and nutrient balance) and cultural and other physical goods (e.g. ongoing subsidence after conclusion of the rehabilitation measures).

Product system value

The product system value of sewer rehabilitation measures is formulated as a tabular summary of the results of the components described in the following: value of sewer rehabilitation to stakeholder groups, direct costs per year of sewer rehabilitation (in comparison: cost savings), service life and usability of the rehabilitated sewer. It is assessed by means of verbal argumentation.

According to DIN EN ISO 14045:2012 (cf. DIN EN ISO 14045, page 14), the stakeholder groups are groups who have an immediate benefit from the sewer rehabilitation. With reference to the repair of sewers, five stakeholder groups are defined as follows along with their main objectives, after Orth (cf. Orth/Lange 2008, page 52):

- Connectees/fee payers: functioning sewage disposal, long-term cost stability,
- Regulatory and supervisory bodies: compliance with legal regulations, in particular with reference to water conservation,
- Sewer network operator/owner of sewer network: preservation of infrastructure value, long-term economic sewer operation, secure working environment for employees,
- Sewage treatment plant operators: low level of impairment of sewage purification from extraneous water,
- Local government policy: long-term fee stability, financeability.

In individual cases, the benefits to the stakeholder groups are determined by means of surveys and votes in meetings. The respective benefit types are recorded and discussed with respect to the concrete marginal conditions prevailing at the site.

In the case examples investigated, trenchless procedures lead to a higher benefit to the stakeholder groups than do open procedures.

The costs incurred in sewer rehabilitation measures are divided into direct and indirect costs and – if used – applied to 1 m construction length and 1 year service life (useful life).

Examples of direct costs are:

- Direct costs of the rehabilitation process,
- Costs of maintaining the drainage during the rehabilitation,
- Costs of renewing the road surface following sewer rehabilitation using the open construction method.

Examples of indirect costs are:

- Costs of removing tree damage as a consequence of building work,
- Costs accruing to road users due to diversions,
- Costs of lost turnover to retail traders.

In the present context, only direct costs are applied. The data basis in the case example is tender evaluation for sewer rehabilitation of the Arbeitshilfen Abwasser (see BMVBS/BMVG 2011, Arbeitsblatt A-6.4). In individual cases, indirect costs must also be applied.

The usability of rehabilitated sewage tunnels is assessed on the basis of literature evaluations regarding the extent to which recycling, energy recovery and backfilling are already possible today.

The product system value for trenchless rehabilitation and open replacement differ more strongly than with repair processes. The case examples considered here show clearly that trenchless rehabilitation has advantages in terms of the benefits to stakeholder groups and cost factors. Open replacement has benefits in terms of reusability.

Eco-efficiency and sustainability

In the overall assessment of eco-efficiency and sustainability, the findings regarding the environmental impact and product system value of sewer rehabilitation techniques are summarised in a table and subjected to evaluation on the basis of verbal argumentation. The more benefits a rehabilitation technique has with regard to its environmental impact and product system value compared to other rehabilitation techniques, the more eco-efficient it is.

The evaluation of sustainability is also performed on the basis of verbal argumentation. Abiotic resource consumption, benefits to stakeholder groups and direct costs are presented in a table and evaluated. The eco-efficiency assessment is summarised in a table in the form of profiles for the rehabilitation techniques investigated in the separation system (see Section 8.3.1.4).

2.7 Effects on the local water balance

In the course of the research project, the effects on the local water balance of groundwater infiltrating sanitary and combined sewers were investigated (see Section 9). Of particular interest here were the effects of sealing measures on sanitary and combined sewers on the groundwater table and the possible consequences for buildings and vegetation.

A national survey was conducted among sewer network operators and water boards to obtain an overview of damage to buildings and vegetation resulting from changes to the groundwater location as a consequence of sewer sealing. The findings show clearly that damage from rising groundwater levels occurs particularly frequently following sewer rehabilitation measures.

These investigations are able to show that moisture damage often has a long prehistory. Damaged sewage systems can result in improper drainage of settlement areas. When new buildings are planned and constructed, they are often based on these artificially created groundwater levels. When the natural groundwater level is restored following a rehabilitation measure, damage often results.

In three case studies, the effects of extensive sewer rehabilitation measures on the local water balance were investigated in detail.

The first case study refers to an area in an urban space with parallel streets. The effects of a variety of rehabilitation scenarios on the groundwater table were simulated using the calculation program FEFLOW (cf. Diersch 2009, page 13). It was evident that the haphazard sealing of individual leaks hardly had any effect on the volume of extraneous water. In such cases, the groundwater simply enters the sewer through neighbouring leaks. Moreover, the results of the simulation show that when all leaks in the sewer tunnels and pipelines (full sealing) in the area under investigation are sealed, infiltration water emanating from the groundwater was prevented. On the other hand, this can also lead to the groundwater rising to a critical level due to the loss of the drainage effect of the sewage tunnels and pipelines, with the result that buildings and vegetation are impaired (moisture in buildings, degradation).

The results of the investigation clearly show that by taking a methodical and modified approach when sealing sewer tunnels and pipelines (partial sealing) – and taking into account the local groundwater conditions – it would be possible to achieve an appreciable reduction in infiltration water volume, without the groundwater table reaching a level that could be critical for the surrounding buildings.

When developing an overall rehabilitation concept for an area with several leaking sewers, the chronological sequence of the rehabilitation measures and in turn the temporary effects of the individual measures should be taken into consideration.

In the case example under consideration, it would be possible to effect a reduction of approximately 57% in the groundwater (Infiltration water) entering the sewer without encroaching on the surrounding buildings or vegetation. If further sealing were to be carried out, it would be necessary to perform countermeasures to prevent damage to buildings and vegetation, such as constructing substitute systems for diverting drainage water.

In another case study, settlement areas were examined on slopes that were under particular danger from stratum water. In the case example under investigation, this groundwater, which is discharged in the hydraulic gradient, rises sharply with respect to the ground moisture and the initial position of the groundwater table, in particular after heavy precipitation. Disconnecting domestic drains from the public sewage system causes more precipitation water to seep into the ground where it can result in a rising water level. Moreover, in this example, sewer sections are sealed, also removing the drainage effect for the stratum water. As a result of these measures, stratum water can rise sharply following precipitation. As a consequence, there is an increased risk of moisture in cellars of surrounding buildings.

In the third case study, the effects of changes to groundwater levels on soil characteristics were investigated. On the basis of a theoretical example, incidences of subsidence were determined with respect to groundwater levels for different types of soil. The results of these investigations showed that there is a great risk of subsidence and heave associated with cohesive, inhomogeneous soils, when groundwater levels change.

All in all, the results of the investigations show that sewer rehabilitation measures under corresponding hydrogeological marginal conditions can have a great effect on groundwater balance and soil characteristics. This applies both to rehabilitation measures performed on sewers in the groundwater or groundwater fluctuation zone and to such measures conducted in areas in which stratum water plays a role (on slopes). For this reason, the possible effects of a rehabilitation measure on the groundwater balance should be estimated in advance of the measure and, where necessary, appropriate countermeasures taken (e.g. construction of drainage channels). Moreover, it is possible to considerably reduce the incidence of extraneous water in a first step by adopting a modified approach to rehabilitating sewer tunnels and pipelines (e.g. partial sealing, setting of chronological priorities), without a rise in groundwater encroaching on the existing buildings and vegetation. In a second step, full sealing of the sewer tunnels and pipelines can be performed in conjunction with the construction of drainage systems.

2.8 Conclusions

The following core conclusions can be drawn from the investigations made in the project, relating to the situation with infiltration water in Germany and its causes (See Section 2.2) and regarding legal regulations concerned with the handling of infiltration water (See Section 2.3):

- It cannot currently be reliably demonstrated on the basis of statistical evaluations exactly how large the proportion of leaking sewage tunnels and pipelines in the groundwater or groundwater-fluctuation zone are and how much infiltration water enters the drainage system. The large volume of infiltration-related damage (approx. 62% of damage determined) with a simultaneous high incidence of infiltration water (23% of total water volume) points to the conclusion that a considerable proportion of extraneous water is attributable to groundwater infiltration.
- Concrete examples from practice clearly show that seals in the sewer network can bring about a considerable reduction in the volume of extraneous water (cf. Schlüter 2009, page 71).
- Legislation currently provides little backing or orientation to local councils for handling rising groundwater levels in the wake of rehabilitation measures (See Section 2.7). On the other hand, this increases the pressure to act as far as possible towards preventing infiltration water occurring through leaks in sewers, for example through the qualitative and quantitative specifications of the EWFD, the working aid for implementing the EWFD (cf. LAWA 2003, Annex 1), through the dilution ban set out in AbwV (cf. AbwV 2004, Annex 1), and through the obligation to "avoid leaks" in some state regulations. Moreover, there is a risk of water pollution in the event that leaking sewers are known about (criminal offence pursuant to § 324 StGB). This gives rise to a conflict in that functionality and operational safety of the overall system is required without impairing public well-being (in virtually all state water legislation). A rise in groundwater level following sewer rehabilitation can, however, lead to moisture in buildings as well as subsidence.
- The responsibility for resolving this conflict remains undecided, since groundwater control in settlement areas for the purpose of avoiding damage to buildings and vegetation has only been the subject of legal regulation in a few cases. The Emscher genossenschaft ('Emscher Association') has been assigned to perform this task on the basis of the Emscher Association Law (EmscherGG) (§ 2 des EmscherGG). However, in this region, the main cause of the reduction in the groundwater table distance is coal mining, because it is not the groundwater that rises but the land surface that falls.

With regard to the effects – i.e. the possible benefits and potential risks – of sewer sealing on sewage treatment plants (See Section 2.4) and stormwater overflows (See Section 2.5) as well as on the local water balance (See Section 2.7), the following conclusions can be drawn:

- The higher the proportion of infiltration water in the inflow to the sewage treatment plant, the lower the purification performance, especially because of the effect of dilution. In general, no decisive impact of temperature can be demonstrated in practice. In the interests of water protection, the investigation of pollutant load is preferable to monitoring concentrations (as in Austria for example).
- Increased volumes of infiltration water cause additional costs in the treatment plant. A realistic savings potential can only be determined by considering all components together: dimensioning basis, operating statuses, operating hours, energy costs, maintenance and repair, operating resources, residue disposal, and sewage fees.
- Energy savings brought about by infiltration water reduction measures require detailed recording, presentation and assessment of energy consumption levels, in particular with

respect to hydraulically affected plant components (cf. 'Energiecheck & Energieanalyse' after DWA-A 216).

- Regarding the economic effectiveness of a sewage treatment plant, it is possible to conduct a success check or demonstrate that infiltration water reduction measures have been successfully performed in the course of a process benchmark procedure (energy control).
- In the dimensioning of stormwater overflow tanks, the required tank volume increases as infiltration water load rises. The nominal tank volume required to comply with the generally accepted rules of engineering practice increases virtually with the infiltration water load. Due dimensioning of stormwater relief tanks can only be done on the basis of a realistic record of actual infiltration water content and the distribution of infiltration water in the network.
- The increased inflow of infiltration water beyond the dimensioned value results in an increase in water pollution in stormwater overflow tanks in the combined sewer system.
- To reduce water pollution in stormwater overflow tanks, it is possible to either reduce the volume of infiltration water in the network, to increase the regulated flow to the treatment plant or to enlarge the size of the tank. The only sensible way to determine rehabilitation measures in sewer tunnels and pipelines is by weighing up all the technical and economic aspects and taking into consideration the sewage treatment plant. As when planning new systems, the realistic recording of infiltration water volume and its distribution in the network are necessary conditions of infiltration water rehabilitation. The effects of sewer seals on the local water balance should also be taken into account in deliberations.
- Sewers embedded in the groundwater can have severe effects on the groundwater level due to infiltration. If the leaks are sealed in a rehabilitation measure, the groundwater level can rise as a result, resulting in interactions with buildings (moist cellars, impaired structural stability) and vegetation. This applies both in flatlands and in sloping areas (stratum and percolating water).
- For this reason, rehabilitation measures should always be preceded by a holistic consideration of the effects, taking into account hydrological and geological conditions, especially for sewers located in the groundwater. Holistic means with respect to the effects on building structures and vegetation, but also in conjunction with several (public and private) sewers that interact with each other through the groundwater.
- If it is expected that the rise in groundwater can result in conflict following sewer rehabilitation, an attempt should be made to counter it by drawing up chronological priorities within the sealing measures and/or making alternative measures for diverting the groundwater (e.g. a separate drainage system connected to a suitable receiving water course).
- Groundwater fluctuations that exceed the natural breadth of fluctuation caused by precipitation – as can happen when rehabilitating sewers that formerly had a drainage effect – can have varying effects depending on the adjacent soil. Subsidence in buildings or subsidence cracks in roadways can occur with cohesive soils.
- The interactions between groundwater and the drainage effect of leaking sewers/the effects of rehabilitation measures on the local groundwater level are discussed in the DWA pamphlet DWA-M 182, pages 54 to 56. Possible conflicts of interest are pointed out and reference made to the need for a holistic consideration.

With regard to sealing sewer tunnels and pipelines, it is not just the benefits and risks that are of interest but also the expenditures and emissions incurred when employing certain rehabili-

tation techniques (see Section 2.6). For precisely this purpose, an eco-efficiency assessment was developed for sewer rehabilitation techniques that was applied to specific examples with defined types of damage, rehabilitation techniques and marginal conditions (e.g. inner city area). Evaluation of the case examples (1: comparison of trenchless repair comprising injection, pressing, and short liners on the one hand with repair in open construction based on exchanging the component and outer sleeve by means of a small trench on the other, 2: comparison of trenchless renovation using pipe lining and replacement in open construction) leads to the following conclusions:

- Taking the life-cycle assessment into account, the trenchless repair method in the case example displays benefits compared to the open method. This is particularly apparent in terms of energy and water requirements in the manufacture of the building materials used. Except for the ozone depletion potential, the environmental effects considered in the individual impact categories are smaller with trenchless procedures than with the open method.
- With regard to environmental effects in the direct vicinity of the building site in the case examples, the possible impairments resulting from the trenchless methods considered are lower (number of protected goods affected and intensity of possible impairments) than with open procedures.
- Concerning product system value, the case example of the open repair procedure displays slight advantages over the trenchless repair method. The trenchless renovation method looked at has benefits over open replacement in terms of product system value.
- Despite its disadvantages in terms of product system value, the eco-efficiency of the trenchless repair method in the case example displays advantages (lower values in the life-cycle inventory and impact assessment, benefits in terms of environmental effects in the immediate vicinity) over the open repair procedure and achieves a higher level of eco-efficiency. The eco-efficiency of the trenchless renovation method in the case example displays advantages in the life-cycle assessment, in the environmental effects in the immediate vicinity and in product system value, and is therefore ascribed a higher eco-efficiency than the open replacement method.
- Regarding sustainability, the case example of the trenchless repair method displays a smaller abiotic resource potential than the open repair method as well as slightly higher acceptance on the part of the stakeholder groups and slightly higher costs. Against this background, the trenchless repair method is assessed as more sustainable than the open repair process, despite its disadvantages in terms of product system value. Regarding sustainability, the case example of the trenchless rehabilitation method displays a smaller abiotic resource potential than the open replacement method, as well as higher acceptance on the part of the stakeholder groups and lower costs. Against this background, the trenchless renovation method is in this case assessed as more sustainable than the open replacement process.
- Sewers must be operationally safe, structurally stable, and leakproof over their entire planned service life. The construction and rehabilitation methods offered contribute to the fulfilment of these performance goals in different ways. Since the emphasis in this project is on the effects that sewer sealing has on infiltration, the eco-efficiency assessment described (see above) refers solely to the case of restoring a sewer's leak integrity. This assumes marginal conditions that enable the use of rehabilitation and repair procedures. In particular, it assumes that there will be no changes to the requirements of the network structure in the long term. It is further assumed that measures will only be performed by a single network operator.
- Should the open construction method result in synergies, such as the replacement of gas and water supply lines or the replacement of the road surface, these should be taken

into account in the eco-efficiency assessment. Considerable potential for reducing environmental impacts emerges from the simultaneous laying or replacement of supply and disposal pipelines, similarly resulting in improved eco-efficiency. Another reason why replacement is frequently chosen by sewer network operators is that – unlike with closed methods (rehabilitation and repair) – the result is a sewer that can fully (i.e. also hydraulically) comply with current requirements. Moreover certain damage scenarios barely allow any alternatives to replacement, such as defects in the pipe-soil system (soil caving and adverse soil changes, pipe sag, hollows). It should be borne in mind in practice when selecting a rehabilitation method that in addition to the actual sealing effect, it is also necessary to consider other performance goals in the decision making process, such as the restoration of structural stability and, if applicable, improving hydraulic performance.

- Cost-effectiveness is in turn largely determined by the planning horizon that the rehabilitated system can attain, which can also be affected by demographic developments and the possible consequences of climate change. Again, the open construction method may offer additional flexibility with regard to network expansion or reduction, and it can be expected that this will be accompanied by a higher product system value and eco-efficiency.
- The results of the eco-efficiency assessment only apply to the case examples considered here. It would be incorrect to generalise these results as they only ever refer to the specific marginal conditions at the respective site. For this reason, it is necessary to ascertain the eco-efficiency for each sewer rehabilitation case separately. In individual cases, a transparent, understandable weighting of the product system value factors is absolutely essential.

In the course of assessing eco-efficiency and sustainability, research was also conducted into the environmental compatibility of sewer rehabilitation resources. The results of this research clearly show that pollutant materials are used in the rehabilitation process, which vary depending on the construction method employed (e.g. styrene, bisphenol A, toluol diisocyanate). Since styrene and toluol diisocyanate are present at times in only low concentrations and/or are biodegradable, the environmental impact is classified as slight. No scientific findings on the release of bisphenol A from rehabilitation materials are so far available. It should in general be possible to conduct sewer rehabilitation measures in a due and proper manner such that impacts on the environment can be minimised.

In conclusion, the following **recommendations** can be derived from the findings of the project:

- Legal framework
Legislation currently gives little backing or orientation to local councils for handling rising groundwater levels in the wake of rehabilitation measures. It would be desirable if a legal basis were to be created and orientation aids devised by which to implement expedient, holistic solutions with the aim of being better able to appraise in advance the effects of sewer rehabilitation on rising groundwater and using this as a basis for the subsequent procedures.
- Infiltration from sewer leaks: non-action leads to problems
Infiltrations through leaking sewer tunnels and pipelines that discharge groundwater by virtue of their drainage function can have extensive effects on sewage treatment plants, stormwater retention tanks and the local groundwater balance:
 - Infiltration water impairs the performance of sewage treatment plants (reduced purification performance resulting from dilution) as well as their cost-effectiveness (cost and energy efficiency).

- In a combined sewer system, the increased inflow of infiltration water into stormwater retention tanks, and in particular stormwater overflow basins, results in increased water pollution.
- The local drop in the groundwater table results in risks to the soil, buildings and vegetation, such as the flushing of soil material from the pipeline zone even to the road surface (resulting in the formation of hollows and altered bedding conditions), building subsidence caused by changes to soil characteristics (altered density, 'shrinking process'), and loss of the natural groundwater connection to deep-rooted vegetation, such as trees.

⇒ Measures need to be taken!

But: performing sewer rehabilitation without taking a holistic view can create new problems

If leaks in sewer pipes and tunnels are sealed by way of rehabilitation measures, the result can be a rise in the groundwater level (i.e. a change to the status quo) including interactions with the soil, buildings and vegetation (see Section 2.7). This applies both to flatlands and to sloping areas (stratum and percolating water), by way of:

- Mobilisation (resolution) of inherited waste, soil liquefaction, buoyancy of soil and underground infrastructures (soil),
 - Moistening of buildings, flooding, uplift of buildings caused by changes in soil characteristics (moisture expansion) (buildings),
 - Damage to trees from continuous saturation of the soil, ponding (vegetation).
- Effects of large-scale rehabilitation to be estimated in advance
Before commencing large-scale rehabilitation measures, a holistic consideration of the effects of the measure should always be undertaken, taking into account hydrological and geological conditions; holistic means with respect to the effects on building structures and vegetation but also in conjunction with several (public and private) sewers that interact with each through the ground water.

After undertaking a holistic consideration, it is only possible to derive realistic savings potentials in the treatment plant by recording, presenting and assessing in detail the energy consumptions of all plant components affected by infiltration water.

It is recommended, to use the effluent load from the sewage treatment plant as an official monitoring value rather than the concentration of effluent.

With stormwater retention tanks, it is necessary to weigh up the effects of possible measures for handling infiltration water against each other: increasing the regulated flow to the treatment plant, modifying the size of the tank or, preferably, reducing the inflow of infiltration water.

- Handling infiltration water: additional recommendations for rehabilitation concepts
For efficient sewer rehabilitation, it is necessary to recognise the sources of the extraneous water and their distribution.

In the interest of a holistic consideration, the expenditures involved in sewer sealing are also important: eco-efficiency assessments can be seen as an important orientation aid when selecting a rehabilitation method. This includes a consideration of:

- Life-cycle assessment of used materials and construction process
- Environmental effects,
- Product system value.

Prior to conducting large-scale sewer rehabilitation measures, the possible consequences on the groundwater balance should be estimated. Corresponding damage to buildings and vegetation should be expected as a consequence of the rise in groundwater level. Should a holistic approach be taken in the rehabilitation procedure, immediate measures can be taken that lead to buildings remaining undamaged but still create a considerable reduction in infiltration water. Full sealing of the sewer tunnels and pipelines is only advisable in this case when conducted in conjunction with the construction of a drainage system.

- Responsibility for groundwater management should be clarified
According to current legislation, many of those responsible are under pressure to minimise infiltration water (see Section 2.3, e.g. EWFD requirements, ban on dilution pursuant to AbwV, criminal offence according to StGB if there is knowledge of a leak). Legal and technical regulations leave a certain amount of room for interpretation but give no concrete specifications. In particular, this concerns both the question of who is responsible for groundwater management as well as the legal situation as regards the diversion of infiltrating groundwater to avoid negative consequences of sewer sealing (e.g. wetness in buildings caused by a rise in the groundwater). In areas where water management is problematic, it might make sense under defined marginal conditions to incorporate drainage water in the obligation to dispose of sewage.

The control of groundwater to avoid damaging buildings and vegetation in settlement areas has only been enacted in special cases in Germany. One example of this is the Emscher region. The Emschergenossenschaft ('Emscher Association') has been assigned to perform this task on the basis of the Emscher Association Law (EmscherGG) with regard to the impact of coal mining (§2 des EmscherGG). As already described above, subsidence resulting from coal mining has reduced the distance to the groundwater table over wide areas. However, groundwater levels are being maintained at a harmless level through the activities of the Emschergenossenschaft and the non-rehabilitated public and private sewers. Moreover, the sealing of sewers with their formerly drainage impact leads to an increase in groundwater.

The possible negative consequences of a reduced groundwater table distance are moisture in buildings and damage to vegetation.

Overall it can be determined that in the event of leaking sewer tunnels and pipelines, both action and non-action can have an immense impact. With regard to a holistic approach to infiltration water rehabilitation, there is a great deal of knowledge available, but the question of responsibility and jurisdiction must still be clarified. Moreover, in this context, the financing also has to be secured.

While the exfiltration of sanitary sewage is a local problem, the question of infiltration of groundwater into sewage pipes and tunnels represents an entire systemic problem, since the effects are so diverse (e.g. effects on the operation of sewage treatment plants and discharge structures, effects on the local water balance). This should be taken into consideration when assigning responsibility and formulating requirements.

3 Einleitung

3.1 Hintergrund

Undichte Kanäle im Bereich der öffentlichen Abwasserentsorgung und der Grundstücksentwässerung können je nach örtlichen Gegebenheiten zu Problemen durch Exfiltration von Schmutz- und Mischwasser oder durch Infiltration von Grund-, Schichten- oder Sickerwasser führen. Im vorliegenden Bericht werden die Auswirkungen des in Schmutz- und Mischwasserleitungen infiltrierenden Wassers betrachtet.

Der Bemessungsabfluss für Schmutzwasser (sog. Trockenwetterabfluss) wird aufgrund der Dränagewirkung von undichten Kanälen und evtl. angeschlossener nicht genehmigter Dränagen häufig um ein Vielfaches überschritten.

Ein hoher Fremdwasseranteil kann zu vielfältigen Problemen führen. Nachfolgend werden mögliche Auswirkungen auf Kanal, Kläranlage (siehe Kapitel 6), Entlastungsbauwerke (siehe Kapitel 6.5) sowie örtlichen Wasserhaushalt und damit auf Gebäude und Vegetation (siehe Kapitel 9) untersucht. Im Mischsystem kann es zu vermehrten Mischwasserabschlägen und damit zur zusätzlichen Belastung der Gewässer kommen. Auch auf die Kläranlagenleistung wirkt sich ein erhöhter Fremdwasseranteil negativ aus. Zum einen bewirkt eine Verdünnung und Abkühlung des Abwassers durch Fremdwasser eine Beeinträchtigung der Reinigungsleistung der Kläranlage hinsichtlich der Eliminierung der Schadstofffrachten. Zum anderen erhöht sich der Energiebedarf der Pumpwerke und der Kläranlagen. Es gibt Schätzungen, dass sich der Energiebedarf von Kläranlagen bundesweit durch den Fremdwasseranteil um etwa 15 % erhöht (vgl. UBA 06/2011, Seite 1).

Gemäß Wasserhaushaltsgesetz (WHG) (WHG, § 57) ist Abwasser vor der Einleitung in Gewässer entsprechend dem Stand der Technik zu reinigen. Die Menge und Schädlichkeit des Abwassers ist dabei so gering wie möglich zu halten. Außerdem sind bei der Bestimmung des Standes der Technik auch der Verbrauch an Rohstoffen und die Art der bei den einzelnen Verfahren verwendeten Rohstoffe sowie die Energieeffizienz der möglichen Maßnahmen zu berücksichtigen (vgl. WHG, Anlage 1).

Die EG-Richtlinie über Endenergie und Energiedienstleistungen vom 05.04.2006 (vgl. EDL-RL 2006, Seite L 114/65) fordert für den öffentlichen Bereich die Vorreiterfunktion hinsichtlich der Anwendung energieeffizienter Verfahren. Auch die Maßnahmenprogramme zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) im Bereich Abwasserbeseitigung enthalten in zahlreichen Wasserkörpern der Bundesländer Maßnahmen zur Beseitigung von Fremdwasser zur Reduzierung der Stickstoff- und Phosphor-Einträge. Im Vordergrund stehen dabei insbesondere die Anlagensicherheit und der Umweltschutz.

3.2 Zielstellung

Ziel des Forschungsprojekts ist die Erarbeitung von Vorschlägen für Sanierungsanforderungen, die als Grundlagen in die Entscheidungsgremien für die Neukonzeption der Abwasserverordnung (vgl. AbwV) eingebracht werden sollen. Dazu ist der Einfluss hoher Fremdwasseranteile auf die Leistung der Abwasserbehandlung, auf die Energiebilanz von Kläranlagen sowie auf die Gewässerbelastung durch Mischwasserabschläge darzustellen, wobei der Stand der Technik zu Grunde zu legen ist. Der Auswirkung des Fremdwassers ist die Aufwendung für die Sanierung von Kanälen und Grundstücksentwässerungsleitungen gegenüber zu stellen. In die Betrachtung der Sanierungsaufwendungen sollen die verfügbaren Informationen über Ökoeffizienz und Nachhaltigkeit der Sanierungsmaterialien und -techniken einbezogen und – soweit möglich – bewertet werden. Betrachtet werden sollen ebenfalls mögliche Probleme an Gebäuden und Vegetation durch Fortfall der Dränagewirkung nach Sanierung der undichten Kanäle. Anhand konkreter Fallbeispiele sind die ermittelten Werte und Darstellungen zu verifizieren.

3.3 Vorgehensweise

Zur näheren Untersuchung der Auswirkungen von Kanalabdichtungen gemäß Aufgabenstellung (siehe Kapitel 3.2) hat das Umweltbundesamt das Forschungskonsortium, bestehend aus

- dem IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen (IKT),
- der Professur für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität der Bundeswehr München (SWA),
- der Professur für Wasserwesen und Ressourcenschutz der Universität der Bundeswehr München (WWR),
- der Professur für Umwelttechnik und Ökologie im Bauwesen der Ruhr-Universität Bochum (U+Ö),
- und der Pirker + Pfeiffer Ingenieure GmbH & Co. KG, Münsingen (P+P)

mit dem Forschungsvorhaben „Kanalabdichtungen – Auswirkungen auf die Reinigungsleistung der Kläranlagen und der Einfluss auf den örtlichen Wasserhaushalt“ (FKZ: 37 11 26 326) beauftragt.

Für die praktische Begleitung des Forschungsvorhabens wurden folgende Kläranlagen- und Kanalnetzbetreiber über die gesamte Projektlaufzeit in die Untersuchungen eingebunden:

- Abwasserbetrieb der Stadt Billerbeck,
- Abwasserverband Starnberger See,
- Gemeinde Schwanau.

Mit Blick auf die Fragestellungen zu den Auswirkungen auf den örtlichen Wasserhaushalt (siehe Kapitel 9) konnten im Laufe des Projektes die Emschergenossenschaft (EG) und die Göttinger Entsorgungsbetriebe (GEB) für eine Mitwirkung im Projekt gewonnen werden.

Die projektbeteiligten Institutionen aus Forschung und Praxis haben im Rahmen des Vorhabens unter Projektleitung des IKT unterschiedliche Fragenstellungen unter Anwendung unterschiedlicher Methodiken zu den Auswirkungen der Kanaldichtheit bearbeitet. Tabelle 1 gibt dazu einen Überblick.

Tabelle 1: Überblick zu den Projekthalten, angewandter Methodik und beteiligten Institutionen

Fragestellungen / Projekthalte	Methodik	Institution
Zusammenstellung vorhandener Daten und Berichte zur Situation der Kanäle und Grundstücksentwässerungsleitungen in Deutschland (vgl. Kapitel 4.1, Seite 63)	Literatur- und Internetrecherche	• IKT
Auswahl der Modellkommunen (vgl. Kapitel 4.2, Seite 72)	Zusammenstellung und Bewertung von Informationen zur Situation in den Modellkommunen	• IKT
Zusammenstellung von rechtlichen Regelungen und technischem Regelwerk bzgl. Dichtheit und Sanierung von öffentlichen und privaten Kanälen (vgl. Kapitel 4.3, Seite 77)	Literatur-, Regelwerks- und Internetrecherche	• IKT

Fragestellungen / Projekthalte	Methodik	Institution
Untersuchungen zu den Auswirkungen der Kanaldichtheit auf die Reinigungsleistung sowie die Kosten- und Energieeffizienz von Kläranlagen mit kommunalem Abwasser (vgl. Kapitel 6, Seite 106)	Auswertung vorhandener Daten der Kläranlage Starnberger See, Verifizierung der ermittelten Daten und Zusammenhänge durch Analyse abgeschlossener Untersuchungen aus der Literatur am Beispiel der Kläranlage Billerbeck	<ul style="list-style-type: none"> • SWA • Abwasserverband Starnberger See • Billerbeck
Untersuchungen zu den Auswirkungen der Kanaldichtheit auf notwendige Entlastungsbauwerke und Mischwasserabschläge (vgl. Kapitel 6.5, Seite 150)	Simulation von Schmutzfrachtberechnungen am Beispiel der Entlastungsbauwerke in Schwanau und Auswertung der Simulationsergebnisse, Verifizierung der Zusammenhänge mit Hilfe von Schmutzfrachtberechnungen am Beispiel der Entlastungsbauwerke in Billerbeck	<ul style="list-style-type: none"> • P+P • Schwanau • Billerbeck
Erarbeitung einer Systematik zur Beurteilung der Kosten- und Ökoeffizienz bzw. Nachhaltigkeit von Kanalsanierungstechniken anhand konkreter Schadens- und Sanierungsszenarien (vgl. Kapitel 8, Seite 175)	Zusammenstellung von Sanierungstechniken, Analyse von Normen und Literaturquellen zur Ökoeffizienzbewertung, Festlegung von Kriterien für eine Bewertung, beispielhafte Bewertung der Ökoeffizienz konkreter Sanierungstechniken	<ul style="list-style-type: none"> • U+Ö • IKT
Darstellung der Auswirkungen der Kanalabdichtungen auf den örtlichen Wasserhaushalt mit Berücksichtigung möglicher Vegetations- und Gebäudeschäden (vgl. Kapitel 9, Seite 216)	Recherche von Praxisbeispielen, Simulation, Analyse und Verifizierung der Auswirkungen anhand konkreter Fallbeispiele der Emschergenossenschaft und der Göttinger Entsorgungsbetriebe	<ul style="list-style-type: none"> • WWR • EG • GEB
Projektleitung und -koordination	-	<ul style="list-style-type: none"> • IKT

4 Situation der Kanalisation und Fremdwasseraufkommen in Deutschland

4.1 Allgemeine Situation

Die Situation und der Zustand der öffentlichen Kanäle und Grundstücksentwässerungsleitungen in Deutschland wurden in den letzten Jahren in diversen Erhebungen erfasst und in Veröffentlichungen beschrieben. Einen Überblick dazu gibt Tabelle 2.

Die Bauwerke der Kanalisation sind in der Fachwelt immer mehr in den Fokus gerückt. Dies ist zum einen auf die Verschärfung gesetzlicher Auflagen in der Umweltgesetzgebung zurückzuführen, z.B. die Einführung von Eigenkontrollverordnungen in den Bundesländern und die damit verbundene Dokumentations- und Berichtspflicht der Betreiber hinsichtlich des Zustandes und der Funktionsfähigkeit von Abwasserbauwerken. Zum anderen haben aber auch viele Abwasserkanäle und -leitungen aufgrund der baulichen Alterung einen Zustand erreicht, der einen entsprechenden Inspektions- und Sanierungsbedarf mit sich bringt.

Tabelle 2: Veröffentlichungen zum Zustand der Abwasserkanäle u. -leitungen in Deutschland (Beispiele)

Erhebung / Umfrage	Erhebungsgebiet	Stand
Beseitigung von kommunalen Abwässern in Hessen – Lagebericht 2010, Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz; Juni 2011.	Hessen	2010
Zustand der Kanalisation in Deutschland, Ergebnisse der DWA-Umfrage 2009, Berger, C; Falk, C., Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.	Deutschland	2009
Zustand der Abwasserkanalisation in Mecklenburg-Vorpommern, Bearbeitung: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Landesverband Nord-Ost; Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz, Mecklenburg-Vorpommern.	Mecklenburg-Vorpommern	2009
Erfassung des Zustandes der kommunalen Kanalisation in Sachsen-Anhalt, Abschlussbericht, Landesamt für Umweltschutz, Sachsen-Anhalt, Fachbereich 2, September 2009.	Sachsen-Anhalt	2009
Zustand der Kanalisation in Bayern, im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU), Puhl, R., IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Neubiberg b. München (unveröffentlicht)	Bayern	2008
Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserentsorgung – Strukturdaten zur Wasserwirtschaft, Statistisches Bundesamt, Fachserie 19, Reihe 2.1.3, Wiesbaden 2013.	Deutschland	2010
Marktumfrage Bauinvestitionen der Kanalnetzbetreiber, Studie des IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, im Auftrag der Steinzeug Abwassersysteme GmbH, Frechen.	Deutschland	2007
Umsetzung der Selbstüberwachungsverordnung Kanal (SüwVKan) bei den kommunalen Netzbetreibern und Wasserverbänden in NRW, Bosseler, B; Birkner, T.; Sokoll, O.; Brüggemann, T.; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen.	Nordrhein-Westfalen	2003

Im Kapitel 4.1.1 bis 4.1.6 wird die Situation der öffentlichen und privaten Kanalisation in Deutschland beschrieben. Hierbei stehen im Wesentlichen folgende Größen und Kriterien im Vordergrund:

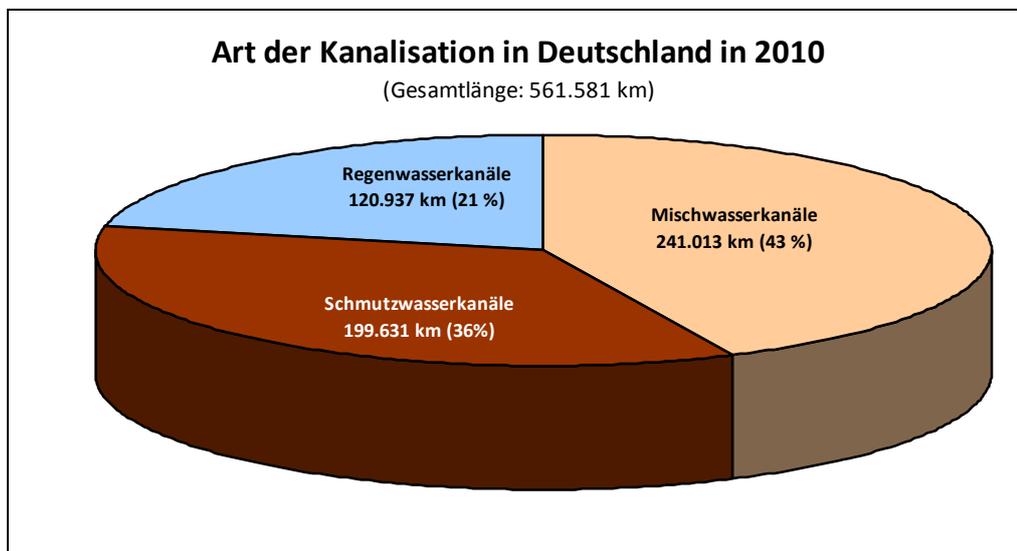
- Länge und Entwässerungsart (Misch-, Schmutz- und Regenwasserkanäle)
- Altersverteilung
- Rohrmaterialien
- Schäden, Schadensverteilung und Zustandsklassifizierung
- Fremdwasseraufkommen und dessen Herkunft
- Einfluss von Fremdwasser auf Entlastungsbauwerke

Die nachfolgenden Ausführungen zur Situation der Kanalisation in Deutschland (vgl. Kapitel 4.1.1 bis 4.1.6) und zum Fremdwasseraufkommen stützen sich im Wesentlichen auf bereits durchgeführte Erhebungen des Statistischen Bundesamtes und der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA). Im Gegensatz zu vielen anderen Veröffentlichungen beziehen sich die Informationen dieser Publikationen auf das gesamte Bundesgebiet. Die DWA und das Statistische Bundesamt führen in regelmäßigen Abständen Erhebungen durch, so dass auf relativ aktuelle Informationen zurückgegriffen werden kann.

4.1.1 Länge und Entwässerungsart

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes wies das öffentliche Kanalnetz im Jahr 2010 eine Gesamtlänge von 561.581 km auf (vgl. Statistisches Bundesamt 2013, Seite 42). Die Entwässerungsart (Mischwasser-, Regenwasser- und Schmutzwasserkanäle) und deren Anteil am Gesamtnetz sind in Abbildung 1 entsprechend dargestellt.

Abbildung 1: Art der Kanalisation in Deutschland in 2010



Datengrundlage aus (Statistisches Bundesamt 2013, Seite 42)

Mit Blick auf die Fremdwasserproblematik sind insbesondere die schmutzwasserführenden Leitungen (Mischwasser- und Schmutzwasserkanäle) von Bedeutung, da hier unmittelbare Auswirkungen auf den Betrieb von Kläranlagen und Entlastungsbauwerken zu erwarten sind. Der Anteil schmutzwasserführender Leitungen liegt bei ca. 80 % (440.644 km) des Gesamtnetzes. Der örtliche Wasserhaushalt kann hingegen nicht nur durch schadhafte Misch- und Schmutz-

wasserkanäle beeinflusst werden, sondern auch durch defekte Regenwasserleitungen. Auch hier kann infiltrierendes Grund-, Schichten- oder Sickerwasser zu einem erhöhten Fremdwasseraufkommen führen und die stoffliche und die hydraulische Belastung der oberirdischen Gewässer erhöhen, in die das Regenwasser eingeleitet wird.

Die Grundwasserqualität kann Auswirkungen auf die stoffliche Belastung der Gewässer haben. Die chemische Beschaffenheit des infiltrierenden Grundwassers kann unterschiedliche Ursachen haben. Zu unterscheiden sind Stoffe geogener Herkunft, das sind Mineralstoffe, die das Grundwasser auf seinem Weg durch die Bodenhohlräume aufnimmt. Im Gegensatz dazu gelangen aber auch anthropogene Stoffe durch menschliche Aktivitäten ins Grundwasser. Dies können Dünge- oder Pflanzenschutzmittel aus der Landwirtschaft, aber auch Streusalz oder Mineralöle sein (BMU 2008, Seite 13).

Nitrat aus Düngemitteln gelangt ins Grundwasser und kann nicht nur die Trinkwasseraufbereitung sondern auch die Gewässerqualität negativ beeinflussen. Kommt es zur Nährstoffanreicherung im Gewässer, so kann dies zur Eutrophierung führen (BMU 2008, Seite 32). Diese Auswirkungen können auch bei einem Rückgang des Nitratsatzes in der Landwirtschaft noch anhalten, da Nitrat sich im Boden anreichern kann.

Bei Düngung mit Gülle kann es zum Eintrag von Tierarzneimitteln kommen (BMU 2008, Seite 40).

Auch Pflanzenschutzmittel können über das infiltrierte Grundwasser in die Gewässer gelangen.

Ein besonderes Gefährdungspotenzial für die Grundwasserqualität besteht je nach Grundwasserstand im Bereich von Altlastenstandorten oder Deponien. Schadstoffe können auch durch Unfälle, bei denen wassergefährdende Stoffe wie z.B. Produkte der Mineralöl und Chemieindustrie zusammen mit dem Niederschlagswasser in Boden und Grundwasser gelangen. Allerdings gelangten bei meldepflichtigen Unfällen von 2002 bis 2005 im Durchschnitt nur 4 % der wassergefährdenden Stoffe in das Grundwasser (BMU 2008, Seite 39/40).

Neben der Qualität kann auch die Quantität des als Fremdwasser ins Gewässer eingeleiteten Grundwassers zu einer Belastung des Gewässers führen. Dies ist der Fall, wenn Regenwasserbehandlungsanlagen hydraulisch überlastet sind und dadurch die Reinigungsleistung sinkt.

Nach Auskunft von Herrn Diefenthal von Straßen NRW und Mitglied der DWA-Arbeitsgruppe ES-3.5 („Systembezogene Anforderungen und Grundsätze“, Fachausschuss ES-3 „Anlagenbezogene Planung“,Hauptausschuss „Entwässerungssysteme“), die derzeit das Merkblatt DWA-M 178 „Empfehlungen für Planung, Bau und Betrieb von Retentionsbodenfiltern zur weitergehenden Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem“ (DWA-M 178, 2005) überarbeitet, „sind Retentionsbodenfilteranlagen empfindlich gegenüber Über- und Unterbelastungen (Diefenthal, 2014). Beide Situationen können im Extrem zum vollständigen Versagen bzw. zur Zerstörung des Filters führen. Da sowohl das abgetrennte Sediment wie auch die Vegetationsreste des Schilfs im Filter verbleiben, ist ein intermittierender Betrieb mit ausreichend langen Trockenphasen zwingend erforderlich, um die Mineralisierung unter aeroben Bedingungen zu gewährleisten. Ständige Fremdwasserzuflüsse sind daher immer mit negativen Auswirkungen auf den Retentionsbodenfilter verbunden.“

Statistische Hochrechnungen für das Bundesland Bayern (Puhl, 2008, Seite 30/31) haben ergeben, dass ca. 20% der öffentlichen Mischwasser- und Schmutzwasserkanäle im Grundwasser bzw. Grundwasser-Schwankungsbereich liegen. Statistisch abgesicherte Daten für Deutschland liegen nicht vor. Überträgt man aber die Grundwasserverhältnisse aus Bayern auf das gesamte Bundesgebiet, liegen ca. 88.000 km öffentlicher Misch- und Schmutzwasserkanäle im Grundwasser bzw. Grundwasser-Schwankungsbereich.

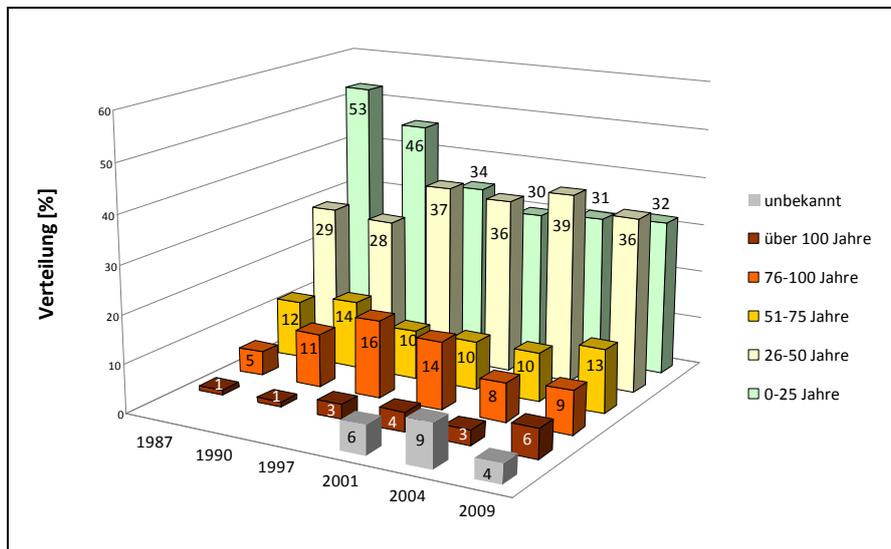
Über die Länge der Grundstücksentwässerungsleitungen in Deutschland liegen derzeit nur unzureichende Informationen vor. Zu diesem Schluss kommt auch die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) in einer Umfrage zum Zustand der Kanalisa-

tion (Berger/Falk 2009, Seite 11). Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass die große Mehrheit privater Grundstücksentwässerungsleitungen von den Eigentümern noch nicht inspiziert und erfasst wurde. Die Umfrage der DWA (Berger/Falk 2009, Seite 13) zeigt, dass die Länge der privaten Entwässerungsleitungen zwischen 39 und 57 m je Grundstück beträgt. Die Gesamtlänge der Grundstücksentwässerungsleitungen in Deutschland wird auf 1,0 bis 1,5 Mio. km geschätzt (vgl. Bosseler/Beck 2012, Seite 2).

4.1.2 Altersverteilung

Für die Untersuchungen zur Entwicklung der Altersverteilung wurden die Kanäle in verschiedene Altersklassen (0-25 Jahre, 25-50 Jahre, 50-75 Jahre, 75-100 Jahre, über 100 Jahre und unbekannt) eingeteilt. Als Grundlage hierfür wurden die Daten von mehreren Veröffentlichungen der DWA aus den Jahren 1987 (Keding/Stein 1987, Seite 119), 1990 (Keding/van Riesen 1990, Seite 1149), 1997 (Dyk/Lohaus 1997, Seite 3), 2001 (Berger/Lohaus 2001, Seite 3), 2004 (Berger/Lohaus 2004, Seite 5) und 2009 (Berger/Falk 2009, Seite 5) verwendet. In Abbildung 2 wird deutlich, dass sich die Altersverteilung über die Jahre hinweg geringfügig geändert hat.

Abbildung 2: Entwicklung der Altersverteilung der Kanalisation in Deutschland von 1987 bis 2009



Datengrundlage aus (Keding/Stein 1987, Seite 119; Keding/van Riesen 1990, Seite 1149; Dyk/Lohaus 1997, Seite 3; Berger/Lohaus 2001, Seite 3; Berger/Lohaus 2004, Seite 5; Berger/Falk 2009, Seite 5)

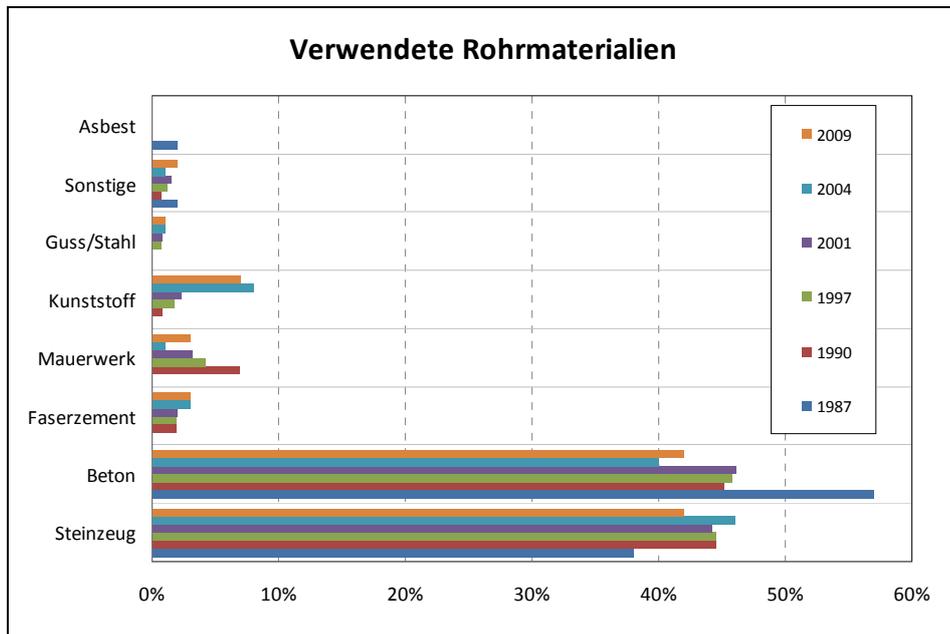
Der Anteil an Kanälen mit dem Alter von 0-25 Jahren hat sich insbesondere in den Jahren von 1987 bis 1997 stark verringert. Dies ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass die Mehrzahl der Abwasserkanäle und -leitungen im allgemeinen Bauboom der 60er Jahre errichtet wurden, z.B. im Zuge von Neuerschließungen und beim Bau neuer Straßen. Es wird deutlich, dass diese Kanäle im gleichen Zeitraum (1987 bis 1997) in die nächste Altersklasse von 26-50 Jahren aufsteigen.

Darüber hinaus ist auch erkennbar, dass in den Jahren von 1987 bis 2009 eine stetige Zunahme von Abwasserkanälen und -leitungen der Altersklasse mit einem Alter von über 100 Jahren zu verzeichnen ist. Hierbei handelt es sich um die ersten klassischen Abwassersammler – in der Regel Großprofile aus Mauerwerk – die in den Städten Ende des 19. Jahrhunderts bis Anfang des 20. Jahrhunderts errichtet wurden. Aufgrund der dichten Bebauung in den Innenstädten ist die Reparatur oder Renovierung dieser Bauwerke für die Betreiber oftmals mit geringerem Aufwand verbunden als die Erneuerung in offener Bauweise.

4.1.3 Rohrmaterialien

Aus Abbildung 3 geht hervor, dass die verwendeten Rohrmaterialien für Abwasserleitungen und -kanäle sich über die Jahre geringfügig geändert haben. Während im Jahr 1987 mit 57% Beton als Rohrwerkstoff die Liste anführte, sank diese Zahl in 2009 auf 42%. Dieser Rückgang ist u. a. darauf zurückzuführen, dass sich zwischenzeitlich neue Rohrmaterialien am Markt etabliert haben. Aus Abbildung 3 geht jedoch auch hervor, dass Steinzeug und Beton immer noch die meistverwendeten Materialien sind. Im Falle von Kunststoff kann von einer starken Zunahme von 1990 bis 2009 gesprochen werden, mit einem Anteil von derzeit etwa 8% an der Gesamtlänge. Asbest wird seit den 90er Jahren nicht mehr eingesetzt. Eine Neuverlegung von Asbestzementrohren ist seit dem 01.01.1995 nicht mehr erlaubt (vgl. LFU 2010, Seite 2).

Abbildung 3: Für die Kanalisation verwendete Rohrmaterialien im Verlauf von 1987 bis 2009, in [%] der Gesamtlänge

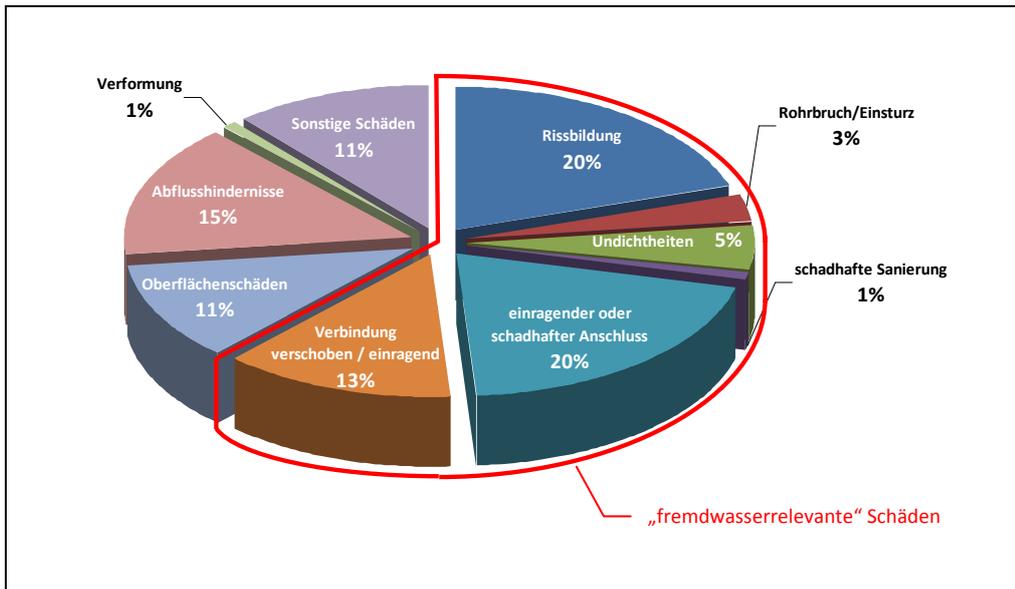


Datengrundlage aus Datengrundlage aus (Keding/Stein 1987, Seite 119; Keding/van Riesen 1990, Seite 1149; Dyk/Lohaus 1997, Seite 3; Berger/Lohaus 2001, Seite 3; Berger/Lohaus 2004, Seite 5; Berger/Falk 2009, Seite 5)

4.1.4 Schäden, Schadensverteilung und Zustandsklassifizierung

In Kanälen können unterschiedliche Schäden auftreten. Diese werden im Merkblatt ATV DVWK M143-1 klassifiziert und beschrieben (ATV DVWK M 143-1, Seite 29, Anhang A). Mit Hilfe dieser Klassifizierung wurde im Rahmen der DWA-Umfrage 2009 (Berger/Falk 2009, Seite 7) die Schadensverteilung an öffentlichen Kanälen erhoben. Der Umfrage nach sind Rissbildungen und einragende/schadhafte Anschlüsse am häufigsten aufgetreten; gefolgt von Schäden durch Abflusshindernisse (Wurzeln/Ablagerungen), Oberflächenschäden und Verbindungsfehler (Abbildung 4).

Abbildung 4: Festgestellte Schäden an Abwasserkanälen und -leitungen in 2009



modifiziert, entnommen aus Berger/Falk 2009, Seite 7 und DWA M 182 2012, Seite 14

Die für einen Fremdwassereintritt relevanten Schäden sind als „fremdwasserrelevante Schäden“ gekennzeichnet. Der Anteil solcher Schäden an den insgesamt festgestellten Schäden beträgt bei öffentlichen Kanälen rd. 62 % (vgl. Abbildung 4) und bei Schächten rd. 30 % (Berger/Falk 2009, Seite 7 und DWA M 182, 2012, Seite 14). Schäden, die als „fremdwasserrelevant“ eingestuft werden können, sind Schäden durch Rissbildung, Rohrbruch/Einsturz, Undichtheiten, schadhafte Sanierung, einragender oder schadhafter Anschlüsse sowie Schäden durch verschobene/einragende Verbindungen.

Die Erkenntnisse aus der Inspektion über den baulichen Zustand (Zustandserfassung) sind neben hydraulischen und umweltrelevanten Aspekten maßgebend für die Beurteilung des Ist-Zustandes (DIN EN 752, Seite 30 und DWA M 149-3 Seite 11) und für die Sanierungsplanung. Zur Beschreibung der bei der Inspektion erkennbaren Schäden und Auffälligkeiten ist die fach- und sachgerechte Anwendung des Kodiersystems nach DIN EN 13508-2 unter Berücksichtigung des Merkblattes DWA-M 149-2 erforderlich. Basierend auf den Ergebnissen der Kamerabefahrung kann unter Berücksichtigung der maßgeblichen Randbedingungen und der Auswirkungen auf Dichtheit, Standsicherheit und Betriebssicherheit eine Abschätzung eines Gefährdungspotenzials und eine Klassifizierung des Einzelschadens vorgenommen werden. Im Merkblatt DWA-M 149-3 (vgl. DWA-M 149-3, Seite 24) werden entsprechende Zustandsklassen für Schäden definiert (vgl. auch Kapitel 5.2.2.5):

- Zustandsklasse 0 (ZK 0): sehr starker Mangel
- Zustandsklasse 1 (ZK 1): starker Mangel
- Zustandsklasse 2 (ZK 2): mittlerer Mangel
- Zustandsklasse 3 (ZK 3): leichter Mangel
- Zustandsklasse 4 (ZK 4): geringfügiger Mangel

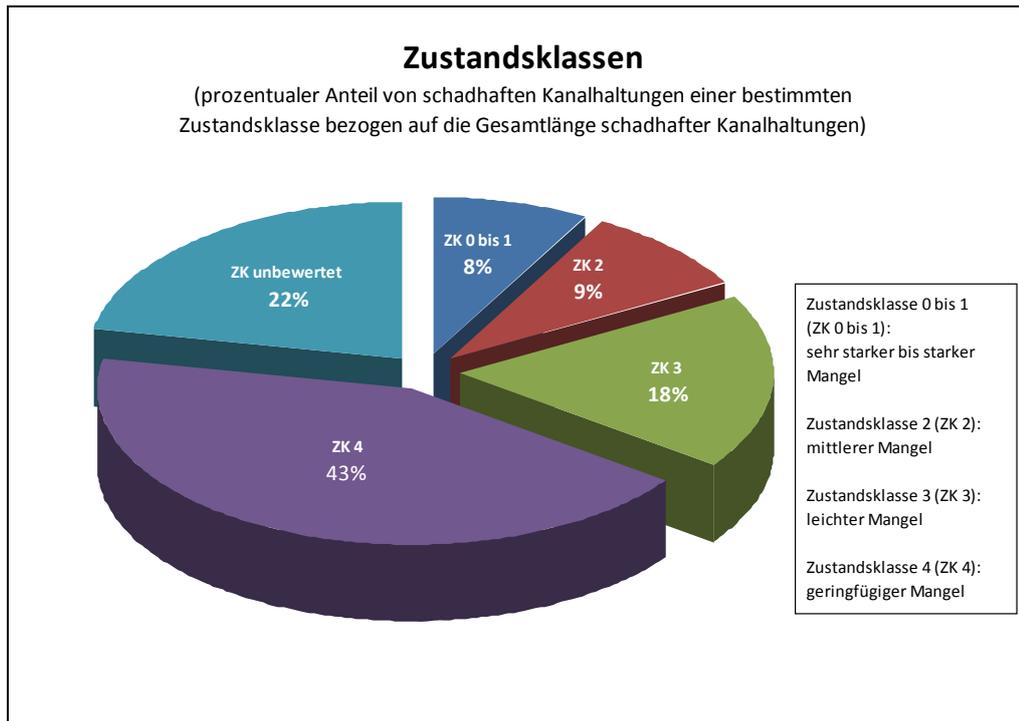
Um nicht nur Einzelschäden, sondern das gesamte Objekt (z.B. Abwasserkanal oder Schacht) beurteilen zu können, werden die Ergebnisse der Klassifizierung der Einzelschäden verdichtet unter Beachtung des größten Einzelschadens, der Häufigkeit und des Ausmaßes der weiteren Schäden sowie der Längenausdehnung der Einzelschäden. Daraus lässt sich die Klassifizierung des Objektes ermitteln.

Die genaue Vorgehensweise zur Ermittlung des baulichen/betrieblichen Sanierungsbedarfs wird in DWA M 149-3 beschrieben.

Laut DWA-Umfrage 2009 (vgl. Berger/Falk 2009, Seite 7) ergibt sich bei 17% der inspizierten Netzkilometer (Zustandsklasse ZK 0 bis ZK 2) ein kurz- bzw. mittelfristiger Sanierungsbedarf (vgl. Abbildung 5).

Statistisch abgesicherte Informationen über den Zustand der privaten Grundstücksentwässerungsanlagen in Deutschland existieren nicht (vgl. Kapitel 4.1.1).

Abbildung 5: Prozentuale Verteilung der Zustandsklassen von Abwasserkanälen und -leitungen in 2009



modifiziert, entnommen aus (Berger/Falk 2009, Seite 8)

4.1.5 Fremdwasseraufkommen und dessen Herkunft

Gemäß DWA-M 182 ist Fremdwasser das „in Abwasseranlagen abfließende Wasser, welches weder durch häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch in seinen Eigenschaften verändert ist noch bei Niederschlägen von bebauten oder befestigten Flächen gesammelt und bestimmungsgemäß eingeleitet wurde. Fremdwasser erfordert auf Grund seiner Qualität keine Abwasserbehandlung, erschwert diese bzw. belastet aufgrund seiner Quantität Abwasseranlagen unnötig und ist unter dem Aspekt des Gewässerschutzes zu vermeiden“ (vgl. DWA-M 182, Seite 9).

In Misch- und Trennsystemen sind Ursache und Herkunft des Fremdwassers unterschiedlich. Die verschiedenen Fremdwasserkomponenten sind in Tabelle 3 aufgeführt. Es ist ersichtlich, dass das über undichte Kanäle zufließende Wasser nur ein Bestandteil des Fremdwassers ist. Über den Einfluss der einzelnen Fremdwasserkomponenten auf die Höhe des Fremdwasseraufkommens für das Bundesgebiet gibt es keine Angaben.

Das Fremdwasseraufkommen wird i. d. R. als Fremdwasserzuschlag (FWZ) oder als Fremdwasseranteil (FWA) dargestellt.

Der Fremdwasserzuschlag (FWZ) wird gemäß DWA-M 182 (Seite 11) als das Verhältnis zwischen dem Fremdwasserabfluss ($Q_{F,PM}$) und dem Schmutzwasserabfluss ($Q_{S,PM}$) aus dem oberhalb eines

Messpunktes liegenden Einzugsgebiet definiert. Im Gegensatz zum Fremdwasseranteil (FWA) kann er auch Werte über 100 Prozent erreichen.

Tabelle 3: Fremdwasserkomponenten in Entwässerungssystemen [vgl. DWA- M 182]

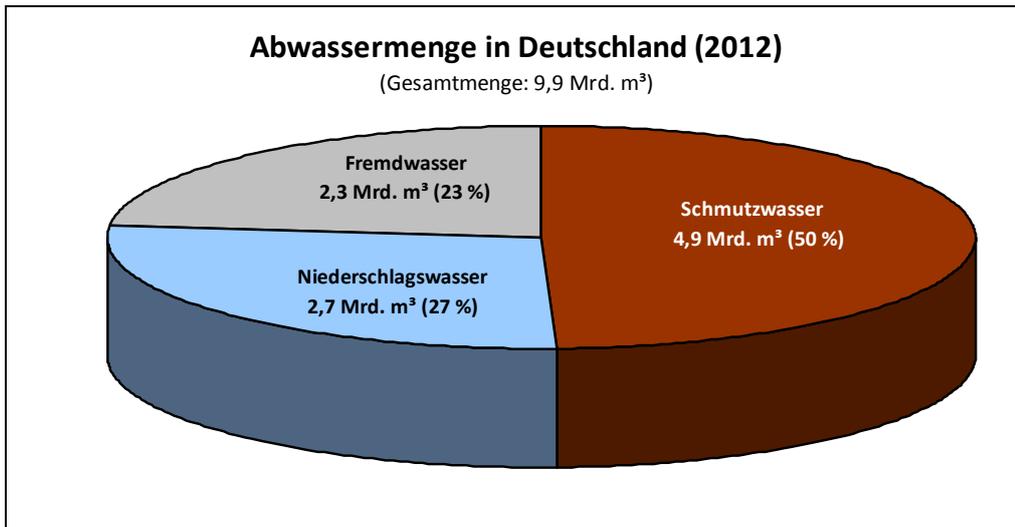
Fremdwasserkomponente		Mischsystem	Trennsystem	
		Mischwasserkanalnetz	Schmutzwasserkanalnetz	Regenwasserkanalnetz
Eindringendes Grundwasser (über Undichtheiten)	Grundwasserbedingtes Fremdwasser	X	X	X
Zufließendes Dränwasser		X	X	X*)
Zufließendes Bach- und Quellwasser und übertretendes Hochwasser		X	X	X*)
Zufließende Oberflächenabflüsse von Außengebieten, die nicht planmäßig durch die Kanalisation entwässert werden sollen	Niederschlagswasserbedingtes Fremdwasser	X	X	X
Zufließendes Niederschlagswasser über Schachtabdeckungen oder Fehleinleitungen, Überläufe von Versickerungsanlagen				X
ANMERKUNGEN				
X	Die Fremdwasserkomponente gilt als Fremdwasser in dieser Kanalart			
*)	Die Zulässigkeit der Einleitung von Dränage-, Quell- und Bachwasser in Regenwasserkanäle ist im Einzelfall zu prüfen.			

Der Fremdwasseranteil (FWA) ist das Verhältnis zwischen dem Fremdwasserabfluss ($Q_{F, pM}$) und der Summe aus Fremd- und Schmutzwasserabfluss ($Q_{F, pM} + Q_{S, pM}$) aus dem oberhalb eines Messpunktes liegendem Einzugsgebietes (DWA-M 182, Seite 11). Er kann definitionsgemäß maximal 100 Prozent betragen.

Mit der Angabe des FWA oder des FWZ eines Einzugsgebietes ist immer der zugrundeliegende Erfassungszeitraum (Periode der Abflussauswertung) zu nennen. Sinnvolle und oftmals verwendete Werte sind z. B. der (maximale) tägliche, monatliche oder jährliche FWA.

Ein Eindruck von der Größenordnung des Fremdwasseraufkommens in Deutschland ergibt sich u. a. bei Auswertung der Zahlen des statistischen Bundesamtes für 2012 (Statistisches Bundesamt 2012, Seite 450). Anhand Abbildung 6 wird deutlich, dass im Bundesdurchschnitt der Anteil des Fremdwassers an der Abwassermenge in den öffentlichen Entsorgungssystemen bei 23 % liegt.

Abbildung 6: Fremdwasseraufkommen und Abwassermenge in Deutschland



Datengrundlage aus (Statistisches Bundesamt 2012, Seite 450)

Ein Grenzwert, bei dessen Überschreitung der Fremdwasserabfluss für ein bestimmtes Gebiet zum Problem wird, kann nicht pauschal festgelegt werden.

Auch im DWA-M 182 wird bewusst kein Grenzwert für einen „zulässigen“ Fremdwasserabfluss in Entwässerungssystemen genannt. Hier heißt es [DWA M 182, Seite 31]:

„In den allgemein anerkannten Regeln der Technik werden keine konkreten Grenzwerte für einen zulässigen Fremdwasserabfluss genannt. Neben festgelegten Anforderungen zu Bau und Betrieb von Abwasseranlagen, zu denen z. B. die Dichtheit eines Kanalnetzes gehört, wird in der Abwasserverordnung (§ 3 Abs. 3 AbwV) festgelegt, dass die in den Anhängen festgelegten Anforderungen nicht durch „Verdünnung“ erreicht werden dürfen. Wann wiederum eine unzulässige Verdünnung gemäß dem Stand der Technik vorliegt, ist nicht bundesweit, sondern nur z. B. in Wasser- und Abwasserabgabengesetzen einiger Bundesländer festgelegt. Kann ein Kanalnetz- oder Kläranlagenbetreiber die Anforderung eines dichten Kanalnetzes nicht einhalten oder Mindestablaufkonzentrationen einer Kläranlage infolge einer vorhandenen Fremdwasserproblematik nur durch „Verdünnung“ erreichen, so erfordert dies eine Reduzierung des Fremdwasseraufkommens. Gleichfalls ist bei einem erhöhten Fremdwasseraufkommen vielfach festzustellen, dass die Abwasseranlagen nicht das erwartete (regelkonforme) Betriebsverhalten aufweisen und daraus Belastungen für die Umwelt entstehen. Diese Anlagen entsprechen dann nicht den Regeln der Technik. Dies erfordert dann eine Ertüchtigung der Abwasseranlagen (soweit möglich) bzw. die Reduzierung des Fremdwasseraufkommens.“

4.1.6 Einfluss von Fremdwasser auf Entlastungsbauwerke

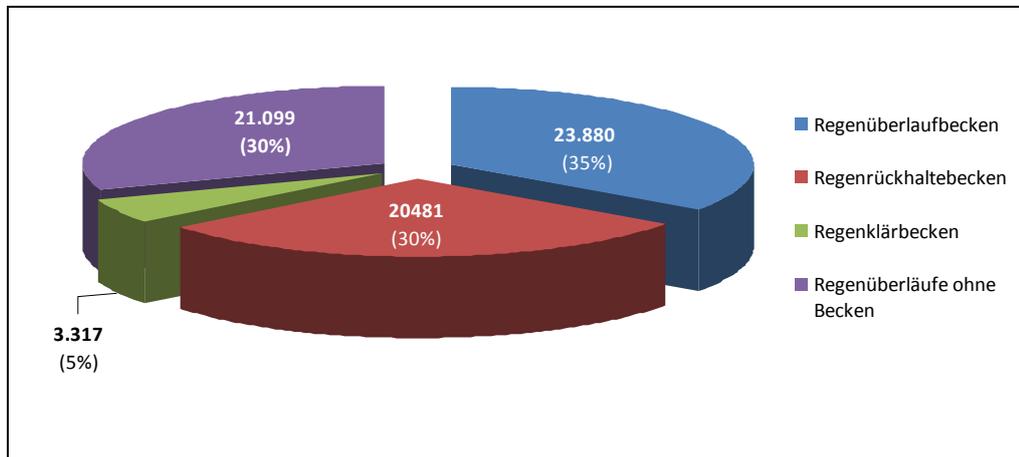
Regenentlastungsanlagen haben regulierende Funktionen im Gesamtentwässerungssystem. Abhängig vom Entwässerungssystem dienen Sie zum Abschwächen der hydraulischen Spitzen in Abwasserkanälen/-leitungen, Kläranlagen und Gewässereinleitungen aber auch zur Reduzierung der Schmutzstoffeinleitung in Gewässer.

Die Bauweisen der Regenwasserbauwerke unterscheiden sich gemäß Arbeitsblatt DWA-A 166, „Entwurf, Bauwerke der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung“ (vgl. DWA A 166, Seite 17) nach dem Entwässerungssystem, der Funktion (Regenüberlaufbecken, Staumkanäle, Regenrückhalteanlagen, Regenklärbecken und Retentionsbodenfilteranlagen), der Art (z.B. Fangbecken, Durchlaufbecken, Verbundbecken) und der Anordnung (z.B. Hauptschluss, Nebenschluss). Im Arbeitsblatt der DWA-A 166 finden sich folgende Definitionen:

- Bei einem Regenüberlauf (RÜ) handelt es sich um ein Entlastungsbauwerk ohne zusätzlichen Speicherraum, das den kritischen Mischwasserabfluss im Kanalnetz weiterleitet.
- Das Regenüberlaufbecken (RÜB) ist ein Sammelbegriff für Becken mit Entlastungsfunktion sowie Rückhaltung und/oder Behandlung von Mischwasser.
- Bei einem Regenrückhaltebecken (RRB) handelt es sich um ein Speicherbauwerk im Kanalnetz oder nach Entlastungsanlagen im Misch- oder Trennsystem ohne planmäßige Entlastungsfunktion, jedoch mit Notüberlauf.
- Ein Regenklärbecken (RKB) ist ein Durchlaufbecken im Regenwasserkanal eines Trennsystems, das Regenwasser grob entschlammt und gleichzeitig Schwimm- und Schwerstoffe zurückhält.

Abbildung 7 gibt einen Überblick über die Anzahl der verschiedenen Arten von Regenentlastungsbauwerken.

Abbildung 7: Anzahl der Regenentlastungsanlagen der Kanalisation und der Abwasserbehandlungsanlagen in Deutschland



Datengrundlage aus (Statistisches Bundesamt 2013, Seite 16)

Ein hoher Fremdwasseranteil, der über dem bei der Bemessung angesetzten Wert liegt, führt in der Regel vermehrt zu Mischwasserabschlägen an den Entlastungsbauwerken. Die Einleitungsmengen beeinflussen die Gewässerqualität in Deutschland.

4.2 Situation in den Modellgebieten

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden die Auswirkungen von Kanalabdichtungen anhand bestimmter Modellgebiete von folgenden Abwasserbetrieben und Kommunen näher betrachtet:

- Abwasserbetrieb der Stadt Billerbeck (Nordrhein-Westfalen)
- Abwasserverband Starnberger See (Bayern)
- Gemeinde Schwanau (Baden-Württemberg)

Als Auswahlkriterien wurde neben der geographischen Lage und den damit verbundenen unterschiedlichen hydrogeologischen Randbedingungen (siehe Tabelle 4, Seite 76) und den unterschiedlichen gesetzlichen Vorgaben im Landeswasserrecht auch die Qualität des vorhandenen Datenbestandes zu den Abwasserbauwerken und zur Fremdwassersituation zu Grunde gelegt.

Alle drei ausgewählten Betreiber haben gemein, dass sie sich aufgrund eines hohen Fremdwasserzuflusses zum Handeln veranlasst sahen. So wurden beispielsweise umfangreiche Sanierungskonzepte – auch unter Einbeziehung der privaten Grundstücksentwässerungsleitungen – erarbeitet und erste Sanierungsmaßnahmen durchgeführt. Darüber hinaus stand für die Verantwortlichen immer auch die Sensibilisierung der Öffentlichkeit für das Thema Fremdwasser im Vordergrund. Die Fremdwasserproblematik und die Vorgehensweise zur Problembekämpfung in den ausgewählten Modellgebieten wird in Kapitel 4.2.1 bis 4.2.3 detailliert beschrieben. In Kapitel 4.2.4 erfolgt eine Zuordnung der Modellgebiete zu den einzelnen Arbeitspaketen des Vorhabens.

4.2.1 Stadt Billerbeck

Billerbeck ist eine Stadt in Nordrhein-Westfalen mit ca. 11.500 Einwohnern und 76,6 km Kanalnetz. Die Entwässerung erfolgt im Mischsystem und Trennsystem.

Die Betriebserfahrungen des Abwasserbetriebes Billerbeck, bestätigt durch Fremdwassermessungen im Jahr 2000 (vgl. Bosseler/Cremer 2000, Seite 6), lassen erkennen, dass es im Billerbecker Stadtgebiet einzelne Gebiete mit überdurchschnittlich hohem Fremdwasserzufluss gibt.

Dem im Mischsystem betriebenen Billerbecker Kanalnetz fließt sehr viel Grund-, Quell-, und Dränagewasser als Fremdwasser zu. Seit der erstmaligen Befahrung durch unterirdische Kamerasysteme in den Jahren 1993 – 1995 wird das öffentliche Kanalnetz kontinuierlich repariert, renoviert und erneuert, damit die festgestellten Schäden beseitigt werden. Eine Verminderung der Fremdwasserzuflüsse konnte durch die Abdichtungsmaßnahmen allein an der öffentlichen Kanalisation nicht erreicht werden. Aus diesem Grund wurde ein Pilotprojekt initiiert (vgl. Bosseler/Schlüter 2006, Seite 1), bei dem exemplarisch für ein Teileinzugsgebiet die Sanierungsmöglichkeiten zur Reduzierung des Fremdwassers aus privaten Dränageleitungen dargestellt werden sollten, bei gleichzeitiger Sanierung privater Abwasserleitungen und -kanäle. Im Vordergrund stand dabei zum einen die Erarbeitung technischer Sanierungslösungen für den Umgang mit Dränagewasser, auf der Basis von Variantenvergleichen (z.B. Abdichtung von Kellern, Grundwasserbewirtschaftung mittels Brunnen, Errichtung eines separaten Dränagesystems) unter Berücksichtigung der rechtlichen Rahmenbedingungen. Zum anderen sollten auch Erfahrungen für eine öffentliche Diskussion gesammelt werden, als Grundlage der politischen Entscheidungsfindung. Es wurden exemplarisch technische Konzepte erarbeitet, die das Risiko von Gebäudeverwässerungen durch alternative Ableitung des Dränagewassers mindern (vgl. Bosseler/Schlüter 2006, Seite 2). Anschließend wurden für ein Teilgebiet von Billerbeck Sanierungsmaßnahmen an den Abwasserleitungen auf den Grundstücken durchgeführt und ein technisches Konzept zur Ableitung des Dränagewassers umgesetzt.

4.2.2 Gemeinde Schwanau

Schwanau (ca. 6.900 Einwohner) liegt in Baden-Württemberg und verfügt über ein Kanalnetz von insgesamt 86,95 km.

Die Gemeinde Schwanau hat ein umfangreiches Fremdwasserbeseitigungsprojekt auf den Weg gebracht, welches in Baden-Württemberg bislang einmalig ist. Ziel ist es, gemeinsam mit den privaten Grundstücksbesitzern, eine umfassend wirksame Abdichtung des Abwassernetzes zu erreichen. In Schwanau wurde zunächst der Ortsteil Allmannsweier (vgl. o.V. 2005, Seite 68) näher betrachtet, da das Sanierungsgebiet mit 106 Grundstücken an ein Pumpwerk angeschlossen ist und sich so der Sanierungserfolg gut dokumentieren lässt. Die dortigen Grundstücke weisen eine annähernd repräsentative Erschließungsstruktur auf. Es sind Ein- und Mehrfamilienhäuser wie auch landwirtschaftliche Anwesen anzutreffen und das Alter der Bebauung deckt eine Bandbreite von historisch bis neu ab. Im Verlauf der Zustandserfassung stellte sich heraus, dass sich die Rahmenbedingungen in Allmannsweier untypisch günstig darstellen. Insbesondere die Zugänglichkeit der Entwässerungsanlagen über entsprechende Schächte ist hier

meistenteils bereits gut umgesetzt. Deshalb entschloss sich die Gemeinde sehr schnell, ein zweites Sanierungsgebiet mit 350 Grundstücken im Ortsteil Nonnenweier auszuweisen, wo die Randbedingungen für die Zustandserfassung deutlich komplizierter sind.

Inzwischen sind in Allmannsweier alle 106 Grundstücke abgearbeitet worden. Die von der Gemeinde finanzierten Leistungen beinhalteten

- Vollständige Inspektion der schmutzwasserführenden Entwässerungsanlage.
- Ortung und Digitalisierung der inspizierten Leitungsbestände.
- Signalnebeluntersuchung.
- Dichtheitsprüfung nach Bedarf.
- Auswertung der Untersuchungsergebnisse.
- Sanierungsplanung.

In sogenannten Sanierungsgesprächen wurden den Grundstückseigentümern die Ergebnisse der Untersuchungen mitgeteilt und Sanierungsvorschläge unterbreitet. Die Eigentümer hatten sechs Monate Zeit, zu entscheiden, ob sie dem Sanierungsvorschlag folgen, oder ob sie auf andere Art die Entwässerungsanlage instand setzen. Am Ende des Prozesses muss der Grundstückseigentümer der Gemeinde einen qualifizierten Dichtheitsnachweis erbringen. Weiterhin bietet die Gemeinde den betroffenen Bürgern die Möglichkeit, sich gegen Kostenübernahmeerklärung an einer Sammelausschreibung zu beteiligen und auf diese Weise weitere Kostenvorteile zu erreichen und die fachliche Begleitung der Sanierungsmaßnahme durch die Gemeinde bzw. das beauftragte Ingenieurbüro in Anspruch zu nehmen.

In Allmannsweier sind die ersten Sanierungsmaßnahmen inzwischen angelaufen. Im zweiten Sanierungsgebiet in Nonnenweier ist mit der Zustandserfassung und parallel dazu mit der Sanierungsplanung begonnen worden.

Für den Ortsteil Ottenheim, der im Mischsystem entwässert wird, sind im Zeitraum von 2014 bis 2020 umfangreiche Fremdwassersanierungsmaßnahmen vorgesehen.

4.2.3 Abwasserverband Starnberger See

Der Abwasserverband Starnberger See besteht aus folgenden Mitgliedern: Stadt Starnberg, Gemeinde Berg, Gemeinde Münsing, Gemeinde Seeshaupt, Gemeinde Bernried, Gemeinde Tutzing, Gemeinde Feldafing, Gemeinde Pöcking und dem Landkreis Starnberg.

Die Mitgliedskommunen führen gemeinsam mit dem Abwasserverband das Projekt awamo - Abwassermodell Starnberger See (awamo, Impelmann 2013) zur notwendigen Fremdwasserreduzierung auf privaten Grundstücken durch.

Nach dem Modell Starnberger See werden alle GEA durch die Kommunen untersucht. Die rechtlichen Grundlagen hierfür sind bereits geschaffen. Die Ausschreibungen für die Untersuchungen, wie z.B. TV-Inspektion und Dichtheitsprüfung, erfolgen über von den Kommunen beauftragte Ingenieurbüros. Jeder Eigentümer erhält von seiner Kommune die Untersuchungsergebnisse, eine Bewertung der Untersuchung und Aufforderung für die Sanierung. Falls Mängel festgestellt werden, erhält der Eigentümer eine Frist zur Behebung. Diese Frist richtet sich nach den vorgefundenen Verhältnissen. In der Regel wird ein Jahr vorgegeben.

Im Bedarfsfall müssen die Sanierungen durch die Eigentümer veranlasst werden, wobei auch hier die Kommunen unterstützen. Zuerst sollte ein Sanierungskonzept erstellt werden, dann Angebote eingeholt, diese bewertet und die entsprechend günstigste Firma beauftragt werden. Für diese Maßnahmen wird dem Eigentümer empfohlen ein Ingenieurbüro zur fachgerechten Abwicklung einzuschalten.

Ist die Sanierungsmaßnahme abgeschlossen, erfolgt eine Dichtheitsprüfung, die von den Kommunen überprüft wird. Die Untersuchung der Grundstücksentwässerungsanlagen (GEA) besteht aus folgenden Schritten:

- Erfassung des vollständigen Leitungsverlaufs für Schmutz- und Regenwasser über Bestandsunterlagen und Ortseinsicht. Bei Bedarf Erstellung oder Ergänzung eines Bestandsplans.
- Überprüfung auf Fehllanschlüsse von Regenwasseranlagen (Benebelung, Farbtests, TV-Untersuchung).
- Reinigung der Schmutzwasserleitungen.
- TV-Untersuchung der Schmutzwasserleitungen der GEA mit dem jeweils erforderlichen Kamerasystem.
- Dichtheitsprüfung der Schmutzwasserleitungen (GEA).
- Nach Bedarf Überprüfung der Regenwasser-/Versickerungsanlage, gegebenenfalls in Zusammenarbeit mit dem zuständigen Landratsamt.

Die Anforderungen entstehen durch das Ziel der Fremdwasserreduzierung im Verbandsgebiet, das über ein reines Trennsystem verfügt. Es handelt sich hier nicht nur um die Erfüllung der gesetzlichen Vorgaben, sondern um die nachhaltige Reduzierung von Fremdwasser im Bereich der GEA.

Ab 2014 werden von den Mitgliedskommunen alle Kanäle mit den entsprechenden Aufgaben an den Verband übertragen, so dass auch das Projekt awamo ab 1.1.2014 vom Abwasserverband Starnberger See komplett eigenständig durchgeführt wird.

4.2.4 Zuordnung zu den Arbeitspaketen

Tabelle 4 macht deutlich, dass sich die Situation zur Abwasserbeseitigung in den ausgewählten Kommunen grundsätzlich unterschiedlich darstellt.

Darüber hinaus sind auch starke Unterschiede bei den geologischen und hydrologischen Verhältnissen vorzufinden, was insbesondere mit Blick auf die Grundwassersituation und der damit verbundenen Fremdwasserproblematik von Bedeutung sein kann.

Die Zuordnung der ausgewählten Kommunen zu den jeweiligen Arbeitspaketen erfolgte in Abhängigkeit der Qualität vorhandener Daten und Informationen zur Fremdwassersituation wie folgt:

- Für das Arbeitspaket 3.1 „Untersuchungen der Auswirkungen auf Kläranlagen“ wurde in Abstimmung mit den Projektbeteiligten die Kläranlage „Starnberger See“ ausgewählt, da hier ein umfassender Datenbestand zum Betrieb der Kläranlage vorliegt (vgl. Tabelle 4). Darüber hinaus kann in diesem Fall auch auf Daten aus einer Energieeffizienzanalyse aus 2007 und auf Daten aus einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung aus 2007/2008 zurückgegriffen werden.
- In Arbeitspaket 3.2 werden Untersuchungen der Auswirkungen auf notwendige Entlastungsbauwerke und Mischwasserabschläge durchgeführt. Die Simulation der Mischwasserentlastungen erfolgt anhand des Einzugsgebietes Ottenheim – ein Ortsteil der Gemeinde Schwanau, da über dieses Einzugsgebiet umfangreiche und detaillierte Informationen zur Entlastungssituation vorliegen (vgl. Tabelle 4).
- Die in Arbeitspaket 5 durchzuführende Verifizierung der in Arbeitspaket 3.1 und 3.2 beobachteten Zusammenhänge erfolgt am Beispiel des Kläranlagen-Einzugsgebietes der Stadt Billerbeck. Beim Abwasserbetrieb der Stadt Billerbeck liegen Daten aus Fremdwassermessungen vor und nach der Fremdwassersanierung vor. Darüber hinaus kann in

diesem Fall auch auf Ergebnisse aus abgeschlossenen Forschungsvorhaben und Projekten zur Fremdwasserproblematik zurückgegriffen werden (vgl. Bosseler/Cremer 2000 und Bosseler/Schlüter 2006).

Tabelle 4: Randbedingungen zur Fremdwassersituation in den Modellgebieten

	Stadt Billerbeck	Gemeinde Schwanau	Verbandsgebiet Starnberger See
Bundesland	Nordrhein-Westfalen	Baden-Württemberg	Bayern
Kreis	Kreis Coesfeld	Landkreis Ortenau	Landkreis Starnberg
Einwohner	11.491 ⁵	6.894 ⁵	ca. 60.000
Fläche	91,36 km ²	38,33 km ²	320 km ²
Natur- räumliche Zuordnung	Westfälische Bucht - Kernmünsterland - Burgsteinfurter Land - Baumberge	Oberrheinische Tiefebene - Mittleres Oberrheintiefland - Offenburger Rheinebene	Alpenvorland - Bayerisches Alpenvorland - Subalpines Jungmoränen- land
Bodenver- hältnisse	Karst (Kalksandstein)	kies-sandige Böden	Unterschiedliche Bodenverhält- nisse (Moräne)
Grundwasser- situation	Karstgrundwasserleiter (Gespannter Grundwasserlei- ter)	Porengrundwasserleiter	Grundwassergeringleiter, Grundwassernichtleiter und Porengrundwasserleiter
Kanalnetz- betreiber	Abwasserbetrieb der Stadt Billerbeck	Gemeinde Schwanau	Abwasserverband Starnberger See
Institution	eigenbetriebsähnliche Einrich- tung	Regiebetrieb	Zweckverband
Kanalnetz- länge	23,4 km (Schmutzwasser) 32,8 km (Mischwasser) 20,4 km (Regenwasser)	65,12 km (Schmutz- und Re- genwasser) 21,83 km (Mischwasser)	46,5 km (Ringkanal, Schmutz- wasser) 360 km (Ortskanäle, Schmutz- wasser) ⁶ 170 km (Regenwasser)
Kanalisations- art	Mischsystem / Trennsystem	Mischsystem / Trennsystem	Trennsystem
Nennweiten	DN 250 bis DN 1800	DN 150 bis DN 2600	DN 250 bis DN 1000 (Ringka- nal)
Kläranlage	Kläranlage Billerbeck-Hamern (20.000 EW)	Kläranlage Nord Kläranlage Süd	Kläranlage Starnberger See (100.000 EW)
Regenüber- laufbauwerke	3 Regenüberlaufbecken (RÜB) 2 Regenklärbecken (RKB) 5 Regenrückhaltebecken (RRB)	2 Regenüberlaufbecken (RÜB) 1 Stauraumkanal (SK)	-

⁵ Stand: 31.12.2012

⁶ Die Ortskanäle werden bis Ende 2013 von den Mitgliedsgemeinden betrieben. Zum 1.1.2014 werden sämtliche Ortskanäle an den Abwasserverband Starnberger See übertragen.

	Stadt Billerbeck	Gemeinde Schwanau	Verbandsgebiet Starnberger See
Datenbestand zur Abwasserentsorgung	Datenbestand aus Fremdwassermessungen vor und nach der Sanierung	detaillierte Informationen über die Entlastungssituation im Ortsteil Ottenheim	umfassende Informationen über den Betrieb der Kläranlage (u. a. Energieeffizienzanalyse 2007)

4.3 Zusammenfassung

Die Ausführungen in Kapitel 4.1 zeigen, dass Sanierungen schadhafter Abwasserkanäle und -leitungen mit Blick auf eine Reduzierung des Fremdwasseraufkommens von großer Bedeutung sind. Zusammenfassend lässt sich darstellen, dass dabei u. a. folgende Aspekte eine wesentliche Rolle spielen:

- Mischwasser- und Schmutzwasserkanäle in Deutschland machen zusammen etwa 80 % (440.644 km) des Abwassernetzes aus, d.h. bei schadhafte Leitungen kann die Infiltration von Grundwasser erhebliche Auswirkungen auf das Fremdwasseraufkommen haben. Wenn sanierungsbedürftige Schmutzwasser- oder Mischwasserleitungen, die im Grundwasser oder im Grundwasser-Schwankungsbereich liegen, saniert werden, kann der Fremdwasserabfluss reduziert werden.
- Die Länge der öffentlichen Regenwasserkanäle in Deutschland beträgt 120.937 km (Statistisches Bundesamt 2013, Seite 42). Auch in undichte Regenwasserkanäle im Grundwasser oder Grundwasser-Schwankungsbereich kann Grundwasser infiltrieren, wodurch die Gewässer hydraulisch und stofflich belastet werden können.
- Bei der Planung von Sanierungsmaßnahmen am öffentlichen Kanal müssen Grundstücksentwässerungsanlagen (GEA) insbesondere bei hohem Grundwasserstand einbezogen werden (vgl. Kapitel 4.1.4). Nur durch die ganzheitliche Betrachtung wird gewährleistet, dass das Grundwasser nicht nach abgeschlossener Sanierung des öffentlichen Kanals über defekte GEA als Fremdwasser in den Kanal eingeleitet wird. In diesem Zusammenhang ist interessant, dass die Länge der GEA in Deutschland das 2- bis 3-fache der öffentlichen Entwässerung beträgt.
- Die Statistiken zur Altersverteilung (vgl. Kapitel 4.1.2) machen deutlich, dass der weitaus größte Teil der Kanäle nicht älter ist als 50 Jahre (68%). In Bezug auf die Dichtheit von Kanälen ist das Jahr 1965 mit der Einführung von Elastomerdichtungen von Bedeutung (Purde, 2006, Seite 40). Ca. 30 % der Kanäle wurden bis Ende der 50er Jahre errichtet (vgl. Abbildung 2). Bis dahin wurden die Abdichtungen der Rohrverbindungen auf der Baustelle handwerklich hergestellt (z.B. Teerstrick mit Bitumenverguss). Diese sind im Zuge des Alterungsprozesses inzwischen i.d.R. verrottet. Somit ist davon auszugehen, dass Leitungen mit einem Baujahr vor 1965 nicht mehr dicht sind.
- Die vorherrschenden Rohrmaterialien im öffentlichen Kanalbau sind in 2009 wie auch vor 2009 Beton und Steinzeug (vgl. Kapitel 4.1.3).
- Aussagen über die Art und Häufigkeit von Schäden und somit zum Fremdwassereintritt anhand der verwendeten Rohrmaterialien gibt es nicht.
- Schäden, die – bei entsprechender Lage im Grundwasser – zu erhöhtem Fremdwasseranfall und zur Beeinflussung des örtlichen Wasserhaushaltes führen können, sind Undichtheiten (5%), Rissbildung (20%), Rohrbruch/Einsturz (3%), Verbindung verschoben/einragend (20%) und schadhafte Verbindungen (13%) (vgl. Kapitel 4.1.4).
- Fremdwasser im Kanal kann unterschiedlicher Herkunft sein. Neben Grundwasserzuflüssen über undichte Kanäle und Dränagen können z. B. Bach- und Quellwasserzuflüsse

sowie Niederschläge Fremdwasserkomponenten sein (vgl. Tabelle 3). Statistische Auswertungen zum Anteil verschiedener Fremdwasserkomponenten an der gesamten Fremdwassermenge liegen nicht vor. Die hohe Anzahl „fremdwasserrelevanter“ Schäden (60% aller festgestellten Schäden, vgl. Kapitel 4.1.4) bei gleichzeitig hohem Fremdwasseraufkommen (23% der Gesamtabwassermenge, vgl. Kapitel 4.1.5) legen jedoch den Rückschluss nahe, dass ein Großteil des Fremdwassers auf Grundwasserinfiltration über undichte Kanäle zurückzuführen ist. Dabei ist davon auszugehen, dass ein nicht unerheblicher Anteil der schutzwasserführenden Abwasserleitungen und -kanäle in Deutschland im Grundwasser oder Grundwasser-Schwankungsbereich liegt. Statistische Untersuchungen für Bayern zeigen (Puhl, 2008, Seite 30/31), dass ca. 20% der öffentlichen Mischwasser- und Schmutzwasserkanäle im Grundwasser bzw. Grundwasser-Schwankungsbereich liegen.

- Private Leitungsnetze haben ein noch höheres Infiltrationspotenzial als die öffentlichen Kanäle. Dies liegt zum einen daran, dass deren Länge gegenüber dem öffentlichen Kanalnetz das Zwei- bis Dreifache beträgt (vgl. Kapitel 4.1.1). Außerdem ist in Fachkreisen unbestritten, dass der Zustand der privaten Entwässerungsanlagen in Deutschland schlechter als der Zustand öffentlicher Kanäle ist, auch wenn es keine statistisch abgesicherten Untersuchungen gibt (Berger/Falk 2009, Seite 13). Die GEA müssen in Fremdwassersanierungskonzepten zwingend berücksichtigt werden, da nach Wegfall der Dränagewirkung undichter öffentlicher Kanäle nach der Sanierung der Grundwasserstand ansteigen kann und über die undichten privaten Leitungen das Fremdwasser weiterhin in die Kanalisation gelangt.
- Es gibt in Deutschland über 68.000 Entlastungsbauwerke und der Fremdwasseranfall beträgt 23% an der Gesamtmenge des Abwasseraufkommens (vgl. Kapitel 4.1.5). Die fachgerechte Sanierung undichter Kanäle und damit Reduzierung von Fremdwasser würde dazu beitragen, die Häufigkeit von Entlastungen an Regenentlastungsanlagen zu verringern.

In Kapitel 4.2 wird die Entwässerungssituation der am Projekt beteiligten Praxispartner – Abwasserbetrieb der Stadt Billerbeck, Abwasserverband Starnberger See, Gemeinde Schwanau – detailliert analysiert und beschrieben. Im Rahmen des Projektes wurde deutlich, dass sich die Kläranlagen der Stadt Billerbeck und des Abwasserverbandes Starnberger See für die weitergehenden Untersuchungen hinsichtlich der Auswirkungen des Fremdwasseraufkommens (vgl. Kapitel 6) anbieten, da in diesen Fällen umfangreiche Informationen über den Betrieb der Kläranlagen und Daten aus Fremdwassermessungen vorliegen. Für die Untersuchungen zu den Auswirkungen auf Entlastungsbauwerke (vgl. Kapitel 6.5) wurde der Ortsteil Ottenheim der Gemeinde Schwanau gewählt, da hier umfangreiches Datenmaterial vorliegt.

5 Rechtliche und technische Regelungen

Der Betrieb und die Instandhaltung öffentlicher und privater Entwässerungsanlagen sind in Deutschland mit Anforderungen verbunden, die sowohl in gesetzlichen als auch in technischen Regelungen verankert sind. In diesem Kapitel wird die aktuelle Situation näher beleuchtet und ausführlich dargelegt. Besonders herausgestellt werden Regelungen und Anforderungen zur **Dichtheit** und **Sanierung** privater und öffentlicher Kanalisationen, die sich in den Gesetzestexten und den technischen Regelwerken wiederfinden. Darüber hinaus werden Anforderungen an den Umgang mit **Fremdwasser** in öffentlichen und privaten Entwässerungsanlagen aufgezeigt.

Kapitel 5.1 setzt sich zunächst mit der umwelt- und wasserrechtlichen Situation in Deutschland auseinander, in Kapitel 5.2 werden diesbezüglich die relevanten technischen Regelungen näher beleuchtet.

5.1 Gesetzliche Regelungen und Vorschriften

In Deutschland existieren zahlreiche Gesetze, Verordnungen und Erlasse, welche die Belange des Wasserrechts regeln und unmittelbar Anforderungen an Betrieb und die Instandhaltung von Abwasserleitungen und -kanälen beinhalten. Tabelle 5 gibt einen allgemeinen Überblick über die derzeit geltenden Gesetze, Verordnungen und Erlasse, unterteilt in europäische, Bundes- und Landesregelungen.

Regelungen des Bundes und der Länder müssen den ‚einschlägigen EU-Richtlinien‘ (z.B. ‚Wasserrahmenrichtlinie‘ - WRRL) entsprechen, während die Gesetzgebungskompetenz in Deutschland für das Wasserhaushaltsrecht zwischen Bund und Ländern aufgeteilt ist (‚konkurrierende Gesetzgebung‘).

Tabelle 5: Europa-, Bundes- und Landesrecht mit Blick auf Betrieb und Unterhaltung von Entwässerungsanlagen (Richtlinien, Gesetze, Verordnungen)

Europäische Richtlinien
<ul style="list-style-type: none"> • EG-Richtlinie zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Richtlinie 2000/60/EG) – die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)
<ul style="list-style-type: none"> • EG-Richtlinie über die Behandlung von kommunalen Abwasser (Richtlinie 91/271/EWG)
<ul style="list-style-type: none"> • EG-Richtlinie zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung (Richtlinie 2006/118/EG)
Regelungen auf Bundesebene
<ul style="list-style-type: none"> • Wasserhaushaltsgesetz (WHG)
<ul style="list-style-type: none"> • Abwasserabgabengesetz (AbwAG)
<ul style="list-style-type: none"> • Abwasserverordnung (AbwV)
<ul style="list-style-type: none"> • Grundwasserverordnung (GrwV)
Regelungen auf Landesebene
<ul style="list-style-type: none"> • Landeswassergesetze
<ul style="list-style-type: none"> • Landesbauordnungen
<ul style="list-style-type: none"> • Landesgesetze zur Ausführung des Abwasserabgabengesetzes
<ul style="list-style-type: none"> • Eigenkontrollverordnungen

5.1.1 Europäische Richtlinien

Mit Blick auf Regelungen und Anforderungen zum Betrieb und zur Instandhaltung von Abwasserleitungen und -kanälen sind insbesondere folgende Richtlinien zum EU-Wasserrecht von Bedeutung:

- Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Wasserrahmenrichtlinie - WRRL)
- Richtlinie 91/271/EWG des Rates vom 21. Mai 1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser - KomAbwRL
- Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung (GWRL)

5.1.1.1 Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)

Ein wesentlicher Bestandteil der EG-Wasserrahmenrichtlinie liegt in der Definition von Umweltqualitätszielen für alle ober- und unterirdischen Gewässer der Gemeinschaft. Darüber hinaus werden Anforderungen an die Überwachung sowie Grenzwerte für die Bewertung des ökologischen Zustandes von Gewässern genannt. Die WRRL ist durch entsprechende Anpassungen im Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und in den Landeswassergesetzen sowie durch den Erlass von Verordnungen bereits (z.B. Grundwasserverordnung - GrwV) in nationales Recht umgesetzt worden.

Die Mitgliedstaaten werden in Artikel 4, Abs. 1 lit. b der WRRL aufgefordert, „i)...die Einleitung von Schadstoffen in das Grundwasser zu verhindern oder zu begrenzen und eine Verschlechterung des Zustands aller Grundwasserkörper zu verhindern... ii) die Mitgliedstaaten schützen, verbessern und sanieren alle Grundwasserkörper und gewährleisten ein Gleichgewicht zwischen Grundwasserentnahme und -neubildung mit dem Ziel, spätestens 15 Jahre nach Inkrafttreten dieser Richtlinie... einen guten Zustand des Grundwassers zu erreichen...“. Sofern notwendig, heißt es weiter, führen die Mitgliedstaaten entsprechend der Richtlinie „iii)... die erforderlichen Maßnahmen durch, um alle signifikanten und anhaltenden Trends einer Steigerung der Konzentration von Schadstoffen aufgrund der Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten umzukehren und so die Verschmutzung des Grundwassers schrittweise zu reduzieren...“.

Es kann festgehalten werden, dass sich die Wasserrahmenrichtlinie mit den Themenkomplexen ‚Abwasserentsorgung‘ und ‚Kanalisation‘ nicht explizit befasst. Zur Umsetzung der EG Wasserrahmenrichtlinie auf Länderebene hat die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) eine Arbeitshilfe entwickelt (vgl. LAWA 2003). Diese enthält im Anhang 1 einen standardisierten Maßnahmenkatalog zu den WRRL-Maßnahmenprogrammen für Flussgebietseinheiten. Die hier aufgeführte Maßnahme Nr. 12: Sonstige Maßnahmen zur Reduzierung der Stoffeinträge durch Misch- und Niederschlagswassereinleitungen kann durchaus im Zusammenhang mit der Fremdwasserreduzierung durch Kanalsanierung gesehen werden.

5.1.1.2 EG-Richtlinie über die Behandlung von kommunalem Abwasser (KomAbwRL)

Die EG-Richtlinie über die Behandlung von kommunalem Abwasser (Richtlinie 91/271/EWG) setzt sich thematisch mit dem Sammeln, Behandeln und Einleiten von kommunalem Abwasser sowie dem Behandeln und Einleiten von Abwasser bestimmter Industriebranchen auseinander. Die Umwelt soll durch die Umsetzung der Richtlinie vor den schädlichen Auswirkungen dieses Abwassers geschützt werden. Die Kommunalabwasserrichtlinie ist u. a. durch die Abwasserverordnung (AbwV) des Bundes in nationales Recht umgesetzt worden. In Anhang I KomAbwRL wird festgelegt, dass Kanalisationen den Anforderungen an die Abwasserbehandlung Rechnung tragen sollen. Weiter werden für Entwurf, Bau und Unterhaltung der Kanalisation ‚optimale technische Kenntnisse‘ zugrunde gelegt, dies u. a. mit Blick auf die ‚Vermeidung von Le-

ckagen’ sowie die ‚Begrenzung einer Verschmutzung der aufnehmenden Gewässer durch Regenüberläufe‘.

5.1.1.3 EG-Richtlinie zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung (GWRL)

In der EG-Richtlinie zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung (Richtlinie 2006/118/EG - GWRL) werden spezielle Maßnahmen zur Verhinderung und Begrenzung der Grundwasserverschmutzung festgelegt. Sie enthält keine Vorgaben für den mengenmäßigen Zustand des Grundwassers, da diese bereits in der WRRL (Art. 4 Abs. 1 lit. b in Verbindung mit Anhang V Nr. 2.1) enthalten sind. Von besonderer Bedeutung sind Kriterien, die in der GWRL für die Beurteilung des chemischen Zustandes des Grundwassers und für die „... *Ermittlung und Umkehrung signifikanter und anhaltender steigender Trends von Schadstoffeinträgen sowie für die Festlegung der Ausgangspunkte für die Trendumkehr...*“ genannt werden. Schadstoffeinträge in das Grundwasser sollen mithilfe der Richtlinie verhindert oder zumindest begrenzt werden.

Schadstoffeinträge in das Grundwasser sollen mithilfe der Richtlinie verhindert oder zumindest begrenzt werden (Art. 6 GWRL). Diese Forderung betrifft den Eintrag gefährlicher Stoffe, die im Anhang VIII der WRRL aufgelistet sind. Dabei handelt es sich um ein umfassendes Stoffspektrum von organischen Verbindungen über Metalle, Biozide, Pflanzenschutzmittel bis hin zu Nitrat und Phosphat. Die Mitgliedstaaten ergreifen „... *alle erforderlichen Maßnahmen zur Begrenzung von Einträgen in das Grundwasser, um sicherzustellen, dass diese Einträge nicht zu einer Verschlechterung führen, oder signifikante und anhaltende steigende Trends bei den Konzentrationen von Schadstoffen im Grundwasser bewirken. Diese Maßnahmen tragen zumindest bewährten Praktiken Rechnung, darunter der besten Umweltpraxis und der besten verfügbaren Techniken nach Maßgabe der einschlägigen Gemeinschaftsvorschriften.*“ (Artikel 6 GWRL).

5.1.2 Rechtliche Vorgaben auf Bundesebene

Mit Blick auf Anforderungen zur Dichtheit und Sanierung privater und öffentlicher Kanalisationen auf Bundesebene sind folgende wasserrechtlichen Regelungen zu beachten:

- Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes (Wasserhaushaltsgesetz – WHG)
- Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer - Abwasserabgabengesetz (AbwAG)
- Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer – Abwasserverordnung (AbwV)
- Grundwasserverordnung (GrwV)

Neben den wasserrechtlichen sind auch strafrechtliche Aspekte von Bedeutung. Undichte Kanäle können beispielweise Gewässer- und Bodenverunreinigungen verursachen und somit strafrechtliche Konsequenzen nach sich ziehen. Mit der Gewässerverunreinigung befasst sich das Strafgesetzbuch (StGB) im 29. Abschnitt. In § 324 StGB heißt es „... *Wer unbefugt ein Gewässer verunreinigt oder sonst dessen Eigenschaften nachteilig verändert, wird mit Freiheitsstrafe bis zu fünf Jahren oder mit Geldstrafe bestraft...*“. Bei Fahrlässigkeit kann das Strafmaß bis zu drei Jahren Freiheitsstrafe betragen.

5.1.2.1 Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes (Wasserhaushaltsgesetz – WHG)

Die wichtigsten Regelungen zum Gewässerschutz auf Bundesebene finden sich im Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes (Wasserhaushaltsgesetz - WHG).

Zweck des Wasserhaushaltsgesetzes ist es „... *durch eine nachhaltige Gewässerbewirtschaftung die Gewässer als Bestandteil des Naturhaushalts, als Lebensgrundlage des Menschen, als Le-*

bensraum für Tiere und Pflanzen sowie als nutzbares Gut zu schützen.“ Das Gesetz gilt für oberirdische Gewässer und für Grundwasser. Beides ist durch die Infiltration von Grundwasser in undichte Abwasserleitungen betroffen.

Der Abschnitt 2 des Kapitels 3 *„Besondere Wasserwirtschaftliche Bestimmungen“* des Wasserhaushaltsgesetzes widmet sich dem Thema *„Abwasserbeseitigung“*. In § 54 WHG wird Abwasser als *„das durch häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch in seinen Eigenschaften veränderte Wasser und das bei Trockenwetter damit zusammen abfließende Wasser (Schmutzwasser) sowie das von Niederschlägen aus dem Bereich von bebauten oder befestigten Flächen gesammelt abfließende Wasser (Niederschlagswasser)“* definiert. Aus § 60 WHG geht hervor, dass Abwasseranlagen nur nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik errichtet, betrieben und unterhalten werden dürfen und dass *„erforderliche Maßnahmen innerhalb angemessener Fristen durchzuführen“* sind, wenn *„vorhandene Abwasseranlagen nicht den Anforderungen nach Absatz 1 entsprechen“*.

Der Begriff *„Fremdwasser“* wird im WHG weder genannt noch definiert. Ob Fremdwasser nun unter den Begriff des Schmutzwassers fällt, weil es die in der Gesetzesdefinition für Abwasser vorgesehene Definition *„und das bei Trockenwetter damit zusammen fließende Abwasser“* erfüllt, ist umstritten (Näheres dazu in Kapitel 5.3).

Die Dichtheit von Kanälen wird im Wasserhaushaltsgesetz nicht explizit gefordert, aber die Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik (vgl. § 60 Abs. 1 WHG). In einer schriftlichen Stellungnahme an eine Kommune in Nordrhein-Westfalen vom 4. September 2012 (vgl. BMU 2012) vertritt das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) diesbezüglich folgende Rechtsauffassung: *„...Das neue WHG hat die bisherigen Regelungen hinsichtlich der Abwasseranlagen in § 60 WHG im Wesentlichen übernommen. Danach dürfen Abwasseranlagen nur nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik errichtet, betrieben und unterhalten werden. Für den Bereich der Abwasserleitungen bedeutet dies, dass die Dichtheit sichergestellt sein muss. Durch dichte Abwasserleitungen sollen Umweltschäden vermieden und deren Funktionsfähigkeit gewährleistet werden...“*

Die Absenkung des Grundwassers stellt eine Benutzung im Sinne des § 9 Abs. 2 Nr. 1 WHG dar und bedarf grundsätzlich einer Erlaubnis bzw. Bewilligung gemäß § 8 Abs. 1 WHG.

5.1.2.2 Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer - Abwasserabgabengesetz (AbwAG)

Mit dem Abwasserabgabengesetz (AbwAG) wird geregelt, dass für das Einleiten von Abwasser (Schmutzwasser, Niederschlagswasser) in ein Gewässer in Abhängigkeit von der Schädlichkeit des Abwassers entsprechende Abgaben zu zahlen sind.

Es wird u. a. festgelegt, nach welchen Kriterien die Schädlichkeit des Abwassers zu bestimmen ist, da hiervon die Höhe der fälligen Abgabe abhängt (vgl. §3 AbwAG). Im Gesetz sind Ermächtigungen für Detailbestimmungen durch die Länder enthalten, die diese auf Landesebene im Rahmen von Ausführungsgesetzen erlassen haben. Die Abwasserabgabe wird gemäß § 1 AbwAG von den Ländern erhoben, abgabepflichtig sind Kommunen, Abwasserzweckverbände sowie Industrie-, Gewerbe- und Landwirtschaftsbetriebe, wenn diese Abwasser direkt in die Gewässer einleiten.

Gemäß § 1 AbwAG ist *„Für das Einleiten von Abwasser in ein Gewässer im Sinne des von § 3 Nummer 1 bis 3 des Wasserhaushaltsgesetzes... eine Abgabe zu entrichten (Abwasserabgabe)...“*. Weiter heißt es in § 2 Abs. 2 AbwAG, dass das *„Einleiten im Sinne dieses Gesetzes... das unmittelbare Verbringen des Abwassers in ein Gewässer“* ist, *„...das Verbringen in den Untergrund gilt als Einleiten in ein Gewässer, ...“*.

Die Höhe der Abwasserabgabe richtet sich nach der Schädlichkeit des Abwassers. Diese wird aufgrund einzelner Kriterien bestimmt, die ein Gesamtbild der Abwasserverschmutzung ergeben. In die Ermittlung der Schadeinheiten, die als Basis für die Abgabe dienen, fließt auch die

Jahresschmutzwassermenge ein. Die zulässigen Schadeinheiten werden im Wasserrechtsbescheid festgelegt, der die einzuhaltenden Konzentrationen der Schadstoffe begrenzt.

Zu beachten ist, dass die geforderten Konzentrationswerte gemäß § 3 Abs. 3 Abwasserverordnung (AbwV) nicht entgegen dem Stand der Technik durch Verdünnung erreicht werden dürfen. Sonst würde beispielsweise in Kanalnetzen mit hohem Fremdwasseranteil die geringere Schadstoffkonzentration (= Stoffmenge/Volumen) zu geringerer Abwasserabgabe führen.

5.1.2.3 Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer – Abwasserverordnung (AbwV)

Das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) gibt für eine Vielzahl möglicher Gewässerbenutzungen eine staatliche Gestattungspflicht vor, vor allem dann, wenn mit der Nutzung eine Verschmutzung des Gewässers durch Schadstoffe einhergeht (vgl. UBA 2011). Die Ermächtigung zum Erlass der Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer – Abwasserverordnung (AbwV) ist in § 23 WHG verankert. Diese Verordnung ist die Grundlage für die wasserrechtliche Erlaubnis zur Einleitung von Abwasser in Gewässer.

In den §§ 1 und 3 AbwV sind hierfür emissionsbezogene und dem Stand der Technik entsprechende Anforderungen definiert, die Abwasser, bevor es in Gewässer eingeleitet wird, erfüllen muss. Im Einzelnen sind in der Verordnung spezielle schadstoffbezogene Anforderungen an Abwasser aus verschiedenen Herkunftsbereichen und Produktionszweigen enthalten. Erfüllt das Abwasser die Anforderungen nicht, muss es vor der Einleitung in ein Gewässer durch technische Behandlungsverfahren in den entsprechenden Qualitätszustand gebracht werden. Das Erreichen des Qualitätszustands durch Verdünnung ist verboten (vgl. § 3 Abs. 3 AbwV).

Anhang 1 der AbwV gilt für häusliches und kommunales Abwasser, ein direkter Bezug zum Zustand der Abwasseranlagen wird in der Abwasserverordnung nicht hergestellt. Durch den Eintrag von Fremdwasser in die Kanalisation kommt es jedoch zu einer Verdünnung des Abwassers und damit Herabsetzung der Schadstoffkonzentration, die entsprechend der Verordnung verboten ist. Diese Vorgabe kann u. U. ins Gewicht fallen, wenn über undichte Kanäle eine Abwasserverdünnung durch zufließendes Grundwasser auftritt.

5.1.2.4 Grundwasserverordnung (GrwV)

Die Grundwasserverordnung (GrwV) wurde basierend auf der Ermächtigung im § 23 WHG erlassen. Sie setzt die EG-Richtlinie zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung (Richtlinie 2006/118/EG) (vgl. Kapitel 5.1.1.3) in Bundesrecht um. In der GrwV wird im Wesentlichen die Überwachung und Beurteilung des Grundwasserzustandes geregelt. Die Verordnung bezieht sich auf die in § 47 WHG festgelegten Bewirtschaftungsziele für das Grundwasser. Ein Schwerpunkt der Verordnung sind die Auswirkungen von Wasserentnahmen und -einleitungen auf den mengenmäßigen Grundwasserzustand. Grundsätzlich besteht die Forderung eines Gleichgewichtes zwischen Grundwasserentnahme und Grundwasserneubildung. Bezugsgröße ist der jeweilige Grundwasserkörper, dessen Zustand zu bewerten ist. Somit ist jeweils im Einzelfall zu prüfen, ob Kanäle, die durch Undichtigkeiten Grundwasser „entnehmen“, Ursache für das Verfehlen des guten mengenmäßigen Zustands eines Grundwasserkörpers sind. Dies dürfte allerdings nur selten der Fall sein, wie die bisherigen Analysen im Rahmen der Bewirtschaftungsplanung zeigen (vgl. BMU/UBA 2010, S. 32/33).

Unter bestimmten Umständen (natürliche Gegebenheiten, technische Undurchführbarkeit oder verhältnismäßig hoher Aufwand) können die Fristen zur Erreichung des guten Grundwasserzustands verlängert oder abweichende Bewirtschaftungsziele geltend gemacht werden (§ 47 Abs. 2 und 3 WHG in Verbindung mit §§ 29 und 30 WHG).

5.1.3 Rechtliche Vorgaben auf Länderebene

Mit Blick auf Betrieb und Instandhaltung von Abwasserleitungen und -kanälen auf Länderebene sind vor allem die Landeswassergesetze von Bedeutung (siehe Tabelle 6). In den Landeswassergesetzen der Bundesländer wird das Wasserhaushaltsgesetz des Bundes konkretisiert. Für den Wasserhaushalt dürfen Länder, außer bei stoff- oder anlagenbezogenen Vorschriften, Regelungen in ihren Landesgesetzen treffen, die vom Bundesgesetz abweichen (vgl. Art. 72, Absatz 3, Grundgesetz).

Auch in den Landeswassergesetzen und -verordnungen finden sich Regelungen zum Betrieb und zur Instandhaltung von Abwasserleitungen und -kanälen. Die Kapitel 5.1.3.1 bis 5.1.3.16 geben einen Überblick über die Vorschriften in den jeweiligen Bundesländern.

Tabelle 6: Landeswassergesetze und Verordnungen der Bundesländer (Beispiele)

Bundesland	Landeswassergesetz	Verordnung, untergeordnete Gesetze
Baden-Württemberg	Wassergesetz für Baden-Württemberg (WG BW)	Verordnung des Umweltministeriums über die Eigenkontrolle von Abwasseranlagen (Eigenkontrollverordnung - EigenkontrollIVO), Februar 2001
Bayern	Bayerisches Wassergesetz (BayWG)	Verordnung zur Eigenüberwachung von Wasserversorgungs- und Abwasseranlagen (Eigenüberwachungsverordnung – EÜV), September 1995
Berlin	Berliner Wassergesetz (BWG)	Kommunale Abwasserverordnung (KomAbwVO)
Brandenburg	Brandenburgisches Wassergesetz (BbgWG)	Anzeige und Genehmigung von Kanalisationsnetzen (Richtlinie), September 2009
Bremen	Bremisches Wassergesetz (BremWG)	Entwässerungsortsgesetze (EOG Brem, EOG Brhvn)
Hamburg	Hamburgisches Wassergesetz (HWaG)	Hamburgisches Abwassergesetz (HmbAbwG)
Hessen	Hessisches Wassergesetz (HWG)	EKVO – Abwassereigenkontrollverordnung Hessen, Juli 2010
Mecklenburg-Vorpommern	Wassergesetz des Landes Mecklenburg-Vorpommern (LWaG)	Verordnung über die Selbstüberwachung von Abwasseranlagen und Abwassereinleitungen (Selbstüberwachungsverordnung – SÜVO M-V), Dezember 2006
Niedersachsen	Niedersächsisches Wassergesetz (NWG)	-
Nordrhein-Westfalen	Wassergesetz für das Land Nordrhein-Westfalen (LWG NRW)	Verordnung zur Selbstüberwachung von Abwasseranlagen - Selbstüberwachungsverordnung Abwasser (SüwV Abw), November 2013
Rheinland-Pfalz	Wassergesetz für das Land Rheinland-Pfalz (LWG RP)	Landesverordnung über die Eigenüberwachung von Abwasseranlagen (EÜVOA), August 1999
Saarland	Saarländisches Wassergesetz (SWG)	Verordnung über die Eigenkontrolle von Abwasserbehandlungsanlagen
Sachsen	Sächsisches Wassergesetz (SächsWG)	Verordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landesentwicklung über Art und Häufigkeit der Eigenkontrolle von Abwasseranlagen und Abwassereinleitungen (Eigenkontrollverordnung – EigenkontrollIVO) Oktober 1994
Sachsen-Anhalt	Wassergesetz für das Land Sachsen-Anhalt (WG LSA)	Eigenüberwachungsverordnung (EigÜVO), Oktober 2010

Bundesland	Landeswassergesetz	Verordnung, untergeordnete Gesetze
Schleswig-Holstein	Wassergesetz des Landes Schleswig-Holstein (LWG SH)	Landesverordnung über die Selbstüberwachung von Abwasseranlagen und Abwassereinleitungen (Selbstüberwachungsverordnung - SüVO) Dezember 2011
Thüringen	Thüringer Wassergesetz (ThürWG)	Thüringer Verordnung über die Eigenkontrolle von Abwasseranlagen (Thüringer Abwassereigenkontrollverordnung - ThürAbwEKVO -), August 2004

5.1.3.1 Baden-Württemberg

Das Wassergesetz für Baden-Württemberg (WG) setzt sich im 6. Abschnitt in den §§ 45a bis 45k mit dem Thema Abwasserbeseitigung auseinander. Im Grundsatz (§ 45a) ist Abwasser demnach „... so zu beseitigen, dass das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird...“ und die hierfür erforderlichen Anlagen sind „... nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik herzustellen, zu unterhalten und zu betreiben...“.

Gemäß § 33 Abs. 2 der Landesbauordnung für Baden-Württemberg (LBO BW) müssen „... Anlagen zur Beseitigung des Abwassers und des Niederschlagswassers... betriebssicher...“ sein.

Die Verordnung des Umweltministeriums Baden-Württemberg über die Eigenkontrolle von Abwasseranlagen (Eigenkontrollverordnung – EKVO, Geltungsbereich: Öffentliche Kanalisation) (EKVO BW) des Landes Baden-Württemberg gibt im Anhang zu § 2 Abs. 1 und § 3 Abs. 1 vor, dass Kanalisationen regelmäßig daraufhin zu überprüfen sind, „... ob sie den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechen...“. Weiter wird in der Eigenkontrollverordnung ausgeführt, dass „... Überprüfungen und erforderliche Sanierungen... nach wasserwirtschaftlichen Dringlichkeiten durchzuführen...“ sind. Fristen für die Wiederholungsprüfung sind in der Eigenkontrollverordnung in Abhängigkeit von der Lage und der Art des Kanals vorgegeben.

5.1.3.2 Bayern

Das bayerische Wassergesetz (BayWG) trifft Regelungen zur Unterhaltung wasserwirtschaftlicher Anlagen in Artikel 37. Demnach sind „... wasserwirtschaftliche Anlagen in dem bewilligten, erlaubten, genehmigten, planfestgestellten oder plangenehmigten Zustand zu erhalten. Sonstige Anlagen sind so zu unterhalten, dass schädliche Gewässerveränderungen vermieden werden“.

In der Verordnung zur Eigenüberwachung von Wasserversorgungs- und Abwasseranlagen (Eigenüberwachungsverordnung – EÜV, Geltungsbereich: Öffentliche Kanalisation) gilt Anhang 1, Dritter Teil für Sammelkanalisationen einschließlich der zugehörigen Bauwerke. Das Kanalnetz und zugehörige Bauwerke sind der Verordnung zufolge „... auf Bauzustand, Betriebssicherheit und Funktionsfähigkeit...“ zu überwachen. Die Prüfmethode sowie das Prüfintervall werden in Abhängigkeit vom Prüfgegenstand vorgegeben.

Das bayerische Gesetz zur Ausführung des Abwasserabgabengesetzes (BayAbwAG) gibt in Artikel 8a vor, dass „... Als Konzentrationswerte festgelegte Anforderungen nicht entgegen dem Stand der Technik durch Verdünnung erreicht werden...“ dürfen, „... Eine Verdünnung ist bei häuslichem und bei kommunalem Abwasser zulässig, wenn der geschätzte Verdünnungsanteil im Jahresmittel ein Viertel des Abwasserabflusses bei Trockenwetter nicht übersteigt...“.

Ergänzend zu den bisher genannten Gesetzen und Verordnungen hat der Freistaat Bayern ein Muster für eine gemeindliche Entwässerungssatzung (vgl. MEWS Bay 2012) veröffentlicht. Nach § 8 (Grundstücksanschluss) wird der Grundstücksanschluss je nach Satzungslage (§ 1) entweder durch den Grundstückseigentümer oder die Gemeinde „... hergestellt, verbessert, erneuert, geändert und unterhalten sowie stillgelegt und beseitigt...“. § 9 Abs. 2 der Musterentwässerungs-

satzung besagt, dass „...*Die Grundstücksentwässerungsanlage und die Abwasserbehandlungsanlage im Sinn des Abs. 1 Satz 2... nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik herzustellen, zu betreiben, zu verbessern, zu erneuern, zu ändern, zu unterhalten, stillzulegen oder zu beseitigen...*“ sind.

5.1.3.3 Berlin

Das Berliner Wassergesetz (BWG) befasst sich in § 29 mit der Reinhaltung der Gewässer. In § 29 Abs. heißt es, dass „*Das Einleiten und Einbringen von Grund- und Abwasser... in Leitungen, die in ein Gewässer führen (mittelbare Einleitung), ...der Genehmigung der nach § 85 zuständigen Behörde...*“ bedarf, sofern keine Gewässerbenutzung im Sinne des § 3 WHG vorliegt. In § 29d BWG geht es um Abwasserbeseitigung. Gemäß den gesetzlichen Vorgaben ist „*Abwasser... so zu beseitigen, dass das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird...*“. Weiter „... *gelten für die Errichtung und den Betrieb von Abwasseranlagen die allgemein anerkannten Regeln der Technik. Entsprechen vorhandene Anlagen nicht den Vorschriften der Sätze 1 und 2, so stellt die zuständige Behörde sicher, dass die erforderlichen Maßnahmen in angemessenen Fristen durchgeführt werden...*“.

Die Bauordnung für Berlin (BauO Bln) befasst sich zwar nicht direkt mit Abwasserleitungen, gibt allerdings in § 45 (Kleinkläranlagen, Abwassersammelbehälter) vor, dass „... *Die Zuleitungen zu Abwasserentsorgungsanlagen... geschlossen, dicht, und, soweit erforderlich, zum Reinigen eingerichtet sein...*“ müssen.

Nach § 6 des Berliner Gesetzes zur Ausführung des Abwasserabgabengesetzes (Berliner Abwasserabgabengesetz – AbwAGBln) bleibt die „... *Einleitung von Niederschlagswasser aus der Mischwasserkanalisation... abgabefrei, sofern die Anlage den allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht...*“.

Ergänzend zu den bereits genannten Regelungen hat Berlin für die Umsetzung der EG-Richtlinie über die Behandlung von kommunalem Abwasser (91/271/EWG) in das deutsche Recht eine Kommunale Abwasserverordnung (KomAbwVO) erlassen. Entsprechend § 3 (Kanalisation) KomAbwVO muss die Kanalisation mindestens den Anforderungen nach Anhang I Abschnitt A entsprechen. Dieser besagt, dass „*Kanalisationen den Anforderungen an die Abwasserbehandlung Rechnung tragen...*“ sollen und „... *bei Entwurf, Bau und Unterhaltung der Kanalisation... die optimalen technischen Kenntnisse zugrunde zu legen...*“ sind. Unverhältnismäßig hohe Kosten dafür sind zu vermeiden. Insbesondere verweist Anhang I A KomAbwVO auf die „*Verhinderung von Leckagen*“.

5.1.3.4 Brandenburg

Das Brandenburgische Wassergesetz (BbgWG) befasst sich in Kapitel 6, Abschnitt 3 in den Paragraphen 64 bis 75 mit dem Thema Abwasserbeseitigung. Hinsichtlich des Betriebs von Abwasseranlagen wird in § 70 auf die Regelungen in § 60 WHG verwiesen. § 75 BbgWG befasst sich mit der Selbstüberwachung von Abwasseranlagen: „*Wer eine Abwasseranlage betreibt, ist verpflichtet, ihren Zustand, ihre Unterhaltung und ihren Betrieb selbst zu überwachen und hierfür Aufzeichnungen anzufertigen. Die Überwachung hat nach den technischen Überwachungsregeln zu erfolgen, die von der obersten Wasserbehörde eingeführt worden sind... Die Wasserbehörde legt dabei Art, Umfang und Häufigkeit der Überprüfungen fest. Der Sachkundige hat das Prüfergebnis, insbesondere bei der Überprüfung festgestellte Mängel, dem Betreiber und der Wasserbehörde mitzuteilen. Der Betreiber hat die Mängel unverzüglich abzustellen und die Wasserbehörde darüber zu unterrichten...*“. Darüber hinausgehende Regelungen sind im BbgWG nicht enthalten.

Weitere Regelungen zum Betrieb von Kanalisationen in Brandenburg enthält die Verordnung über die Behandlung von kommunalem Abwasser im Land Brandenburg (Brandenburgische Kommunalabwasserverordnung - BbgKAbwV). Für Entwurf, Bau und Unterhaltung der Kanalisationen sind gemäß § 4, Abschnitt 3 „... *die optimalen technischen Kenntnisse zugrunde zu*

legen, die keine unverhältnismäßig hohen Kosten verursachen. Dies betrifft insbesondere... die Verhinderung von Leckagen...“. Dieser Passus wurde wortwörtlich aus Anhang I der EG-Kommunalabwasserrichtlinie (91/271/EWG) übernommen.

Die Richtlinie „Anzeige und Genehmigung von Kanalisationsnetzen“ regelt die *„Erteilung einer Genehmigung für die Pläne zur Herstellung, wesentliche Veränderung von Kanalisationsnetzen, den Betrieb von Kanalisationsnetzen sowie die Entgegennahme entsprechender Anzeigen“*. Die Richtlinie gibt vor, dass *„Abwasseranlagen nach § 18b WHG entsprechend den allgemein anerkannten Regeln der Technik so zu errichten und zu betreiben“* sind, *„dass nachteilige Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit verhütet oder ausgeglichen werden.“*

5.1.3.5 Bremen

Das bremische Wassergesetz (BremWG) befasst sich in den §§ 44 bis 48 mit der Abwasserbeseitigung. Laut § 45 Absatz 3 BremWG stellen die Stadtgemeinden sicher, *„... dass Abwasseranlagen, die an die städtische Kanalisation unmittelbar oder mittelbar angeschlossen sind und aus denen das Abwasser der städtischen Kanalisation zugeleitet wird, nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik errichtet, betrieben und unterhalten werden...“*. Dies *„... gilt auch für vorhandene Abwasseranlagen, mit der Maßgabe, dass für die Durchführung der erforderlichen Anpassungsmaßnahmen eine angemessene Frist zu bestimmen ist...“*. Zudem können die Stadtgemeinden nach § 45 Absatz 9 BremWG per Ortsgesetz bestimmen, *„... dass sie für die Wahrnehmung ihrer Aufgabe Abwasserbeseitigung Daten bei denjenigen, bei denen Abwasser anfällt, erheben und verarbeiten...“* dürfen.

Für die Stadtgemeinden Bremen und Bremerhaven existieren zusätzlich jeweils Entwässerungs-ortsgesetze (vgl. EOG Brem und EWOG Brhvn). Geregelt werden in den beiden Gesetzen u. a. Anforderungen an die Herstellung, Änderung, Instandhaltung und Beseitigung von Grundstücksentwässerungsanlagen, den Anschluss dieser an öffentliche Abwasseranlagen *„... sowie die Benutzung der Grundstücksentwässerungsanlagen und öffentlichen Abwasseranlagen...“*, soweit die Stadtgemeinden abwasserbeseitigungspflichtig sind. Inhaltlich werden in den relevanten Paragraphen nahezu identische Anforderungen gestellt.

Das Entwässerungsortsgesetz (EOG) der Stadtgemeinde Bremen legt in § 9 („Einleitung von Niederschlags-, Grund-, Quell- und Dränagewasser“) fest, dass *„... Grund-, Quell- und Dränagewasser...“ nicht „... in öffentliche Abwasseranlagen... eingeleitet werden ...“* dürfen. Ausnahmeregelungen können getroffen werden, *„... wenn eine anderweitige Ableitung nicht möglich oder unzumutbar ist und wenn Nachteile für die öffentliche...“* Abwasserbeseitigung *„...oder ein als Vorfluter benutztes Gewässer nicht...“* zu befürchten sind.

Nähere Informationen zu Errichtung, Betrieb und Unterhaltung von Grundstücksentwässerungsanlagen können den §§10 bis 12c des bremischen EOG entnommen werden. Die Einhaltung der dort gestellten Anforderungen wird von der zuständigen Behörde überwacht (§ 10). Gemäß § 12 EOG Brem sind Grundstücksentwässerungsanlagen nach den *„... Regeln der Technik zu errichten, zu betreiben, zu unterhalten, zu ändern und zu beseitigen...“*.

Die Verordnung über die Behandlung von kommunalem Abwasser (KomAbwVO) für Bremen befasst sich in § 3 mit der Kanalisation. Der Begriff Kanalisation wird zuvor in § 2 definiert als *„... Leitungssystem, in dem kommunales Abwasser gesammelt und transportiert wird...“*. Gemäß § 3 müssen Kanalisationen mindestens den Anforderungen nach Anhang 1 Abschnitt A der Anlage entsprechen. Die besagt, dass *„... Kanalisationen... den Anforderungen an die Abwasserbehandlung Rechnung tragen...“* sollen. *„... Bei Entwurf, Bau und Unterhaltung der Kanalisation sind die optimalen technischen Kenntnisse zugrunde zu legen, die keine unverhältnismäßig hohen Kosten verursachen; dies betrifft insbesondere: 1. Menge und Zusammensetzung der kommunalen Abwässer, 2. Verhinderung von Leckagen, 3. Begrenzung einer Verschmutzung der aufnehmenden Gewässer durch Regenüberläufe...“*

5.1.3.6 Hamburg

Für die Freie und Hansestadt Hamburg sind die wesentlichen Regelungen zur Abwasserbeseitigung im Hamburgischen Abwassergesetz (HmbAbwG) enthalten. Das Hamburgische Wassergesetz (HWaG) sowie die Hamburgische Bauordnung (HBauO) hingegen befassen sich nicht explizit mit dem Thema. Gemäß § 1 HmbAbwG ist Abwasser so zu beseitigen, „... *dass das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird, insbesondere die Gesundheit der Menschen nicht gefährdet wird und eine Verunreinigung der Gewässer und des Bodens oder eine sonstige nachteilige Veränderung ihrer Eigenschaften nicht zu besorgen ist...*“.

In § 4 setzt sich das Abwassergesetz (HmbAbwG) näher mit den öffentlichen Abwasseranlagen auseinander und hält in Absatz 1 fest, dass öffentliche Abwasseranlagen durch die Stadtentwässerung „... *in einem ordnungsgemäßen Zustand, insbesondere wasserdicht und dicht gegen das Eindringen von Baumwurzeln, zu halten...*“ sind.

Grundwasser darf laut § 11 HmbAbwG nicht in die öffentlichen Abwasseranlagen eingeleitet werden, „... *soweit es nicht aus Grundwasserabsenkungen im Zusammenhang mit Bauarbeiten oder aus Grundwasserförderungen im Zusammenhang mit Maßnahmen der Altlastensanierung oder aus Absenkungsmaßnahmen zur Verhinderung von Bauschäden infolge wesentlich erhöhter Grundwasserstände stammt...*“.

Insbesondere in den §§ 13 bis 15 des HmbAbwG werden Anforderungen an Bau, Betrieb und Unterhaltung von Grundstücksentwässerungsanlagen gestellt. So gibt § 13 HmbAbwG vor, dass Grundstücksentwässerungsanlagen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik errichtet, geändert und beseitigt werden müssen. § 15 des Hamburgischen Abwassergesetzes verpflichtet die Eigentümerinnen und Eigentümer von Grundstücksentwässerungsanlagen, diese „... *in einem ordnungsgemäßen Zustand, insbesondere wasserdicht und dicht gegen das Eindringen von Baumwurzeln, zu halten. Eindringene Baumwurzeln hat die Eigentümerin bzw. der Eigentümer der Grundstücksentwässerungsanlage zu entfernen und die Anlage wiederherzustellen, es sei denn, sie bzw. er weist nach, dass die Anlage bis zum Eindringen der Baumwurzeln dicht gewesen und die Undichtigkeit erst durch die Baumwurzeln hervorgerufen worden ist...*“. Nach § 15 Absatz 2 HmbAbwG sind die allgemein anerkannten Regeln der Technik „... *bei Betrieb, Unterhaltung, Wartung, Überprüfung und Eigenüberwachung von Grundstücksentwässerungsanlagen einzuhalten...*“. § 17 HmbAbwG (behördliche Überwachung) berechtigt die zuständige Behörde und ihre Beauftragten, von den Eigentümerinnen und Eigentümern den Nachweis der Dichtheit ihrer Grundstücksentwässerungsanlage zu verlangen und Dichtheitsprüfungen zu veranlassen. Weitere Konkretisierungen zur Eigenüberwachung enthält § 17 b HmbAbwG. Demnach haben die Eigentümerinnen und Eigentümer von Grundstücksentwässerungsanlagen „...*die im Erdreich liegenden Anlagen vor erstmaliger Inbetriebnahme neuer Anlagen und Anlagenteile nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik und bei bestehenden Anlagen nach den auf Grund von § 15 Absatz 2 veröffentlichten Technischen Betriebsbestimmungen zu überprüfen und die Dichtheit nachzuweisen. Der Dichtheitsnachweis für neue Anlagen und Anlagenteile ist der zuständigen Behörde unaufgefordert zuzusenden. Der Dichtheitsnachweis für bestehende Grundstücksentwässerungsanlagen ist von den Eigentümerinnen bzw. Eigentümern aufzubewahren und der zuständigen Behörde auf Verlangen vorzulegen...*“.

Als einschlägige Norm wurde 1997 die DIN 1986-30 (vgl. DIN 1986-30) als Technische Betriebsbestimmung für Entwässerungsanlagen eingeführt, was sich inhaltlich im Hamburgischen Abwassergesetz in § 15 Absatz 2 HmbAbwG widerspiegelt. Nach Angaben der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt ist die Norm damit verbindlich anzuwenden.

5.1.3.7 Hessen

Das hessische Wassergesetz (HWG, 2010) aus dem Jahr 2010 regelt im zweiten Abschnitt in den §§ 37 bis 40 die Abwasserbeseitigung. In § 40 HWG sind Bestimmungen zu Betrieb, Eigenkon-

trolle und Überwachung von Abwasseranlagen aufgeführt, die § 61 WHG konkretisieren. Gemäß § 40 Abs. 2 HWG können die Ausführungs- bzw. Vollzugsbestimmungen zu Betrieb, Eigenkontrolle und Überwachung in einer Rechtsverordnung bestimmt werden. Zu beachten ist zudem, dass gemäß § 37 Abs. 2 HWG die Abwasserbeseitigungspflichtigen „...den ordnungsgemäßen Bau und Betrieb von Zuleitungskanälen zum öffentlichen Kanal zu überwachen oder sich entsprechende Nachweise vorlegen zu lassen“ haben. Die Abwasserbeseitigungspflichtigen können die Überwachung der Zuleitungskanäle selbst oder durch ein beauftragtes Unternehmen durchführen.

Die Ausführungsbestimmungen für Betrieb, Eigenkontrolle und Überwachung von Abwasseranlagen finden sich in der im Jahr 2010 neu eingeführten hessischen Abwassereigenkontrollverordnung (EKVO) wieder. Bei öffentlichen Abwasserkanälen und -leitungen, einschließlich der Anschlussstutzen, Rohrverbindungen und Schächte, ist demnach durch eine Zustandserfassung festzustellen, ob die Anlage den allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht. Weiterhin werden in der EKVO u. a. Fristen, Umfang der Untersuchungen und die Dokumentation geregelt.

Die Absätze mit Regelungen wie z.B. Fristen zur Prüfung der privaten Zuleitungskanäle (Grundstücksentwässerung) wurden im Mai 2012 wieder gestrichen. In einem Dialogverfahren soll unter Einbeziehung beteiligter Interessensvertreter ergebnisoffen erörtert werden, inwieweit die Regelungen notwendig und verhältnismäßig sind und wieder eingeführt bzw. abgeändert werden. (vgl. HMUELV 2012).

In § 39 der hessischen Bauordnung (HBO) wird ergänzend bestimmt, dass Anlagen für Abwasser und Niederschlagswasser nur errichtet werden dürfen, „wenn die einwandfreie Beseitigung der Abwässer einschließlich Niederschlagswasser dauernd gesichert ist. Die Anlagen sind so anzuordnen, herzustellen und zu unterhalten, dass sie betriebssicher sind und Gefahren, unzumutbare Nachteile oder unzumutbare Belästigungen nicht entstehen.“ Die HBO gilt nicht für Anlagen, die zur öffentlichen Entsorgung dienen (vgl. §1 HBO).

5.1.3.8 Mecklenburg-Vorpommern

Das Wassergesetz des Landes Mecklenburg-Vorpommern (LWaG M-V) setzt sich in den §§ 39 bis 42 mit der Abwasserbeseitigung auseinander, trifft dort jedoch keine näheren Anforderungen zum Betrieb und zur Unterhaltung von Abwasserkanälen. In § 41 LWaG M-V wird die oberste Wasserbehörde lediglich ermächtigt, durch Rechtsverordnung festzulegen, „... dass die Unternehmer von Abwasseranlagen die Sicherheit und Funktion ihrer Anlagen sowie den baulichen Zustand auf ihre Kosten daraufhin zu prüfen haben, ob diese den jeweils in Betracht kommenden Regeln der Technik entsprechen und welche weiteren Anforderungen zu berücksichtigen sind...“.

Gemäß Landesbauordnung Mecklenburg-Vorpommern (LBauO MV) dürfen Anlagen für Abwasser und Niederschlagswasser „... nur errichtet werden, wenn die einwandfreie Beseitigung der Abwässer und des Niederschlagswassers dauernd gesichert ist. Die Anlagen dafür sind so anzuordnen, herzustellen und instand zu halten, dass sie betriebssicher sind und Gefahren oder unzumutbare Belästigungen nicht entstehen...“.

Weiteführende Regelungen finden sich in der Verordnung über die Selbstüberwachung von Abwasseranlagen und Abwassereinleitungen (Selbstüberwachungsverordnung - SÜVO M-V), die basierend auf § 41 LWaG M-V veröffentlicht wurde. Sie gilt für öffentliche Kanalisationen, jedoch nicht für private Grundstücksentwässerungsanlagen (Hausanschlüsse). In § 2 SÜVO M-V (vgl. SÜVO M-V 2006) wird der Umfang der Selbstüberwachung geregelt. Demnach sind die Unternehmer einer Abwasseranlage dazu verpflichtet, die für einen ordnungsgemäßen Betrieb erforderlichen „... Zustands- und Funktionskontrollen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik durchzuführen...“ (Absatz 1). Weiter heißt es in § 2 Absatz 6, dass „... Sofern eine erstmalige Überprüfung des Zustandes der Abwasserkanäle und -leitungen einschließlich der Schachtbauwerke entsprechend den allgemein anerkannten Regeln der Technik nicht bereits

nach dem 30. September 1993 erfolgt ist... die Erstüberprüfung und Bewertung nach Schadensklassen innerhalb einer angemessenen Frist abgeschlossen und eine Konzeption zur Schadensbeseitigung aufgestellt wird...“. Anlage 3 der SÜVO M-V enthält weitere Spezifikationen, *„Sofern sich aufgrund von technischen Vorschriften oder Herstellerangaben nichts anderes ergibt, sind Schmutz- und Mischwasseranlagen, für die ein Dichtigkeitsnachweis vorliegt, erneut nach mindestens 15 Jahren, die übrigen Schmutz- und Mischwasseranlagen nach zehn Jahren zu untersuchen... Werden bei geforderten Inspektionen Schäden festgestellt, ist eine Bewertung nach Schadensklassen vorzunehmen und eine Konzeption mit Ausführungszeitplan zu deren Beseitigung vorzulegen. Das DWA-Merkblatt M 149... ist anzuwenden...“.*

5.1.3.9 Niedersachsen

Die Niedersächsische Bauordnung (NBauO) enthält keine expliziten Anforderungen für den Betrieb und Unterhalt von Abwasserkanälen, in § 41 Absatz 2 wird lediglich festgesetzt, dass bei bauliche Anlagen *„... die einwandfreie Beseitigung der Abwässer... dauernd gesichert sein...“* muss.

Weitere Regelungen zur Abwasserbeseitigung finden sich in den §§ 95 bis 100 des Niedersächsischen Wassergesetzes (NWG), konkrete Anforderungen an die Kanalisation werden dort jedoch nicht gestellt.

5.1.3.10 Nordrhein-Westfalen

Das nordrhein-westfälische Landeswassergesetzes (LWG NRW) vom 25.06.1995 regelt in Abschnitt III in den §§ 51 bis 63 die Abwasserbeseitigung. In den genannten Paragrafen sind für die Abwasserbeseitigung Bestimmungen wie z.B. Begriffsbestimmungen, Geltungsbereich, Umgang mit Niederschlagswasser, Bau und Betrieb sowie die Selbstüberwachung von Abwasseranlagen aufgeführt, die u. a. die Vorgaben des WHG konkretisieren. In diesen Paragrafen sind letztmals am 16.03.2013 Änderungen in Kraft getreten. U. a. wurde dabei der § 61a LWG NRW mit Bestimmungen für die Dichtheitsprüfung privater Abwasserleitungen aufgehoben.

§ 53 LWG NRW regelt u. a., dass die Gemeinden *„das auf ihrem Gebiet anfallende Abwasser gemäß WHG [...] zu beseitigen“* haben und hierzu ein Abwasserbeseitigungskonzept zu erstellen und fortzuschreiben haben.

In § 53c LWG NRW werden Bestimmungen für die Umlage von Kosten der Abwasser- und Fremdwasserbeseitigung genannt. Die Erhebung von Benutzungsgebühren durch die Gemeinden erfolgt demnach *„auf der Grundlage des Kommunalabgabengesetzes“* (KAG NRW). Zu den ansatzfähigen Kosten gehören u. a. auch

- *„die Kosten der Beratung der Anschlussnehmer im Zusammenhang mit dem Anschluss ihres Grundstücks an die öffentliche Abwasser- oder Fremdwasseranlage...“*;
- *„die Kosten zur Ableitung oder Behandlung von Grund- und Dränagewasser über öffentliche Abwasser- oder Fremdwasseranlagen“* und
- *„die Kosten zur Verbesserung der Vorflut für die Zwecke der getrennten Niederschlagswasser- und Fremdwasserbeseitigung.“*

„Ein schonender und sparsamer Umgang mit Wasser sowie die Nutzung von Regenwasser sollen“ gemäß § 53c *„in die Gestaltung der Benutzungsgebühr einfließen“.*

Die Selbstüberwachung von Abwasseranlagen (SüwVO Abw NRW) – öffentlich und privat – ist seit dem 16.03.2013 in § 61 LWG NRW neu geregelt. Abwasseranlagen sind demnach nach Maßgabe der §§ 60 Absatz 1 und 2, 61 Absatz 2 WHG zu betreiben. Die oberste Wasserbehörde ist darüber hinaus gemäß § 61 Absatz 2 LWG NRW ermächtigt, durch Rechtsverordnung mit Zustimmung des NRW-Landtags Regelungen zu treffen über

- *„die vom Betreiber zu beobachtenden Einrichtungen und Vorgänge“*;

- *„die Häufigkeit der Beobachtung“*,
- *„die Art und den Umfang der zu ermittelnden Betriebskenndaten und die Häufigkeit ihrer Ermittlung sowie Art und Umfang der Aufzeichnungen über die Beobachtungen und Ermittlungen“*,
- *„die Methoden und Fristen zur Durchführung der Prüfung des Zustands und der Funktionsfähigkeit“*,
- *„die Notwendigkeit und Fristen der Sanierung“*,
- *„die Anforderungen an die Sachkunde“* und
- *„den Inhalt, die Aufbewahrung und die Vorlage von Unterlagen, Nachweisen und Prüfbescheinigungen“*.

Der NRW-Landtag hat die neue Rechtsverordnung am 17.10.2013 verabschiedet, die am 09.11.2013 in Kraft getreten ist. Im Teil 1 der neuen Selbstüberwachungsverordnung Abwasser (SüwVO Abw NRW) werden Regelungen zur Prüfung der öffentlichen Abwasseranlage getroffen. Diese Regelungen entsprechen grundsätzlich den Regelungen, die bereits seit dem Jahr 1995 in der Selbstüberwachungsverordnung Kanal NRW (SüwV Kan NRW) eingeführt sind. Im zweiten Abschnitt der Rechtsverordnung sind Bestimmungen für die Zustands- und Funktionsprüfung privater Abwasseranlagen aufgeführt. Fristen für diese Anlagen werden demnach in NRW landesweit nur noch für Anlagen in Wasserschutzgebieten und Anlagen zu Ableitungen industrieller bzw. gewerblicher Abwässer vorgegeben.

In § 53 Absatz 1e der SüwVO Abwasser ist zudem geregelt, *„dass die Gemeinden durch Satzung Fristen für die Prüfung von Haus- und/oder Grundstücksanschlüssen festlegen können, wenn keine Fristen in der Rechtsverordnung nach § 61 LWG NRW geregelt sind (s. o.) oder wenn Sanierungsmaßnahmen an öffentlichen Abwasseranlagen anstehen oder wenn die Gemeinde die öffentliche Kanalisation überprüft. Auch ist die Gemeinde verpflichtet, die Grundstückseigentümer über ihre Pflichten nach §§ 60 und 61 des WHG zu unterrichten und zu beraten.“*

In der Landesbauordnung von Nordrhein-Westfalen (BauO NRW) heißt es in § 4, *„dass Gebäude nur errichtet werden dürfen, wenn gesichert ist, dass bis zum Beginn ihrer Benutzung die erforderlichen Abwasseranlagen vorhanden und benutzbar sind und die Abwasserbeseitigung entsprechend den wasserrechtlichen Vorschriften gewährleistet ist.“* Die Landesbauordnung gilt nicht für Leitungen zur öffentlichen Abwasserbeseitigung (vgl. § 1 LBO NRW).

5.1.3.11 Rheinland-Pfalz

Die Landesbauordnung Rheinland-Pfalz (LBauO RP) trifft Regelungen zur Abwasserbeseitigung in den §§ 41 und 42. Dort wird gefordert, dass bei der Errichtung baulicher Anlagen die Beseitigung des Abwassers auf Dauer sichergestellt sein muss und Abwasseranlagen so anzuordnen, herzustellen und instand zu halten sind, *„...dass sie betriebssicher sind und keine Gefahren oder unzumutbaren Belästigungen entstehen...“*.

Das Wassergesetz für das Land Rheinland-Pfalz (Landeswassergesetz - LWG RP) setzt sich in den §§ 51 bis 60 mit der Abwasserbeseitigung auseinander. Laut dem § 51 müssen Beseitigungspflichtige sicherstellen, *„... dass das in ihrem Gebiet anfallende Abwasser ordnungsgemäß beseitigt wird...“*. Weiter heißt es, haben sie *„... die dafür erforderlichen Einrichtungen und Anlagen nach den jeweils in Betracht kommenden Regeln der Technik zu errichten und zu betreiben...“*. Regeln der Technik werden nach den Angaben im Gesetz von der obersten Wasserbehörde durch Verwaltungsvorschrift im Ministerialblatt der Landesregierung eingeführt. In § 56, LWG RP der sich mit dem Bau und Betrieb von Abwasseranlagen befasst, ist festgehalten, dass *„... der Unternehmer die erforderlichen Anpassungsmaßnahmen durchzuführen...“* hat, sofern *„...vorhandene Abwasseranlagen nicht den Anforderungen nach § 18b Abs. 1 WHG...“* (heute: § 60 WHG) entsprechen.

Die Landesverordnung über die Eigenüberwachung von Abwasseranlagen (EÜVOA) gilt u. a. für die Zustandsprüfung öffentlicher Abwasserkanäle und -leitungen, jedoch nicht für private Entwässerungsleitungen. In § 4 EÜVOA heißt es, dass „... *Feststellungen zu Art, Ausmaß und Lage von Schäden sowie Sanierungsmaßnahmen...*“ dem Unternehmer mitzuteilen sind. Der Umfang der Überprüfung wird nach § 4 in Anlage 3 EÜVOA geregelt. Demnach sind Abwasserkanäle und -leitungen „... *mindestens alle zehn Jahre durch optische Untersuchungen auf ihren ordnungsgemäßen Zustand zu überprüfen. In Wasser- und Heilquellenschutzgebieten gelten die sich aus den allgemein anerkannten Regeln der Technik ergebenden kürzeren Fristen. Für neue oder neuwertige Abwasserkanäle und -leitungen sind die ersten beiden Wiederholungsprüfungen nach der Inbetriebnahme nach jeweils 15 Jahren durchzuführen...*“.

Ergänzend verfügt das Bundesland Rheinland-Pfalz über eine Landesverordnung über die Beseitigung von kommunalem Abwasser (KomAbwVO). Diese trifft Regelungen die Kanalisation betreffend in § 4. Gemäß den Ausführungen muss die Kanalisation „... *den Anforderungen an die Abwasserbehandlung Rechnung tragen...*“ und bei „... *Entwurf, Bau und Unterhaltung... sind die optimalen technischen Kenntnisse zugrunde zu legen...*“.

5.1.3.12 Saarland

Die Landesbauordnung des Saarlandes (LBO SL) enthält Regelungen für Abwasseranlagen in § 42. Gemäß den Ausführungen in Absatz 1 müssen private Anlagen für die Ableitung von Schmutz- und Regenwasser „... *betriebsicher, dicht, sicher und leicht erreichbar und so angeordnet und beschaffen sein, dass Gefahren oder erhebliche Nachteile oder Belästigungen, insbesondere durch Gerüche und Geräusche, nicht entstehen...*“.

Im Saarländischen Wassergesetz (SWG) befassen sich die §§ 49 bis 54 mit der Abwasserbeseitigung, von besonderer Bedeutung für den Betrieb und Unterhalt von Abwasserkanälen sind hier die §§ 53 und 54 SWG. § 53 Absatz 2 SWG besagt, dass Abwasseranlagen nach den jeweils in Betracht kommenden Regeln der Technik zu errichten, zu betreiben und zu unterhalten sind, „... *dass sie geeignet sind, die in der Erlaubnis zur Abwassereinleitung oder in der Genehmigung der Indirekteinleitung festgelegten Werte in ihrem Ablauf einzuhalten...*“. Weiter heißt es, gehören „... *zur Unterhaltung der Anlagen... insbesondere die notwendigen Vorkehrungen, um Störungen im Betrieb der Anlage oder Reparaturen, die die Ablaufwerte verschlechtern, vorzubeugen...*“. § 54 SWG setzt sich mit der Überwachung und Eigenkontrolle von Abwasseranlagen auseinander. Im Wesentlichen wird die zuständige Behörde dort ermächtigt, durch eine Rechtsverordnung Geräte, Untersuchungen, Prüfintervalle u. a. für die Überprüfung festzulegen. Das saarländische Ministerium für Umwelt hat zu diesem Zweck die Verordnung über die Eigenkontrolle von Abwasserbehandlungsanlagen (Eigenkontrollverordnung - EKVO) (vgl. EKVO SL 1994) erlassen, diese enthält jedoch nach aktuellem Stand keinerlei Regelungen für die Eigenüberwachung von Abwasserkanälen.

5.1.3.13 Sachsen

Das Sächsische Wassergesetz (SächsWG) setzt sich im Wesentlichen in den §§ 62 bis 65 mit dem Thema „Abwasserbeseitigung“ auseinander, es werden jedoch keine näheren Angaben zu Betrieb und Unterhalt von Abwasserkanälen gemacht. In § 65 SächsWG wird die oberste Wasserbehörde ermächtigt, zum Schutz der Gewässer durch Rechtsverordnung Ausführungsdetails zur Eigenkontrolle zu erlassen. Dies hat die oberste Wasserbehörde in Form einer Eigenkontrollverordnung auch getan (nähere Ausführungen siehe unten).

In § 66 SächsWG, der sich mit Wasserversorgungs- und Abwasseranlagen befasst, finden sich nähere Angaben zu Betrieb und Unterhaltung von Abwasseranlagen. Demzufolge sind „... *Abwasseranlagen... so zu planen, anzuordnen, zu errichten, zu betreiben, zu kontrollieren, zu ändern, Instand zu setzen und zu unterhalten, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben und Gesundheit der Menschen, nicht gefährdet werden und den ökologischen Belangen Rechnung getragen wird. Die Anlagen müssen mindestens den allgemein anerkannten*

ten Regeln der Technik entsprechen.“. Weitere Angaben sind dem Sächsischen Wassergesetz nicht zu entnehmen.

In § 3 der Eigenkontrollverordnung des Freistaates Sachsen (EigenkontrollVO - EKVO Sachs) ist dargestellt, in welchem Umfang die Eigenkontrolle stattzufinden hat. Mit der Eigenkontrollpflicht sollen die Funktionsicherheit und die Funktionsfähigkeit nachgewiesen werden, bei Abwasserkanälen und -leitungen ist gemäß § 3 Abs. 1 EKVO Sachs „... *insbesondere die Dichtigkeit regelmäßig zu überprüfen...*“. Weitere Details zur Eigenkontrolle von Abwasserkanälen und -leitungen (einschließlich Schachtbauwerke) werden darüber hinaus in Anhang I der EigenkontrollVO aufgeführt. Als Prüfverfahren wird die optische Kontrolle genannt, bzgl. Anlässen, Fristen und anzuwendenden Methoden gilt Tabelle 2 der DIN 1986, Teil 30 (vgl. DIN 1986-30). Die „... *Ergebnisse der Dichtigkeitsprüfungen und der Funktions- und Sichtkontrollen sind im Betriebstagebuch aufzuzeichnen und zusammengefasst im Jahresbericht nach § 6 Abs. 1 EKVO Sachs vorzulegen...*“.

5.1.3.14 Sachsen-Anhalt

Das Wassergesetz für das Bundesland Sachsen-Anhalt (WG LSA) trifft hauptsächlich in den §§ 78 bis 82 Regelungen zur Abwasserbeseitigung, es werden jedoch keine genaueren Anforderungen an den Betrieb und Unterhalt sowie den Zustand von Abwasserkanälen gestellt.

Genauere Festlegungen für die Selbstüberwachung von Abwasseranlagen enthält die Eigenüberwachungsverordnung (EigÜVO) für Sachsen-Anhalt. Nach § 2 EigÜVO gehören zur Eigenüberwachung u. a. Betrieb- und Funktionskontrollen, Art und Umfang der Eigenüberwachung von öffentlichen Schmutz- und Mischwasserkanälen werden in Anlage 4 EigÜVO weiter spezifiziert. Demnach müssen Kanäle regelmäßig hinsichtlich Funktion und Zustand überprüft werden. Weiter heißt es, „... *Sofern sich aufgrund von technischen Vorschriften oder Herstellerangaben nichts anderes ergibt, sind Kanäle, für die ein Dichtigkeitsnachweis vorliegt, erneut nach spätestens 15 Jahren, danach wie alle übrigen Kanäle nach spätestens zehn Jahren zu untersuchen... Die Anlagen sind entsprechend den allgemein anerkannten Regeln der Technik regelmäßig zu reinigen und zu warten...*“.

5.1.3.15 Schleswig-Holstein

Das Wassergesetz des Landes Schleswig-Holstein (WG SH) befasst sich im Vierten Teil (Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung) in den §§ 30 bis 35 mit dem Thema Abwasserbeseitigung. Regelungen für den Bau und Betrieb von Abwasseranlagen sind in § 34 WG SH enthalten. Demnach gelten ergänzend zu den Vorgaben des Wasserhaushaltsgesetzes nach § 60 Absatz 1 WHG auch die technischen Bestimmungen „... *als jeweils in Betracht kommende Regeln der Technik für die Errichtung und den Betrieb von Abwasseranlagen..., die von der obersten Wasserbehörde durch öffentliche Bekanntmachung im Amtsblatt für Schleswig-Holstein eingeführt werden...*“.

Erfüllen Abwasseranlagen nicht die Anforderungen nach § 60 Absatz 1 WHG und die Betreiberin oder der Betreiber kommt der Verpflichtung gemäß § 60 Absatz 2 WHG nicht nach, kann „... *die Wasserbehörde die erforderlichen Maßnahmen unter Fristsetzung...*“ anordnen.

Gemäß Anlage 2 der Landesverordnung über die Selbstüberwachung von Abwasseranlagen und Abwassereinleitungen (Selbstüberwachungsverordnung - SüVO) umfasst die Selbstüberwachung von öffentlichen Kanalisationsanlagen „*die regelmäßige Überprüfung des Zustandes dieser Anlagen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik (a.a.R.d.T.) und deren Dokumentation.*“

5.1.3.16 Thüringen

Das Thüringer Wassergesetz (ThürWG) befasst sich in den §§ 57 bis 60 mit dem Thema Abwasserbeseitigung. § 60 ThürWG setzt sich genauer mit „*Betrieb, Eigenkontrolle und Überwachung*

der Abwasseranlagen“ auseinander. Nach § 60 Absatz 1 ThürWG müssen die Unternehmer von Abwasseranlagen den ordnungsgemäßen Betrieb und Unterhalt sicherstellen, „... die allgemein anerkannten Regeln der Technik...“ sind einzuhalten. In § 60 Absatz 3 ThürWG ist geregelt, dass die Oberste Wasserbehörde per Rechtsverordnung „... die Unternehmer von Abwasseranlagen...“ dazu auffordern kann, „... die Sicherheit und Funktion ihrer Anlagen sowie den baulichen Zustand auf ihre Kosten daraufhin zu prüfen...ob diese den jeweils in Betracht kommenden Regeln der Technik entsprechen und welche weiteren Anforderungen zu berücksichtigen sind...“. Auch über die Form und die Zeitabstände der Kontrollen kann die Oberste Wasserbehörde Regelungen treffen.

Zu diesem Zweck wurde in Thüringen die Thüringer Verordnung über die Eigenkontrolle von Abwasseranlagen (Thüringer Abwassereigenkontrollverordnung - ThürAbwEKVO) erlassen. Der Anwendungsbereich der Verordnung ist gemäß § 1 „... die Eigenkontrolle von Abwasseranlagen sowie der Abwassereinleitung aus diesen...“. Im Detail befasst sich § 2 ThürAbwEKVO mit der Eigenkontrolle. Gemäß § 2 Absatz 1 ThürAbwEKVO umfasst die Eigenkontrolle insbesondere „Betriebs- und Funktionskontrollen“ sowie die „Aufbewahrung der Aufzeichnungen und Auswertungen“. In § 2 Absatz 2 ThürAbwEKVO ist geregelt, dass eigenkontrollpflichtig der Unternehmer der Abwasseranlage ist. „... Unternehmer im Sinne dieser Verordnung ist die natürliche oder juristische Person, in deren Besitz sich die jeweilige Anlage befindet. Bei öffentlichen Abwasseranlagen ist dies der Abwasserbeseitigungspflichtige (beispielsweise eine Gemeinde oder ein Zweckverband) und bei gewerblichen Abwasseranlagen der Unternehmer im kaufmännischen Sinne...“. „Die Wasserbehörde kann im Einzelfall anordnen, dass der Unternehmer von Abwasseranlagen zusätzlich zu der in dieser Verordnung festgelegten Eigenkontrolle weitere Prüfungen, Untersuchungen, Messungen, Auswertungen und Maßnahmen durchzuführen hat.“ (§ 2 Absatz 5 ThürAbwEKVO).

Nähere Details zu Art und Umfang der Eigenkontrolle öffentlicher Kanalisationsanlagen enthält Anlage 1 der ThürAbwEKVO. Demnach müssen öffentliche Kanalisationsanlagen inklusive Schächten und Sonderbauwerken (z.B. Pumpwerke und Düker) regelmäßig mit Verfahren nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik überprüft werden („... Bei Freispiegelkanälen und Sonderbauwerken ist eine optische Untersuchung und bei Druckleitungen eine Druckprüfung erforderlich...“). Bis Ende 2015 soll für das gesamte öffentliche Netz die Erstüberprüfung vorgenommen worden sein, in Abständen von 15 Jahren sollen Wiederholungsprüfungen stattfinden. Für private Abwasserkanäle, die nur häusliches Abwasser ableiten, werden in der ThürAbwEKVO keine Regelungen getroffen.

5.2 Technische Regelwerke

In den Veröffentlichungen des Deutschen Institutes für Normung e.V. (DIN) und der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) finden sich die meisten normativen Regeln im Bereich der Abwassertechnik. Die Recherche zum technischen Regelwerk im Rahmen dieses Projektes stützt sich daher im Wesentlichen auf die Veröffentlichungen des DIN und der DWA. Die wichtigsten technischen Regelwerke werden in nachfolgenden Kapiteln dargestellt (vgl. Kapitel 5.2.1 und Kapitel 5.2.2).

5.2.1 DIN-Normen

Der Stellenwert von Normen und deren Bedeutung für die rechtliche Situation wird vom Deutschen Institut für Normung e.V. (DIN) wie folgt beschrieben: „...Auch unter rechtlichen Aspekten stehen Normen für Sicherheit: Zunächst sind DIN-Normen Empfehlungen, deren Anwendung jedem freisteht. Verbindlich werden Normen nur dann, wenn in privaten Verträgen oder in Gesetzen und Verordnungen auf sie Bezug genommen wird und dort deren Anwendung festgelegt ist. Durch die Anwendung von Normen lassen sich Rechtsstreitigkeiten vermeiden,

weil sie eindeutige Festlegungen enthalten. Als Hersteller ist man mit Normen auf der sicheren Seite [...]“. (vgl. DIN, 2013)

Tabelle 7 gibt einen Überblick über aktuelle DIN-Normen mit Blick auf Bau, Betrieb und Instandhaltung von Abwasserkanälen und -leitungen.

Tabelle 7: DIN-Normen zu Bau, Betrieb und Instandhaltung von Abwasserkanälen und -leitungen (Beispiele)

DIN-Normen (Kürzel)	Titel
DIN EN 476	Allgemeine Anforderungen an Bauteile für Abwasserkanäle und -leitungen für Schwerkraftentwässerungssysteme (08/1997)
DIN EN 752	Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden (04/2008)
DIN EN 12056-1	Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden Teil 1: Allgemeine und Ausführungsanforderungen (01/2001)
DIN EN 12056-2	Teil 2: Schmutzwasseranlagen, Planung und Berechnung (01/2001)
DIN EN 12056-3	Teil 3: Dachentwässerung, Planung und Bemessung (01/2001)
DIN EN 12056-4	Teil 4: Abwasserhebeanlagen, Planung und Bemessung (01/2001)
DIN EN 12056-5	Teil 5: Installation und Prüfung, Anleitung für Betrieb, Wartung und Gebrauch (01/2001)
DIN EN 1610	Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen (10/1997)
DIN EN 13508-1	Zustand von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden Teil 1: Allgemeine Anforderungen (02/2004)
DIN EN 13508-2	Teil 2: Kodiersystem für die optische Inspektion (08/2011)
DIN 1986-3	Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke Teil 3: Regeln für Betrieb und Wartung (11/2004)
DIN 1986-4	Teil 4: Verwendungsbereich von Abwasserrohren und -formstücken versch. Werkstücke (12/2011)
DIN 1986-30	Teil 30: Instandhaltung (02/2012)
DIN 1986-100	Teil 100: Bestimmungen in Verbindung mit DIN EN 752 und DIN EN 12056 (05/2008)
DIN EN 12889	Grabenlose Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen (03/2000)
DIN EN 13380	Allgemeine Anforderungen an Bauteile für die Renovation und die Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen außerhalb von Gebäuden (10/2001)

5.2.1.1 DIN EN 476

Die DIN EN 476 „Allgemeine Anforderungen an Bauteile für Abwasserkanäle und -leitungen für Schwerkraftentwässerungssysteme“ regelt „... *allgemeine Anforderungen an alle Bauteile aber auch besondere Anforderungen an Bauteile für Abflussrohre innerhalb von Gebäuden oder für an der Außenfläche von Gebäuden befestigte Abflussrohre...*“ (vgl. DIN EN 476, Seite 3). Sie dient u. a. „... *als Grundlage für die Ausarbeitung und Überarbeitung von Produktnormen...*“. Bauteile sind entsprechend der Norm beispielsweise Rohre, Formstücke und Schächte für Abwasserleitungen und -kanäle mit den jeweiligen Verbindungen.

Gemäß dem Abschnitt 6.5 (vgl. DIN EN 476, Seite 10) müssen „... *Rohre, Formstücke, Verbindungen und Schächte, die für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen verwendet werden, bei einer hydrostatischen Innendruckprüfung dicht bleiben...*“. Sofern die Wasserdichtheit überwiegend vom Innendruck abhängt, muss zusätzlich eine hydrostatische Wasseraußen- druckprüfung oder Teilvakuumprüfung vorgenommen werden.

Abschnitt 8 (vgl. DIN EN 476, Seite 11) enthält weitergehende Angaben zu dem Prüfverfahren bei der Dichtheitsprüfung, verweist jedoch für weitere Details zu Verfahren, Prüfdauer, zulässiger Wasserzugabe usw. auf die Produktnormen.

5.2.1.2 DIN EN 752

Die DIN EN 752 „Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden“ gilt für Entwässerungssysteme von dem Punkt an, „... *wo das Abwasser das Gebäude bzw. die Dachentwässerung verlässt oder in einen Straßenablauf fließt, bis zu dem Punkt, wo das Abwasser in eine Kläranlage oder einen Vorfluter eingeleitet wird. Abwasserleitungen und -kanäle unterhalb von Gebäuden sind hierbei eingeschlossen, solange sie nicht Bestandteil der Gebäudeentwässerung sind...*“ (vgl. DIN EN 752, Seite 7). Die Norm gibt einen Rahmen für Planung, Bau, Sanierung, Unterhalt und Betrieb der betreffenden Anlagen vor.

Bei ‚Fremdwasser‘ handelt es sich in der DIN EN 752 entsprechend um unerwünschten „...*Abfluss in einem Entwässerungssystem...*“ (vgl. DIN EN 752, Seite 10). Die Dichtheit von Entwässerungssystemen stellt gemäß der Norm eine Funktionalanforderung mit hohem Bezug zu den Zielen Umweltschutz sowie der öffentlichen Gesundheit und Sicherheit dar (vgl. DIN EN 752, Seite 18, Tabelle 1). Auch für die Gesundheit und Sicherheit des Betriebspersonals und die nachhaltige Entwicklung ist die Wasserdichtheit der Entwässerungssysteme von Bedeutung.

Gemäß dem Abschnitt 5.1.12 der DIN EN 752 müssen „... *Neue Abwasserleitungen und -kanäle sowie andere Bauteile... nach den Prüfanforderungen von EN 1610 dicht sein. Bestehende Abwasserleitungen und -kanäle und dazugehörige Sonderbauwerke müssen entsprechend den nationalen oder örtlichen Prüfanforderungen dicht sein...*“ (vgl. DIN EN 752, Seite 21). Nach Abschnitt 8.5.1. sind „...*Rohrleitungen... so zu planen, dass Undichtheiten, die zu einer möglichen Belastung des Grundwassers führen können, vermieden werden...*“ (vgl. DIN EN 752, Seite 46). Sind dennoch Undichtigkeiten im Kanalnetz vorhanden, können Untersuchungen notwendig werden, um die Auswirkungen „...*auf die Grundwasserbeschaffenheit festzustellen...*“ Vorrangig sollen bei vorliegenden Undichtigkeiten Kanäle und Leitungen untersucht werden, die in Grundwasserschutzgebieten liegen oder besonders gefährliche Stoffe transportieren.

Unter dem Begriff ‚Sanierung‘ werden in der DIN EN 752 alle „...*Maßnahmen zur Wiederherstellung oder Verbesserung von vorhandenen Entwässerungssystemen...*“ zusammengefasst (vgl. DIN EN 752, Seite 11). Mit Blick auf die Umweltrelevanz stehen zur Verringerung von Schadstoffeinträgen in das Grundwasser bzw. die Verminderung der Exfiltration für die Sanierung Reparatur- (z.B. Leckabdichtung) und Renovierungsmaßnahmen (z.B. wasserdichte Auskleidung) sowie die Erneuerung in offener oder geschlossener Bauweise zur Verfügung. „... *Bei der Sanierung müssen die Rohrleitungen nach dem entsprechenden Einbau-Handbuch (Bezug nehmend auf die einschlägigen Systemnormen, falls vorhanden) eingebaut werden...*“ (vgl. DIN EN 752, Seite 62).

5.2.1.3 DIN EN 1610

Die DIN EN 1610 befasst sich mit der Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen, „... *die üblicherweise erdverlegt sind und unter Freispiegelbedingungen betrieben werden...*“ (vgl. DIN EN 1610, Seite 3).

Die Dichtheitsprüfung wird dort als Abnahmeprüfung für Rohrleitungen einschließlich der Anschlüsse, Schächte und Inspektionsöffnungen nach der Verfüllung des Rohrgrabens aufgeführt (vgl. DIN EN 1610, Seite 9, Abschnitt 12). Auch eine Vorprüfung vor dem Einbringen der Seitenverfüllung ist laut Norm möglich. Die Dichtheitsprüfung kann sowohl mit Luft (Verfahren „L“) als auch mit Wasser (Verfahren „W“) vorgenommen werden. „*Steht während der Prüfung der Grundwasserspiegel oberhalb des Rohrscheitels an, darf eine Infiltrationsprüfung mit fallbezogenen Vorgaben durchgeführt werden...*“ (vgl. DIN EN 1610, Seite 9, Abschnitt 13.1).

Zum Thema Sanierung werden in der DIN EN 1610 keine Regelungen getroffen.

5.2.1.4 DIN EN 13508

Die DIN EN 13508, Teil 1 „Zustandserfassung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 1: Allgemeine Anforderungen“ gilt für Entwässerungssysteme, „... *welche hauptsächlich als Freispiegelsysteme betrieben werden, von dem Punkt an, wo das Abwasser das Gebäude bzw. die Dachentwässerung verlässt oder in einen Straßeneinlauf fließt, bis zu dem Punkt, wo das Abwasser in eine Behandlungsanlage oder in einen Vorfluter eingeleitet wird. Abwasserleitungen und -kanäle unterhalb von Gebäuden sind hierbei eingeschlossen, solange sie nicht Bestandteil der Gebäudeentwässerung sind...*“ (vgl. DIN EN 13508-1, Seite 4). Sie legt allgemeine Anforderungen an die Erfassung des Zustands von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden fest.

Abschnitt 7 setzt sich inhaltlich mit den Folgen von Mängeln im Entwässerungssystem auseinander. Als mögliche Folgen werden u. a. die Verschmutzung von Grundwasser, Boden und Oberflächengewässer infolge Exfiltrationen aus Schäden (vgl. DIN EN 13508-1, Seite 9, Abschnitt 7.4) sowie die verminderte Reinigungsleistung von Abwasserbehandlungsanlagen durch erhöhtes Fremdwasseraufkommen (vgl. DIN EN 13508-1, 10, Abschnitt 7.6) genannt. Darüber hinaus finden sich in der DIN EN 13508, Teil 1 keine Regelungen zu den Themenbereichen ‚Dichtheit‘ und ‚Sanierung‘.

Die DIN EN 13508, Teil 2 „Zustandserfassung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 2: Kodiersystem für die optische Inspektion“ trifft Regelungen für „...*die Zustandserfassung von Entwässerungssystemen durch Inspektion, Grundlagenerfassung und Berücksichtigung von äußeren Bedingungen sowie weiteren Informationen...*“ (vgl. DIN EN 13508-2, Seite 5). Sie gilt sowohl für öffentliche als auch private Entwässerungssysteme. Im Detail wird in der europäischen Norm ein Kodiersystem für die optische Inspektion festgelegt.

Zweck der gesammelten Informationen im Rahmen der Inspektion ist es beispielsweise, Funktionsbeeinträchtigungen in Entwässerungssystemen zu bewerten und Sanierungspläne zu erstellen (vgl. DIN EN 13508-2, Seite 11). Mit Blick auf Rohrleitungen werden in Tabelle 5 der Norm (vgl. DIN EN 13508-2, Seite 25, Abschnitt 8.3) sowohl für die Infiltration als auch die Exfiltration Codes genannt (BBF und BBG). Neben der Angabe des Codes und der Lage des Ein- oder Austrittspunktes sollen im Fall der Infiltration außerdem Informationen über die Intensität des Wassereintritts aufgenommen werden (Schwitzen, Tropfen, Fließen, Spritzen) (vgl. DIN EN 13508-2, Seite 26 und 27).

5.2.1.5 DIN 1986

Der Aspekt der Dichtheit von Abwasserkanälen wird bereits im Jahr 1928 vom Deutschen Institut für Normung e.V. aufgegriffen. So ist dem § 15 „*Allgemeine Bestimmungen*“ der damaligen DIN 1986 „Bau und Betrieb von Grundstücksentwässerungsanlagen“ zu entnehmen, dass „...*alle Entwässerungsanlagen wasserdicht sein müssen...*“ (vgl. DIN 1986 1928, Seite 7).

In einer aktuellen Fassung der DIN 1986 wird in Teil 3 „Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke – Teil 3: Regeln für Betrieb und Wartung“ die „... *Dichtheit der Abwasserleitungen nach den Prüfanforderungen...*“ gefordert (vgl. DIN 1986-3, Seite 6).

Die DIN 1986, Teil 3 „... *gilt für den Betrieb und die Wartung von Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke nach den Normen der Reihen DIN EN 752, DIN EN 12056 und DIN 1986...*“ (vgl. DIN 1986-30, Seite 3). Darüber hinaus gilt sie zusammen mit DIN 1986-30 (vgl. Kapitel 5.2.1.5).

In den allgemeinen Grundsätzen der DIN 1986, Teil 3 ist festgehalten, dass „... *Entwässerungsanlagen neben ihrem bestimmungsgemäßen Betrieb durch regelmäßige Kontrollen auf sichere Funktion und Mängelfreiheit zu überprüfen und, soweit erforderlich, durch ausreichende Instandhaltungsmaßnahmen in betriebssicherem Zustand zu erhalten...*“ sind (vgl. DIN 1986-3, Seite 4).

Das Einleiten von Grundwasser in die Kanalisation ist gemäß Abschnitt 5.3.3 grundsätzlich nicht erlaubt. Ausnahmen sind unter Beachtung der abwasserrechtlichen Vorschriften nur bei „... Grundwasserabsenkungen im Zusammenhang mit Bauarbeiten oder aus Grundwasserförderungen im Zusammenhang mit Maßnahmen der Altlastensanierung...“ möglich (vgl. DIN 1986-3, Seite 9). Dränagewasser darf entsprechend der DIN 1986 nur in Misch- und Regenwasserkanäle oder Gewässer eingeleitet werden und nur, wenn die zuständige Wasserbehörde und/oder die für die Abwasserbeseitigung zuständige Behörde die Einleitung auch gestattet.

Instandsetzungsmaßnahmen dienen gemäß DIN 1986, Teil 3 der Rückführung in den funktionsfähigen Zustand, „... mit Ausnahme von Verbesserungen...“ (vgl. DIN 1986-3, Seite 11).

Die DIN 1986 Teil 30 „Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke, Teil 30: Instandhaltung“ gilt in Ergänzung zu DIN EN 752 „... für Maßnahmen zur Instandhaltung von in Betrieb befindlichen Entwässerungsanlagen von Gebäuden und Grundstücken... Sie gilt außerdem für Grundleitungen und Anschlusskanäle der Grundstücksentwässerung, die im öffentlichen Grund liegen, aber nicht Bestandteil der öffentlichen Abwasseranlage sind ...“ (vgl. DIN 1986-30, Seite 6).

Laut Zieldefinition (vgl. DIN 1986-30, Seite 6, Abschnitt 6) müssen Grundstücksentwässerungsanlagen „... grundsätzlich von der Anfallstelle (Entwässerungsgegenstand) des Abwassers bis zum Anschluss an die öffentliche Abwasseranlage, eine Abwassersammelgrube, eine Kleinkläranlage und bis zur Einleitungsstelle in ein Gewässer dicht sein...“.

Die optische Inspektion der Anlagen liefert gemäß Abschnitt 9.1 keinen Nachweis der Dichtheit im Sinne der DIN EN 1610, sondern lediglich Informationen über den baulichen Zustand der Anlagen (vgl. DIN 1986-30, Seite 15). Sofern bei der optischen Inspektion jedoch keine sichtbaren Schäden festgestellt werden, wird die optische Inspektion als Dichtheitsnachweis nach den Kriterien der Tabelle 2 anerkannt („fiktive Dichtheit“) (vgl. DIN 1986-30, Seite 27).

Werden Schäden festgestellt, sind diese durch geeignete Sanierungsmaßnahmen in angemessenen Zeiträumen zu beseitigen. Sofortmaßnahmen sind beispielsweise erforderlich im Fall baulicher Schäden (vgl. DIN 1986-30, Seite 16).

Die DIN 1986, Teil 100 „Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke - Bestimmungen in Verbindung mit DIN EN 752 und DIN EN 12056“ „... gilt für Entwässerungsanlagen zur Ableitung von Abwasser in allen Gebäuden und auf Grundstücken in Verbindung mit DIN 1986-3, DIN 1986-4, DIN 1986-30, DIN EN 12056-1 bis DIN EN 12056-5, DIN EN 752 sowie DIN EN 1610, die überwiegend mit Freispiegeleleitungen betrieben werden...“ (vgl. DIN 1986-100, Seite 6). Sie gilt nicht für Anschlusskanäle und öffentliche Kanalnetze. Die Norm legt „...einheitliche technische Bestimmungen für Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung von Entwässerungsanlagen zur Ableitung von Abwasser in Gebäuden und auf Grundstücken...“ fest.

Hinsichtlich der Planung von Grundstücksentwässerungsanlagen wird auf die DIN EN 12056 und die DIN EN 752 verwiesen und hinsichtlich erforderlicher Arbeiten für die Betriebssicherheit und Wartung auf die DIN 1986-3. Für die Instandhaltung gelten die Bestimmungen der DIN 1986-30.

Abschnitt 5.5. der DIN 1986-100 befasst sich mit dem Thema Dränagewasserableitung (vgl. DIN EN 1986-30, Seite 22). Demnach darf Grundwasser „... grundsätzlich nicht in die öffentlichen Abwasseranlagen eingeleitet werden...“. Soll die Dränage eines Gebäudes an die Entwässerungsanlage angeschlossen werden, „... ist vor Baubeginn mit der Wasserbehörde bzw. dem Kanalnetzbetreiber die Zulässigkeit der Einleitung abzustimmen...“.

Gemäß Abschnitt 6.1.2 (vgl. DIN EN 1986-100, Seite 28) müssen Abwasserleitungen bei einem inneren und äußeren Überdruck bis 0,5 bar „... unter den zwischen ihnen und ihrer Umgebung möglichen Wechselwirkungen dauerhaft dicht sein...“. Hinsichtlich der Dichtheitsprüfung wird auf die DIN EN 1610 verwiesen.

5.2.1.6 DIN EN 12889

Die DIN EN 12889 „Grabenlose Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen“ befasst sich mit der *„... grabenlosen Verlegung und Prüfung neuer Abwasserleitungen und -kanäle mit vorgefertigten Rohren und deren Verbindungen, die üblicherweise als Schwerkraftentwässerungssysteme betrieben werden...“* (vgl. DIN EN 12899, Seite 4). Sie gilt auch für grabenlose Erneuerungsverfahren, nicht jedoch für Renovierungsverfahren.

Gemäß Abschnitt 5.1 (vgl. DIN EN 12899, Seite 4) müssen bei der grabenlosen Verlegung Bauteile und Baustoffe verwendet werden, die nationalen bzw. europäischen Normen oder europäischen technischen Zulassungen entsprechen. Nach dem Einbau muss die *„... Dichtheit der Rohrleitungen einschließlich Anschlüsse, Schächte und Inspektionsöffnungen...“* überprüft werden (vgl. DIN EN 12899, Seite 18, Abschnitt 8.2). Abschnitt 9 der Norm legt Verfahren und Anforderungen für die Prüfung von Freispiegelleitungen fest (vgl. DIN EN 12899, Seite 18). Die Prüfung kann demnach entweder mit Luft oder Wasser vorgenommen werden. Die weiteren detaillierten Ausführungen orientieren sich überwiegend an der DIN EN 1610 (vgl. Kapitel 5.2.1.3).

5.2.1.7 DIN EN 13380

Die DIN EN 13380 „Allgemeine Anforderungen an Bauteile für die Renovation und die Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen außerhalb von Gebäuden“ nennt allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren für Bauteile und Werkstoffe, die für die Renovation und Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen eingesetzt werden. Sie gilt für Abwasserleitungen und -kanäle, die im Allgemeinen erdverlegt sind und als Schwerkraftentwässerungssysteme betrieben werden (maximal gelegentlich auftretender Druck: 40 kPa) (vgl. DIN EN 13380, Seite 4). In der Norm werden *„... allgemeine Grundsätze für die Ausarbeitung oder Überarbeitung von Produktnormen...“* aufgestellt. Sofern es keine Produktnorm gibt, kann die DIN EN 13380 für die Ausarbeitung von Produktspezifikationen verwendet werden.

Abschnitt 6.5 (vgl. DIN EN 13380, Seite 8) befasst sich mit der Wasserdichtheit der Bauteile und Werkstoffe für die Renovation und Reparatur. Im „I“-Zustand (*„...endgültiger Zustand eines Bauteils oder eines Werkstoffs, nach Abschluss des jeweiligen Renovierungs- oder Reparaturverfahrens auf der Baustelle...“*) müssen die eingesetzten Bauteile und Werkstoffe demnach *„... bei einer hydrostatischen Innendruckprüfung mit Wasser dicht bleiben...“*.

5.2.2 DWA-Regelwerk

Beim Regelwerk der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) wird im Wesentlichen zwischen Merk- und Arbeitsblättern unterschieden. Arbeitsblätter verfügen im Vergleich zu den Merkblättern über einen höheren Grad der Anerkennung in der Fachwelt und sind in der Praxis erprobt. Dem Arbeitsblatt DWA-A 400 „Grundsätze für die Erarbeitung des DWA-Regelwerkes“ (vgl. DWA A 400, Seite 6) kann entnommen werden, dass es die *„...Aufgabe der Arbeitsblätter ist..., insbesondere zur Umsetzung gesetzlicher Anforderungen technische Verfahren, Einrichtungen, Betriebsweisen und Maßnahmen zu beschreiben, die sich in ihrer praktischen Anwendung bewährt haben und nach sachverständiger Überzeugung der auf dem betreffenden Fachgebiet tätigen Personen als technisch einwandfreie und wirtschaftliche Lösungen gelten...“* Demgegenüber haben Merkblätter die Aufgabe *„...Empfehlungen und Hilfen zur Lösung technischer und betrieblicher Probleme sowie zum Qualitätsmanagement zu geben. Sie können auch Ergänzungen zu Arbeitsblättern darstellen sowie Verfahren, Einrichtungen, Betriebsweisen und Maßnahmen beschreiben, die noch nicht die Voraussetzungen für eine Anerkennung in einem Arbeitsblatt erfüllen. Merkblätter können, wenn die in ihnen enthaltenen Aussagen durch die Praxis bestätigt werden und sie die Anerkennung im betreffenden Fachgebiet gefunden haben, in Arbeitsblätter überführt werden...“*.

Tabelle 8 gibt einen Überblick über das aktuelle Regelwerk zum Thema Bau, Betrieb und Instandhaltung von Abwasserkanälen und -leitungen.

Tabelle 8: DWA-Regelwerk zu Bau, Betrieb und Instandhaltung von Abwasserkanälen und -leitungen (Beispiele)

DWA-Regelwerk (Kürzel)	Titel
DWA-A 139	Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen (12/09)
ATV-DVWK-M 143-1	Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden T1: Grundlagen (08/04)
ATV-M 143-6	Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden T6: Dichtheitsprüfungen bestehender, erdüberschütteter Abwasserleitungen und -kanäle und Schächte mit Wasser, Luftüber- und Unterdruck
DWA-M 149 -2	Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 2: Kodiersystem für die optische Inspektion (11/06)
DWA-M 149-3	Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 3: Zustandsklassifizierung und -bewertung (11/07)
DWA-M 149-5	Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 5: Optische Inspektion (12/10)
DWA-M 182	Fremdwasser in Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden (04/12)

5.2.2.1 Arbeitsblatt DWA-A 139

Das Arbeitsblatt DWA-A 139 „Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen“ befasst sich mit „... *Planung, Bau und Prüfung erdüberdeckter, in offener Bauweise und oberirdisch eingebauter Abwasserleitungen und -kanäle außerhalb von Gebäuden...*“ (vgl. DWA-A 139, Seite 10). Es gilt sowohl für den Neubau als auch für die Erneuerung.

In Abschnitt 9.1 (vgl. DWA-A 139, Seite 31) werden allgemeine Anforderungen an Rohre und Schächte gestellt. Dort wird u. a. festgehalten, dass die Dichtheit der Anschlüsse „... *dauerhaft sichergestellt sein...*“ muss.

Abschnitt 10 (vgl. DWA-A 139, Seite 32) befasst sich mit Prüfungen während des Rohreinbaues. „... *Zur Sicherstellung einer fach- und normgerechten Bauausführung...*“ wird dort empfohlen, Untersuchungen, die auch im Rahmen der Abnahme am Ende der Baumaßnahme vorgenommen werden (vgl. DWA-A 139, Seite 35, Abschnitt 12) „... *während des Einbaues der Rohre und Formstücke laufend...*“ durchzuführen. In diesem Zusammenhang wird auch die Überprüfung der Dichtheit bereits in der Bauphase genannt und es wird darauf hingewiesen, dass die Prüfung sowohl mit Wasser als auch mit Luft durchgeführt werden kann. Die Prüfkriterien sind identisch.

Die Abschlussuntersuchungen und/oder -prüfungen von Rohrleitungen und Schächten nach der Ausführung der Hauptverfüllung und dem Rückbau der Baugrubensicherung werden in Abschnitt 12 (vgl. DWA-A 139, Seite 35) näher behandelt. Überprüft wird die Übereinstimmung mit DIN EN 1610 Abschnitt 12.1 und 12.2 (vgl. DIN EN 1610, Seite 9) und den Vorgaben des Arbeitsblattes DWA-A 139.

Abschnitt 12.2 des Arbeitsblattes DWA-A 139 (vgl. DWA-A 139, Seite 35) befasst sich näher mit der Dichtheitsprüfung. Demnach muss die „... *Prüfung der Dichtheit von Rohrleitungen einschließlich der Anschlüsse, Schächte und Inspektionsöffnungen...*“ analog zu „... *DIN EN 1610 Abschnitt 13 und 14* (vgl. DIN EN 1610, Seite 9 und Seite 12) *nach den zusätzlichen Festlegungen...*“ des Arbeitsblattes DWA-A 139 erfolgen.

5.2.2.2 Merkblatt ATV-DVWK-M 143-1

Das Merkblatt ATV-DVWK-M 143-1 „Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden - Teil 1: Grundlagen“ setzt sich thematisch mit den Grundsätzen und Vorgehensweisen, „... die bei der Planung und dem Entwurf von Sanierungsmaßnahmen... bei bestehenden Entwässerungssystemen zu beachten sind...“, auseinander (vgl. ATV-DVWK-M 143-1, Seite 8). Betrachtet werden bauliche, betriebliche und umweltrelevante Aspekte. Sie gilt für hauptsächlich als Freispiegelsysteme betriebene Entwässerungssysteme zwischen dem Punkt, „... wo das Abwasser das Gebäude bzw. die Dachentwässerung verlässt oder in einen Straßenablauf fließt, bis zu dem Punkt, wo das Abwasser in eine Behandlungsanlage oder in einen Vorfluter eingeleitet wird...“.

In einem ersten Schritt müssen gemäß dem Merkblatt die Leistungsanforderungen an das Entwässerungssystem festgelegt werden (vgl. ATV-DVWK-M 143-1, Seite 12). Grundsätzlich entsprechen „... die Leistungsanforderungen an ein saniertes System... denen an ein neues System...“, insbesondere die Aspekte Standsicherheit, Dichtheit und Betriebssicherheit sind im Hinblick auf bauliche Sanierungen zu beachten.

Zur Beurteilung des baulichen Zustandes werden in dem Merkblatt ATV-DVWK-M 143-1 u. a. Dichtheitsprüfungen genannt (vgl. ATV-DVWK-M 143-1, Seite 15, Abschnitt 7.4). Vorrangig sollten nach Abschnitt 7.4.3 Leitungen auf Wasserdichtheit untersucht werden, die in Grundwasserschutzgebieten liegen oder besonders gefährliche Stoffe ableiten. Darüber hinaus gibt das Merkblatt an, dass Dichtheitsprüfungen „...entsprechend den wasser- und baurechtlichen Vorgaben durchzuführen...“ sind.

5.2.2.3 ATV-M 143-6

Im Merkblatt ATV-M 143-6 „Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden T6: Dichtheitsprüfungen bestehender, erdüberschütteter Abwasserleitungen und -kanäle und Schächte mit Wasser, Luftüber- und Unterdruck“ werden Anforderungen an die Dichtheitsprüfung bestehender, „als Freispiegelleitung betriebenen Abwasserleitungen und -kanälen einschließlich der Schächte“ definiert (vgl. ATV-M 143-6, Seite 3). Das Merkblatt ATV-M 143-6 „gilt in Verbindung mit den Merkblättern ATV-M 143, Teil 1 und Teil 2“. Demnach müssen „Dichtheitsprüfungen an Abwasserleitungen und -kanälen und Schächten in Wassergewinnungsgebieten durchgeführt werden und an solchen, für die entsprechende Anforderungen in Gesetzen oder Überwachungsvorschriften des Bundes, der Länder und Kommunen gestellt werden“.

5.2.2.4 DWA-M 149-2

Das Merkblatt DWA-M 149-2 „Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 2: Kodiersystem für die optische Inspektion“ gilt in Verbindung mit der DIN EN 13508-2 (vgl. Kapitel 5.2.1.4) und befasst sich mit der optischen Inneninspektion z.B. im Rahmen der Instandhaltung, bei der Abnahme von Neubaumaßnahmen, vor Ablauf der Gewährleistungsfrist sowie zur Beweissicherung (vgl. DWA-M 149-2, Seite 9). Insbesondere wird in dem Merkblatt das anzuwendende Kodiersystem bei der Inspektion von Abwasserkanälen und -kanälen, Schächten und Inspektionsöffnungen sowohl im öffentlichen als auch im privaten Bereich eingeführt.

Gemäß Abschnitt 5 des Merkblattes können „... schadhafte Kanalisationen... zu Abwasserexfiltration oder Grundwasserinfiltration führen und dadurch eine Umweltgefährdung darstellen...“ (vgl. DWA-M 149-2, Seite 10). Aufgrund dessen stellen regelmäßige Inspektionen „... eine Voraussetzung zur Vermeidung haftungsrechtlich, abgabenrechtlich, ordnungsrechtlich und strafrechtlich (§ 324 StGB) relevanter Störungen sowie zur wirtschaftlichen Betriebsführung bei der Abwasserableitung...“ dar. Auf Basis durchgeführter Inneninspektionen werden u. a. Sanierungsmaßnahmen geplant und auch ausgeführt.

5.2.2.5 DWA-M 149-3

Das Merkblatt DWA-M 149-3 „Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 3: Zustandsklassifizierung und -bewertung“ befasst sich basierend auf dem Kodiersystem nach DIN EN 13508-2 (vgl. Kapitel 5.2.1.4) und DWA-M 149-2 (vgl. Kapitel 5.2.2.4) thematisch mit der Zustandsklassifizierung und -bewertung (vgl. DWA-M 149-3, Seite 8). Die Zustandsklassifizierung und -bewertung des baulichen und betrieblichen Zustandes ist dem Merkblatt zufolge *„... eine wichtige Grundlage für die Erarbeitung von Sanierungsstrategien und -maßnahmen...“*.

Die Dichtheit (vgl. DWA-M 149-3, Seite 12) stellt entsprechend dem Merkblatt eine grundlegende Anforderung an ein regelkonformes Entwässerungssystem dar. Bei der Zustandsklassifizierung wird aus diesem Grund neben den Aspekten der Standsicherheit und Betriebssicherheit die Relevanz vorgefundener Schäden für die Dichtheit des Bewertungsobjektes einbezogen. Jedes Bewertungsobjekt (Kanal, Leitung, Schacht) erhält unter Berücksichtigung der drei genannten Aspekte im Ergebnis eine Objektklasse (entspricht der schwersten Einzelschadensklasse) und eine Sanierungsbedarfszahl, aus der sich ein entsprechender Handlungsbedarf sowie Priorisierungen ableiten lässt.

5.2.2.6 DWA-M 149-5

Das Merkblatt DWA-M 149-5 „Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 5: Optische Inspektion“ gilt für die *„... Erfassung des baulichen und betrieblichen Zustandes von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden durch optische Inspektion...“* (vgl. DWA-M 149-5, Seite 7). Es gilt ausdrücklich auch für Grundstücksentwässerungsanlagen und unterhalb von Gebäuden verlegte Entwässerungsteile. In dem Merkblatt wird unterschieden in Verfahren zur indirekten und zur direkten Inspektion (vgl. DWA-M 149-5, Seite 8). Während die indirekte Inspektion mittels Kamerabefahrung überwiegend in nicht begehbaren Nennweiten vorgenommen wird, kommt in begehbaren Nennweiten für gewöhnlich die direkte Inspektion durch Begehung, bei der zu Dokumentationszwecken eine entsprechende Kamera vom Inspekteur mitgeführt wird, zum Einsatz.

Da durch die optische Inspektion gemäß dem Merkblatt lediglich sichtbare Zustände der Entwässerungssysteme erfasst werden können, sind im Zweifelsfall nur Hinweise über mögliche Schäden möglich. Aussagen über die Einhaltung von Anforderungen wie beispielsweise die Dichtheit sind im Einzelfall schwierig (vgl. DWA-M 149-5, Seite 7). Die eingesetzten Inspektionssysteme sollen aus diesem Grund in der Lage sein, dynamische Prozesse wie In- und Exfiltrationen darzustellen (vgl. DWA-M 149-5, Seite 11).

Überdies enthält das Merkblatt ausführliche Angaben zur erforderlichen technischen Ausrüstung, Dokumentation, Qualitätssicherung sowie zu den Themen Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz.

5.2.2.7 DWA-M 182

Das Merkblatt DWA-M 182 „Fremdwasser in Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden“ gilt entsprechend der DIN EN 752 (siehe Kapitel 5.2.2.7) *„... von dem Punkt an, wo das Abwasser das Gebäude bzw. die Dachentwässerung verlässt oder in einen Straßeneinlauf fließt bis zu dem Punkt, wo das Abwasser in eine Behandlungsanlage oder in ein Gewässer eingeleitet wird. Abwasserleitungen und Kanäle unter Gebäuden sind hierbei eingeschlossen, soweit sie nicht Bestandteil der Gebäudeentwässerung sind...“* (vgl. DWA-M 182, Seite 9). Es betrifft sowohl öffentliche als auch private Kanäle.

Per Definition handelt es sich bei Fremdwasser um das *„... in Abwasseranlagen abfließende Wasser, welches weder durch häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch in seinen Eigenschaften verändert ist noch bei Niederschlägen von bebauten oder befestigten Flächen gesammelt und bestimmungsgemäß eingeleitet wurde...“*. Weiter wird un-

terschieden in grundwasserbedingtes und niederschlagsbedingtes Fremdwasser, wobei ersteres u. a. auch Grundwasser beinhaltet, das durch Undichtheiten in Kanälen unterhalb des Grundwasserspiegels in die Entwässerungssysteme infiltriert. Das Merkblatt DWA-M 182 gibt mit Blick auf die Fremdwasserproblematik Hilfestellung zu folgende Aspekten (vgl. DWA-M 182, Seite 9):

- Beurteilung der Fremdwassersituation in Entwässerungssystemen (z.B. Ursachen, Kosten, Umweltauswirkungen, rechtliche Aspekte),
- Erkennung von Handlungsbedarf,
- zielorientierte Fremdwasserreduzierung,
- Erfolgskontrolle nach durchgeführten Maßnahmen.

Mit Blick auf Umweltauswirkungen wird in Abschnitt 5.5 (vgl. DWA-M 182, Seite 22) auf die Interaktion zwischen dem Grundwasser und dem Fremdwasser hingewiesen. Sind unterhalb des Grundwasserspiegels verlegte Kanäle undicht, haben sie eine entwässernde Wirkung auf den Bodenkörper und können eine künstliche Absenkung des Grundwasserspiegels zur Folge haben. Die Sanierung und Abdichtung solcher Kanäle kann auf der anderen Seite zu einem Anstieg des Grundwasserpegels führen, der wiederum Schäden an der örtlichen Bebauung herbeiführen kann (z.B. Vernässung von Kellern). In Abschnitt 6 (vgl. DWA-M 182, Seite 28) des Merkblattes wird eine systematische Vorgehensweise zur Fremdwasserreduzierung vorgestellt. Diese beinhaltet im Detail folgende Phasen:

- Feststellung des Handlungsbedarfs,
- Vertiefende Untersuchungen und Festlegung von Fremdwasserschwerpunktgebieten,
- Lokalisierung und Quantifizierung der Fremdwasserquellen,
- Fremdwasserreduzierung und flankierende Maßnahmen,
- Erfolgskontrolle.

Die einzelnen Phasen werden in den weiteren Abschnitten des Merkblattes detailliert behandelt. Neben der Beseitigung von Undichtheiten im Entwässerungssystem wird in Abschnitt 9 (vgl. DWA-M 182, Seite 51) auch die Beseitigung von Fehlanschlüssen (z.B. Dränagen) als wesentliches Instrument bei der Fremdwasserreduzierung genannt.

5.3 Zusammenfassung

Im Zusammenhang mit undichten Abwasserleitungen und -kanälen bzw. deren Sanierung sind einerseits wasserrechtliche Belange von Bedeutung, die sich mit Bau, Betrieb und Instandhaltung befassen, andererseits aber auch Regelungen zum Schutz und der Bewirtschaftung von Grundwasser.

Mehr oder weniger detailliert finden sich hierzu Regelungen in der Gesetzgebung auf europäischer Ebene, auf Bundes- und auf Länderebene. Die Perspektiven und Hauptzielsetzungen der einzelnen Gesetze sind unterschiedlich: Schutz von Oberflächengewässern, Schutz von Menge und Qualität des Grundwassers oder schadlose Abwasserentsorgung.

Die EU Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) hat zum Ziel, in allen Mitgliedsstaaten einen guten Zustand der Gewässer herbeizuführen. Die dazu vorgesehenen Maßnahmenprogramme für die einzelnen Flussgebiete werden in Deutschland auf Länderebene aufgestellt.

Wenngleich sich die WRRL selbst nicht direkt zum Thema Abwasserentsorgung äußert, so sind deren Vorgaben dennoch für die Abwasserbeseitigung relevant. Das Gleichgewicht zwischen Grundwasserentnahme und -neubildung ist ein anderes wesentliches Ziel der WRRL. In dieses Gleichgewicht wird bei Infiltration von Grundwasser in undichte Kanäle eingegriffen. In der bundesdeutschen Broschüre zur Umsetzung des WRRL-Maßnahmenplanes (vgl. BMU/UBA 2010,

Seite 61) heißt es daher „...Ziel dabei ist es vor allem, die Menge an Fremdwasser zu verringern, das über undichte Stellen ins Kanalnetz sickert.“ Das wird insbesondere in den Gegenden besondere Bedeutung erlangen, die sich infolge des Klimawandels auf zunehmende saisonale Trockenheit einstellen müssen. Auch die EG Richtlinie über die Behandlung von kommunalem Abwasser (Richtlinie 91/271/EWG) enthält in Anhang I die Forderung zur Vermeidung von Leckagen.

Auf Bundesebene sind sowohl wasserrechtliche als auch strafrechtliche Regelungen im Zusammenhang mit der Infiltration von Grundwasser und der Sanierung von undichten Kanälen zu beachten. Die Dichtheit von Kanälen wird im WHG nicht direkt gefordert, sondern die Einhaltung der a. a. R. d. T.⁷ (vgl. Czychowski/Reinhardt 2010, § 60 Rn. mit Verweis auf BVerfGE 49, 135), womit ein Interpretationsspielraum bleibt.

Der Begriff „Fremdwasser“ ist im WHG nicht aufgeführt. Gesetzlich ist der Begriff „Fremdwasser“ bisher nicht geregelt (vgl. LUBW 2007). Einzig über das Verdünnungsverbot von Abwasser zur Einhaltung zulässiger Schadstoffkonzentrationen sowie über die Forderung nach einer Einhaltung der a.a.R.d.T. beim Bau und Betrieb von Abwasseranlagen, kann auf die Fremdwasserproblematik Bezug genommen werden (vgl. LUBW 2007). Ob Fremdwasser zu Abwasser im Sinne des WHG gezählt werden kann, ist umstritten. Hierzu gibt es widersprüchliche Rechtsauslegungen (z.B. Wellmann/Queitsch/Fröhlich 2010, WHG-Kommentar, § 55 WHG Rz.11 oder Fischer 2011, Seite 1828). Eine stringente Rechtsauslegung des Begriffes „Fremdwasser“ findet sich in einer Veröffentlichung von Nisipeanu/Maus 2007, Seite 91. Demnach ist Fremdwasser als „Schmutzwasser im Rechtssinne“ definitorischer Teil des Abwassers. Grundwasser, das beispielweise durch undichte Teile der Kanalisation dringt (Infiltration), wird erst zum Abwasser, wenn es „damit bei Trockenwetter zusammen abfließt“. Laut Nisipeanu/Maus 2007, Seite 324 ist Grund-, Quell-, Drainage- oder Oberflächenwasser, bevor es sich mit dem bei Trockenwetter abfließenden Schmutzwasser vermischt, kein Schmutzwasser und damit rechtlich auch kein Abwasser. Damit greift auch nicht die Abwasserbeseitigungspflicht der Kommune. Es ist der Schluss möglich, dass es für die Kommune als Kanalnetzbetreiber nicht verpflichtend ist, nach einer Kanalsanierung Maßnahmen gegen steigendes Grundwassers (z.B. durch Bau von Drainagewasserleitungen) zu ergreifen.

Ein wirtschaftlicher Anreiz für Betreiber von Abwasseranlagen, so wenig (Fremd-)Wasser wie möglich zu behandeln, kann sich durch das Abwasserabgabegesetz (AbwAG) ergeben, da sich die Reinigungsleistung einer Kläranlage bei geringen Schadstoffkonzentrationen verringert.

Mit dem in der Abwasserverordnung festgelegten „Verdünnungsverbot“ (§ 3 Abs. 3 AbwV) kann über wasserrechtliche Genehmigungen auf den Fremdwasserzulauf Einfluss genommen werden. Die Grundwasserverordnung greift u. a. die Vorgabe der WRRL auf, den guten mengenmäßigen Zustand des Grundwassers zu gewährleisten. Hierzu sind jedoch Ausnahmeregelungen möglich, die Spielräume eröffnen, ob, wie, in welchem Umfang und in welchem Zeitrahmen eine Kanalsanierung durchzuführen ist.

§ 324 StGB stellt die Verunreinigung von Gewässern unter Strafe. Falls eine Kommune Kenntnis von undichten Kanälen hat, durch die das Grundwasser verunreinigt wird, ist auch zu prüfen, ob die verantwortlichen Personen diesen Straftatbestand bei Untätigkeit erfüllen. Allerdings dürften Kausalitäten und ein Verschulden i. d. R. schwer nachweisbar sein.

⁷ Allgemein anerkannte Regeln der Technik sind nach Czychowski/Reinhardt 2010 die Prinzipien und Lösungen, die in der Praxis erprobt und bewährt sind und sich bei der Mehrheit der auf dem betreffenden technischen Gebiet tätigen Fachleute durchgesetzt haben.

Die Länderregelungen sind unterschiedlich in Bezug auf die Detailtiefe. Fast alle fordern, dass Abwasseranlagen funktionsfähig und betriebssicher sind und nach den a. a. R. d. T. bzw. unter Zugrundelegung der optimalen technischen Kenntnisse gebaut und betrieben werden, wobei das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt werden darf. Vereinzelt greifen die Länder die Regelung aus der EG-Kommunalabwasserrichtlinie auf, dass Leckagen zu vermeiden sind (Berlin, Brandenburg, Bremen).

In den für den Bereich Bau, Betrieb und Instandhaltung von Abwasserkanälen und -leitungen maßgeblichen Veröffentlichungen des Deutschen Institutes für Normung e.V. (DIN) und der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) wird an vielen Stellen die Dichtheit erdverlegter Leitungen gefordert. Das gilt unabhängig von:

- Neubau - Bestand - sanierte Leitungen
- Verlegeart: offene Bauweise - grabenlos
- Lage der Leitungen zum Gebäude: Grundstücksentwässerungsleitungen innerhalb/außerhalb von Gebäuden - Kanäle außerhalb von Gebäuden
- Lage der Kanäle zum Grundwasser: Infiltration (Fremdwasser) - Exfiltration

Bei den Prüfverfahren wird unterschieden zwischen physikalischen Druckprüfungen mit Wasser oder Luft (beim Neubau und nach Sanierungen) sowie einer Überprüfung auf optische Mängel (im Bestand).

Anforderungen an den Umgang mit ‚Fremdwasser‘ werden in den Veröffentlichungen des DIN und der DWA nur am Rande thematisiert. In DIN EN 13508 wird mit Blick auf Fremdwasser auf die „verminderte Reinigungsleistung von Kläranlagen“ hingewiesen. Gemäß DIN 1986 -3, Abschnitt 5.3.3 ist das Einleiten von Grundwasser in die Kanalisation grundsätzlich nicht erlaubt.

Die Wechselwirkungen zwischen Grundwasser und der Dränagewirkung undichter Kanäle bzw. den Auswirkungen von Sanierungsmaßnahmen auf den örtlichen Grundwasserstand werden im DWA Merkblatt DWA-M 182, Seite 54 bis 56 betrachtet. Hier werden mögliche Nutzungskonflikte angesprochen und auf eine ganzheitliche Betrachtung hingewiesen: *„Im Vorfeld einer flächendeckenden Kanalnetzsanierung sollten deshalb die Auswirkungen einer Kanalnetzabdichtung auf den Grundwasserkörper abgeschätzt werden. In der Sanierungsplanung muss die Dränagewirkung eines stark durch Fremdwasser beeinflussten Kanalnetzes berücksichtigt werden, um evtl. schädliche Auswirkungen einer Sanierung zu vermeiden.“*

Für den Begriff „Fremdwasser“ gibt es in Deutschland keine einheitliche Definition. In Abstimmung mit dem Umweltbundesamt wurde für diesen Bericht eine Definition zugrunde gelegt, die im Rahmen des Forschungsvorhabens „Umgang mit Dränagewasser von privaten Grundstücken“ (Bosseler/Dyrbusch 2012, Seite 54) erarbeitet wurde und sich im Wesentlichen an der Definition des Merkblattes DWA-M 182 (vgl. DWA-M 182, Seite 9) orientiert:

„Fremdwasser ist das in Abwasseranlagen abfließende Wasser, welches weder durch häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch in seinen Eigenschaften verändert ist, noch bei Niederschlägen von bebauten oder befestigten Flächen gesammelt und bestimmungsgemäß eingeleitet wurde. Fremdwasser erfordert auf Grund seiner Qualität keine Abwasserbehandlung, erschwert diese bzw. belastet aufgrund seiner Quantität Abwasseranlagen unnötig und ist unter dem Aspekt des Gewässerschutzes unerwünscht. Fremdwasser ist z.B. Grundwasser, welches über undichte Leitungen und Schächte in den Kanal gelangt oder Dränagewasser, das unerlaubt in den Schmutzwasserkanal eingeleitet wird.“

6 Auswirkungen auf Kläranlagen

Ein erhöhter Fremdwasseranteil im Gesamtsystem von Kanalnetz und Kläranlage hat neben betrieblichen Problemen auch Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit abwassertechnischer Anlagen. So gibt (Decker, 1998, Seite 157 - 181) beispielhaft an, dass sich durch eine Versechsfachung des Fremdwasserzuschlages auf 200 % die Jahreskosten in den Bereichen Abwasserreinigung und -ableitung um 30 bis 40 % erhöhen. Ohne Berücksichtigung der Investitionen für erforderliche Behandlungsvolumina und Aggregate, ergeben sich ausschließlich infolge eines aufwendigeren Betriebes höhere Jahreskosten zwischen 7 bis 9 %. Dies ist laut (Decker, 1998, Seite 157 - 181) vor allem auf erhöhte Energiekosten zurückzuführen. Neben dem höheren Stromverbrauch für Pumpen und Hebeanlagen fällt auch der indirekte Energieverbrauch für zusätzlich anfallende Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten und für die Reststoffentsorgung (u. a. Reststoffe aus der mechanischen Reinigungsstufe wie zum Beispiel Rechengut und Sandfanggut) an.

Im Rahmen des Projektes wurden von der Professur für Siedlungswasserwirtschaft der Universität der Bundeswehr München (SWA) die Auswirkungen des Fremdwassers auf die Reinigungsleistung sowie die Kosten- und Energieeffizienz einer Kläranlage bei variierenden Fremdwasser-Situationen aufgezeigt und bewertet. Hierzu wurden in Absprache mit dem UBA zwei konkrete Fallbeispiele ausgewählt: die Kläranlage Starnberger See und die Kläranlage Billerbeck (vgl. Kapitel 6.1 bis 6.2). Die Ergebnisse aus dieser Analyse und die beobachteten Zusammenhänge wurden anschließend mit Angaben aus der einschlägigen Fachliteratur sowie abgeschlossenen Untersuchungen aus der Praxis abgeglichen (vgl. Kapitel 6.3). Vor diesem Hintergrund wurde in einem nächsten Schritt die Übertragbarkeit der Ergebnisse bewertet.

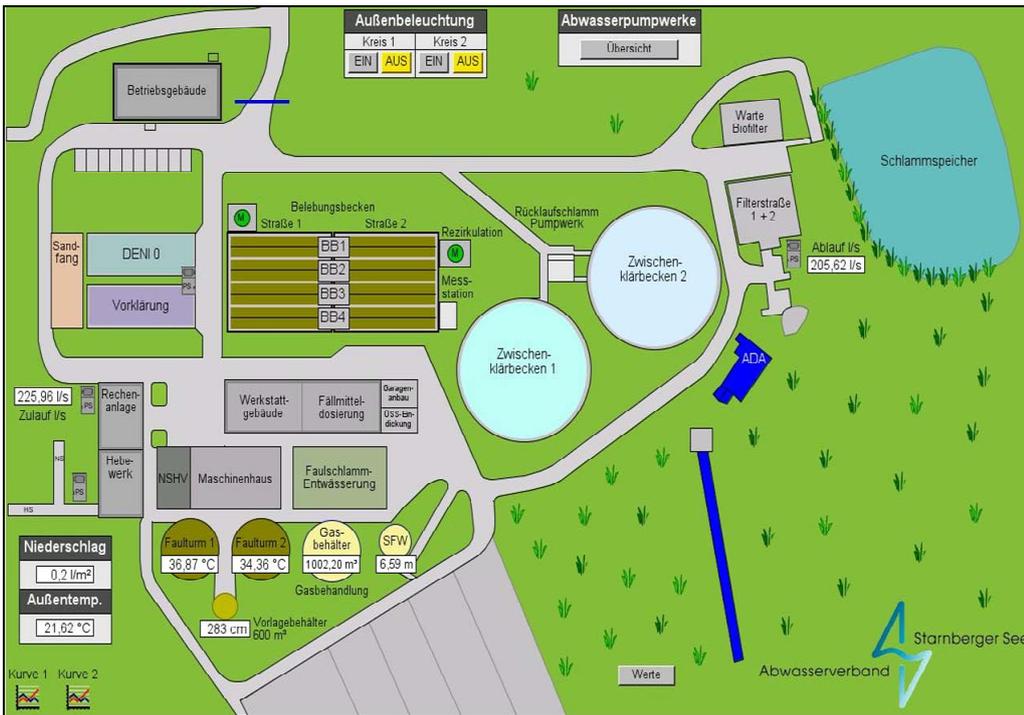
6.1 Fallbeispiel „Kläranlage Starnberger See“

6.1.1 Situation und Datenlage

Für die Untersuchungen wurde in Absprache mit dem Umweltbundesamt zunächst die Kläranlage des Abwasserverbandes Starnberg ausgewählt und näher betrachtet, da hier - mit Blick auf die o. a. Fragestellungen - auf eine umfangreiche Datengrundlage zurückgegriffen werden konnte. Sowohl eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung aus 2007/08 als auch Daten aus einer Energieanalyse aus 2007 wurde im Rahmen des Projektes genutzt. Darüber hinaus konnten auch weitere relevante Informationen aus entsprechenden Geschäfts- und Benchmarking-Berichten des Abwasserverbandes Starnberger See entnommen werden. Die Ergebnisse dieser Analyse werden in Kapitel 6.1 detailliert beschrieben.

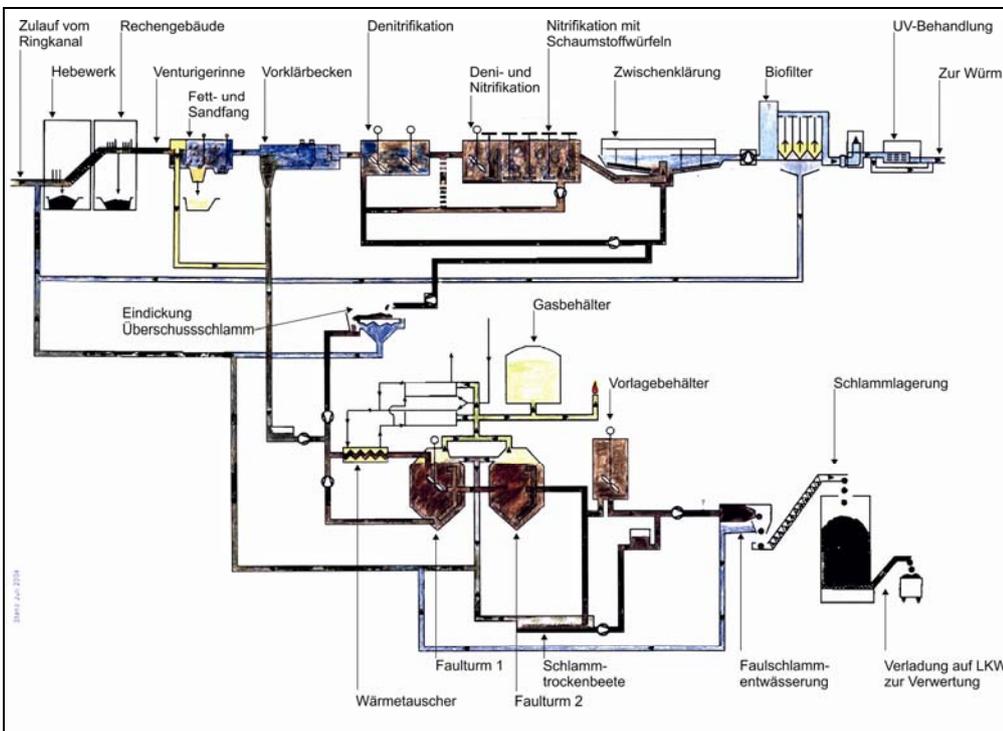
Die Kläranlage des Abwasserverbandes Starnberger See ist für das Schmutzwasser von 100.000 Einwohnerwerten bemessen (organische Belastung) und für eine Erweiterung auf 147.000 EW (aufgeteilte Abwasserkontingente) vorbereitet. Die derzeitige stoffliche Belastung entspricht ca. 66.900 Einwohnerwerten (EW) (vgl. Günthert/Sprengard, 2007, Seite 11; AV Starnberger See, 2003, Seite 8), d.h. die Kläranlage ist bezogen auf die Fracht zu ca. 2/3 ausgelastet. Bezogen auf die Hydraulik ist die Kläranlage jedoch bereits an der Kapazitätsgrenze angelangt, also zu fast 100% ausgelastet, d.h. ein Drittel der hydraulischen Kläranlagenkapazität ist durch Fremdwasser ausgelastet. In Abbildung 8 ist eine Anlagenübersicht der Kläranlage Starnberg dargestellt und Abbildung 9 zeigt ein Fließschema der verschiedenen Verfahrensschritte der Kläranlage.

Abbildung 8: Anlagenübersicht Kläranlage Starnberger See



Quelle: AV Starnberger See (2008)

Abbildung 9: Verfahrensfließschema der Kläranlage Starnberger See



Quelle: AV Starnberger See (2011)

Das Abwasser wird in einem mehrstufigen Belebungsverfahren mit vorgeschalteter Denitrifikation und nachgeschaltetem Biofilter zur weitergehenden Behandlung (Restdenitrifikation) gereinigt. Das Reinigungsverfahren zeichnet sich durch mehrere Besonderheiten aus. In den 16

Belüftungsbecken der Nitrifikationseinheit sind Schaumstoffwürfel als Bewuchsfläche im Einsatz (LINPOR®-Verfahren⁸). Diese feinporigen Würfel bieten auf kleinstmöglichem Raum eine größtmögliche Organismendichte. Die dafür notwendige Belüftungseinrichtung versorgt zum einen die Mikroorganismen mit Luft und zum anderen werden die Schaumstoffwürfel in Schwebelage gehalten. In den beiden nachfolgenden Zwischenklärbecken setzt sich der belebte Schlamm ab und wird als Rücklaufschlamm wieder der Biologie zugeführt. Ein kleinerer Teil wird als Überschussschlamm in die Faulung abgezogen. Das vom Schlamm getrennte Wasser wird in einer letzten weitergehenden Reinigungsstufe, einem mit Sand gefüllten aufwärts durchströmten Biofilter, von feinsten Partikeln (Schwebstoffen) gereinigt. Dem zufließenden Wasser wird teilweise zusätzlicher Kohlenstoff (Methanol) beigefügt, um den restlichen Nitratstickstoff zu entfernen. Schließlich wird das gereinigte Wasser in einer UV-Anlage desinfiziert.

Die Kläranlage Starnberger See hat mit 64 kWh/E*a (2007) einen relativ hohen spezifischen Energieverbrauch, der zum Teil durch das spezielle Reinigungsverfahren (LINPOR®-Verfahren) und durch die UV-Filtration (Hygienisierung) beeinflusst ist. Der Fremdwasseranteil im Abwasser der Verbandsanlage Starnberg hat Auswirkungen auf den Betrieb der Abwasserableitung und -reinigung und in der Konsequenz auf die Wirtschaftlichkeit des Abwasserverbandes. Das Fremdwasser, das als unverschmutztes Wasser mit abgeleitet und mit behandelt wird, verursacht vor allem zusätzlichen energetischen Aufwand, der sich sowohl direkt in den Energiekosten als auch indirekt in allen anderen Betriebskostenpositionen bemerkbar macht. Ein erhöhter Fremdwasseranteil im Abwasser der Verbandsanlage Starnberg hat im Wesentlichen betriebliche Auswirkungen auf folgende in erster Linie hydraulisch beeinflusste Anlagenteile:

- Ringkanalisation
 - Rohrleitungen, Pumpwerke
- Kläranlage
 - Einlaufhebewerk, Rechenanlage Sandfang und Fettfang, Vorklärbecken, Zwischenklärbecken, Biofilter, Hygienisierung, Rohrleitungen und Verteilerbauwerke, Pumpwerke (Rücklaufschlamm, Biofilter)

Darüber hinaus hat ein erhöhter Fremdwasseranteil im Abwasser Auswirkungen auf die biologische Reinigungsleistung der Kläranlage. Folgende Parameter werden direkt beeinflusst:

- Konzentration im Zu- und Ablauf
- Frachten im Ablauf
- Temperatur in der Belebung

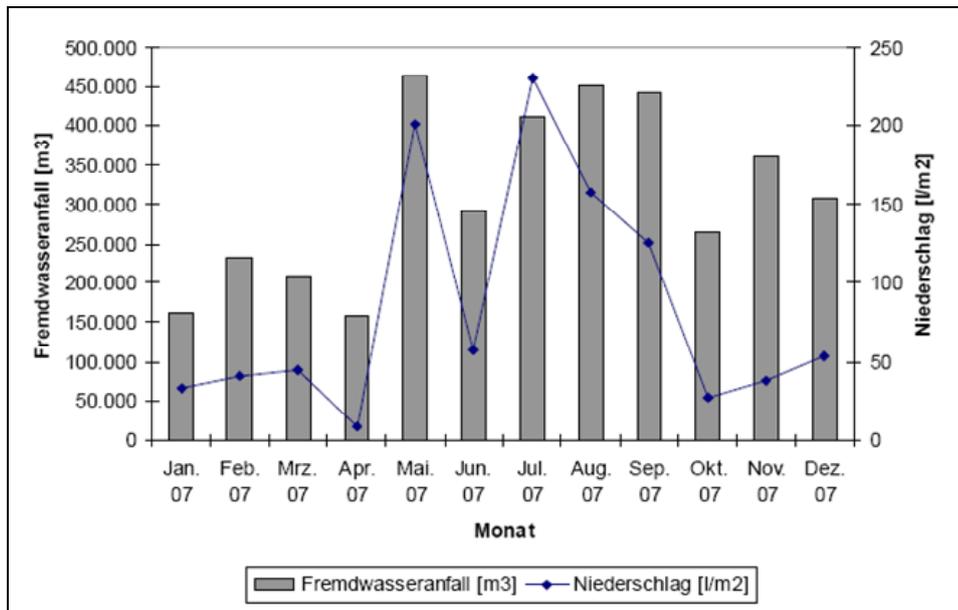
Ein erhöhter Fremdwasseranteil hat Einfluss sowohl auf die Konzentrationen (Verdünnungseffekt) als auch auf die Schmutzstofffrachten im Abwasser bei der Einleitung ins Gewässer. Das der Kläranlage zufließende Fremdwasser reduziert darüber hinaus, je nach Fremdwasserherkunft, die Abwassertemperatur in der Biologie. Dies kann negative Auswirkungen (verminderte

⁸ Das LINPOR®-Verfahren ist eines von der STRABAG Umwelтанlagen GmbH (vormals Linde-KCA Umwelтанlagen GmbH) entwickeltes Verfahren, bei dem ca. 10 – 30 % des Reaktorvolumens (Belebungsbecken) mit kleinen, hochporösen Schaumstoffwürfeln aufgefüllt werden, die als mobile Trägerteilchen für aufwachsende Biomasse dienen. (vgl. http://www.strabag.de/databases/internet/_public/content.nsf/web/EN-STRABAGSUA.DE-ABWASSERUNDSCHLAMMBEHANDLUNG-VERFAHREN-LINPOR%C2%AE)

Stoffumsetzungsraten und Stoffumsetzungsgeschwindigkeiten) auf die Leistungsfähigkeit der Mikroorganismen haben.

Der durchschnittliche Fremdwasseranteil auf der Kläranlage Starnberg lag für das Jahr 2007 bei ca. 42 %. Abbildung 10 zeigt für 2007 den Jahresverlauf des monatlich gemessenen Fremdwasseranfalls mit den monatlichen ermittelten Niederschlagswerten. Es ist deutlich zu erkennen, dass mit auftretenden Niederschlagsereignissen (zum Beispiel für die Monate Mai und Juli) und erhöhten Niederschlagsmengen der Fremdwasseranfall ebenfalls steigt. Ein erhöhter Fremdwasseranteil ist demnach insbesondere in den Sommermonaten festzustellen, was auf die höheren Niederschläge in diesem Zeitraum zurückzuführen sein könnte. Es ist zu vermuten, dass dieses Oberflächen- und Dränagewasser mit zum Fremdwasseranstieg beiträgt.

Abbildung 10: Fremdwasseranfall und Niederschlag auf der Kläranlage Starnberg



Datengrundlage aus (Günthert, 2008)

6.1.2 Auswirkungen auf die Reinigungsleistung

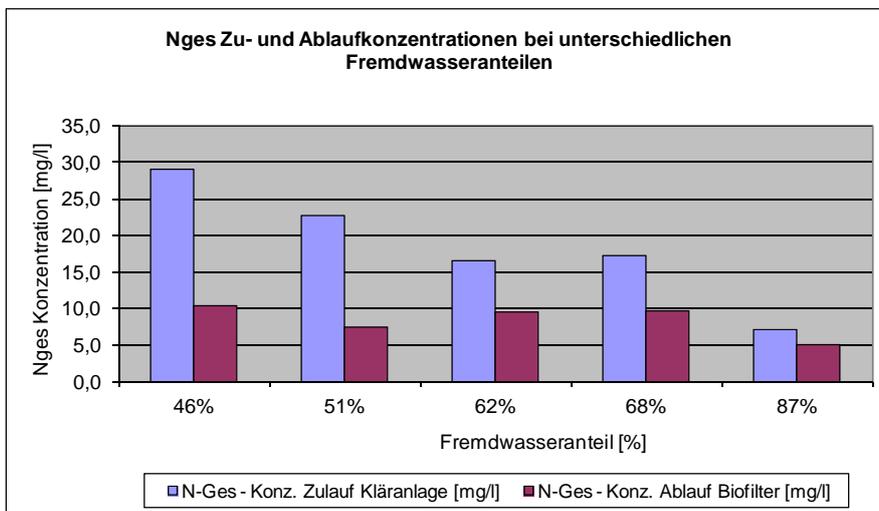
Auch am Beispiel Starnberg ist zu erkennen, dass die Zusammensetzung des Rohabwassers durch Fremdwasser verändert ist. Dies zeigt sich dadurch, dass mit steigendem Fremdwasseranteil die Verdünnung zunimmt und die Zuflusskonzentration zur Kläranlage bei gleich bleibenden Frachten sinkt. Eine Konzentrationsverringerung der Parameter Nges, Pges und CSB bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen ist in Abbildung 11 bis Abbildung 13 dargestellt. Die ermittelten und in den folgenden Abbildungen dargestellten Fremdwasseranteile beziehen sich auf die im Jahr 2007 durchgeführten Fremdwassermessungen auf der Kläranlage Starnberg. Hierbei wurden folgende unterschiedliche Fremdwasseranteile an verschiedenen Zeitpunkten ermittelt (siehe Tabelle 9):

Tabelle 9: Gemessene Fremdwasseranteile in Starnberg für 2007 (Daten bearbeitet nach Günthert, 2008)

Datum	Fremdwasseranteil
14.06.07	44%
21.06.07	44%
14.10.07	46%
02.08.07	47%

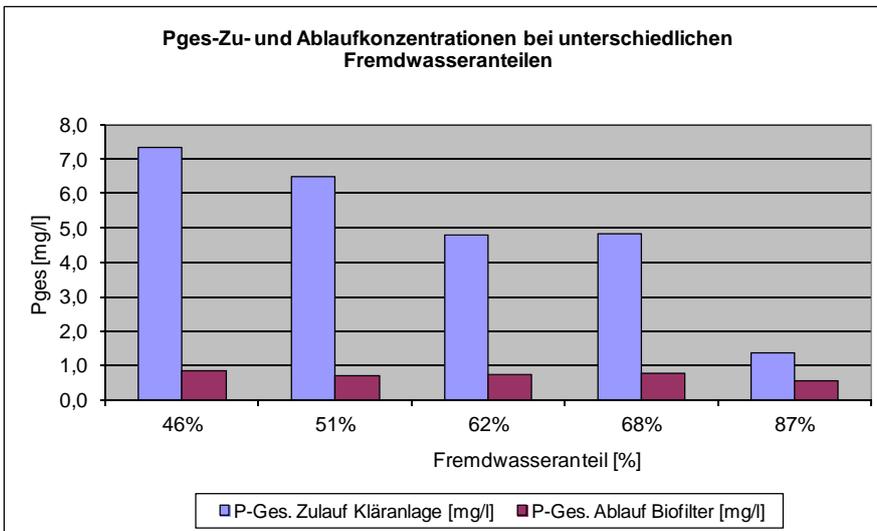
Datum	Fremdwasseranteil
16.06.07	51%
08.07.07	54%
15.09.07	54%
19.08.07	54%
06.07.07	55%
04.06.07	62%
04.09.07	63%
25.09.07	63%
02.07.07	64%
04.07.07	68%
09.07.07	69%
07.09.07	72%
11.08.07	77%
31.05.07	78%
28.09.07	79%
09.05.07	84%
29.05.07	87%

Abbildung 11: N_{ges} Zu- und Ablaufkonzentrationen bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen



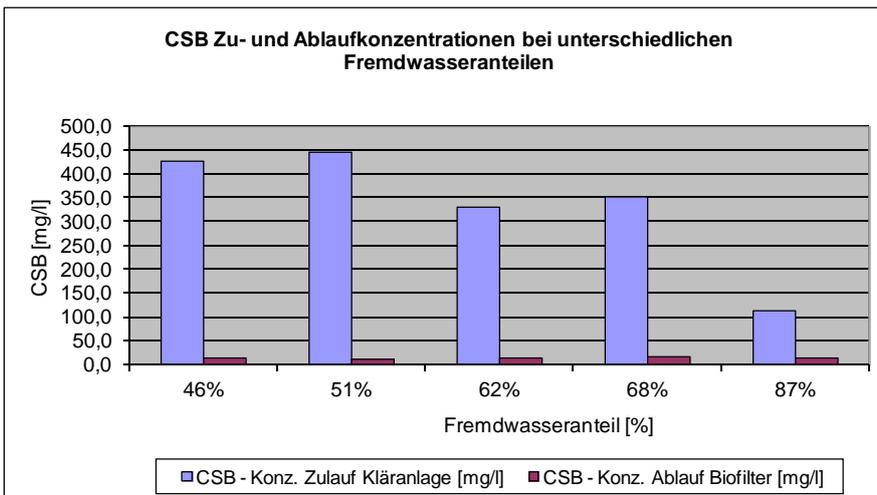
Quelle: Daten bearbeitet nach (Günthert, 2008)

Abbildung 12: P_{ges} Zu- und Ablaufkonzentrationen bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen



Quelle: Daten bearbeitet nach (Günthert, 2008)

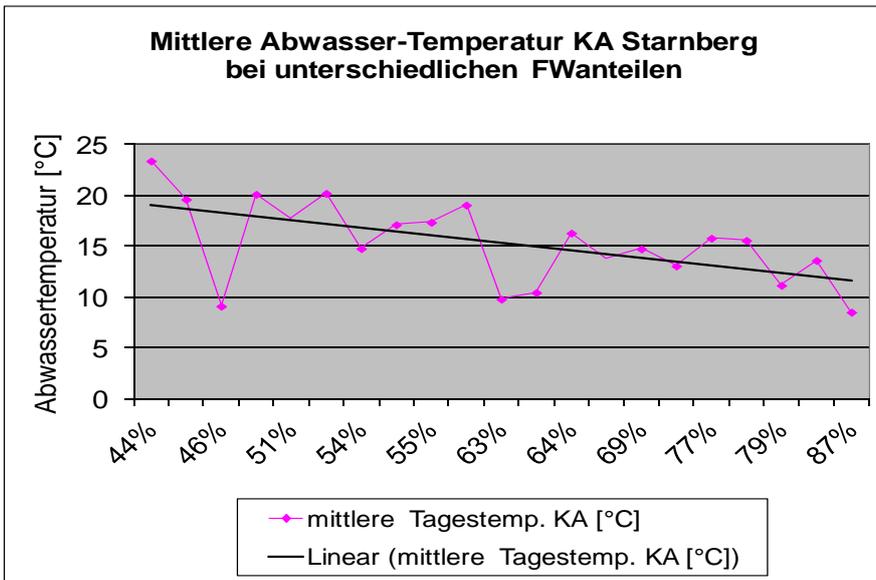
Abbildung 13: CSB Zu- und Ablaufkonzentrationen bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen



Quelle: Daten bearbeitet nach (Günthert, 2008)

Eine weitere Auswirkung eines zunehmenden Fremdwasseranteils kann unter Umständen der Temperaturrückgang im Abwasser sein. Obwohl eine niedrige Temperatur die kinetischen Reaktionen der Mikroorganismen verringert, sind in der Praxis wenig entscheidende Auswirkungen eines Temperaturrückgangs auf die Abwasserreinigung zu verzeichnen. Zwar kann dieser Nebeneffekt durchaus auftreten, ist aber aufgrund der Komplexität der verschiedenen Einflüsse und Wechselwirkungen innerhalb des Abwasserreinigungsprozesses in der Praxis selten nachweisbar. Entscheidend für signifikante Auswirkungen auf die Reinigungsleistung einer Kläranlage ist demnach im Regelfall die Konzentrationsverringerung durch Verdünnung (Hennerkes, 2006, Seite 59). In den meisten Fällen lässt sich aber der Temperatur- und Konzentrationseinfluss durch Fremdwasser theoretisch oder labortechnisch darstellen. Am Ausnahmebeispiel Starnberg kann jedoch ein Einfluss des Fremdwassers auf die Temperatur verzeichnet werden (siehe Abbildung 14).

Abbildung 14: Mittlere Abwasser-Temperatur bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen

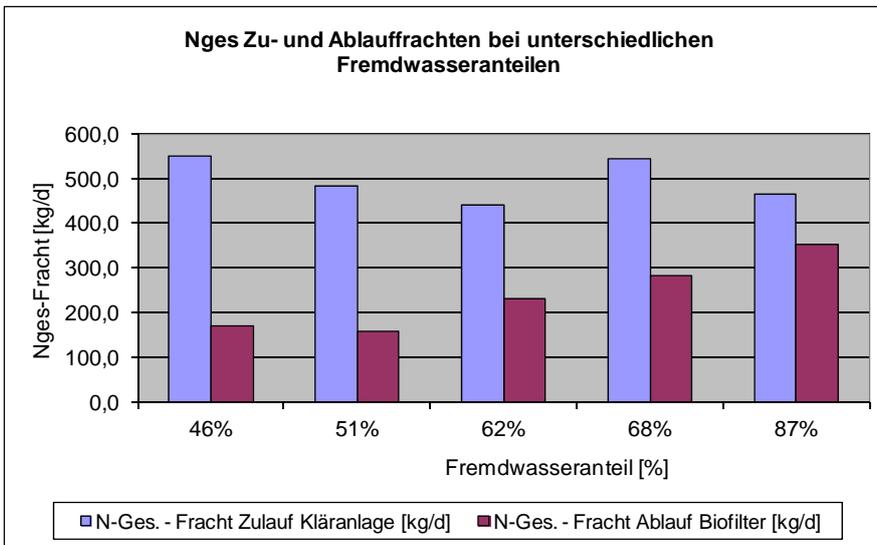


Quelle: Daten bearbeitet nach (Günthert, 2008)

Die Ablaufkonzentrationen der abbaubaren Stoffe sind gemäß des theoretischen Modells der MONOD-Kinetik vom Schlammalter (dem reziproken Wert der Wachstumsrate der Mikroorganismen) und der Temperatur abhängig. Die Reaktionsgeschwindigkeit der Abbauprozesse ist aber auch abhängig von der vorhandenen Substratkonzentration. Nach (Kroiss/Prendl 1996, Seite 74 - 77) steigt die Ablauffracht der biologisch abbaubaren Stoffe bei konstanter Zulauf- fracht und Schlammalter etwa linear mit der Abwassermenge bzw. dem Fremdwasserzufluss an. Dadurch wird der Wirkungsgrad der Frachtelimination v. a. bei den Parametern N_{ges} und CSB verringert. Abbildung 15 veranschaulicht diesen Sachverhalt am Beispiel des Parameters N_{ges} . Mit zunehmendem Fremdwasseranteil steigt die Ablauffracht an. Obwohl der Wirkungs- grad der Frachtenelimination durch erhöhte Fremdwasseranteile sinkt, wird durch die verrin- gerten Konzentrationen eine bessere Reinigungsleistung vorgetäuscht (Hennerkes 2006, Seite 59).

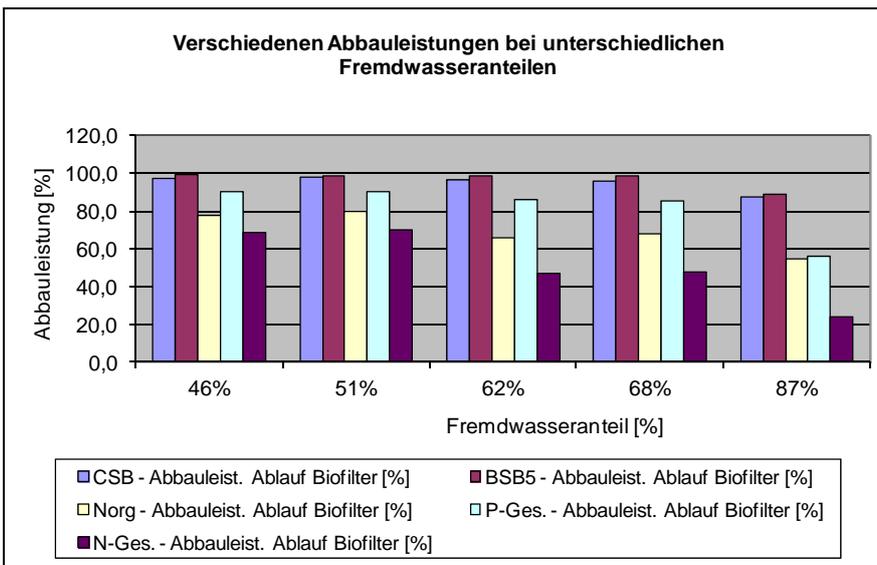
Grundsätzlich verringert sich jedoch der Wirkungsgrad der biologischen Abwassereinigung, so dass auch die Frachtbelastung des Gewässers zunimmt. In Abbildung 16 sind die verschiedenen Abbauleistungen der Parameter N_{ges} , N_{org} , P_{ges} , CSB, BSB_5 bei unterschiedlichen Fremdwasseran- teilen auf der Kläranlage Starnberg dargestellt. Es ist deutlich erkennbar, dass die Abbauleis- tungen mit zunehmendem Fremdwasseranteil sinken.

Abbildung 15: N_{ges} Zu- und Abauffrachten bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen



Quelle: Daten bearbeitet nach (Günthert, 2008)

Abbildung 16: Verschiedene Abbauleistungen (in % der Fracht) bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen

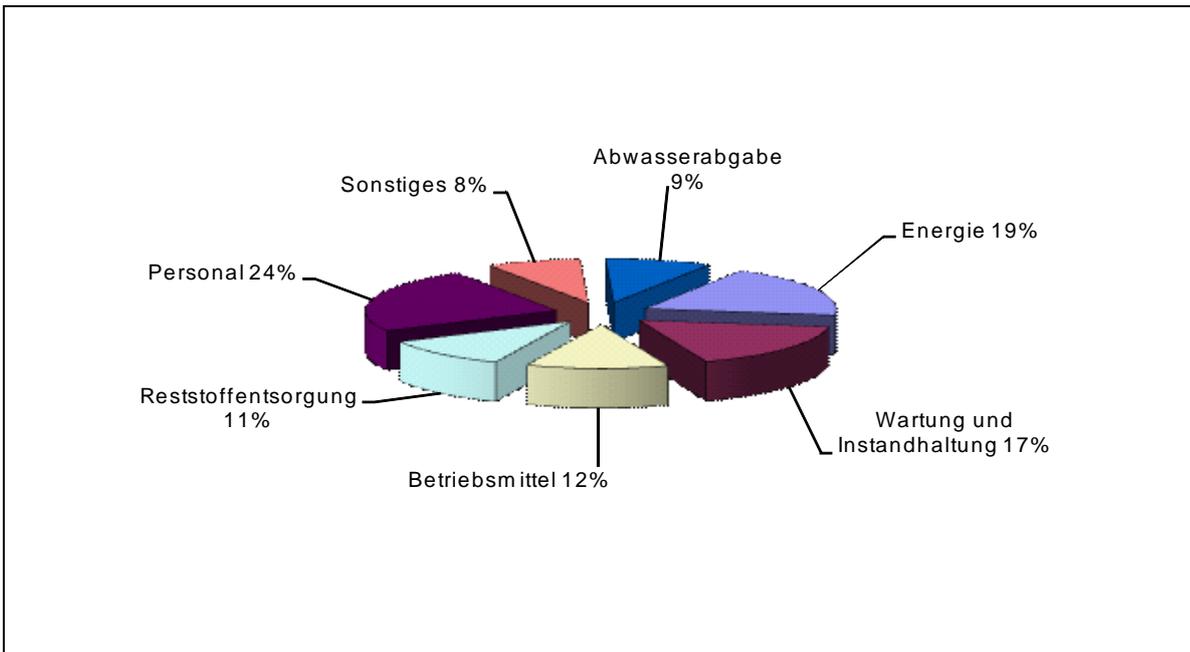


Quelle: Daten bearbeitet nach (Günthert, 2008)

6.1.3 Auswirkungen auf die energierelevanten Betriebskosten

Im Rahmen der Studie werden die Auswirkungen eines erhöhten Fremdwasseranteils auf die energierelevanten Betriebskosten der Kläranlage Starnberg untersucht. Die Aufteilung der Betriebskosten der Kläranlage Starnberg stellt sich in folgender Abbildung dar (vgl. Abbildung 17):

Abbildung 17: Aufteilung der Betriebskosten der Kläranlage Starnberg für 2007



Quelle: Daten bearbeitet nach (Günthert, 2008)

Wie bereits ausgeführt (vgl. Kapitel 6.1.1 und 6.1.2) ist der Einfluss des Fremdwassers auf die Betriebskostenkomponente Energie (Pumpkosten für Zulauf, Rücklauf und Rezirkulation) am größten. Vor dem Hintergrund von Energieeffizienzuntersuchungen auf Kläranlagen ist es von Interesse, welchen Beitrag die einzelnen Betriebskostenkomponenten zum fremdwasserbedingten Energieverbrauch auf Kläranlagen leisten. Im Folgenden werden die Einflüsse dargestellt.

Der Stromverbrauch auf der Kläranlage betrug für das Jahr 2007 insgesamt 4.276.106 kWh. Das ergibt einen spezifischen Stromverbrauch von ca. 64 kWh/(EW*a) (zum Vergleich: Verbrauch Modellanlage gemäß Energiehandbuch (MURL, 1999, Seite 38 - 42): 20,7 kWh/(EW*a)). Dieser hohe Wert rührt vor allem aus dem hohen Energiebedarf des eingesetzten Reinigungsverfahrens (LINPOR Verfahren) her (spezifischer Energieverbrauch Biologie ca. 36 kWh/(EW*a); Erfahrungswerte zwischen 16,5 – 33 kWh/(EW*a)) (Mitsdörffer und Gebert, 2009, Seite 10). Durch zusätzlich anfallende Energiekosten für den Pumpbetrieb (Decker, 1998, Seite 167 - 175; Weideler et. al., 2006, Seite 62 - 63) beeinflusst das Fremdwasser die Betriebskosten einer Kläranlage.

Tabelle 10: Vergleich spezifischer Stromverbräuche

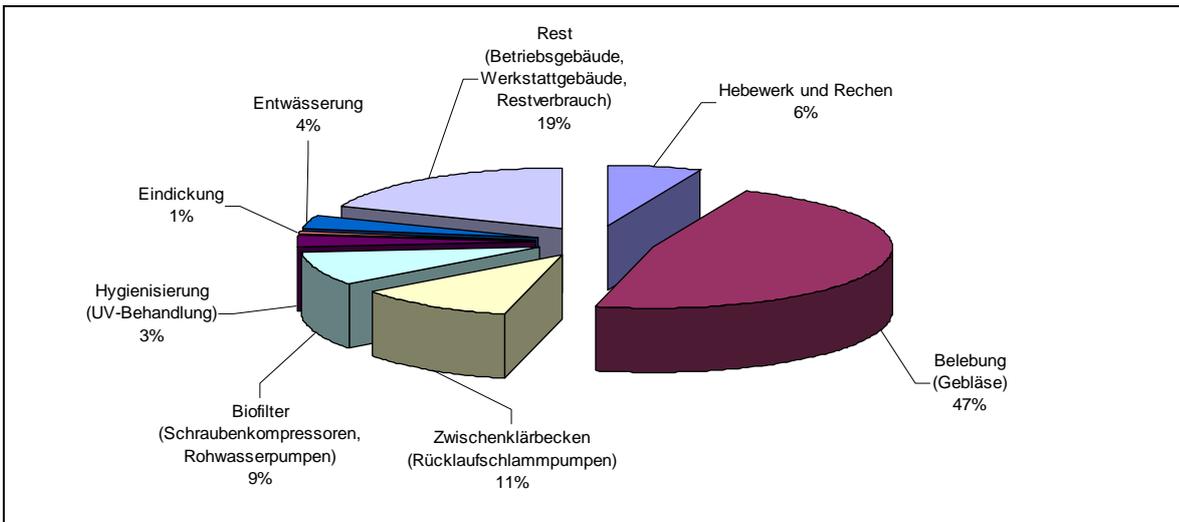
Kläranlagen Komponente	Spezifischer Stromverbrauch Starnberg [kWh/(EW*a)]	Erfahrungswerte [kWh/(EW*a)]
Schneckenpumpenwerk	3,9	0,5 - 3,0
Mechanische Reinigung	1,4	0,7 - 1,4
Belüftung, Belebung	26,6	13,5 - 27
Umwälzung	5	1,7 - 3,4
Pumpe für Rücklaufschlamm	3,3	0,6 - 1,2
Rezirkulation	0,14	0,5 - 1,0
Nachklärung	1,0	0,15 - 0,3
Biofilter (inkl. Pumpwerk)	5,9	1,6 - 3,2

Kläranlagen Komponente	Spezifischer Stromverbrauch Starnberg [kWh/(EW*a)]	Erfahrungswerte [kWh/(EW*a)]
Betriebsgebäude, Betriebsmittel	6,4	1,02 – 2,12

Tabelle 10 vergleicht die spezifischen Stromverbrauchswerte der Kläranlage Starnberg mit Erfahrungswerten von konventionellen mechanisch-biologischen Kläranlagen ähnlicher Größenordnung.

Im Bereich der Kläranlage ist die Aufteilung des Energieverbrauchs auf die einzelnen Kläranlagenteile folgender Abbildung zu entnehmen (vgl. Abbildung 18).

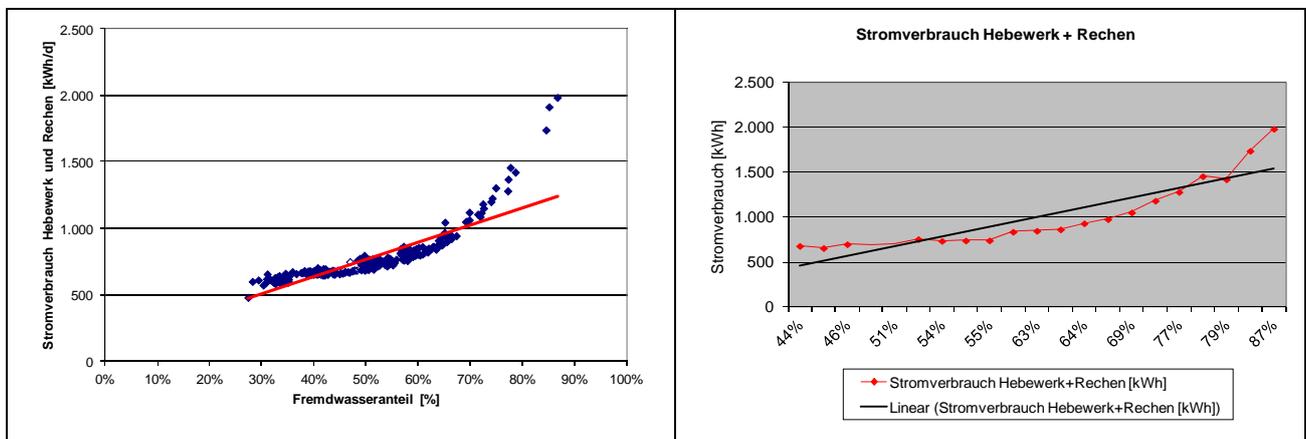
Abbildung 18: Anteile der einzelnen Verfahrensstufen am Energiebedarf der Kläranlage Starnberg für 2007



Quelle: Daten bearbeitet nach (Günthert, 2008)

Nicht alle Verfahrensstufen der Kläranlage sind gleichermaßen vom Fremdwasseranfall beeinflusst. Erst eine genauere Analyse der Verbrauchsdaten der einzelnen Verfahrensstufen in Abhängigkeit vom täglichen Fremdwasseranteil auf der Kläranlage zeigt, inwieweit eine Zurechnung möglich ist. In den nachfolgenden Abbildung 19 bis Abbildung 24 sind die fremdwasserrelevanten Verfahrensstufen dargestellt.

Abbildung 19: Stromverbrauch mechanische Reinigung in Abhängigkeit vom Fremdwasseranteil

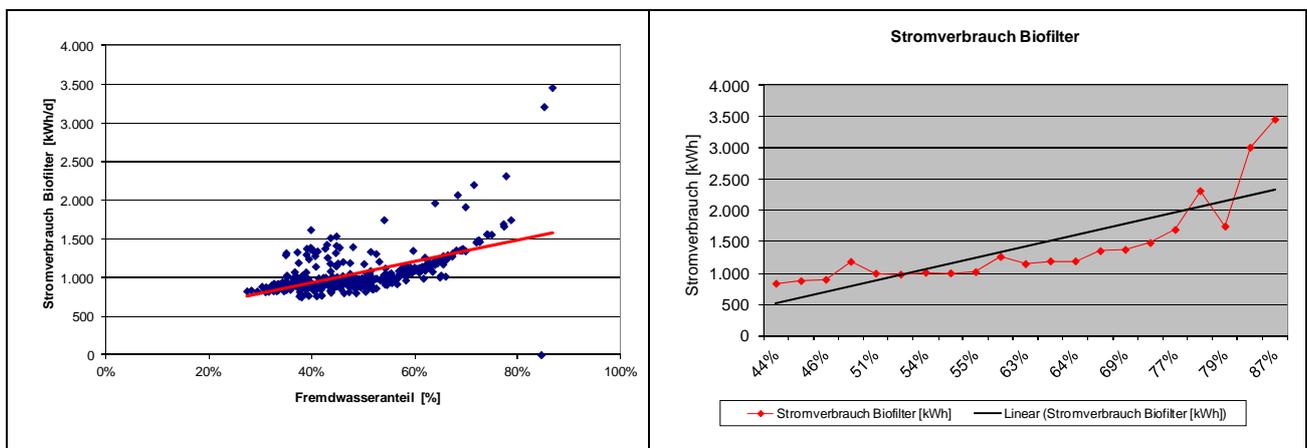


Quelle: Daten bearbeitet nach (Günthert, 2008)

Der Stromverbrauch der mechanischen Anlagenkomponenten Hebewerk und Rechen steigt im Bereich von 30 % bis 60 % Fremdwasseranteil linear, ab 60 % Fremdwasseranteil etwas stärker in Abhängigkeit vom Fremdwasseranteil (siehe Abbildung 19). Der spezifische Energieverbrauch liegt bei ca. 4,1 kWh/(EW*a), Erfahrungswerte anderer Kläranlagen liegen zwischen 0,5 – 3,0 kWh/(EW*a) (Mitsdörffer und Gebert, 2009, Seite 8 - 15).

Der Stromverbrauch des Biofilters ist ebenfalls fremdwasserbeeinflusst. Im Bereich 30 % bis 60 % Fremdwasseranteil sind die Auswirkungen des Fremdwassers auf den Verbrauch gering, streuen aber breit (vgl. Abbildung 20). Erst ab Anteilen von über 60 % steigt der Stromverbrauch der Pumpen (Überschreitung des optimalen Pumpenwirkungsgrades) und Kompressoren stark an (Zum Vergleich: spezifischer Energieverbrauch ca. 5,8 kWh/(EW*a), Erfahrungswerte zwischen 1,6 – 3,2 kWh/(EW*a) (Mitsdörffer und Gebert, 2009, Seite 8 - 15).

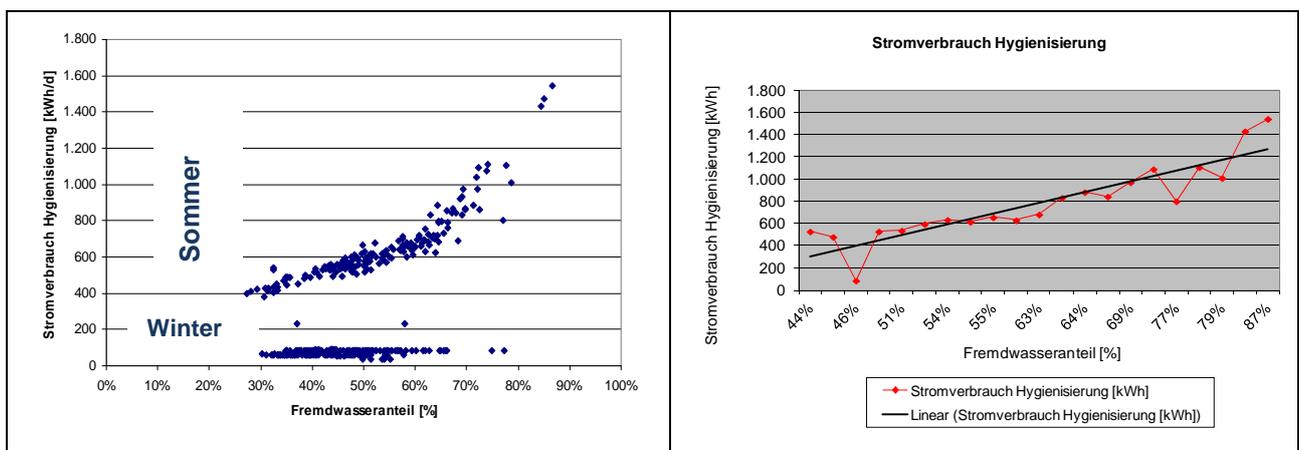
Abbildung 20: Stromverbrauch Biofilter in Abhängigkeit vom Fremdwasseranteil



Quelle: Daten bearbeitet nach (Günthert, 2008)

Eine Hygienisierung des gereinigten Abwassers mit UV-Licht erfolgt im Zeitraum Mitte April bis Ende September (erhöhte Anforderungen an die Badegewässerqualität). Dies wird durch die obere Punktvolke in Abbildung 21 verdeutlicht.

Abbildung 21: Stromverbrauch Hygienisierung in Abhängigkeit vom Fremdwasseranteil



Quelle: Daten bearbeitet nach (Günthert, 2008)

Sie stellt den Stromverbrauch in den Sommermonaten dar, in denen die Kläranlage zusätzlich mit einem höheren Fremdwasserzufluss beaufschlagt wird. Die Fremdwasserabhängigkeit ist deutlich zu erkennen. Der Verbrauch bezieht sich auf die installierte Heizungsanlage und an-

dere Abnehmer. (Zum Vergleich: spezifischer Energieverbrauch ca. 1,8 kWh/(EW*a), Erfahrungswert ca. 1,5 kWh/(EW*a)) (Mitsdörffer und Gebert, 2009, Seite 8 - 15). Die untere Punkt- wolke zeigt den Stromverbrauch der Hygienisierungsanlage in den Wintermonaten an. In die- ser Zeit findet jedoch keine Hygienisierung statt (es wird kein Abwasser zu diesem Zeitpunkt durch die Hygienisierungsanlage geschickt). Da die zu behandelnde Abwassermenge den Stromverbrauch der Hygienisierungsstufe beeinflusst, ist zu dieser Jahreszeit mit fast keinem Energieverbrauch zu rechnen.

Der Stromverbrauch der Rücklaufschlammumpen korreliert ebenfalls mit dem Fremdwasser- anfall. Abbildung 22 verdeutlicht, dass mit steigendem Fremdwasseraufkommen auch die Menge des zu pumpenden Rücklaufschlammes ansteigt. Der Zusammenhang kann folgender- maßen dargestellt werden:

$$R_V = Q_{RS}/Q \text{ [-]}$$

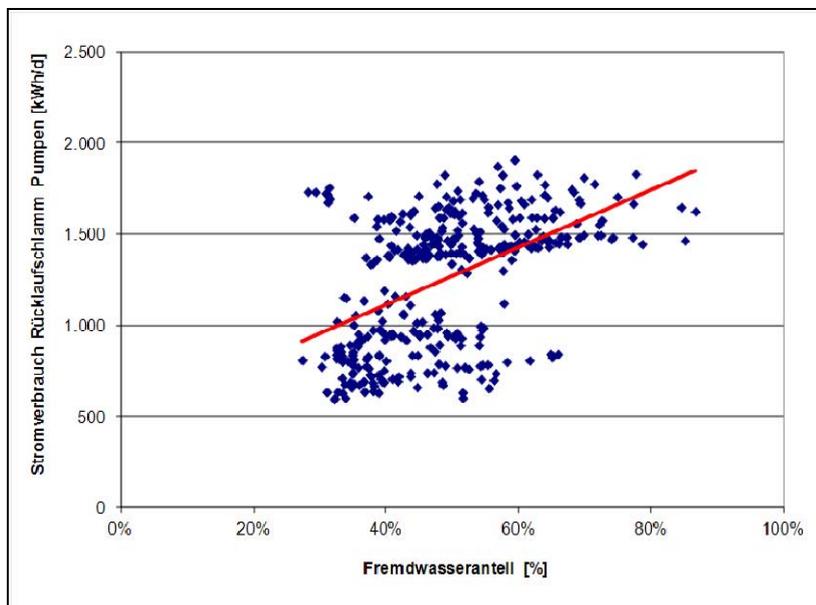
R_V : Rücklaufverhältnis

Q_{RS} : Rücklaufschlammstrom

Q : Zufluss

Mit zunehmendem Fremdwasseranteil und somit zunehmendem Abwasservolumenstrom Q nimmt auch der Rücklaufschlammstrom Q_{RS} zu, was sich unmittelbar in höheren Pumpkosten niederschlägt. Bei einem Fremdwasseranteil von ca. 42 % beträgt das derzeitige Rücklaufver- hältnis 1:1,5 (zum Vergleich: spezifischer Energieverbrauch beider Rücklaufschlammumpen- werke ca. 3,3 kWh/(EW*a), Erfahrungswerte zwischen 0,6 - 1,2 kWh/(EW*a)) (Mitsdörffer und Ge- bert, 2009, Seite 8 - 15).

Abbildung 22: Stromverbrauch der Rücklaufschlammumpen in Abhängigkeit vom Fremdwasseranteil



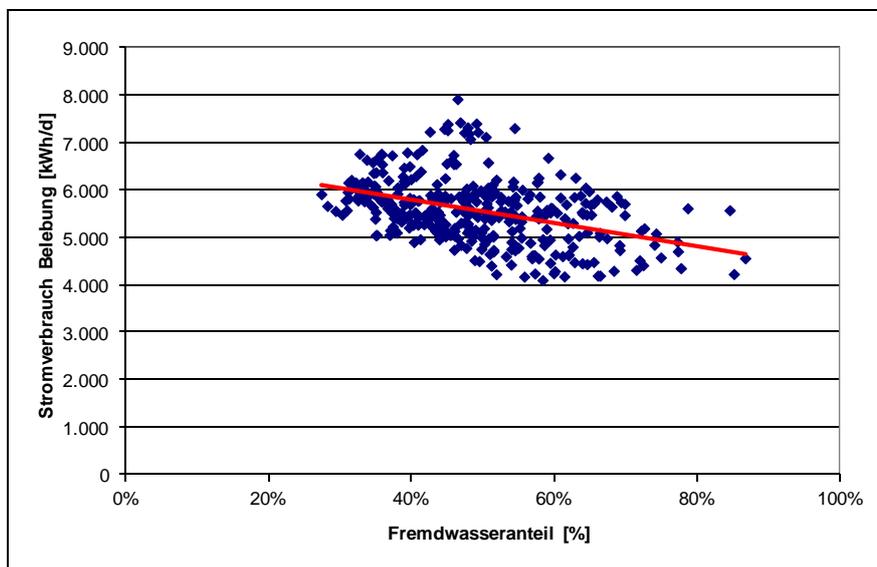
Quelle: Daten bearbeitet nach (Günthert, 2008)

Weideler et al. (2006, Seite 63 - 63) geben an, dass der Stromverbrauch für die Sauerstoffver- sorgung in der Belebungsstufe nahezu fremdwasserunabhängig ist. Demnach fallen die jährli- chen, fremdwasserbedingten Betriebskosten für die O₂-Versorgung der Biomasse im Belebungs- becken nicht ins Gewicht. Im Fall der Kläranlage Starnberg zeigt die Abbildung 23, dass mit steigendem Fremdwasseranteil der Stromverbrauch sogar abnimmt. Eine Ursache hierfür konn- te mit der erarbeiteten Datengrundlage bis jetzt nicht gefunden werden. Zudem ist auch noch ungeklärt, wie Änderungen in der Betriebsweise (abhängig von der Abwassermatrix und vom

Abwasseraufkommen, betriebliche Änderungen wie zum Beispiel Sauerstoffeintrag, Gebläseleistung, Umwälzung) der Biologie bzw. Belebung in Starnberg den Stromverbrauch beeinflussen. Das energieintensive LINPOR-Verfahren benötigt für das Inschwebehalten der Schaumstoffwürfel bereits sehr viel Strom zur Grundversorgung (im Mittel 3,1 mg O₂/l; zum Vergleich i.d.R. 2 mg O₂/l).

Im Falle einer dauerhaften Fremdwasserreduzierung hingegen können einzelne Belebungsbecken abgeschaltet werden. Der Abwasserreinigungsprozess der Kläranlage Starnberg kann dadurch auf die verringerte Abwassermenge (weniger Fremdwasser) angepasst werden. Eine Reduzierung der Abwassermenge durch Fremdwasserreduzierung könnte mit einer Reduzierung der Beckenvolumina für die Belebung einhergehen (Verringerung der Anzahl an Belebungsbecken). Damit ergäben sich im selben Umfang erhebliche Einsparungen beim Sauerstoff- bzw. Belüftungsbedarf und somit beim Energiebedarf insgesamt.

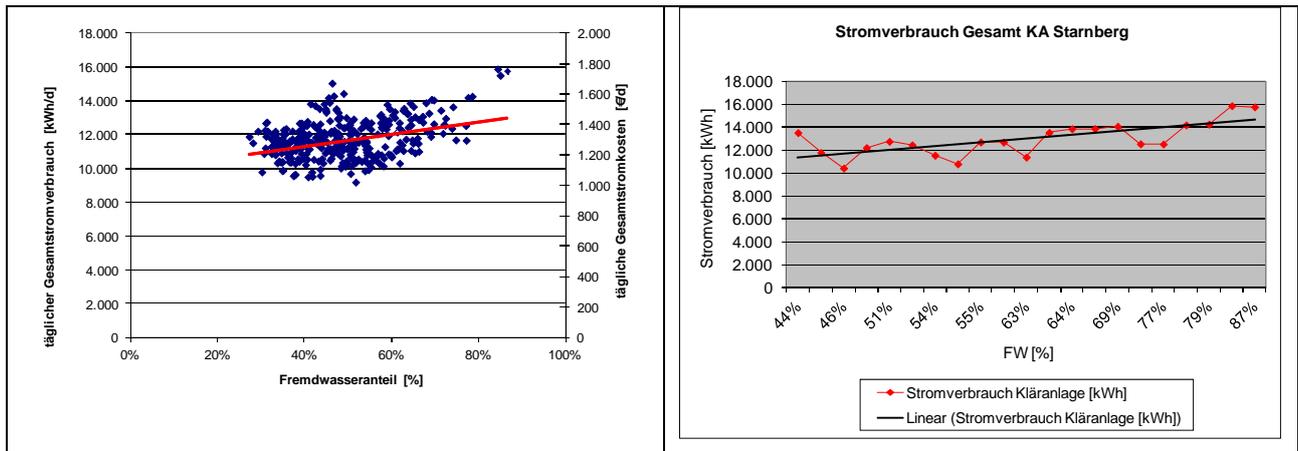
Abbildung 23: Stromverbrauch der Belebungsstufe in Abhängigkeit vom Fremdwasseranteil



Quelle: Daten bearbeitet nach (Günthert, 2008)

Die Auswirkungen des Fremdwasseranteils auf den täglichen Gesamtstromverbrauch und somit auf die Gesamtstromkosten der Kläranlage Starnberg können der Abbildung 24 entnommen werden. Der Fremdwassereinfluss auf den Stromverbrauch fällt in der Gesamtbetrachtung abgeschwächerter aus, als in den vorangestellten Detailbetrachtungen. Insgesamt ergibt sich jedoch bei einer Verdopplung des Fremdwasseranteils auf der Kläranlage von beispielsweise 40 % auf 80 % eine Zunahme der Stromkosten um bis zu 40 %. Ausgehend von einem aus betrieblichen und ökonomischen Gründen anzustrebenden Fremdwasseranteil von 25 % kann die Kostendifferenz zu dem gemessenen Fremdwasseranteil 2007 mit 42 % bis zu über 20 % betragen.

Abbildung 24: Gesamtstromverbrauch und Gesamtstromkosten in Abhängigkeit vom Fremdwasseranteil



Quelle: Daten bearbeitet nach (Günthert, 2008)

Insgesamt ergeben sich für die Kläranlage Starnberg folgende in Tabelle 11 zusammengefassten jährlichen fremdwasserbedingten Energiekosten. Dabei betragen die durch Fremdwasser verursachten Stromkosten ca. 15 % von den gesamten Stromkosten der Kläranlage.

Tabelle 11: Fremdwasserbedingte Energiekosten der Kläranlage Starnberg im Jahr 2007

Kläranlage	Stromverbrauch Gesamt [KWh]	Strompreis [EUR/kWh]	Stromkosten Gesamt [EUR/a]	davon Stromkosten für Fremdwasser [EUR/a]
	4.276.106	0,110	470.372	70.607

Die fremdwasserbedingten Stromkosten der Kläranlage ergeben sich als Anteil der Stromkosten für Hebewerk, Rechen, Biofilter, Hygienisierung und Schlammrückführung. Da die Belebungsstufe nahezu fremdwasserunabhängig ist, wird diese hierbei nicht berücksichtigt. Erst im Falle einer deutlichen Fremdwasserreduzierung ergeben sich Einsparpotenziale durch das Abschalten von einzelnen Belebungsbecken. Denn durch die damit einhergehende Einsparung von Gebläseleistung (Lufteintrag) können Stromkosten reduziert werden. So können z.B. durch die Abschaltung von vier Belebungsbecken (4 von 16 der Belebungsbecken in Starnberg) rund 40.000 EUR/a an Stromkosten eingespart werden. Bei der Abschaltung von sechs Becken, was einem Anteil von ca. 40 % des insgesamt zur Verfügung stehenden Belebungsbeckenvolumens entspricht, beträgt die Einsparung der Stromkosten rund 65.000 EUR/a. Rechnerisch ergeben sich die in der Tabelle aufgeführten „Stromkosten für Fremdwasser“ folgendermaßen: Der tägliche Stromverbrauch der fremdwasserbeeinflussten Anlagenteile (s. o.: Hebewerk, Rechen, ...) wird mit dem jeweiligen (täglich variierenden) Fremdwasseranteil multipliziert. Daraus resultiert der fremdwasserbedingte Stromverbrauch. Dieser wird über das Jahr aufsummiert und mit dem Preis für Strom multipliziert.

6.1.4 Indirekte Auswirkungen

Weniger offensichtlich und damit schwerer zu quantifizieren sind die indirekten Energiekosten, die fremdwasserbedingt anfallen, z.B. für Wartung und Instandhaltung (z.B. erhöhte Reinigungsintervalle, Energie für die Produktion und Anlieferung von fremdwasserbedingter Abnutzung von Anlagenteilen) und für die Reststoffentsorgung (Energie für Abholung, Entsorgung der Reststoffe aus der mechanischen Reinigung). Betrachtet man nicht nur das System Kläranlage können auch Kosten für einen erhöhten Personaleinsatz in Form von zusätzlichen

Fahrten für z.B. Probenahmen bei Abschlügen, für Kanalinspektionen und vor allem im Rahmen der Fremdwassererkennung und -sanierung entstehen.

6.1.4.1 Auswirkungen auf die Kosten für Wartung und Instandhaltung (nach Günthert 2008)

Um die fremdwasserrelevanten Kosten eines erhöhten Wartungs- und Instandhaltungsaufwandes abschätzen zu können, wurden die fremdwasserbeeinflussten Anlagenteile ermittelt und mit ihrem prozentualen Anteil am Fremdwasseranfall berücksichtigt.

Wo keine eindeutig dem erhöhten Fremdwasseranfall zuordenbare Beträge anfallen, müssen pauschale Angaben in Ansatz gebracht werden. Für die vorliegende Kostenschätzung in Abbildung 25 wurden prozentuale Anhaltswerte für einen erhöhten Wartungs- und Instandhaltungsaufwand aus einer Fremdwasserstudie des Wupperverbandes (Erhebung erfolgte durch die aquabench GmbH) zugrunde gelegt. Dabei wird angenommen, dass die Wartungs- und Instandhaltungsquote auf einer Kläranlage 1 % des Wiederbeschaffungswertes der fremdwasserrelevanten Anlagenteile beträgt. Davon wiederum sind 67 % direkt vom Abwasseranfall abhängig, (sog. abwasserabhängige Instandhaltungskosten), die restlichen 33 % sind Fixkosten. Mit einem Fremdwasseranteil auf der Kläranlage Starnberg von 42 %, ergeben sich somit fremdwasserbedingte Wartungs- und Instandhaltungskosten von 42 % der abwasserabhängigen Instandhaltungskosten. Insgesamt ergeben sich für die Kläranlage Starnberg jährliche fremdwasserbedingte Wartungs- und Instandhaltungskosten in Höhe von über 16.200 EUR.

Abbildung 25: Aufwand für fremdwasserbedingte Wartung- und Instandhaltung der Kläranlage Starnberg 2007

Wartung und Instandhaltung (W+I) der Maschinentechnik	
Ansatz: W+I Quote	1%
Wasserabhängige W+I Quote	67%
Fremdwasseranteil an JSM	42%
Kanal	
Teilprozeß	WBW 2007
Pumpwerke	622.053 €
Hebewerke	152.225 €
Summe	774.278 €
jährliche Instandhaltungskosten	7.743 €/a
Fremdwasserbedingte jährliche Kapitalkosten für W+I	2.179 €/a
Kläranlage	
Teilprozeß	WBW 2007
mechanische Reinigung	542.355 €
zusätzliche Abwasserreinigung	688.168 €
Biologie: Rücklaufschlammumpen, Belüfter, Linpor, Rezi	3.766.140 €
Summe	4.996.663 €
jährliche Instandhaltungskosten	49.967 €/a
Fremdwasserbedingte jährliche Kapitalkosten für W+I	14.061 €/a
Summe W+I für Ringkanal und Kläranlage	16.239 €/a

Quelle: Betriebsabrechnungsbogen 2007, AV Starnberg 2007 (verändert nach: Investitionskosten: Benchmarking „Kläranlagen VII“, aquabench GmbH)

6.1.4.2 Auswirkungen auf die Personalkosten (nach Günthert 2008)

Die Personalkosten der Verbandsanlage Starnberg erhöhen sich aufgrund der zusätzlich anfallenden, personalintensiven Aktivitäten bei z.B. der Ermittlung und Überwachung der Häufigkeit und Höhe des Fremdwasseranfalls, der Wartung- und Instandhaltung fremdwasserbeeinflusster Anlagenteile, der Entsorgung von fremdwasserbedingtem Mehranfall von Reststoffen. Bei dieser Betrachtung ist besonders zu berücksichtigen, dass keine eindeutige Differenzierung der fremdwasserbedingten Arbeiten vorliegt. An dieser Stelle wird ausdrücklich darauf hinge-

wiesen, dass die entstandenen Personalkosten fremdwasserrelevante Tätigkeiten auf der Kläranlage und für die Ringkanalisation zusammenfassen.

Aus Tabelle 12 wird ersichtlich, dass im Jahr 2007 ca. 4.400 Personalstunden der Fremdwasserproblematik zugeschrieben werden können. Insgesamt ergeben sich daraus fremdwasserbedingte Personalkosten in Höhe von ca. 130.000 EUR/a. In einem ersten Schritt wurden alle Tätigkeiten auf der Kläranlage Starnberg tabellarisch erfasst (vgl. Tabelle 12). Da nicht alle Teile der Belegschaft gleichermaßen vom Fremdwasseranfall abhängig sind, galt es, die fremdwasserrelevanten Tätigkeiten herauszufiltern und ihren prozentualen Anteil bei Fremdwassereinsätzen abzuschätzen. Die prozentualen Anteile zu 10 % - 30 % (Schätzwerte) für fremdwasserbedingte Tätigkeiten sind für die personellen Maßnahmen in Ansatz zu bringen, die sowohl der Ermittlung und Bewertung des Fremdwasseranfalls dienen, wie zum Beispiel regelmäßige Vor-Ort-Inspektionen von Revisionsschächten und Kanalabschnitten und Ortung von Fremdwassereinleitungen im Bereich von Grundstücksentwässerungsanlagen als auch zusätzlicher Arbeiten zur Störungsbeseitigung und Reinigung. Bei den angegebenen Prozentangaben handelt es sich um erste grobe Schätzungen, die jedoch gut mit den Aussagen der Mitarbeiter der Verbandsanlagen korrespondieren. Der Anteil der fremdwasserbedingten Arbeiten nur für die Kläranlage wird auf ca. 40 % geschätzt. Die durch das Fremdwasser verursachten Personalkosten würden für den Betrieb der Kläranlage ca. 51.863 EUR pro Jahr betragen.

Tabelle 12: Aufwand für fremdwasserbedingte Tätigkeiten auf der Kläranlage Starnberg und Ringkanalisation 2007

Tätigkeit	FW-Relevanz	Prozentualer Anteil	Ist-Stunden 2007	davon für FW	Entgeltgruppe	Stundensatz (EUR)	Kosten (EUR/a)
Betriebsleiter	ja	20 %	1.640	328	13	44,56	14.616
Meister KA	ja	30 %	1.328	398	9	33,95	13.512
Meister PW+K	ja	30 %	1.839	552	9	33,95	18.740
Systemadmin.	ja	10 %	1.600	160	10	37,93	6.069
Laborleiter	ja	10 %	1.617	162	9	33,95	5.500
Laborant	ja	10 %	1.639	164	6	25,48	4.179
Arbeiter (8)	ja	20 %	13.126	2.625	8,6,5	25,54	67.043
Summe (EUR)				4.389			129.658
Fremdwasserbedingte Personalkosten (EUR) auf der Kläranlage ca. 40 %							51.863

Quelle: Daten bearbeitet nach Günthert, 2008

6.1.4.3 Auswirkungen auf die Betriebsmittelkosten (nach Günthert 2008)

Um den fremdwasserbedingten Mehrverbrauch von Betriebsmitteln durch einen erhöhten Fremdwasseranfall zu ermitteln, wurden alle relevanten Betriebsmittel mit ihrem prozentualen Einfluss aufgelistet und monetär bewertet werden (vgl. Tabelle 13).

Der fremdwasserbedingte Mehrverbrauch an Strom wird in Höhe des Fremdwasseranfalls (42 %) angesetzt. Der Gasbedarf, der in erster Linie für die Faulraumbeheizung benötigt wird, erhöht sich fremdwasserbedingt vor allem in den Wintermonaten, da das Fremdwasser zu einer gewissen Abkühlung der Faulschlamm beiträgt. Der Mehrbedarf wird mit 10 % (geschätzt) angesetzt. Der fremdwasserbedingte Mehrbedarf an Fällmittel (Abwasserbehandlung) und Polymere (Schlammbehandlung) ist insgesamt als gering einzustufen und wird in der vorliegenden Kostenbetrachtung mit maximal 5 % (geschätzt) angesetzt. Mit zunehmendem Fremdwasseranfall sinkt die Konzentration des zu fällenden Phosphors im Abwasser, aber nicht die zu fällende P-Fracht. Bei der Polymerzugabe für die Schlammbehandlung werden folgende Annahmen getroffen: Ein erhöhter Fremdwasseranfall führt zu einer gewissen Erhöhung des Schlammmanfalls. Der fremdwasserbedingt erhöhte mineralische Anteil (Sand) im Abwasser und

somit im Klärschlamm trägt gleichzeitig zu seiner verbesserten Entwässerbarkeit bei, so dass kein wesentlicher Einfluss auf den Polymerverbrauch anzunehmen ist. Der Mehraufwand für sonstige Chemikalien und Treibstoffe ist ebenfalls als sehr gering einzustufen, insbesondere, da diese Positionen insgesamt nur einen sehr geringen Anteil an den Gesamtkosten ausmachen. Somit werden diese Positionen in der vorliegenden Kostenbetrachtung nicht berücksichtigt. Insgesamt ergeben sich damit für das Jahr 2007 fremdwasserbedingte Kosten für Betriebsmittel in Höhe von über 16.700 Euro.

Tabelle 13: Aufwand für fremdwasserbedingten Betriebsmittelbedarf 2007 (Auflistung nach Betriebsabrechnungsbogen)

Betriebsmittel	FW-Relevanz	Proz. Anteil	Kosten 2007	FW-bedingte Kosten
Wasser/Abwasser	nein	-	-	-
Strom*	ja	> 42%**	(siehe Tabelle 11)	(siehe Tabelle 11)
Gas	ja	10 %	34.731	3.473
C-Quelle (Glycerin)	ja	100 %	2.192	2.192
Fällmittel (Abwasser)	gering	5 %	108.656	5.433
Polymere (Schlammbehandlung)	gering	5 %	113.082	5.654
Sonst. Chemikalien	unwesentlich	< 5 %	-	-
Fuhrpark (Kraftstoff, Versicherung, Steuer, Unterhalt)***	unwesentlich	< 5 %	-	-
Summe (€)				16.752
<p>* Diese Betriebsmittelposition wurde bereits in einem eigenen Kapitel (vgl. Kapitel 6.1.3) berücksichtigt und lediglich der Vollständigkeit halber hier aufgeführt.</p> <p>** Durchflussabhängig, jedoch überproportional aufgrund ungünstigem Wirkungsgrad einiger Anlagenteile (Pumpen, ...) bei Betrieb in sub-optimalen Betriebsbereich</p> <p>*** nur für den Bereich Kanal</p>				

Quelle: Daten bearbeitet nach Günthert, 2008

6.1.4.4 Auswirkungen auf die Kosten der Reststoffentsorgung (nach Günthert 2008)

Im Bereich der Kläranlage sammeln sich diejenigen Feststoffe, wie Sand und Splitt, an, die fremdwasserbedingt eingetragen bzw. abgespült worden sind. Diese bedingen höhere Reinigungsintervalle der Rechenanlage (schnellerer Wasseraufstau) und eine Überlastung des Sandfangs, welches zu einem erhöhten Sandaustrag in die nachfolgenden Stufen führt. Dies wiederum kann zu Ablagerungen oder zu erhöhter Abrasion z.B. in den Schlammleitungen bzw. im Faulbehälter führen (Michalska, 2000, Seite 2 - 15). Auch eine fremdwasserbedingte hydraulische Überlastung des Vorklärbeckens verursacht einen vermehrten Schmutzstoffaustrag in das Belebungsbecken, wodurch einerseits manche Belebungs-systeme negativ beeinflusst werden können (Verstopfung einer feinblasigen Belüftung) andererseits der Sauerstoffbedarf zum Abbau dieser Stoffe erhöht wird (Michalska, 2000, Seite 2 - 15). Eine hydraulische Überlastung des Nachklärbeckens schließlich hat einen erhöhten Schlammeintrag in den Biofilter zur Folge. Um den fremdwasserbedingten Aufwand für die Reststoffentsorgung abschätzen zu können, wurden die relevanten Reststoffe identifiziert und qualitativ und quantitativ bewertet (vgl. Tabelle 14).

Tabelle 14: Aufwand für die fremdwasserbedingte Reststoffentsorgung 2007

Reststoffe	FW-Relevanz	Proz. Anteil	Kosten 2007 (EUR/a)	FW-bedingte Kosten (EUR/a)
Revisionssschächte*	gering	10 %	(vgl. Tabelle 12)	-
Rechen	gering	10 %	25.629	2.563
Sandfang	gering	10 %	8.061	806
Klärschlamm (VKB + ÜSS)	gering	10 %	175.900	17.590
Summe (€)				20.959

* Die Revisionssschächte müssen regelmäßig entleert werden. Der fremdwasserbedingt zusätzliche Reinigungs- und Entsorgungsaufwand wird bereits bei den Personalkosten berücksichtigt. Die Auflistung an dieser Stelle erfolgt lediglich der Vollständigkeit halber.

Quelle: Daten bearbeitet nach Günthert, 2008

Der fremdwasserbedingte Mehraufwand für die Entsorgung von Reststoffen wurde für die relevanten Positionen pauschal mit 10 % (geschätzt) der Kosten angesetzt. In der Literatur finden sich dazu keine Anhaltswerte. Der tatsächliche Mehraufwand dürfte sicherlich etwas höher liegen, was aber schwer zu quantifizieren ist. Somit ergeben sich für das Jahr 2007 fremdwasserbedingte Kosten für die Reststoffentsorgung in Höhe von ca. 21.000 Euro.

6.1.4.5 Auswirkungen auf die Abwasserabgabe (nach Günthert 2008)

Der Fremdwasseranteil im Abwasser wirkt sich in erheblichem Maße auf die Reinigungsleistung der Kläranlage aus. Je höher der Fremdwasseranteil desto geringer die Abbauleistung. Um die Grenzwerte einzuhalten, muss entweder mehr Energie in Form von direkter Energie (Primärenergie) oder aber in Form von virtueller Energie für die Herstellung und Anlieferung zusätzlich benötigter Betriebsstoffe wie Flockungshilfsmittel und externer C-Quelle eingesetzt werden. Werden aufgrund eines erhöhten Fremdwasseranfalls und damit zur Einhaltung der Ablaufwerte keine zusätzlichen Maßnahmen auf der Kläranlage ergriffen, so kann ein erhöhter Fremdwasseranteil bei Nicht-Einhaltung der vorgegebenen Frachteinleitungen (Überschreitung der zulässigen Frachten) zu einer Erhöhung der Abwasserabgabe führen. Grundsätzlich darf laut Verdünnungsverbot Abwasser nicht mit sauberem Wasser (u. a. Fremdwasser) verdünnt werden. Gem. § 18b WHG (vgl. WHG 2009) sind Abwasseranlagen so zu errichten und zu betreiben, dass die Anforderungen an das Einleiten von Abwasser insbesondere nach § 7a WHG (vgl. WHG 2009) eingehalten werden. Dies bedeutet, dass festgelegte Anforderungen nicht entgegen dem Stand der Technik durch Verdünnung erreicht werden dürfen (§ 3 Abs. 3 Abwerverordnung – AbwV 2004).

Die Höhe der Abgabe richtet sich nach den emittierten Frachten, die sich wiederum aus der Jahresschmutzwassermenge (JSM) und den erklärten Überwachungswerten ergeben. Dabei wird gesondert zwischen den Parametern CSB, N und P unterschieden. Eine Ermäßigung der Abgabensätze um 50 % je Parameter wird dann gewährt, wenn die Überwachungswerte nicht über den Mindestanforderungen nach der Abwerverordnung liegen, die Mindestanforderungen eingehalten und ihre Unterschreitung nicht durch Verdünnung (durch Fremdwasser) erreicht werden. In Tabelle 15 sind die für die Berechnung relevanten Werte je Parameter angegeben.

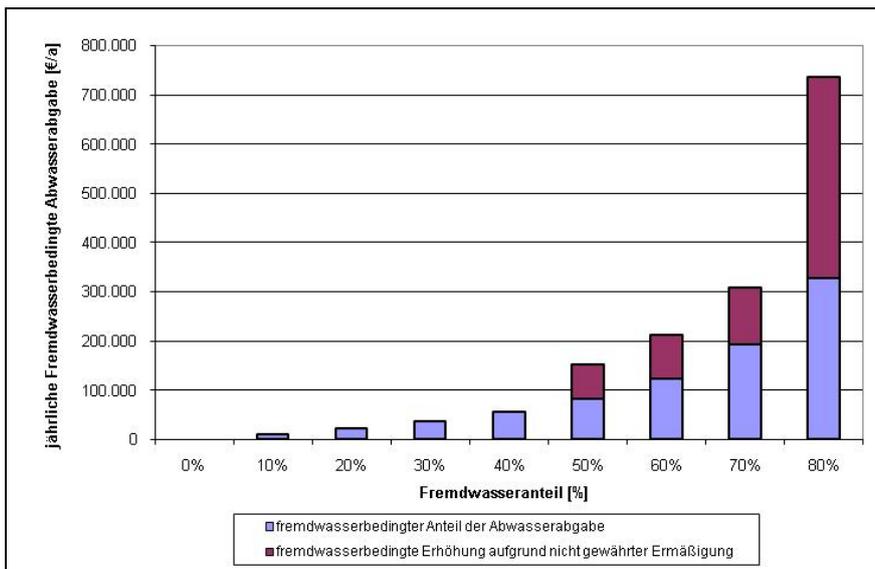
Tabelle 15: Mindestanforderungen und erklärte Überwachungswerte

Parameter	Mindestanforderung (AbwV) [mg/l]	Überwachungswert (Starnberg) [mg/l]	Bescheidewerte (Starnberg) [mg/l]
CSB	90	25	60

Parameter	Mindestanforderung (AbwV) [mg/l]	Überwachungswert (Starnberg) [mg/l]	Bescheidewerte (Starnberg) [mg/l]
P-Ges.	2	0,8	1
N-Ges.	18	14,4	18

Quelle: Daten bearbeitet nach Günthert, 2008

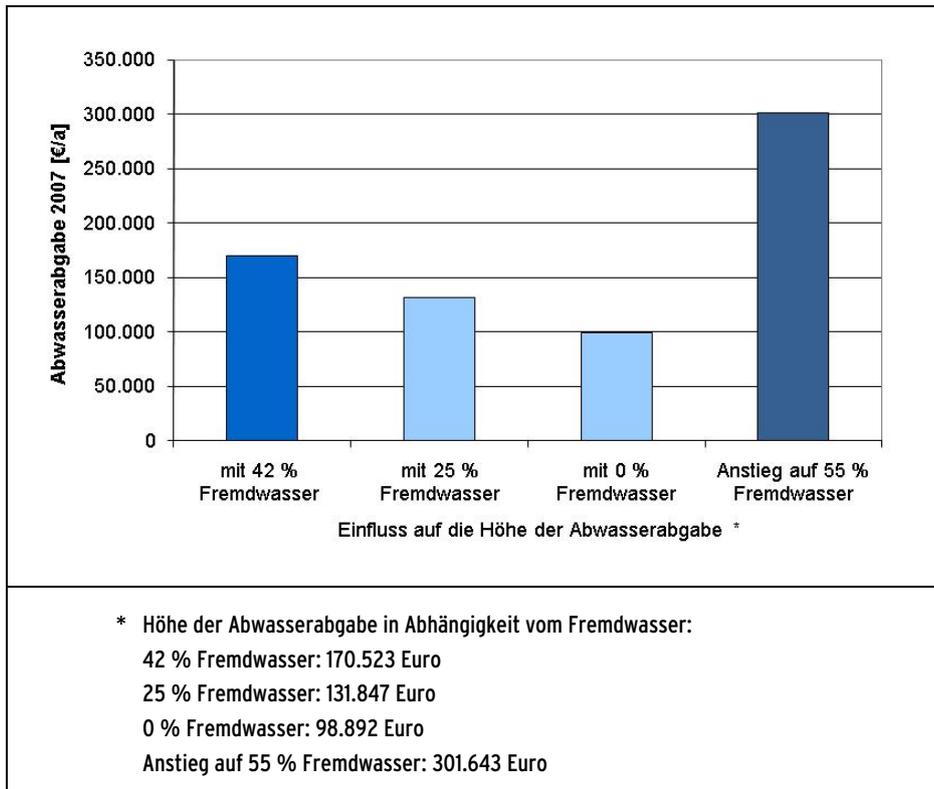
Abbildung 26: Fremdwasserbedingte Abwasserabgabe in Abhängigkeit vom Fremdwasseranteil



Quelle: Daten bearbeitet nach Günthert, 2008

Abbildung 26 stellt den Zusammenhang zwischen der Höhe der Abwasserabgabe und dem Fremdwasseranteil dar. Bis zu einem Fremdwasseranteil von 45 % ist die Abwasserabgabe lediglich vom Fremdwasser im Zulauf zur Kläranlage abhängig. Bei Fremdwasseranteilen über 45 % kommt noch ein Aufschlag aufgrund der nicht gewährten Ermäßigung hinzu. Bei einem Fremdwasseranteil von beispielsweise 50 % beträgt der fremdwasserbedingte Anteil der Abwasserabgabe ca. 82.000 Euro und der Anteil aufgrund des Verlusts des Ermäßigungsfaktors für Stickstoff ca. 70.000 Euro. In der Summe ergeben sich somit fremdwasserbedingte Mehrkosten in Höhe von 152.000 Euro für das Bezugsjahr. In Abbildung 27 sind vier Berechnungsbeispiele für die Abwasserabgabe in Abhängigkeit vom Fremdwasseranteil dargestellt. Die kostenmäßige Differenz zwischen dem Fall Fremdwasseranteil 42 % und Fremdwasseranteil 25 % bzw. 0 % beträgt ca. 38.700 EUR/a bzw. 71.600 EUR/a.

Abbildung 27: Einfluss des Fremdwasseranteils auf die Höhe der Abwasserabgabe



Quelle: Daten bearbeitet nach Günthert, 2008

6.1.5 Fazit Kläranlage Starnberger See

Der Fremdwasseranteil im Abwasser der Verbandsanlage Starnberg hat Auswirkungen auf den Betrieb der Abwasserableitung und -reinigung und in der Konsequenz auf die Wirtschaftlichkeit des Abwasserverbandes. Der durchschnittliche Fremdwasseranteil auf der Kläranlage Starnberg lag für das Jahr 2007 bei ca. 42 %. Das Fremdwasser, das als unverschmutztes Wasser mit abgeleitet und mit behandelt wird, verursacht vor allem zusätzlichen energetischen Aufwand, der sich außer in den direkt zu ermittelnden Energiekosten auch in allen anderen Betriebskostenpositionen bemerkbar macht. Hauptenergieverbraucher, die direkt vom Fremdwasseranteil beeinflusst werden, sind die Pump- und Hebeanlagen. Darüber hinaus wirkt sich der Fremdwasseranteil im Abwasser auf die Reinigungsleistung der Kläranlage Starnberg aus. Je höher der Fremdwasseranteil desto geringer die Abbauleistung. Neben einer Erhöhung der direkten Kosten wirkt sich der Fremdwasseranteil auch auf die indirekten Kosten, wie Abschreibungen, Instandhaltungskosten, Personalkosten, Reststoffentsorgung und Abwasserabgabe aus. Erst die Berücksichtigung aller Betriebskostenkomponenten bei der Ermittlung der fremdwasserbedingten direkten und indirekten Energie- und Betriebskosten kann zu einer realistischeren Gesamtbetrachtung führen, sodass realistische Einsparpotenziale ermittelt werden können. Eine Reduzierung des Fremdwasseranteils im Abwasser kann für das Beispiel Starnberg zu größeren Einsparungen bei den Energiekosten führen.

6.2 Fallbeispiel „Kläranlage Billerbeck“

6.2.1 Situation und Datenlage

Zur Untersuchung der betrieblichen und ökonomischen Auswirkungen von Fremdwasser auf Kläranlagen wurde neben Starnberg eine zweite Kläranlage ausgewählt: die Kläranlage Bill-

erbeck. Durch den Vergleich ist ein Rückschluss auf die Übertragbarkeit der Ergebnisse möglich.

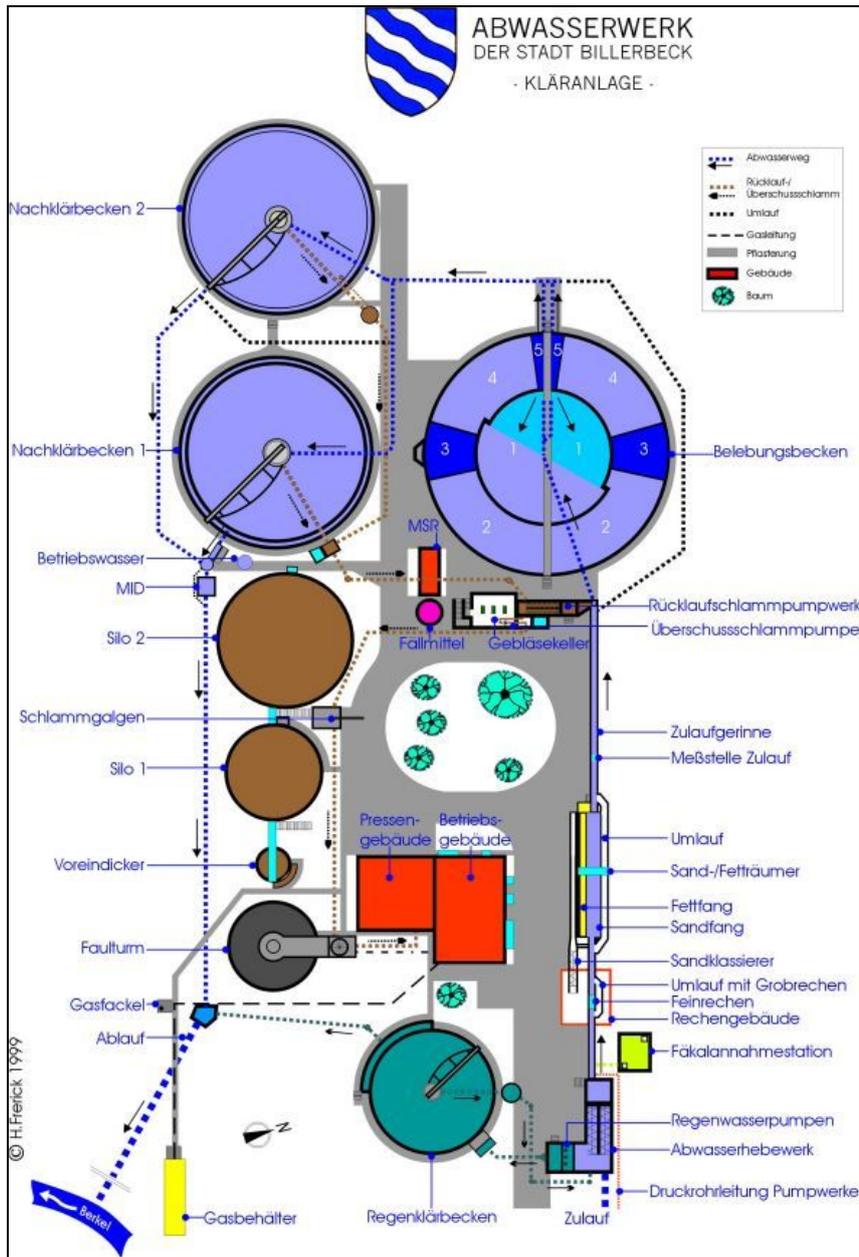
Die Kläranlage wurde 1982 im Gewerbegebiet Hamern errichtet. Sie ist als Belebungsanlage für insgesamt 20.000 Einwohner und Einwohnerwerte konzipiert. Sie wurde in den Jahren 1994-1995 und 2007 - 2009 grundlegend ertüchtigt und den gewachsenen Anforderungen an die Reinigungsleistung angepasst. Eine Anlagenübersicht der Kläranlage Billerbeck ist in Abbildung 20 dargestellt.

Die Kläranlage Billerbeck (vgl. Abbildung 28) ist zur Behandlung vorwiegend kommunalen Abwassers nach dem Belebungsverfahren mit drei Reinigungsstufen ausgelegt. Grundlage dieser Technologie ist die Nachahmung der Selbstreinigungskräfte in natürlichen Gewässern. Die Steuerung und Überwachung des Kanal- und Kläranlagenbetriebes erfolgt durch das Betriebspersonal und einer kontinuierlichen Online-Überwachung und SPS Prozessleittechnik verbunden mit einem automatischen Störmeldesystem.

Der Mischwasserzufluss zur Kläranlage wird im Abwasserhebewerk mit Schneckenpumpen auf Geländeneiveau gehoben, um im Freigefälle die einzelnen Reinigungsstufen der Kläranlage zu durchlaufen. Bei einem Zufluss $> 610 \text{ m}^3/\text{h}$ wird das Abwasser durch einen Grobrechen zum Regenwasserschacht hin abgeschlagen, wo es mittels Pumpen in das Regenüberlaufbecken gefördert wird. Hier wird das Regenwasser mechanisch gereinigt. Der abgesetzte Schlamm sowie der Regenbeckeninhalt werden nach dem Regen wieder der Kläranlage zur Reinigung zugeführt. Im Zulaufgerinne hinter dem Abwasserhebewerk erfolgt die Schmutzwassereinleitung aus Abwasserpumpwerken des Außenbereiches und zusätzlich wird -je nach Anfall- in der Nacht der von den Kleinkläranlagen des Außenbereiches angelieferte und zwischengespeicherte Fäkalschlamm zugegeben.

In der **mechanischen Reinigungsstufe** eliminiert ein Feinrechen (6 mm Stababstand) die groben und festen Abwasserinhaltsstoffe. Das Rechengut wird in der Rechengutpresse und -wäsche entwässert und gereinigt, damit es später ordnungsgemäß entsorgt werden kann. Im anschließenden belüfteten Sandfang werden die mineralischen Stoffe entnommen. Das Einblasen von Luft bewirkt gleichzeitig ein Aufschwimmen der Fettstoffe unter einer Tauchwand in die Fettrinne. Durch eine Räumvorrichtung kann das angefallene Sand-Wasser-Gemisch abgezogen werden und im Sandklassierer und -wäscher durch die Aufwärtsförderung in einem geneigten Trog mittels einer Schnecke entwässert und gereinigt werden. Der gereinigte Sand wird auf der Kläranlage zwischengelagert und im Tiefbau verwendet; das abgezogene Fett wird in den Faul-turm zur weiteren Behandlung gefördert.

Abbildung 28: Fließschema der Kläranlage Billerbeck



Quelle: www.billerbeck.de

In der **biologischen Reinigungsstufe** gelangt das Abwasser in das Belebungsbecken. Dieses besteht aus zwei separaten Beckenhälften, die in jeweils fünf Zonen (5-fach-Kaskade) unterteilt sind. Hier verwerten Mikroorganismen (Bakterien und Protozoen) die biochemische Schmutzfracht und wandeln diese in anorganische Endprodukte und neue Bakterienmasse um. Mittels feinblasiger Druckbelüftung wird diese Biomasse mit dem für die Bakterien lebenswichtigen Sauerstoff versorgt und man erreicht mit zusätzlichen Rührwerken einen durchmischten Bioreaktor, dessen Biomasse als Pfropf jede einzelne Zone nacheinander von unten her durchströmt, so dass eine Selektion nach Art und Alter der Bakterienmasse erfolgt. Durch diese verfahrenstechnische Abfolge von hohem und niedrigem Nährstoffangebot sowie Sauerstoffeintrag und Sauerstoffmangel, werden die Stickstoff- und Kohlenstoffverbindungen sowie das Phosphat durch die in den einzelnen Zonen angepassten Bakterien umgewandelt und abgebaut.

Durch die Zudosierung eines Fällmittels in der Chemischen Reinigungsstufe wird der durch den biologischen Abbauprozess nicht abgebaute und über Online-Messung ermittelte Phos-

phatrest ausgefällt. Im nach geschaltetem Nachklärbecken erfolgt die Trennung zwischen Wasser und Biomasse. Die Biomasse setzt sich ab und wird mit einer Räumvorrichtung in das Rücklaufschlammumpwerk gefördert und gelangt so wieder in das Belebungsbecken; das gereinigte Wasser fließt zurück in den natürlichen Wasserkreislauf, die Berkel.

Für die anschließende Schlammbehandlung wird ein Teilstrom der aus dem Belebungsbecken zurückgeführten Biomasse dem Kreislauf entzogen. Dieser Überschussschlamm wird mit einem Rotationseindicker auf einen Wassergehalt von 94% reduziert. Der so eingedickte Schlamm wird im Injektionsmischer mit dem Faulschlamm des Faulturms vermischt und im Wärmetauscher auf ca. 34°C erhitzt. Bei dem im Faulturm stattfindenden Faulprozess wandeln spezialisierte Bakterien den Schlamm unter Luftabschluss und Wärme in Wasser, Methangas, Kohlendioxid und stabilisierten Schlamm um. Das entstandene Methangas wird im Gasbehälter gesammelt und in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) zur Stromerzeugung genutzt. Die dabei erzeugte Abwärme wird, unterstützt durch eine kombinierte Öl-, Gasheizung, für die Gebäudeheizung und der Beheizung des Faulturmes genutzt. Der gewonnene Strom wird an das Stromnetz abgegeben. Die abgezogene Überschussschlammmenge verdrängt die entsprechende Faulschlammmenge des Faulturms in den Nacheindicker. Dort wird der Überschussschlamm entwässert und anschließend in Silos gespeichert.

6.2.2 Fremdwasser auf der Kläranlage

Die Entwicklung des in Abbildung 29 dargestellten jährlichen Fremdwasseranteils (FWA) und die Entwicklung des in Abbildung 30 dargestellten jährlichen Fremdwasserzuflusses (FWZ) auf der Kläranlage Billerbeck zwischen 2007 und 2011 zeigen einen leicht sinkenden Trend hinsichtlich des Fremdwasseraufkommens. Betrachtet man den Fremdwasseranteil und den Fremdwasserabfluss auf der Kläranlage Billerbeck über einen längeren Zeitraum (2007 bis 2011), zeigt sich, dass die durchgeführten Sanierungs- bzw. Baumaßnahmen im öffentlichen Raum, d.h. für ein bestimmtes Einzugsgebiet (vgl. Kapitel 4.2.1), nur geringfügig Einfluss auf das Fremdwasseraufkommen haben. Ein höheres Fremdwasseraufkommen im Jahr 2010 im Vergleich zum Vorjahr lässt vermuten, dass das Fremdwasseraufkommen auf der Kläranlage stark an saisonale Ereignisse (Niederschlagsereignisse, Regenwetter) und geologische Randbedingungen (schwankende Grundwasserstände, Infiltrationsprozesse und Wechselwirkungen zwischen Kanal und Grundwasserkörper) gekoppelt ist. Der Erfolg des Fremdwassersanierungskonzepts in Billerbeck (vgl. Kapitel 4.2.1) bestätigte sich durch Messkampagnen im Teileinzugsgebiet, welche ein reduziertes Fremdwasseraufkommen verzeichneten. Unklar ist jedoch, ob die durchgeführten Sanierungsmaßnahmen einen positiven Effekt auf die Wirtschaftlichkeit der Kläranlage Billerbeck haben. Der Sanierungserfolg einer Kanalhaltung und/oder eine Teileinzugsgebietes (Abdichtung der schadhaften Kanäle) kann nicht zwangsläufig an der Kläranlage nachgewiesen werden. Erst wenn ein komplettes saniertes Einzugsgebiet einer Kläranlage gegeben bzw. vorhanden ist, kann durch einen Vorher-Nachher-Vergleich geprüft werden, ob eine Reduzierung des Fremdwasseraufkommens durch Sanierungsmaßnahmen die Wirtschaftlichkeit einer Kläranlage positiv beeinflusst (Senkung der Energie- und Betriebskosten).

Abbildung 29: Jährlicher Fremdwasseranteil auf der Kläranlage Billerbeck

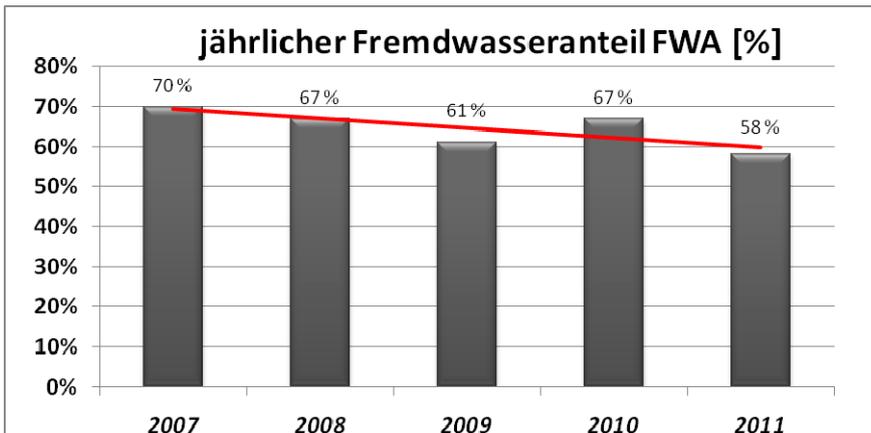
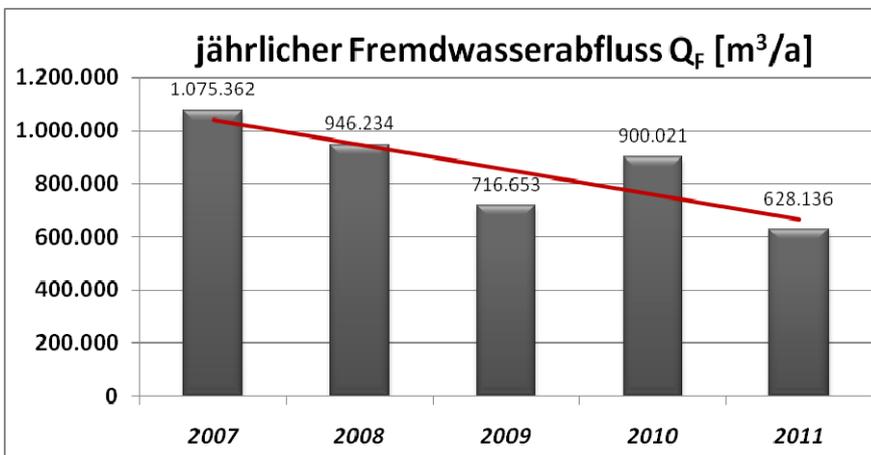


Abbildung 30: Jährlicher Fremdwasserabfluss auf der Kläranlage Billerbeck



Um insbesondere den Einfluss von Niederschlagsereignissen auf den Grundwasserkörper und damit verbundene Beeinflussung des Fremdwasseraufkommens darzustellen, wurden Regenmessdaten mit den gemessenen Fremdwasseranteilen auf der Kläranlage Billerbeck verglichen. Für den betreffenden Ort Billerbeck liegen die gewünschten Messdaten nicht vor. Deshalb wurden die Daten der nächstgelegenen Station Coesfeld (vgl. DWD 2013) herangezogen. Abbildung 31, Abbildung 32 und Abbildung 33 zeigen die Verteilung des Fremdwasseranteils im Jahresverlauf für die Jahre 2009, 2010 und 2011. Für alle betrachteten Zeiträume ist ein erhöhter Fremdwasseranteil insbesondere in den Winter- und Frühjahrsmonaten festzustellen, was aber nicht unbedingt auf höhere Niederschläge zurückzuführen ist. Inwieweit Oberflächen- und Dränagewasser zum Fremdwasseranstieg beiträgt, ist noch nicht geklärt. Anhand der grafischen Darstellung des Fremdwasseraufkommens in Korrelation mit den Niederschlagsmengen kann nicht eindeutig gezeigt werden, dass Niederschlagsereignisse in dieser Region einen direkten Einfluss auf das Fremdwasseraufkommen haben. So lässt sich vermuten, dass vor allem Infiltrationsprozesse im Boden und Grundwasserkörper eine entscheidende Rolle in Hinblick auf das schwankende Fremdwasseraufkommen spielen. Für Einschätzungen zur Dynamik und Quantität der Infiltration (z.B. Grundwasserneubildung, Durchlässigkeitsbeiwerte der Bodenschichten, Fließrichtung etc.) können zu diesem Zeitpunkt keine belastbaren Aussagen getroffen werden. Für eine genauere Betrachtung müssen zahlreiche Einflussfaktoren berücksichtigt werden, sodass eine komplexe Erfassung der Prozessmechanismen ermöglicht wird.

Abbildung 31: Verteilung des Fremdwasseranteils in Billerbeck und gemessene Niederschlagshöhen 2009 (Station Coesfeld)

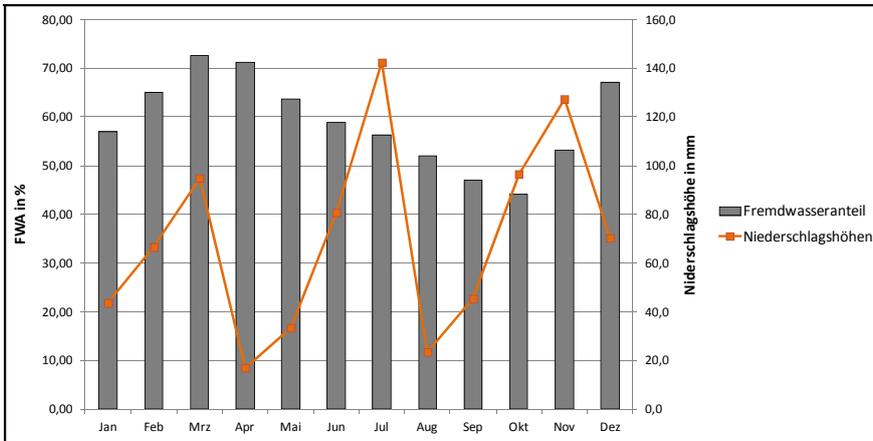


Abbildung 32: Verteilung des Fremdwasseranteils in Billerbeck und gemessene Niederschlagshöhen 2010 (Station Coesfeld)

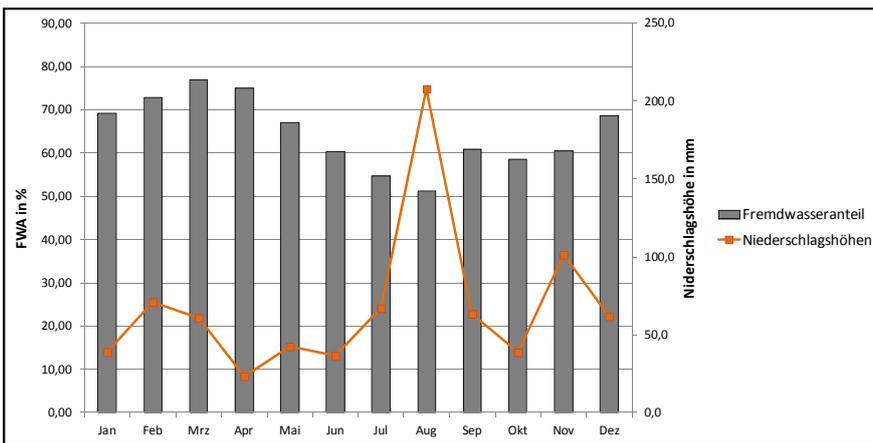
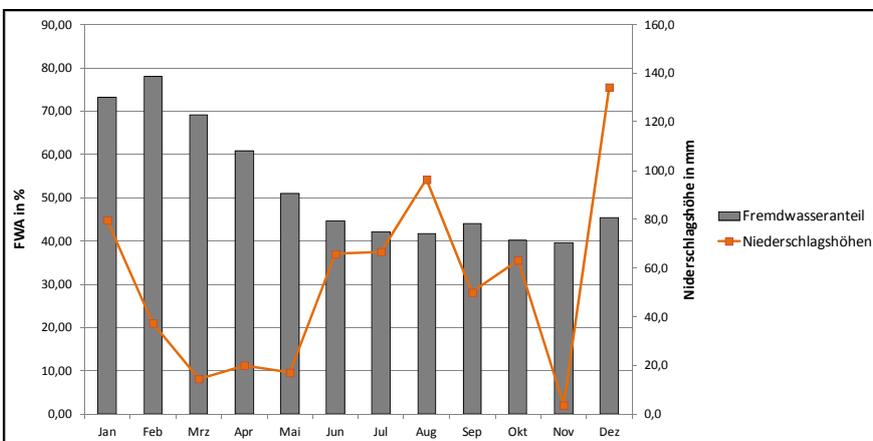


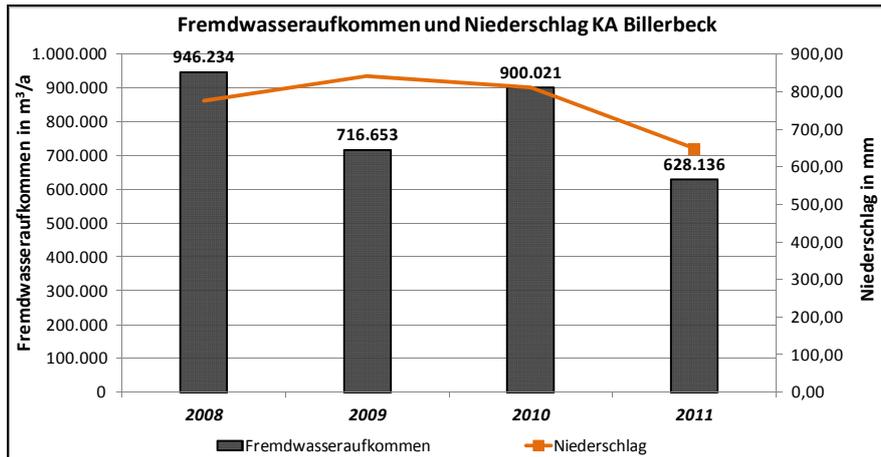
Abbildung 33: Verteilung des Fremdwasseranteils in Billerbeck und gemessene Niederschlagshöhen 2011 (Station Coesfeld)



Vergleicht man das Fremdwasseraufkommen und die Niederschläge von 2008 bis 2011, so ist nicht eindeutig erkennbar, dass ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen Niederschlagsmenge und Fremdwasseraufkommen besteht (vgl. Abbildung 34). Für 2010 und 2011 kann

aber gezeigt werden, dass mit sinkender Niederschlagsmenge auch ein verringertes Fremdwasseraufkommen zu verzeichnen ist. Hingegen wurde für 2009 die höchste Niederschlagsmenge (ca. 842 mm) im Vergleich zu den anderen Jahren festgestellt, obwohl das ermittelte Fremdwasseraufkommen mit 716.653 m³/a am niedrigsten war. Es ist daher zu vermuten, dass das Fremdwasseraufkommen nicht unmittelbar abhängig von den auftretenden Niederschlagsereignissen ist, sondern auch durch o. g. Infiltrationsprozesse und Wechselwirkungen zwischen Kanal und Grundwasserkörper beeinflusst wird.

Abbildung 34: Fremdwasseraufkommen und Niederschlag Kläranlage Billerbeck 2008 - 2011



6.2.3 Zusammenhang zwischen Fremdwasser und Summenparameter

Am Beispiel der Kläranlage Billerbeck kann ebenfalls nachgewiesen werden, dass ein erhöhter Fremdwasseranteil Einfluss auf die Abwassermatrix hat und dadurch das Rohabwasser in seiner Zusammensetzung verändert wird. Die Untersuchungen zeigen, dass das zeitlich schwankende Fremdwasseraufkommen (abhängig von saisonalen Einflüssen, Witterungsverhältnissen und Grundwasserspiegel) mit den Konzentrationen der Summenparameter CSB, Stickstoff und Phosphor korreliert. Mit sinkendem Fremdwasseranteil steigt die Konzentration der biologisch abbaubaren Stoffe. Im Umkehrschluss bedeutet das, dass ein erhöhter Fremdwasseranteil durch Verdünnung eine Verringerung der Konzentrationen im Zulauf der Kläranlage verursacht. Abbildung 35 zeigt mit den eingetragenen Trendlinien, dass mit sinkendem Fremdwasseranteil im Jahresverlauf (Februar: 78 % FWA; November: 40 % FWA) die CSB-Zulauf-Konzentration steigt (Februar: 208 mg/l CSB; November: ca. 635 mg/l CSB). Dieser Zusammenhang kann auch für den Parameter P_{ges} (vgl. Abbildung 37) nachgewiesen werden (Februar: 78 % FWA und P_{ges} im Zulauf bei ca. 2,9 mg/l; November: ca. 40 % FWA und P_{ges} im Zulauf bei 10,5 mg/l). Auch die Zulaufkonzentration für N_{ges} sinkt und fällt in Abhängigkeit vom Fremdwasseranteil (vgl. Abbildung 36). So liegt die Zulaufkonzentration N_{ges} im März (bei 77 % FWA) bei 23,3 mg/l und im August (bei 51 % FWA) bei 35,3 mg/l.

Abbildung 35: Fremdwasseranteil und CSB-Konzentration KA Billerbeck, 2011

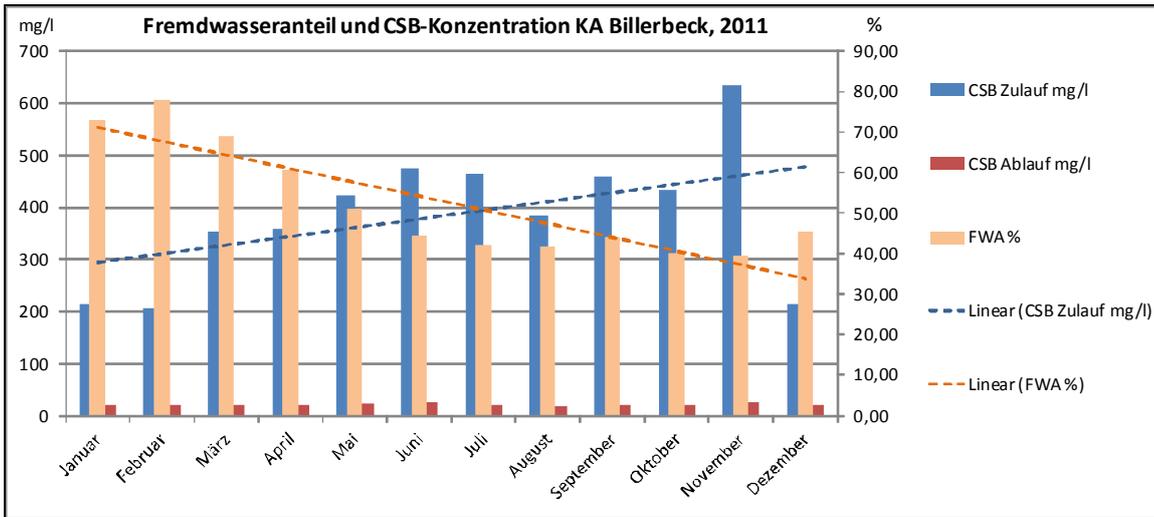


Abbildung 36: Fremdwasseranteil und N_{ges}-Konzentration KA Billerbeck, 2010

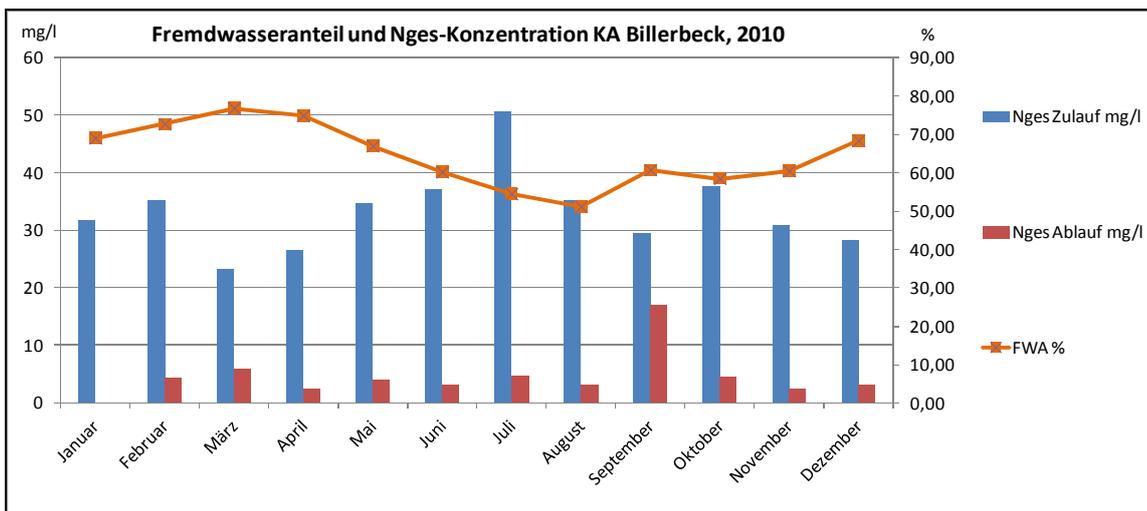
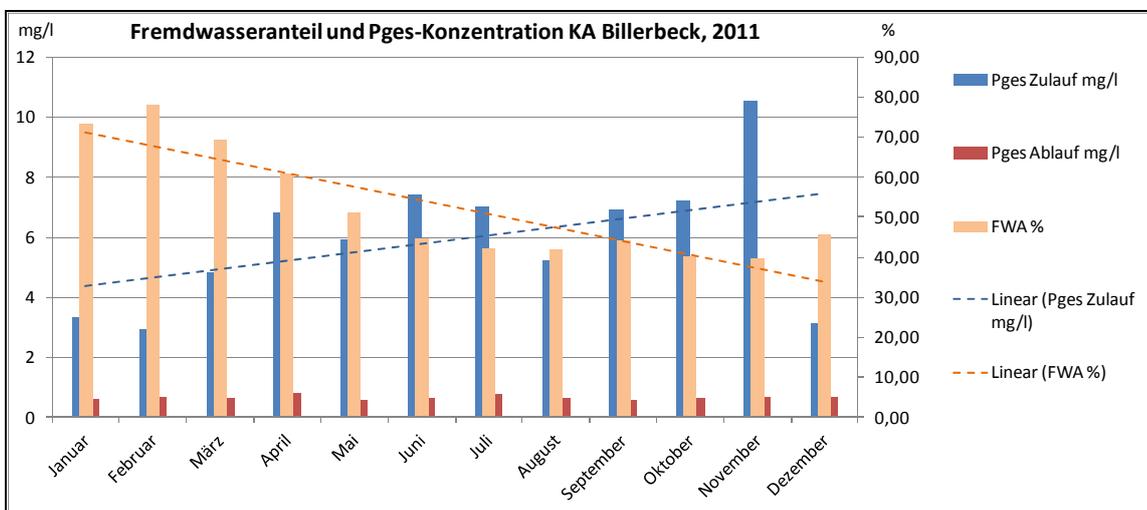


Abbildung 37: Fremdwasseranteil und P_{ges}-Konzentration KA Billerbeck, 2011



6.2.4 Energiebilanzen

Für die Kläranlage Billerbeck ist eine Darstellung des direkten Zusammenhangs (vgl. zu Kapitel 3.2) zwischen Fremdwasseranteil und dem Stromverbrauch von hydraulisch bemessenen Anlagenkomponenten nur erschwert möglich. Dies begründet sich insbesondere dadurch, dass zu den einzelnen fremdwasserrelevanten Kläranlagenkomponenten wenige Energiedaten vorliegen. Für die Abbildung fremdwasserbeeinflusster Verbrauchswerte ist jedoch ein Energiecheck bzw. Energieanalyse unerlässlich. Energiewerte bzw. anlagenspezifische Kennwerte von einzelnen Verbrauchern einer Kläranlage (Pumpwerke, Rechen etc.) lassen sich nur durch die Bewertung der energetischen Situation (Energieanalyse) ermitteln. In Abbildung 38 sind die jährlichen Gesamtstromverbräuche, die angeschlossenen Einwohnerwerte sowie die spezifischen Energieverbrauchswerte der Kläranlage Billerbeck für die Jahre 2008 bis 2012 dargestellt. Bezüglich des Stromverbrauches der Kläranlage Billerbeck zeigt sich ein Trend. Von 2008 (555.588 kWh/a) bis 2012 (480.599 kWh/a) sank der Gesamtstromverbrauch der Kläranlage um ca. 13,5 %. Dies ist hauptsächlich durch die verschiedenen Optimierungsmaßnahmen an der Kläranlage zu erklären. Bezüglich der angeschlossenen Einwohnerwerte EW (E + (EGW B60) ist ebenfalls ein Rückgang von 2008 bis 2012 von ca. 19,7 % zu verzeichnen (2008: 16.024 EW; 2012: 12.867 EW). Erwartungsgemäß ergibt sich mit höheren Einwohnergleichwerten bei gleichbleibendem Gesamtstromverbrauch der Kläranlage ein geringerer spezifischer Energieverbrauch (zum Beispiel: Vergleich zwischen 2010 mit 36,19 kWh/(EW*a) und 2011 mit 37,52 kWh/(EW*a)).

Abbildung 38: Energieverbrauch und angeschlossene Einwohnerwerte der Kläranlage Billerbeck

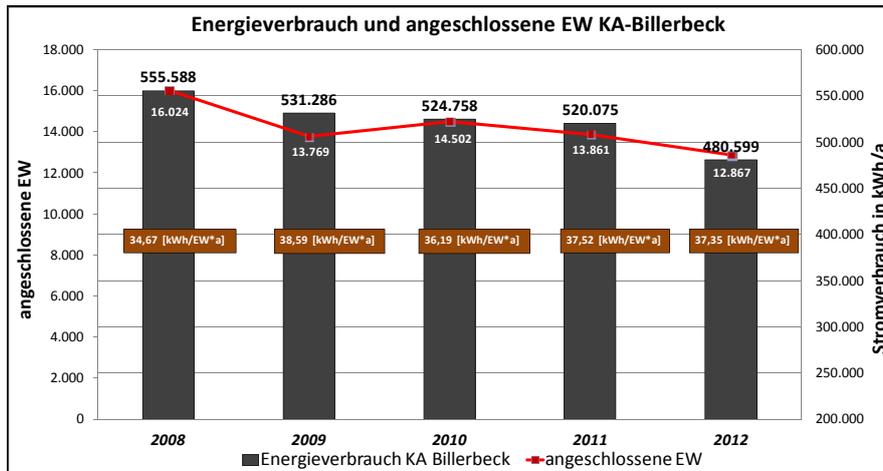
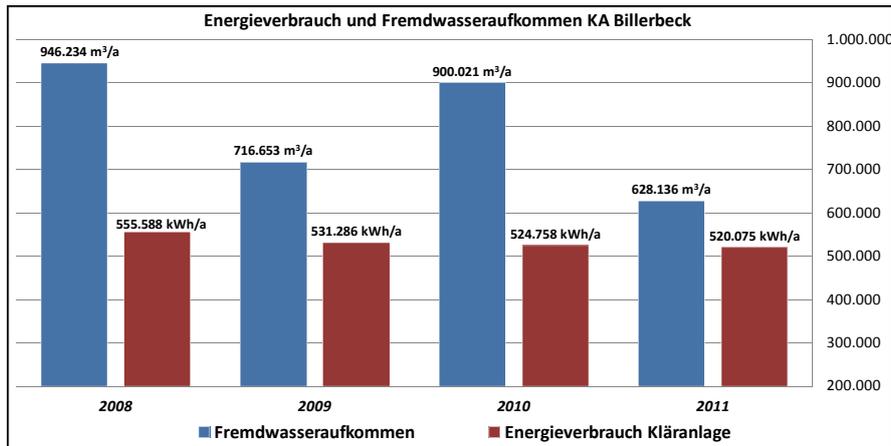


Abbildung 39 fasst das Fremdwasseraufkommen und die Gesamtstromverbräuche der Kläranlage Billerbeck für die Jahre 2008 bis 2011 zusammen. Ein direkter Zusammenhang zwischen Fremdwasseraufkommen und den Auswirkungen auf den Energiebedarf der Kläranlage Billerbeck kann nicht eindeutig nachgewiesen werden. Zwar kann für den Energieverbrauch ein Abwärtstrend beobachtet werden, beim Fremdwasseraufkommen ist jedoch für das Jahr 2010 ein relativ hoher Ausnahmewert mit 900.021 m³/a zu verzeichnen. Wobei hier unklar ist, ob dieser Wert auf vermehrte Niederschlagsereignisse zurückzuführen ist (vgl. Kapitel 6.2.2 und Abbildung 34). Inwieweit das Fremdwasseraufkommen die Wirtschaftlichkeit der Kläranlage Billerbeck direkt beeinflusst, kann an dieser Stelle nicht zu 100 % geklärt werden. Dennoch kann festgehalten werden, dass bei einem längeren Betrachtungszeitraum das Fremdwasseraufkommen (vgl. Abbildung 29 und Abbildung 30) und der Gesamtstromverbrauch (vgl. Abbildung 38) der Kläranlage sinken. Dadurch lässt sich ein Zusammenhang zwischen Fremdwasser und dem Stromverbrauch der Kläranlage vermuten.

Abbildung 39: Energieverbrauch und Fremdwasseraufkommen Kläranlage Billerbeck



6.2.5 Fazit Kläranlage Billerbeck

Für die Kläranlage Billerbeck wurden Daten zum Fremdwasseranfall des Kanalnetzes vor und nach der Sanierung eines Teileinzugsgebietes ausgewertet. Es ist der Trend erkennbar (belegt durch Messkampagnen (vgl. Bosseler/Schlüter 2006, Seite 4f und Schlüter 2009, Seite 71)), dass Fremdwasser nach erfolgter Sanierung für ein Teileinzugsgebiet reduziert wird. Ein eindeutiger Rückschluss in Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit der Kläranlage ist jedoch nicht unmittelbar nachweisbar. Erst eine vollständige Prüfung der energetischen Situation (z.B. eine Energieanalyse nach DWA-A 216 (vgl. DWA-A 216, 2013)) auf der Kläranlage Billerbeck kann den Nachweis erbringen, ob die Reduzierung von Fremdwasser (z.B. durch das Fremdwassersanierungskonzept Billerbeck) einen positiven Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Kläranlage hat. Des Weiteren wurden die ausgewerteten Niederschlagsdaten für die Region Billerbeck mit dem Fremdwasseraufkommen auf der Kläranlage verglichen, um den Zusammenhang zwischen auftretenden Niederschlagsereignissen und erhöhten Fremdwasseranfall abbilden zu können. Für einen längeren Betrachtungszeitraum (2007 bis 2012) kann tendenziell ein Zusammenhang festgestellt werden. Der Fremdwasseranfall der Kläranlage Billerbeck liegt für die Jahre 2007 bis 2011 im Schnitt bei 65 %. Im Vergleich zu Starnberg sind der jährliche Gesamtstromverbrauch und der spezifische Energieverbrauch der Kläranlage Billerbeck wesentlich geringer. Dies ist auf die unterschiedliche Struktur, Verfahrenstechnik und Betriebsweise der beiden Kläranlagen zurückzuführen. Aus der Analyse der Messdaten lässt sich grundsätzlich ableiten, dass bei höherem Fremdwasseranteil die CSB-Konzentration sinkt. Der Verdünnungseffekt ist demnach auch hier erkennbar. Auch für Stickstoff ist diese Tendenz erkennbar. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass Fremdwasser Einfluss auf die Reinigungsleistung und den Energieverbrauch der Kläranlage Billerbeck hat.

6.3 Abgleich der Fallbeispiele mit in der Literatur beschriebenen Praxisbeispielen

Durch die Berechnungen und Auswertungen hinsichtlich der Auswirkungen eines erhöhten Fremdwasseraufkommens auf den Betrieb von Kläranlagen konnte anhand des Fallbeispiels „Starnberger See“ (vgl. Kapitel 6.1) der Nachweis erbracht werden, dass eine Reduzierung des Fremdwasseranteils Energie und Betriebskosten einer Kläranlage minimiert. Es ist ein eindeutiger Zusammenhang zwischen jahrzeitlich schwankendem Fremdwasseraufkommen und dem Energieverbrauch auf der Kläranlage erkennbar. Dies lässt auch den Schluss zu, dass ein insgesamt geringeres Fremdwasseraufkommen (z.B. durch Kanalabdichtungen) auch zu einem geringeren Energieverbrauch der Kläranlage führen kann.

Im Fallbeispiel „Billerbeck“ (vgl. Kapitel 6.2) konnte zwar ein Erfolg durchgeführter Fremdwassersanierungsmaßnahmen in einem Teileinzugsgebiet der Stadt Billerbeck an der Kläranlage

Billerbeck nicht eindeutig belegt werden. Dennoch konnte bereits in einem abgeschlossenen Pilotprojekt (vgl. Schlüter 2009, Seite 71) der Nachweis erbracht werden, dass zumindest in diesem Einzugsgebiet nach dem Abschluss von Kanalsanierungsmaßnahmen ein reduziertes Fremdwasseraufkommen zu verzeichnen war. Grundsätzlich gilt, dass Kanalabdichtungen zu einer Reduzierung des Fremdwasseranteils führen. Inwieweit aber der positive Effekt der Energieeinsparung durch Fremdwasserreduzierung auf der Kläranlage eintritt, ist im Wesentlichen von der Herkunft des Fremdwassers und von der Art sowie vom Umfang der durchgeführten Sanierungsmaßnahmen zur Fremdwasserreduzierung abhängig.

Tabelle 16 fasst die wichtigsten Eckdaten der betrachteten Fallbeispiele Kläranlage Starnberg und Kläranlage Billerbeck zusammen.

Tabelle 16: Vergleich der Kläranlagen Starnberg und Billerbeck

Kläranlage Starnberg (100.000 EW)	Kläranlage Billerbeck (20.000 EW)
Ermittlung Fremdwasseranteil: <u>vorhanden</u>	Ermittlung Fremdwasseranteil: <u>vorhanden</u>
Energieverbrauchsermittlung und Energieanalyse fremdwasserbezogener Kläranlagenkomponenten: <u>vorhanden</u>	Energieverbrauchsermittlung und Energieanalyse fremdwasserbezogener Kläranlagenkomponenten: <u>nicht vorhanden</u>
Hauptursache Fremdwasser (für Maximalmengen): <u>Regenwasser</u>	Hauptursache Fremdwasser: <u>Grundwasserinfiltration</u>
Durchgeführte Kanalsanierung und dadurch induzierte Fremdwasserreduzierung ist nicht gegeben. Vorher – Nachher Vergleich: <u>nicht vorhanden</u>	Durchgeführte Kanalsanierung und dadurch induzierte Fremdwasserreduzierung ist gegeben. Vorher – Nachher Vergleich: <u>vorhanden</u>
Darstellung des Gesamtstromverbrauchs und Gesamtkosten in Abhängigkeit vom Fremdwasseranteil: <u>vorhanden</u>	Darstellung des Gesamtstromverbrauchs und Gesamtkosten in Abhängigkeit vom Fremdwasseranteil: <u>teilweise möglich</u>
Darstellung des Stromverbrauchs und der Kosten einzelner Kläranlagenkomponenten in Abhängigkeit vom Fremdwasseranteil: <u>vorhanden</u>	Darstellung des Stromverbrauchs und der Kosten einzelner Kläranlagenkomponenten in Abhängigkeit vom Fremdwasseranteil: <u>nicht möglich</u>
<u>Trennsystem</u> Obwohl das Verbandsgebiet im Trennsystem entwässert wird, ist bei Regenwetter mit dem dreifachen Trockenwetterzulauf zu rechnen. Länger andauernde Niederschläge haben außerdem lang anhaltende erhöhte Zuflüsse zur Folge. Gründe sind wahrscheinlich Fehlanlüsse von Regenwasserleitungen beziehungsweise Dränagen im Bereich der Ortsnetze.	<u>Mischsystem</u> Das Kanalnetz der Stadt Billerbeck ist mit der Bautätigkeit in den Nachkriegsjahren als Mischwasserkanalnetz gewachsen.

Kläranlage Starnberg (100.000 EW)	Kläranlage Billerbeck (20.000 EW)
<p>Besonderheiten:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Da ein Großteil der Kanäle im Grundwasser liegt, werden im Vergleich zu anderen Abwasserreinigungsanlagen relativ geringe Zulauftemperaturen von zeitweise nur 8° Celsius gemessen. - In der Biologie kommt in den Belüftungsbecken (Nitrifikation) ein firmenspezifisches und energieaufwendiges Verfahren zum Einsatz. Die Becken werden mit kleinen, hochporösen Schaumstoffwürfeln aufgefüllt, die als mobile Trägerteilchen für aufwachsende Biomasse dienen. - Ein abwärts durchströmter Biofilter arbeitet als zusätzliche Reinigungsstufe auf der Kläranlage. Hierzu muss das behandelte Abwasser ein zweites Mal auf ein bestimmtes Höhenniveau gepumpt werden. 	<p>Besonderheiten:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Keine Vorklärung - Rundes Belebungsbecken, Dieses besteht aus zwei separaten Beckenhälften, die in jeweils fünf Zonen (5-fach-Kaskade) unterteilt sind ZONE 1: Mischbereich, ZONE 2: Stark belüfteter Bereich, ZONE 3: Nicht belüfteter Bereich, ZONE 4: Belüfteter Bereich, ZONE 5: Ablaufbereich - Erhöhte Stickstofffracht bei Nachzufluss (<u>Vermutung</u>: infiltrierendes Grundwasser in den Kanal ist durch landwirtschaftliche Nutzung belastet)

Beim Abgleich der in Kapitel 6.1 und Kapitel 6.2 dargestellten Untersuchungsergebnisse der betrachteten Fallbeispiele „Starnberg“ und „Billerbeck“ mit den Angaben aus anderen Veröffentlichungen konnten die beobachteten Zusammenhänge zwischen dem Fremdwasseraufkommen und der Reinigungsleistung sowie der Kosten- und Energieeffizienz untermauert werden. Darüber hinaus wurden im Rahmen der Literaturrecherche aber auch Auswirkungen eines erhöhten Fremdwasseraufkommens auf den Betrieb einer Kläranlagen aufgezeigt, die anhand der untersuchten Praxisbeispiele „Kläranlage Starnberger See“ (vgl. Kapitel 6.1) und „Kläranlage Billerbeck“ (vgl. Kapitel 6.2) nicht eindeutig belegt werden konnten.

Die Zusammenhänge zwischen Fremdwasseraufkommen und Kläranlagenbetrieb werden in der Literatur wie folgt dargestellt:

- In Bezug auf die betriebliche und kostenmäßige Auswirkung von Fremdwasser auf die Kläranlage ist die einwohnerspezifische Abwassermenge ein wesentlicher Einflussfaktor für den Stromverbrauch. Nach DWA (2012), Seite 3 resultieren hohe spezifische Abwassermengen aus einem größeren Fremdwasseranfall und dem beim Mischsystem auf den Kläranlagen mit behandeltem Regenwasserabfluss. Der spezifische Abwasseranfall (l/EW*d) ergibt sich aus dem spezifischen Trinkwasserverbrauch und dem Anteil an Regen- und Fremdwasser. Der spezifische Abwasseranfall ist vor allem durch den Fremdwasseranteil bedingt, der je nach lokalen Verhältnissen ein Mehrfaches der Trinkwassermenge betragen kann (UBA, 2008, Seite 28).
- Das DWA Arbeitsblatt A 118 (vgl. DWA-A 118, 2006, Seite 12) zur hydraulischen Berechnung von Regen-, Schmutz- und Mischwasserkanälen gibt für die zu berücksichtigende Fremdwassermenge in Schmutzwasserkanälen mit 100% der maximalen Schmutzwassermenge an. Bei der Dimensionierung bzw. Bemessung von Anlagen sind neben den Normen und Richtlinien auch Vorgaben der Wasserbehörden zu berücksichtigen. Ein großer Einfluss des Fremdwasseraufkommens auf die Bemessung der Anlagen besteht vor allem bei frachtbezogenen Vorgaben (vorgegebene Frachteinleitungen ins Gewässer). Im Zuge einer hydraulischen Bemessung von Kläranlagen ist eine Vergrößerung der Rechen, des Sandfangs sowie der Verbindungsgerinne und -leitungen notwendig. Vorklärbeckenvolumen sollten bei der Bemessung nach der üblichen Aufenthaltszeit von ca. 30 min ebenfalls größer geplant werden. Allerdings wird meist bei Anforderungen an eine weitergehende Abwasserreinigung, d.h. bei Stickstoff- und Phosphorentfer-

nung, keine Volumenvergrößerung vorgesehen, da aufgrund des fremdwasserbegünstigten Vorabbaus im Kanal, eine weitere Reduktion leichtabbaubarer organischer Substanzen unerwünscht ist (vgl. Kroiss und Prendl, 1996, Seite 74 - 82). Nachklärbeckenvolumina werden nach dem Mischwasserzulauf bemessen. Das Volumen wird daher um den fremdwasseranteilbezogen auf den maximalen Mischwasserzufluss zunehmen (Kroiss und Prendl, 1996, Seite 84 - 89). Hinsichtlich der Bemessung der Belebungsbecken muss zwischen Konzentrationen und Frachten unterschieden werden. Durch den Verdünnungseffekt von unverschmutztem Fremdwasser fällt bei Anforderungen an die Ablaufkonzentration die Größe der Belebungsbecken wesentlich geringer aus (Decker, 1998, Seite 117 - 124). Wird der theoretische Ansatz eines fremdwasserbedingten Temperaturabfalls berücksichtigt, ist besagte Volumenverminderung weniger prägnant (Kroiss und Prendl, 1996, Seite 84 - 89). Bei der Bemessung nach Ablauffrachten sind nach (Kroiss und Prendl, 1996, Seite 82 - 89) aufgrund des schlechteren Wirkungsgrades der Anlage durch die niedrigen fremdwasserbedingten Konzentrationen erhöhte Behandlungsvolumina erforderlich.

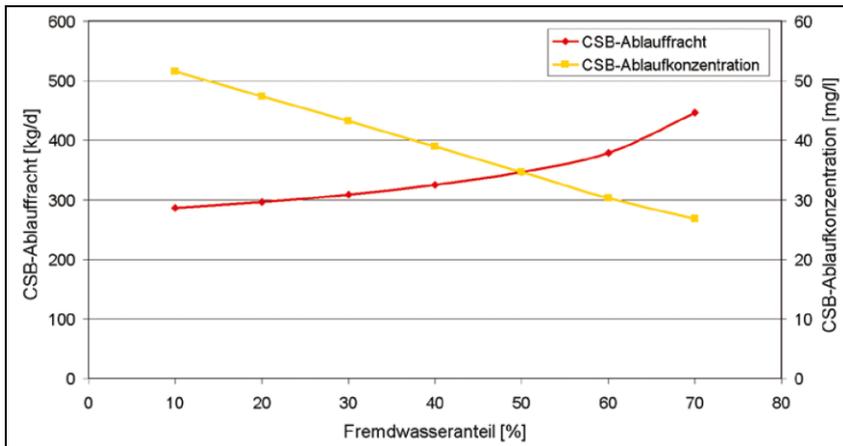
Generell kann festgehalten werden, dass die von Kläranlagen ins Gewässer emittierten Frachten mit zunehmendem Fremdwasseranteil ansteigen. Da die Zulauffrachten zu einer Kläranlage von den angeschlossenen Einwohnern vorgegeben und vom Fremdwasseranteil unabhängig sind, ergibt sich mit zunehmendem Fremdwasseranteil eine Abnahme des Wirkungsgrades der Abwasserreinigung (Kroiss und Prendl, 1996, Seite 74 - 76). Die abnehmende Reinigungsleistung bzw. der sinkende Wirkungsgrad der Kläranlage hat seine Ursache in zwei Effekten (LUBW, 2007, Seite 46):

- Die Konzentration biologisch abbaubarer Stoffe im Ablauf des biologischen Reaktors ist nicht von der Konzentration im Zulauf der Anlage abhängig. Sie wird nur beeinflusst von der Temperatur und vom Schlammalter. Eine durch das kältere Fremdwasser bedingte Temperaturverminderung kann also sogar zu höheren Ablaufkonzentrationen führen. Nicht abbaubare Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen werden dagegen durch Fremdwasser verdünnt, so dass sich mit steigendem Fremdwasseranteil geringere Konzentrationen der nicht abbaubaren Verbindungen im Ablauf ergeben.
- Mit steigendem Fremdwasseranteil nimmt auch die abgeleitete Wassermenge zu. Damit ergeben sich in der Praxis selbst bei gering sinkenden Ablaufkonzentrationen (durch Verdünnung nicht abbaubarer Verbindungen) zunehmende Ablauffrachten.

Nach (LUBW, 2007, Seite 47) wurde zur Abschätzung des durch Fremdwasser verursachten Stoffeintrags durch Kläranlagen eine fiktive Kläranlage nach dem Belebtschlammverfahren mit vorgeschalteter Denitrifikation für rund 40.000 EW mit dem Programm Simba light 2.3 9 simuliert.

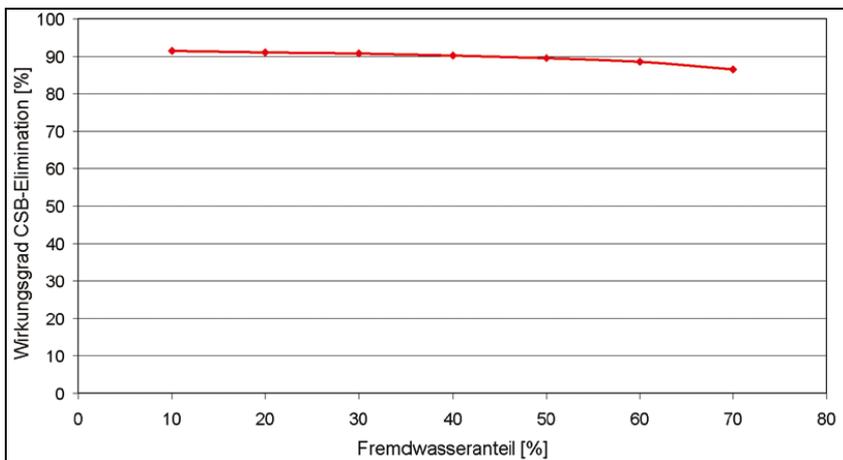
⁹ Das Simulationssystem SIMBA ist eine vielseitig einsetzbare Software für die Modellierung und dynamische Simulation in der Abwassertechnik. SIMBA ermöglicht eine ganzheitliche Betrachtung von Kanalnetz, Kläranlage, Schlammbehandlung und Fließgewässer.

Abbildung 40: CSB-Ablaufmengen und -konzentrationen bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen



Quelle: LUBW, 2007

Abbildung 41: Wirkungsgrad der CSB-Elimination bei verschiedenen Fremdwasseranteilen

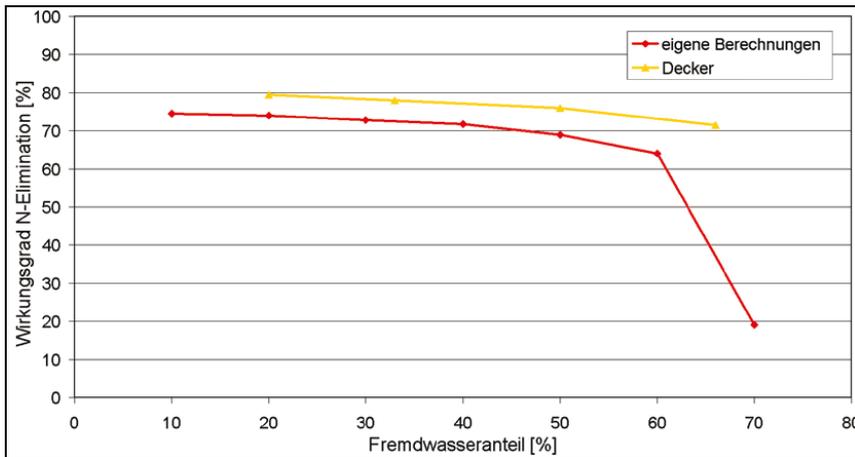


Quelle: LUBW, 2007

Abbildung 40 zeigt die CSB-Ablaufmengen und -konzentrationen bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen. Deutlich zu erkennen ist eine Abnahme der CSB-Konzentration mit zunehmendem Fremdwasseranteil. Da der CSB im Ablauf einer Belebtschlammanlage vor allem aus inertem CSB besteht, ist die zu beobachtende Konzentrationsabnahme überwiegend auf Verdünnungseffekte zurückzuführen (LUBW, 2007, Seite 48). In Abbildung 41 ist der Wirkungsgrad der CSB-Elimination dargestellt. Dieser beträgt für den Parameter CSB bei 10 % Fremdwasseranteil 91 % und fällt bei 70 % Fremdwasseranteil geringfügig auf 87 % ab (LUBW, 2007, Seite 48).

Auch für Stickstoff wurde der Wirkungsgrad der Elimination simuliert. Dieser ist bei verschiedenen Fremdwasseranteilen in Abbildung 42 dargestellt. Hier ist im Bereich von 10 bis 40 % Fremdwasseranteil ein fast linearer Rückgang des Wirkungsgrades der Stickstoffelimination von 75 % auf 72 % festzustellen (LUBW, 2007, Seite 50). Bei Fremdwasseranteilen > 40 % nimmt der Wirkungsgrad der Stickstoffelimination überproportional stark ab, so dass bei 60 % Fremdwasseranteil nur noch 64 % Wirkungsgrad der Stickstoffelimination gegeben sind (LUBW, 2007, Seite 50). Bei 70 % Fremdwasseranteil kann eine vollständige Nitrifikation nicht mehr aufrechterhalten werden und der Wirkungsgrad fällt auf 19 % ab (LUBW, 2007, Seite 50).

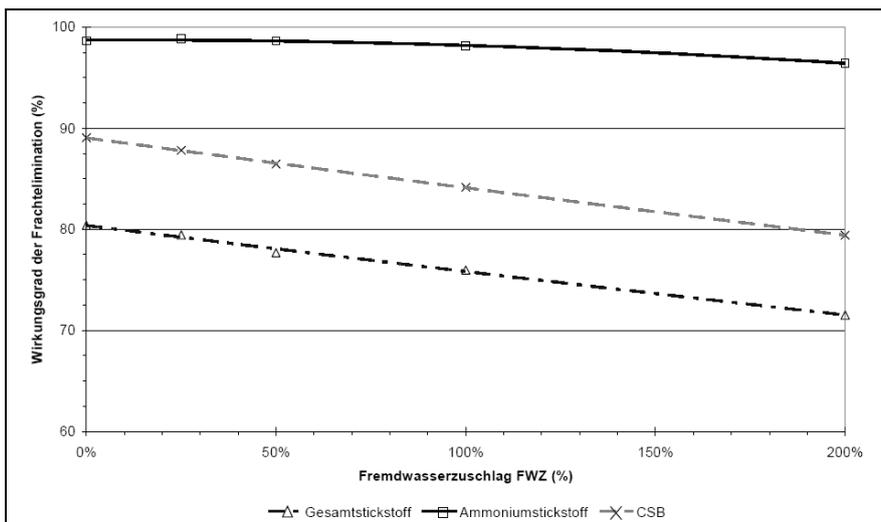
Abbildung 42: Wirkungsgrad der Stickstoffelimination bei verschiedenen Fremdwasseranteilen



Quelle: LUBW 2007, ergänzt um Werte nach Decker, 1998

Eine ausführliche Beschreibung und Darstellung von Zu- und Ablaufkonzentrationen, Zu- und Ablauffrachten, Abbaugraden von sowie Wirkungsgrade von Stoffeliminationen bei verschiedenen Fremdwasseranteilen sind der Studie „Fremdwasser in kommunalen Kläranlagen - Erkennen, bewerten und vermeiden“ der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg zu entnehmen (LUBW, 2007, Seite 45 - 46). Auch die Untersuchungen nach (Hennerkes, 2006) betrachten den Einfluss des Fremdwassers auf die Frachtelimination. Abbildung 43 zeigt die Wirkungsgrade der Frachtelimination bei unterschiedlichen Fremdwasserzuschlägen für Gesamtstickstoff, CSB und Ammoniumstickstoff. Die Grafik verdeutlicht, dass die Ablauffracht der biologisch abbaubaren Stoffe bei konstanter Zulauffracht und Schlammalter etwa linear mit der Abwassermenge bzw. dem Fremdwasserzufluss ansteigt und sich hierdurch der Wirkungsgrad der Frachtelimination v. a. bei den Parametern N_{ges} und CSB verringert (Hennerkes, 2006, Seite 59 - 61).

Abbildung 43: Wirkungsgrade der Frachtelimination

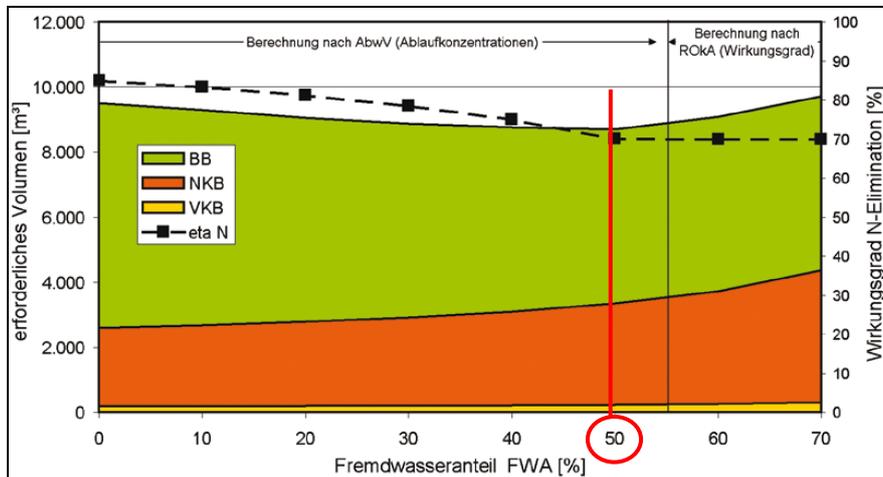


Quelle: Hennerkes, 2006

Im Rahmen der vom LUBW durchgeführten Studie wurden auch die ökonomischen Auswirkungen erhöhten Fremdwasseranfalls untersucht. Bei der Bemessung bzw. Dimensionierung von Kläranlagen wirkt sich Fremdwasser auf die erforderlichen Beckenvolumina und dadurch bedingten Kapitalkosten beim Bau von Kläranlagen aus. Abbildung 44 zeigt die erforderlichen

Volumina für Vorklärbecken, Belebungsbecken und Nachklärbecken sowie den Wirkungsgrad der Stickstoffelimination bei Fremdwasseranteilen zwischen 0 und 70 % für eine Kläranlage nach dem Belebtschlammverfahren mit vorgeschalteter Denitrifikation mit 40.000 EW.

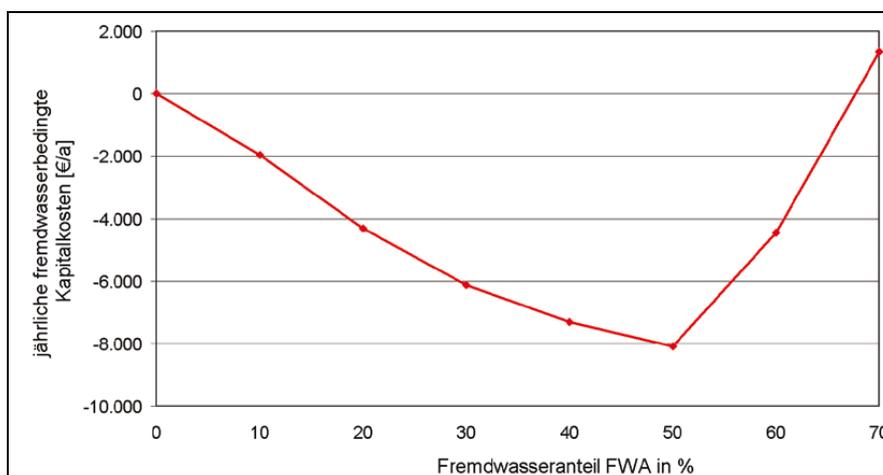
Abbildung 44: Erforderliche Volumina für Vorklärbecken, Belebungsbecken und Nachklärbecken sowie Wirkungsgrad der Stickstoffelimination bei Fremdwasseranteilen zwischen 0 und 70 %



Quelle: LUBW, 2007

Die jährlichen, fremdwasserbedingten Kapitalkosten einer Beispielkläranlage mit 40.000 EW bei verschiedenen Fremdwasseranteilen sind in Abbildung 45 dargestellt. Die Kapitalkosten beinhalten die Kosten für Bau und Maschinenteknik, für Vorklärbecken, Belebungsbecken und Nachklärbecken. Es wurde eine Nutzungsdauer für Bauwerke mit 25 Jahre und eine Nutzungsdauer für Maschinenteknik mit 12 Jahren festgelegt. Entsprechend des in Abbildung 44 dargestellten Minimums des erforderlichen Gesamtvolumens bei 50 % FWA ergibt sich das Minimum der jährlichen, fremdwasserbedingten Kapitalkosten ebenfalls bei 50 % FWA. Gegenüber dem hypothetischen Fall einer nicht mit Fremdwasser belasteten Kläranlage ergeben sich hier jährlich um rund 8.000 € geringere jährliche Kapitalkosten (LUBW, 2007, Seite 61 - 63).

Abbildung 45: Fremdwasserbedingte Kapitalkosten einer Beispielkläranlage mit 40.000 EW bei verschiedenen Fremdwasseranteilen



Quelle: LUBW, 2007

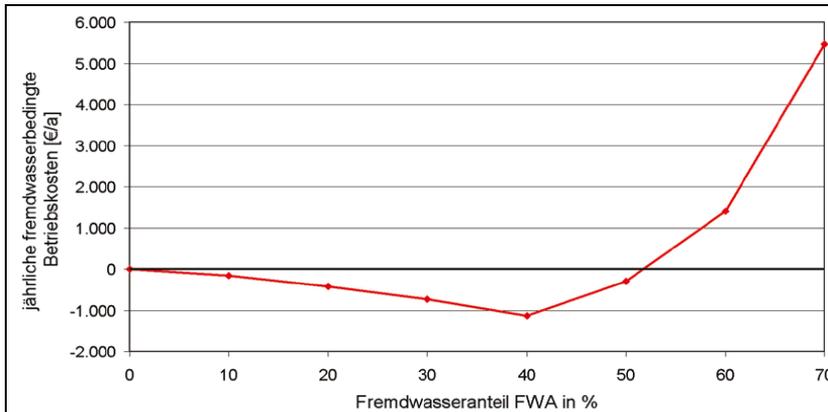
Die Abnahme der Kapitalkosten (vgl. Abbildung 45) bei steigendem Fremdwasseranteil bis 50% ist darauf zurückzuführen, dass sich in diesem Bereich bei der Bemessung kleinere Belebungsbeckenvolumina ergeben. Die Bemessung der Becken erfolgte nach gängiger Praxis auf gleich bleibende Ablaufkonzentrationen (Parameter Stickstoff, auf $N_{\text{anorg}}=10$ mg/l im Ablauf in der 24-h-Mischprobe). Ab 50% Fremdwasseranteil ergibt sich ein Anstieg, weil in diesem Bereich bei der Bemessung ein konstanter Wirkungsgrad für die Stickstoffelimination von 70% zugrunde gelegt wurde (LUBW, 2007, Seite 18).

Wie die Ergebnisse aus Starnberg bestätigen, beeinflusst Fremdwasser die Energiekosten einer Kläranlage insbesondere, wenn ein Zulaufhebwerk vorhanden ist. Die Kosten steigen linear mit dem zu fördernden Volumenstrom an (LUBW, 2007, Seite 61 - 63). Für die exemplarische Berechnung der in der LUBW Studie angebenen Beispielkläranlage mit 40.000 EW wurde ein Zulaufhebwerk mit einer manometrischen Förderhöhe von 5 m und der Elektrizitätsverbrauch zu $5 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$ angenommen (LUBW, 2007, Seite 61 - 63). Des Weiteren wurde folgende Annahmen getroffen (LUBW, 2007, Seite 61 - 63):

- Strompreis: Um die oben hergeleitete Abhängigkeit des Energieverbrauchs der einzelnen Anlagenteile vom Fremdwasseranteil als Betriebskosten darstellen zu können, wurde der Strompreis zu $0,10 \text{ €/kWh}$ angenommen.
- Biologische Reinigung: Fremdwasser beeinflusst den Elektrizitätsverbrauch für die Sauerstoffversorgung des Belebungsbeckens nur geringfügig. Dennoch wurde für die beispielhafte Berechnung der Betriebskosten der Ertrag der Belüftung zu 3 kg O_2 je kWh gewählt.
- Rücklaufschlammumpwerk: pro m^3 Fördermenge und m Förderhöhe werden $4,7 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$ Elektrizitätsverbrauch angesetzt.
- Rezirkulationspumpwerk: Berechnung mit einer manometrischen Förderhöhe von 0,5 m und einem Elektrizitätsverbrauch zu $4 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$.
- Phosphatfällung: Für die Berechnung der durch Fremdwasser verursachten Betriebskosten bei der Phosphatfällung wurde der Fällmittelbedarf zu $1,3 \text{ kg Al/kg P}_{\text{fall}}$ angesetzt. Die durch die Phosphatfällung verursachten Betriebskosten wurden unter der Annahme eines Preis von $2,50 \text{ € je kg Al}$ beim Einsatz von Natriumaluminat berechnet.

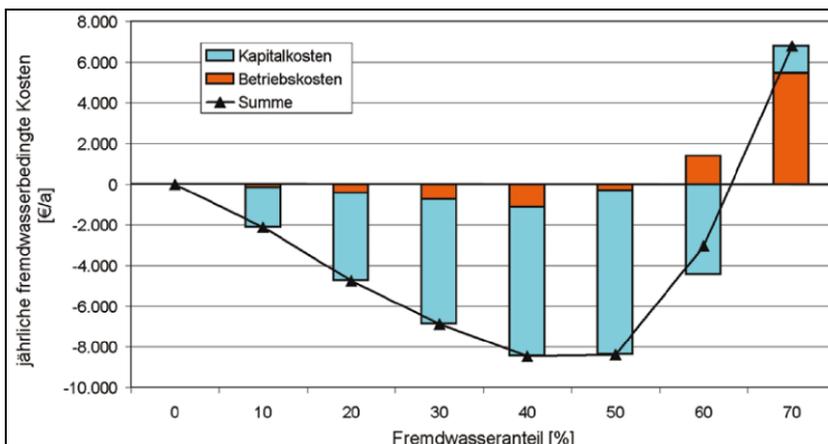
Der in der Abbildung 46 dargestellte grafische Verlauf der Betriebskosten in Abhängigkeit vom Fremdwasser resultiert aus einer Zunahme der Energiekosten bei zunehmendem Fremdwasseranteil. Im gewählten Beispiel beeinflusst vor allem das Zulaufhebwerk (Förderhöhe = 5 m) mit zunehmendem Fremdwasseranteil die Energiekosten (LUBW, 2007, Seite 61 - 63). Nach LUBW (2007), Seite 61 bis 63 hat das Rücklaufschlammumpwerk einen weit weniger ausgeprägten Anteil an den Energiekosten, wobei auch hier die Energiekosten mit zunehmendem Fremdwasseranteil ansteigen. Die ermittelten Kapital- und Energie- bzw. Betriebskosten sowie die Summe (Jahreskosten) für eine Beispielkläranlage mit 40.000 EW sind in Abbildung 47 dargestellt.

Abbildung 46: Jährliche fremdwasserbedingte Betriebskosten bei verschiedenen Fremdwasseranteilen für eine Beispielanlage mit 40.000 EW



Quelle: LUBW, 2007

Abbildung 47: Fremdwasserbedingte Jahreskosten für eine Beispielanlage mit 40.000 EW bei verschiedenen Fremdwasseranteilen



Quelle: LUBW, 2007

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass alle hydraulisch bemessenen Anlagenteile und deren erforderlicher Energiebedarf unabhängig von der erreichten Energieeffizienz jedoch an die spezifische Abwassermenge gekoppelt sind. So verursachen hohe Fremdwasseranteile auch bei gut konzipierten Pumpwerken einen höheren einwohnerspezifischen Verbrauch (UBA, 2008, Seite 130). Durch die Ausführung von Sanierungsmaßnahmen im Kanalnetz ist es möglich den Fremdwasseranteil zu reduzieren und dadurch Energie sowie Betriebskosten einzusparen.

Die Tabelle 17 im zeigt neben den in der Literatur angeführten Auswirkungen von Fremdwasser auf Kläranlagen (vgl. Tabelle 18, Tabelle 19 und Tabelle 20) auch Beispiele bzw. Szenarien auf, bei denen eine Fremdwasserreduzierung zu Energie- und Kosteneinsparungen führen kann.

Tabelle 17: Energieeinsparungen durch Fremdwasserreduzierung

Fallbeispiele und theoretische Betrachtungen bezüglich Energieeinsparungen durch Fremdwasserreduzierung	
Literatur	Beschreibung
UBA (2008)	<p>Energieeinsparungen durch Fremdwasserreduzierung bei unterschiedlichen Szenarien</p> <p><u>Theoretische Annahmen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Senkung des Fremdwasseranfalls um 10 / 20 / 30 % - Mittlerer Anteil Fremdwasser am gesamten Abwasser: 20 % - Mittlerer Anteil der Pumpenergie 9 kWh/(EW*a) <p>Daraus errechnen sich Einsparungen für die Pumpe von:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 0,18 kWh/(EW*a) bei 10 % FW-Reduzierung → 2 % Einsparung - 0,36 kWh/(EW*a) 20 % FW-Reduzierung → 4 % Einsparung - 0,54 kWh/(EW*a) 30 % FW-Reduzierung → 6 % Einsparung
UBA (2008)	<p>Durchführung von Optimierungsmaßnahmen auf der Kläranlage Felsberg (18.500 EW)</p> <p><u>Durchgeführte Maßnahmen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Halbierung der Rücklaufschlammmenge (Jan. 2004) - Ersatz der Zulaufpumpen und der Beschickungspumpen für den Tropfkörper durch energieeffiziente Aggregate (größte Einsparmaßnahme, April 2004) - Verringerung der Sandfangbelüftung (Sommer 2004) - Halbierung der Tropfkörper-Beschickung (Sept. 2004) - Verringerung der Fremdwassermenge durch Kanalsanierung um ca. 20% (Okt. 2004) - Austausch der Belüfterschläuche (September 2005) - Erhöhung der Einschaltpunkte im Pumpensumpf für Zulauf und Tropfkörper (2005) - Bau eines BHKWs <p>Der Stromverbrauch sank zunächst nur langsam und zeitlich versetzt zu den durchgeführten Maßnahmen (z.B. Pumpentausch Mai 04), da der Rückgang überlagert war von sonstigen Einflüssen (wechselnde Wassermengen, Betriebsstörungen, Umbau der Schlammwässerung etc.). Im Jahresvergleich 2001 bis Ende 2006 sank aber der spezifische Stromverbrauch um ca. 47 % von 55 auf 29 kWh/(EW*a). Der Eigenversorgungsgrad stieg von 0 auf etwa 35 %. Der Strombezug sank von ca. 50.000 auf 20.000 kWh/mon.</p>
MUFV (2007)	<p>Szenario-Entwicklung hinsichtlich der Auswirkung einer Reduzierung des Fremdwasseranfalls auf den Gesamtenergiebedarf der Kläranlagen in Rheinland- Pfalz</p> <p><u>Theoretische Annahmen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Mittlere Fremdwasseranteil: 30 % - Fremdwasserreduzierung durch Sanierungsmaßnahmen: 20 % - mittlere Pumpenergie auf den Anlagen 6 kWh/(E*a) - Gesamtenergieverbrauch aller Belebungsanlagen (n = 533): 268.920 MWh/a <p><u>Einsparung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Senkung des um 4.109 MWh/a (entsprechend 1,5 %)

Tabelle 18: Zusammenfassung der Auswirkungen von Fremdwasser auf einer Kläranlage

Allgemeine Auswirkungen von Fremdwasser auf einer Kläranlage	
betriebllich	ökonomisch
Einfluss auf die Bemessung der biologischen Abwasserreinigung (Kläranlagenkomponenten)	erhöhte Baukosten und Kapitalkosten
Verdünnung und Zuflusserhöhung zur Kläranlage - Senkung der Abwassertemperatur - Beeinflussung der Alkalität, des Sauerstoffgehaltes und des Nitratgehaltes	höhere Investitionen für die Fremdwassermitbehandlung auf der Kläranlage und bei der Niederschlagswasserbehandlung
Hydraulische Überlastung der Kläranlagenkomponenten (Sandfang, VK, Belebung, NK) und daraus resultierende verlängerten Laufzeiten und höherer Schaltintervalle bei Pumpsystemen sowie Einspülung von Feststoffen und Verminderung der Leistungsfähigkeit (Reinigungsleistung) der Kläranlage durch: - Senkung der Abwassertemperatur + Verkürzung Aufenthaltszeit in Belebung - Beeinflussung der Alkalität, des Sauerstoffgehaltes und des Nitratgehaltes	höhere Betriebskosten (insbesondere Pumpwerke und hydraulische bemessene Komponenten der Abwasserbehandlungsanlage)

Tabelle 19: Einfluss des Fremdwassers auf die Investitions- und Betriebskosten einer Abwasserreinigungsanlage nach Michalska et al. (2004)

Kläranlage	Investitionskosten	Betriebskosten
Hydraulischer Teil	<u>Starker Kostenanstieg</u> , da hydraulisch angelegte Anlagenteile linear zum FWZ vergrößert werden müssen	<u>Betriebskosten</u> der hydraulisch ausgelegten Anlagenteile (z.B. Pumpwerke) steigen mit Fremdwasserzufluss stark an
Stofflicher Teil	<u>Starke Kostensenkung</u> , da kleinere Behandlungsvolumina erforderlich sind bei konzentrationsbezogenen Ablaufanforderungen <u>Starker Kostenanstieg</u> , da höhere Behandlungsvolumina erforderlich sind bei frachtbezogenen Ablaufanforderungen	<u>geringere Betriebskosten</u> (z.B. durch Belüftung bei konzentrationsbezogenen Ablaufanforderungen) <u>höhere Betriebskosten</u> bei frachtbezogenen Ablaufanforderungen aufgrund des schlechteren Anlagenwirkungsgrades bei starker Verdünnung durch Fremdwasser
Abwasserabgabe	-	<u>Die Abwasserabgabe steigt mit zunehmendem Fremdwasserabfluss stark an</u> , da das behandelte Abwasservolumen zur Berechnung der Abwasserabgabe herangezogen wird.

Tabelle 20: Veröffentlichungen zum Thema Auswirkungen von Fremdwasser auf Kläranlagen

Literaturstelle	Titel
Kroiss, H., Prendl, L. (1996)	Einfluss von Fremdwasser auf Abwasserreinigungsanlagen
Decker, J. (1998)	Auswirkungen von Fremdwasser auf Abwasseranlagen und Gewässer
Michalksa, A. (2000)	Betriebliche und kostenmäßige Auswirkung des Fremdwassers auf Kanalisation und Kläranlage
Kämpfer, W., Berndt, M. (2005)	Strategien zur effizienten Fremdwassererkennung und Schadensbehebung in Abwasserkanälen“ Handlungsanleitung für eine effektive Eigenkontrolle
Hennerkes, J.A. (2006)	Reduzierung von Fremdwasser bei der Abwasserentsorgung
LUBW (2007)	Fremdwasser in kommunalen Kläranlagen - Erkennen, bewerten und vermeiden

Untersuchungen des Wupperverbandes zeigen (vgl. Abbildung 48), dass eine Reduzierung des Fremdwasseranteils bei fünf Kläranlagen auf 40 %, die Betriebskosten (einschl. Abwasserabgabenerhöhung mit JSM) um ca. 250.000 Euro pro Jahr senken würde (Böcker und Leuchs, 2007, Seite 4).

Abbildung 48: Fremdwasserbedingte Betriebskosten auf den Kläranlagen des Wupperverbandes

		Marienheide	Wermelskirchen	Hückeswagen	Radevormwald	Kohlfurth
Jahresschmutzwassermenge	m ³ /a	2.305.626	1.631.060	5.112.261	5.451.351	12.465.822
Schmutzwasser ohne Fremdwasser	m ³ /a	800.165	718.127	2.143.389	2.669.626	6.209.512
Fremdwassermenge	m ³ /a	1.505.461	912.933	2.968.871	2.781.725	6.256.310
Anteil Fremdwasser an JSM		65,3%	56,0%	58,1%	51,0%	50,2%
EW <small>(BSB-CSB-N-P, 85%)</small>	EW	13.830	20.868	43.232	57.395	147.864
Mehrkosten durch Fremdwasser						
Pumpenergie (Strompreise 2007)	€/a	7.273	13.874	54.690	10.206	91.342
Wartung	€/a	16.524	22.606	30.825	27.351	53.801
Abwasserabgabe auf Grund JSM (ohne Verlust Halbierung)	€/a	25.339	16.321	37.527	68.323	110.013
Summe Mehrkosten Fremdw.	€/a	49.136	52.801	123.041	105.879	255.156
Einsparpotential bei Reduzierung Fremdwasseranteil auf 40%	€/a	31.725	25.112	63.821	38.138	86.324

- JSM (Schmutz- und Regenwasser) und Einwohnerwerte EW aus Messungen 2005
- Kohlfurth je zur Hälfte Entwässerung im Trenn- und Mischverfahren, die anderen KA überwiegend Mischverfahren
- Schmutzwasseranteil: w_s und Q_g aus Netzplänen (Schwelm+Hück. Auf 130 l/E*d korrt), E aus 2005
- Energie-/Wartungskosten nach Wiebusch aus Benchmarking (2004) hochgerechnet, Kohlfurth und Radevormwald geschätzt



Mehrkosten der 5 Anlagen in Summe ca. 590.000€ !

Einsparpotential der 5 Anlagen in Summe ca. 245.000€ !

Quelle: verändert nach Böcker und Leuchs, 2007

Das Einsparpotential bei einer Fremdwasserreduzierung ist im Wesentlichen abhängig von der anteiligen Fremdwassermenge und der energetischen Situation sowie Größenordnung der Kläranlage. Generell gilt, dass der spezifische Stromverbrauch deutlich abnimmt, je größer die Kläranlage ist. Bei kleinen bis mittleren spezifischen Abwassermengen ist der Einfluss auf den Stromverbrauch gering (DWA, 2012, Seite 3). Steigt der spezifische Abwasseranfall aber auf mehr als 120 m³/(EW*a), so ist ein deutlicher Einfluss auf den Stromverbrauch erkennbar. Hohe spezifische Abwassermengen resultieren aus einem größeren Fremdwasseranfall und dem beim Mischsystem auf den Kläranlagen mit behandelten Regenwasserabfluss (DWA, 2012, Seite 3 - 4). Auch hier wird deutlich, dass die vorliegenden örtlichen Randbedingungen auf den Kläranlagen einen wesentlichen Einfluss auf den Stromverbrauch haben. Nach DWA (2012), Seite 3 - 4 hat auch die mittlere Belastung der Kläranlagen im Verhältnis zur Ausbaugröße Auswirkungen auf den Stromverbrauch. Bei niedriger Belastung der Anlagen wird deutlich mehr Strom verbraucht als bei höheren Belastungen. Für eine detaillierte Betrachtung und Beurteilung der Einsparpotenziale auf einer Kläranlage ist eine differenziertere Bewertung der energetischen Situation (vgl. DWA-A 216) auf der Kläranlage zielführend.

6.4 Übertragbarkeit fremdwasserbezogener Zusammenhänge und Energieverbrauch fremdwasserbeeinflusster Anlagenkomponenten

Eine repräsentative Verifizierung würde nach derzeitigem Stand der Erkenntnisse und basierend auf den gewonnenen Ergebnissen aus den Untersuchungen zu den Fallbeispielen Starnberg und Billerbeck eine umfangreiche Bestandsanalyse und statistische Auswertung mehrerer

Kläranlagen bedeuten. Zur Abbildung und Darstellung belastbarer Aussagen bezüglich der Auswirkungen von Fremdwasser sind in erster Linie repräsentative Ergebnisse und eine Qualitätssicherung der erhobenen Daten von mehreren Kläranlagen erforderlich. Unter Berücksichtigung der vorhandenen Datenlage ist hinsichtlich der ausgewählten Praxisbeispiele (Starnberg und Billerbeck) davon auszugehen, dass aufgrund der verschiedenen Randbedingungen, eine Verifizierung der fremdwasserbezogenen Zusammenhänge bzw. die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse nur als Trenddarstellung möglich ist. In Starnberg konnte nachgewiesen werden, dass ein geringerer Fremdwasseranteil zu geringerem Energieverbrauch bestimmter Anlagenteile führt (vgl. Abbildung 24). In Billerbeck ist zumindest für 2010 und 2011 die Tendenz erkennbar (vgl. Abbildung 38), dass ein geringeres Fremdwasseraufkommen zu einem geringeren Stromverbrauch führt. Für 2008 und 2009 kann bis zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht eindeutig geklärt werden, inwieweit andere Nebeneffekte bzw. Prozesse das Fremdwasseraufkommen und den Energieverbrauch beeinflussen. Für ein Teilgebiet von Billerbeck konnte nachgewiesen werden, dass die Sanierung eines Fremdwasser führenden Kanals zu einer Fremdwasserreduzierung führt. Zusätzlich konnten die Zusammenhänge auch mit Untersuchungen und theoretischen Betrachtungen (vgl. Abbildung 48 und Anhang I, Tabelle I-4) aus der Literatur untermauert (verifiziert) werden. Grundsätzlich sind Starnberg und Billerbeck als Einzelfallbetrachtungen zu sehen. Für beide Standorte kann ein Trend aufgezeigt werden, wie sich Fremdwasser auf die Kläranlage auswirkt.

Für eine detaillierte Betrachtung des Zusammenhanges zwischen Fremdwasseranfall und dem Energieverbrauch einer Kläranlage wären umfangreiche Energieanalysen von Kläranlagen, bei denen Fremdwasserreduzierungsmaßnahmen durchgeführt wurden (vgl. DWA-A 216), erforderlich, um Energie- und Kosteneinsparpotenziale abbilden zu können. Ein methodischer Ansatz zur Durchführung einer Energieoptimierung ist die Ermittlung kläranlagenspezifischer Kennwerte für den Energieverbrauch. Als Kennwerte, die mit Ergebnissen aus landesweiten und bundesweiten Analysen und Erhebungen verglichen werden können, wären neben der einwohnerwertbezogenen Betrachtung (Ist- und Ausbau-EW) zur Plausibilitätsprüfung auch der Bezug auf die behandelten Wassermengen oder die abgebauten Frachten notwendig.

Eine Übertragung der theoretischen Erkenntnisse aus der Literatur und der wenigen Erfahrungen bzw. Untersuchungen in der Praxis auf alle Kläranlagen ist zum jetzigen Zeitpunkt nur bedingt durchführbar. Dies begründet sich vor allem durch die Heterogenität der vorhandenen Randbedingungen. Einige Untersuchungen aus der Literatur und die Ergebnisse aus Starnberg belegen jedoch, dass es bei einer Fremdwasserreduzierung zu Energieeinsparungen bestimmter Kläranlagenkomponenten kommen kann. Über die Höhe der Einsparungen können aber keine repräsentativen Aussagen gemacht werden, da aufgrund unterschiedlichster Randbedingungen, die Art und Weise des Einflusses von Fremdwasser auf die Wirtschaftlichkeit von Kläranlagen verschieden sein kann. Demnach ist für eine Darstellung fremdwasser- und energiebezogener Zusammenhänge immer eine Einzelfallbetrachtung durchzuführen. Die Abbildung und Darstellung fremdwasserbezogenen Zusammenhänge auf Kläranlagen werden insbesondere durch folgende Faktoren und Aspekte beeinflusst:

- Kläranlageninfrastruktur (Art und Anzahl der fremdwasserrelevanten Kläranlagenkomponenten, welche hydraulisch bemessen werden),
- Ortsspezifische Randbedingungen (z.B. Trenn- oder Mischsystem, Anzahl und Art der Anschlüsse, Gefälle im Netz),
- Hydrogeologische Randbedingungen (Art und Beschaffenheit des Grundwasserleiters, Hydrodynamische Prozesse, Bodenschichten und Durchlässigkeitsbeiwerte, der Fremdwasseranfall ist stark abhängig von den topographischen, geologischen und hydrologischen Randbedingungen),

- vorhandener Sanierungserfolg (bereits durchgeführte Kanalsanierungsmaßnahmen in bestimmten Zonen des Einzugsgebietes und die damit einhergehende Fremdwasserreduzierung),
- Größenordnung der Kläranlage (der Einfluss des Fremdwasseranteils auf die Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit einer Kläranlage ist abhängig von der Dimension bzw. dem hydraulischen Bemessungszufluss der Kläranlage),
- Abwassermatrix (Zusammensetzung und Beschaffenheit des Abwassers, erhöhter Fremdwasseranteil im Abwasser hat Auswirkungen auf die biologische Reinigungsleistung der Kläranlage, insbesondere auf die Konzentration im Zu- und Ablauf, die Frachten im Ablauf (Schmutzstofffrachten im Abwasser wie zum Beispiel Nitrat) und die Temperatur in der Belebung),
- Art der Fremdwasserbestimmungsmethode,
- und die Datenverfügbarkeit (durchgeführte Energieanalysen auf Kläranlagen sind ein wichtiger Bestandteil zur Ermittlung des Energieeinsparpotenzials und liefern belastbare Aussagen in welcher Größenordnung schwankende Fremdwasseranteile den Energieverbrauch der einzelnen Kläranlagenkomponenten beeinflussen).

Um den Zusammenhang zwischen Fremdwasser und dem Energieverbrauch einer Kläranlage darzustellen, wird an dieser Stelle eine theoretische Beispielrechnung durchgeführt. Für eine Beispielrechnung (Modellkläranlage) mit verschiedenen Fremdwasserszenarien ist es notwendig den theoretischen Energieverbrauch von hydraulisch beeinflussten Kläranlagenkomponenten (Hebewerke, Pumpen etc.) abbilden zu können. Hierzu wird im Folgenden eine Berechnung zum Energieverbrauch anhand anlagenspezifischer Berechnungsansätze nach DWA-A 216 (“Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen“ (Entwurf, April 2013)) durchgeführt. Mit der Bestimmung von anlagenspezifischen Idealwerten werden wesentliche Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch/-erzeugung quantitativ beschrieben und transparent gemacht. Ziel der Bestimmung anlagenspezifischer Idealwerte ist nicht die Ermittlung eines absolut gültigen und im naturwissenschaftlichen Sinne eindeutig reproduzierbaren Grenzwerts (DWA, 2013, Seite 25). Die Berechnungsansätze zur Bestimmung des anlagenspezifischen Idealwerts für den Stromverbrauch sind vorwiegend für fremdwasserrelevante Anlagenkomponenten anzuwenden. Für hydraulisch beeinflusste Verbraucher einer Kläranlage (z.B. Pumpen, Hebewerke) gelten nach DWA (2013), Seite 33 folgende Berechnungsansätze:

Abbildung 49: Anlagenspezifische Berechnungsansätze für Verbraucher einer Kläranlage nach DWA

Verfahrensschritt, Verbraucher	Berechnungsansätze $E = \text{Jahresenergieverbrauch (kWh/a)}$	Optimale Werte und Wertebereich	Wesentliche Einflussgrößen für Energieeffizienz
Pumpen, Hebewerke	$E = \frac{Q \cdot h \cdot 2,7}{\eta_{\text{ges}} \cdot 1000} = \frac{Q \cdot h \cdot 2,7}{\eta_{\text{Pumpe}} \cdot \eta_{\text{Motor}} \cdot 1000}$ $= Q \cdot h \cdot e_{\text{spez}} / 1000$ <p> Q Abwassermenge in m^3/a η_{Pumpe} hydraulischer Wirkungsgrad Pumpe (-) η_{Motor} Wirkungsgrad Motor (-) h $h_{\text{man}} = h_{\text{geod}} + h_{\text{v}}$ bei Kreiselpumpen h h_{geod} bei Schneckenpumpen h_{v} Reibungsverluste </p>	Abschätzung η_{ges} bzw. zugehöriges e_{spez} in Anhang A.7, η_{Pumpe} in Anhang A.8 η_{Motor} in Anhang A.6, A.8	<ul style="list-style-type: none"> • Förderhöhe (geodätische Förderhöhe, örtliche und Leitungsverluste) • Durchfluss (Schlammmenge, Höhe der Rückführ rate etc.) • $\eta_{\text{Pumpe}} = f(Q, h)$ • mittlere Auslastung Motor

Quelle: DWA-A 216, 2013

Grundsätzlich ist bei der Betrachtung der Anlagenkomponenten (Hebewerke, Pumpe) zu beachten, dass die Wirkungsgrade abhängig vom Pumpentyp, Pumpengröße und der Laufradform sind (DWA, 2013, Seite 33 - 37). Weiterhin wird der Energieverbrauch von Pump- und

Hebwerken durch das Fördermedium (Dichte, TS-Gehalt), den vorhandenen Gegendruck, der zu pumpenden Menge sowie von der erforderlichen Druckhöhe beeinflusst.

Um anhand eines konkreten Beispiels den Energiebedarf in Abhängigkeit vom Fremdwasseranteil zu betrachten, werden für eine Modellanlage bestimmte Annahmen getroffen. Im Handbuch „Energie in Kläranlagen“ (MURL, 1999, Seite 45 - 60) werden verschiedene Modellanlagen, die mit einem konventionellen Belebtschlammverfahren mit herkömmlicher Nachklärung arbeiten, mit unterschiedlichen Ausbaugrößen beschrieben. Die Modellanlage arbeitet nach dem bei einer Anlagengröße über 100.000 Einwohnerwerten am weitesten verbreiteten Verfahren als einstufige Belebungsanlage mit vorgeschalteter Denitrifikation (MURL, 1999, Seite 38 - 42). Um einen Abgleich zwischen Anlagen derselben Größe zu ermöglichen, werden die Grundlagenansätze der auf 100.000 E ausgelegten konventionellen Modellanlage übernommen. Die daraus folgenden Angaben für den spezifischen Schmutz- und Fremdwasseranfall wurden nach Vorgaben des Handbuchs übertragen und für die angenommenen fiktiven Fremdwasserszenarien angepasst. Die zugrunde liegenden Wassermengen für 100.000 E werden in Tabelle 21 dargestellt.

Tabelle 21: Wassermengen für Mischwasserabfluss bei 100.000 E

Wassermengen für Mischwasserabfluss bei 100.000 EW	
Einwohnerwerte	100.000 E
Schmutzwasseranfall q_s	140 [l/(E*d)]
Fremdwasseranfall q_f	35 [l/(E*d)]
Niederschlagswasser q_r	70 [l/(E*d)]
FWA	14,29 %
Jahresmenge Mischwasser Q_M	8.942.500 [m/a]
Schmutzwasserabfluss im Jahresmittel $Q_{S,aM}$	14.000 [m³/d]
Fremdwasserabfluss im Jahresmittel $Q_{F,aM}$	3.500 [m³/d]
Regenwasserzufluss im Jahresmittel $Q_{R,aM}$	7.000 [m³/d]
Mischwasserabfluss im Jahresmittel $Q_{M,aM}$	24.500 [m³/d]

Im Folgenden wird der Energiebedarf für ausgewählte hydraulisch beeinflusste Aggregate bei vier verschiedenen Fremdwasserszenarien (unterschiedliche Wassermengen) ermittelt. Unter Berücksichtigung getroffener Annahmen ist eine Zusammenstellung der berechneten Verbrauchswerte nach DWA-A 216 bei verschiedenen Wassermengen in Tabelle 22 dargestellt.

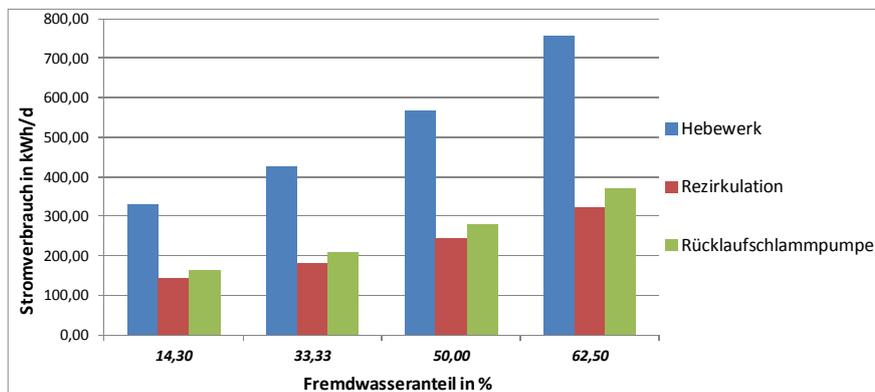
Tabelle 22: Berechnete Verbrauchswerte nach DWA-A 216 bei verschiedenen Fremdwassermengen

Anlagenkomponente und getroffene Annahmen	Stromverbrauch (absolut) bei verschiedenen Fremdwassermengen			
	FW-Anfall 3.500 [m³/d] FWA: 14,3 %	FW-Anfall x 3 10.500 [m³/d] FWA: 33,33 %	FW-Anfall x 6 21.000 [m³/d] FWA: 50 %	FW-Anfall x 10 35.000 [m³/d] FWA: 62,5 %
Hebwerk				
Förderhöhe: 3 m; Wirkungsgrad Hebwerk $\eta_H = 60\%$	330,75 kWh/d	425,25 kWh/d	567 kWh/d	756 kWh/d
Rezirkulationspumpe Belebung				

Anlagenkomponente und getroffene Annahmen	Stromverbrauch (absolut) bei verschiedenen Fremdwassermengen			
	FW-Anfall 3.500 [m ³ /d] FWA: 14,3 %	FW-Anfall x 3 10.500 [m ³ /d] FWA: 33,33 %	FW-Anfall x 6 21.000 [m ³ /d] FWA: 50 %	FW-Anfall x 10 35.000 [m ³ /d] FWA: 62,5 %
Förderhöhe: 0,5 m; Wirkungsgrad Pumpe $\eta_P = 70\%$ Anzahl Rezirkulation = 3	141,75 kWh/d	182,25 kWh/d	243 kWh/d	324 kWh/d
Rücklaufschlammpumpe				
Förderhöhe: 1,5 m; Rückführverhältnis bezogen auf $Q_M = 1,0$; Rücklaufschlammmenge entspricht 98 % von Q_M ; Wirkungsgrad Pumpe $\eta_P = 60\%$ Wassergehalt: 99,5 %	162,07 kWh/d	208,37 kWh/d	277,83 kWh/d	370,44 kWh/d

In Abbildung 50 sind die berechneten absoluten Stromverbräuche bei verschiedenen Fremdwasseranteilen für die jeweiligen hydraulisch beeinflussten Anlagenkomponenten dargestellt. Bei den drei ausgewählten Komponenten erhöht sich der Stromverbrauch, wenn sich der Fremdwasseranteil erhöht. Bei einer Verzehnfachung des Fremdwasseranfalls verdoppelt sich der Stromverbrauch des Hebewerkes. Steigt der Fremdwasseranteil von 14,3 % auf 50 % so erhöht sich der Stromverbrauch für die Rezirkulationspumpe um mehr als das Anderthalbfache. Auch für die Rücklaufschlammpumpe ist mit einem höheren Energieverbrauch zu rechnen. Bei ungefährender Verdoppelung des Fremdwasseranteils von 33 % auf 62,5 % steigt der Stromverbrauch um ca. 35 %.

Abbildung 50: Stromverbräuche bei verschiedenen Fremdwasseranteilen



6.5 Zusammenfassung

Die Untersuchungen am Fallbeispiel der Kläranlage Starnberger See zeigen (vgl. Kapitel 6.1), dass Fremdwasser vor allem zusätzlichen energetischen Aufwand verursacht, der sich neben den direkt zu ermittelnden Energiekosten auch in allen anderen Betriebskostenpositionen bemerkbar macht. Hauptenergieverbraucher, die direkt vom Fremdwasseranteil beeinflusst werden, sind die Pump- und Hebeanlagen. Darüber hinaus wirkt sich der Fremdwasseranteil im Abwasser auf die Reinigungsleistung der Kläranlage Starnberg aus. Je höher der Fremdwasseranteil ist, desto geringer ist die Abbauleistung. Neben einer Erhöhung der direkten Kosten wirkt sich der Fremdwasseranteil auch auf die indirekten Kosten, wie Abschreibungen, Instandhaltungskosten, Personalkosten, Reststoffentsorgung und Abwasserabgabe aus.

Anhand des Beispiels der Stadt Billerbeck wird deutlich, dass sich der Fremdwasseranteil nach erfolgter Sanierung für ein Teileinzugsgebiet reduziert (vgl. Kapitel 6.2). Des Weiteren lässt sich belegen, dass für einen längeren Betrachtungszeitraum (2007 bis 2012) tendenziell ein Zusammenhang zwischen Niederschlagsdaten der Region und dem Fremdwasseraufkommen auf der Kläranlage besteht. Eine Analyse der energetischen Situation auf der Kläranlage Billerbeck macht deutlich, dass der jährliche Gesamtstromverbrauch und der spezifische Energieverbrauch wesentlich geringer sind als auf der Kläranlage Starnberger See. Dies ist auf die unterschiedliche Struktur, Verfahrenstechnik und Betriebsweise der beiden Kläranlagen zurückzuführen. Die Analyse macht jedoch auch deutlich, dass bei höherem Fremdwasseranteil der Wirkungsgrad der CSB- und Stickstoffelimination aufgrund des Verdünnungseffektes sinkt. Grundsätzlich lässt sich auch anhand des Beispiels Billerbeck belegen, dass Fremdwasser Einfluss auf die Reinigungsleistung und den Energieverbrauch der Kläranlage hat.

Die in der Literatur beschriebenen Praxisbeispiele (vgl. Kapitel 6.3) untermauern die o. a. Zusammenhänge zwischen Fremdwasseranfall und Reinigungsleistung bzw. Energieeffizienz der Kläranlagen. Es wird aber auch deutlich, dass über die Höhe der Energieeinsparungen bestimmter Kläranlagenkomponenten keine repräsentativen Aussagen gemacht werden können, da aufgrund unterschiedlicher Randbedingungen, die Art und Weise des Einflusses von Fremdwasser auf die Wirtschaftlichkeit von Kläranlagen verschieden sein kann (vgl. Kapitel 6.4). Demnach ist für die Darstellung fremdwasser- und energiebezogener Zusammenhänge immer eine Einzelfallbetrachtung durchzuführen.

Die Zusammenhänge zwischen Fremdwassermenge und Energieverbrauch lassen sich aber auch ganz explizit anhand theoretischer Betrachtungen belegen. Die Ergebnisse einer Beispielrechnung nach DWA-A 216 (Energiecheck und Energieanalyse - Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen) für eine Modellkläranlage (>100.000 EW, einstufiges Belebungsverfahren mit vorgeschalteter Denitrifikation) machen deutlich (vgl. Kapitel 6.4), dass sich bei den drei ausgewählten Komponenten (Hebwerk, Rezirkulation, Rücklaufschlammpumpe) der Stromverbrauch erhöht, wenn sich der Fremdwasseranteil erhöht. Bei einer Verzehnfachung des Fremdwasseranfalls verdoppelt sich der Stromverbrauch des Hebwerkes. Steigt der Fremdwasseranteil von 14,3 % auf 50 %, so erhöht sich der Stromverbrauch für die Rezirkulationspumpe um mehr als das Anderthalbfache. Auch für die Rücklaufschlammpumpe ist mit einem höheren Energieverbrauch zu rechnen. Bei ungefährender Verdoppelung des Fremdwasseranteils von 33 % auf 62,5 % steigt der Stromverbrauch um ca. 35 %.

7 Auswirkungen auf Entlastungsbauwerke

Im Regenwetterfall wird über die Überläufe von Entlastungsbauwerken in der Mischwasserkanalisation Mischwasser in das Gewässer eingeleitet. Obwohl die Entlastungen nur während entsprechend starken Niederschlagsereignissen auftreten, können die Belastungen aus den Entlastungsbauwerken die Belastungen aus dem Kläranlagenablauf um ein mehrfaches übersteigen. Die Belastung des Gewässers an der Einleitungsstelle wird durch die Schmutzfracht, die Konzentration der Schmutzstoffe, die Entlastungswassermenge sowie die Dauer und Häufigkeit der Entlastungsereignisse bestimmt. Mögliche Auswirkungen eines erhöhten Fremdwasseraufkommens auf das Entlastungsverhalten haben demzufolge auch entsprechende Auswirkungen auf die Belastung des Gewässers an der Einleitungsstelle, wie entsprechende Untersuchungen zeigen. Am Beispiel eines kleinen Flusses im mittleren Neckarraum wird deutlich, dass sich die Gewässerqualität des Vorfluters durch häufige Entlastungen eines Regenüberlaufbeckens verschlechtern kann (vgl. Wurm 2013, S.142). So verschlechterte sich in diesem Fall der Zustand des Gewässers infolge einer erhöhten Ammoniumbelastung.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden von der Pirker + Pfeiffer Ingenieure GmbH & Co KG (P+P) Untersuchungen zu den Auswirkungen verschiedener Fremdwassersituationen auf die Entlastungsbauwerke in der Mischwasserkanalisation durchgeführt. Es wurden zunächst Grundlagen recherchiert und theoretische Voruntersuchungen durchgeführt (vgl. Kapitel 7.1), um anschließend eine Simulation des Einstau- und Entlastungsverhaltens eines Entlastungsbauwerks in Abhängigkeit von verschiedenen Fremdwasserzuschlägen durchführen zu können. Die Simulation wurde mit dem Schmutzwasserfrachtberechnungsmodell KOSIM (**K**ontinuierliches **S**imulationenmodell¹⁰) für ein real existierendes Einzugsgebiet am Beispiel der Gemeinde Schwanau durchgeführt (vgl. Kapitel 7.2). Abschließend wurde am Beispiel der Stadt Billerbeck der Zusammenhang zwischen Fremdwasserzuschlag und Einstau- bzw. Entlastungsverhalten erfasst, indem verfügbare Betriebsdaten eines Regenüberlaufbeckens ausgewertet und analysiert wurden. Bei der Beurteilung der Auswirkungen eines erhöhten Fremdwasseraufkommens wurde unterschieden zwischen den Auswirkungen auf die Bemessung der Entlastungsbauwerke und den Auswirkungen auf das Einstau- und Entlastungsverhalten realisierter Entlastungsbauwerke.

7.1 Grundlagen und theoretische Voruntersuchungen

Das ATV-Arbeitsblatt A-128 „Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenwasseranlagen in Mischwasserkanälen (Stand April 1992)“ (vgl. ATV-A 128) stellt die a. a. R. d. T. für die Dimensionierung von Regenentlastungsanlagen dar (vgl. auch DWA-A 400 2008, Seite 6). Die Anwendung des Arbeitsblatts ist aber nicht verbindlich vorgeschrieben. Es bleibt den einzelnen Bundesländern überlassen, die Anwendung des Arbeitsblatts A-128 vorzugeben oder davon abweichende Bestimmungen zu erlassen. Deshalb ergibt sich für die Bemessung der Regenentlastungsanlagen in Deutschland kein einheitliches Bild.

Im Rahmen der durchzuführenden Untersuchungen dieses Arbeitspakets wird das Arbeitsblatt ATV-A-128 zur grundsätzlichen Bewertung des Fremdwassereinflusses auf die Bemessung der Regenentlastungsanlagen herangezogen. In diese Bewertung fließen hauptsächlich die Parameter ein, die durch entsprechende Regelungen der Bundesländer nur gering bis nicht beein-

¹⁰ Das Kontinuierliche Langzeit-SIMulationsprogramm ist ein Software-Produkt des Institutes für technisch-wissenschaftliche Hydrologie GmbH (itwh) für den Nachweis von Bauwerken der Regenwasserbehandlung, Regenwasserbewirtschaftung und Regenwasserrückhaltung.

flusst werden. Aus diesem Grund wurde von einer Berücksichtigung bundeslandspezifischer Regelungen abgesehen.

Die Bewertungen der Ergebnisse der Simulation des Entlastungsverhaltens mit dem Programm KOSIM beziehen sich hauptsächlich auf die prozentuale Veränderung gegenüber dem Bezugsfall (Fremdwasserzuschlag 0 %). Die Aussagen sind somit von den verwendeten Ansätzen und Daten, wie z. B. für Frachten, Konzentrationen und Regendaten unabhängig. Dies gilt auch bezüglich bundeslandspezifischer Vorgaben für die entsprechenden Parameter.

Mit Blick auf die Bemessung von Entlastungsbauwerken nach Arbeitsblatt ATV-A-128 (vgl. ATV-A 128, 1992) ergeben sich folgende Zusammenhänge:

- Regenüberlauf:

Nach dem Arbeitsblatt ATV-A-128 (vgl. ATV-A 128 1992, S. 25) ist ein Regenüberlauf so zu bemessen, dass er erst anspringt, wenn der Zufluss den vorgegebenen Drosselabfluss Q_D übersteigt.

Der Drosselabfluss Q_D ermittelt sich für einen Regenüberlauf wie folgt:

$$Q_D = Q_{s24} + Q_{f24} + \Gamma_{krit} \cdot A_U + \sum Q_{d,i}$$

Q_D in l/s: Mindestdrosselabfluss am Regenüberlauf

Q_{s24} in l/s: Trockenwetterabfluss im Jahresmittel aus dem direkten Einzugsgebiet

Q_{f24} in l/s: Fremdwasserabfluss im Jahresmittel aus dem direkten Einzugsgebiet

Γ_{krit} in l/s: Kritische Regenspende zwischen 7,5 l/s·ha und 15 l/s·ha. Standardfall ist 15 l/s·ha. Abminderung in Abhängigkeit von der Fließzeit möglich.

A_U in ha: Abflusswirksame Fläche des direkten Einzugsgebiets

$\sum Q_{d,i}$ in l/s: Summe alle unmittelbar von oberhalb zufließenden Drosselabflüsse

Weiterhin sind Vorgaben bezüglich Mindestmischverhältnissen, Fließzeitabminderungen etc. zu berücksichtigen.

Aus der dargestellten Formel ergibt sich, dass bei der Bemessung des Regenüberlaufs ein erhöhter Fremdwasserabfluss zu einem erhöhten Mindestdrosselabfluss und daraus resultierendem höheren Abfluss in der nachfolgenden Kanalisation führt.

Im Verhältnis zur kritischen Regenspende ist der Einfluss des Fremdwassers auf das Entlastungsverhalten vernachlässigbar. Aus diesem Grund wurde der Schwerpunkt der Untersuchungen auf Regenüberlaufbecken bzw. Stauraumkanäle gelegt.

- Regenüberlaufbecken

Eine maßgebende Größe für die Bemessung des erforderlichen Volumens eines Regenüberlaufbeckens ist der zulässige Mischwasserabfluss zur Kläranlage. Die Festlegung erfordert eine Interessenabwägung zwischen Minimierung des erforderlichen Speichervolumens zur Mischwasserbehandlung im Einzugsgebiet der Kläranlage und der Auslegung der Kläranlage.

Aus dem zulässigen Mischwasserabfluss zur Kläranlage ermittelt sich der maximal zulässige Regenabfluss zur Kläranlage gemäß folgender Formel:

$$Q_{r24} = Q_m - Q_{s24} - Q_{f24} - Q_{rt24}$$

Daraus ermittelt sich die Regenabflussspende zu

$$q_r = Q_{r24} / A_U$$

Q_{r24} in l/s: Mittlerer Regenwasserabfluss zur Kläranlage

Q_m in l/s: Maximal zulässiger Mischwasserabfluss zur Kläranlage

A_u in ha: Undurchlässige Fläche des direkten Einzugsgebiets

Q_{rt24} in l/s: Regenabfluss aus Trenngebieten

q_r in l/s-ha: Regenabflussspende

Das erforderliche Gesamtspeichervolumen nach ATV-A-128, Anhang 4, Bild 13, ermittelt sich auf der Grundlage der Regenabflussspende q_r und der zulässigen Entlastungsrate e_0 .

Nach A-128 wird die zulässige Entlastungsrate e_0 von mehreren Parametern beeinflusst. Entscheidend ist die mittlere Schmutzkonzentration im überlaufenden Mischwasser, die vom Mischverhältnis zwischen Regen- und Schmutzwasser abhängt (vgl. ATV-A 128, 1992, Seite 17). Je stärker das entlastete Mischwasser verschmutzt ist, umso weniger darf entlastet werden, das heißt, umso größer wird das erforderliche Gesamtspeichervolumen.

Mit zunehmendem Fremdwasserzufluss reduziert sich die Regenabflussspende, verbunden mit einer Zunahme der Entlastungsmengen. Gemäß ATV-A 128, Anhang 3, Seite 49, verringert sich das Mischverhältnis (=Zunahme der Verschmutzung des entlasteten Mischwassers).

In der Praxis kann unverschmutztes Fremdwasser dagegen bei sonst gleichbleibenden Bedingungen zur Verdünnung des Schmutzwasserabflusses und damit zu einer sinkenden Entlastungsfracht führen. Damit verbunden wäre ein geringeres erforderliches Gesamtspeichervolumen. Wegen der negativen Auswirkungen in der Abwasserreinigung, ist die Vermeidung von Fremdwasser nach den a. a. R. d. T. ein wesentliches Ziel. Aus diesem Grund wurde die ATV-A-128 entsprechend angepasst, um zusätzliche Anreize zur Reduzierung von Fremdwasser zu geben.

Da die beiden Parameter Regenabflussspende und zulässige Entlastungsrate vom Fremdwasserzufluss abhängig sind, wirkt sich zunehmender Fremdwasserzuflusses wie folgt aus:

- Die zulässige Entlastungsrate e_0 nimmt ab
- Das erforderliche Gesamtspeichervolumen erhöht sich

Die Regenabflussspende definiert den Gültigkeitsbereich für das Bemessungsdiagramm in Bild 13, Seite 20 der ATV A-128. Der Bereich erstreckt sich von

$q_r > 0$ l/s-ha bis zu $q_r = 2,0$ l/s-ha.

Das daraus resultierende spezifische Speichervolumen erstreckt sich von

$V_s = 5$ m³/ha bis zu $V_s = 40$ m³/ha.

Das nach A-128 Bild 13 ermittelte zentrale Beckenvolumen (erforderliches Gesamtvolumen) ist die maßgebende Vorgabe für die Ermittlung des erforderlichen Beckenvolumens für die Regenwasserbehandlung in einem Mischsystem.

Betrachtet man die Situation an einem einzelnen Regenüberlaufbecken im Einzugsgebiet während des Betriebs, ergibt sich folgende Volumenbilanz:

$$V_{\text{Entlastung}} + V_{\text{Becken}} = V_{\text{Zufluss}} - V_{\text{abfluss}} = \Delta T \cdot (Q_{\text{zu}} - Q_{\text{D}})$$

mit

$$Q_{\text{zu}} = Q_{\text{R}} + Q_{\text{S}} + Q_{\text{F}}$$

und

$$Q_{\text{D}} = Q_{\text{S,Bem.}} + Q_{\text{F,Bem.}} + Q_{\text{R,Bem.}}$$

ergibt sich

$$V_{\text{Entlastung}} + V_{\text{Becken}} = \Delta T \cdot (Q_R - Q_{R,\text{Bem.}}) \\ + \Delta T \cdot (Q_S - Q_{S,\text{Bem.}}) \\ + \Delta T \cdot (Q_F - Q_{F,\text{Bem.}})$$

T in s: Betrachtungszeitschritt

Q_D in l/s:	Drosselabfluss des Regenüberlaufbeckens
Q_F in l/s:	Fremdwasserzufluss zum Regenüberlaufbecken
$Q_{F,\text{Bem.}}$ in l/s:	Bemessungswert für den Fremdwasserabfluss
Q_S in l/s:	Schmutzwasserabfluss
$Q_{S,\text{Bem.}}$ in l/s:	Bemessungswert für den Schmutzwasserabfluss
Q_R in l/s:	Regenwasserabfluss zum Regenüberlaufbecken
$Q_{R,\text{Bem.}}$ in l/s:	Bemessungswert für den Regenwasserabfluss
Q_{zu} in l/s:	Gesamtzufluss zum Regenüberlaufbecken
$V_{\text{Entlastung}}$ in m^3 :	Gesamtentlastungsvolumen des Regenüberlaufbeckens
V_{Becken} in m^3 :	Beckenvolumen
V_{Zufluss} in m^3 :	Zuflussvolumen zum Regenüberlaufbecken
V_{Abfluss} in m^3 :	Abflussvolumen aus dem Regenüberlaufbecken

Zur Bewertung des Einflusses eines vom Bemessungswasserzufluss abweichenden Fremdwasserzuflusses sind die nachfolgenden Belastungsfälle zu betrachten.

- **Fall 1:** Schmutz- und Fremdwasserzufluss entspricht dem Bemessungszufluss
In diesem Fall ergibt sich das Becken- bzw. Entlastungsvolumen zu

$$V_{\text{Entlastung}} + V_{\text{Becken}} = \Delta T \cdot (Q_R - Q_{R,\text{Bem.}})$$

Das Becken wird wie bei der Bemessung vorgesehen beaufschlagt.

- **Fall 2:** Schmutzwasserzufluss entspricht dem Bemessungszufluss, Fremdwasserzufluss ist größer als der Bemessungszufluss.

Das Becken- bzw. Entlastungsvolumen ergibt sich zu

$$V_{\text{Entlastung}} + V_{\text{Becken}} = \Delta T \cdot (Q_R - Q_{R,\text{Bem.}}) + \Delta T \cdot (Q_F - Q_{F,\text{Bem.}})$$

In diesem Fall wird das Becken schneller und häufiger eingestaut, bzw. kommt häufiger zu Entlastungen und das Entlastungsvolumen nimmt zu, da Fremdwasser im Becken gespeichert und bei Vollfüllung des Beckens auch entlastet wird.

- **Fall 3:** Schmutzwasserzufluss entspricht dem Bemessungszufluss, Fremdwasserzufluss ist kleiner als der Bemessungszufluss.

Das Becken- bzw. Entlastungsvolumen ergibt sich zu

$$V_{\text{Entlastung}} + V_{\text{Becken}} = \Delta T \cdot (Q_R - Q_{R,\text{Bem.}}) - \Delta T \cdot |(Q_F - Q_{F,\text{Bem.}})|$$

Das Becken wird in diesem Fall langsamer und seltener eingestaut, bzw. kommt es weniger oft zur Entlastung und das Entlastungsvolumen ist geringer, da durch den geringeren Fremdwasseranteil mehr Niederschlagswasser zur Kläranlage abgeleitet bzw. im Becken gespeichert werden kann.

Eine Regenabflusspende $q_r = 2,0 \text{ l/s}\cdot\text{ha}$ ist die oberste Grenze für die Anwendbarkeit des Bild 13 aus dem Arbeitsblatt ATV-A-128 (vgl. ATV-A 128, 1992, Seite 20). Vergleicht man dies mit den Regenwasserflusspenden von bis zu mehreren $100 \text{ l/s}\cdot\text{ha}$, die im normalen Niederschlagsgeschehen auftreten können, ist zu erwarten, dass der Einfluss des Fremdwasseranfalls auf das Einstau- und Entleerungsverhalten eines Regenüberlaufbeckens nur bei sehr ähnlichen Niederschlagsbedingungen erkennbar sein wird.

7.2 Fallbeispiel „Gemeinde Schwanau“ (Simulation)

7.2.1 Situation und Datenlage

Der Ortsteil Ottenheim der Gemeinde Schwanau dient als Einzugsgebiet für die Schmutzwassersimulation zur Ermittlung der Einstau- und Entlastungskenngrößen in Abhängigkeit vom Fremdwasserzuschlag für ein Regenüberlaufbecken.

Der Ortsteil Ottenheim mit 2.751 Einwohnern (Stand 2011) wurde ausgewählt, weil dort im Gegensatz zu anderen Schwanauer Ortsteilen (Allmannsweiler, Nonnenweiler, Wittenweiler) überwiegend im Mischsystem entwässert wird. Darüber hinaus verfügt Ottenheim über eine Kläranlage (Kläranlage Nord) und ist hydraulisch vom Restgebiet getrennt.

Die kanalisierte Fläche beträgt 110 ha , davon sind 42 ha versiegelte Flächen. Von der kanalisierten Fläche entwässern 91 ha im Mischsystem und die restlichen 19 ha im Trennsystem.

Der mittlere Versiegelungsgrad beträgt 46% und die mittlere Einwohnerdichte $24,9 \text{ E/ha}$.

Als Regenentlastungsanlagen sind der Stauraumkanal SKU Rheinstraße (Stauraumkanal mit unten liegender Entlastung $V = 1.475 \text{ m}^3$, Drosselabfluss $Q_D = 36 \text{ l/s}$) sowie zwei Regenüberläufe (RÜ5 mit einem Drosselabfluss $Q_D = 364 \text{ l/s}$ und RÜ4 mit Drosselabfluss $Q_D = 495 \text{ l/s}$) vorhanden. Die beiden Regenüberläufe fungieren aufgrund der sehr hohen Drosselabflüsse als Notentlastung mit einem vernachlässigbar geringen Entlastungsvolumen und können bei der Simulation unberücksichtigt bleiben.

Der Bemessung des Regenüberlaufbeckens wurde ein Schmutzwasserabfluss von $Q_{s24} = 3,8 \text{ l/s}$ und ein Fremdwasserabfluss von $Q_{f24} = 4,4 \text{ l/s}$ zugrunde gelegt. Dies entspricht einem Fremdwasserzuschlag von $\text{FWZ} = 117\%$.

Der Drosselabfluss des Stauraumkanals SKU Rheinstraße entspricht dem maximal zulässigen Mischwasserzufluss $Q_D = 36 \text{ l/s}$ zur Kläranlage Nord.

Die Besonderheit ist, dass die auf der Kläranlage erfassten Jahresschmutzwassermengen nicht mit dem Trinkwasserverbrauch abgeglichen werden können, da es in Ottenheim einen hohen Anteil an Eigenwasserversorgung gibt. Bis auf diese Einschränkung konnte für die Erstellung des Modells für die Schmutzfrachtsimulation auf umfangreiches, von der Gemeinde Schwanau zur Verfügung gestelltes Datenmaterial zurückgegriffen werden.

7.2.2 Grundannahmen und Vorgehensweise

Für die Schmutzfrachtsimulation wurde ein einwohnerspezifischer Abwasseranfall von $120 \text{ l}/(\text{EW}\cdot\text{d})$, ein Stundenspitzenfaktor von 10 (ATV 5-10TsdE) sowie eine einwohnerspezifische CSB-Fracht von $120 \text{ g CSB}/(\text{EW}\cdot\text{d})$ angesetzt.

Zur Ermittlung des Einflusses von Fremdwasser auf die Entlastungsbauwerke wurden Fremdwasserzuschläge von 0% , 100% , 200% , 300% , 400% und 600% bei den Berechnungen berücksichtigt.

Des Weiteren wurden bei den Varianten neben unterschiedlichen Beckenanordnungen (Haupt- und Nebenschluss) auch zwei verschiedene spezifische Beckenvolumina (V_s) betrachtet und

zwar $V_s = 5 \text{ m}^3/\text{ha}$ entsprechend dem unteren Grenzwert gem. ATV-A-128, Bild 13, Seite 20 sowie $V_s = 40 \text{ m}^3/\text{ha}$ entsprechend dem oberen Grenzwert.

Der maximale Drosselabfluss entspricht dabei jeweils dem tatsächlich vorhandenen Drosselabfluss des SKU Rheinstraße ($Q_D = 36 \text{ l/s}$).

Eine realistische Abschätzung der Absetzwirkung eines realisierten Durchlaufbeckens ist ohne Messprogramm nicht möglich. Die Absetzwirkung wurde daher nicht berücksichtigt (Absetzwirkung = 0). Deshalb ergibt sich für die Frachten kein Unterschied beim Entlastungsverhalten zwischen unterschiedlichen Beckenarten (Fang-, Durchlaufbecken und Stauraumkanal).

Folgende Parameter wurden mit den Schmutzfrachtsimulationen auf ihre Abhängigkeit vom Fremdwasserzuschlag untersucht:

Kennzeichnende Parameter für die Bemessung nach ATV-Arbeitsblatt A-128:

- zulässige Entlastungsrate e_0 [%]
- vorhandenes Mischverhältnis (A128/M177) m_{vorh} [-]
- erforderliches spezifisches Speichervolumen V_s [m^3/ha]
- erforderliches Gesamtvolumen für das Zentralbecken V [m^3]

Kennzeichnende Parameter für das Einstau- und Entlastungsverhalten:

- Einstaudauer T_{ein} [h/a]
- Überlaufvolumen VQ_{ue} [m^3/a]
- Überlaufdauer T_{ue} [h/a] – Becken
- CSB-Überlauffracht SF_{ue} [kg/a]
- rechnerische Entleerungsdauer t_e [h]
- Mischwasserzufluss zur Kläranlage VQ_{zu} [m^3/a]

Die Ergebnisse stellen Jahresmittelwerte aus Simulationsberechnungen mit einer 30-jährigen Regenreihe dar.

7.2.3 Ergebnisse der Simulation

Im Folgenden sind die wichtigsten Untersuchungsergebnisse für den SKU Rheinstraße in Ottenheim oder/und alternativ zum Stauraumkanal die "fiktiven" Durchlaufbecken im Nebenschluss (DBN) mit einem spezifischen Gesamtspeichervolumen von $V_s = 5 \text{ m}^3/\text{ha}$ und $V_s = 40 \text{ m}^3/\text{ha}$ (entsprechend oberster und unterster Grenzwert Bild 13, ATV-Arbeitsblatt A-128, Seite 20) zusammengefasst dargestellt.

Die Untersuchungsergebnisse für den SKU Rheinstraße (spezifisches Gesamtspeichervolumen rd. $35 \text{ m}^3/\text{ha}$) sind mit den Untersuchungsergebnissen für das Durchlaufbecken im Nebenschluss mit einem spezifischen Gesamtspeichervolumen von $40 \text{ m}^3/\text{ha}$ annähernd identisch. Aus diesem Grund wurde bei den Parametern, die durch das spezifische Gesamtspeichervolumen beeinflusst werden, auf eine zusätzliche Darstellung der Ergebnisse für den SKU Rheinstraße verzichtet.

Die Untersuchungsergebnisse sind als prozentuale Änderungen (% - Änderungen) der jeweiligen Untersuchungsgröße gegenüber dem Bezugsfall dargestellt. Die Bezugsgröße 100 % entspricht immer dem Ergebniswert bei einem Fremdwasserzuschlag von 0 %. Bei den Untersuchungen wurde der zulässige Mischwasserabfluss zur Kläranlage nicht überschritten.

7.2.3.1 Zulässige Entlastungsrate, vorhandenes Mischverhältnis und erforderliches Gesamtspeichervolumen

Das erforderliche Gesamtspeichervolumen nach ATV-A-128 ermittelt sich auf der Grundlage der Regenabflussspende q_r und der zulässigen Entlastungsrate e_0 .

Die Auswirkungen eines zunehmenden Fremdwasserzuflusses auf die drei Parameter, unter Beibehaltung des maximal zulässigen Mischwasserabflusses zur Kläranlage im Einzugsgebiet des SKU Rheinstraße, sind:

- Die zulässige Entlastungsrate e_0 nimmt annähernd linear um ca. 60 % ab (vgl. Abbildung 51).
- Das erforderliche Gesamtspeichervolumen erhöht sich um mehr als 400 % (vgl. Abbildung 53), da die beiden volumenbeeinflussenden Parameter Regenabflussspende und zulässige Entlastungsrate direkt vom Fremdwasserzufluss abhängig sind.
- Das Mischverhältnis nimmt ab (vgl. Abbildung 52).
- Dies führt zu einem größeren Volumen für die Mischwasserbehandlung im Einzugsgebiet bei der Berechnung mit dem vereinfachten Verfahren nach dem Arbeitsblatt ATV-A 128 (vgl. ATV-A 128, 1992, Seite 49) oder zu einer erhöhten Anforderung bei der Anwendung von Nachweisverfahren.

Dies bedeutet, dass z. B. eine Reduktion des Fremdwasserzuschlags von 300 % auf 200 % zu einer Reduktion des erforderlichen Gesamtvolumens um 130 Prozentpunkte führt.

Abbildung 51: Prozentuale Änderung der zulässigen Entlastungsrate e_0 in Abhängigkeit vom Fremdwasserzuschlag

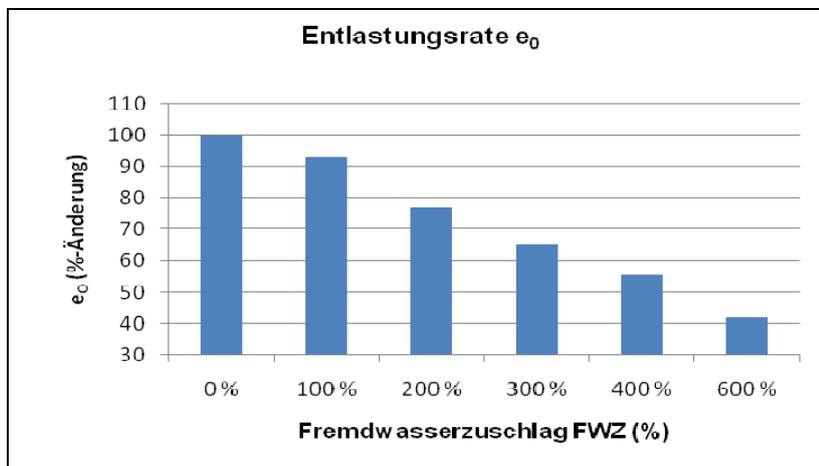


Abbildung 52: Prozentuale Änderung des vorhandenen Mischverhältnisses m_{vorh} in Abhängigkeit vom Fremdwasserzuschlag

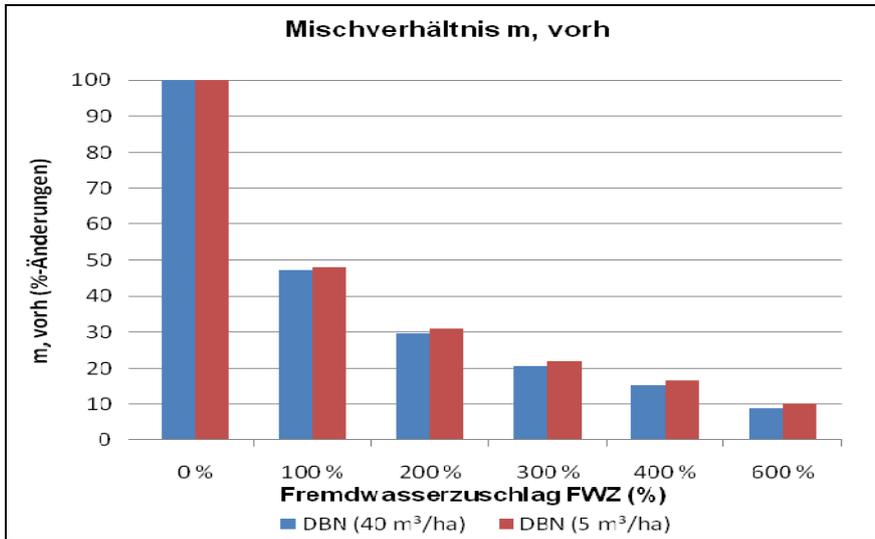
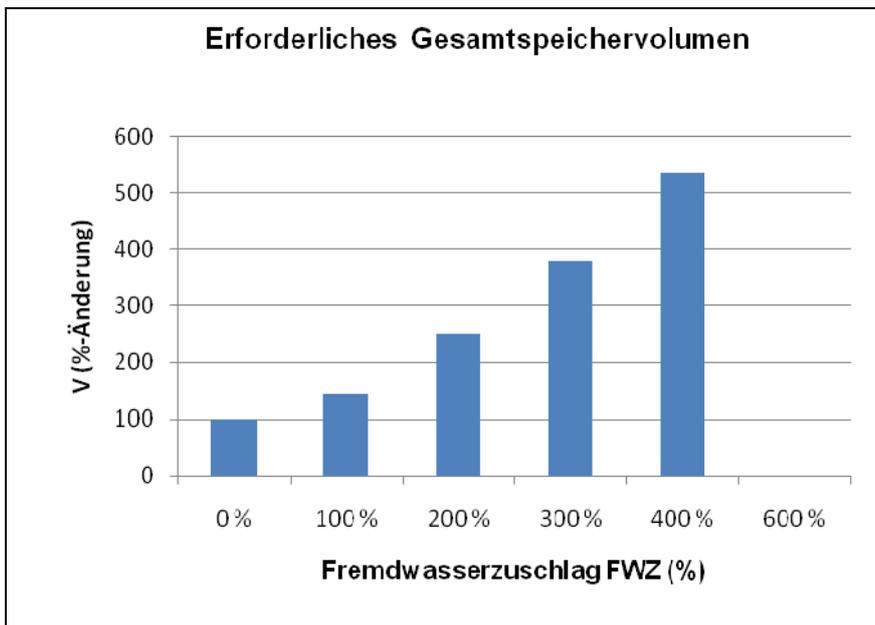


Abbildung 53: Prozentuale Änderung des erforderlichen Gesamtspeichervolumens V in Abhängigkeit vom Fremdwasserzuschlag



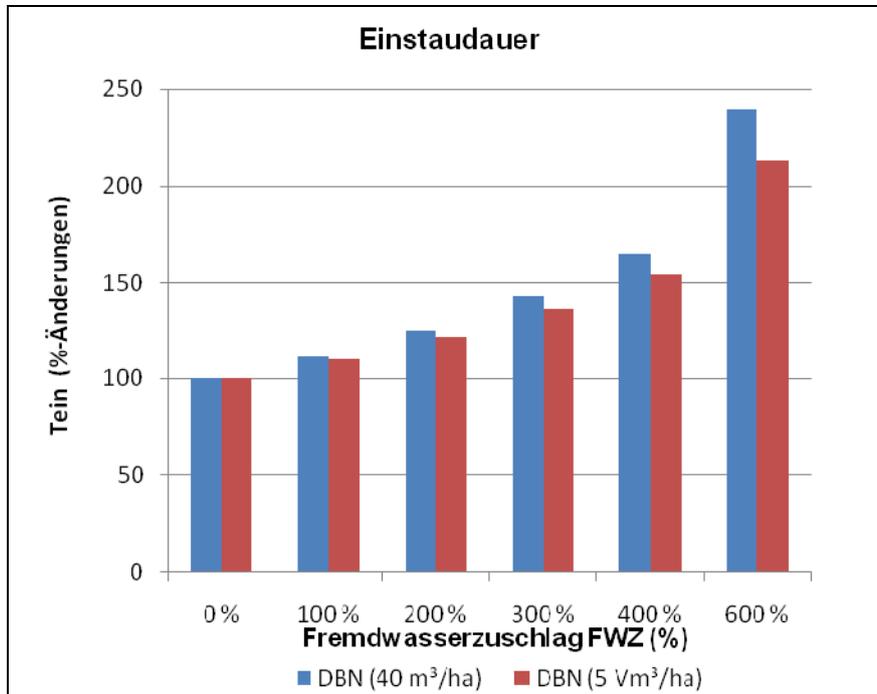
Das erforderliche Gesamtspeichervolumen (vgl. Abbildung 53) kann für ein Fremdwasserzuschlag von 600 % nicht mehr auf der Grundlage des ATV-Arbeitsblatts A-128, Anhang 4, Bild 13, Seite 20 ermittelt werden, da der Gültigkeitsbereich des Diagramms überschritten ist.

7.2.3.2 Einstaudauer

Mit steigendem Fremdwasserzuschlag nimmt die Einstaudauer auf mehr als das Doppelte zu (vgl. Abbildung 54). Bei Becken mit großen spezifischen Beckenvolumen ist ein stärkerer Anstieg zu beobachten als bei Becken mit kleinen spezifischen Beckenvolumen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei einem Becken mit einem größeren spezifischen Volumen ein größere

rer Anteil des zunehmenden Fremdwasseranteils aufgenommen werden kann, bevor es zur Entlastung kommt.

Abbildung 54: Prozentuale Änderung der Einstaudauer Tein in Abhängigkeit vom Fremdwasserzuschlag



7.2.3.3 Überlaufvolumen, Überlaufdauer und Überlauffracht (CSB)

Das Überlaufvolumen $V_{Q_{ue}}$, die Überlaufdauer T_{ue} und die CSB – Überlauffracht SF_{ue} sind maßgebliche Faktoren für die Belastung der Gewässer durch Regenentlastungsanlagen an der Einleitungstelle.

Abbildung 55 bis Abbildung 57 zeigen für die beiden fiktiven Durchlaufbecken im Nebenschluss (DBN), dass sich mit zunehmendem Fremdwasserzuschlag auch das Überlaufvolumen, Überlaufdauer und CSB – Überlauffracht erhöhen und ab einem Fremdwasserzuschlag von 400 % noch einmal stärker ansteigen. Der Verlauf ist dabei bei allen drei Parametern identisch.

Abbildung 55: Prozentuale Änderung des Überlaufvolumens $V_{Q_{ue}}$ in Abhängigkeit vom Fremdwasserzuschlag

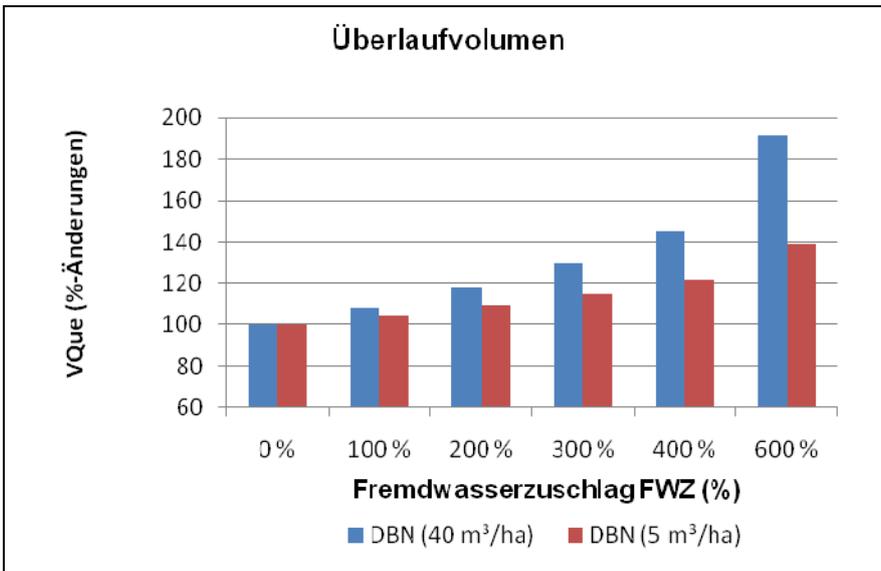


Abbildung 55 zeigt, dass bei dem Becken mit einem spezifischen Volumen von $5 \text{ m}^3/\text{ha}$ das Überlaufvolumen bis zu einem FWZ von 400% um ca. 20 % zunimmt und ab einem FWZ von 400 % bis 600 % noch einmal um ca. 20 % ansteigt. Bei dem Becken mit einem spezifischen Volumen von $40 \text{ m}^3/\text{ha}$ ergibt sich eine Zunahme um 40 % bis zu einem FWZ von 400 % und dann eine weitere Zunahme auf ca. 190%.

Abbildung 56: Prozentuale Änderung der Überlaufdauer T_{ue} in Abhängigkeit vom Fremdwasserzuschlag

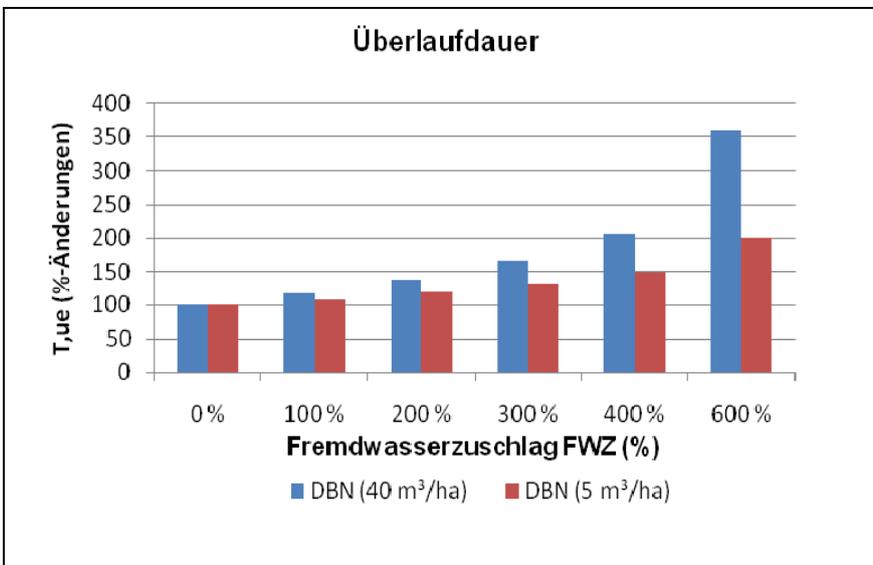
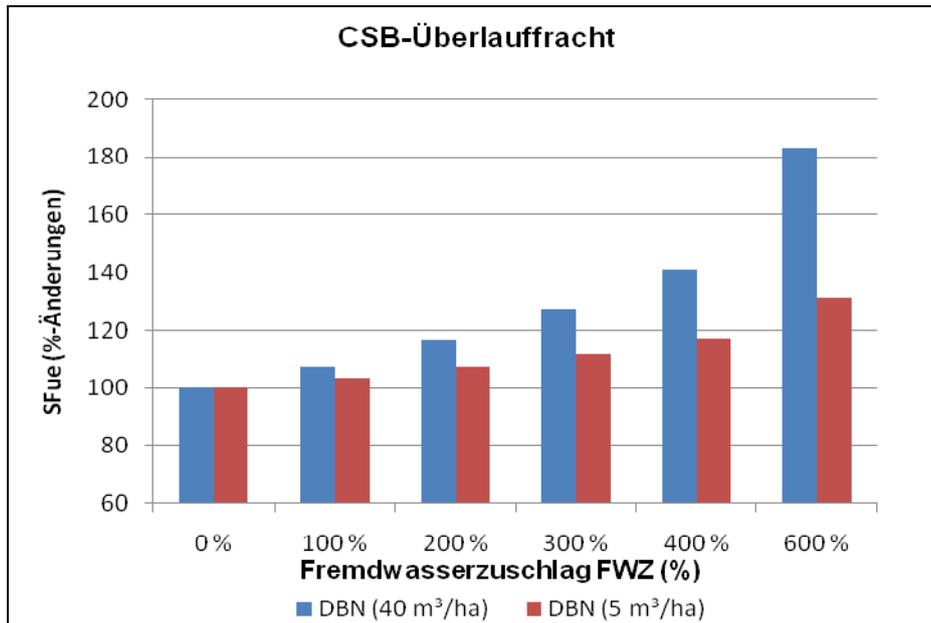


Abbildung 57: Prozentuale Änderung der CSB - Überlauffracht S_{Fue} in Abhängigkeit vom Fremdwasserzuschlag



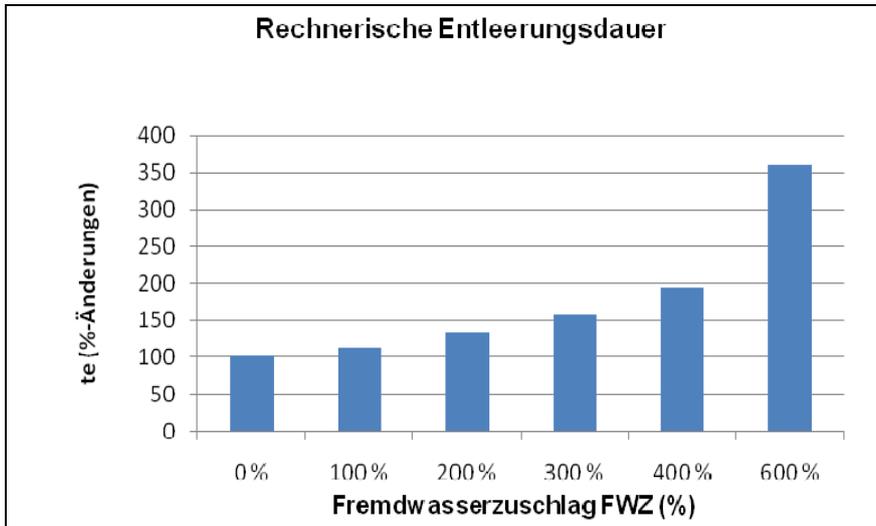
Ein Vergleich der Kurven zeigt, dass das spezifische Gesamtspeichervolumen ($5 \text{ m}^3/\text{ha}$ und $40 \text{ m}^3/\text{ha}$) die untersuchten Entlastungsgrößen beeinflusst. Bei Becken mit großem spezifischem Beckenvolumen steigen mit zunehmendem Fremdwasserzufluss die untersuchten Parameter prozentual stärker an als bei Becken mit niedrigem spezifischem Beckenvolumen. Dies ist darin begründet, dass Becken mit großem spezifischen Speichervolumen mehr Fremdwasser aufnehmen können, bis dies zu einer zunehmenden Beckenentlastung schon bei kleinen und häufigeren Niederschlägen führt, was dann eine signifikante Erhöhung der Entlastungskenngrößen zur Folge hat.

7.2.3.4 Rechnerische Entleerungsdauer

Die rechnerische Entleerungsdauer t_e sollte bei Regenüberlaufbecken grundsätzlich so gering wie möglich sein, damit das gesamte vorhandene Beckenvolumen für Folgeregen schnellstmöglich wieder zur Verfügung steht.

Die rechnerische Entleerungsdauer erhöht sich mit steigendem Fremdwasserzuschlag und steigt ab einem Fremdwasserzuschlag von 400 % stärker an (vgl. Abbildung 58). Eine Abhängigkeit von spezifischen Beckenvolumen konnte nicht festgestellt werden.

Abbildung 58: Prozentuale Änderung der rechnerischen Entleerungsdauer t_e in Abhängigkeit vom Fremdwasserzuschlag (SKU Rheinstraße)

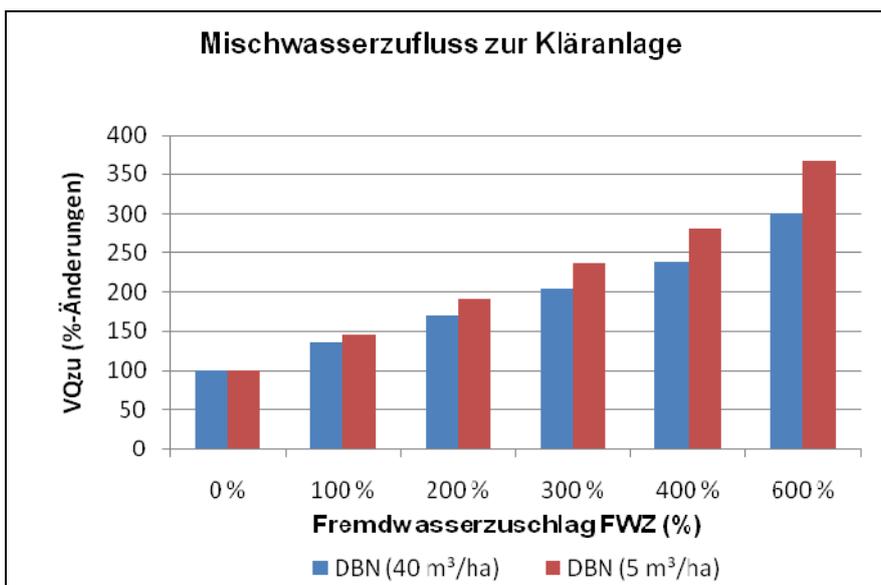


7.2.3.5 Mischwasserzufluss

Der Mischwasserzufluss zur Kläranlage (VQ_{zu}) im Regenwetterfall setzt sich zusammen aus $VQ_{zu} = VQ_S + VQ_R + VQ_F$. Bedingt durch den vorgegebenen maximalen Mischwasserabfluss zur Kläranlage verringert sich mit Zunahme des Fremdwasserzuflusses die auf der Kläranlage behandelte Regenwassermenge, wodurch es zu einer verstärkten Belastung der Regenwasserbehandlungsanlagen (häufigere Ein- und Überstauerereignisse) kommt (siehe Kapitel 7.1)

Abbildung 59 zeigt, dass der Mischwasserzufluss zur Kläranlage VQ_{zu} annähernd linear zunimmt.

Abbildung 59: Prozentuale Änderung des Mischwasserzuflusses zur Kläranlage VQ_{zu} in Abhängigkeit vom Fremdwasserzuschlag



Die prozentuale Änderung des Mischwasserzuflusses zur Kläranlage ist bei Becken mit kleinem spezifischem Beckenvolumen stärker als bei Becken mit großem spezifischem Beckenvolumen.

Dies resultiert daraus, dass bei Becken mit einem großen spezifischen Beckenvolumen die Zunahme des Fremdwasseranteils nicht sofort zu einer vergleichbaren Zunahme des Überlaufvolumens führt.

Die nachfolgende Tabelle 23 zeigt die Zusammensetzung des Mischwasserabflusses aus Schmutzwasser (VQ_S), Regenwasser (VQ_R) und Fremdwasser (VQ_F).

Tabelle 23: Änderung des Mischwasserzuzufussvolumens zur Kläranlage VQ_{zu} anteilig nach Schmutz-, Fremd- und Regenwasser

FWZ	0%	100%	200%	300%	400%	600%
DBN (40 m ³ /ha)	325.442	440.232	553.595	665.103	773.872	978.207
VQ_S	119.837	119.837	119.837	119.837	119.837	119.837
VQ_F	0	119.837	239.674	359.511	479.348	719.022
VQ_R	205.605	200.558	194.084	185.755	174.687	139.348
prozentualer Anteil VQ_R	100%	98%	94%	90%	85%	68%
DBN (5 m ³ /ha)	249.593	364.031	477.543	589.878	700.728	915.464
VQ_S	119.837	119.837	119.837	119.837	119.837	119.837
VQ_F	0	119.837	239.674	359.511	479.348	719.022
VQ_R	129.756	124.357	118.032	110.530	101.543	76.605
prozentualer Anteil VQ_R	100%	96%	91%	85%	78%	59%

7.3 Fallbeispiel „Stadt Billerbeck“ (Datenanalyse)

Die Ergebnisse der Schmutzfrachtsimulation für das Einzugsgebiet von Schwanau-Ottenheim zeigen eine eindeutige Abhängigkeit der Bemessungsgrößen nach dem Merkblatt ATV-A-128 und des Systemverhaltens (Einstau- und Entlastungsgrößen) am untersuchten Entlastungsbauwerk vom gewählten Fremdwasserzuschlag.

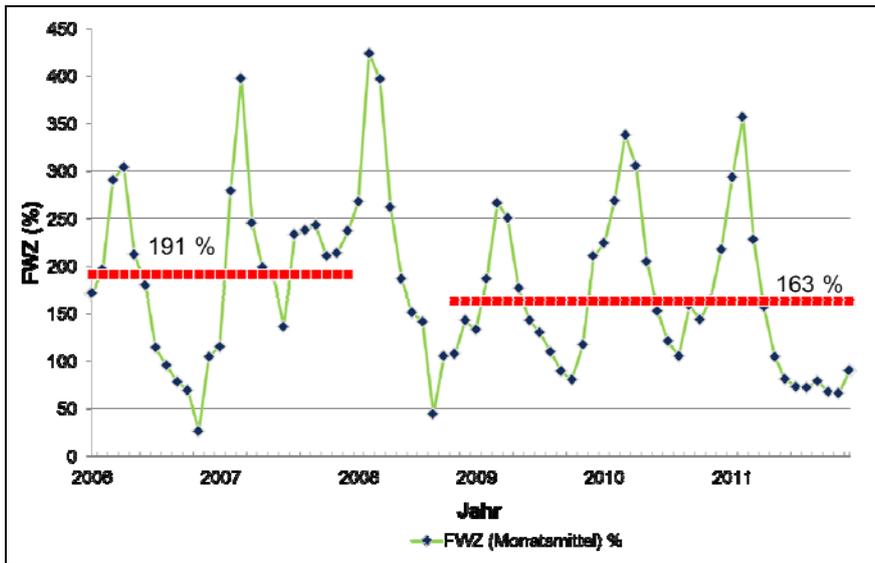
Bei der Bewertung der Ergebnisse für Schwanau-Ottenheim ist zu berücksichtigen, dass immer nur der Parameter Fremdwasserzuschlag geändert wurde. Alle anderen maßgebenden Einflussgrößen wie Niederschlag und Schmutzwasserzufluss wurden nicht verändert.

Diese Situation ist an einem Becken in der Realität nicht anzutreffen. Vielmehr ist davon auszugehen, dass ständig wechselnde Belastungssituationen auftreten, die durch eine zufällige Kombination aus Schmutz-, Fremd- und Regenwasserzufluss gekennzeichnet sind.

Die durch die Schmutzfrachtsimulation im Einzugsgebiet Schwanau-Ottenheim für die Einstau- und Entlastungsgrößen ermittelten Ergebnisse sollen deshalb anhand von Messergebnissen an einem bestehenden Becken aus einem anderen Einzugsgebiet überprüft werden.

Dafür wurde die Stadt Billerbeck (Nordrhein-Westfalen) herangezogen. Die Stadt Billerbeck hat im untersuchten Einzugsgebiet im Zeitraum von Februar 2008 bis Oktober 2008 Fremdwasser-sanierungsmaßnahmen (vgl. Kapitel 4.2.1) durchgeführt und den Fremdwasserzuschlag vor und nach der Sanierungsmaßnahme erfasst. Das nachfolgende Diagramm zeigt die nach dem gleitenden Minimum ermittelten Fremdwasserzuschläge im Zulauf zur Kläranlage vor und nach der Fremdwassersanierung.

Abbildung 60: Fremdwasserzuschläge im Zulauf zur Kläranlage Billerbeck



eigene Darstellung

Im Zeitraum nach der Sanierung ist eine Reduzierung des Fremdwasserzuschlags von im Mittel 191 % auf 163 % zu verzeichnen sowie eine Reduzierung der Schwankungswerte zwischen dem minimalen und maximalen Monatsmittel, wobei die Maximalwerte vor und nach der Sanierung sich nur wenig unterscheiden.

7.3.1 Situation und Datenlage

Für die Verifizierung der Ergebnisse wurde das Regenüberlaufbecken I (RÜB I) als Verbundbecken mit dem dazugehörigen Einzugsgebiet herangezogen.

Nachfolgend sind die wichtigsten Kenndaten des RÜB I und des zugehörigen Teileinzugsgebiets dargestellt.

- Volumen Verbundbecken $V = 1.630 \text{ m}^3$
- Drosselabfluss $Q_D = 91 \text{ l/s}$
- Kanalisierte Fläche $A_E = 158,56 \text{ ha}$
- Undurchlässige Fläche $A_U = 65,78 \text{ ha}$
- Einwohner ca. 6.600
- Spezifisches Beckenvolumen $V_s = 24,8 \text{ m}^3/\text{ha}$
- Mittlerer Schmutzwasserabfluss $Q_{s24} = 14,01 \text{ l/s}$
- Mittlerer Fremdwasserabfluss $Q_f = 12,23 \text{ l/s}$
- Mittlerer Trockenwetterabfluss $Q_{t,24} = 26,24 \text{ l/s}$
- Fremdwasserzuschlag $FWZ = 87 \%$
- Regenabfluss aus Trennsystem $Q_{RT24} = 1,71 \text{ l/s}$

Für das RÜB I und das Gesamteinzugsgebiet der Kläranlage Billerbeck lagen folgende Messdaten als Grundlage für die Untersuchung vor:

- Jahresberichte über Einstau- und Entlastungsverhalten des RÜB I für die Jahre 2007 - 2011

- Fremdwasserbestimmung mit gleitendem Minimum für das gesamte Einzugsgebiet der KA Billerbeck für die Jahre 2006 – 2011
- monatliche Niederschlagssummen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) für die Station in der Nachbarstadt Coesfeld für die Jahre 2006 – 2011 (vgl. DWD 2013)

7.3.2 Auswertung von Messdaten

Aufgrund fehlender Messdaten über Entlastungsfrachten und -konzentrationen für das RÜB I beschränkt sich die Auswertung auf Überlaufvolumina (Klärüberlauf-, Beckenüberlauf- und Gesamtvolumen) sowie auf Häufigkeit und Dauer von Einstau- und Überlaufereignissen.

Die Auswertung der Daten erfolgte auf der Basis von Monatswerten.

Für das RÜB I liegen keine Messdaten zum Schmutz- und Fremdwasserabfluss vor. Deshalb wurde der Fremdwasserzuschlag aus der Ermittlung nach dem gleitenden Minimum für den Zufluss der Kläranlage zur Auswertung herangezogen.

Folgende Messgrößen wurden bei der Auswertung berücksichtigt:

- Anzahl der Tage mit Einstau im Monat
- Anzahl Einstauereignisse im Monat
- Einstaudauer im Monat
- Überlaufdauer im Monat (Klär- und Beckenüberlauf)
- Anzahl Überlaufereignisse im Monat (Klär- und Beckenüberlauf)
- Entlastungsvolumen Klärüberlauf im Monat
- Entlastungsvolumen Beckenüberlauf im Monat
- Gesamtentlastungsvolumen (Becken- und Klärüberlauf) im Monat
- Fremdwasserzuschlag im Monatsmittel
- Monatliche Niederschlagssummen für die Station Coesfeld des DWD

7.3.2.1 Voruntersuchung und Korrelationsanalyse

In der Voruntersuchung wurden für alle auszuwertenden Größen Korrelationsanalysen durchgeführt, um einen möglichen linearen Zusammenhang zwischen Fremdwasserzuschlag bzw. monatlicher Niederschlagssumme und den Kenngrößen des Einstau- und Entlastungsverhaltens des Beckens zu erfassen.

Der Korrelationskoeffizient ist ein Maß für den Grad des linearen Zusammenhangs zwischen zwei Merkmalen. Der Korrelationskoeffizient kann Werte zwischen -1 und $+1$ annehmen. Bei einem Wert von 0 besteht keinerlei linearer Zusammenhang zwischen den Merkmalen. Bei einem Wert von $+1$ besteht ein vollständiger positiver Zusammenhang und bei einem Wert von -1 ein vollständig negativer Zusammenhang. Bei Werten von 0 bis $+0,5$ bzw. $-0,5$ spricht man von einer geringen Korrelation, bei Werten von $0,5$ bis $0,8$ bzw. von $-0,5$ bis $-0,8$ von einer guten bis hohen Korrelation.

Zur Prüfung wurde der Korrelationskoeffizient nach Spearman-Rho (vgl. Zöfel, 2001, Seite 126) verwendet, da dieser weniger empfindlich gegenüber Ausreißern ist.

Nachfolgend ist exemplarisch für die Ergebnisse aller untersuchten Parameter das Ergebnis für das Gesamtentlastungsvolumen (Klär- und Beckenüberlauf) dargestellt (vgl. Tabelle 24).

Tabelle 24: Korrelationskoeffizienten für das Gesamtentlastungsvolumen

Untersuchte Korrelation	Korrelationskoeffizient r_s
Fremdwasserzuschlag und Gesamtentlastungsvolumen	0,112
Monatliche Niederschlagssumme und Gesamtentlastungsvolumen	0,724

Das Ergebnis zeigt, dass zwischen Fremdwasserzuschlag und Entlastungsvolumen nur ein sehr geringer linearer Zusammenhang besteht, während zwischen dem monatlichen Niederschlag und dem Gesamtentlastungsvolumen eine hohe Korrelation vorliegt.

Das Ergebnis ist auf alle untersuchten Einstau- und Entlastungskenngrößen übertragbar. Es lässt vermuten, dass der Einfluss des Fremdwasserzuschlags auf die untersuchten Kenngrößen durch den Einfluss und die Streuung des Monatsniederschlags überdeckt wird.

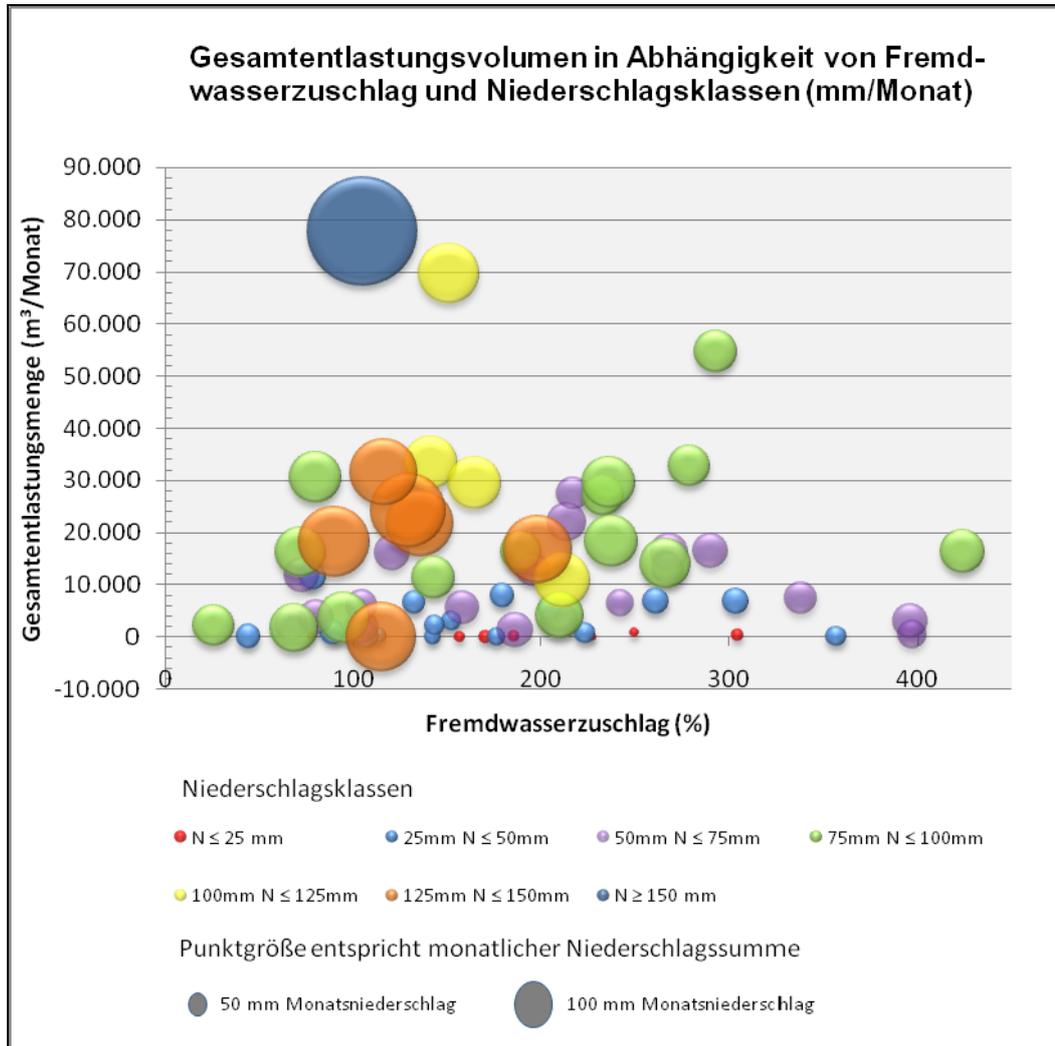
Aus diesem Grund wurden die untersuchten Kenngrößen auf der Grundlage des Monatsniederschlags in sechs Klassen mit einer Klassenbreite von 25 mm/Monat aufgeteilt (N):

- Klasse I ≤ 25 mm/Monat
- Klasse II $25 \text{ mm/Monat} < N \leq 50 \text{ mm/Monat}$
- Klasse III $50 \text{ mm/Monat} < N \leq 75 \text{ mm/Monat}$
- Klasse IV $75 \text{ mm/Monat} < N \leq 100 \text{ mm/Monat}$
- Klasse V $100 \text{ mm/Monat} < N \leq 125 \text{ mm/Monat}$
- Klasse VI $125 \text{ mm/Monat} < N \leq 150 \text{ mm/Monat}$

Für die Klasse $N > 150$ mm stand nur ein Wert zur Verfügung. Diese Klasse wurde deshalb in den weiteren Detailuntersuchungen nicht mit berücksichtigt.

Das Ergebnis dieser Einteilung ist für das monatliche Gesamtentlastungsvolumen in Abbildung 61 beispielhaft dargestellt. Die Fläche der Punkte entspricht der monatlichen Niederschlagssumme (mm/Monat).

Abbildung 61: Gesamtentlastungsvolumen in Abhängigkeit von Fremdwasserzuschlag und Niederschlagsklassen (mm/Monat)



eigene Darstellung

Zur Untersuchung der Frage, ob die Fremdwassersanierung einen Einfluss auf die Ergebnisse der Korrelationsanalyse hat, wurden zwei Stichproben gebildet. Es wurden jeweils für den Zeitraum vor und nach der Fremdwassersanierung Korrelationsanalysen durchgeführt.

Bei beiden Datenkollektiven wurde auf eine Einteilung nach Niederschlagsklassen verzichtet. Die Ergebnisse der Korrelationsanalysen sind in den nachfolgenden Tabellen dargestellt. Tabelle 25 zeigt die Korrelation mit den monatlichen Niederschlagssummen und Tabelle 26 die Korrelation mit dem Fremdwasserzuschlag.

Tabelle 25: Korrelation von Einstau- und Entlastungskenngrößen mit den monatlichen Niederschlagssummen vor und nach Fremdwassersanierung

Korrelation mit monatlichen Niederschlagssummen	Vor Fremdwassersanierung		Nach Fremdwassersanierung	
	Korrelationskoeffizient r_s	Anzahl Werte n	Korrelationskoeffizient r_s	Anzahl Werte n

Korrelation mit monatlichen Niederschlagssummen	Vor Fremdwassersanierung		Nach Fremdwassersanierung	
	Korrelationskoeffizient r_s	Anzahl Werte n	Korrelationskoeffizient r_s	Anzahl Werte n
Anzahl Tage mit Einstau im Monat (n)	0,483	12	0,833	38
Anzahl Einstauereignisse im Monat (n)	0,662	12	0,698	38
Einstaudauer im Monat (h, min)	0,406	12	0,805	37
Überlaufdauer im Monat (h, min)	0,445	11	0,800	32
Anzahl Überlaufereignisse im Monat (n)	0,661	21	0,290	32
Entlastungsvolumen Klärüberlauf im Monat (m ³)	0,471	21	0,832	32
Entlastungsvolumen Beckenüberlauf im Monat (m ³)	0,333	10	0,336	11
Gesamtentlastungsvolumen Becken- und Klärüberlauf im Monat (m ³)	0,449	21	0,830	32

Tabelle 26: Korrelation von Einstau- und Entlastungskenngrößen mit Fremdwasserzuschlag vor und nach Fremdwassersanierung

Korrelation mit Fremdwasserzuschlag	Vor Fremdwassersanierung		Nach Fremdwassersanierung	
	Korrelationskoeffizient r_s	Anzahl Werte n	Korrelationskoeffizient r_s	Anzahl Werte n
Anzahl Tage mit Einstau im Monat (n)	-0,175	12	-0,075	38
Anzahl Einstauereignisse im Monat (n)	-0,743	12	-0,126	38
Einstaudauer im Monat (h, min)	-0,014	12	-0,109	37
Überlaufdauer im Monat (h, min)	-0,036	11	-0,060	32
Anzahl Überlaufereignisse im Monat (n)	0,126	21	-0,152	32
Entlastungsvolumen Klärüberlauf im Monat (m ³)	0,366	21	-0,078	32
Entlastungsvolumen Beckenüberlauf im Monat (m ³)	-0,091	10	-0,318	11
Gesamtentlastungsvolumen Becken- und Klärüberlauf im Monat (m ³)	0,403	21	-0,116	32

Die Korrelationsanalyse zeigt, dass die Reduktion des Fremdwasseranfalls einen Einfluss auf die Korrelation zwischen Einstau- und Entlastungsgrößen und Fremdwasserzuschlag bzw. monatlicher Niederschlagssumme hat.

Durch den geringeren Fremdwasserzuschlag reduziert sich dessen Einfluss auf das Einstau- und Entlastungsverhalten des Regenüberlaufbeckens und der Einfluss des Niederschlagsgeschehens auf diese Größen tritt noch stärker zu tage.

7.3.2.2 Voruntersuchung Regressionsanalyse

Ergänzend zur Korrelationsanalyse wurde eine Regressionsanalyse (lineare Regression) durchgeführt, um eine evtl. vorhandene Beziehung zwischen dem Gesamtentlastungsvolumen (abhängige Variable) und dem Fremdwasserzuschlag bzw. der monatlichen Niederschlagssumme zu erfassen und gegebenenfalls auch quantitativ zu beschreiben. Ziel ist hierbei, durch eine oder mehrere unabhängige Variablen die Entwicklung einer abhängigen Variablen zu prognostizieren. Als Maß für die Qualität der Regression bzw. Prognose wurde R gewählt. R ist der Korrelationskoeffizient zwischen den beobachteten und regressionsanalytisch geschätzten Werten der zu erklärenden Variablen. Er gibt an, wie gut auf Grundlagen der Regressionsgleichung die abhängige Variable geschätzt werden kann.

Die Regression zwischen Fremdwasserzuschlag und Gesamtentlastungsvolumen zeigt nur eine geringe Qualität ($R = 0,004$). Der Vergleich der Ergebnisse für den Zeitraum vor und nach der Fremdwassersanierung ergibt ein zur Korrelationsanalyse vergleichbares Bild. Der Einfluss des Fremdwasserzuschlags auf das Entlastungsverhalten geht durch die Fremdwassersanierung zurück.

Die Regression zwischen monatlicher Niederschlagssumme und Gesamtentlastungsvolumen zeigt eine hohe Qualität ($R = 0,71$). Für den Zeitraum nach der Fremdwassersanierung nimmt diese noch zu. Dies bedeutet, dass der Einfluss des Niederschlagsgeschehens auf das Entlastungsverhalten verstärkt wird.

Die beste Qualität der Regression wird erreicht, wenn sowohl der Fremdwasserzuschlag als auch der Monatsniederschlag verwendet werden. Nach der Fremdwassersanierung verbessert sich die Qualität signifikant (vgl. Tabelle 27).

Tabelle 27: Regressionsanalyse für die abhängige Variable Gesamtentlastungsvolumen vor und nach Fremdwassersanierung

Unabhängige Variable	Vor Fremdwassersanierung	Nach Fremdwassersanierung
Fremdwasserzuschlag	0,329	0,035
Monatliche Niederschlagssumme	0,408	0,799
Fremdwasserzuschlag und monatliche Niederschlagssumme	0,581	0,820

7.3.2.3 Detailuntersuchung und Auswertung

Unter Verwendung der in Klassen eingeteilten Einstau- und Entlastungskenngrößen wurde erneut eine Korrelationsanalyse durchgeführt und der Korrelationskoeffizient nach Spearman-Rho ermittelt. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt (vgl. Tabelle 28).

Tabelle 28: Korrelation von Einstau- und Entlastungskenngrößen mit dem Fremdwasserzuschlag nach Klassen auf der Grundlage der monatlichen Niederschlagssummen

Niederschlagsklassen	I	II	III	IV	V	VI
	≤ 25 mm	25 mm < N ≤ 50 mm	50 mm < N ≤ 75 mm	75 mm < N ≤ 100 mm	100 mm < N ≤ 125 mm	125 mm < N ≤ 150 mm
Anzahl Tage mit Einstau im Monat (n)						
Korrelationskoeffizient r_s	0,563	0,153	0,523	-0,360	-1,000	-0,300
Anzahl Werte n	9	13	16	12	3	5
Anzahl Einstauereignisse im Monat (n)						
Korrelationskoeffizient r_s	0,615	-0,500	0,024	-0,330	0,866	0,400
Anzahl Werte n	9	13	16	12	3	5
Einstaudauer im Monat (h, min)						
Korrelationskoeffizient r_s	0,217	0,007	0,629	-0,133	-0,500	0,400
Anzahl Werte n	9	12	16	12	3	5
Überlaufdauer im Monat (h, min)						
Korrelationskoeffizient r_s	1,000	0,176	0,197	0,769	0,500	-0,500
Anzahl Werte n	3	10	16	12	3	5
Anzahl Überlaufereignisse im Monat (n)						
Korrelationskoeffizient r_s	-0,866	-0,206	0,138	0,618	-0,400	0,600
Anzahl Werte n	3	13	19	15	4	5
Entlastungsvolumen Klärüberlauf im Monat (m³)						
Korrelationskoeffizient r_s	-0,500	0,148	0,070	0,689	-0,400	-0,700
Anzahl Werte n	3	13	19	15	4	5
Entlastungsvolumen Beckenüberlauf im Monat (m³)						
Korrelationskoeffizient r_s	-	-0,800	-0,086	-0,095	-1,000	0,300
Anzahl Werte n	0	4	6	8	3	5
Gesamtentlastungsvolumen Becken- und Klärüberlauf im Monat (m³)						
Korrelationskoeffizient r_s	-0,500	0,198	0,184	0,607	-0,800	-0,400
Anzahl Werte n	3	13	19	15	4	5

Tabelle 28 kann wie folgt beschrieben werden:

- Anzahl der Tage mit Einstau

Der Korrelationskoeffizient liegt in Abhängigkeit von der Niederschlagsklasse im Bereich von 0,563 bis -1,0 ein. Die positiven Werte (steigender Zusammenhang) betreffen die Niederschlagsklassen I bis III, die negativen Werte die Niederschlagsklassen IV bis VI. Der Wechsel zwischen steigendem und fallendem Zusammenhang erklärt sich aus der Tatsache, dass mit steigendem Fremdwasserzuschlag und Niederschlagsvolumen die Anzahl der Tage mit Einstau zwar zunehmen, aber ab einem bestimmten Punkt das Beckenvolumen überschritten wird und das Becken entlastet. Das Einstau- und Entlastungsverhalten wird in diesen Klassen im Wesentlichen vom Niederschlagsvolumen bestimmt.

Der Korrelationskoeffizient im Bereich von -0,36 bis 0,563 zeigt, dass nur eine geringe Abhängigkeit gegeben ist. Aufgrund der geringen Anzahl der Werte (n = 3) ist der Korrelationskoeffizient von -1,0 als „Ausreißer“ zu betrachten

- Anzahl der Einstauereignisse

Der Korrelationskoeffizient zeigt für diese Größe ein uneinheitliches Bild. Er schwankt zwischen -0,5 und 0,615, ohne dass eine Tendenz in Abhängigkeit von der Niederschlagsklasse auftritt.

Mit steigendem Fremdwasserzuschlag ist zu erwarten, dass die Anzahl der Einstauereignisse zunehmen (siehe Niederschlagsklasse I), bis die Einstauereignisse ineinander übergehen (d. h. die Anzahl abnimmt) und oder das Becken entlastet. Dadurch ist eine ähnliche Tendenz wie bei den Einstautagen zu erwarten. Die davon abweichenden Schwankungen sind dem Einfluss des Niederschlagsgeschehens zuzurechnen.

- Einstaudauer

Für die Einstaudauer zeigt sich erwartungsgemäß ein vergleichbares Bild, wie für die Anzahl der Tage mit Einstau. Die Abweichungen sind mit der Variabilität des Niederschlags und mit der geringen Anzahl von Messwerten in den Niederschlagsklassen V und VI zu erklären.

- Entlastungsgrößen (Überlaufdauer, Anzahl Ereignisse, Entlastungsvolumina über Klär- und Beckenüberlauf) sowie Gesamtentlastungsvolumen

Bei einem Becken mit Klär- und Beckenüberlauf nimmt bei vergleichbaren Niederschlagsverhältnissen mit zunehmendem Fremdwasserzufluss das Entlastungsvolumen über den Klärüberlauf zu, bis der Beckenüberlauf anspringt. Wenn beide Überläufe entlasten, bleibt – abhängig von der Trennschärfe – das Entlastungsvolumen über dem Klärüberlauf nahezu konstant, während das Entlastungsvolumen über dem Beckenüberlauf mit steigendem Fremdwasserzufluss zunimmt.

Damit ist folgendes Ergebnis für die Korrelationsanalyse zu erwarten:

- Für die Überlaufdauer besteht ein positiver Zusammenhang zum Fremdwasserzuschlag. Dies ist bis auf Niederschlagsklasse VI gegeben. Eine gute bis hohe Korrelation besteht in den Niederschlagsklassen I, IV und V, eine geringe Abhängigkeit in den Klassen II und III.
- Für die Anzahl der Überlaufereignisse kann sowohl eine positive wie negative Abhängigkeit vom Fremdwasserzuschlag bestehen, da eine Zunahme des Fremdwasserzuschlags zu einer Zunahme der Zahl der Ereignisse führen kann oder aber zu einer Abnahme der Anzahl, da die einzelnen Ereignisse ineinander übergehen. Einen starken Einfluss hat bei dieser Größe sicher auch die Anzahl der Niederschlagsereignisse.
- Für das Entlastungsvolumen über den Klärüberlauf besteht eine positive Abhängigkeit, solange der zunehmende Fremdwasserzufluss nur über den Klärüberlauf entlastet wird und das Niederschlagsvolumen ausreicht, dass der Überlauf anspringt. Dies ist für die Niederschlagsklasse IV gegeben. Ist zusätzlich der Beckenüberlauf in Betrieb, kann der zunehmende Fremdwasserzufluss evtl. auch nur zu einer Zunahme des Entlastungsvolumens über den Beckenüberlauf führen (Niederschlagsklasse II, III, V, VI). Dies führt zu sehr geringen oder negativen Korrelationskoeffizienten, wobei auch die geringe Zahl von Messwerten zu beachten ist.
- Zwischen Entlastungsvolumen über den Beckenüberlauf und dem Fremdwasserzuschlag ist eine positive Abhängigkeit zu vermuten. Die tatsächlich ermittelten positiven wie negativen Koeffizienten von 0,3 bis -1,0 sind durch den Niederschlagseinfluss, dem besonders der Beckenüberlauf unterworfen ist, und die geringe Zahl der Messwerte begründet.

Die Korrelationskoeffizienten im Bereich von 0,184 bis 0,607 der Niederschlagsklassen II bis IV bestätigen die aus den Berechnungsansätzen ableitbare positive Abhängigkeit des Gesamtentlastungsvolumens vom Fremdwasserzuschlag.

Die negativen Korrelationskoeffizienten der Klasse I, V und VI erklären sich aus der geringen Anzahl von Werten bzw. aus der Überlagerung der Abhängigkeit vom Fremdwasserzuschlag durch das Niederschlagsgeschehen.

7.4 Zusammenfassung

Aus den rechnerischen Bemessungsgrundlagen nach a.a.R.d.T. ergibt sich ein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Fremdwasserzuschlag und den Anforderungen an das Beckenvolumen, das zur Regenwasserbehandlung im Einzugsgebiet einer Kläranlage zur Verfügung stehen muss. Mit zunehmendem Fremdwasserzuschlag erhöht sich das rechnerisch erforderliche Beckenvolumen im Einzugsgebiet.

Liegt der tatsächliche Fremdwasserzufluss zum Becken im Betrieb über dem bei der Bemessung angesetzten Wert, so kann dies zu höheren Entlastungsdauern (Überlaufdauer T_{ue}) und -volumina (Überlaufvolumen VQ_{ue}) führen. Als Folge kommt es durch die Zunahme der Entlastungsfracht (CSB-Überlauffracht SF_{ue}) zu einer erhöhten Gewässerbelastung an den Einleitungsstellen. Dies kann zeitweise zu einer höheren Gewässerbelastung führen als durch den Ablauf der Kläranlage.

Diese grundlegenden theoretischen Zusammenhänge wurden in einem ersten Schritt dargestellt und erläutert (siehe Kapitel 7.1).

Anschließend wurde untersucht, inwieweit sich die theoretischen Ansätze in der Praxis wiederfinden. Hierzu wurden zwei Fallbeispiele ausgewählt:

- Regenüberlaufbecken in der Gemeinde Schwanau, Ortsteil Ottenheim (siehe Kapitel 7.2)
- Regenüberlaufbecken in der Stadt Billerbeck (siehe Kapitel 7.3)

Für den Teilort Ottenheim der Gemeinde Schwanau wurden die Zusammenhänge von Fremdwasserzuschlag und Bemessungsanforderungen sowie zwischen Fremdwasserzuschlag und Einstau- und Entlastungsverhalten eines Regenüberlaufbeckens unter Verwendung des Schmutzfrachtmodells KOSIM untersucht.

Dafür wurde zuerst die Ermittlung des erforderlichen Beckenvolumens für verschiedene Fremdwasserzuschläge, abgestimmt auf die hydraulische Leistungsfähigkeit der bestehenden Kläranlage durchgeführt.

Darauf aufbauend wurde dann unter Verwendung einer 30-jährigen Regenreihe das Systemverhalten von Einzugsgebiet und Regenüberlaufbecken für verschiedene Fremdwasserzuschläge untersucht und ausgewertet.

Der Zusammenhang zwischen zunehmendem Fremdwasserzuschlag und zunehmender Einstau- und Entlastungsdauer sowie Entlastungsvolumina bei vergleichbaren Niederschlagsverhältnissen wurde dadurch beispielhaft dargestellt.

Es ist anzumerken, dass bei diesen Betrachtungen nur der Parameter Fremdwasserzuschlag variiert wurde, nicht aber andere maßgebende Einflussgrößen wie Niederschlag und Schmutzwasserzufluss.

In der Realität treten dagegen ständig wechselnde Belastungssituationen mit zufälligen Kombinationen aus Schmutz-, Fremd- und Regenwasserzufluss auf. Daher wurden im zweiten Fallbeispiel „Billerbeck“ die Ergebnisse und Zusammenhänge aus der Langzeitsimulation für Ottenheim anhand von Messdaten für ein bestehendes Becken verifiziert.

Die Stadt Billerbeck hat im Einzugsgebiet des RÜB I Fremdwassersanierungen in der Zeit von Februar bis Oktober 2008 durchgeführt und durch ein Messprogramm begleitet. Dadurch konnte für den Zeitraum von 2006 bis 2011 auf Datenmaterial für den Fremdwasserabfluss zur Kläranlage sowie über das Einstau- und Entlastungsverhalten des RÜB I zugegriffen werden. Messdaten zu Überlauffrachten und -konzentrationen standen nicht zur Verfügung.

Die vorhandenen Messdaten wurden statistisch ausgewertet. Um den Zusammenhang zwischen Fremdwasserzuschlag und Einstau- und Entlastungskenngrößen zu erfassen und zu bewerten, wurde eine Korrelationsanalyse¹¹ sowie eine lineare Regressionsanalyse¹² durchgeführt.

Die Auswertung hat gezeigt, dass der Zusammenhang zwischen Fremdwasserzuschlag und Entlastungsverhalten am RÜB I in Billerbeck vorhanden ist.

Die Niederschlagsmengen wirken sich insbesondere bei starken Regenereignissen so stark auf die Regentlastungsmengen aus, dass der Einfluss des Fremdwasserzuschlags überlagert wird. Um dem entgegen zu wirken wurden 6 Niederschlagsklassen von < 25 mm/Monat bis >150 mm/Monat eingeführt.

Durch diese notwendige Klasseneinteilung konnte zwar die Überlagerung des Fremdwassereinflusses durch das Niederschlagsgeschehen vermindert werden, dadurch reduzierte sich aber gleichzeitig die Anzahl der verfügbaren Werte innerhalb der einzelnen Klassen. Deshalb konnte nicht für alle möglichen Wirkungsgrößen der Einfluss zusätzlich zum Fremdwasserzuschlag und die daraus resultierenden Wechselwirkungen ausreichend erfasst werden. Auch konnte der zweifelsohne vorhandene Zusammenhang zwischen zunehmendem Fremdwasserzuschlag und zunehmender Entlastungstätigkeit am Entlastungsbauwerk RÜB I nicht durchgehend über alle Niederschlagsklassen aufgezeigt werden. Für einzelne Untersuchungsgrößen konnte aber in einzelnen Niederschlagsklassen ein Zusammenhang mit dem Fremdwasserzuschlag dargestellt werden, beispielsweise für die Anzahl der Einstauereignisse, für das Entlastungsvolumen des Klärüberlaufs oder das Gesamtentlastungsvolumen in der Niederschlagsklasse IV.

¹¹ Eine **Korrelation** als Maß für den Grad des linearen Zusammenhangs zwischen den zwei Variablen (hier: Entlastungsverhalten der Regentlastungsanlagen und Fremdwasserzufluss oder Niederschlag) soll zwei Fragen klären:
- Wie stark ist der Zusammenhang? Die Maßzahlen der Korrelation liegen betragsmäßig meist in einem Bereich von Null (=kein Zusammenhang) bis Eins (=starker Zusammenhang).
- Falls möglich, welche Richtung hat der Zusammenhang? positive Korrelation (wenn mehr Fremdwasserzufluss oder Niederschlag, dann mehr Regentlastung) und negative Korrelation (wenn mehr Fremdwasserzuschlag oder Niederschlag, dann weniger Regentlastung)

¹² Die **Regression** dient zur Erfassung des Einflusses einer oder mehrerer unabhängiger Variablen auf eine abhängige Variable und der Prognose einer abhängigen (hier Entlastungsvolumen) aus einer oder mehreren unabhängigen Variablen (hier Fremdwasserzufluss und Monatsniederschlag). Die Qualität wird durch den multiplen Korrelationskoeffizienten R beschrieben. Dieser beschreibt den Zusammenhang zwischen den gewählten unabhängigen und abhängigen Variablen sowie zwischen den gemessenen und prognostizierten Werten der abhängigen Variablen. R liegt in einem Bereich von Null (= keine Zusammenhang) bis Eins (starker Zusammenhang).

8 Nachhaltigkeit von Kanalsanierungstechniken

Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung der Fremdwasserproblematik sind nicht nur die Auswirkungen reduzierter Fremdwasserzuflüsse zur Kläranlage (vgl. Kapitel 6) und zu den Entlastungsbauwerken (vgl. Kapitel 7) von Interesse, sondern auch die Ökoeffizienz von Kanalsanierungstechniken. Dem Nutzen einer flächenhaften Abdichtung undichter Abwasserleitungen und -kanälen (z.B. Reduzierung des Fremdwasseranteils, Gewässer- und Bodenschutz) stehen der Aufwand und die Risiken gegenüber, die sich bei Kanalsanierungen, beispielsweise durch den Einsatz energieintensiver Techniken oder ökologisch bedenklicher Baumaterialien, ergeben.

Im nachfolgenden Kapitel 8.1 werden nach Begriffsdefinitionen Grundlagen der Kanalsanierungstechniken erläutert. Kapitel 8.2 zeigt die Definition von exemplarischen Fallbeispielen, die in der in Kapitel 8.3 dargestellten Vorgehensweise zur Ökoeffizienzbewertung verwendet werden. Die Umweltverträglichkeit von Kanalsanierungsmitteln wird in Kapitel 8.4 behandelt. Kapitel 8.5 enthält ein Fazit.

8.1 Grundlagen

8.1.1 Nachhaltigkeit und Ökoeffizienz

Der Begriff der Nachhaltigkeit ist ein abstrakter Begriff, der je nach Fragestellung und Blickwinkel unterschiedlich konkretisiert wird. Der im vorliegenden Bericht verwendete Begriff „Ökoeffizienz“ wird in engem Zusammenhang mit „Nachhaltigkeit“ gesehen. Nachfolgend einige Beispiele für die Verwendung der Begriffe:

- Bei der allgemeinen Definition von „Nachhaltigkeit“ wird häufig auf den Begriff „Nachhaltige Entwicklung“ (sustainable development) verwiesen, der im Jahr 1987 den sog. Brundtland-Bericht der Vereinten Nationen (UN 1987, Part I, Chapter 2) Eingang gefunden hat. In der deutschen Übersetzung des Brundtland-Berichtes (vgl. Hauff 1987, Seite 46) ist die „Nachhaltige Entwicklung“ wie folgt definiert: *„Nachhaltig ist eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generation zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen.“*
- In einer gemeinsamen Veröffentlichung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und des Bundesverbandes der Deutschen Industrie e.V. (BDI) wird deutlich gemacht (vgl. BMU/BDI 2002, Seite V), dass die *„Nachhaltigkeit einen Zustand menschlicher Wohlfahrt beschreibt, in dem keine Ausbeutung stattfindet und die Natur dauerhaft genutzt und nicht irreversibel beschädigt wird.“*
- Im Fortschrittsbericht der Bundesregierung zur nationalen Nachhaltigkeitsstrategie wird die Nachhaltigkeit als ein Prinzip bezeichnet, *„...das wirtschaftliche Leistungsfähigkeit mit ökologischer Verantwortung und sozialer Gerechtigkeit verbindet.“* (vgl. BR 2012, Seite 12).
- Im Zusammenhang mit der Qualität von Bauwerken wird die Nachhaltigkeit in der DIN EN 15643, Teil 1 (vgl. DIN EN 15643-1, Seite 16) definiert als *„Fähigkeit eines Systems, für gegenwärtige und zukünftige Generationen erhaltbar zu sein“*.
- Seit Oktober 2012 wird Ökoeffizienz in der DIN EN ISO (vgl. DIN EN ISO 14045, 2012) behandelt. Diese internationale Norm beschreibt erstmals die Prinzipien, die Anforderungen und die Leitlinien der Ökoeffizienzbewertung von Produktsystemen. Der Begriff der Ökoeffizienz wird laut DIN EN ISO 14045 als ein *„Aspekt der Nachhaltigkeit“* ange-

sehen, „wobei die Umweltleistung eines Produktsystems mit dem zugehörigen Produktsystemnutzen in Beziehung gesetzt wird.“ (vgl. DIN EN ISO 14045, 2012, Seite 7).

- Eine konkretere Definition zu diesem Begriff findet sich in der Veröffentlichung „Nachhaltigkeitsmanagement in Unternehmen“ des BMU und des BDI (vgl. BMU/BDI 2002, Seite 9). Demnach ist die „...Öko-Effizienz definiert als das Verhältnis zwischen einer ökonomischen, monetären und einer physikalischen (ökologischen) Größe.“ Weiter wird ausgeführt, dass bei der Ökoeffizienzanalyse „...die ökonomische Größe als Wertschöpfung“ und „die ökologische Größe als Schadschöpfung in das Verhältnis“ mit einfließt.

Die hier entwickelte Vorgehensweise zur Bewertung der Ökoeffizienz und Nachhaltigkeit von Kanalsanierungstechniken orientiert sich im Wesentlichen an der neuen DIN EN ISO 14045, 2012 (Umweltmanagement - Ökoeffizienzbewertung). Darüber hinaus wurden auch Aspekte der UBA-Methode zur Bewertung von Ökobilanzen (UBA 1999, Seite 11 ff.) aufgegriffen.

8.1.2 Kanalsanierungstechniken

Im Zusammenhang mit dem Themengebiet Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden wird der Begriff bauliche Sanierung in DIN EN 752 (vgl. DIN EN 752, 2008, Seite 11) definiert als „Maßnahme zur Wiederherstellung oder Verbesserung vorhandener Entwässerungssysteme“. Es wird eine Unterteilung in drei Verfahrensgruppen vorgenommen: Reparatur, Renovierung und Erneuerung.

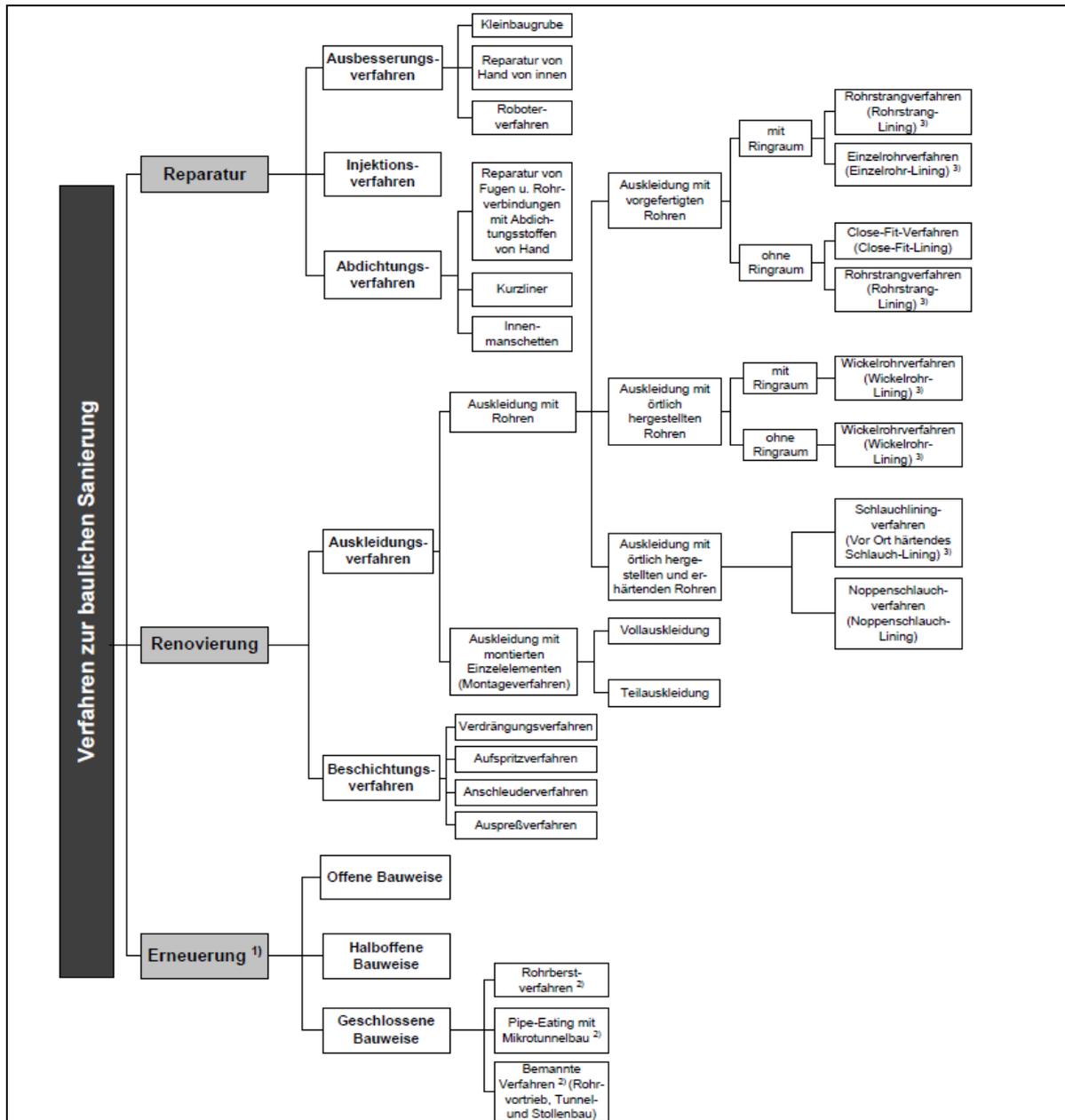
Diese Oberbegriffe werden wie folgt definiert (DIN EN 752, 2008, Seite 10 und Seite 13):

- **Reparaturen** sind alle Maßnahmen zur Behebung örtlich begrenzter Schäden.
- Alle Maßnahmen zur Verbesserung der aktuellen Funktionsfähigkeit von Abwasserleitungen und -kanälen unter vollständiger oder teilweiser Einbeziehung ihrer ursprünglichen Substanz werden als **Renovierungen** bezeichnet.
- Unter dem Begriff **Erneuerung** wird die Herstellung neuer Abwasserleitungen und -kanäle in der bisherigen oder einer anderen Linienführung definiert, wobei die neuen Anlagen die Funktion der ursprünglichen Abwasserleitungen und -kanäle einbeziehen.

Die Grundlagen der Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden werden im Merkblatt ATV-DVWK-M 143-1 (vgl. ATV-DVWK-M 143-1, 2004, Seite 21) beschrieben. Abbildung 62 gibt einen Überblick über die jeweiligen Kanalsanierungstechniken innerhalb der einzelnen Verfahrensgruppen Reparatur, Renovierung und Erneuerung.

Mit Blick auf die Fragestellung dieses Forschungsvorhabens ist insbesondere auch von Interesse, welche Kanalsanierungstechniken bei Kanalabdichtungen am häufigsten zum Einsatz kommen. Gerade die Ökoeffizienz und Nachhaltigkeit weit verbreiteter Techniken stehen unmittelbar im Zusammenhang mit den Bemühungen, das Fremdwasseraufkommen in Deutschland flächendeckend zu reduzieren.

Abbildung 62: Verfahren zur baulichen Sanierung von Entwässerungssystemen

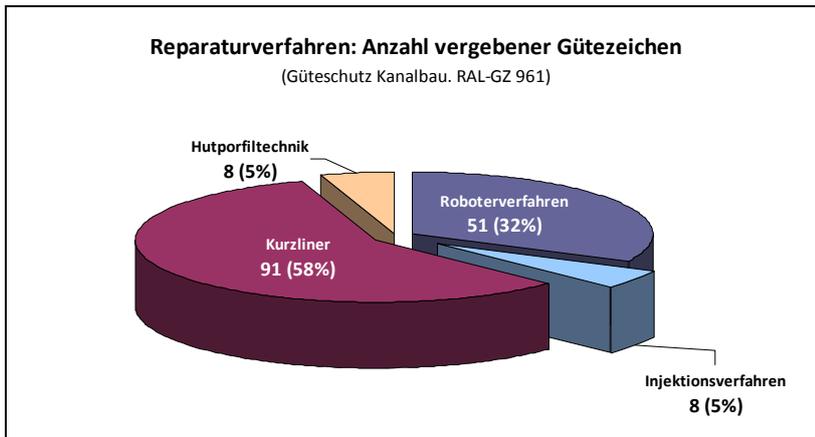


Quelle: ATV-DVWK-M 143-1, 2004, Seite 21

Als Kriterium für die Markverbreitung von Kanalsanierungstechniken kann die Gütezeichenvergabe herangezogen werden. Laut Zech (2009, Seite 571) lassen sich aus der Anzahl der vergebenen Gütezeichen des Güteschutzes Kanalbau (RAL-GZ 961) Rückschlüsse ziehen, wie weit verbreitet die einzelnen Sanierungstechniken sind.

Entsprechend Abbildung 63 kommen in der Gruppe der Reparaturverfahren die Sanierung mittels Kurzliner (58%) und das Roboterverfahren (32 %) am häufigsten zum Einsatz. Über die Verbreitung des Einsatzes von Innenmanschetten liegen keine Informationen vor.

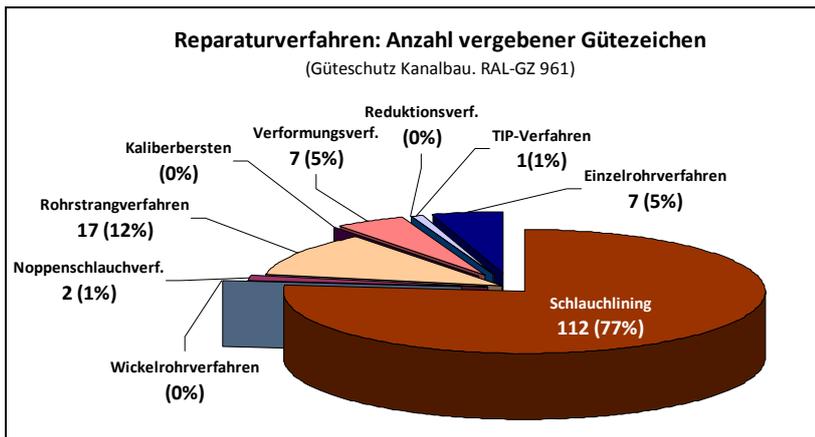
Abbildung 63: Vergebene Gütezeichen in der Gruppe der Reparaturverfahren



eigene Darstellung, Datengrundlage aus (Zech, 2009, Seite 571)

Entsprechend Abbildung 64 kommt in der Gruppe der Renovierungsverfahren das Schlauchliningverfahren mit 77% am häufigsten vor.

Abbildung 64: Vergebene Gütezeichen in der Gruppe der Renovierungsverfahren



eigene Darstellung, Datengrundlage aus (Zech, 2009, Seite 571)

Laut DWA-Umfrage 2009 werden mehr als ein Drittel aller Sanierungen als Erneuerungsmaßnahmen in offener Bauweise durchgeführt (vgl. DWA 2009, Seite 9). Innerhalb der Verfahrensgruppe „Erneuerungsverfahren“ ist die offene Bauweise mit ca. 80% eindeutig am häufigsten vertreten.

8.2 Fallbeispiele

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde die Ökoeffizienz und Nachhaltigkeit ausgewählter Kanalsanierungstechniken anhand exemplarischer Fallbeispiele ermittelt. Hierzu wurde zunächst ein Grundszenario „Bestand“ festgelegt, welches die örtlichen Randbedingungen im Bereich einer Sanierungsmaßnahme beschreibt (vgl. Tabelle 29).

Als Grundszenarios „Bestand“ wurde eine Situation mit dichter Bebauung und hohem Verkehrsaufkommen angenommen, wie sie häufig in den Innenstädten vorzufinden ist. Die örtlichen Randbedingungen für das Grundszenario sind in Tabelle 29 entsprechend dargestellt.

Tabelle 29: Grundszenario „Bestand“

Gegenstand	Merkmale
Natürliche Gegebenheiten	
Topographie	ebenes Gelände
Geologie	bindiger Boden, Grundwasseroberfläche 1,50 m unter Geländeoberkante
Raum- und Siedlungsstruktur	
Flächennutzung	Innenstadtbereich, reines Wohngebiet, dichte Bebauung
Siedlungsstruktur	durchschnittliche Geschößzahl: 4, Baujahr 1960, Keller vorhanden
Altlasten	keine Altlasten
Infrastrukturanlagen (außer Abwasser)	
Wasserversorgung Privathaushalte	über öffentliche Trinkwasserversorgung
Verkehrsnetz	Hauptsammelstraße (HSS) gemäß RAST (vgl. RAST 2006), Straßenbreite: 15,50 m (Fahrbahnbreite: 6,50 m), Fahrzeugaufkommen bis 1.500 Kfz/h (max. zul. 50 km), Belastung: SLW 60
Vegetation	
Im Straßenraum	Straßenbäume beidseitig (Alter: ca. 50 Jahre)

Mit Blick auf den zu sanierenden Abwasserkanal wird unterschieden zwischen der Entwässerung im Trennsystem und im Mischsystem. Die angenommenen technischen Merkmale beider Entwässerungsarten des zu sanierenden Abwasserkanals wie Rohrwerkstoff, Nennweite, Baujahr und Tiefenlage sind in Tabelle 30 dargestellt.

Tabelle 30: Randbedingungen/Merkmale Beispiele „Trennsystem“ und „Mischsystem“

Beispiel „Trennsystem“	Beispiel „Mischsystem“
<p>Merkmale Beispiel „Trennsystem“: Schmutzwasserkanal DN 300 (Freispiegelleitung) Rohrwerkstoff Altrohr: Steinzeug Rohrwanddicke Altrohr: 38 mm Baujahr Altrohr: 1960 Haltungslänge: 50 m Mittlere Einbautiefe: 3,0 m Rohrsohle unter GOK 10 seitliche Hausanschlüsse im Bereich einer Haltung</p>	<p>Merkmale Beispiel „Mischsystem“: Mischwasserkanal DN 900 (Freispiegelleitung) Rohrwerkstoff Altrohr: Beton Rohrwanddicke Altrohr: 90 mm Baujahr Altrohr: 1960 Haltungslänge: 50 m Mittlere Einbautiefe: 3,0 m Rohrsohle unter GOK 10 seitliche Hausanschlüsse im Bereich einer Haltung</p>

Für die Betrachtung der Ökoeffizienz und Nachhaltigkeit von Kanalsanierungstechniken (vgl. Kapitel 8.3) wird vereinfachend angenommen, dass es infolge der Kanalsanierung aufgrund eines niedrigen Grundwasserstandes unterhalb der Kellersohlen zu keiner Gebäudevernässung oder Beeinträchtigung der Vegetation kommen kann.

Für den zu sanierenden Abwasserkanal wurden Schadensszenarien angenommen (vgl. Abbildung 65). Hierbei wurde unter anderem auch auf die Erfahrungen der am Projekt beteiligten Kanalnetzbetreiber zurückgegriffen.

Ausgehend vom Grundszenario „Bestand“ und ausgehend von den grundsätzlichen technischen Auslegungen als Trennsystem oder Mischsystem ergeben sich gemäß Abbildung 65 vier grundsätzlich mögliche Schadensszenarien.

Für jedes der in Abbildung 65 dargestellten vier Schadensszenarien wurden ein Sanierungsszenario angenommen und jeweils zwei alternative Kanalsanierungstechniken ausgewählt (vgl. Kapitel 8.1.2). Als Kriterium für die Auswahl der Kanalsanierungstechniken wurde die Marktpräsenz innerhalb der jeweiligen Verfahrensgruppe zu Grunde gelegt (vgl. Kapitel 8.1.2). Die Sanierungsszenarien beinhalten jeweils die Verfahrensbeschreibung sowie Angaben zu den verwendeten Baumaterialien und Werkstoffen.

Die hier entwickelte Vorgehensweise zur Ökoeffizienzbewertung von Kanalsanierungstechniken wird beispielhaft für das Trennsystem im Sinne einer Methodenentwicklung durchgeführt.

Die entwickelte Vorgehensweise kann entsprechend auch auf das Fallbeispiel des Mischsystems angewendet werden. Das Mischsystem unterscheidet sich vom Trennsystem vor allem durch den größeren Innendurchmesser des Abwasserkanals (900 mm gegenüber 300 mm). Der größere Innendurchmesser hat einen größeren Umfang der Straßenbauarbeiten (Breite der Baugrube 1,9 m gegenüber 0,9 m) und der zu transportierenden Mengen zur Folge. Die Ergebnisse der Ökoeffizienzbewertung für das Trennsystem können in ihrer Rangfolge auch für das Mischsystem angenommen werden.

Abbildung 65: Schadens- und Sanierungsszenarien

Grundszenario „Bestand“ Örtliche Randbedingungen: Topographie, Geologie, Raum- und Siedlungsstruktur, Infrastrukturanlagen, Vegetation			
Trennsystem zu sanierender Schmutzwasserkanal DN 300		Mischsystem zu sanierender Mischwasserkanal DN 900	
Schadensszenario I Schaden Nr. 1: ein punktueller Schaden in der Haltung; Schaden Nr. 2: ein schadhafter Anschlussstutzen	Schadensszenario II Schaden Nr. 3: mehrere Rohrverbindungen in der Haltung schadhaf	Schadensszenario I Schaden Nr. 1: ein punktueller Schaden in der Haltung; Schaden Nr. 2: ein schadhafter Anschlussstutzen	Schadensszenario II Schaden Nr. 3: mehrere Rohrverbindungen in der Haltung schadhaf
Sanierungsszenario Grabenlose Reparatur REPA Injektion, Verpressung <i>alternativ</i> Offene Reparatur REPA Bauteilaustausch, Außenmanschette mittels Kleingrube	Sanierungsszenario Grabenlose Renovierung RENO <u>Schlauchlining</u> <i>alternativ</i> Offene Erneuerung ERNE neuer Schmutzwasserkanal mittels offener Bauweise	Sanierungsszenario Grabenlose Reparatur REPA Injektion, Verpressung <i>alternativ</i> Offene Reparatur REPA Bauteilaustausch, Außenmanschette mittels Kleingrube	Sanierungsszenario Grabenlose Renovierung RENO <u>Schlauchlining</u> <i>alternativ</i> Offene Erneuerung ERNE neuer Mischwasserkanal mittels offener Bauweise

Die farblich hervorgehobenen Schadens- und Sanierungsszenarien werden als Fallbeispiele in der nachfolgenden Ökoeffizienzbewertung verwendet.

Folgende exemplarische Fallbeispiele (Schadens- und Sanierungsszenarien) werden für die methodische Darstellung der entwickelten Vorgehensweise zur Ermittlung der Ökoeffizienz und Nachhaltigkeit von Kanalsanierungstechniken in Kapitel 8.3 verwendet:

- Trennsystem, Schadenszenario I, Sanierungsszenario einer grabenlosen Reparatur (REPA) mit Injektion zur Vorabdichtung und Einziehen eines Kurzliners
- Trennsystem, Schadenszenario I, Sanierungsszenario einer offenen Reparatur (REPA) mittels Kleinbaugrube und Austausch von Bauteilen und Einbau einer Außenmanschette
- Trennsystem, Schadenszenario II, Sanierungsszenario einer grabenlose Renovierung (RENO) mit Einziehen eines Schlauchliners
- Trennsystem, Schadenszenario II, Sanierungsszenario einer Erneuerung (ERNE) in offener Bauweise und Einbau eines neuen Schmutzwasserkanals

Nachfolgend werden die verwendeten Schadensszenarien und Sanierungsszenarien in ihren technischen Ausführungen näher beschrieben.

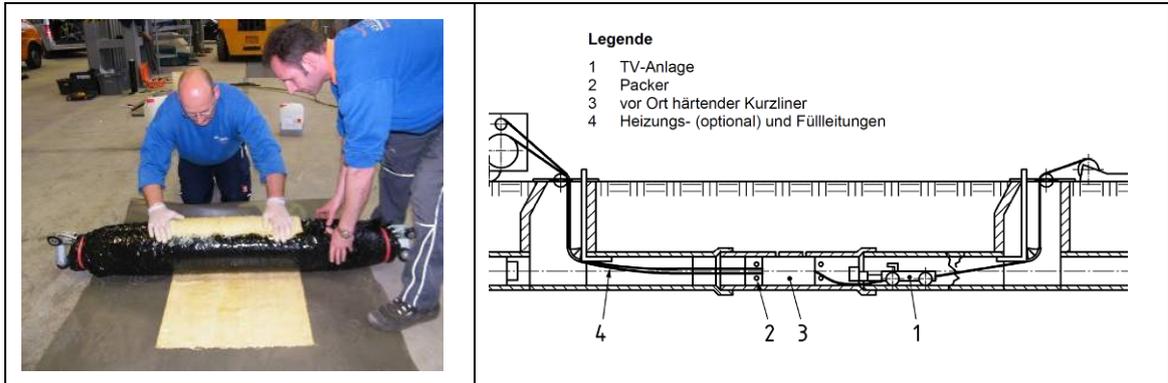
Trennsystem, Schadenszenario I

Für die Kanalsanierungstechnik Reparatur wurde das Schadensszenario I entworfen, das durch einen punktuellen Schaden im Bereich der Haltung (Schaden Nr.1: undichte Rohrverbindung) und einen schadhafte Anschlussstutzen (Schaden Nr. 2: Undichtigkeiten im Bereich eines Anschlussstutzens) gekennzeichnet ist. Bei beiden Schäden ist infiltrierendes Wasser erkennbar (Hauptcode gemäß DIN EN 13508, Teil 2: BBF). Für die Behebung der Schäden werden zwei unterschiedliche Reparaturverfahren als exemplarische Fallbeispiele für die Ökoeffizienzbewertung betrachtet. Es wird unterschieden zwischen dem grabenlosen und offenen Reparaturverfahren. Für beide Verfahren wurden entsprechende Sanierungsszenarien festgelegt:

- Sanierungsszenario: Grabenlose Reparatur REPA mit Injektion zur Vorabdichtung und Einziehen eines Kurzliners

Beim Sanierungsszenario „grabenlose Reparatur“ wird der Schaden Nr. 1 (undichte Rohrverbindung) zunächst mittels Verpressen von Epoxidharz (Roboterverfahren) abgedichtet, um den Wassereintritt zu stoppen. Anschließend wird der Schaden Nr. 1 mit Hilfe eines Kurzliners aus Glasfaserkunststoff (GfK) repariert (vgl. DIN EN 15885, Abschnitt 6.3, Seite 29). Nach sorgfältiger Reinigung des Kanals im Bereich der anstehenden Reparaturmaßnahme wird das auf der Baustelle angemischte Silikatharz auf das Glasfasergewebe des Kurzliners aufgetragen. Anschließend wird der Kurzliner zusammengefaltet und um den mit einer Trennfolie umhüllten Versetzpacker gewickelt (vgl. Abbildung 66, links). Der mit dem Kurzliner beladene Versetzpacker wird mit Hilfe von Seilwinden oder Schiebestangen zur Schadstelle gezogen (vgl. Abbildung 66, rechts). Das Aufstellen des Kurzliners erfolgt mittels Druckluft. Der Kurzliner härtet unter dem Anpressdruck „kalt“ aus. Der Versetzpacker wird nach vollständiger Aushärtung (Kaltaushärtung: ca. 2 Stunden) aus dem Schmutzwasserkanal entfernt (vgl. Bosseler/Harting 2011, Seite 74).

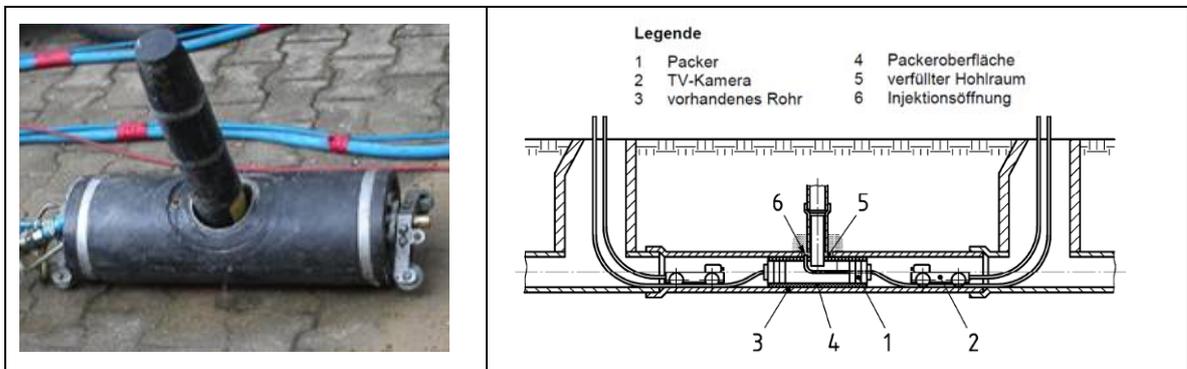
Abbildung 66: „Grabenlose“ Reparatur mit vor Ort härtendem Kurzliner – Umwickeln des Versetzpackers mit dem Kurzliner (links), schematische Darstellung zum Einbau (rechts)



Quelle: Bosseler/Harting 2011, Seite 24 (Bild links) und DIN EN 15885, Seite 29 (Bild rechts)

Schaden Nr. 2 (undichter Anschlussstutzen) wird durch eine Injektion abgedichtet bzw. repariert (vgl. DIN EN 15885, Abschnitt 6.2, Seite 25, Punkt c). In diesem Fall kommt ein spezieller Packer für den Anschlussbereich mit einer Injektionsöffnung zum Einsatz (vgl. Abbildung 67, links). Als Injektionsmittel wird Epoxidharz verwendet. Bei diesem Reparaturverfahren wird mit Hilfe des Packers zunächst der Anschlussbereich abgesperrt (vgl. Abbildung 67, rechts). Anschließend wird dieser Bereich mittels im Packer integrierter Dichtblase abgesperrt. Durch die Injektionsöffnung wird dann das Harz in die Schadstelle gepresst. Nach Aushärtung des Harzes wird der Packer wieder entfernt.

Abbildung 67: „Grabenlose“ Reparatur mittels Injektion – Packer für Anschlussbereiche mit Injektionsöffnung (links), schematische Darstellung zum Einbau (rechts)



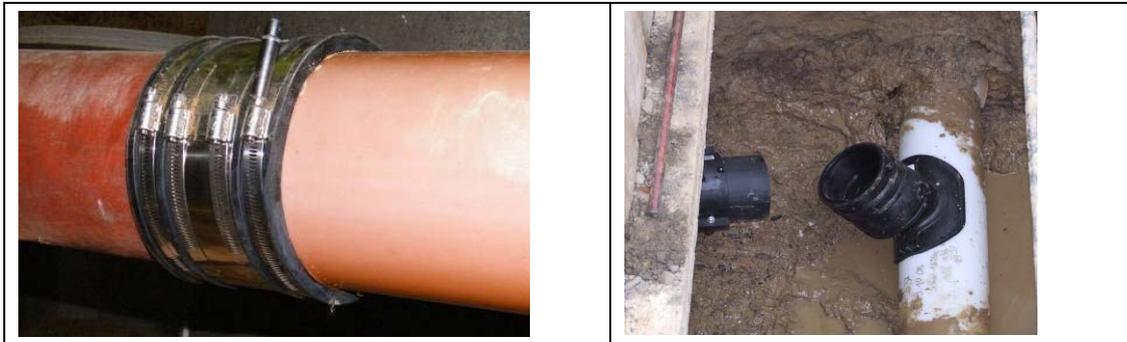
Quelle: Bosseler/Homann 2004, Seite 29 (Bild links) und DIN EN 15885, Seite 25 (Bild rechts)

- Sanierungsszenario: Offene Reparatur REPA mittels Kleinbaugrube und Austausch von Bauteilen und Einbau einer Außenmanschette

Beim Sanierungsszenario „offene Reparatur“ werden jeweils beide Schäden (Schaden Nr. 1 und Schaden Nr. 2) mittels Kleinbaugrube freigelegt und von außen repariert. Bei Schaden Nr. 1 (undichte Rohrverbindung) kommt eine sog. Außenmanschette zum Einsatz, welche die undichte Rohrverbindung von außen abdichtet (vgl. Abbildung 68, links). Hierbei wird ein Dichtring aus elastomerem Dichtmaterial (Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM)) und umlaufenden Spannbändern aus Edelstahl auf die Rohrverbindung gesetzt und entsprechend fixiert. Bei Schaden Nr. 2 wird der schadhafte Anschlussstutzen in der Kleinbaugrube entfernt und durch ein neues Bauteil aus Polyethy-

len (PE) ersetzt (vgl. Abbildung 68, rechts). Die Anbindung des Anschlussstutzens an den Hauptkanal erfolgt mit mechanischer Aufspannung und elastomerer Abdichtung.

Abbildung 68: „Offene“ Reparatur mittels Kleinbaugrube – Außenmanschette zur Abdichtung von Rohrverbindungen (links), Anschlussstutzen (rechts)



Quelle: Färber 2011 (Bild links) und eigene Abbildung (Bild rechts)

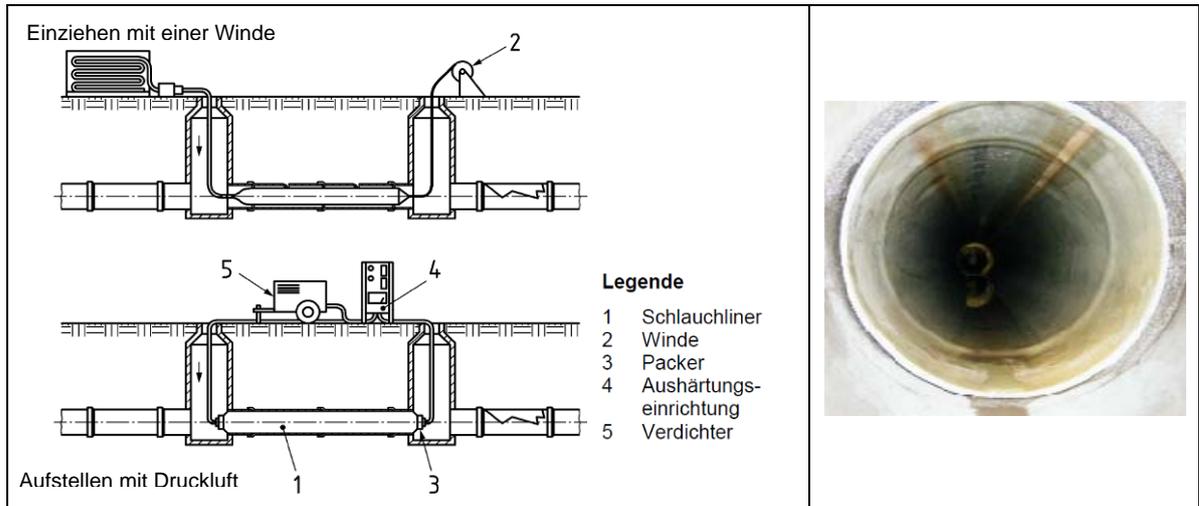
Trennsystem, Schadenszenario II

Für die Kanalsanierungstechniken Renovierung und Erneuerung wurde das Schadenszenario II erstellt, bei dem insgesamt fünf Rohrverbindungen des Abwasserkanals erhebliche Undichtigkeiten aufweisen (Schaden Nr. 3). An den Rohrverbindungen ist infiltrierendes Grundwasser erkennbar (Hauptcode gemäß DIN EN 13508, Teil 2: BBF). Es wird unterschieden zwischen dem grabenlosen und offenen Reparaturverfahren. Für beide Verfahren wurden entsprechende Sanierungsszenarien festgelegt:

- Sanierungsszenario: Grabenlose Renovierung RENO mit Einziehen eines Schlauchliners

Beim Sanierungsszenario „grabenlosen Renovierung“ kommt das weit verbreitete Schlauchlining-Verfahren zum Einsatz (vgl. DIN EN 15885, Seite 13, Kapitel 5 „Vor Ort härtendes Schlauchlining“, Abschnitt b „Verfahren B“). Der Schlauchliner besteht in diesem Fall aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GfK) mit einem Reaktionsharz aus ungesättigten Polyesterharzen. Die Wanddicke des Liners beträgt 6 mm. Beim Schlauchlining-Verfahren werden zunächst die undichten Stellen im Abwasserkanal der eigentlichen Renovierung mittels Injektion von Epoxidharz abgedichtet, um sicherzustellen, dass während der Renovierungsphase kein Grundwasser eindringt. Anschließend wird der Schlauchliner mittels einer Winde eingezogen und mit Druckluft (ca. 0,5 bar) aufgestellt (vgl. Abbildung 69, links). Die Aushärtung des Liners erfolgt mit UV-Strahlung. Hierzu werden vorab die Schlauchenden mittels Packern verschlossen. Über eine Schleuse an den Schlauchenden wird eine UV-Lichtquelle eingeführt und mit einer bestimmten Geschwindigkeit durchgezogen. Die Durchzugsgeschwindigkeit beträgt in der Regel 0,50 m/min. Nach einer Abkühlphase kann der Luftdruck im Schlauch langsam reduziert werden. Die Neuansbindung der seitlichen Anschlüsse, die durch den Schlauchliner verschlossen wurden, erfolgt durch Auffräsen und anschließendes Verpressen mittels Roboterverfahren unter Einsatz von Epoxidharz. Die Anbindung in den beiden Schachtbereichen wird mittels Verpressen unter Einsatz von Epoxidharz durchgeführt. Die Aushärtezeit für die Anbindungen beträgt in diesem Fallbeispiel etwa 5 Stunden.

Abbildung 69: „Grabenlose“ Renovierung mittels Schlauchlining-Verfahren – schematische Darstellung zum Einbau (links), eingebauter Schlauchliner (rechts)



Quelle: DIN EN 15885, Seite 13, verändert (Bild links) und eigene Abbildung (Bild rechts)

- Sanierungsszenario: Offene Erneuerung ERNE in offener Bauweise und Einbau eines neues Schmutzwasserkanals

Beim Sanierungsszenario „offene Erneuerung“ handelt es sich um eine Erneuerung in offener Bauweise. Bei diesem Sanierungsverfahren werden die Altrohre vollständig entfernt und durch neue Rohre ersetzt. Im Trennsystem (DN 300) werden Steinzeugrohre eingebaut. Die Steinzeugrohre werden mit Steckmuffen aus EPDM (Ethylen-Propylen-Dien-Monomer-Kautschuk) verbunden. Die Anbindung der seitlichen Anschlüsse erfolgt mittels Hausausschlussstutzen aus Polypropylen. Die über dem Kanal liegende Straße muss vollständig entfernt und nach Verlegung der neuen Steinzeugrohre erneuert werden.

8.3 Vorgehensweise zur Ökoeffizienzbewertung von Kanalsanierungstechniken

In diesem Kapitel wird die entwickelte Vorgehensweise zur Ermittlung der Ökoeffizienz und Nachhaltigkeit von Kanalsanierungstechniken dargestellt und auf die oben genannten exemplarischen Fallbeispiele angewendet (siehe Abbildung 65, Trennsystem). Die hier dargestellte Vorgehensweise stellt einen Beitrag auf dem Weg der Entwicklung eines standardisierten Verfahrens dar.

Vorweg wird hier auf die Vereinfachungen hingewiesen, die im Rahmen der hier durchgeführten Methodenentwicklung vorgenommen wurden.

Mögliche Auswirkungen eines Grundwasseranstieges (vgl. Kapitel 9), mögliche Auswirkungen auf die Reinigungsleistung der Kläranlage (vgl. Kapitel 6) und mögliche Auswirkungen auf das Entlastungsverhalten (vgl. Kapitel 7) werden bei der Ermittlung der Ökoeffizienz von Kanalsanierungstechniken nicht betrachtet. Solche Aspekte finden nur indirekt Eingang über den Produktsystemnutzen von Kanalabdichtungen und hier über den Nutzen der Anspruchsgruppen (vgl. Tabelle 36).

8.3.1 Bestandteile der Ökoeffizienz

Die hier entwickelte Vorgehensweise zur Bewertung der Ökoeffizienz und Nachhaltigkeit von Kanalsanierungstechniken umfasst folgende Bestandteile (vgl. Abbildung 70):

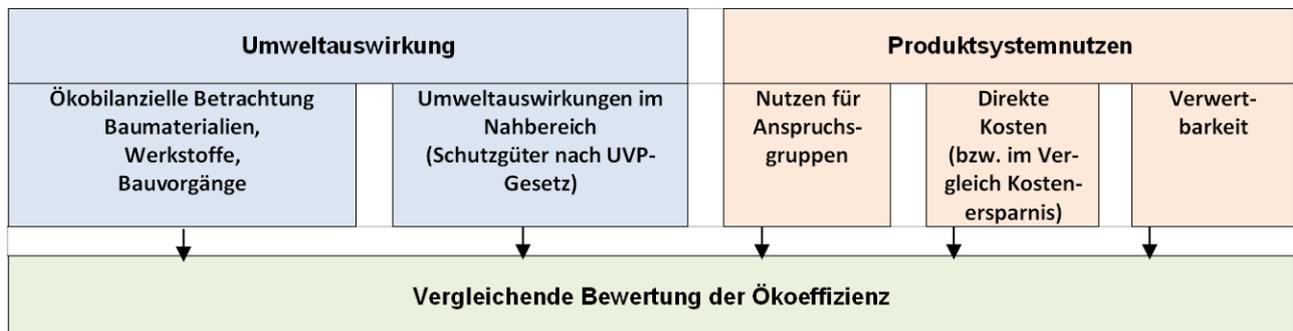
- Die **Umweltauswirkung** setzt sich aus einer ökobilanziellen Betrachtung der verwendeten Baumaterialien und Werkstoffe sowie aus der Ermittlung und Bewertung der Umweltauswirkungen im Nahbereich der Baustelle zusammen.
- Der **Produktsystemnutzen** von Kanalsanierungstechniken wird in Anlehnung an DIN EN ISO 14045 (vgl. DIN EN ISO 14045, Seite 17) anhand folgender Bestandteile ermittelt: Nutzen für Anspruchsgruppen der Kanalsanierung, direkte Kosten der Kanalsanierung (bzw. im Vergleich Kostenersparnis) bezogen auf die durchschnittliche technische Nutzungsdauer, Verwertbarkeit des sanierten Abwasserkanals.

Die **Ökoeffizienzbewertung** fasst die Umweltauswirkungen und den Produktsystemnutzen zusammen.

Der zusätzliche Aspekt Nachhaltigkeit wird aus den Ergebnissen der Ökoeffizienzbewertung anhand des abiotischen Ressourcenverbrauches, der direkten Kosten und des Nutzens der Anspruchsgruppen abgeleitet.

Nachstehend (siehe Abbildung 70) werden die einzelnen Bestandteile der entwickelten Vorgehensweise zur Bewertung der Ökoeffizienz und Nachhaltigkeit von Kanalsanierungstechniken auf der Basis einer ökobilanziellen Betrachtung der verwendeten Baumaterialien und Werkstoffe (vgl. Kapitel 8.3.1.1), der Beschreibung der Umweltauswirkungen im Nahbereich der Baustelle (vgl. Kapitel 8.3.1.2) sowie des Produktsystemnutzens (vgl. Kapitel 8.3.1.3) näher erläutert.

Abbildung 70: Bestandteile der entwickelten Vorgehensweise zu Bewertung der Ökoeffizienz von Kanalsanierungstechniken



Die Bewertung der Ökoeffizienz wird für die hier vorgenommene Methodenentwicklung exemplarisch anhand von vier Beispielen, bei denen unterschiedliche Kanalsanierungstechniken zum Einsatz kommen, für einen Schmutzwasserkanal DN 300 (Beispiel „Trennsystem“) durchgeführt. Dabei liegt der zu sanierende Altkanal im urbanen Bereich mittig in einer Straße mit Straßenbäumen und Wohngebäuden. Auch wird davon ausgegangen, dass aufgrund der vorhandenen gering durchlässigen Böden keine Grundwasserhaltung erforderlich ist.

Im Einzelnen handelt es sich um folgende Sanierungsszenarien:

- **Grabenloses Reparaturverfahren (REPA):** Nach Hochdruckreinigung des Altkanals werden eine undichte Stelle im Altkanal und im Bereich eines Hausanschlusses mit Epoxidharz und Robotertechnik vorabgedichtet. Der anschließend mittels Druckluft aufgestellte Kurzliner besteht aus Silikatharz und Glasfasern.

Die im Rahmen der Reparatur anfallenden Abfälle werden zu einer Hausmüllverbrennung mit LKW (Entfernung 100 km) gefahren. Der Transport der Baumaterialien Kanal erfolgt aus 100 km Entfernung.

- **Grabenloses Renovierungsverfahren (RENO):** Nach Hochdruckreinigung des Altkanals werden mehrere undichte Stellen im Altkanal und im Bereich eines Hausanschlusses mit

Epoxidharz und Robotertechnik vorabgedichtet. Der anschließend mittels Druckluft aufgestellte Schlauchliner besteht aus ungesättigtem Polyesterharz, Glasfasern und dem Lösungsmittel Styrol.

Die im Rahmen der Renovierung anfallenden Abfälle werden zu einer Hausmüllverbrennung mit LKW (Entfernung 100 km) gefahren. Der Transport der Baumaterialien Kanal erfolgt aus 100 km Entfernung.

- Offenes Reparaturverfahren (REPA): Nach Erstellung der Kleinbaugrube (Tiefe 3 m, Breite 0,9 m, Länge 1 m) wird um die undichte Stelle im Altkanal eine Außenmanschette aus Edelstahl und mit elastischen Dichtringen aus EPDM (Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk) montiert. Im Bereich des Hausanschlusses wird ein Anschlussstutzen aus PE-HD (Polyethylen mit hoher Dichte) eingebaut. Nach Abschluss der Reparaturarbeiten werden die Kleinbaugrube mit Sand, Schotter, Splitt verfüllt und die Straßendecke erneuert.

Der bei der Erstellung der Kleinbaugrube anfallende Aushub wird zu einer 5 km entfernten Bauschuttzubereitung (Sand, Schotter, Splitt) und zu einer 50 km entfernten Bauschuttdeponie (Straßendecke aus Asphalt) mit LKWs gefahren. Der Transport der Baumaterialien Kanal erfolgt aus 100 km Entfernung.

- Offene Erneuerung (ERNE): Nach Erstellung der Baugrube (Tiefe 3 m, Breite 0,9 m, Länge 50 m) wird der defekte Altkanal ausgebaut. Anschließend wird ein neuer Schmutzwasserkanal aus Steinzeugrohren gebaut, die mit Steckmuffen aus EPDM verbunden sind. Im Bereich der Hausanschlüsse werden Anschlussstutzen aus PP (Polypropylen) eingebaut. Nach Abschluss der Erneuerungsarbeiten wird die Baugrube mit Sand, Schotter, Splitt verfüllt und die Straßendecke erneuert.

Der bei der Erstellung der Baugrube anfallende Aushub wird zu einer 5 km entfernten Bauschuttzubereitung (Sand, Schotter, Splitt) und zu einer 50 km entfernten Bauschuttdeponie (Straßendecke aus Asphalt) mit LKWs gefahren. Der Transport der Baumaterialien Kanal erfolgt aus 100 km Entfernung.

Mit Blick auf Ökoeffizienz und die Nachhaltigkeit ist insbesondere auch die technisch mögliche **Nutzungsdauer** bzw. die zu erwartende technische Lebensdauer sanierter Abwasserleitungen und Abwasserkanäle von wesentlicher Bedeutung.

Die technisch mögliche Nutzungsdauer oder die technisch zu erwartende Lebensdauer sind der Zeitraum, in dem ein Bauteil die geforderten Eigenschaften ohne Einschränkungen erfüllt. Dieser Zeitraum kann durch vorbeugende Instandhaltung verlängert werden. Zur Abschätzung der zu erwartenden technischen Lebensdauer können ggf. Experimente unter definierten Bedingungen mit Zeitrafferfunktion durchgeführt werden und so die Zeitdauer ermittelt werden, in der das Bauteil ohne Versagen oder Nutzungseinschränkungen genutzt werden kann.

Die Nutzungsdauer einer Sanierung beginnt mit dem Zeitpunkt der Errichtung bzw. der Baustelleneinrichtung (Bosseler/Schlüter 2003, Seite 15). Die Qualität der Sanierung, die einen entscheidenden Einfluss auf die Lebensdauer hat, wird bereits vor diesem Zeitpunkt beeinflusst, nämlich in der Planungs- und Ausschreibungsphase bis hin zur Arbeitsvorbereitung (z.B. durch die Wahl von Baumaterialien, Sanierungsverfahren). Der Betriebszyklus beginnt nach Fertigstellung der Baumaßnahme. Unterhaltungsmaßnahmen (HD-Spülung, Wartung, Inspektion u. a.) sowie die das Bauwerk beanspruchenden Betriebs- und Umweltbeanspruchungen werden dem Betriebszyklus zugeordnet. Die technische Lebensdauer bzw. betriebswirtschaftliche Nutzungsdauer sind erreicht, wenn ein weiterer Betrieb des Bauwerkes aus technischer und betriebswirtschaftlicher Sicht nicht mehr zu verantworten ist.

Für Projektbewertungen und Kostenvergleichsrechnungen abwassertechnischer Anlagen werden in der Regel die durchschnittlichen Nutzungsdauern aus den „Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen“ (KVR-Richtlinien) angesetzt. Die durchschnittliche

Nutzungsdauer stützt sich auf statistisch erhobene Erfahrungswerte von Netzbetreibern. Allerdings handelt es sich hierbei nur um ungefähre Angaben, z. B. 2 – 15 Jahre für Reparaturmaßnahmen an Kanälen und 25 – 40 oder 50 Jahre für Renovierungsmaßnahmen an Kanälen (vgl. DWA/DVGW 2012, Seite 58). Detaillierte Angaben zur durchschnittlichen technischen Nutzungsdauer von Sanierungsverfahren finden sich in der DWA-Umfrage von 2009 (vgl. Berger/Falk 2009, Seite 10). Demnach wird beispielsweise für Reparaturverfahren mittels Kurzliner eine durchschnittliche technische Nutzungsdauer von 17 Jahren angegeben. Für eine Auskleidung des Abwasserkanals mit bauseits hergestellten Rohren (z.B. Renovierung mittels Schlauchlining) wird in der DWA-Umfrage eine durchschnittliche technische Nutzungsdauer von 46 Jahren aufgeführt.

Fundierte wissenschaftliche Erkenntnisse zur Nutzungsdauer von Kanalsanierungen (z.B. Schlauchliner, Injektionen, Kurzliner) und Abwasserrohren existieren derzeit noch nicht. Dies ist u. a. auf die langen Zeiträume (u. U. über zwei bis drei Generationen hinweg) und die vielfältigen Einflussfaktoren zurückzuführen, die bei der Abschätzung der Lebensdauer zu berücksichtigen sind (z. B. Einbauqualität).

Aus diesem Grund wird im Zusammenhang mit der Lebensdauer abwassertechnischer Anlagen häufig auf die durchschnittliche Nutzungsdauer verwiesen, für die in der Literatur entsprechende Anhaltswerte aufgeführt sind (s. o.). Die durchschnittliche Nutzungsdauer kann kürzer sein als die zu erwartende technische mögliche Lebensdauer, da in diesem Fall die tatsächlichen Einwirkungen auf das Bauwerk vor Ort und wirtschaftliche Aspekte (z.B. Instandhaltungskosten) eine Rolle spielen.

Im Rahmen der Bewertung der Ökoeffizienz und Nachhaltigkeit von Kanalsanierungstechniken wurde für die Lebensdauer der Kanalsanierungstechniken die durchschnittliche technische Nutzungsdauer der DWA-Umfrage 2009 angesetzt (vgl. Berger/Falk 2009, Seite 10). Diese beträgt beim grabenlosen Reparaturverfahren 17 Jahre, bei offenen Reparaturverfahren 20 Jahre, bei Renovierungsverfahren 46 Jahre und bei Erneuerungsverfahren 86 Jahre.

Um die Vergleichbarkeit der verschiedenen betrachteten Kanalsanierungstechniken zu erreichen, werden für die weiteren Betrachtungen folgende Bezugsgrößen angesetzt:

- 1 Meter Baulänge (z.B. 1 m Schlauchlining oder 1 m Steinzeugrohr) und
- 1 Jahr Nutzung, ermittelt auf Grundlage der von Kanalsanierungstechniken abhängigen durchschnittlichen technischen Nutzungsdauer des jeweils sanierten Abwasserkanals

Die Input- und Outputdaten werden auf die Bezugsgrößen normiert. Die Baulänge wird als funktionelle Einheit definiert. Weiterhin werden die Mengen quantifiziert, die notwendig sind, um die Funktion zu erfüllen (Referenzfluss). Sie werden auf die Nutzungsdauer bezogen.

8.3.1.1 Ökobilanzielle Betrachtung der verwendeten Baumaterialien und Werkstoffe

Für die ökobilanzielle Betrachtung der bei der Kanalsanierung verwendeten Baumaterialien, Werkstoffe und Bauvorgänge werden der Produktlebensweg sowie die zugehörigen ökologischen Auswirkungen betrachtet. Dabei werden auftretende Stoff- und Energieumsätze anhand signifikanter Parameter erfasst und die daraus resultierenden potenziellen Umweltbelastungen bewertet.

Wegen des Umfangs möglicher Baumaterialien, Werkstoffe und Bauvorgänge ist für eine ökobilanzielle Betrachtung eine Eingrenzung durch eine geeignete **Ziel- und Rahmendefinition** erforderlich. Ziel der hier entwickelten Vorgehensweise zur Ökoeffizienzbewertung ist ihre Verwendung zum Vergleich verschiedener Kanalsanierungstechniken. Hierfür muss der gewählte Umfang der berücksichtigten Parameter geeignet sein. Das bedeutet eine Festlegung der betrachteten Baumaterialien, Werkstoffe und Bauvorgänge und eine Einschränkung auf den hier durchzuführenden Vergleich verschiedener Kanalsanierungstechniken.

Im gegebenen Zusammenhang werden bei der ökobilanziellen Betrachtung von Kanalsanierungstechniken folgende Vorgänge berücksichtigt:

- Werksherstellung der eingesetzten Baumaterialien; hierbei Berücksichtigung von Rohstoffgewinnung, Verwendung von Sekundärrohstoffen aus Recyclingprozessen, Herstellung von Vorprodukten, Transporte, der Produktion selbst (einschließlich Energiebedarf, Hilfs- und Betriebsstoffe, Abfallbehandlung, Deponierung von Restabfällen)
- Transport der Baumaterialien zur Baustelle (z.B. mit LKW)
- Arbeitsschritte auf der Baustelle wie z.B. Arbeitsvorbereitung und Einbau der Baumaterialien
- Abtransport anfallender Abfall- und Reststoffe von der Baustelle zu einer Aufbereitungsanlage oder Deponie
- Verwertung von Abfall- und Reststoffen, z.B. in einer Bauschutttaufbereitung

Nicht berücksichtigt werden folgende Vorgänge, da sie für die hier vorgenommene vergleichende Betrachtung nicht relevant sind:

- Herstellung der am Produktions- und Sanierungsprozess beteiligten Fahrzeuge und Maschinen
- Herstellung der zur Verwertung von Abfall- und Reststoffen benötigten Anlagen
- Herstellung und Verlegung des zu sanierenden Altkanals
- Leerfahrten der LKWs im Rahmen der Transporte

Für die ökobilanzielle Betrachtung wird im vorliegenden Zusammenhang die Ökobau.dat 2011 verwendet. Die Ökobau.dat 2011 umfasst hunderte von Datensätzen zu Umweltindikatoren für Baumaterialien und Baufahrzeuge. Sie stützt sich auf die GaBi-Datenbank, die Standarddatenbank für Umweltindikatoren u. a. im Bau- und Energiewesen. In der Ökobau.dat 2011 sind Daten zu Energie, zum Abfall, zum Wasserverbrauch und zu Wirkungskategorien enthalten.

Die ökobilanzielle Betrachtung bezieht sich auf die Sachverhalte: Energie, Abfall und Wasser; sie werden im Sinne maßgeblicher Indikatoren verwendet. Abwasser- und Luftemissionen werden nur soweit einbezogen, wie sie mit den Sachverhalten Energie, Abfall und Wasser in der Ökobau.dat 2011 in Verbindung stehen.

Die ökobilanzielle Betrachtung wurde auf Grundlage von 26 Datensätzen mit Umweltindikatoren erstellt. 21 der 26 Datensätze stammen aus der ÖkoBau.dat 2011. Zwei Datensätze zu den chemischen Grundstoffen Styrol und Epoxidharz wurden der ProBas-Datenbank entnommen. Drei Datensätze stammen aus der Literatur und vom IKT.

Die Referenzjahre der 26 Datensätze liegen in dem Zeitraum 1996 – 2010 mit dem Schwerpunktjahr 2005 (10 Datensätze). Alle 26 Datensätze haben Deutschland als geographischen Hintergrund.

Da über 80 % der Datensätze aus der Ökobau.dat 2011 stammen und die Referenzjahre nicht weit auseinander liegen, wird von einer hohen Konsistenz der Ökobilanzdaten ausgegangen.

Auf Grundlage der von durch das IKT erstellten Verfahrensbeschreibungen wurden die eingesetzten Baumaterialien und Werkstoffe in relevante Bestandteile zur Verwendung bei der ökobilanziellen Betrachtung differenziert:

- Straßenoberbau: Asphaltdeck-, -binder- und -tragschicht, Schotter, Splitt und Sand
- Schlauchliner aus Polyesterharz: Polyester, Styrol und Glasfasern
- Kurzliner aus Silikatharz: Silikatharz und Glasfasern

- Steinzeugrohr: Steinzugrohr und Steckmuffen
- Außenmanschette: Edelstahlmanschette und Dichtring aus EPDM

Mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse für die Sachbilanz Renovierung wird anstelle von nicht verfügbaren Daten für Polyesterharz mit angenommenen Ersatzdaten (Polyester = Styrol) gerechnet. In der Sensitivitätsanalyse werden die Daten zu Energie, Wasser und Abfall prozentual variiert, um den Einfluss der angenommenen Daten auf die Sachbilanz zu ermitteln. Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass Änderungen der angenommenen Daten für Polyesterharz um +/- 30% die Sachbilanz nur um max. 2 % ändern.

Nachfolgend werden die für die ökobilanzielle Betrachtung erforderliche Sachbilanz und die auf der Sachbilanz aufbauende Wirkbilanz sowie die gemäß Abbildung 70 vorgenommene zusammenfassende Bewertung beider Bilanzen erläutert.

Sachbilanz

Wesentlicher Bestandteil einer ökobilanziellen Betrachtung ist eine geeignete Sachbilanz. Hierfür werden umweltrelevante Inputs und Outputs zusammengestellt. Für die Sachbilanz werden im vorliegenden Verfahren auf Grundlage der ÖkobaDat 2011 signifikante Inputs und Outputs bei der Herstellung und dem Transport der verwendeten Baumaterialien zur Baustelle, bei den Arbeiten auf der Baustelle, beim Abtransport und bei der Verwertung von Abfall- und Reststoffen betrachtet.

Es werden ausgewählte, signifikante Parameter betrachtet, die einen Vergleich der verwendeten Verfahren zur Kanalsanierung ermöglichen.

Für die Sachbilanz werden folgende Inputparameter betrachtet:

- Primär- und Sekundärenergieaufwand
- Wasserverbrauch bei der Herstellung der Baumaterialien und Werkstoffe

Für die Sachbilanz wird folgender Outputparameter betrachtet:

- Abfall bei der Herstellung der Baumaterialien und Werkstoffe und auf der Baustelle

Sachbilanz Energie

Tabelle 31 enthält die unter den in Kapitel 8.3.1 dargestellten Annahmen und Voraussetzungen ermittelten Sachbilanzen der einzelnen betrachteten Kanalsanierungstechniken für den Parameter Energie.

Tabelle 31: Sachbilanz Energie bezogen auf 1 m Baulänge und 1 Jahr Nutzungsdauer für die in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele

Baumaterial, Werkstoffe, Bauvorgänge	Menge	Primär- energie fossil	Primär- energie regene- rativ	Sekun- därbrenn- stoffe	Energie gesamt	Fallbeispiele Kanalsanie- rungstechniken (Sanierungsszenarien)				
		MJ	MJ	MJ	MJ	grabenlos		offen		
						REPA	RENO	REPA	ERNE	
Kleinbaugrube (REPA)										
Asphaltdeckschicht	86,4 kg/m	16,33	0,13	1,59E-03	1,65E+01			x		
Asphaltbinderschicht	15,1 kg/m	2,68	0	2,61E-04	2,68E+00			x		
Asphalttragschicht	380,7 kg/m	51,58	0	5,20E-03	5,16E+01			x		

Baumaterial, Werkstoffe, Bauvorgänge	Menge	Primär- energie fossil	Primär- energie regenerativ	Sekun- därbrenn- stoffe	Energie gesamt	Fallbeispiele Kanalsanie- rungstechniken (Sanierungsszenarien)			
		MJ	MJ	MJ	MJ	grabenlos		offen	
						REPA	RENO	REPA	ERNE
Schotter	243 kg/m	2,67	0,36	3,65E-04	3,04E+00			x	
Splitt	243 kg/m	2,67	0,36	3,65E-04	3,04E+00			x	
Sand	3.888 kg/m	5,83	0	5,83E-03	5,84E+00			x	
Straße (ERNE)									
Asphaltdeckschicht	86,4 kg/m	3,79	0,03	3,69E-04	3,83E+00				x
Asphaltbinderschicht	15,1 kg/m	0,62	0	6,07E-05	6,22E-01				x
Asphalttragschicht	380,7 kg/m	11,98	0	1,21E-03	1,20E+01				x
Schotter	243 kg/m	0,62	0,08	8,48E-05	7,06E-01				x
Splitt	243 kg/m	0,62	0,08	8,48E-05	7,06E-01				x
Sand	3.888 kg/m	1,36	0	1,36E-03	1,36E+00				x
Vorarbeiten									
Hochdruckreinigung	11 kg/m					x	x		
Kanal									
Steinzeugrohr	70,5 kg/m	5,50	0,07	0	5,57E+00				x
Steckmuffen	0,4 kg/m	0,39	0,01	5,65E-05	4,02E-01				x
Formteile Hausan- schlüsse	0,46 kg/m	0,64	0,02	1,07E-05	6,25E-01				x
Aussenmanschette Edelstahl	5 kg/m	12,28	0,86	-3,60E-02	1,31E+01			x	
Aussenmanschette 2 Dichtringe	2 kg/m	11,9	0,29	1,52E-03	1,22E+01			x	
Anschlußstutzen PE- HD	2,3 kg/m	9,52	0,23	1,11E-03	9,75E+00			x	
Silikatharz	2,7 kg/m	21,28	0,83	3,49E-03	2,21E+01	x			
Epoxidharz (REPA)	16,6 kg/m	99,60	0	0	9,96E+01	x			
Epoxidharz (RENO)	1,7 kg/m	3,77	0	0	3,77E+00		x		
Polyester	3,3 kg/m	5,67	0,022	0	5,70E+00		x		
Styrol	3,3 kg/m	5,67	0,022	0	5,70E+00		x		
Glasflies (RENO)	1,7 kg/m	1,86	0,105	5,28E-04	1,96E+00		x		
Glasflies (REPA)	1,0 kg/m	3,06	0,168	8,41E-04	3,23E+00	x			
Druckluftverdichter	2,83 h	0,013	0	0	1,30E-02	x	x		
Baggerarbeiten (ERNE)	2,7 m³	0,51	0,02	0	5,29E-01				x
Baggerarbeiten (REPA)	2,7 m³	2,19	0,09	0	2,27E+00			x	
Transport									
LKW - Steinzeugrohre,	71,36 kg/m	0,79	0,033	0	8,21E-01				x

Baumaterial, Werkstoffe, Bauvorgänge	Menge	Primär- energie fossil	Primär- energie regene- rativ	Sekun- därbrenn- stoffe	Energie gesamt	Fallbeispiele Kanalsanie- rungstechniken (Sanierungsszenarien)			
		MJ	MJ	MJ	MJ	grabenlos		offen	
						REPA	RENO	REPA	ERNE
Steckmuffen, Hausan- schlüsse									
LKW- Sand (ERNE)	3.888 kg/m	42,95	1,81	0	4,48E+01				x
LKW- Sand (REPA)	3.888 kg/m	184,68	7,78	0	1,92E+02			x	
LKW- Splitt, Schotter, Asphalt – (ERNE)	968 kg/m	10,70	0,45	0	1,11E+01				x
LKW- Splitt, Schotter, Asphalt – (REPA)	968 kg/m	45,99	1,94	0	4,79E+01			x	
LKW- Bauschutttaufberei- tung- (ERNE)	4.374 kg/m	48,32	2,03	0	5,04E+01				x
LKW- Bauschutttaufberei- tung- (REPA)	4.374 kg/m	207,77	8,75	0	2,17E+02			x	
LKW- Bauschuttdeponie- (ERNE)	552,7 kg/m	6,11	0,26	0	6,36E+00				x
LKW- Bauschuttdeponie- (REPA)	552,7 kg/m	26,25	1,11	0	2,17E+01			x	
LKW- Aussenman- schette, Dichtringe, Formteile, Anschlußstutzen	9,3 kg/m	0,44	0,02	0	4,60E-01			x	
Klein-LKW Kanal (RENO)	10 kg/m	0,261	1,03E-02	2,52E-05	2,71E-01		x		
Klein-LKW Kanal (REPA)	20,3 kg/m	1,43	5,67E-02	1,39E-04	1,49E+00	x			
Klein-LKW Verwertung (RENO)	1 kg/m	0,026	1,03E-03	2,52E-06	2,71E-02		x		
Klein-LKW Verwertung (REPA)	10 kg/m	0,706	2,79E-02	6,82E-05	7,34E-01	x			
Verwertung									
Bauschutttaufberei- tung- (ERNE)	4.374 kg/m	2,54	0	0	2,54E+00				x
Bauschutttaufberei- tung- (REPA)	4.374 kg/m	10,94	0	0	1,09E+01			x	
Bauschuttdeponie (ERNE)	552,7 kg/m	1,29	0,064	0	1,35E+00				x
Bauschuttdeponie	552,7 kg/m	5,53	0,276	0	5,80E+00			x	

Baumaterial, Werkstoffe, Bauvorgänge	Menge	Primär- energie fossil	Primär- energie regene- rativ	Sekun- därbrenn- stoffe	Energie gesamt	Fallbeispiele Kanalsanie- rungstechniken (Sanierungsszenarien)			
		MJ	MJ	MJ	MJ	grabenlos		offen	
						REPA	RENO	REPA	ERNE
(REPA)									
Hausmüllverbrennung (RENO)	1 kg/m	-0,09	-7,26E-03	-1,27E-05	-1,02E-01		x		
Hausmüllverbrennung (REPA)	10 kg/m	-2,56	-1,96E-01	-3,44E-04	-2,76E+00	x			
Summe [MJ pro 1 m Baulänge, 1 Jahr Nutzungsdauer]						124	17	616	144
						20%	12%	100%	100%

REPA= Reparatur, RENO= Renovierung, ERNE= Erneuerung, MJ Mega Joule

Tabelle 31 ermöglicht einen Vergleich der betrachteten Sanierungsszenarien:

- Der Energieverbrauch beim grabenlosen Reparaturverfahren beträgt 20 % des Energieverbrauches bei offenen Reparaturverfahren
- Der Energieverbrauch beim grabenlosen Renovierungsverfahren beträgt 12 % des Energieverbrauches der offenen Erneuerung.

Hauptenergieverbraucher sind bei den offenen und bei den grabenlosen Verfahren der Transport der Baumaterialien (69 – 82 %) und bei den grabenlosen Verfahren die Baumaterialien für den Kanal (98 – 99%).

Die negativen Energiewerte bei der Hausmüllverbrennung beruhen auf Energiegutschriften bei der thermischen Verwertung.

Sachbilanz Wasser

Tabelle 32 enthält die unter den in Kapitel 8.3.1 dargestellten Annahmen und Voraussetzungen ermittelten Sachbilanzen der einzelnen betrachteten Kanalsanierungstechniken für den Parameter Wasser.

Tabelle 32: Sachbilanz Wasser bezogen auf 1 m Baulänge und 1 Jahr Nutzungsdauer für die in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele

Baumaterial, Werkstoffe, Bauvorgänge	Menge	Wasser	Fallbeispiele Kanalsanierungs- techniken (Sanierungsszenarien)			
		Kg	grabenlos		offen	
			REPA	RENO	REPA	ERNE
Kleinbaugrube (REPA)						
Asphaltdeckschicht	86,4 kg/m	129,6			x	
Asphaltbinderschicht	15,1 kg/m	21,9			x	
Asphalttragschicht	380,7 kg/m	525,4			x	

Baumaterial, Werkstoffe, Bauvorgänge	Menge	Wasser	Fallbeispiele Kanalsanierungstechniken (Sanierungsszenarien)			
			grabenlos		offen	
			REPA	RENO	REPA	ERNE
Schotter	243 kg/m	409,5			x	
Splitt	243 kg/m	409,5			x	
Sand	3.888 kg/m	738,72			x	
Straße (ERNE)						
Asphaltdeckschicht	86,4 kg/m	30,14				x
Asphaltbinderschicht	15,1 kg/m	5,10				x
Asphalttragschicht	380,7 kg/m	122,18				x
Schotter	243 kg/m	95,22				x
Splitt	243 kg/m	95,22				x
Sand	3.888 kg/m	171,80				x
Vorarbeiten						
Hochdruckreinigung	11 kg/m	11,00	x	x		
Kanal						
Steinzeugrohr	70,5 kg/m	0,25				x
Steckmuffen	0,4 kg/m	10,85				x
Formteile Hausanschlüsse	0,46 kg/m	16,59				x
Aussenmanschette Edelstahl	5 kg/m	1.160			x	
Aussenmanschette 2 Dichtringe	2 kg/m	310			x	
Anschlußstutzen PE-HD	2,3 kg/m	238			x	
Silikatharz	2,7 kg/m	835,41	x			
Epoxidharz (REPA)	16,6 kg/m	396,45	x			
Epoxidharz (RENO)	1,7 kg/m	15,00		x		
Polyester	3,3 kg/m	0,29		x		
Styrol	3,3 kg/m	0,29		x		
Glasflies (RENO)	1,7 kg/m	107,91		x		
Glasflies (REPA)	1,0 kg/m	171,76	x			
Druckluftverdichter	2,83 h		x	x		
Baggerarbeiten (ERNE)	2,7 m³	1,88				x
Baggerarbeiten (REPA)	2,7 m³	8,07			x	
Transport						
LKW - Steinzeugrohre, Steckmuffen	71,36 kg/m	2,90				x
LKW-Sand (ERNE)	3.888 kg/m	158,23				x
LKW-Sand (REPA)	3.888 kg/m	680,4			x	
LKW-Splitt, Schotter, Asphalt (ERNE)	968 kg/m	39,41				x
LKW-Splitt, Schotter, Asphalt (REPA)	968 kg/m	169,4			x	

Baumaterial, Werkstoffe, Bauvorgänge	Menge	Wasser	Fallbeispiele Kanalsanierungstechniken (Sanierungsszenarien)			
			Kgrabenlos	Koffen		Kerne
				REPA	RENO	
LKW-Bauschuttzubereitung (ERNE)	4.374 kg/m	178,01				x
LKW-Bauschuttzubereitung (REPA)	4.374 kg/m	765,45			x	
LKW-Bauschuttdeponie (ERNE)	552,7 kg/m	22,49				x
LKW-Bauschuttdeponie (REPA)	552,7 kg/m	96,73			x	
LKW-Aussenmanschette, Dichtringe, Formteile, Anschlussstutzen	9,3 kg/m	1,63			x	
Klein-LKW Kanal (RENO)	10 kg/m	0,960		x		
Klein-LKW Kanal (REPA)	20,3 kg/m	5,25	x			
Klein-LKW Verwertung (RENO)	1 kg/m	0,096		x		
Klein-LKW Verwertung (REPA)	10 kg/m	2,59	x			
Verwertung						
Bauschuttzubereitung (ERNE)	4.374 kg/m	60,4				x
Bauschuttzubereitung (REPA)	4.374 kg/m	259,78			x	
Bauschuttdeponie (ERNE)	552,7 kg/m	55,95				x
Bauschuttdeponie (REPA)	552,7 kg/m	240,57			x	
Hausmüllverbrennung (RENO)	1 kg/m	-7,28		x		
Hausmüllverbrennung (REPA)	10 kg/m	-197,06	x			
Summe [kg/a]			390	128	6.176	1.078
			6 %	12%	100%	100%

ERNE Erneuerung; RENO Renovierung; REPA Reparatur

Tabelle 32 ermöglicht einen Vergleich der betrachteten Sanierungsszenarien:

- Der Wasserverbrauch beim grabenlosen Reparaturverfahren beträgt 6 % des Wasserverbrauches bei offenen Reparaturverfahren
- Der Wasserverbrauch beim grabenlosen Renovierungsverfahren beträgt 12% des Wasserverbrauches der offenen Erneuerung.

Hauptwasserverbraucher sind bei den offenen Verfahren der Transport der Baumaterialien (35 – 46 %) und bei den grabenlosen Verfahren die Baumaterialien für den Kanal (98 – 99%).

Sachbilanz Abfall

Tabelle 33 enthält die unter den in Kapitel 8.3.1 dargestellten Annahmen und Voraussetzungen ermittelten Sachbilanzen der einzelnen betrachteten Kanalsanierungstechniken für den Parameter Abfall.

Tabelle 33: Sachbilanz Abfall bezogen auf 1 m Baulänge und 1 Jahr Nutzungsdauer für die in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele

Baumaterial, Werkstoffe, Bauvorgänge	Menge	Abraum	Hausmüll	Sonder- abfall	Abfall gesamt	Fallbeispiele Kanalsanie- rungstechniken (Sanierungsszenarien)							
						Kg	Kg	Kg	Kg	grabenlos		offen	
										REPA	RENO	REPA	ERNE
Kleinbaugrube (REPA)													
Asphaltdeckschicht	86,4 kg/m	1,56E+00	0	7,82E-02	1,63E+00			x					
Asphaltbinderschicht	15,1 kg/m	2,64E-01	0	1,32E-02	2,77E-01			x					
Asphalttragschicht	380,7 kg/m	5,82E+00	0	3,22E-01	6,15E+00			x					
Schotter	243 kg/m	5,83E+00	0	2,64E-04	5,83E+00			x					
Splitt	243 kg/m	5,83E+00	0	2,64E-04	583,E+00			x					
Sand	3.888 kg/m	6,03E+01	0	4,82E-04	6,03E+01			x					
Straße (ERNE)													
Asphaltdeckschicht	86,4 kg/m	3,62E-01	0	1,82E-02	3,80E-01				x				
Asphaltbinderschicht	15,1 kg/m	6,15E-02	0	3,08E-03	6,46E-02				x				
Asphalttragschicht	380,7 kg/m	1,59E+00	0	7,48E-02	1,67E+00				x				
Schotter	243 kg/m	1,36E+00	0	6,13E-05	1,36E+00				x				
Splitt	243 kg/m	1,36E+00	0	6,13E-05	1,36E+00				x				
Sand	3.888 kg/m	1,40E+01	0	1,12E-04	1,40E+01				x				
Vorarbeiten													
Hochdruckreinigung	11 kg/m					x	x						
Kanal													
Steinzeugrohr	70,5 kg/m	9,26E-01	0	2,11E-04	9,27E-01				x				
Steckmuffen	0,4 kg/m	2,40E-02	0	7,12E-06	2,40E-02				x				
Formteile Hausanschlüsse	0,46 kg/m	3,49E-02	0	1,03E-05	3,49E-02				x				
Aussenmanschette Edelstahl	5 kg/m	6,78E+00	0	4,75E-04	6,78E+00			x					
Aussenmanschette 2 Dichtringe	2 kg/m	6,52E-01	0	1,92E-04	6,52E-01			x					
Anschlußstutzen PE-HD	2,3 kg/m	5,26E-01	0	1,55E-04	5,26E-01			x					
Silikatharz	2,7 kg/m	1,86E+00	0	5,43E-04	1,86E+00	x							
Epoxidharz (REPA)	16,6 kg/m	7,81E-02	-9,76E-03	3,91E-02	1,07E-01	x							
Epoxidharz (RENO)	1,7 kg/m	2,96E-03	-3,70E-04	1,48E-03	4,07E-03		x						
Polyester	3,3 kg/m	3,59E-03	7,17E-05	1,43E-03	5,09E-03		x						
Styrol	3,3 kg/m	3,59E-03	7,17E-05	1,43E-03	5,09E-03		x						
Glasflies (RENO)	1,7 kg/m	2,85E-01	0	7,10E-05	2,85E-01		x						
Glasflies (REPA)	1,0 kg/m	4,53E-01	0	1,13E-04	4,53E-01	x							
Druckluftverdichter	2,83 h					x	x						

Baumaterial, Werkstoffe, Bauvorgänge	Menge	Abraum Kg	Hausmüll Kg	Sonder- abfall Kg	Abfall gesamt Kg	Fallbeispiele Kanalsanie- rungstechniken (Sanierungsszenarien)			
						grabenlos		offen	
						REPA	RENO	REPA	ERNE
Baggerarbeiten (ERNE)	2,7 m ³	2,68E-03	0	7,00E-07	2,68E-03				x
Baggerarbeiten (REPA)	2,7 m ³	1,15E-02	0	3,01E-06	1,15E-02			x	
Transport									
LKW - Steinzeugrohre, Steckmuffen	71,36 kg/m	4,14E-04	0	1,09E-06	4,15E-04				x
LKW-Sand (ERNE)	3.888 kg/m	2,26E-02	0	5,92E-05	2,26E-02				x
LKW-Sand (REPA)	3.888 kg/m	9,70E-02	0	2,55E-04	9,73E-02			x	
LKW-Splitt, Schotter, Asphalt (ERNE)	968 kg/m	5,62E-03	0	1,47E-05	5,63E-03				x
LKW-Splitt, Schotter, Asphalt (REPA)	968 kg/m	2,42E-02	0	6,34E-05	2,42E-02			x	
LKW- Bauschutttaufberei- tung (ERNE)	4.374 kg/m	2,54E-02	0	6,66E-05	2,54E-02				x
LKW- Bauschutttaufberei- tung (REPA)	4.374 kg/m	1,09E-01	0	2,86E-04	1,09E-01			x	
LKW-Bauschuttdeponie (ERNE)	552,7 kg/m	3,21E-03	0	8,42E-06	3,22E-03				x
LKW-Bauschuttdeponie (REPA)	552,7 kg/m	1,38E-02	0	3,62E-05	1,38E-02			x	
LKW-Aussenmanschette, Dichtringe, Formteile, Anschlußstutzen	9,3 kg/m	2,28E-03	0	6,05E-07	2,28E-03			x	
Klein-LKW Kanal (RENO)	10 kg/m	1,37E-04	0	3,59E-07	1,38E-04		x		
Klein-LKW Kanal (REPA)	10 kg/m	1,13E+00	0	2,27E-06	1,18E+00	x			
Klein-LKW Verwertung (RENO)	1 kg/m	1,37E-05	0	3,59E-08	1,38E-05		x		
Klein-LKW Verwertung (REPA)	10 kg/m	5,59E-01	0	1,12E-06	5,82E-01	x			
Verwertung									
Bauschutttaufbereitung (ERNE)	4.374 kg/m	-5,09E+01	0	3,56E-05	-5,09E+01				x
Bauschutttaufbereitung (REPA)	4.374 kg/m	-2,19E+02	0	1,53E-04	-2,19E+02			x	
Bauschuttdeponie (ERNE)	552,7 kg/m	6,43E+00	-6,43E+00	2,17E-05	2,17E-05				x
Bauschuttdeponie (REPA)	552,7 kg/m	2,76E+01	-2,76E+01	9,34E-05	9,34E-05			x	
Hausmüllverbrennung (RENO)	1 kg/m	-1,51E-02	0	-4,87E-06	-1,51E-02		x		
Hausmüllverbrennung (REPA)	10 kg/m	-4,08E-01	0	-1,32E-04	-4,08E-01	x			

Baumaterial, Werkstoffe, Bauvorgänge	Menge	Abraum	Hausmüll	Sonder- abfall	Abfall gesamt	Fallbeispiele Kanalsanie- rungstechniken (Sanierungsszenarien)			
						grabenlos		offen	
						REPA	RENO	REPA	ERNE
Summe [kg/a]						3,8	0,3	446,4	-31
						1%	-1%	100%	100%

ERNE: Erneuerung; RENO: Renovierung; REPA: Reparatur; negative Summe [kg/a] aufgrund von Nutzung der Produkte der Baustoffaufbereitung in anderen Baumaßnahmen

Tabelle 33 ermöglicht einen Vergleich der betrachteten Sanierungsszenarien:

- Das Abfallaufkommen beim grabenlosen Reparaturverfahren beträgt 1 % des Abfallaufkommens bei offenen Reparaturverfahren
- Das Abfallaufkommen beim grabenlosen Renovierungsverfahren beträgt -1 % des Abfallaufkommens bei der offenen Erneuerung. Ursächlich dafür ist die Weiternutzung der Produkte der Bauschutttaufbereitung in anderen Baumaßnahmen.

Hauptabfallherzeuger bei den grabenlosen Verfahren sind die Baumaterialien Kanal (53 – 99 %).

Wirkbilanz

Für die Wirkbilanz werden ausgehend von der Sachbilanz potenzielle Umweltauswirkungen abgeschätzt. Folgende Wirkungskategorien werden üblicherweise betrachtet (vgl. UBA 1999, Seite 13):

- Inputkategorien: Abiotische Ressourcen, biotische Ressourcen, Flächenverbrauch
- Outputkategorien: Treibhauseffekt, Abbau des stratosphärischen Ozons, Humantoxizität, Ökotoxizität, Bildung von Photooxidantien, Versauerung, Eutrophierung

Zum biotischen Ressourcenverbrauch und zum Flächenverbrauch liegen in den ausgewerteten Datenbanken nur vereinzelt Daten vor; diese Inputkategorien werden nicht berücksichtigt.

Als Outputkategorie werden der Treibhauseffekt, der Abbau stratosphärischen Ozons, die Bildung von Photooxidantien, die Versauerung und die Eutrophierung berücksichtigt. Die Humantoxizität- und die Ökotoxizität lassen sich nicht quantifizieren und werden in der hier ermittelten Wirkbilanz nicht verwendet.

Bei der Erstellung der Wirkbilanz werden die folgenden Input- und Outputkategorien als Wirkungskategorien (in Anlehnung an UBA 1999, Seite A1-13 ff) berücksichtigt:

- Der **abiotische Ressourcenverbrauch (ADP)** erfasst die Extraktion von mineralischen Rohstoffen und fossilen Energieträgern. Auf Grundlage des Verhältnisses zwischen jährlicher Extraktion und Ressourcenpotenzial wird ein sogenanntes Erschöpfungspotenzial bestimmt und auf die Referenzressource Antimon umgerechnet. Der aggregierte Indikatorwert wird in kg Antimon (Sb) – Äquivalenten angegeben.
- Das **Treibhauspotenzial (GWP 100)** gibt an, wie viel eine bestimmte Menge eines Treibhausgases zum Treibhauseffekt beiträgt. Als Referenzwert dient Kohlendioxid. Der Wert beschreibt die mittlere Erwärmungswirkung über einen Zeitraum (in der Regel 100 Jahre).

- Das **Ozonabbaupotenzial (ODP)** einer chemischen Substanz ist eine Maßzahl für den relativen Effekt des Abbaus der Ozonschicht, die durch die Substanz ausgelöst werden kann. Als Referenzwert dient Trichlorfluormethan (R11) mit dem ODP-Wert = 1.
- Das **Versauerungspotenzial (AP)** beschreibt die Summe aller Gase aus dem Herstellungsprozess einer chemischen Substanz, die in Verbindung mit Wasser zur Versauerung von Böden und Gewässern beitragen können. Referenzwert ist Schwefeldioxid mit dem AP-Wert = 1.
- Das **Photooxidantienpotenzial (POCP)** beschreibt die photochemische Oxidation von flüchtigen organischen Stoffen, die wie Ozon unter Einfluss von Sonnenlicht entstehen. Diese Photooxidantien können die menschliche Gesundheit und Ökosysteme schädigen. Als Referenzwert dient Ethylen mit dem POCP-Wert = 1.
- Das **Eutrophierungspotenzial (EP)** beschreibt Wirkungen in der Umwelt, die durch Nährstoffanreicherungen durch Stickstoff und Phosphor verursacht werden. Als Referenzwert dient Phosphat mit dem EP-Wert = 1.

Tabelle 34 enthält die unter den Kapitel 8.3.1 dargestellten Annahmen ermittelten Wirkbilanzen der einzelnen betrachteten Kanalsanierungstechniken.

Tabelle 34: Wirkbilanz bezogen auf 1 m Baulänge und 1 Jahr Nutzungsdauer für die in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele

Baumaterial, Werkstoffe, Bauvorgänge	Menge	ADP kg Sb-Äqv.	EP kg Phosphat-Äqv.	ODP kg R11-Äqv.	POCP kg Ethen-Äqv.	GWP 100 kg CO2-Äqv.	AP kg SO2-Äqv.	Fallbeispiele Kanalsanierungstechniken (Sanierungsszenarien)			
								grabenlos		offen	
								REPA	RENO	REPA	ERNE
Kleinbaugrube (REPA)											
Asphaltdeckschicht	86,4 kg/m	7,78E-03	8,29E-05	2,12E-10	7,34E-04	2,99E-01	8,94E-04			x	
Asphaltbinderschicht	15,1 kg/m	1,27E-03	1,41E-05	3,59E-11	1,28E-04	5,08E-02	1,50E-04			x	
Asphalttragschicht	380,7 kg/m	2,44E-02	3,25E-04	8,83E-10	3,12E-03	1,17E+00	3,22E-03			x	
Schotter	243 kg/m	9,76E-04	4,73E-05	7,48E-10	3,16E-05	1,70E-01	3,89E-04			x	
Splitt	243 kg/m	9,76E-04	4,73E-05	7,48E-10	3,16E-05	1,70E-01	3,89E-04			x	
Sand	3.888 kg/m	6,15E-04	1,85E-04	1,34E-09	1,46E-04	4,70E-01	1,40E-03			x	
Straße (ERNE)											
Asphaltdeckschicht	86,4 kg/m	1,81E-03	1,93E-05	4,93E-11	1,71E-04	6,94E-02	2,08E-04				x
Asphaltbinderschicht	15,1 kg/m	2,95E-04	3,29E-06	8,35E-12	2,97E-05	1,18E-02	3,48E-05				x
Asphalttragschicht	380,7 kg/m	5,67E-03	7,57E-05	2,05E-10	7,26E-04	2,73E-01	7,48E-04				x
Schotter	243 kg/m	2,27E-04	1,10E-05	1,74E-10	7,35E-06	3,96E-02	9,04E-05				x
Splitt	243 kg/m	2,27E-04	1,10E-05	1,74E-10	7,35E-06	3,96E-02	9,04E-05				x

Baumaterial, Werkstoffe, Bauvorgänge	Menge	ADP kg Sb-Äqv.	EP kg Phosphat-Äqv.	ODP kg R11-Äqv.	POCP kg Ethen-Äqv.	GWP 100 kg CO2-Äqv.	AP kg SO2-Äqv.	Fallbeispiele Kanalsanierungstechniken (Sanierungsszenarien)			
								grabenlos		offen	
								REPA	RENO	REPA	ERNE
Sand	3.888 kg/m	6,15E-04	4,29E-05	3,12E-10	3,40E-05	1,09E-01	3,26E-04				x
Vorarbeiten											
Hochdruckreinigung	11 kg/m							x	x		
Kanal											
Steinzeugrohr	70,5 kg/m	2,36E-03	4,76E-05	1,58E-08	3,83E-05	3,35E-01	4,01E-03				x
Steckmuffen	0,4 kg/m	2,54E-04	3,17E-06	2,77E-11	1,07E-05	2,04E-02	3,26E-05				x
Formteile Hausanschlüsse	0,46 kg/m	2,06E-04	2,13E-06	2,25E-11	3,97E-06	1,28E-02	2,45E-05				x
Aussenmanschette Edelstahl	5 kg/m	6,03E-03	3,38E-04	2,06E-09	3,68E-04	9,65E-01	5,75E-03			x	
Aussenmanschette 2 Dichtringe	2 kg/m	5,47E-03	1,71E-04	1,49E-09	5,73E-04	1,10E+00	1,75E-03			x	
Anschlußstutzen PE-HD	2,3 kg/m	4,39E-03	9,48E-05	9,30E-10	2,16E-04	5,50E-01	1,10E-03			x	
Silikatharz	2,7 kg/m	9,55E-03	2,48E-04	1,78E-09	3,94E-04	1,01E+00	1,72E-03	x			
Epoxidharz (REPA)	16,6 kg/m	5,80E-02	6,25E-03	1,23E-09	1,17E-03	6,52E+00	3,94E-02	x			
Epoxidharz (RENO)	1,7 kg/m	2,20E-03	2,37E-04	4,66E-11	4,43E-05	2,47E-01	1,49E-03		x		
Polyester	3,3 kg/m	3,85E-03	2,87E-04	7,75E-08	1,36E-04	5,38E-01	1,38E-03		x		
Styrol	3,3 kg/m	3,85E-03	5,47E-05	7,75E-10	4,84E-05	2,36E-01	7,17E-04		x		
Glasflies (RENO)	1,7 kg/m	8,17E-04	8,13E-05	2,04E-10	2,20E-04	1,46E-01	6,62E-04		x		
Glasflies (REPA)	1,0 kg/m	1,30E-03	1,29E-04	3,25E-10	3,51E-04	2,33E-01	1,05E-03	x			
Druckluftverdichter	2,83 h							x	x		
Baggerarbeiten (ERNE)	2,7 m³	2,37E-04	7,91E-05	1,78E-12	7,75E-05	3,55E-02	4,74E-04				x
Baggerarbeiten (REPA)	2,7 m³	1,02E-03	3,40E-04	7,67E-12	3,33E-04	1,53E-01	2,04E-03			x	

Baumaterial, Werkstoffe, Bauvorgänge	Menge	ADP	EP	ODP	POCP	GWP 100	AP	Fallbeispiele Kanalsanierungstechniken (Sanierungsszenarien)			
		kg Sb-Äqv.	kg Phosphat-Äqv.	kg R11-Äqv.	kg Ethen-Äqv.	kg CO2-Äqv.	kg SO2-Äqv.	grabenlos		offen	
								REPA	RENO	REPA	ERNE
Transport											
LKW - Steinzeugrohre, Steckmuffen	71,36 kg/m	3,76E-04	8,96E-05	2,75E-12	1,55E-04	5,41E-02	4,91E-04				x
LKW-Sand (ERNE)	3.888 kg/m	2,05E-02	4,88E-03	1,50E-10	8,45E-03	2,95E+00	2,68E-02				x
LKW-Sand (REPA)	3.888 kg/m	8,81E-02	2,10E-02	6,45E-10	3,64E-02	1,27E+01	1,15E-01			x	
LKW-Splitt, Schotter, Asphalt (ERNE)	968 kg/m*	5,10E-03	1,22E-03	3,74E-11	2,11E-03	7,34E-01	6,66E-03				x
LKW-Splitt, Schotter, Asphalt (REPA)	968 kg/m*	2,19E-02	5,23E-03	1,61E-10	9,05E-03	3,16E+00	2,87E-02			x	
LKW-Bauschutt-aufbereitung (ERNE)	4.374 kg/m	2,91E-03	6,94E-04	2,13E-11	1,20E-03	4,19E-01	3,80E-03				x
LKW-Bauschutt-aufbereitung (REPA)	4.374 kg/m	9,91E-02	2,36E-02	7,26E-10	9,51E-03	1,43E+01	1,29E-01			x	
LKW-Bauschutt-deponie (ERNE)	552,7 kg/m	2,30E-02	5,49E-03	1,69E-10	9,51E-03	3,32E+00	3,01E-02				x
LKW-Bauschutt-deponie (REPA)	552,7 kg/m	1,25E-02	2,98E-03	9,18E-11	5,17E-03	1,80E+00	1,64E-02			x	
LKW-Aussenmanschette, Dichtringe (ERNE), Formanschlüsse, Anschlußstutzen	9,3 kg/m	2,11E-04	5,02E-05	1,54E-12	8,70E-05	3,03E-02	2,75E-04			x	

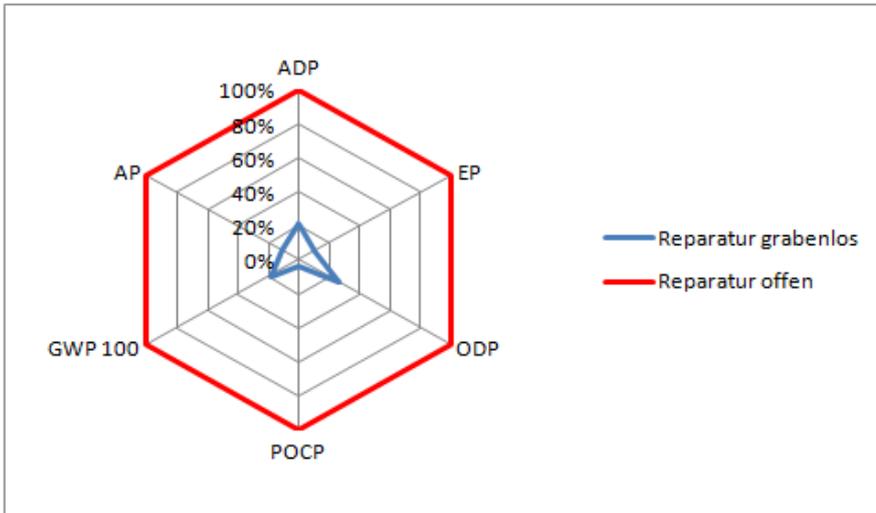
Baumaterial, Werkstoffe, Bauvorgänge	Menge	ADP kg Sb-Äqv.	EP kg Phosphat-Äqv.	ODP kg R11-Äqv.	POCP kg Ethen-Äqv.	GWP 100 kg CO2-Äqv.	AP kg SO2-Äqv.	Fallbeispiele Kanalsanierungstechniken (Sanierungsszenarien)			
								grabenlos		offen	
								REPA	RENO	REPA	ERNE
Klein-LKW Kanal (RENO)	10 kg/m	1,25E-04	2,83E-05	9,13E-13	7,00E-05	1,80E-02	1,55E-04		x		
Klein-LKW Kanal (REPA)	20,3 kg/m	6,84E-04	1,55E-04	5,02E-12	3,85E-04	9,86E-02	8,51E-04			x	
Klein-LKW Verwertung (RENO)	1 kg/m	1,25E-05	2,83E-06	9,13E-14	7,00E-06	1,80E-03	1,55E-05		x		
Klein-LKW Verwertung (REPA)	10 kg/m	3,37E-04	7,65E-05	2,47E-12	1,89E-04	4,86E-02	4,19E-04			x	
Verwertung											
Bauschutt-aufbereitung (ERNE)	4.374 kg/m	1,27E-03	2,25E-04	9,66E-11	1,37E-04	1,38E-01	1,29E-04				x
Bauschutt-aufbereitung (REPA)	4.374 kg/m	5,45E-03	9,69E-04	4,16E-10	5,88E-04	5,95E-01	5,53E-03			x	
Bauschutt-deponie (ERNE)	552,7 kg/m	5,76E-04	8,36E-05	7,07E-11	7,46E-05	1,43E-01	5,96E-04				x
Bauschutt-deponie (REPA)	552,7 kg/m	2,48E-03	3,59E-04	3,04E-10	3,21E-04	6,14E-01	2,56E-03			x	
Hausmüll-verbrennung (RENO)	1 kg/m	-3,96E-05	8,93E-07	-1,35E-11	-2,72E-07	1,16E-02	2,85E-06		x		
Hausmüll-verbrennung (REPA)	10 kg/m	-1,07E-03	2,42E-05	-3,66E-10	-7,35E-06	3,15E-01	7,71E-05	x			
Summe REPA grabenlos		6,88E-02	6,88E-03	2,98E-09	2,48E-03	8,23E+00	4,35E-02	x			
Summe RENO grabenlos		1,08E-02	6,91E-04	7,79E-08	5,26E-04	1,20E+00	4,42E-03		x		
Summe REPA offen		1,31E-01	2,60E-02	3,46E-08	4,55E-02	1,74E+01	1,49E-01			x	
Summe ERNE offen		2,84E-01	5,61E-02	1,08E-08	6,74E-02	3,84E+01	3,16E-01				x

ERNE Erneuerung; RENO Renovierung; REPA Reparatur; ADP: Abiotischer Ressourcenverbrauch, EP: Eutrophierungspotenzial, ODP: Ozonabbau-potenzial, POCP: Photooxidantienpotenzial, GWP 100: Treibhauspotenzial, AP: Versauerungspotenzial

Abbildung 71 und Abbildung 72 fassen die Ergebnisse der Wirkbilanzen zusammen und ermöglichen Vergleiche der betrachteten Sanierungsszenarien.

Abbildung 71 zeigt, dass die Fallbeispiele des grabenlosen Reparaturverfahrens gegenüber offenen Reparaturverfahren deutlich geringere Werte in den Wirkungskategorien aufweisen.

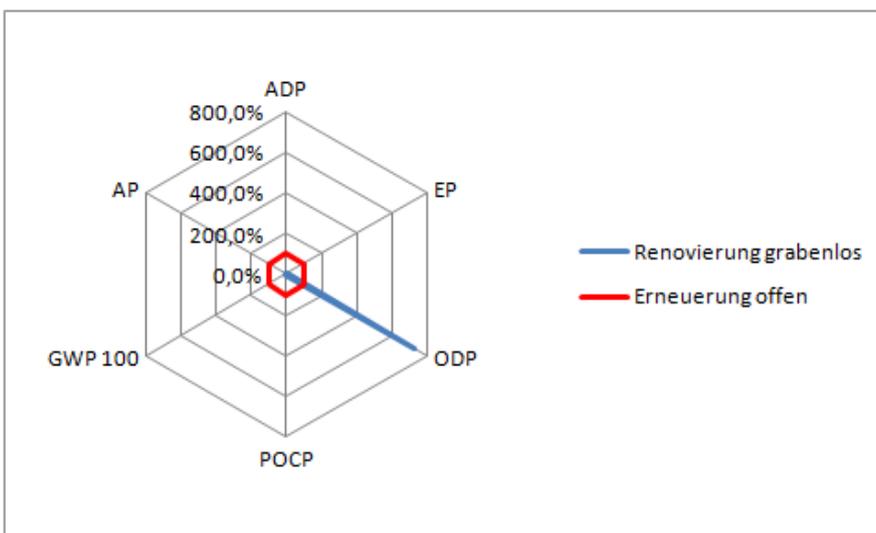
Abbildung 71: Vergleich der Wirkbilanzen grabenlose und offene Reparaturverfahren für die in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele



ADP: Abiotischer Ressourcenverbrauch, EP: Eutrophierungspotenzial, ODP: Ozonabbaupotenzial, POCP: Photooxidantienpotenzial, GWP 100: Treibhauspotenzial, AP: Versauerungspotenzial

Abbildung 72 zeigt, dass die Fallbeispiele des grabenlosen Renovierungsverfahrens gegenüber offenen Erneuerungsverfahren in der Regel geringere Werte in den Wirkungskategorien aufweisen. Ausnahme ist das Ozonabbaupotenzial (ODP). Es ist wegen der Baumaterialien Styrol, Polyester und Epoxidharz für das grabenlose Renovierungsverfahren größer als für das offene Erneuerungsverfahren.

Abbildung 72: Vergleich der Wirkbilanzen grabenlose Renovierung und offene Erneuerung für die in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele



ADP: Abiotischer Ressourcenverbrauch, EP: Eutrophierungspotenzial, ODP: Ozonabbaupotenzial, POCP: Photooxidantienpotenzial, GWP 100: Treibhauspotenzial, AP: Versauerungspotenzial

Aufgrund der Sachbilanz haben in den betrachteten Beispielen grabenlose im Vergleich mit offenen Verfahren Vorteile in der Energie-, Wasser- und Abfallbilanz. Ursächlich dafür sind die geringere Anzahl von Transporten mit LKWs und das Fehlen von Baugruben und Schächten in der Straße mit den dabei anfallenden Abfall- und Reststoffen.

Dies wird auch in der Wirkbilanz bestätigt: Transportvorgänge beeinflussen fünf der sechs Wirkungskategorien stark.

In künftigen Ökobilanzen für Kanalsanierungstechniken kann auf die Bilanzierung der Hochdruckreinigung und der Druckluftaufstellung für Kurz- und Schlauchliner verzichtet werden, da diese zu weniger als 1 % an der Wasser – bzw. Energiebilanz beteiligt sind. Die Ökobilanz sollte sich auf Baumaterialien für den Kanal und die Straße sowie auf die Transportvorgänge und die Verwertung konzentrieren.

Zur Weiterentwicklung von Ökobilanzen im Bauwesen sollte die Ökobau.dat 2011-Datenbank Abwasser- und Luftemissionsdaten mit aufnehmen.

8.3.1.2 Umweltauswirkungen im Nahbereich

Für die Ermittlung und Bewertung möglicher Umweltauswirkungen im Nahbereich einer Kanalsanierung wird der Kriterienkatalog zur Auswahl der Bauweisen für die Sanierung von Entwässerungsleitungen (vgl. GSTT 2000, Seite 7 - 35) der German Society for Trenchless Technology e.V. (GSTT) verwendet und den Schutzgütern gemäß dem Gesetz zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG 1990, § 2) zugeordnet (siehe Tabelle 35).

In Tabelle 35 ist für die in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele dargestellt, in welcher Phase (Sanierungs- oder Nutzungsphase) mit einer Beeinträchtigung der Schutzgüter in den dargestellten Intensitäten im Allgemeinen zu rechnen ist. Die im Einzelfall auftretenden Beeinträchtigungen müssen anhand der verwendeten Kanalsanierungstechniken und der örtlichen Randbedingungen konkret ermittelt werden.

Tabelle 35 liegt die Annahme zugrunde, dass die verschiedenen betrachteten Kanalsanierungstechniken unterschiedlich intensive Eingriffe hinsichtlich Dauer und Baustellenfläche erfordern. Grabenlose Verfahren ermöglichen geringere Eingriffe als offene Verfahren.

Tabelle 35: Schutzgüter und Umweltauswirkungen im Nahbereich einer Kanalsanierungsmaßnahme und Bewertung der in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele

Schutzgüter	Mögliche Auswirkungen einer Kanalsanierung	S	N	Fallbeispiele Kanalsanierungstechniken (Sanierungsszenarien)			
				grabenlos		offen	
				REPA	RENO	REPA	ERNE
				Dauer: < 1 Tag Baustellenfläche: 20 m ²	Dauer: 1 - 5 Tage Baustellenfläche: 20-50 m ²	Dauer: < 1 Tag Baustellenfläche: 20 m ²	Dauer: 5 - 10 Tage Baustellenfläche: > 250m ²
Menschen	Einschränkungen der individuellen und allgemeinen Bewegungsfreiheit, Einschränkungen bei der Nutzung häuslicher Abwassersysteme	x	-	gering (Verkehr)	gering (Verkehr)	gering (Verkehr)	hoch (Verkehr)

Schutzgüter	Mögliche Auswirkungen einer Kanalsanierung	S	N	Fallbeispiele Kanalsanierungstechniken (Sanierungsszenarien)			
				grabenlos		offen	
				REPA	RENO	REPA	ERNE
				Dauer: < 1 Tag Baustellen- fläche: 20 m ²	Dauer: 1 – 5 Tage Baustellen- fläche: 20-50 m ²	Dauer: < 1 Tag Baustellen- fläche: 20 m ²	Dauer: 5 - 10 Tage Baustellen- fläche: > 250m ²
Tiere, Pflanzen, biologische Vielfalt	Beeinträchtigung von Bäumen und Sträuchern, Vitalitätsverluste durch Veränderungen des Stoff- und Wasserhaushaltes im Boden	x	x	keine	keine	gering (Bäume, Sträucher)	hoch (Bäume, Sträucher)
Boden	Veränderung der Bodenstruktur und -funktionen	x	-	keine	keine	gering (Bodenverdichtung)	hoch (Bodenverdichtung)
Wasser	Stoffeinträge in Oberflächengewässer durch Wasserhaltung in den Baugruben	x	-	keine (Oberflächenwasser)	keine (Oberflächenwasser)	keine (Oberflächenwasser)	gering (Oberflächenwasser)
	Stoffeinträge in das Grundwasser durch Versickerung			keine (Grundwasser)	Keine (Grundwasser)	keine (Grundwasser)	gering (Grundwasser)
Luft	Lärmemissionen von Baumaschinen, Geräten und Fahrzeugen	x	-	gering (Lärm)	mittel (Lärm)	mittel (Lärm)	hoch (Lärm)
	Schadstoff- und Geruchsemissionen durch Baumaschinen, Fahrzeuge und Materialien			keine (Gerüche)	gering (Styrolgerüche)	gering (Asphaltdämpfe)	gering (Asphaltdämpfe)
Klima	Beeinträchtigung des Kleinklimas	-	-	keine	keine	keine	keine
Landschaft	Beeinträchtigung des Landschafts- und Stadtbildes	x	-	keine	gering	gering	mittel
Kultur- und sonstige Sachgüter	Beeinträchtigung von Gebäuden durch Erschütterung und Setzung, Beeinträchtigung von Infrastruktureinrichtungen und unterirdischen Anlagen	x	x	keine	keine	gering (Standicherheit)	hoch (Standicherheit)
Wechselwirkungen	nicht behandelt			nicht behandelt	nicht behandelt	nicht behandelt	nicht behandelt

S: Sanierungsphase; N: Nutzungsphase, X: Beeinträchtigung möglich; - : keine Beeinträchtigung erwartet

Die möglichen Beeinträchtigungen der Schutzgüter treten in der Sanierungsphase auf. In der Nutzungsphase ist für die angenommenen Randbedingungen mit keiner erheblichen Beeinträchtigung der Schutzgüter zu rechnen.

Allerdings können sich Nachwirkungen der Baumaßnahme hinsichtlich des Schutzgutes „Pflanzen“ (z. B. nachwirkende Veränderung des Bodenwassers und Nährstoffhaushaltes) sowie des Schutzgutes „Kultur- und sonstige Sachgüter“ (z.B. nach Abschluss der Sanierung fortlaufende Setzungen) ergeben.

8.3.1.3 Ermittlung des Produktsystemnutzens

Der Produktsystemnutzen von Kanalsanierungstechniken wird anhand einer tabellarischen Zusammenfassung der Ergebnisse zu den nachfolgend beschriebenen Komponenten Nutzen für Anspruchsgruppen der Kanalsanierung, direkte Kosten der Kanalsanierung pro Jahr Nutzungsdauer und Verwertbarkeit des sanierten Abwasserkanals verbal-argumentativ bewertet.

Nutzen für Anspruchsgruppen

Nach DIN EN ISO 14045:2012 (vgl. DIN EN ISO 14045, Seite 14) handelt es sich bei den Anspruchsgruppen um Gruppen, die einen unmittelbaren Nutzen aus der Kanalsanierung ziehen. Mit Blick auf die Instandhaltung von Abwasserkanälen werden fünf Anspruchsgruppen und deren Hauptziele in Anlehnung an Orth (vgl. Orth/Lange 2008, Seite 52) wie folgt definiert:

- Anschlussnehmer / Gebührenzahler (AN): Funktionierende Abwasserableitung, dauerhafte Gebührenstabilität
- Aufsichts- und Überwachungsbehörden (BE): Einhaltung rechtlicher Vorgaben, insbesondere mit Blick auf den Gewässerschutz
- Kanalnetzbetreiber / Eigentümer des Kanalnetzes (NB): Werterhaltung der Infrastruktur, dauerhaft wirtschaftlicher Kanalbetrieb, sicheres Arbeitsumfeld der Mitarbeiter
- Kläranlagenbetreiber (KB): Geringe Beeinträchtigung der Abwasserreinigung durch Fremdwasser
- Kommunalpolitik (KP): Dauerhafte Gebührenstabilität, Finanzierbarkeit

Im Einzelfall wird der Nutzen der Anspruchsgruppen beispielsweise mittels Befragungen und Abstimmungen in Versammlungen ermittelt. Dabei werden die jeweiligen Nutzenarten unter den jeweils konkreten Randbedingungen vor Ort erfasst und erläutert.

Tabelle 36 stellt eine angenommene allgemeine Einschätzung eines möglichen Abstimmverhaltens der Anspruchsgruppen dar. Die Anspruchsgruppen umfassen in diesem angenommenen Beispiel insgesamt 15 Personen (3 Personen pro Anspruchsgruppe).

Tabelle 36: Angenommene Bewertung des Nutzens der Anspruchsgruppen von Kanalsanierungen für die in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele

Anspruchsgruppen 15 Personen	Nutzen der Anspruchsgruppen für die Fallbeispiele Kanalsanierungstechniken (Sanierungsszenarien) ^{*)}			
	grabenlos		offen	
	REPA	RENO	REPA	ERNE
Funktionelle Nutzen				
Abwasserableitung / Erhalt der Funktionalität				

Anspruchsgruppen 15 Personen	Nutzen der Anspruchsgruppen für die Fallbeispiele Kanalsanierungstechniken (Sanierungsszenarien)*)			
	grabenlos		offen	
	REPA	RENO	REPA	ERNE
(AN/BE/KNB/KB/KP)	3/3/3/3/3	3/3/3/3/3	3/3/3/3/3	3/3/3/3/3
Abwasserableitung / Erhalt der Funktionalität (gesamt)	15	15	15	15
Monetärer Nutzen				
Gebührenstabilität (AN/BE/KNB/KB/KP)	3/1/2/1/3	3/1/2/1/3	3/1/2/1/3	3/1/2/1/3
Gebührenstabilität (gesamt)	10	10	10	10
Werterhalt der Kanalisation (AN/BE/NB/KB/KP)	1/1/3/1/3	1/1/3/1/3	1/1/3/1/3	1/1/3/1/3
Werterhalt der Kanalisation (gesamt)	9	9	9	9
Sonstiger Nutzen				
Ressourcenschutz: Grundwasser und Boden (AN/BE/NB/KB/KP)	3/3/1/1/2	3/3/1/1/2	3/3/1/1/1	1/1/1/1/1
Ressourcenschutz: Grundwasser und Boden (gesamt)	10	10	9	5
Emissionsschutz: Luftschadstoffe, Lärm, Erschütterung (AN/BE/NB/KB/KP)	3/3/1/1/2	2/3/1/1/1	3/3/1/0/2	1/1/1/1/1
Emissionsschutz: Luftschadstoffe, Lärm, Erschütterung (gesamt)	10	8	9	5
Vermeidung von negativen Auswirkungen auf Kultur- und Sachgüter (AN/BE/NB/KB/KP)	3/3/3/1/3	3/3/3/1/3	3/3/2/2/2	1/1/1/1/1
Vermeidung von negativen Auswirkungen auf Kultur- und Sachgüter (gesamt)	13	13	12	5
Vermeidung von negativen Auswirkungen auf die Vegetation (AN/BE/NB/KB/KP)	3/3/2/1/3	3/3/2/2/3	3/3/2/1/3	1/1/1/1/1
Vermeidung von negativen Auswirkungen auf die Vegetation (gesamt)	12	13	12	5
Sichere Arbeitsbedingungen (AN/BE/NB/KB/KP)	1/3/3/1/1	1/3/3/1/1	1/3/3/1/1	1/1/1/1/1
Sichere Arbeitsbedingungen (gesamt)	9	9	9	5
Summe (gesamt)	89	87	85	59
Bewertung	105%	147%	100%	100%
*) Stimmverhalten von insgesamt 15 Personen aus 5 verschiedenen Anspruchsgruppen (3 Personen pro Anspruchsgruppe) mit Blick auf den Nutzen der einzelnen Sanierungsszenarien				

ERNE Erneuerung; RENO Renovierung; REPA Reparatur; AN Anschlussnehmer; BE Behörden; NB Kanalnetzbetreiber; KB Kläranlagenbetreiber; KP Kommunalpolitik; Zahlen = Anzahl Personen, die Nutzenarten für wichtig halten

Die Zahlen in Tabelle 36 stellen die Anzahl Personen dar, die den jeweiligen Nutzen für wichtig erachten. Danach ist der Erhalt der Funktionalität der Kanalisation der wichtigste Nutzen von Kanalsanierungen. Demgegenüber hat die Werterhaltung der Kanalisation eine geringere Relevanz für die Anspruchsgruppen. Unter „Sonstiger Nutzen“ wird die Vermeidung von negativen Auswirkungen auf Vegetation und auf Kultur- und Sachgüter durch Kanalsanierungen als wichtig angesehen. Die offenen Verfahren werden von den Anspruchsgruppen ungünstiger bewertet als die grabenlosen Verfahren, da bei den offenen Verfahren Beeinträchtigungen von

Ressourcen, von Vegetation, von Kultur- und Sachgüter und durch Luftemissionen befürchtet werden.

Grabenlose Verfahren bewirken einen höheren Nutzen für Anspruchsgruppen als offene Verfahren.

Kosten

Die Kosten von Kanalsanierungsmaßnahmen werden in direkte und indirekte Kosten gegliedert und - soweit verwendet - auf 1 m Baulänge und 1 Jahr Nutzungsdauer entsprechend Kapitel 8.3.1 bezogen.

Zu den direkten Kosten zählen beispielsweise:

- unmittelbare Sanierungskosten
- Kosten für die Sicherung der Vorflut im Zuge der Sanierungsmaßnahmen
- Kosten für die Erneuerung der Straßendecke im Zuge einer Kanalsanierung in offener Bauweise

Zu den indirekte Kosten zählen beispielsweise:

- Kosten für die Beseitigung von Baumschäden infolge der Bauarbeiten
- Kosten, die den Verkehrsteilnehmern aufgrund von Umleitungen entstehen
- Kosten der Umsatzminderung des Handels

Im vorliegenden Zusammenhang werden nur die direkten Kosten angesetzt. Als Datengrundlage wird in diesem Fallbeispiel die Submissionsauswertung für Kanalsanierungen in den Arbeitshilfen Abwasser (vgl. BMVBS/BMVG 2008, Arbeitsblatt A-6.4) herangezogen. Im Einzelfall sind ggf. auch die indirekten Kosten anzusetzen.

Tabelle 37: Direkte Kosten von Kanalsanierungen bezogen auf 1 m Baulänge und 1 Jahr Nutzungsdauer für die in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele

Baumaterialien, Werkstoffe, Bauvorgänge	Kosten [€]	Fallbeispiele Kanalsanierungstechniken (Sanierungsszenarien)			
		grabenlos		offen	
		REPA [€/a]	RENO [€/a]	REPA [€/a]	ERNE [€/a]
Vorabdichtung mit Epoxidharz und Robotertechnik	500	29			
Materialverbrauch Epoxidharz pro Kilogramm	13	1			
Kurzliner mit Robotertechnik	222	13			
Abdichtung Anschlussstutzen mit Robotertechnik	500	29			
Einbau und Aushärtung Schlauchliner; Wasserhaltung	128		3		
Auffräßen der seitlichen Zuläufe	135		3		
Schachtanschluss	150		3		
Partielle Erneuerung pro Meter (Breite)	500			25	
Außenmanschette	332			12	
Einbau neuer Anschlussstutzen	232			12	
Neubau Straße pro Meter	325			16	16

Baumaterialien, Werkstoffe, Bauvorgänge	Kosten [€]	Fallbeispiele Kanalsanierungstechniken (Sanierungsszenarien)			
		grabenlos		offen	
		REPA [€/a]	RENO [€/a]	REPA [€/a]	ERNE [€/a]
Erneuerung der Haltung einschl. Verbau ab vorgeschriebener Tiefe. Die Preise beinhalten sämtliche Erdarbeiten, und Arbeiten zur Wiederherstellung der Oberfläche.	325				4
Leitungsanbindung von Hausanschlussleitungen an den öffentlichen Kanal ohne Erneuerung der eigentlichen Anschlussleitungen	275				3
Summe [€]		73	9	64	23
		113%	39%	100%	100%

ERNE Erneuerung; RENO Renovierung; REPA Reparatur

Der Vergleich der Kosten zeigt die möglichen Mehrkosten oder Ersparnisse durch die verschiedenen Sanierungsszenarien auf. Die grabenlosen Reparaturverfahren haben in den betrachteten Fallbeispielen nach Tabelle 37 höhere Kosten als offene Reparaturverfahren. Das Renovierungsverfahren weist in diesem Fall die geringsten Kosten auf.

Verwertbarkeit

Nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG 2013) zählen zur Verwertung u. a. das Recycling und die energetische Verwertung von Abfällen. Auch in der seit Juli 2013 geltenden Bauproduktenverordnung der EU (BauPVO 2011, Seite 34) ist vorgeschrieben, dass Bauwerke, zu denen auch Abwasserkanäle zählen, nach dem Abriss wiederverwendet oder recycelt werden müssen.

Die Verwertbarkeit sanierten Abwasserkanäle wird auf Grundlage von Literaturlauswertungen dahingehend beurteilt, inwieweit heute bereits Recycling, energetische Verwertung und Verfüllung möglich sind.

Die stoffliche Verwertbarkeit der Rohstoffe aus sanierten Abwasserkanälen wird wie folgt bewertet: Recycling > energetische Verwertung > Verfüllung > Beseitigung:

- Gebrauchte Steinzeugrohre können im gemahlten Zustand als Schamotte in der Herstellung von neuen Steinzeugrohren wiederverwendet werden (FBS 2013). Die Verwertbarkeit wird mit 100 % bewertet.
- Aussenmanschetten aus Edelstahl sind Sanierungsmaterialien, die recycelt werden können. Die Verwertbarkeit wird mit 100 % bewertet.
- Aus Schlauchlinern, die Polyester- oder Epoxidharze enthalten, können nach einem Mahlvorgang Glasfasern und Quarzsand fraktioniert werden. Glasfasern und Quarzsand können als mineralischer Recyclingbaustoff z.B. zur Rohrgrabenverfüllung eingesetzt werden. Harze können einer energetischen Verwertung zugeführt werden (KRV 2013). Die Verwertbarkeit wird mit 70 % bewertet.
- Kurzliner, die Silikatharze enthalten, können gemahlen und als Verfüllmaterial verwendet werden (VIATECTA 2013). Die Verwertbarkeit wird mit 70 % bewertet.

Aus der vorstehenden Darstellung ergibt sich, dass die in offenen Verfahren eingesetzten Werkstoffe eine höhere Verwertbarkeit aufweisen als grabenlose Verfahren.

Produktsystemnutzen

In Tabelle 38 sind die Bewertungen für die drei Bestandteile des Produktsystemnutzens zusammengestellt.

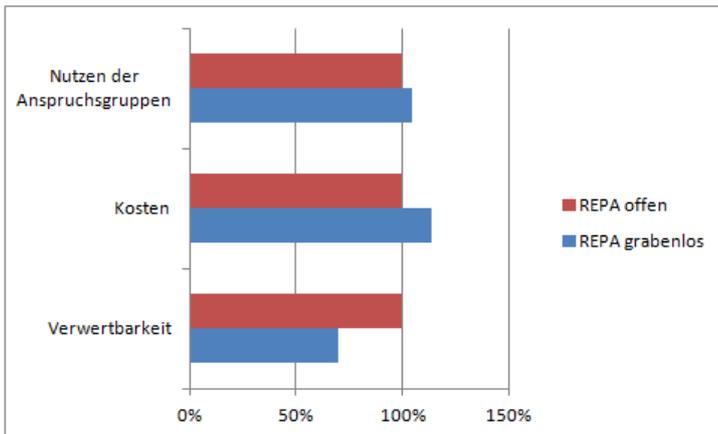
Tabelle 38: Bewertung des Produktsystemnutzens für die in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele

Bestandteile des Produktsystemnutzens	Fallbeispiele Kanalsanierungstechniken (Sanierungsszenarien)			
	grabenlos		offen	
	REPA	RENO	REPA	ERNE
Nutzen für Anspruchsgruppen	105%	147%	100%	100%
Kosten	113%	39%	100%	100%
Verwertbarkeit	70%	70%	100%	100%

ERNE Erneuerung; RENO Renovierung; REPA Reparatur

In Abbildung 73 und Abbildung 74 ist die Bewertung des Produktsystemnutzens im Balkendiagramm dargestellt. Bei relativ ähnlichem Nutzen der Anspruchsgruppen hat das Fallbeispiel des offenen Reparaturverfahrens Vorteile bezüglich der Kosten und der Verwertbarkeit.

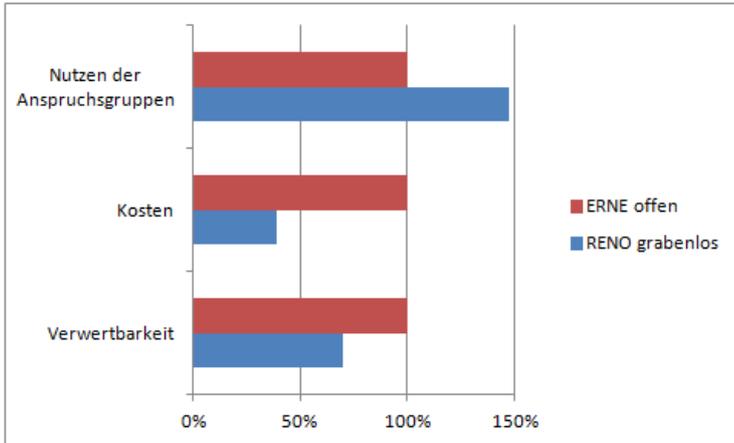
Abbildung 73: Vergleich des Produktsystemnutzens für grabenlose und offene Reparaturverfahren für die in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele



REPA Reparatur

Der Produktsystemnutzen für die Fallbeispiele „grabenlose Renovierung“ und „offene Erneuerung“ unterscheidet sich stärker als bei den Reparaturverfahren. Das Fallbeispiel der grabenlosen Renovierung hat Vorteile beim Nutzen der Anspruchsgruppen und den Kosten. Bei der Verwertbarkeit hat das Fallbeispiel der offenen Erneuerung Vorteile.

Abbildung 74: Vergleich des Produktsystemnutzens für grabenlose Renovierung und offene Erneuerung für die in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele



ERNE Erneuerung; RENO Renovierung

8.3.1.4 Bewertung der Ökoeffizienz und Nachhaltigkeit

Bei der Gesamtbewertung der Ökoeffizienz und der Nachhaltigkeit werden die Ergebnisse zur Umweltauswirkung und zum Produktsystemnutzen von Kanalsanierungstechniken tabellarisch zusammengefasst und verbal-argumentativ bewertet. Eine Kanalsanierungstechnik ist umso ökoeffizienter je mehr Vorteile sie hinsichtlich ihrer Umweltauswirkung und ihres Produktsystemnutzen gegenüber einer anderen Kanalsanierungstechnik aufweist.

Die Bewertung der Nachhaltigkeit erfolgt ebenfalls verbal-argumentativ. Es werden hierzu der abiotische Ressourcenverbrauch, der Nutzen der Anspruchsgruppen und die direkten Kosten tabellarisch zusammengefasst und bewertet (vgl. Ergebnisse Kapitel 8.3). In Tabelle 39 ist als Steckbrief die Ökoeffizienzbewertung für die betrachteten Kanalsanierungstechniken im Trennsystem dargestellt.

Tabelle 39: Steckbrief Ökoeffizienzbewertung für die in Kapitel 8.2 definierten Fallbeispiele

Gegenstand		Einheit	Fallbeispiele Kanalsanierungstechniken (Sanierungsszenarien)			
			grabenlos		offen	
			REPA [/a]	RENO [/a]	REPA [/a]	ERNE [/a]
Ökobilanzielle Betrachtung - Sachbilanz	Energie	MJ/m	124	17	616	144
	Wasser	kg/m	390	128	6.176	1.078
	Abfall	kg/m	3,8	0,3	446,4	-31
Bewertung Ökobilanzielle Betrachtung - Sachbilanz			Vorteile für grabenlose Verfahren	Vorteile für grabenlose Verfahren		
Ökobilanzielle Betrachtung - Wirkbilanz	Abiotisches Ressourcenpotenzial	kg Sb-Äqv./m	6,88E-02	1,08E-02	1,31E-01	2,84E-01
	Eutrophierungspotenzial	kg Phosphat-Äqv./m	6,88E-03	6,91E-04	2,60E-02	5,61E-02
	Ozonabbaupotenzial	Kg R11-Aqv./m	2,98E-09	7,79E-08	3,46E-08	1,08E-08
	Photooxidantienpotenzial	kg Ethen-	2,48E-03	5,26E-04	4,55E-02	6,74E-02

Gegenstand	Einheit	Fallbeispiele Kanalsanierungstechniken (Sanierungsszenarien)				
		grabenlos		offen		
		REPA [a]	RENO [a]	REPA [a]	ERNE [a]	
	Äqv./m					
	Treibhauspotenzial	kg CO ₂ -Äqv./m	8,23E+00	1,20E+00	1,74E+01	3,84E+01
	Versauerungspotenzial	kg SO ₂ – Äqv/m	4,35E-02	4,42E-03	1,49E-01	3,16E-01
Bewertung Ökobilanzielle Betrachtung - Wirkbilanz			Vorteile für grabenlose Verfahren	Vorteile für grabenlose Verfahren		
Umweltauswirkungen im Nahbereich – mögliche Beeinträchtigung für ...	Menschen	-	gering	gering	gering	hoch
	Tiere, Pflanzen, biologische Vielfalt	-	keine	keine	gering	hoch
	Boden	-	keine	keine	gering	hoch
	Wasser - Oberflächenwasser	-	keine	keine	keine	gering
	Wasser - Grundwasser	-	keine	keine	keine	gering
	Luft - Lärm	-	gering	mittel	mittel	hoch
	Luft - Gerüche	-	keine	gering	gering	gering
	Klima	-	keine	keine	keine	keine
	Landschaft	-	keine	gering	gering	mittel
	Kultur- und sonstige Sachgüter	-	keine	keine	gering	hoch
Bewertung Umweltauswirkungen im Nahbereich			Vorteile für grabenlose Verfahren	Vorteile für grabenlose Verfahren		
Produktsystemnutzen	Nutzen der Anspruchsgruppen	Anzahl Personen	89	87	85	59
	Direkte Kosten/Nutzungsdauer	Euro/a	73	9	64	23
	Verwertbarkeit	%	70%	70%	100%	100%
Bewertung Produktsystemnutzen				Vorteile für die grabenlose Renovierung	Leichte Vorteile für das offene Reparaturverfahren	
Ökoeffizienz			Öko-effizienter	Öko-effizienter		
Nachhaltigkeit			Nachhaltiger	Nachhaltiger		

ERNE Erneuerung; RENO Renovierung; REPA Reparatur; Nutzungsdauer = 1 Jahr; Ökobilanzielle Betrachtung - Sachbilanz Abfall negativ [kg/m] aufgrund von Nutzung der Produkte der Baustoffaufbereitung in anderen Baumaßnahmen

Bei der **ökobilanziellen Betrachtung** weisen die grabenlosen Reparaturverfahren Vorteile gegenüber den offenen Verfahren auf. Dies zeigt sich insbesondere im Energie- und Wasserbedarf bei der Herstellung der verwendeten Baumaterialien. Außer dem Ozonabbaupotenzial sind die betrachteten Umweltwirkungen in den einzelnen Wirkungskategorien bei den grabenlosen Verfahren kleiner als bei den offenen Verfahren.

Bei den **Umweltauswirkungen** im Nahbereich der Baustelle sind die möglichen Beeinträchtigungen durch grabenlose Verfahren geringer (Anzahl der betroffenen Schutzgüter und Intensität der möglichen Beeinträchtigungen) als durch offene Verfahren.

Beim **Produktsystemnutzen** zeigt das offene Reparaturverfahren leichte Vorteile gegenüber dem grabenlosen Reparaturverfahren. Die grabenlose Renovierung hat im Produktsystemnutzen Vorteile gegenüber der offenen Erneuerung.

Die **Ökoeffizienz** des grabenlosen Reparaturverfahrens weist trotz seiner Nachteile im Produktsystemnutzen Vorteile (geringere Werte in der Sach- und Wirkbilanz, Vorteile bei den Umweltauswirkungen im Nahbereich) gegenüber dem offenen Reparaturverfahren auf und wird mit einer höheren Ökoeffizienz bewertet.

Die Ökoeffizienz des grabenlosen Renovierungsverfahrens weist Vorteile bei der ökobilanziellen Betrachtung, in den Umweltauswirkungen im Nahbereich und im Produktsystemnutzen auf und wird daher gegenüber dem offenen Erneuerungsverfahren mit einer höheren Ökoeffizienz bewertet.

Bei der **Nachhaltigkeit** zeigen grabenlose Reparaturverfahren gegenüber offenen Reparaturverfahren ein geringeres abiotisches Ressourcenpotenzial, einen leicht höheren Zuspruch seitens der Anspruchsgruppen und leicht höhere Kosten. Vor diesem Hintergrund wird das grabenlose Reparaturverfahren trotz der Nachteile im Produktsystemnutzen als nachhaltiger bewertet als das offene Reparaturverfahren.

Bei der Nachhaltigkeit zeigen grabenlose Renovierungsverfahren gegenüber offenen Erneuerungsverfahren ein geringeres abiotisches Ressourcenpotenzial, einen höheren Zuspruch seitens der Anspruchsgruppen und geringere Kosten. Vor diesem Hintergrund wird das grabenlose Renovierungsverfahren als nachhaltiger bewertet als das offene Erneuerungsverfahren.

8.4 Umweltverträglichkeit von Kanalsanierungsmitteln

Für Bauprodukte, die im privaten Bereich der Grundstücksentwässerung Verwendung finden, ist eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des Deutschen Institutes für Bautechnik (DIBt-Zulassung) erforderlich. Im Rahmen dieser Zulassung sind bestimmte Prüfungen im Hinblick auf die Auswirkungen auf Boden und Grundwasser durchzuführen.

Bei Kanalsanierungs- und Kanalbaumaßnahmen im öffentlichen Bereich besteht zwar keine Verpflichtung Produkte mit einer DIBt-Zulassung einzusetzen, aber in den meisten öffentlichen Ausschreibungen werden diese Zulassungen gefordert. Darüber hinaus wird im Zuge öffentlicher Ausschreibungen von Schlauchlining- und Kurzlining-Maßnahmen auch häufig auf das DWA-Merkblatt M 143-3 (vgl. DWA-M 143-3, 2005) verwiesen, welches entsprechende Anforderungen hinsichtlich der Umweltverträglichkeit der eingesetzten Sanierungsmaterialien fordert (vgl. DWA-M 143-3 2005, Seite 13) und in diesem Zusammenhang auch auf die DIBt-Zulassungsrichtlinien verweist.

Die in Kapitel 8.2 betrachteten Sanierungsszenarien der Ökoeffizienzbewertung unterliegen der Grundannahme, dass nur Sanierungsprodukte zum Einsatz kommen, welche über eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des Deutschen Institutes für Bautechnik (DIBt-Zulassung) und somit über entsprechende Prüfungen im Hinblick auf die Auswirkungen auf Boden und Grundwasser verfügen.

Im Rahmen dieser Prüfungen für allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen des Deutschen Institutes für Bautechnik für Kanalsanierungsmittel werden die „Grundsätze zur Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser“ (vgl. DIBt 2011, Seite 8 ff.) zu Grunde gelegt. Das hier aufgeführte Bewertungskonzept ist in zwei Stufen unterteilt:

- Stufe 1: Ermittlung und Bewertung aller Inhaltsstoffe des zu bewertenden Bauprodukts
In Stufe 1 erfolgt die Ermittlung aller Inhaltsstoffe über die vom Hersteller offen zu legende Rezeption. Kommen mit Blick auf relevante¹³ Inhaltsstoffe bestimmte Ausschlusskriterien nicht zum Tragen, wird die Stufe 2 des Bewertungskonzeptes durchgeführt. Die Bewertung nach Stufe 2 kann jedoch entfallen, wenn Nachweise über alle Inhaltsstoffe des zu bewertenden Bauproduktes vorliegen, die belegen, dass bei seinem Einsatz keine Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung und einer Grundwasserverunreinigung besteht. Das Bauprodukt erfüllt in diesem Fall die Anforderungen der Grundsätze.
- Stufe 2: Ermittlung und Bewertung der mobilisierbaren Inhaltsstoffe des zu bewertenden Bauprodukts
In der Stufe 2 werden die Inhaltsstoffe ermittelt und bewertet, die durch die Einwirkung von Wasser freigesetzt werden können. Darüber hinaus werden deren mögliche Auswirkungen auf die Beschaffenheit von Boden und Grundwasser überprüft. Freigesetzte Stoffe, für die es Geringfügigkeitsschwellen in der LAWA-Veröffentlichung „Ableitung von Geringfügigkeitsschwellen für das Grundwasser“ (vgl. LAWA 2004) gibt (hierbei handelt es sich überwiegend um Schwermetalle), werden im Bewertungskonzept des DIBt aufgegriffen. Für freigesetzte organische Stoffe, für die es keine Geringfügigkeitsschwellen gibt, werden die Auswirkungen auf Boden und Grundwasser anhand von aquatischen ökotoxikologischen Tests bewertet.

Für den Einsatz der im Rahmen dieses Projektes betrachteten Kanalsanierungsverfahren im Grundwasser (in der gesättigten Zone) bedeutet dies konkret, dass laut DIBt (vgl. DIBt 2011, Seite 16) folgende Prüfungen und Bewertungen durchzuführen sind:

- Schlauchlinerverfahren:
Bei der Verwendung einer Außenfolie zwischen dem Abwasserrohr und dem Schlauchliner ist eine Bewertung nach Stufe 1 (s. o.) ausreichend. Wird jedoch keine Außenfolie verwendet, ist die Stufe 2 des Bewertungskonzeptes durchzuführen. In Stufe 2 wird mittels sog. Trogverfahren (in Anlehnung an DIN EN 12873-2 2005) überprüft, welche Stoffe aus dem Schlauchliner freigesetzt werden können. Beim Trogverfahren wird die Eluati-on der Stoffe durch die Einbettung der Linerprobe in entmineralisiertem Wasser erreicht (vgl. DIBt 2011, Anhang II-A, Tabelle II-A.7).
- Kurzliner:
Bei Kurzlinern reicht eine Bewertung nach Stufe 1 aus, wenn der Nachweis erbracht wurde, dass die aufgebrachte Harzmenge nicht abtropft und das Harz bestimmungsgemäß bei Umgebungstemperatur aushärtet. Ist dies nicht der Fall, kommt das Trogverfahren zur Anwendung (s. o.).
- Spachtel- und Verpressverfahren / Injektionsverfahren:

¹³ Relevante Inhaltsstoffe sind gemäß [DIBt 2011] Stoffe, die aus dem Bauprodukt in Boden und Grundwasser eingetragen werden können.

Bei den Spachtel- und Verpressverfahren ist eine Bewertung nach Stufe 1 und 2 erforderlich (s. o.). In Stufe 2 kommen der "Säulenversuch mit umgekehrter Fließrichtung" (vgl. DIBt 2011, Anhang II, Tabelle II-A.5) oder "Technikumsversuchs" (vgl. DIBt 2011, Anhang II, Tabelle II-A.6) als Eluationsmethode zum Einsatz. Beim "Säulenversuch mit umgekehrter Fließrichtung" wird 1l des zu prüfenden Materials im Sand einer Säule eingebettet bzw. injiziert und anschließend mit Trinkwasser von unten nach oben umströmt. Die Prüfung auf Umweltbeeinträchtigungen erfolgt, indem am Durchströmungswasser in bestimmten zeitlichen Abständen Beprobungen vorgenommen und analysiert werden.

Wie bereits in Kapitel 8.1.2 dargestellt, wird das Schlauchliningverfahren für die Renovierung von Abwasserkanälen und -leitungen am häufigsten eingesetzt. Bei diesem Verfahren kommt i. d. R. ein sog. Preliner zum Einsatz (vgl. Dilg 2007, Seite 624), d.h. eine PE-Folie auf der Außenseite des Liners, so dass die Chemikalien des Harzes bei sach- und fachgerechter Ausführung nicht unmittelbar in Kontakt mit dem Grundwasser oder dem Boden kommen können.

Mit Blick auf eine sach- und fachgerechte Ausführung der Kanalinstandhaltungsarbeiten (s. o.) sind Zuverlässigkeit und Erfahrung ausführender Fachfirmen von großer Bedeutung. Der Güteschutz Kanalbau vergibt Gütesiegel an Unternehmen, die hinsichtlich Erfahrung und Zuverlässigkeit bei der Herstellung und Instandhaltung von Abwasserleitungen und -kanälen bestimmte Anforderungen erfüllen. Fachunternehmen, die das Gütezeichen RAL-GZ 961 (vgl. RAL 2012, Seite 13) führen, müssen in regelmäßigen Abständen den Nachweis erbringen, dass ausreichend Personal mit entsprechenden Qualifikationen und Referenzen vorhanden ist und dass die Betriebseinrichtungen und Geräte in ausreichender Menge und funktionsfähigem Zustand bereitgestellt werden. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Eignung eines Sanierungssystems mit der Erteilung eines Gütezeichens nicht bewertet wird.

Die Migration von Inhaltsstoffen in das durchfließende Medium (hier: Abwasser) im Laufe der Nutzung ist derzeit noch nicht Gegenstand der Zulassungsprüfungen des Deutschen Institutes für Bautechnik (DIBt).

Tabelle 40 zeigt Beispiele für Schadstoffe in Baumaterialien der untersuchten Kanalsanierungstechniken, die eine Beeinträchtigung für die Umwelt darstellen können.

Tabelle 40: Schadstoffe in Baumaterialien der Kanalsanierung (Beispiele)

Schadstoffe in Baumaterialien der Kanalsanierung			
Schadstoffe	Bisphenol A	Styrol	Toluoldiisocyanat (TDI)
Verwendung in Kanalsanierungstechniken	Reparatur- u. Renovierungsverfahren - Vorabdichtung	Renovierungsverfahren - Schlauchlining	Reparaturverfahren - Kurzliner
Vorkommen in Baumaterialien	Zwischenprodukt in der Epoxidharzherstellung	Lösungsmittel für Polyesterharz	Härter für Silikatharz
Verwendete Mengen im Rahmen der Kanalsanierung	Unerwünschte Restgehalte im Epoxidharz	165 - 500 kg / Haltungs-länge	0,6 - 1,6 kg / 0,6 m Kurzliner
Eintrag ins Abwasser	Migration aus Epoxidharz	Einbau und Aushärtung des Schlauchliners	Handhabungsverluste beim Einbau des Kurzliners
Stoffeigenschaften	Wassergefährdend (WGK 2) Endokriner Disruptor und Reproduktionstoxisch, Kategorie 2	Wassergefährdend (WGK 2)	Wassergefährdend (WGK 2) sehr giftig und Karzinogen, Kategorie 2
Verhalten in Wasser	Wasserunlöslich, kein Ab-	Sehr gering wasserlöslich,	Zersetzung zu Polyharn-

Schadstoffe in Baumaterialien der Kanalsanierung			
Schadstoffe	Bisphenol A	Styrol	Toluoldiisocyanat (TDI)
	bau, Bindung an Partikeln	leicht biologisch abbaubar	stoff und Kohlendioxid
Verhalten in Kläranlage	Teilweiser Abbau (KA Düsseldorf-Süd > 93%)	leicht biologisch abbaubar (PNEC < 5 mg/l) in Kläranlage	Zersetzung zu Polyharnstoff und Kohlendioxid
Legende: WGK: Wassergefährdungsklasse; KA Düsseldorf-Süd: Kläranlage Düsseldorf-Süd; PNEC: Predicted no effect concentration; Endokriner Disruptor: Umwelthormon			

Bisphenol A

Die Herstellung des Epoxidharzes erfolgt über die Polymerisation von Epichlorhydrin mit Bisphenol A (BPA). Das Zwischenprodukt dieser Reaktion ist Bisphenol A – Diglycidether (BADGE). Durch Zugabe von weiterem Bisphenol A entsteht schließlich Epoxidharz. Je nach Verlauf der Vernetzungsreaktion ist mit Restgehalten an monomeren BPA im Epoxidharz zu rechnen. (Leisewitz 1997, Seite 22). Bisphenol A ist daher als ein unerwünschter Stoff in der Kanalsanierung anzusehen.

Ein Eintrag des Bisphenol A ist über langsam verlaufende Migrationsprozesse in das Abwasser während und nach Abschluss der Kanalsanierung möglich. Der Bisphenol A Hersteller Bayer ging 1996 davon aus, dass unter nicht näher genannten Randbedingungen eine Migration von Bisphenol A aus Epoxidharzen nicht beobachtet wurde (Leisewitz 1997, Seite 30). Im Risikoreport der Europäischen Union zu Bisphenol A (EUBP 2010, Seite 131) wird ausgeführt, dass Ausbreitungsrechnungen sich auf Industriedaten stützen. Bis zur Erstellung dieses Berichtes wurden Messergebnisse über Einträge von Bisphenol A in Abwasser nicht veröffentlicht.

Bisphenol A ist wassergefährdend und ein Umwelthormon, also ein in der Umwelt vorkommender Stoff, der auf das Hormonsystem wirkt. Im Wasser erfolgt kein Abbau des Bisphenol A, der Stoff bindet sich im Wasser an Partikel (Römpf 1996, S. 457 f).

Der Stoff findet sich in erhöhten Konzentrationen an den Kläranlagen wieder, wie beispielsweise Untersuchungen der Technischen Universität Dresden belegen (vgl. Bilitewski et al. 2002). In Kläranlagen kann Bisphenol A teilweise abgebaut werden, wie Untersuchungen an der Kläranlage Düsseldorf-Süd zeigten (UniDO, Seite 163 ff).

Im Rahmen von DIBt-Zulassungen wird die in Stufe 1 (s. o.) offengelegte Rezeptur des Bauproduktes u. a. auch auf Bisphenol A geprüft (vgl. DIBt 2011). In diesem Zusammenhang ist seitens der Hersteller auch offen zu legen, ob der Stoff in gebundener Form (z.B. im Reaktionsharz) oder als Rohstoff vorliegt. Das Vorhandensein von Bisphenol A ist allerdings kein Ausschlusskriterium. Anschließend wird in Stufe 2 des Bewertungskonzeptes mittels Laborprüfungen (Trogverfahren, Säulen- oder Technikumsversuch) untersucht, wie viel von dem Stoff freigesetzt wird. Da für den Stoff Bisphenol A derzeit keine verbindlichen Grenzwerte existieren, führt in diesem Fall auch die freigesetzte Menge nicht zum Ausschluss des Produktes.

Die Deutsche Gesellschaft für Endokrinologie (DGE 2013) empfahl in einer Presseerklärung 2013 beim Umgang mit Endokrinen Disruptoren wie Bisphenol A Zurückhaltung zu üben. Aus Vorsorgegründen sollten auch möglicherweise geringe Migrationsraten von Bisphenol A aus Kanalsanierungsmaterialien im Rahmen von Forschungsvorhaben hinsichtlich der Umweltrisiken beurteilt werden.

Styrol

Styrol dient als Lösungsmittel für Polyesterharze und ist ein notwendiger Stoff in der Kanalsanierung.

Ein Eintrag von Styrol in das Abwasser kann nach der Aushärtung des Schlauchliners unter Umständen möglich sein. Styrol ist wie Bisphenol A wassergefährdend und ist eine süßlich riechende Flüssigkeit. Styrolämpfe reizen die Augen und die Atemwege (RÖMPP 1992). Im Wasser ist Styrol leicht biologisch abbaubar (LÖ 1992, Seite 611). Da styrolhaltige Abwässer der Schlauchlining-Baustelle mit dem übrigen kommunalen Abwasser und anschließend im Belebungsbecken der Kläranlage vermischt und stark verdünnt werden, ist nicht zu befürchten, dass der PNEC –Wert von 5 mg/l Wasser überschritten wird (Lorenz 2007, Seite 4).

Toluoldiisocyanat

Toluoldiisocyanat dient als Härter für Silikatharz und ist wie Styrol ein notwendiger Stoff der Kanalsanierung.

Ein Eintrag von Toluoldiisocyanat in das Abwasser könnte nur durch Handhabungsverluste auf der Baustelle geschehen, da der Härter außerhalb des Abwasserrohres mit dem Silikatharz zusammengebracht wird.

Toluoldiisocyanat ist wie die beiden anderen Schadstoffe wassergefährdend, sehr giftig und riecht durchdringend scharf (Römpf 1992). In Wasser und in Kläranlagen reagiert Toluoldiisocyanat langsam zu Kohlendioxid und dem biologisch und chemisch inerten Feststoff Polyharnstoff.

8.5 Zusammenfassung

Die Ökoeffizienz setzt die Umweltleistung der Kanalsanierungstechniken (ökobilanzielle Betrachtung der verwendeten Baumaterialien und Werkstoffe, die Umweltauswirkungen im Nahbereich) mit dem zugehörigen Produktsystemnutzen in Beziehung. Der Begriff der Ökoeffizienz wird laut DIN EN ISO 14045 als ein Begriff der Nachhaltigkeit angesehen.

Im Rahmen des Projektes wurde eine Ökoeffizienzbewertung für Kanalsanierungstechniken entwickelt und exemplarisch auf konkrete Schadens- und Sanierungsszenarien und Randbedingungen (z. B. Innenstadtbereich) angewendet. Die Auswertung der Fallbeispiele (1: Vergleich der grabenlosen Reparatur „Injektion/Verpressung/Kurzliner“ mit der Reparatur in offener Bauweise durch „Bauteilaustausch und Außenmanschette mittels Kleinbaugrube“, 2: Vergleich der grabenlosen Renovierung mittels „Schlauchlining“ mit der Erneuerung in offener Bauweise) macht folgendes deutlich:

- Bei der ökobilanziellen Betrachtung weist das grabenlose Reparaturverfahren im Fallbeispiel Vorteile gegenüber dem offenen Verfahren auf. Dies zeigt sich insbesondere im Energie- und Wasserbedarf bei der Herstellung der verwendeten Baumaterialien. Außer dem Ozonabbaupotenzial sind die betrachteten Umweltwirkungen in den einzelnen Wirkungskategorien beim grabenlosen Verfahren kleiner als beim offenen Verfahren.
- Bei den Umweltauswirkungen im Nahbereich der Baustelle sind in den Fallbeispielen die möglichen Beeinträchtigungen durch die betrachteten grabenlosen Verfahren geringer (Anzahl der betroffenen Schutzgüter und Intensität der möglichen Beeinträchtigungen) als durch die offenen Verfahren.
- Beim Produktsystemnutzen zeigt das Fallbeispiel des offenen Reparaturverfahrens leichte Vorteile gegenüber dem grabenlosen Reparaturverfahren. Die betrachtete grabenlose Renovierung hat im Produktsystemnutzen Vorteile gegenüber der offenen Erneuerung.
- Die Ökoeffizienz des grabenlosen Reparaturverfahrens weist im Fallbeispiel trotz seiner Nachteile im Produktsystemnutzen Vorteile (geringere Werte in der Sach- und Wirkbilanz, Vorteile bei den Umweltauswirkungen im Nahbereich) gegenüber dem offenen Reparaturverfahren auf und wird mit einer höheren Ökoeffizienz bewertet. Die Ökoeffizienz des grabenlosen Renovierungsverfahrens weist im Fallbeispiel Vorteile in der Ökobilanz, in den Umweltauswirkungen im Nahbereich und im Produktsystemnutzen

auf und wird daher gegenüber dem offenen Erneuerungsverfahren mit einer höheren Ökoeffizienz bewertet.

- Bei der Nachhaltigkeit zeigt das Fallbeispiel des grabenlosen Reparaturverfahrens gegenüber dem offenen Reparaturverfahren ein geringeres abiotisches Ressourcenpotenzial, einen leicht höheren Zuspruch seitens der Anspruchsgruppen und leicht höhere Kosten. Vor diesem Hintergrund wird das grabenlose Reparaturverfahren trotz der Nachteile im Produktsystemnutzen als nachhaltiger bewertet als das offene Reparaturverfahren. Bei der Nachhaltigkeit zeigt das Fallbeispiel des grabenlosen Renovierungsverfahrens gegenüber dem offenen Erneuerungsverfahren ein geringeres abiotisches Ressourcenpotenzial, einen höheren Zuspruch seitens der Anspruchsgruppen und geringere Kosten. Vor diesem Hintergrund wird das grabenlose Renovierungsverfahren in diesem Fall als nachhaltiger bewertet als das offene Erneuerungsverfahren.
- Kanäle müssen betriebssicher, standsicher und dicht sein, und dies über die gesamte geplante Nutzungsdauer. Die angebotenen Bau- und Sanierungsverfahren tragen in unterschiedlicher Weise zur Erfüllung dieser Leistungsziele bei. Da in diesem Projekt die „Auswirkungen aus Kanalabdichtung bei Infiltration“ im Vordergrund stehen, bezieht sich die dargestellte Ökoeffizienzbewertung (s. o.) allein auf den Fall der Wiederherstellung der „Dichtheit“. Dabei wurden Randbedingungen vorausgesetzt, die auch einen Einsatz von Renovierungs- und Reparaturverfahren möglich machen. Dies betrifft insbesondere das Vorliegen langfristig unveränderter Anforderungen an die Netzstruktur. Darüber hinaus wird von einer alleinigen Maßnahmendurchführung durch einen einzelnen Netzbetreiber ausgegangen.
- Ergeben sich im Zuge der offenen Bauweise Synergieeffekte, wie z.B. die Erneuerung von Gas- und Wasserversorgungsleitungen oder die Erneuerung der Straßendecke, sind diese bei der Ökoeffizienzbewertung zu berücksichtigen. Durch die gemeinsame Verlegung bzw. Erneuerung von Ver- und Entsorgungsleitungen können sich beispielsweise erhebliche Potenziale zur Reduzierung von Umweltauswirkungen und damit auch eine verbesserte Ökoeffizienz ergeben. Seitens der Kanalnetzbetreiber wird die Erneuerung aber auch häufig gewählt, weil – im Gegensatz zu den geschlossenen Verfahren (Renovierung und Reparatur) – ein Kanal errichtet wird, der vollständig (auch hydraulisch) den aktuellen Anforderungen entsprechen kann. Zudem lassen bestimmte Schadensbilder auch kaum Alternativen zur Erneuerung zu, wie z.B. Defekte im Rohr-Boden-System (Bodeneinbrüche und Bodenveränderungen, Unterbögen, Hohlräume). Für die Auswahl von Sanierungsverfahren in der Praxis ist daher zu berücksichtigen, dass neben der bloßen „Abdichtwirkung“ auch die übrigen Leistungsziele, wie die Wiederherstellung der Standsicherheit und ggf. Verbesserung der hydraulischen Leistungsfähigkeit in die Entscheidungsfindung einzubeziehen sind.
- Die Wirtschaftlichkeit ist wiederum maßgeblich durch den mit dem sanierten System tatsächlich erreichbaren Planungshorizont bestimmt, der auch durch die demografische Entwicklung und die möglichen Folgen eines Klimawandels geprägt sein kann. Auch hier kann die offene Bauweise mit Blick auf den Netzausbau und -rückbau weitere Flexibilität bieten, mit dann voraussichtlich höherem Produktsystemnutzen und auch höherer Ökoeffizienz.
- Die Ergebnisse der Ökoeffizienzbewertung gelten nur für die betrachteten Fallbeispiele. Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse wäre falsch, da sich diese immer nur auf die jeweiligen vorzufindenden Randbedingungen beziehen. Aus diesem Grund ist eine Ökoeffizienzbewertung für jeden Sanierungsfall erneut durchzuführen (Einzelfallbetrachtung). Im Einzelfall ist eine transparente, nachvollziehbare Wichtung der Faktoren des Produktsystemnutzens zwingend erforderlich.

Im Zuge der Bewertung der Ökoeffizienz und Nachhaltigkeit wurde auch eine Recherche zur Umweltverträglichkeit von Kanalsanierungsmitteln durchgeführt (vgl. Kapitel 8.4). Die Ergebnisse dieser Recherche machen deutlich, dass bei der Kanalsanierung – je nach Bauverfahren – Schadstoffe (z. B. Styrol, Bisphenol A, Toluoldiisocyanat) zum Einsatz kommen. Da Styrol und Toluoldiisocyanat zum Teil in geringen Konzentrationen vorliegen und/oder abbaubar sind, wird die Umweltbeeinträchtigung als gering eingestuft. Wissenschaftliche Erkenntnisse zur Freisetzung von Bisphenol A aus Sanierungsmaterialien liegen bislang nicht vor. Generell sollten Kanalsanierungsarbeiten sach- und fachgerecht ausgeführt werden, um die Umweltauswirkungen zu minimieren.

9 Auswirkungen auf den örtlichen Wasserhaushalt

Bei der Beurteilung des Fremdwasseranfalls werden häufig nur die Schadstellen im Rohr und die Mengen des infiltrierenden Wassers betrachtet (Hennerkes, 2006, Seite 68). Dass dabei die lokalen Grundwasserstände und auch die Bodenarten einen wichtigen Einfluss auf das Infiltrationsvolumen haben, wird in der Praxis oft vernachlässigt. So kann beispielsweise an einer großen Schadstelle, die von bindigen Böden umgeben ist, vergleichsweise weniger Wasser infiltrieren als an einer kleinen Schadstelle, die von sandig-kiesigem Boden umgeben ist (Keilholz & Disse, 2010, Seite 32). Je nach Boden und Schadstelle stellen sich entsprechende Absenktrichter im Grundwasser ein, die sich bei mehreren schadhafte Kanalhaltungen überschneiden können. Dadurch kann im Extremfall der Effekt einer flächigen Dränage hervorgerufen werden. Die unkontrollierte Grundwasserabsenkung über undichte Rohre kann unterschiedliche Auswirkungen haben. U.a. kann die Möglichkeit der Wasseraufnahme der Vegetation beeinträchtigt werden. Es kommt in der Folge zu Vegetationsschäden (Chen, et al., 2010, Seite 170). Veränderte Grundwasserstände können sich auch auf die Standsicherheit von Gebäuden auswirken. Wenn der Grundwasserstand sinkt, verändert sich der Porenwassergehalt im Boden mit der Folge von Setzungen an Gebäuden, die Schäden mit sich bringen können. Aber auch der entgegengesetzte Effekt ist möglich. Wurde beispielsweise ein Bauwerk während der Bauphase auf einen „dränierten“ Boden gegründet und erst später die Dränage beseitigt, steigt der Porenwasserdruck, der zu einem Quellen des Bodens führen kann. Im Extremfall kann es besonders bei bindigen Böden zu einem hohen Porenwasserdruck kommen, der zu einer Verflüssigung des Bodens führt, wodurch die Standsicherheit eines Gebäudes gefährdet ist.

Diese Überlegungen zeigen, dass nicht allein der quantitative Fremdwasseranfall in Rohrleitungen betrachtet werden darf. Es ist unbedingt notwendig auch die Einflüsse der Umwelt auf und durch die Schadstelle mit zu berücksichtigen.

Die Professur für Wasserwesen und Ressourcenschutz (WWR) der Universität der Bundeswehr hat die o. a. Auswirkungen der Kanaldichtheit auf den örtlichen Grundwasserhaushalt im Rahmen dieses Projektes näher untersucht. Im Vordergrund standen hierbei insbesondere mögliche Vegetations- und Gebäudeschäden als Folge einer veränderten Grundwassersituation. Die Untersuchungen zum Grundwasserhaushalt beziehen sich nur auf den Fall der Infiltration von Grundwasser in undichte Abwasserkanäle und -leitungen. Die Exfiltration von Abwasser aus undichten Abwasserkanälen und -leitungen und die damit verbundenen Auswirkungen auf Grundwasser und Boden (z.B. Verunreinigung, Bodenausspülung) wurden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nicht näher betrachtet.

Um einen Überblick über die Problematik möglicher Auswirkungen eines Grundwasseranstieges durch Kanalabdichtungen zu bekommen, wurde zunächst eine bundesweite Umfrage bei Städten, Gemeinden und Wasserverbänden durchgeführt (vgl. Kapitel 9.1). Unter Zugrundelegung der Umfrageergebnisse wurden anschließend zwei Praxisbeispiele für weitergehende Untersuchungen ausgewählt.

In diesen Fallstudien wurden die ausgewählten Praxisbeispiele mit Blick auf Ursache und Wirkung von Kanalabdichtungen detaillierter untersucht (vgl. Kapitel 9.2). So wurden in einem Praxisbeispiel die Auswirkungen verschiedener Sanierungsszenarien auf den Grundwasserstand mit Hilfe eines Berechnungsprogramms simuliert und analysiert (vgl. Kapitel 9.2.1). Anhand eines weiteren Fallbeispiels wurde in diesem Zusammenhang der Einfluss hydrologischer und geologischer Verhältnisse auf den Grundwasserhaushalt näher betrachtet, indem entsprechende Messdaten (z.B. Niederschlag, Grundwasserflurabstand) ausgewertet und analysiert wurden (vgl. Kapitel 9.2.2).

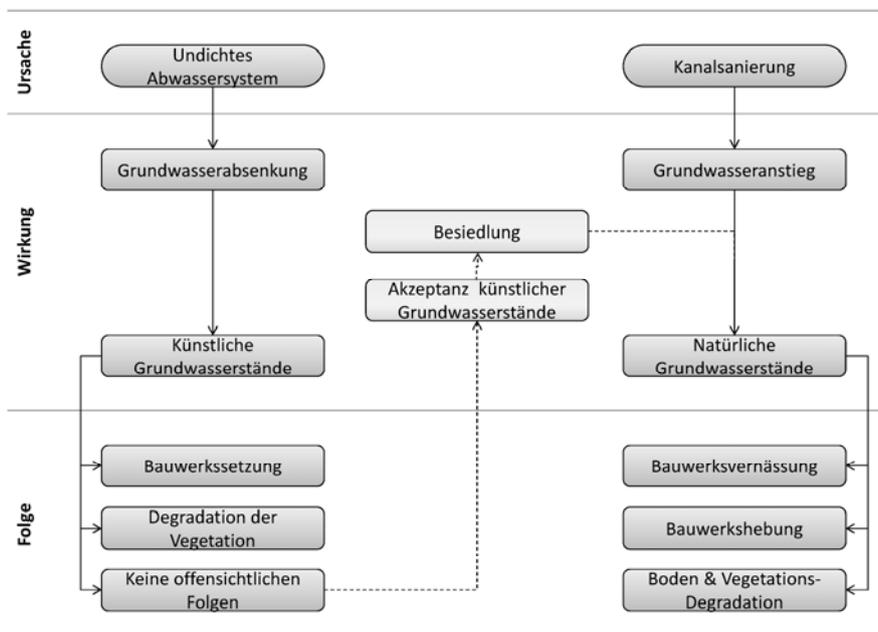
Um den Einfluss der Veränderung des Grundwasserstandes infolge Kanalabdichtungen auf die Bodeneigenschaften abschätzen zu können, führte WWR zusätzlich theoretische Untersuchungen zum Einfluss von Grundwasserschwankungen auf das Setzungsverhalten unterschiedlicher Böden durch (vgl. Kapitel 9.2.3).

9.1 Allgemeine Situation und Schadensfälle

Schäden können dann entstehen, wenn sich durch eine Änderung des Grundwasserhaushalts neue Grundwasserstände einstellen. Eine solche Änderung kann durch infiltrierendes Grundwasser in defekte Abwasserkanäle und -leitungen (Grundwasserabsenkung) aber auch durch Sanierungsmaßnahmen an undichten Abwasserkanälen und -leitungen (Grundwasseranstieg) entstehen. Da sich Ursachen und Wirkungen von Folgeschäden nicht immer unmittelbar zuordnen lassen, ist eine detaillierte Analyse erforderlich.

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde grundsätzlich davon ausgegangen, dass schadhafte Abwasserkanäle und -leitungen im Grundwasser oder Grundwasserschwankungsbereich eine Dränagewirkung aufweisen. Infolge flächenhafter Abdichtungsmaßnahmen steigt der Grundwasserstand an mit entsprechenden Folgen für die Gebäude und die Vegetation. Mit Blick auf die Veränderung des Grundwasserstandes können zwei grundsätzliche Abläufe der Ursache-Wirkung-Folgen-Kette aufgestellt werden, die eng miteinander verknüpft sind (vgl. Abbildung 75).

Abbildung 75: Ursache – Wirkung – Folgen – Kette



Demnach wird das „Undichte Abwassersystem“ am Anfang der ersten Ursache-Wirkung-Folgen-Kette aufgeführt. Am Anfang der zweiten Ursache-Wirkung-Folgen-Kette steht die „Kanalsanierung“.

Die Zusammenhänge der Ursache-Wirkung-Folgen-Kette lassen sich wie folgt beschreiben (vgl. Abbildung 75): Ein „undichtes Abwassersystem“ kann dazu führen, dass es durch die Dränagewirkung zu einer Grundwasserabsenkung und in der Folge zu Bauwerkssetzungen bzw. Beeinträchtigung der Vegetation (Stichwort: Degradation) kommt. Wenn ein undichtes Abwassersystem (Kanalnetz aus öffentlichen und privaten Abwasserkanälen und -leitungen) eine kontinuierliche Dränagewirkung hat, muss dies aber nicht zwangsläufig unmittelbare Auswirkungen auf die Umwelt haben („keine offensichtlichen Folgen“). Es kommt im Laufe der Zeit zu einer künstlichen Absenkung des Grundwassers im Einzugsbereich der Undichtigkeiten und ggf. – bei weiter voranschreitenden Schäden am Kanalnetz oder einer Verschlechterung der Schadensbilder – zu weiteren Grundwasserabsenkungen.

Beim Bau neuer Gebäude oder bei der Erschließung neuer Siedlungsgebiete werden die natürlichen Grundwasserstände oft nicht berücksichtigt, so dass die Bauwerke in einem künstlich

dränierten Bereich entstehen („Akzeptanz künstlicher Grundwasserstände“). Wird der Zufluss von Grundwasser in undichte Abwasserkanäle und -leitungen durch Abdichtungsmaßnahmen am öffentlichen und privaten Kanalnetz („Kanalsanierung“) und/oder durch ein Abklemmen von privaten Drainageanschlüssen deutlich verringert oder gar aufgehoben, steigt der Grundwasserstand wieder auf seine natürlichen Verhältnisse an – mit entsprechenden Folgen für Bauwerke, die nicht auf den natürlichen Grundwasserstand ausgelegt sind (z.B. Bauwerksverwässerung, Bauwerkshebung). Darüber hinaus kann auch in diesem Fall die vorhandene Vegetation beeinträchtigt werden (Vegetationsdegradation). So können insbesondere Baumarten, die als nicht „staunäsetolerant“ eingestuft werden, Schaden nehmen. Hierzu zählen u. a. auch Bäume, die im urbanen Raum häufig vorzufinden sind, wie z. B. die Hainbuche, die Rotbuche oder die Birke (Meyer, 1982).

Auch eine Verschlechterung der Bodeneigenschaften (Bodendegradation) kann die Folge sein.

Zur Untersuchung dieser Ursache-Wirkungs-Folge-Ketten wurde im Rahmen des Projektes eine bundesweite Umfrage durchgeführt. Ziel war es, Informationen über besonders häufige Schäden und deren Ursachen zu bekommen. Hierzu wurde ein Fragebogen (Anhang) unter dem Titel „Folgen der Kanalabdichtung für Vegetation und Bauwerke?“ erarbeitet, um die beschriebenen Schäden und mögliche Ursachen bei den Kommunen abzufragen. Die Verteilung des Fragebogens erfolgte über den E-Newsletter des IKT (ca. 13.500 Leser, vgl. IKT 09/2012), als direkter Email-Versand an ca. 3.700 Kommunen (vgl. IKT 10/2012) sowie eine Anzeige in den Zeitschriften Korrespondenz Wasserwirtschaft (KW) (Keilholz, 2012, Seite 588) und Korrespondenz Abwasser, Abfall (KA) (Keilholz, 2012, Seite 1020) der DWA. Neben dem Fragebogen wurden zudem ausgewählte Kommunen telefonisch kontaktiert und systematisch befragt.

Die 38 beantworteten Fragebögen lassen zwar keine allgemeingültige statistische Auswertung zu, allerdings sind Tendenzen erkennbar. Die Auswertung zeigt, dass ca. 39 % der Befragten Probleme mit dem Grundwasseranstieg haben, der auf eine Kanalsanierungsmaßnahme zurückzuführen ist. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass an der Umfrage viele Kommunen teilgenommen haben, die Probleme mit hohen Grundwasserständen haben. Fälle, in denen es zu einer Grundwasserabsenkung infolge eines schadhafte Kanals gekommen ist, wurden nicht beschrieben. Dies liegt vermutlich daran, dass das Schadenspotenzial von sinkenden Grundwasserständen deutlich geringer ist und sich die Ursachen oft nicht eindeutig zuordnen lassen. Am häufigsten wird der Schaden „vernässter Keller“ beschrieben. Aber auch von anderen Schadensbildern wie Straßenschäden, Vegetationsschäden an Bäumen oder Flurschäden an Agrarflächen wird berichtet.

Im Rahmen weiterer Recherchen wurde deutlich, dass der Anstieg von Grundwasser z. T. erhebliche Auswirkungen auf die städtische Vegetation haben kann. In einem Fallbeispiel wurden durch Förderbrunnen eines Wasserwerkes über Jahrzehnte künstliche Grundwasserhältnisse geschaffen. Die Außerbetriebnahme des Wasserwerkes hat in diesem Fall zu einem steigenden Grundwasserpegel und in der Folge zu einer Schädigung von über 500 Bäumen einer städtischen Parkanlage geführt, so dass zum Teil Neupflanzungen erforderlich sind (vgl. Becker 2013).

9.2 Fallstudien und theoretische Betrachtungen

Aus den vorliegenden Umfrageergebnissen zu den Folgen der Kanalabdichtung für Vegetation und Bauwerke (vgl. Kapitel 9.1) wurden zwei Praxisbeispiele für weitergehende Untersuchungen ausgewählt. In diesen beiden Fallstudien wurden die Auswirkungen von Kanalabdichtungen auf den örtlichen Grundwasserhaushalt analysiert und entsprechend verifiziert (vgl. Kapitel 9.2.1 und Kapitel 9.2.2).

In Fallstudie 1 wurde ein Gebiet mit parallelen Straßenzügen im urbanen Bereich untersucht, in dem es zu einem Grundwasseranstieg nach der Sanierung eines öffentlichen Abwassersys-

tems gekommen ist (vgl. Kapitel 9.2.1). In Fallstudie 2 werden Probleme aufgegriffen, die durch Schichtenwasser an Siedlungen in Hanglage entstehen können (vgl. Kapitel 9.2.2).

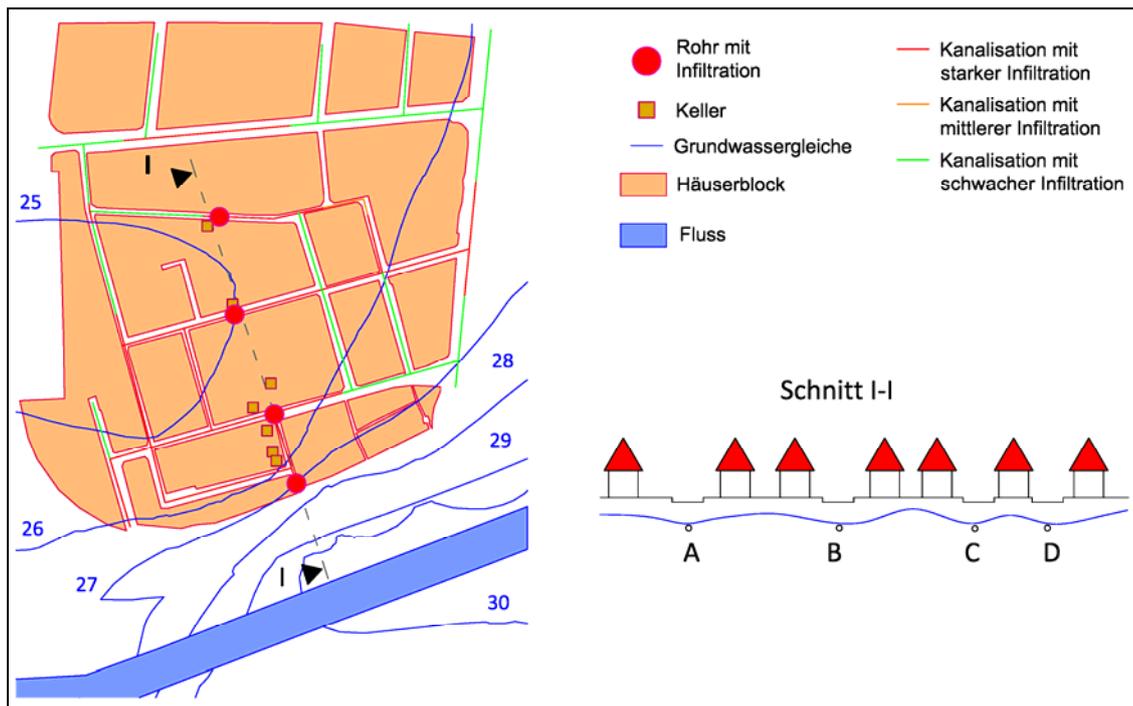
Darüber hinaus wurde im Rahmen einer weiteren Untersuchung der Frage nachgegangen (Fallstudie 3), welche Auswirkungen eine Veränderung der mittleren Grundwasserstände auf die Bodeneigenschaften haben (vgl. Kapitel 9.2.3).

9.2.1 Fallstudie 1: „Gebiet mit parallelen Straßenzügen im urbanen Raum“

9.2.1.1 Hintergrund und Problemstellung

Fallstudie 1 bezieht sich auf das Verhalten des Grundwassers im ebenen städtischen Gebiet, in dem ein undichtes Kanalnetz eine dränierende Wirkung hat (vgl. Abbildung 76). Die oftmals parallel angeordneten Straßenzüge mit ihrer entsprechenden Entwässerungseinrichtung können wie eine Drainagegalerie (Schnitt I-I in Abbildung 76) wirken, bei dem sich an jedem Abwasserkanal (A, B, C, D) ein Absenktrichter einstellt. Werden einzelne undichte Kanäle saniert muss das Grundwasser nicht gleich steigen, da durch das Wegfallen des Absenktrichters das Grundwasser vermehrt zu benachbarten schadhaften Kanälen fließen kann. Erst wenn eine bestimmte Anzahl der undichten Kanäle saniert wurde, steigt das Grundwasser wieder an.

Abbildung 76: Untersuchungsgebiet für Fallstudie 1 mit undichtem Kanalnetz



Das Untersuchungsgebiet der Fallstudie liegt in einem Bergsenkungsbereich des Ruhrgebiets, weshalb sich seit der Mitte des 19. Jh. die Geländeoberfläche um bis zu 20 m gesenkt hat (Harnischmacher, 2013, Seite 124). Infolge dessen haben sich die natürlichen Grundwasserflurabstände stark verringert, oder es sind sogar Poldergebiete entstanden, die ständig künstlich entwässert werden müssen. Als der Stadtteil des Untersuchungsgebiets angelegt wurde, waren die Grundwasserstände für die Bebauung nicht kritisch und dies galt auch noch solange wie das öffentliche Abwassersystem undicht war. Doch durch die Abdichtung der Kanäle stieg das Grundwasser an und es kam zum klassischen Schadensbild der Vernässung von Kellern. Infolge dieser Situation können die undichten Abwassersysteme nicht ohne ganzheitliche Betrachtung saniert werden, da das Grundwasser weiter steigen würde. Es muss eine Lösung erarbeitet wer-

den, die für alle Beteiligten akzeptabel ist. Eine Möglichkeit ist der Bau eines Ersatzsystems mit zentralen Dränagen zur großflächigen Grundwasserbewirtschaftung. Mit einer solchen Maßnahme wird der Grundwasseranstieg infolge Kanalsanierung abgefangen. Allerdings ist der Bau eines solchen Ersatzsystems teuer und wartungsintensiv.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Abwasserkanäle als Sofortmaßnahme nur soweit abzudichten, dass ein Grundwasseranstieg keine Schäden hervorruft. Dadurch könnten die Fremdwassermengen verringert, aber nicht vermieden werden. Ein Ersatzsystem könnte im nachfolgenden Schritt in den sensiblen Bereichen installiert werden, wodurch es deutlich kleiner und wirtschaftlicher dimensioniert werden könnte. Für die Fallstudie stellt sich daher die Frage, welche Abwasserleitungen des Mischsystems als Sofortmaßnahme saniert werden können, ohne einen übermäßigen Anstieg des Grundwassers und Schäden an der Bebauung zu verursachen. Infolge der Dränagewirkung der undichten Kanäle entstehen Grundwasser-Absenktrichter, die sich aufgrund der räumlichen Nähe der Abwasserleitungen überschneiden (vgl. Abbildung 76, Schnitt I-I). Es ist davon auszugehen, dass es – mit Blick auf die Infiltration von Grundwasser - zu einer Interaktion zwischen den benachbarten Abwasserleitungen kommt. Um diese komplexen Zusammenhänge erfassen und bewerten zu können, wurde ein Berechnungsmodell gewählt, das nicht nur die einzelne Abwasserleitung betrachtet, sondern ein komplettes System aus insgesamt vier benachbarten Abwassersammlern (parallel angeordnet) in den Straßenzügen eines Wohngebietes.

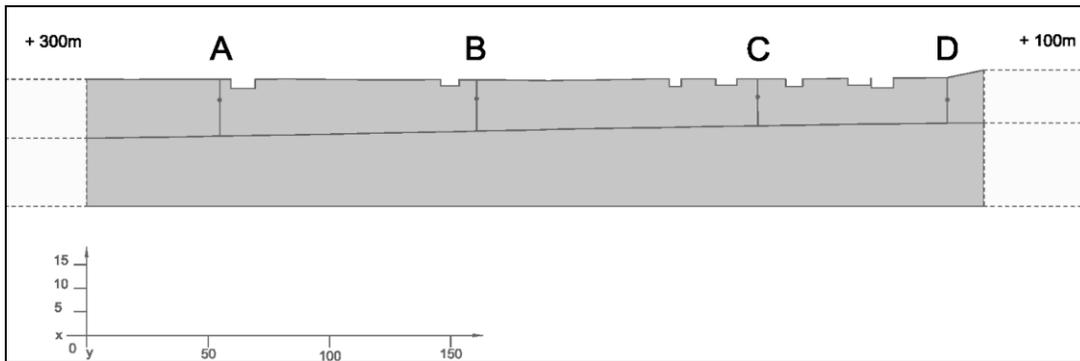
9.2.1.2 Modellierung von Sanierungsmaßnahmen

Für die Berechnung der Sanierungsmaßnahmen wird ein 2-dimensionales Grundwassermodell aufgebaut. Mit dem Berechnungsprogramm FEFLOW (Finite Element Subsurface FLOW & Transport Simulation System)¹⁴ können die hydrogeologischen Fließprozesse in Bodenkörpern physikalisch abgebildet werden. Mit einem durch die vier Straßen (A-D) verlaufenden vertikalen Schnitt können die Grundwasserflüsse und Infiltrationsmengen für den laufenden Trassenmeter bestimmt werden (vgl. Abbildung 77). Für den Modellaufbau werden folgende Annahmen getroffen:

- Die Tiefenlage der Abwasserkanäle wird mit 2,2 m unter den nächstgelegenen Keller angesetzt.
- Aus der bekannten Topografie werden die Kellertiefen auf das Profil projiziert.
- Damit im Grundwassermodell an dem linken und rechten Modellrand sich realistische Absenktrichter einstellen wird der linke Modellrand um 300 m und der rechte um 100 m verlängert. Diese Bereiche sind Teile der „FEFLOW-Randbedingung“ und bedürfen daher keiner topografischen Informationen.

¹⁴ FEFLOW ist ein Softwareprogramm zur Berechnung von Wasserströmung, Massen- und Wärmetransport in porösen Medien.

Abbildung 77: Systemskizze des vertikalen Grundwassermodells (5-fach überhöht)



Für die Grundwassermodellierung wird das Modelle FEFLOW verwendet, mit dem die geohydraulischen Fließprozesse abgebildet werden können (Diersch, 2009, Seite 13). Der Bodenaufbau verfügt über zwei Schichten. Die obere Schicht besteht aus Quartären Sedimenten (Durchlässigkeitsbeiwert $k_f = 8 \cdot 10^{-5}$ m/s bis $k_f = 2 \cdot 10^{-4}$ m/s) und die tiefer liegende Schicht besteht aus einem Mergel (Durchlässigkeitsbeiwert $k_f = 1 \cdot 10^{-7}$ m/s). Die Modellierung der in der oberen Schicht befindlichen Rohrleitungen erfolgt durch abstrahierte Rohrleitungen mit einer 5 cm dicken Wandung. Die Durchlässigkeit der Wandung kann separat variiert werden, um die Infiltrationsmengen einzustellen. Die Extremwerte der Rohrwanddurchlässigkeit können für undichte Rohrleitungen gleich des umgebenen Bodens sein, wodurch ein ungehindertes Einfließen des Wassers ermöglicht wird. Dagegen können wasserdichte Rohre mit einem geringen Durchlässigkeitsbeiwert ($k_f = 1 \cdot 10^{-10}$ m/s) belegt werden, wodurch nahezu kein Wasser einsickern kann. Die Eckdaten der Modellkonfiguration sind in folgender Tabelle abgebildet (vgl. Tabelle 41):

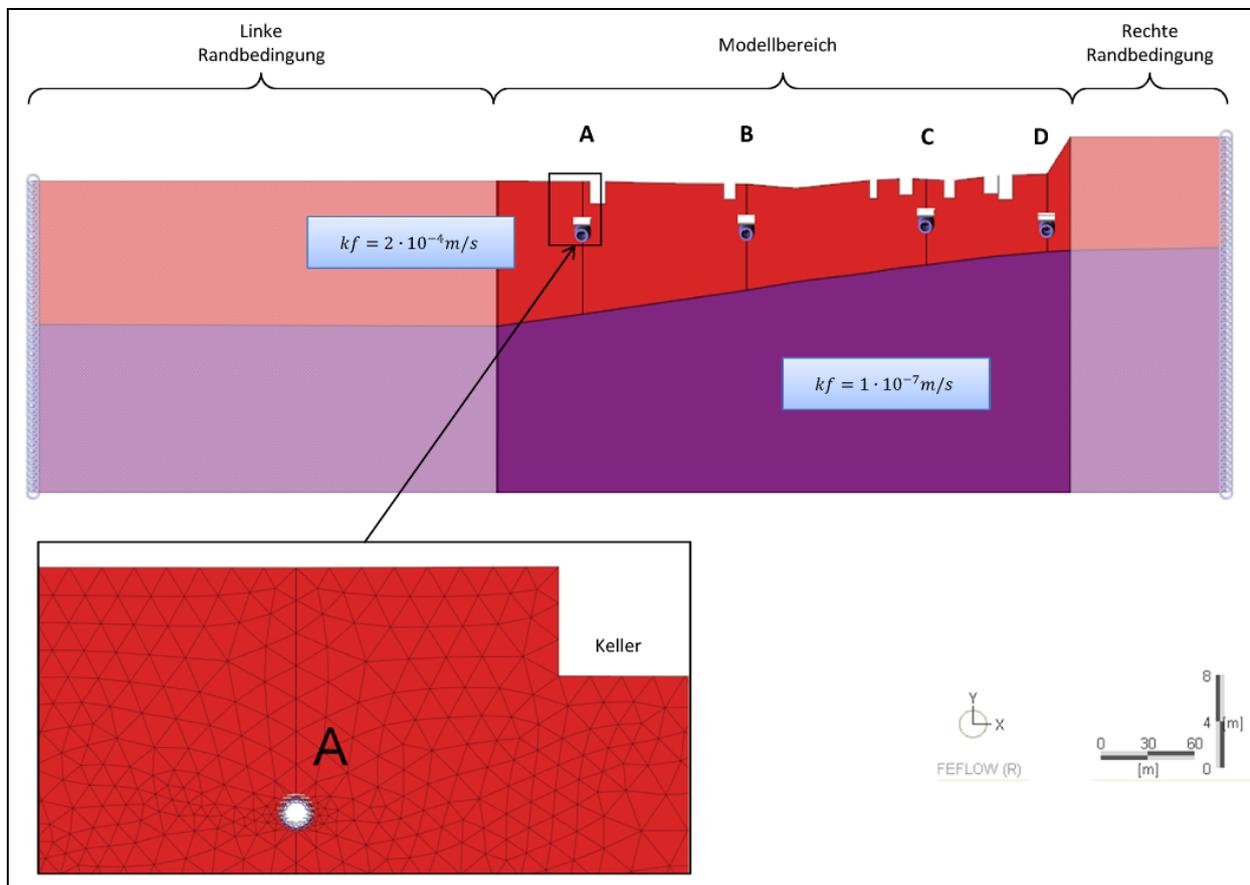
Tabelle 41: Parametrisierung des Grundwassermodells

FEFLOW 6.0	Parameter/ Einstellung
Finite-Elemente Netz	
Netz-Generator	Advancing Front
Anzahl Elemente	85.000 Stück
Grundeinstellungen	
Geohydraulische Berechnung	Gesättigtes Medium
Simulation	stationär
Fehlertoleranz	$1 \cdot 10^{-4}$
Lösungsalgorithmus	PCG (preconditioned conjugate-gradient)
Materialeinstellungen	
Hydraulische Leitfähigkeit, obere Schicht (kf,o)	$k_f = 2 \cdot 10^{-4}$ m/s
Hydraulische Leitfähigkeit, untere Schicht (Kf,u)	$k_f = 1 \cdot 10^{-7}$ m/s
Hydraulische Leitfähigkeit, Rohrmaterial (Kf,R)	$k_f = 2 \cdot 10^{-4}$ m/s (durchlässig); $k_f = 1 \cdot 10^{-7}$ m/s
Speicherkoeffizient (Ss)	$1 \cdot 10^{-4}$ 1/m
Randbedingungen	
Linker Modellrand	Dirichlet-Bedingung: 24,88 m
Rechter Modellrand	Dirichlet-Bedingung: 26,38 m
Abflussrohre	See-Page-Funktion
Anfangsbedingung	

FEFLOW 6.0	Parameter/ Einstellung
Grundwasserstand	links 24,88 m; rechts 26,38 m

Eine Kalibrierung des Modells ist nicht notwendig, da über die linke und rechte Randbedingung (s. o.) Grundwasserstände aus einem übergeordneten bereits kalibrierten Modell eingefügt werden. Dadurch wird auch der Einfluss eines Gewässers am rechten Modellrand mit berücksichtigt. Weitere Randbedingungen (seepage function¹⁵) werden an den Innenseiten der Abwasserleitungen angesetzt, über die das in die Rohrleitung infiltrierte Grundwasser abfließen kann. Berechnungsgrundlage des Modell ist eine Finite-Elemente-Dreiecksnetz¹⁶, das mit dem „Advancing Front“¹⁷ Grid-Generator¹⁸ erzeugt wird. Das Netz verfügt über 85.000 Elemente, die an den Rohrleitungen des Abwassersystems verdichtet werden (vgl. Abbildung 78).

Abbildung 78: Modellaufbau in FEFLOW mit den Randbedingungen, Durchlässigkeit der Bodenschichten und einem Detail des triangulierten Berechnungsnetzes an der Rohrleitung A



¹⁵ Seepage funktion: Spezielle Randbedingung, um Leckagen aus dem Grundwasserkörper simulieren zu können
¹⁶ Finite-Element-Methode: Die Finite-Elemente-Methode (FEM) ist ein numerisches Berechnungsverfahren zur Lösung von partiellen Differentialgleichungen.
¹⁷ Advancing Front: Spezielle Routine innerhalb des Grid-Generators zur Erstellung eines finiten Elemente Berechnungsnetzes
¹⁸ Grid-Generator: Routine zur Erstellung von finiten Elemente Berechnungsnetzen

9.2.1.3 Berechnungsszenarien

Um die Frage zu klären, wie sich die Grundwasserstände bei unterschiedlicher Auswahl der zu sanierenden Kanäle verhalten, sind für unterschiedliche Szenarien Berechnungen notwendig. In den Szenarien werden alle Rohre in unterschiedlichen Kombinationen abgedichtet (z.B. Rohr A und B; Szenario 6). Dadurch können die Grundwasserstände in Abhängigkeit zu der Sanierungsmaßnahme an einzelnen Abwasserleitungen ermittelt werden. Es wird immer zwischen den möglichen Zuständen „absolut undicht“ oder „absolut dicht“ unterschieden. Daraus ergeben sich 16 mögliche verschiedene Szenarien, für die die Fremdwassermengen und Grundwasserstände ermittelt werden. Es ist zu beachten, dass es sich um ein Modell handelt, mit dem die Extremsituationen ermittelt werden sollen. Aus diesem Grund wurde im Modell für Szenario 1 die Annahme getroffen, dass die Abwasserleitung „komplett undicht“ ist, so als ob die Rohrwandung fehlen würde – ein Fall, der in der Realität kaum vorzufinden ist.

9.2.1.4 Auswertung

Mit dem Modell FEFLOW wurden für alle Szenarien die Grundwasserzuflüsse in die Kanäle separat bestimmt. Für die Auswertung der Szenarien werden die summierten Infiltrationsmengen aller vier Rohrleitungen als Bewertungsmaßstab zugrunde gelegt. Ein weiteres Ergebnis der Berechnungen sind die Grundwasserstände, die sich bei jedem Szenario einstellen. Als weiterer Bewertungsmaßstab wird daher die Anzahl der Keller verwendet, die bis ins Grundwasser einbinden (vgl. Tabelle 42).

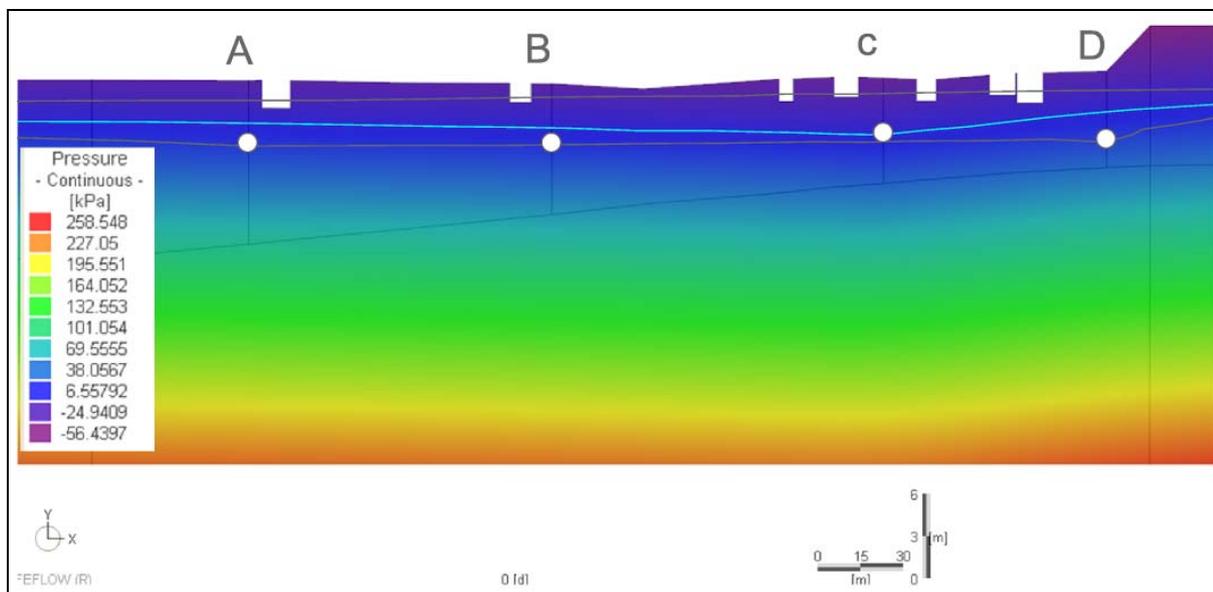
Tabelle 42: Fremdwasseranfall in den Kanalhaltungen A-D für die Berechnungsszenarien

Szenario	Fremdwasseranfall [l/s pro 100 m]					Keller im Grundwasser
	Kanal A	Kanal B	Kanal C	Kanal D	Summe	
1	1.8	0.2	0.0	5.5	7.5	0
2	0.0	1.4	0.0	5.5	6.9	0
3	2.0	0.0	0.0	5.5	7.5	0
4	1.8	0.2	0.0	5.4	7.4	0
5	1.9	0.7	1.7	0.0	4.3	0
6	0.0	0.0	0.3	6.3	6.6	0
7	0.0	1.4	0.0	5.5	6.9	0
8	0.0	2.0	1.8	0.0	3.8	0
9	2.0	0.0	0.0	5.5	7.5	0
10	2.3	0.0	2.0	0.0	4.3	0
11	1.9	1.7	0.0	0.0	3.6	1
12	0.0	0.0	0.0	6.3	6.3	0
13	0.0	0.0	3.2	0.0	3.2	0
14	0.0	3.1	0.0	0.0	3.1	1
15	2.6	0.0	0.0	0.0	2.6	1
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7

Die lokalen Verhältnisse haben einen starken Einfluss auf das Modell. Das zeigt sich besonders im rechten Modellbereich, wo von einem Fließgewässer dessen Sickerwasser über die rechte Randbedingung in das Modell einfließt. Dadurch wird in Gewässernähe ein entsprechend hoher Grundwasserstand verursacht. Entsprechend dieser Ausgangssituation ist die Kanalhaltung D besonders durch hohe Grundwasserstände und damit auch potenziell hohe Infiltrationsmengen betroffen.

Im Szenario 1 und 16 wurden die Extremsituationen berechnet, in denen entweder alle Abwasserleitungen undicht (Szenario 1) oder alle Abwasserleitungen vollkommen dicht (Szenario 16) sind. Entsprechend verhalten sich die infiltrierenden Grundwassermengen, die in Summe minimal 0 l/s (Szenario 16) und maximal 7,5 l/s (Szenario 1) pro 100m Kanalhaltung erreichen können. Würde man versuchen, den Wasserandrang so gering wie möglich zu halten, wäre das Szenario 16 die beste Lösung. Allerdings würden alle Gebäudekeller unter Wasser stehen, da das Grundwasser in diesem Szenario am stärksten ansteigt. Unter der Voraussetzung, dass Gebäudeschäden vermieden werden sollen, wäre das optimale Sanierungskonzept Szenario 13, bei dem zwar 3,2 l/s Fremdwasser pro 100 m Kanalhaltung anfallen aber keine Keller beschädigt werden. In diesem Szenario werden die Rohrleitungen A, B und D abgedichtet, wodurch sich ein hoher Fremdwasserzufluss an dem Rohr C einstellt. Der von Kanalhaltung C ausgehende Absenkrichter bewirkt, ein lokales Absenken des Grundwassers unter die gefährdeten Gebäude (vgl. Abbildung 79).

Abbildung 79: Modellierte Grundwasserstände für das Szenario 13 und der Extremszenarien 1 und 16



9.2.1.5 Fazit der Fallstudie 1

Die Fallstudie zeigt sehr deutlich, welche intensiven Interaktionen zwischen mehreren undichten Abwasserkanälen in einem Gebiet bestehen können. Wenn eine Kanalhaltung saniert wird, kann sich dies auf die Fremdwassermengen der benachbarten Abwasserkanäle auswirken. Durch diese Umlagerung können in der Summe wieder die gleichen Fremdwassermengen entstehen. Bei der Entwicklung eines Gesamtanierungskonzeptes für ein Gebiet mit mehreren undichten Kanälen sollte die zeitliche Abfolge der Sanierungsmaßnahmen und damit die temporären Auswirkungen der Einzelmaßnahmen Berücksichtigung finden.

Die Sanierung ungünstig gewählter Abwasserkanäle kann im schlimmsten Fall (Szenario 11) die Folge haben, dass es zu einem lokalen Grundwasseranstieg kommt, wodurch zusätzlich Bauwerksschäden entstehen.

Bemerkenswert ist auch, dass es unter gewissen Randbedingungen erst bei einem komplett abgedichteten Kanalsystem zu einem flächigen Grundwasseranstieg kommt (Szenarien 16). In diesem Fall können einige Abwasserkanäle die Dränagewirkung für das gesamte Gebiet aufrechterhalten solange sie noch undicht sind. Bei einer kompletten, flächendeckenden Sanierungsmaßnahme kann daher die Gefahr bestehen, dass der Grundwasserstand plötzlich sehr hoch ansteigt. In Gebieten mit hohen natürlichen Grundwasserständen muss eine Planung von Sanierungsmaßnahmen ohne Ersatzsystem wohl überlegt sein. Bei einer ganzheitlichen Be-

trachtung in Verbindung mit einer Grundwasserüberwachung kann bei einer sofortigen Sanierungsmaßnahme der Anfall von infiltrierendem Grundwasser deutlich gesenkt werden.

Mit Blick auf die zeitliche Abfolge der Sanierungsmaßnahme sollte der optimale Fall gewählt werden. Für die o. a. Fallstudie 1 bedeutet dies, dass zunächst die Abwasserleitungen (Kanal) A, B, D (vgl. Tabelle 42, Sanierungskonzept Szenario 13) abzudichten sind, um den Fremdwasseranfall deutlich zu verringern; ohne dabei die vorhandene Bebauung zu beeinträchtigen. Die Abdichtung von Kanal C kann dann anschließend in Verbindung mit dem Bau eines Dränagesystems erfolgen, das parallel und in unmittelbarer Nähe zu dieser Kanalhaltung angeordnet wird. Das Dränagesystem übernimmt in diesem Fall die grundwasserregulierende Funktion des undichten Abwasserkanals.

9.2.2 Fallstudie 2: „Siedlungsgebiet in Hanglage“

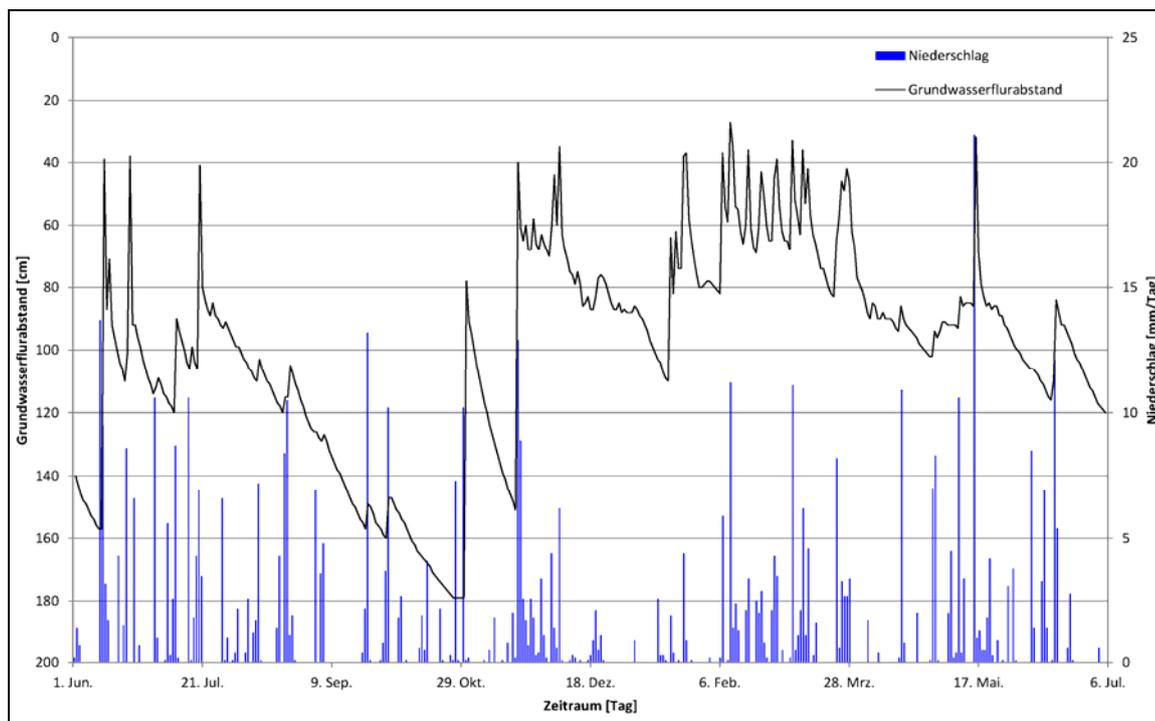
9.2.2.1 Hintergrund und Problemstellung

Siedlungen in Hanglage sind selten von Grundwasser bedroht, da sich dieses für gewöhnlich in den Tälern sammelt. Ein wesentlich größeres Problem ist das Schichtenwasser oder sogenanntes Hangwasser, welches entlang der Berghänge im Boden Richtung Tal abfließt. Hydrologisch ist dieses Wasser als Zwischenabfluss definiert und der Teil des infiltrierten Niederschlags, der im oberflächennahen Boden abfließt. Dabei folgt das Wasser entsprechend den hydrogeologischen Randbedingungen dem hydraulischen Gefälle und fließt für gewöhnlich Wasserläufen oder Dränagen zu. Im Zuge der kontinuierlich voranschreitenden Siedlungsentwicklung ist immer wieder festzustellen, dass an Hängen gesiedelt wird und diese hydrologische Besonderheit beim Bau nicht ausreichend berücksichtigt wird. Besonders dann, wenn mit den Hausdränagen, undichten Abwasserkanälen oder vorhandenen Dränagen das Schichtenwasser über die Kanalisation abgeführt wird. Wenn allerdings im Zuge einer Kanalsanierungsmaßnahme für ein solches Gebiet der Fremdwasseranfall im Abwassersystem verringert bzw. vermieden werden soll, kann es zu Problemen kommen. Beim Abklemmen von Hausdränagen vom öffentlichen Abwassernetz muss eine alternative Ableitungsmöglichkeit gefunden werden. Eine Möglichkeit kann das lokale Versickern sein. Das zusätzliche Einbringen von Niederschlagswasser in den Bodenkörper kann unter Umständen aber die Situation auch verschärfen. Besonders nach Niederschlägen kann es zu Schäden an Bauwerksteilen der Gebäude im unteren Bereich des Hanges kommen, die bis ins Schichtenwasser einbinden. Ähnliche Probleme haben sich in einem Wohnviertel gemäß nachfolgendem Fallbeispiel ergeben. In diesem Fall hat durch Fremdwassersanierungsmaßnahmen am öffentlichen Kanalnetz und das Abklemmen von Dränagen das Schichtenwasser zugenommen. Nach der Sanierung mussten einige Anwohner feststellen, dass ihre Keller feucht oder teilweise sogar überflutet wurden.

9.2.2.2 Auswertung

In dem Wohnviertel wurden von dem Entwässerungsbetrieb Messstellen eingerichtet, die das Schichtenwasser überwachen sollen. Hier zeigt sich, dass hohe Schichtenwasserstände immer im Zusammenhang mit einem heftigen Niederschlagsereignis stehen (Abbildung 80).

Abbildung 80: Gemessene Grundwasserflurabstände und Niederschläge



Es zeigt sich aber auch, dass nicht jeder starke Niederschlag zu einer Erhöhung des Wasserstandes im Boden geführt hat. Beispielsweise haben die beiden starken Niederschlagsereignisse im September nahezu keine Auswirkung auf das Grundwasser. Das liegt vermutlich daran, dass durch die Sommermonate der Boden stark ausgetrocknet ist, wodurch zum einen die Wasserstände stark gefallen sind und zum anderen die Speicherkapazität des Bodens zugenommen hat. Dadurch hat sich die Mächtigkeit der ungesättigten Bodenschicht vergrößert, durch die das infiltrierte Wasser einsickert und zwischengespeichert wird. Zudem fließt auf ausgetrockneten Böden mehr Niederschlagswasser in Form von Oberflächenwasser ab, weswegen weniger Wasser in den Bodenkörper eindringt. Die Vorfeuchte des Bodens und der initiale Flurabstand beeinflussen daher die Intensität des Schichtenwasseranstiegs infolge eines Niederschlagsereignisses. In den feuchteren Monaten können daher hohe Schichtwasserabflüsse entstehen, die entsprechende Schäden an Bauwerken anrichten können.

9.2.2.3 Fazit der Fallstudie 2

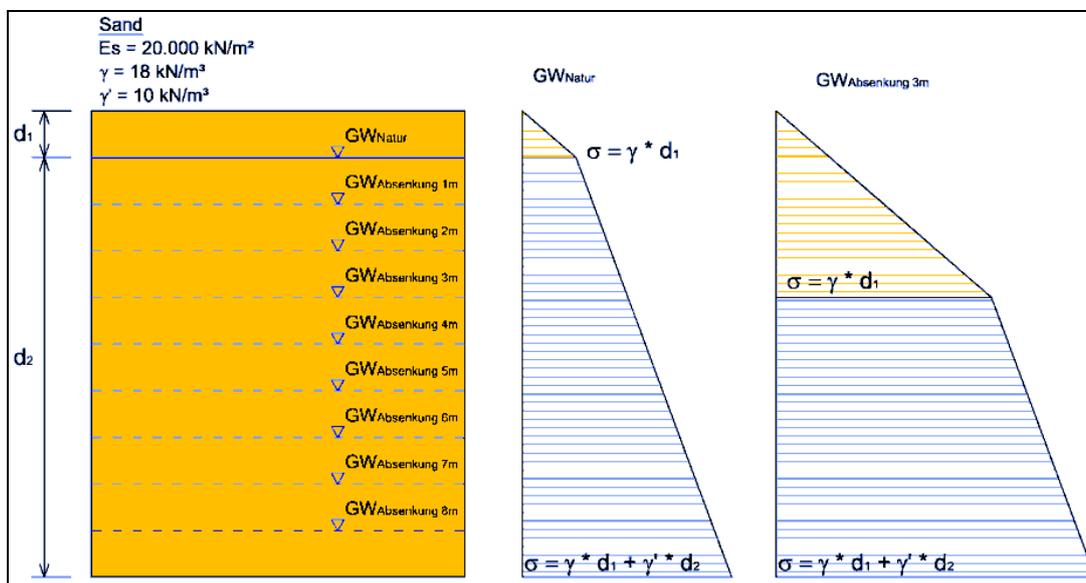
Hydrologische Prozesse können besonders in Siedlungsgebieten mit Hanglage zu einer plötzlichen Erhöhung des Wasserstandes im Boden führen. Wenn keine ausreichenden Maßnahmen zur Ableitung des Schichtenwassers vorhanden sind, kann es zu Schäden wie Bauwerksvernäsung kommen. Wenn durch vorhergegangene Niederschläge der Boden über eine hohe Vorfeuchte verfügt, ist das Schadenspotenzial besonders nach heftigen Niederschlägen sehr hoch. Durch das Versickern von Niederschlagswasser auf den Grundstücken kann die Grundwassersituation noch weiter verschärft werden. Bei Kanalsanierungsmaßnahmen in Siedlungsgebieten sollten daher immer die hydrologischen und geologischen Verhältnisse mit berücksichtigt werden.

9.2.3 Fallstudie 3: „Allgemeine Setzungenbetrachtungen“

9.2.3.1 Hintergrund und Problemstellung

Im Zusammenhang mit der Grundwasserhaltung bzw. Grundwasserabsenkung von Baugruben ist bereits bekannt, dass die sich ändernden Grundwasserstände die Bodenparameter verändern. Ähnlich verhält sich die Situation bei Kanalsanierungsmaßnahmen oder schadhaften Abwassersystemen, wenn sich neue Grundwasserstände einstellen können. Die Folge können Setzungen an Straßen und Bauwerken, Vegetationsschäden oder Vernässung von Bauwerken sein. Durch die dränierende Wirkung schadhafter Rohrleitungen kann es außerdem zu Grundwasserabsenkungen kommen, die zu Gebäudesetzungen führen können. Um die Auswirkung von sich verändernden Grundwasserständen abzubilden, wird an einem theoretischen Beispiel die Setzung in verschiedenen unkonsolidierten Bodenkörpern ermittelt (Abbildung 81).

Abbildung 81: Bodenkörper mit unterschiedlichen Bodenarten



Die Veränderung des Grundwasserstandes wirkt auf die Wichte des Bodens, denn im wassergesättigten Bereich steht der Boden unter Auftrieb, so dass sich die Wichte um ca. 10 kN/m^3 verringert. Dieser Parameter geht als Spannung (σ) in die folgende Formel zur Bestimmung der Setzung mit ein:

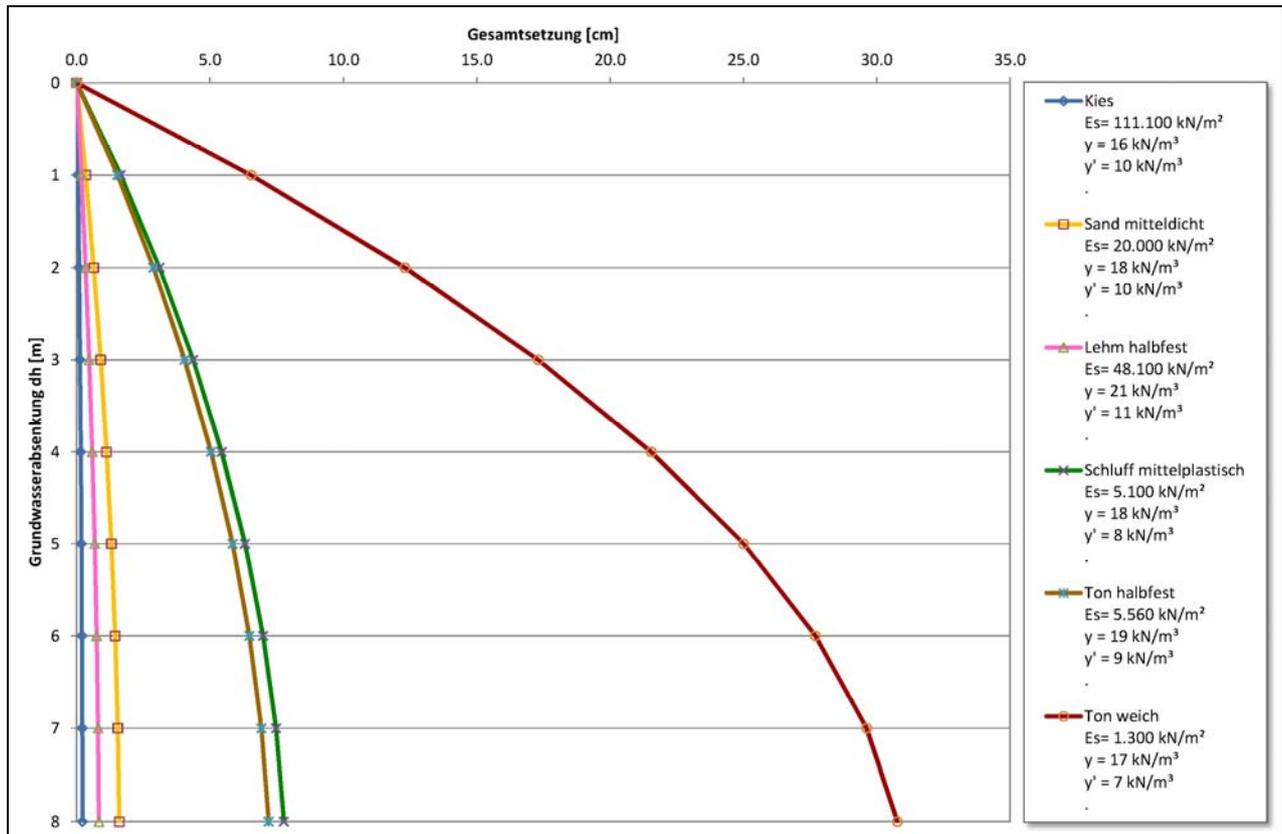
$$\Delta s = (\sigma * \Delta d) / E_s$$

Mit der Gleichung können die Setzungen (Δs) für jedes homogenes Bodenpaket mit der Höhe (Δd) bestimmt werden. Des Weiteren wird für die Berechnung noch der Steifemodul (E_s) der jeweiligen Bodenart benötigt.

9.2.3.2 Auswertung

In den exemplarischen Bodenkörpern aus Kies, Sand, Lehm, Schluff, halbfester Ton und weicher Ton werden die Grundwasserstände in 1 m Intervallen verringert. Die Setzung des Bodenkörpers wurde für jeden Grundwasserstand bestimmt (vgl. Abbildung 82).

Abbildung 82: Setzungen in Folge veränderter Grundwasserstände in verschiedenen Bodenkörpern



Es zeigt sich sehr deutlich, dass bei einem Boden mit einem geringen Steifemodul (weicher Ton) extrem hohe Setzungen (bis zu 30 cm) auftreten können. Kiesige und Sandige Böden reagieren mit relativ geringen Setzungen (bis zu 2 cm) auf die Wasserstandsänderungen. Bei schluffigen Böden können schon Veränderungen des Grundwasserstandes von 2 bis 3 m zu deutlichen Setzung von bis zu 5 cm führen. Das kann beispielsweise zu weiteren undichten Muffenverbindungen in den Kanalleitungen führen, wodurch es zu weiteren Grundwasserinfiltrationen kommen kann.

9.2.3.3 Fazit der Fallstudie 3

Durch die dränierende Wirkung schadhafter Kanäle kann das Grundwasser im Bodenkörper unter den normalen Schwankungsbereich fallen. Grundwasserschwankungen sind im Wasserhaushalt ein natürlicher Prozess. Die vorliegende Auswertung zeigt die Veränderung auf, die entstehen kann, wenn das Grundwasser unterhalb des natürlichen Schwankungsbereiches absinkt. Die Auswertung zeigt sehr deutlich, wie unterschiedlich die Bodenarten auf die veränderten Wasserstände reagieren. Sandige, kiesige und lehmige Böden sind weniger von Setzungen betroffen. Problematisch sind schluffige Böden in denen es oft auch zu Toneinschlüssen kommen kann. Wenn in einem Boden weiche Tonlinsen eingeschlossen sind, kann eine Grundwasserabsenkung dazu führen, dass punktuell sehr große Setzungen auftreten, die zu schiefen Setzungen an Bauwerken oder Setzungsrissen in Straßenkörpern führen können. Besonders in Regionen mit bindigen Böden sollten bei schadhaften Rohrleitungen die Grundwasserabsenkung und evtl. auftretende Setzungen beobachtet werden.

Aber auch der umgekehrte Fall ist möglich: Bauwerkshebungen durch Grundwasseranstieg. Laboruntersuchungen des IKT machen deutlich, dass es durch grundwasserbedingte Auftriebs-effekte auch zu Schäden an unterirdischen Bauwerken kommen kann. So wurden beispielsweise im Rahmen des IKT-Warentests „Hausanschluss-Liner“ Schäden an Liner-Rohr-Systemen in-

folge eines simulierten Grundwasseranstieges beobachtet (vgl. Bosseler/Redmann, 2010, Seite 174). Im Rahmen eines aktuellen Forschungsvorhabens des IKT (vgl. IKT 2013, Seite 133) werden diese Beobachtungen nun näher untersucht, um die Auftriebsrisiken beim Einsatz unterschiedlicher Sanierungsverfahren künftig besser abschätzen zu können.

9.3 Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden von der Professur für Wasserwesen und Ressourcenschutz (WWR) der Universität der Bundeswehr die Auswirkungen des in undichten Schmutz- und Mischwasserleitungen infiltrierenden Grundwassers auf den örtlichen Grundwasserhaushalt untersucht. Vom besonderen Interesse waren hierbei die Auswirkungen von Abdichtungsmaßnahmen an Schmutz- und Mischwasserleitungen auf den Grundwasserspiegel und deren mögliche Folgen für Gebäude und Vegetation.

Um einen Überblick über Schäden an Gebäuden und Vegetation infolge einer veränderten Grundwassersituation durch Kanalabdichtungen zu bekommen, wurde diesbezüglich eine bundesweite Umfrage bei Kanalnetzbetreibern und Wasserverbänden durchgeführt (vgl. Kapitel 9.1). Die Ergebnisse der Umfrage machen deutlich, dass infolge von Kanalsanierungsmaßnahmen besonders häufig Schäden durch steigende Grundwasserstände zu verzeichnen sind.

Mit Hilfe einer Ursachen – Wirkung – Folgen Kette konnte im Rahmen dieser Untersuchungen aufgezeigt werden, dass Vernässungsschäden oftmals durch eine lange Vorgeschichte entstehen (vgl. Kapitel 9.1). Durch schadhafte Abwassersysteme kann es zu einer nicht ordnungsgemäßen Dränierung von Siedlungsgebieten kommen. Bei der Planung und Errichtung neuer Gebäude werden diese künstlich entstandenen Grundwasserstände häufig zugrunde gelegt. Stellt sich der natürliche Grundwasserstand nach einer Sanierungsmaßnahme wieder ein, so kann es zu entsprechenden Schäden kommen.

In drei Fallstudien wurden die Auswirkungen flächendeckender Kanalsanierungsmaßnahmen auf den örtlichen Wasserhaushalt eingehend untersucht (vgl. Kapitel 9.2).

Die erste Fallstudie bezieht sich auf ein Gebiet mit parallelen Straßenzügen im urbanen Raum. Mit dem Berechnungsprogramm FEFLOW (vgl. Diersch 2009, Seite 13) wurden die Auswirkungen auf den Grundwasserspiegel für unterschiedliche Sanierungsszenarien simuliert (vgl. Kapitel 9.2.1). Es wurde deutlich, dass sich das Fremdwasseraufkommen durch die planlose punktuelle Abdichtung einzelner Schäden nicht wesentlich verändert. Das Grundwasser gelangt in diesem Fall vermehrt über benachbarte Schäden in den Abwasserkanal. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse der Simulation, dass es beim Abdichten sämtlicher Schäden an den Abwasserkanälen und -leitungen (Komplettabdichtung) in dem untersuchten Gebiet zu einer Vermeidung von grundwasserbürtigem Fremdwasser kommt. Auf der anderen Seite kann dies aber – aufgrund der fehlenden Dränagewirkung der Abwasserkanäle und -leitungen – auch zu einem Anstieg des Grundwassers auf ein kritisches Niveau führen, so dass Gebäude und Vegetation beeinträchtigt werden (Gebäudevernässung, Degradation).

Die Ergebnisse der Untersuchung machen auch deutlich, dass es durch eine angepasste Vorgehensweise bei der Abdichtung von Abwasserkanälen und -leitungen (Teilabdichtung) – unter Berücksichtigung der lokalen Grundwasserverhältnisse – eine nennenswerte Verringerung des Fremdwasseraufkommens erreicht werden kann, ohne dass dabei der Grundwasserspiegel ein Niveau erreicht, welches für die vorhandene Bebauung kritisch ist.

Bei der Entwicklung eines Gesamtsanierungskonzeptes für ein Gebiet mit mehreren undichten Kanälen sollten die zeitliche Abfolge der Sanierungsmaßnahmen und damit die temporären Auswirkungen der Einzelmaßnahmen Berücksichtigung finden.

In dem betrachteten Fallbeispiel ist eine Verringerung des in den Abwasserkanal infiltrierenden Grundwassers (Fremdwasser) um ca. 57% möglich, ohne die vorhandene Bebauung und Vegetation zu beeinträchtigen. Bei einer weiteren Abdichtung wären dann entsprechende Ge-

genmaßnahmen erforderlich, um Schäden an der Bebauung und Vegetation zu vermeiden, wie z.B. der Bau von Ersatzsystemen zur Ableitung von Dränagewasser.

In einer weiteren Fallstudie wurden Siedlungsgebiete an Hängen untersucht, die besonders durch Schichtenwasser gefährdet sind (vgl. Kapitel 9.2.2). Dieses im hydraulischen Gefälle abfließende Grundwasser steigt im betrachteten Fallbeispiel besonders nach starken Niederschlägen in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte und den initialen Grundwasserflurabständen stark an. Durch das Abklemmen von häuslichen Dränagen vom öffentlichen Abwassersystem gelangt vermehrt Niederschlagswasser in den Untergrund und führt dort ggf. zu einer Erhöhung des Wasserstandes. Darüber hinaus wurden in dem untersuchten Fallbeispiel Kanalhaltungen abgedichtet, so dass die Dränagewirkung für das Schichtenwasser auch hier entfällt. Diese Maßnahmen haben dazu geführt, dass das Schichtenwasser nach Niederschlägen stark ansteigen kann. In der Folge kann es zu einer Vernässung der Keller von Gebäuden kommen.

In der dritten Fallstudie wurden die Auswirkungen veränderter Grundwasserstände auf die Bodeneigenschaften näher untersucht (vgl. Kapitel 9.2.3). Anhand eines theoretischen Beispiels wurden für unterschiedliche Bodenarten Setzungen in Abhängigkeit der Grundwasserstände ermittelt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen, dass insbesondere von bindigen inhomogenen Böden eine hohe Setzungs- und Hebungsfahr ausgeht, wenn es zu Veränderungen der Grundwasserstände kommt.

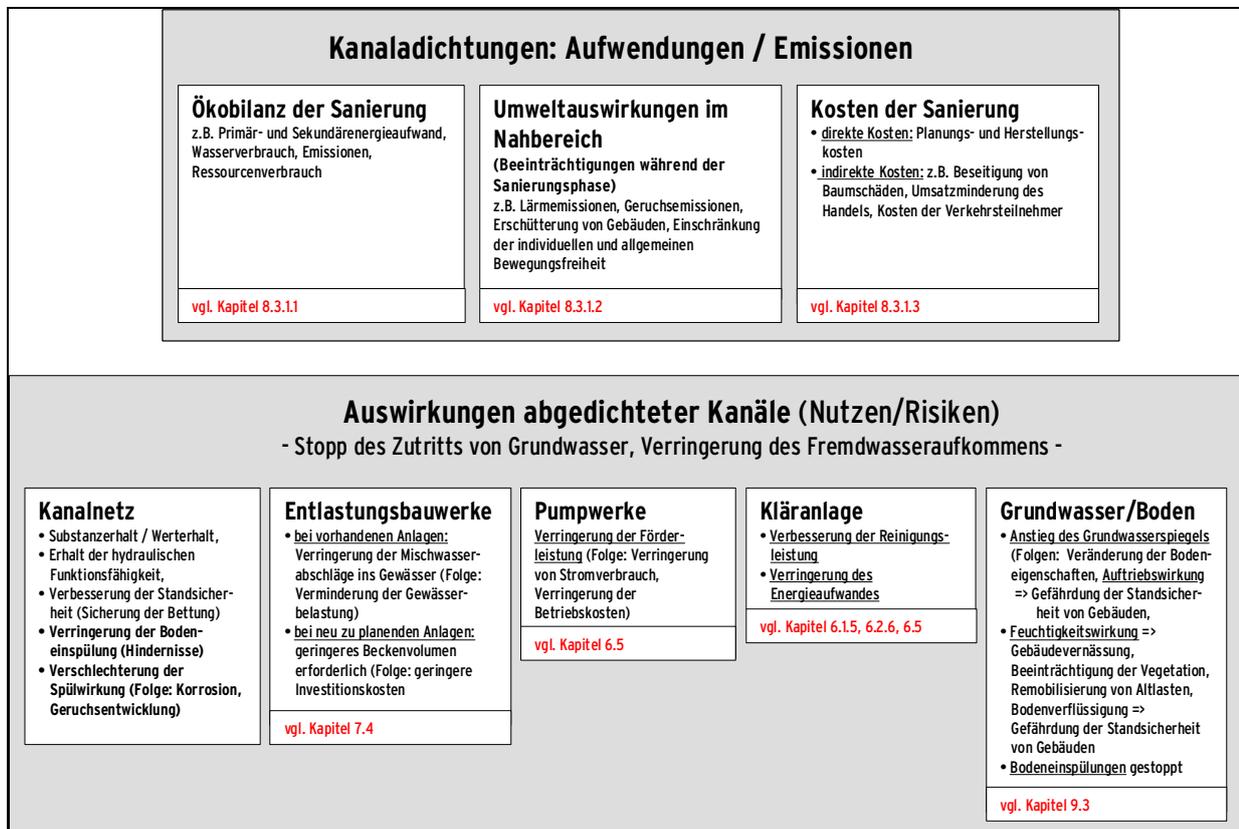
Als Gesamtfazit aus den Untersuchungen zu den Auswirkungen von Kanalabdichtungen auf den örtlichen Grundwasserhaushalt kann festgehalten werden, dass Kanalsanierungsmaßnahmen bei entsprechenden hydrogeologischen Randbedingungen einen hohen Einfluss auf den Grundwasserhaushalt und die Bodeneigenschaften haben können. Dies trifft sowohl auf Sanierungsmaßnahmen an Kanälen im Grundwasser oder Grundwasserschwankungsbereich zu, als auch auf Kanalsanierungsmaßnahmen in Bereichen, in denen Schichtenwasser eine Rolle spielt (Hanglage). Aus diesem Grund sollten im Vorfeld von Kanalsanierungsmaßnahmen mögliche Auswirkungen auf den Grundwasserhaushalt abgeschätzt werden, um ggf. entsprechende Gegenmaßnahmen (z.B. Bau von Dränagekanälen) zu ergreifen. Darüber hinaus kann durch eine angepasste Vorgehensweise bei der Sanierung von Abwasserkanälen und -leitungen (z.B. Teilabdichtung, zeitliche Priorisierung) das Fremdwasseraufkommen in einem ersten Schritt deutlich reduziert werden, ohne dass dabei die vorhandene Bebauung und Vegetation infolge eines Grundwasseranstieges beeinträchtigt wird. In einem zweiten Schritt kann dann eine Vollabdichtung der Abwasserkanäle und -leitungen in Verbindung mit dem Bau von Dränagesystemen erfolgen.

10 Schlussfolgerungen

Die öffentliche Kanalisation in Deutschland umfasst ein Leitungsnetz von insgesamt ca. 560.000 km (vgl. Statistisches Bundesamt 2013, Seite 42). Schätzungen gehen davon aus, dass das private Netz aus Grundstücksentwässerungsleitungen, zu dem die Grundleitungen unterhalb des Hauses und die Anschlussleitungen an den öffentlichen Kanal gehören, bundesweit eine Gesamtlänge von 1,0 bis 1,5 Mio. km aufweist (vgl. Bosseler/Beck 2012, Seite 2).

Undichtigkeiten an öffentlichen Abwasserkanälen und Grundstücksentwässerungsleitungen können je nach örtlichen Gegebenheiten dazu führen, das Schmutz- und Mischwasser austritt und in den Untergrund gelangt. Darüber hinaus kann aber auch Grund-, Schichten- oder Sickerwasser durch Undichtigkeiten in den Kanal gelangen und dort als Fremdwasser zu vielfältigen Problemen führen.

Abbildung 83: Kanalabdichtungen – Aufwendungen und Auswirkungen bei undichten Abwasserkanälen und -leitungen im Grundwasser oder Grundwasserschwankungsbereich



Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden die Auswirkungen einer Infiltration von Wasser in Schmutz- und Mischwasserleitungen näher betrachtet. Im Vorfeld wurden zunächst die allgemeine Situation der Kanäle und Grundstücksentwässerungsleitungen in Deutschland analysiert (vgl. Kapitel 4) und diesbezüglich auch die aktuellen rechtlichen und technischen Regelungen (vgl. Kapitel 4.3) näher beleuchtet. Mit Blick auf die zu untersuchenden Auswirkungen von Kanalabdichtungen waren nicht nur der unmittelbare Nutzen eines reduzierten Fremdwasseraufkommens an der Kläranlage (vgl. Kapitel 6) und im Bereich der Entlastungsbauwerke (vgl. Kapitel 6.5) von Bedeutung, sondern auch mögliche Folgen und Risiken von Kanalabdichtungen (vgl. Kapitel 9) für den örtlichen Grundwasserhaushalt und die Ökoeffizienz bzw. Nachhaltigkeit eingesetzter Sanierungsverfahren (vgl. Kapitel 8).

Aus Abbildung 83 ist ersichtlich, dass auf der einen Seite bestimmte Aufwendungen und Emissionen entstehen, um Abwasserkanäle und -leitungen zu sanieren und gegen den Zutritt von Grundwasser abzudichten. Andererseits führt die Abdichtung aber auch zu Auswirkungen, die nicht nur von Nutzen sind, sondern auch bestimmte Risiken mit sich bringen.

Die ökobilanzielle Betrachtung der Sanierungstechniken, insbesondere die der verwendeten Sanierungswerkstoffe und -materialien, die mögliche Umweltbeeinträchtigungen während der Bauphase und die Kosten der Sanierungsmaßnahme zählen gemäß Abbildung 83 zu den Aufwendungen und Emissionen. Bei den Auswirkungen von Kanalabdichtungen auf den Betrieb der einzelnen Bauwerke der Abwasserentsorgung (Kanalnetz, Entlastungsbauwerke, Pumpwerke, Kläranlage) steht im Besonderen das durch Kanalabdichtungen verringerte Fremdwasseraufkommen im Vordergrund. Ein verringertes Fremdwasseraufkommen führt in der Regel zu einem Nutzen, nämlich u. a. zu geringeren energetischen und betrieblichen Aufwendungen. Demgegenüber stehen Risiken der Kanalabdichtung, die sich aus einem möglichen Anstieg des Grundwassers im urbanen Bereich ergeben. Je nach Bodenbeschaffenheit können Auftriebseffekte und Feuchtigkeit im Erdreich zu Schäden an Gebäuden und zu einer Beeinträchtigung der Vegetation führen.

Aus den Untersuchungen zu den Auswirkungen von Kanalabdichtungen lassen sich für die einzelnen Arbeitsschwerpunkte des Projektes folgende wesentliche Erkenntnisse ableiten:

Situation der Kanäle und Grundstücksentwässerungsanlagen in Deutschland (vgl. Kapitel 4)

Anhand statistischer Auswertungen kann derzeit zwar nicht zuverlässig nachgewiesen werden, wie groß exakt der Anteil der im Grundwasser oder im Grundwasserschwankungsbereich liegenden undichten Abwasserkanäle und -leitungen ist und wie viel Fremdwasser hierüber in das Entwässerungssystem infiltriert. Die hohe Anzahl infiltrationsrelevanter Schäden (rd. 62% der festgestellten Schäden) bei gleichzeitig hohem Fremdwasseraufkommen (23% der gesamten Abwassermenge) legen jedoch den Rückschluss nahe, dass ein Großteil des Fremdwassers auf Grundwasserinfiltration zurückzuführen ist.

Darüber hinaus wird anhand konkreter Beispiele aus der Praxis deutlich, dass Abdichtungen am Kanalnetz zu einer deutlichen Reduzierung des Fremdwasseraufkommens führen können (vgl. Schlüter 2009, Seite 71).

Rechtliche und technische Regelungen (vgl. Kapitel 5)

Derzeit gibt die Gesetzgebung den Kommunen kaum Rückhalt und Orientierung zum Umgang mit ansteigendem Grundwasser nach Sanierungsmaßnahmen. Andererseits wird aber Handlungsdruck dadurch aufgebaut, dass Fremdwasser über undichte Kanäle möglichst vermieden werden soll, so z.B. durch die qualitativen und quantitativen Vorgaben der WRRL, durch die Arbeitshilfe zur Umsetzung der WRRL (vgl. LAWA 2003, Anhang 1), durch das Verdünnungsverbot der AbwV (vgl. AbwV 2004, Anhang 1), durch die Pflicht zur „Vermeidung von Leckagen“ in einigen Länderregelungen. Außerdem besteht bei Kenntnis über undichte Kanäle das Risiko der Gewässerverunreinigung (Straftatbestand gem. § 324 StGB). Ein Zwiespalt entsteht dann dadurch, dass auch die Funktionsfähigkeit und Betriebssicherheit des Gesamtsystems ohne Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit gefordert wird (in fast allen LWGs). Ein Grundwasseranstieg infolge Kanalsanierung kann aber bekanntlich zu Vernässungen und Setzungen führen.

Die Zuständigkeit zur Auflösung dieses Zwiespaltes bleibt aber offen, denn die Grundwasserregulierung in Siedlungsgebieten zur Vermeidung von Schäden an Gebäuden und Vegetation wurde in Deutschland bisher nur in Sonderfällen gesetzlich geregelt. Ein Beispiel ist die Emscherregion. Über das Emschergenossenschaftsgesetz (EmscherGG) wird der Emschergenossenschaft diese Aufgabe zugeteilt (§ 2 des EmscherGG). In dieser Region liegt allerdings die Ursache für die Verringerung des Grundwasserflurabstandes insbesondere beim Bergbau, denn es kommt nicht zum Anstieg des Grundwassers sondern zur Absenkung der Geländeoberfläche.

Auswirkungen auf Kläranlagen (vgl. Kapitel 6)

Je höher der Fremdwasseranteil im Kläranlagen-Zulauf, desto geringer ist die Abbauleistung, insbesondere bedingt durch den Verdünnungseffekt. Ein maßgeblicher Einfluss der Temperatur kann in der Praxis i. d. R. nicht nachgewiesen werden. Aus Gründen des Gewässerschutzes ist die Frachtbetrachtung der Konzentrationsüberwachung vorzuziehen (wie z.B. in Österreich).

Ein erhöhtes Fremdwasseraufkommen verursacht zusätzliche Kosten auf der Kläranlage. Realistische Einsparpotenziale können nur durch Gesamtbetrachtung aller Komponenten ermittelt werden: Bemessungsgrundlagen, Betriebszustände, Betriebsstunden, Energiekosten, Wartung/Instandhaltung, Betriebsmittel, Reststoffentsorgung, aber auch Abwasserabgabe.

Einsparungen im Bereich Energie durch Fremdwasserreduzierungsmaßnahmen setzen eine detaillierte Erfassung, Darstellung und Bewertung der Energieverbräuche insbesondere hydraulisch beeinflusster Anlagenkomponenten voraus (vgl. Energiecheck & Energieanalyse nach DWA-A 216).

Im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit einer Kläranlage kann eine Erfolgskontrolle bzw. der Nachweis erfolgreich durchgeführter Fremdwasserreduzierungsmaßnahmen im Zuge eines Prozessbenchmarkings (Energiecontrolling) erfolgen.

Auswirkungen auf Entlastungsbauwerke (vgl. Kapitel 7)

Bei der Dimensionierung von Regenüberlaufbecken erhöht sich das erforderliche Beckenvolumen mit zunehmendem Fremdwasserzuschlag. Das rechnerisch erforderliche Beckenvolumen nach den a.a.R.d.T. steigt mit dem Fremdwasserzuschlag stark an. Eine sachgerechte Auslegung der Regenentlastungsanlagen kann nur auf der Grundlage einer realistischen Erfassung des tatsächlichen Fremdwasseranfalls und der Fremdwasserverteilung im Netz erfolgen.

Durch einen erhöhten Fremdwasserzufluss über den Bemessungswert hinaus, kommt es an den Regenüberlaufbecken im Mischsystem zu einer erhöhten Gewässerbelastung.

Zur Verminderung der Gewässerbelastung an Regenüberlaufbecken besteht die Möglichkeit den Fremdwasseranfall im Netz zu reduzieren, den Drosselabfluss zur Kläranlage zu erhöhen oder das Beckenvolumen zu vergrößern. Die Festlegung von Sanierungsmaßnahmen an Abwasserkanälen und -leitungen kann sinnvollerweise nur unter Abwägung aller technischen und wirtschaftlichen Aspekte und unter Einbeziehung der Kläranlage erfolgen. Wie bei der Neuplanung ist auch die realistische Erfassung des Fremdwasseranfalls und der Verteilung im Netz eine notwendige Voraussetzung für die Fremdwassersanierung. In die Überlegungen sind auch die Auswirkungen von Kanalabdichtungen auf den örtlichen Wasserhaushalt einzubeziehen.

Ökoeffizienz und Nachhaltigkeit von Kanalsanierungstechniken (vgl. Kapitel 8)

Die Ökoeffizienz setzt die Umweltleistung der Kanalsanierungstechniken (ökobilanzielle Betrachtung der verwendeten Baumaterialien und Werkstoffe, die Umweltauswirkungen im Nahbereich) mit dem zugehörigen Produktsystemnutzen in Beziehung. Der Begriff der Ökoeffizienz wird laut DIN EN ISO 14045 als ein Begriff der Nachhaltigkeit angesehen.

Im Rahmen des Projektes wurde eine Ökoeffizienzbewertung für Kanalsanierungstechniken entwickelt und exemplarisch auf konkrete Schadens- und Sanierungsszenarien und Randbedingungen (z. B. Innenstadtbereich) angewendet. Die Auswertung der Fallbeispiele (1: Vergleich der grabenlosen Reparatur „Injektion/Verpressung/Kurzliner“ mit der Reparatur in offener Bauweise durch „Bauteilaustausch und Außenmanschette mittels Kleinbaugrube“, 2: Vergleich der grabenlosen Renovierung mittels „Schlauchlining“ mit der Erneuerung in offener Bauweise) macht folgendes deutlich:

- Die Ökoeffizienz des grabenlosen Reparaturverfahrens weist im Fallbeispiel trotz seiner Nachteile im Produktsystemnutzen Vorteile (geringere Werte in der Sach- und Wirkbilanz, Vorteile bei den Umweltauswirkungen im Nahbereich) gegenüber dem offenen

Reparaturverfahren auf und wird mit einer höheren Ökoeffizienz bewertet. Die Ökoeffizienz des grabenlosen Renovierungsverfahrens weist im Fallbeispiel Vorteile in der Ökobilanz, in den Umweltauswirkungen im Nahbereich und im Produktsystemnutzen auf und wird daher gegenüber dem offenen Erneuerungsverfahren mit einer höheren Ökoeffizienz bewertet.

- Bei der Nachhaltigkeit zeigt das Fallbeispiel des grabenlosen Reparaturverfahrens gegenüber dem offenen Reparaturverfahren ein geringeres abiotisches Ressourcenpotenzial, einen leicht höheren Zuspruch seitens der Anspruchsgruppen und leicht höhere Kosten. Vor diesem Hintergrund wird das grabenlose Reparaturverfahren trotz der Nachteile im Produktsystemnutzen als nachhaltiger bewertet als das offene Reparaturverfahren. Bei der Nachhaltigkeit zeigt das Fallbeispiel des grabenlosen Renovierungsverfahrens gegenüber dem offenen Erneuerungsverfahren ein geringeres abiotisches Ressourcenpotenzial, einen höheren Zuspruch seitens der Anspruchsgruppen und geringere Kosten. Vor diesem Hintergrund wird das grabenlose Renovierungsverfahren in diesem Fall als nachhaltiger bewertet als das offene Erneuerungsverfahren.

Kanäle müssen betriebssicher, standsicher und dicht sein, und dies über die gesamte geplante Nutzungsdauer. Die angebotenen Bau- und Sanierungsverfahren tragen in unterschiedlicher Weise zur Erfüllung dieser Leistungsziele bei. Da in diesem Projekt die „Auswirkungen aus Kanalabdichtung bei Infiltration“ im Vordergrund stehen, bezieht sich die dargestellte Ökoeffizienzbewertung (s. o.) allein auf den Fall der Wiederherstellung der „Dichtheit“. Dabei wurden Randbedingungen vorausgesetzt, die auch einen Einsatz von Renovierungs- und Reparaturverfahren möglich machen. Dies betrifft insbesondere das Vorliegen langfristig unveränderter Anforderungen an die Netzstruktur. Darüber hinaus wird von einer alleinigen Maßnahmen-durchführung durch einen einzelnen Netzbetreiber ausgegangen.

Ergeben sich im Zuge der offenen Bauweise Synergieeffekte, wie z.B. die Erneuerung von Gas- und Wasserversorgungsleitungen oder die Erneuerung der Straßendecke, sind diese bei der Ökoeffizienzbewertung zu berücksichtigen. Durch die gemeinsame Verlegung bzw. Erneuerung von Ver- und Entsorgungsleitungen können sich beispielsweise erhebliche Potenziale zur Reduzierung von Umweltauswirkungen und damit auch eine verbesserte Ökoeffizienz ergeben. Seitens der Kanalnetzbetreiber wird die Erneuerung aber auch häufig gewählt, weil – im Gegensatz zu den geschlossenen Verfahren (Renovierung und Reparatur) – ein Kanal errichtet wird, der vollständig (auch hydraulisch) den aktuellen Anforderungen entsprechen kann. Zudem lassen bestimmte Schadensbilder auch kaum Alternativen zur Erneuerung zu, wie z.B. Defekte im Rohr-Boden-System (Bodeneinbrüche und Bodenveränderungen, Unterbögen, Hohlräume). Für die Auswahl von Sanierungsverfahren in der Praxis ist daher zu berücksichtigen, dass neben der bloßen „Abdichtwirkung“ auch die übrigen Leistungsziele, wie die Wiederherstellung der Standsicherheit und ggf. Verbesserung der hydraulischen Leistungsfähigkeit in die Entscheidungsfindung einzubeziehen sind.

Die Wirtschaftlichkeit ist wiederum maßgeblich durch den mit dem sanierten System tatsächlich erreichbaren Planungshorizont bestimmt, der auch durch die demografische Entwicklung und die möglichen Folgen eines Klimawandels geprägt sein kann. Auch hier kann die offene Bauweise mit Blick auf den Netzausbau und -rückbau weitere Flexibilität bieten, mit dann voraussichtlich höherem Produktsystemnutzen und auch höherer Ökoeffizienz.

Die Ergebnisse der Ökoeffizienzbewertung gelten nur für die betrachteten Fallbeispiele. Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse wäre falsch, da sich diese immer nur auf die jeweiligen vorzufindenden Randbedingungen beziehen. Aus diesem Grund ist eine Ökoeffizienzbewertung für jeden Sanierungsfall erneut durchzuführen (Einzelfallbetrachtung). Im Einzelfall ist eine transparente, nachvollziehbare Wichtung der Faktoren des Produktsystemnutzens zwingend erforderlich.

Im Zuge der Bewertung der Ökoeffizienz und Nachhaltigkeit wurde auch eine Recherche zur Umweltverträglichkeit von Kanalsanierungsmitteln durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Re-

cherche machen deutlich, dass bei der Kanalsanierung – je nach Bauverfahren – Schadstoffe (z. B. Styrol, Bisphenol A, Toluoldiisocyanat) zum Einsatz kommen. Da Styrol und Toluoldiisocyanat zum Teil in geringen Konzentrationen vorliegen und/oder abbaubar sind, wird die Umweltbeinträchtigung gering eingestuft. Wissenschaftliche Erkenntnisse zur Freisetzung von Bisphenol A aus Sanierungsmaterialien liegen bislang nicht vor. Generell sollten Kanalsanierungsarbeiten sach- und fachgerecht ausgeführt werden, um die Umweltauswirkungen zu minimieren.

Auswirkungen auf den örtlichen Wasserhaushalt (vgl. Kapitel 9)

Bei ins Grundwasser einbindenden Kanalsystemen können Undichtigkeiten durch ihre Infiltrationswirkung ganz wesentliche Auswirkungen auf den Grundwasserstand haben. Werden die Leckagen durch Kanalsanierungsmaßnahmen abgedichtet, so kann es zum Grundwasseranstieg kommen, mit Wechselwirkungen auf den Gebäudebestand (Kellervernässungen, Beeinträchtigung der Standsicherheit) und die Vegetation. Das gilt sowohl in flachen Gebieten als auch in Hanglagen (Schichten- und Sickerwasser).

Daher sollte bei Sanierungsmaßnahmen insbesondere an Kanälen im Grundwasser immer im Vorfeld eine ganzheitliche Betrachtung der Auswirkungen unter Berücksichtigung der hydrologischen und geologischen Verhältnisse durchgeführt werden. Ganzheitlich in Bezug auf die Auswirkungen auf Bauwerke und Vegetation, ganzheitlich aber auch im Zusammenhang mehrerer über das Grundwasser in Beziehung stehender, interagierender (öffentlicher und privater) Kanäle.

Ist zu erwarten, dass der Anstieg des Grundwassers nach einer Kanalsanierung zu Konflikten führt, so sollte versucht werden diesen über eine zeitliche Priorisierung der Abdichtungsmaßnahmen und/oder alternative Maßnahmen zur Ableitung des Grundwassers (z.B. separates Dränagesystem mit Anschluss an einen geeigneten Vorfluter) entgegenzuwirken.

Grundwasserschwankungen, die über das niederschlagswasserbedingte, natürliche Maß der Schwankungsbreite hinausgehen, wie es durch die Sanierung der als Dränage wirkenden undichten Kanäle der Fall sein kann, wirken sich in Abhängigkeit vom anstehenden Boden unterschiedlich aus. Setzungen an Bauwerken oder Setzungsrisse in Straßenkörpern können insbesondere bei bindigen Böden auftreten.

Die Wechselwirkungen zwischen Grundwasser und der Dränagewirkung undichter Kanäle bzw. den Auswirkungen von Sanierungsmaßnahmen auf den örtlichen Grundwasserstand werden im DWA Merkblatt DWA-M 182, Seite 54 bis 56 betrachtet. Hier werden mögliche Nutzungskonflikte angesprochen und auf eine ganzheitliche Betrachtung hingewiesen.

Fazit/Empfehlungen

Mit Blick auf die Abdichtung von Abwasserkanälen und -leitungen zur Verhinderung von Infiltrationen kann zusammenfassend folgendes Fazit gezogen werden:

Rechtlicher Rahmen

Derzeit gibt die Gesetzgebung den Kommunen kaum Rückhalt und Orientierung im Umgang mit ansteigendem Grundwasser nach Sanierungsmaßnahmen. Wünschenswert wäre die Schaffung rechtlicher Grundlagen und die Erarbeitung von Orientierungshilfen für die Realisierung zielführender, ganzheitlicher Lösungsansätze mit dem Ziel, die Auswirkungen durch den Grundwasseranstieg infolge Kanalsanierung schon im Vorfeld besser abzuschätzen und das weitere Vorgehen hierauf auszurichten (vgl. Kapitel 5).

Infiltration durch Kanalleckagen: Untätigkeit führt zu Problemen

Infiltrationen durch undichte Abwasserkanäle und -leitungen, die über ihre Dränwirkung Grundwasser ableiten, können umfassende Auswirkungen auf die Kläranlagen, die Regenentlastungsanlagen und den örtlichen Grundwasserhaushalt haben:

- Kläranlagen werden durch Fremdwasser in ihrer Leistungsfähigkeit (Verminderung der Reinigungsleistung durch Verdünnungseffekt) und Wirtschaftlichkeit (Kosten- und Energieeffizienz) beeinträchtigt (vgl. Kapitel 6).
- An Regenentlastungsanlagen kommt es durch erhöhten Fremdwasserzufluss – besonders an Regenüberlaufbecken – im Mischsystem zu einer erhöhten Gewässerbelastung (vgl. Kapitel 6.5).
- Die örtliche Absenkung des Grundwasserspiegels führt zu Risiken für den Boden, die Bebauung und die Vegetation, wie Einspülungen von Bodenmaterial aus der Leitungszone bis hin zur Straßenoberfläche (Folge: Hohlräume und veränderter Bettungsbedingungen), Bauwerkssetzungen durch veränderte Bodeneigenschaften (veränderte Wichte, „Schrumpfprozess“), Verlust des natürlichen Grundwasseranschlusses tiefwurzelnder Pflanzen wie Bäume.

⇒ Maßnahmen sind zu ergreifen!

Aber: Kanalabdichtungen ohne ganzheitliche Betrachtung kann zu neuen Problemen führen

Werden Leckagen an Abwasserleitungen und -kanälen durch Sanierungsmaßnahmen abgedichtet, so kann es zum Grundwasseranstieg (Veränderung des Status Quo) kommen, mit Wechselwirkungen zum Boden, zum Gebäudebestand und zur Vegetation (vgl. Kapitel 9). Das gilt sowohl in flachen Gebieten als auch in Hanglagen (Schichten- und Sickerwasser), durch

- Mobilisierung (Rücklösung) von Altlasten, Bodenverflüssigung, Auftrieb von Boden und unterirdischen Infrastrukturen (**Boden**),
- Vernässung von Gebäuden, Überflutung, Bauwerkshebungen durch veränderte Bodeneigenschaften („Quellen“) (**Bebauung**),
- Schädigung von Bäumen durch fortlaufende Wassersättigung des Erdreiches bzw. Versumpfung (**Vegetation**).

Auswirkungen flächendeckender Sanierungen sind vorher abzuschätzen

Im Vorfeld flächendeckender Sanierungsmaßnahmen sollte immer eine ganzheitliche Betrachtung der Auswirkungen der Kanalsanierung unter Berücksichtigung der hydrologischen und geologischen Verhältnisse durchgeführt werden (vgl. Kapitel 9) – ganzheitlich in Bezug auf die Auswirkungen auf Bauwerke und Vegetation, ganzheitlich aber auch im Zusammenhang mehrerer über das Grundwasser in Beziehung stehender, interagierender (öffentlicher und privater) Kanäle.

An der Kläranlage können im Zuge der ganzheitlichen Betrachtung realistische Einsparpotenziale nur durch eine detaillierte Erfassung, Darstellung und Bewertung der Energieverbräuche aller fremdwasserrelevanten Anlagenkomponenten ermittelt werden (vgl. Kapitel 6).

Es wird empfohlen, von behördlicher Seite als Überwachungswert im Ablauf der Kläranlage statt der Konzentration die Ablauffracht anzusetzen.

An Regenentlastungsanlagen sind die Auswirkungen möglicher Maßnahmen zum Umgang mit Fremdwasser gegeneinander abzuwägen: Erhöhung des Drosselabflusses zur Kläranlage, Anpassung des Beckenvolumens oder vorzugsweise Reduzierung des Fremdwasserzuflusses (vgl. Kapitel 6.5).

Umgang mit Fremdwasser: ergänzende Empfehlungen für Sanierungskonzepte

Eine effiziente Kanalsanierung erfordert das Erkennen der Fremdwasserquellen und der -verteilung.

Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung sind auch die Aufwendungen für Kanalabdichtungen von Bedeutung: Ökoeffizienzbewertungen können eine wichtige Orientierung bei der Auswahl von Sanierungsverfahren geben. Dazu gehören

- die ökobilanzielle Betrachtung verwendeter Baumaterialien, Werkstoffe und Bauvorgänge,
- die Umweltauswirkungen im Nahbereich,
- und der Produktsystemnutzen.

Im Vorfeld von flächendeckenden Kanalsanierungsmaßnahmen sollten mögliche Auswirkungen auf den Grundwasserhaushalt abgeschätzt werden. Ist mit entsprechenden Schäden an der Bebauung und Vegetation infolge eines Grundwasseranstieges zu rechnen, sollte bei der Kanalsanierung eine ganzheitliche Vorgehensweise angestrebt werden. Es können Sofortmaßnahmen durchgeführt werden, die zu keinen Schäden an der Bebauung, aber zu einer deutlichen Fremdwasserreduzierung führen. Eine Vollabdichtung der Abwasserkanäle und -leitungen bietet sich in diesem Fall nur an, wenn diese in Verbindung mit dem Bau von Dränagesystemen erfolgt.

Zuständigkeit für das Grundwassermanagement sollte geklärt werden

Nach derzeitiger Rechtslage besteht für viele Verantwortliche der Druck, Fremdwasser zu minimieren (vgl. Kapitel 4.3, z.B. Anforderungen der WRRL, Verdünnungsverbot gem. AbwV, Straftatbestand nach StGB bei Kenntnis der Undichtheit). Die rechtlichen und die technischen Regelungen geben teilweise Interpretationsspielraum, aber keine konkreten Vorgaben. Dies betrifft insbesondere die Frage der Zuständigkeit für das Grundwassermanagement und die rechtliche Situation bei der Ableitung infiltrierenden Grundwassers, um negative Folgen der Kanalabdichtungen (z.B. Gebäudevernässung infolge Grundwasseranstieg) zu vermeiden. In wasserwirtschaftlichen Problemgebieten könnte es sinnvoll sein, Dränagewasser unter definierten Randbedingungen in die Abwasserbeseitigungspflicht aufzunehmen.

Die Grundwasserregulierung in Siedlungsgebieten zur Vermeidung von Schäden an Gebäuden und Vegetation wurde in Deutschland bisher nur in Sonderfällen gesetzlich geregelt. Ein Beispiel ist die Emscherregion. Über das Emschergenossenschaftsgesetz (EmscherGG) wird der Emschergenossenschaft diese Aufgabe für die Auswirkungen des Steinkohlebergbaus zugewiesen (§2 des EmscherGG). Wie bereits oben beschrieben, hat der Bergbau in großen Gebieten durch Senkungen die Grundwasserflurabstände verringert. Durch die Maßnahmen der Emschergenossenschaft und die nicht sanierten öffentlichen und privaten Abwasserkanäle werden die Grundwasserstände auf einem unschädlichen Niveau gehalten. Zusätzlich kommt es nun zu Grundwasseranstiegen durch die Abdichtung der bisher dränierend wirkenden Abwasserkanäle.

Die möglichen negativen Folgen eines verringerten Grundwasserflurabstandes sind Gebäudevernässung und Schäden an der Vegetation.

Im Gesamtblick bleibt festzuhalten, dass bei undichten Abwasserkanälen und -leitungen sowohl das Handeln als auch das Unterlassen immense Auswirkungen haben können. Mit Blick auf eine ganzheitliche Vorgehensweise bei der Fremdwassersanierung sind zwar viele Erkenntnisse verfügbar, die Frage der Verantwortung bzw. Zuständigkeit muss jedoch geklärt sein. Zudem ist diesem Zusammenhang auch die Finanzierung zu sichern.

Während es sich bei der Exfiltration von Schmutzwasser eher um eine lokal begrenztes Problem handelt, ist die Infiltration von Grundwasser (Fremdwasser) in Abwasserkanäle und -leitungen ein echte Systemfragestellung, da die Auswirkungen vielfältig sind (z.B. Auswirkungen auf den Betrieb von Kläranlagen und Abschlagsbauwerken, Auswirkungen auf den örtlichen Wasserhaushalt). Dies ist bei der Zuweisung von Verantwortung und der Formulierung von Anforderungen zu berücksichtigen.

11 Ausblick

Im Rahmen des Vorhabens konnten die grundlegenden Zusammenhänge zwischen Kanalabdichtungen und den Auswirkungen auf Kläranlagen, Entlastungsbauwerken und örtlichen Grundwasserhaushalt anhand konkreter Beispiele aufgezeigt und entsprechende Sanierungsanforderungen abgeleitet werden. Neben Nutzen und Risiken von Kanalabdichtungen wurden im Projekt auch die Aufwendungen und Emissionen näher betrachtet, die sich beim Einsatz von Techniken zur Abdichtung von Abwasserkanälen und -leitungen ergeben. Eine im Projekt entwickelte Systematik zur Bewertung der Ökoeffizienz und Nachhaltigkeit von Kanalsanierungstechniken greift neben monetären Aspekten auch ökologische Aspekte auf und kann bei Investitionsentscheidungen wertvolle Hinweise liefern.

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens werfen folgende weiterführende Forschungsfragen auf:

- Flächenhafte Kanalabdichtungen können enorme Auswirkungen auf den örtlichen Grundwasserhaushalt haben. Die Kommunen stehen vor einem Problem. Derzeit fehlt ein qualifizierter Leitfaden zur Vorgehensweise bei Kanalabdichtungen, wenn Auswirkungen auf den Grundwasserhaushalt zu erwarten sind, die zu Kellervernässungen und zu Beeinträchtigungen der vorhandenen Vegetation führen. Das abgeschlossene Forschungsvorhaben gibt diesbezüglich erste Hinweise, es fehlen jedoch konkrete technische und organisatorische Handlungsvorschläge mit Hinweisen zur Finanzierung entsprechender Maßnahmen.
- Die Untersuchungsergebnisse des Kapitels 6 machen deutlich, dass sich allgemein gültige Aussagen zu den Auswirkungen des Fremdwasseraufkommens auf den Kläranlagenbetrieb (z.B. über die Höhe der Energieeinsparungen bestimmter Kläranlagenkomponenten) nicht anhand einzelner Kläranlagen und Einzugsgebiete tätigen lassen. Dennoch könnten mit Hilfe einer statistisch abgesicherte Datengrundlage (z.B. durch eine bundesweite Erhebung) Zusammenhänge zwischen dem Fremdwasseraufkommen und der Effizienz einzelner Kläranlagenkomponenten verifiziert werden, um daraus ggf. allgemeingültige Rückschlüsse ziehen zu können.
- Im Rahmen des Vorhabens wurde die Ökoeffizienz und Nachhaltigkeit anhand konkreter Sanierungsszenarien mit Hilfe einer zuvor entwickelten Systematik beispielhaft ermittelt (vgl. Kapitel 8). Eine konkrete Umsetzung dieser Ökoeffizienzbewertung auf mehreren Baustellen kann praktische Erfahrungen liefern, um die Systematik zur Ökoeffizienzbewertung zu konkretisieren und ggf. zu optimieren.
- Die Prüfung auf Umweltverträglichkeit von Kanalsanierungsmitteln erfolgt im Rahmen von Zulassungsprüfungen des Deutschen Institutes für Bautechnik (DIBt) nach den „Grundsätzen zur Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser“ (vgl. Kapitel 8). Die Migration von Chemikalien in das durchfließende Medium (hier: Abwasser) im Laufe der Nutzung ist offenbar nicht Gegenstand dieser Zulassungsprüfung. Wissenschaftliche Erkenntnisse hierzu, insbesondere auch mit Blick auf die Freisetzung von Bisphenol A aus bestimmten Sanierungswerkstoffen, liegen nicht vor.
- Flächendeckende Abdichtungen undichter Abwasserkanäle und -leitungen können – aufgrund der fehlenden Dränagewirkung – zu einem Anstieg des Grundwassers auf ein kritisches Niveau führen, so dass Gebäude und Vegetation beeinträchtigt werden (z.B. Gebäudevernässung). Die Untersuchungsergebnisse in Kapitel 9 machen deutlich, dass es durch eine angepasste Vorgehensweise bei der Abdichtung von Kanälen (Teilabdichtung) und unter Berücksichtigung der lokalen Grundwasserverhältnisse eine nennenswerte Verringerung des Fremdwasseraufkommens erreicht werden kann, ohne dass dabei der Grundwasserspiegel ein kritisches Niveau erreicht. In diesem Zusammenhang

wären jedoch Erkenntnisse über tatsächliche Infiltrationsmengen von Grundwasser in undichte Kanäle in Abhängigkeit des vorhandenen Schadensbildes wichtig, um Strategien zur Teilabdichtung und zur zeitlich begrenzten Tolerierung bestimmter Schäden weiterentwickeln und verbessern zu können.

12 Quellenverzeichnis

- ATV-A 128 (1992): Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen; Arbeitsblatt. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Hennef.
- ATV-DVWK-M 143-1 (2004): Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 1: Grundlagen; Merkblatt. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Hennef.
- ATV-M 143-6 (1998): Dichtheitsprüfungen bestehender, erdüberschütteter Abwasserleitungen und -kanäle und Schächte mit Wasser, Luftüber- und Unterdruck; Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und -leitungen; Merkblatt. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Hennef.
- AV Starnberger See (2003): „Alles klar?“, Verbandsbroschüre, Abwasserverband Starnberger See. Starnberg.
- AV Starnberger See (2008): Anlagenübersicht der Kläranlage Starnberger See. Auszug Prozessleitsystem (Stand: 24.06.2008).
- AV Starnberger See (2011): Übersichtsplan der Kläranlage Starnberger See (Stand: Oktober 2011). Internetinformationen des Abwasserverbandes Starnberger See, unter: www.av-starnberger-see.de (abgerufen am 20.06.2013).
- Becker, A. D. (2013): Neues Graft-Gutachten bald fertig, in *Weser-Kurier* vom 16.1.2013, aufgerufen am 30.10.2013. unter http://www.weser-kurier.de/region/delmenhorst_artikel,-Neues-Graft-Gutachten-bald-fertig-_arid,476502.html
- Berger, C.; Lohaus, J.; Wittner, A.; Schäfer, R. (2001): Zustand der Kanalisation in Deutschland – Ergebnisse der ATV-DVWK-Umfrage 2001, Hennef.
- Berger, C.; Falk, C. (2009): Zustand der Kanalisation in Deutschland – Ergebnisse der DWA-Umfrage 2009; Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef/Dortmund.
- Berger, C.; Lohaus, J. (2004): Zustand der Kanalisation in Deutschland – Ergebnisse der DWA-Umfrage 2004, Hennef.
- Bilitewski, B.; Tennhardt, L.; Gehring, M.; Weltin, D. (2012): Untersuchungen zum Einfluss der Verfahrenstechnik in Kläranlagen auf die Eliminierung ausgewählter Östrogene und Xenöstrogene aus dem Abwasser (Verbundprojekt). Teilvorhaben II – Versuchsbegleitende Analytik und Abbauversuche mit Klärschlamm. Abschlußbericht. BMBF-Förderkennzeichen 02WA9979/0. Institut für Abfallwirtschaft und Altlasten, Technische Universität Dresden. Pirna.
- BMU (2008): Grundwasser in Deutschland. Reihe Umweltpolitik. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Berlin.
- BMU (2010): Gesetz zur Neuregelung des Wasserhaushaltes; Internetinformationen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; aufgerufen am 20.06.2013. <http://www.bmu.de/detailansicht/artikel/gesetz-zur-neuregelung-des-wasserrechts/>
- BMU (2012): Brief des Bundesumweltministers vom 04.09.2012 zur Dichtheitsprüfung privater Hauskanäle in NRW. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. AZ WA I 3-07023/1. Bonn.
- BMU/BDI (2002): Nachhaltigkeitsmanagement in Unternehmen – Konzepte und Instrumente zur nachhaltigen Unternehmensentwicklung. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und Bundesverband der Deutschen Industrie e.V. (BDI), Center for Sustainability Management (CSM) e.V., Universität Lüneburg.

- BMU/UBA (2010): Die Wasserrahmenrichtlinie – Auf dem Weg zu guten Gewässern. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und Umweltbundesamt (UBA). Berlin.
- BMVBS/BMVG (2011): Arbeitshilfen Abwasser – Planung, Bau und Betrieb von abwassertechnischen Anlagen. Internetinformationen des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung und des Bundesministeriums der Verteidigung; aufgerufen am 05.11.2012. <http://www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/A6-4SanierungsverfahrenLeitungen.html>
- Böcker, K., Leuchs, U. (2007): Kosten durch hohen Fremdwasserzufluss zu Klärwerken des Wupperverbandes, Vortrag zum 2. Workshop Reduzierung von Fremdwasser im Wupperverband, Wuppertal, 2007.
- Bosseler, B.; Beck, S. (2012): Vom Schaden zur Sanierung – Bildreferenzkatalog und effiziente Sanierungstechniken für die Grundstücksentwässerung; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen.
- Bosseler, B.; Cremer, S. (2000): Ermittlung und Eliminierung von Fremdwasserquellen aus Kanalisationsnetzen: Stadt Billerbeck, Abschlussbericht des IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur beauftragt von der Abwasserberatung NRW e.V., Abschlussbericht, Gelsenkirchen.
- Bosseler, B.; Dyrbusch, A.; et al. (2012): Umgang mit Dränagewasser von privaten Grundstücken - pragmatische Lösungsansätze und Argumentationshilfen. Gefördert durch Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur in Zusammenarbeit mit Kommunal-Agentur NRW GmbH und Bezirksregierung Detmold. Gelsenkirchen.
- Bosseler, B.; Harting, K.; et al. (2011): Untersuchungen zu Hafteigenschaften von Kurzlinern auf unterschiedlich vorbehandelten Oberflächen und Einsatz ausgewählter Reparaturverfahren unter äußerem Wasserdruck - Ergänzende Untersuchungen zum IKT-Warentest „Reparaturverfahren für Hauptkanäle“. Im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur. Gelsenkirchen.
- Bosseler, B.; Homann, D. (2004): IKT-Warentest „Reparaturverfahren für Anschlussstutzen“ – Strobel-Betonverfahren. Im Auftrag der Umwelttechnik Strobel GmbH. IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur. Gelsenkirchen.
- Bosseler, B.; Redmann, A.; Bennerscheidt, C.; Färber, D. (2010): IKT-Warentest Hausanschluss-Liner. Endbericht zum Forschungsprojekt „Vergleichende Prüfung der Qualität von Sanierungsverfahren für Anschlusskanäle II“. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW. IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur. Gelsenkirchen.
- Bosseler, B.; Schlüter, M. (2006): Pilotprojekt der Stadt Billerbeck, Dränagewasser von Privatgrundstücken umweltgerecht sammeln und ableiten. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW, IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen.
- Bosseler, B.; Schlüter, M. (2003): Qualitätseinflüsse Schlauchliner – Stichproben-Untersuchung an sanierten Abwasserkanälen. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW, IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen.
- BR (2012): Nationale Nachhaltigkeitsstrategie – Fortschrittsbericht 2012, Die Bundesregierung.
- BVerfGE 49, 89 – Kalkar I: Urteil des Bundesverfassungsgerichtes, Beschluss des zweiten Senats vom 8. August 1978 – 2 BvL 8/77.

- Chen, Y.; Chen, Y.; Xu, C.; Ye, Z.; Li, Z.; Zhu, C.; et al. (2010). Effects of ecological water conveyance on groundwater dynamics and riparian vegetation in the lower reaches of Tarim River, China. *Hydrological Processes*, 170-177.
- Czychowski, M.; Reinhardt, M. (2010): Kommentar zum Wasserhaushaltsgesetz, C.H. Beck Verlag, München 2010
- Decker, J. (1998): „Auswirkungen von Fremdwasser auf Abwasseranlagen und Gewässer“, Dissertation, GWA, Bd. 168, Aachen.
- DIBt (2011): Grundsätze zur Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser; Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt). Berlin.
- Diefenthal, K. (2014): Informationen aus dem Gespräch mit Herrn Diefenthal vom Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen am 19.02.2014 im IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen.
- Diersch, H. J. (2009): FEFLOW – Reference manual. DHI-WASY GmbH. Berlin.
- Dilg, R. (2008): Schlauchlining im Sammler – Verfahren, Regelwerke, Materialien, Einbau-/Aushärtetechniken und Entwicklungen. *3R international* (46) Heft 10/2007, S. 621 – 627.
- DIN (2013): Internetseite des Deutschen Institutes für Normung e.V. Sicherheit und Nachhaltigkeit – Normen geben Sicherheit. www.din.de. aufgerufen am 30.10.2013.
- DIN 1986 (1928): Bau und Betrieb von Grundstücksentwässerungsanlagen – Technische Vorschriften; Deutsches Institut für Normung e.V.; beuth-Verlag. Berlin.
- DIN 1986-100 (2008): Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke – Teil 100: Bestimmungen in Verbindung mit DIN EN 752 und DIN EN 12056; Deutsches Institut für Normung e.V.; beuth-Verlag. Berlin.
- DIN 1986-3 (2004): Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke, Teil 3: Regeln für Betrieb und Wartung; Deutsches Institut für Normung e.V.; beuth-Verlag. Berlin.
- DIN 1986-30 (2012): Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke, Teil 30: Instandhaltung; Deutsches Institut für Normung e.V.; beuth-Verlag. Berlin.
- DIN EN 12873-2 (2005): Einfluss von Materialien auf Trinkwasser - Einfluss infolge der Migration - Teil 2: Prüfverfahren für vor Ort aufgebrachte nicht metallische und nicht zementgebundene Materialien; Deutsches Institut für Normung e.V.; beuth-Verlag. Berlin.
- DIN EN 12899 (2000): Grabenlose Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen; Deutsche Fassung EN 12889:2000; Deutsches Institut für Normung e.V.; beuth-Verlag. Berlin.
- DIN EN 13380 (2001): Allgemeine Anforderungen an Bauteile für Renovierung und Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen außerhalb von Gebäuden; Deutsche Fassung EN 13380:2001; Deutsches Institut für Normung e.V.; beuth-Verlag. Berlin.
- DIN EN 13508-1 (2004): Zustandserfassung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden. Teil 1: Allgemeine Anforderungen. Deutsche Fassung EN 13508-1:2003; Deutsches Institut für Normung e.V.; beuth-Verlag. Berlin.
- DIN EN 13508-2 (2003): Zustandserfassung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden. Teil 2: Kodiersystem für die optische Inspektion. Deutsche Fassung EN 13508-2:2003; Deutsches Institut für Normung e.V.; beuth-Verlag. Berlin.
- DIN EN 15643-1 (2010): Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden. Teil 1: Allgemeine Rahmenbedingungen. Deutsche Fassung EN 15643-1:2010; Deutsches Institut für Normung e.V.; beuth-Verlag. Berlin.

- DIN EN 15885 (2011): Klassifizierung und Eigenschaften von Techniken für die Renovierung und Reparatur von Abwasserkanälen und -leitungen. Deutsche Fassung EN 15885:2010; Deutsches Institut für Normung e.V.; beuth-Verlag. Berlin.
- DIN EN 1610 (1997): Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen. Deutsche Fassung EN 1610:1997; Deutsches Institut für Normung e.V.; beuth-Verlag. Berlin.
- DIN EN 476 (1997): Allgemeine Anforderungen an Bauteile für Abwasserkanäle und -leitungen für Schwerkraftentwässerungssysteme. Deutsches Institut für Normung e.V. beuth-Verlag. Berlin.
- DIN EN 752 (2008): Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Deutsche Fassung EN 752:2008; Deutsches Institut für Normung e.V.; beuth-Verlag. Berlin.
- DIN EN ISO 14040 (2009): Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen, Deutsche und Englische Fassung, Ausgabedatum:2009-11. Berlin.
- DIN EN ISO 14042 (2000): Umweltmanagement – Ökobilanz – Wirkungsabschätzung, Deutsche und Englische Fassung, Ausgabedatum:2000-07. Berlin.
- DIN EN ISO 14044 (2006): Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen, Deutsche und Englische Fassung, Ausgabedatum:2006-10. Berlin.
- DIN EN ISO 14045 (2012): Umweltmanagement – Ökoeffizienzbewertung von Produktsysteme – Prinzipien, Anforderungen und Leitlinien. Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14045:2012; Deutsches Institut für Normung e.V.; beuth-Verlag. Berlin.
- DGE (2013): Deutsche Gesellschaft für Endokrinologie. Chemische Substanzen in Verpackungen, Nahrung und Kosmetika –Wissenschaftler warnen vor Gefahren für Hormonsystem und Stoffwechsel. Pressemitteilung vom 28.05.2013. Stuttgart. Aufgerufen am 18.12.2013 unter http://www.endokrinologie.net/presse_130528.php
- DWA (2012): Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen 2011 – Infobroschüre.
- DWA-A 118 (2006): Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen, Arbeitsblatt. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Hennef.
- DWA-A 139 (2009): Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen; Merkblatt. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Hennef.
- DWA-A 166 (2010): Bauwerke der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung - Konstruktive Gestaltung und Ausrüstung. Entwurf. Arbeitsblatt. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Hennef.
- DWA-A 216 (2013): „Energiecheck und Energieanalyse - Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen“, Arbeitsblatt DWA-A 216 (Gelbdruck, Stand: April 2013). Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Hennef.
- DWA-A 400 (2008): Grundsätze für die Erarbeitung des DWA-Regelwerkes; Arbeitsblatt 6. überarbeitete Auflage; Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Hennef.
- DWA/DVGW (2012): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien). 8. überarbeitete Auflage. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. in Kooperation mit DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. Miturheber und Lizenzgeber: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). Hennef.
- DWA-M 143-3 (2005): Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 3. Schlauchliningverfahren (vor Ort härtendes Schlauchlining) für Abwasserleitungen und -kanäle. Merkblatt. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Hennef.

- DWA-M 143-20 (2005): Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 20: Prüfung und Beurteilung von Sanierungsverfahren; Anforderungen, Prüfkriterien und Prüfeempfehlungen – Schlauchliningverfahren und Kurzliner. Merkblatt. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Hennef.
- DWA-M 149-2 (2006): Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 2: Kodiersystem für die optische Inspektion. Merkblatt. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Hennef.
- DWA-M 149-3 (2007): Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 3: Zustandsklassifizierung und -bewertung. Merkblatt. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Hennef.
- DWA-M 149-5 (2010): Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 5: Optische Inspektion. Merkblatt. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Hennef.
- DWA-M 178 (2005): Empfehlungen für Planung, Bau und Betrieb von Retentionsbodenfiltern zur weitergehenden Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem. Merkblatt. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Hennef.
- DWA-M 182 (2012): Fremdwasser in Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Merkblatt. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Hennef.
- DWD (2013): Aufzeichnungen des Deutschen Wetterdienstes an der Messstation Coesfeld für 2006 bis 2011, Regionales Klimabüro Essen, 2013.
- Dyk, C.; Lohaus, J. (1997): Der Zustand der Kanalisation in der Bundesrepublik Deutschland – Ergebnisse der ATV-Umfrage 1997, Hennef.
- EUBP (2010): European Commission, Joint Research Centre, Institute for Health and Consumer Protection; European Union Risk Assessment Report, Environment Addendum of April 2008, Part 1 Environment, JRC 59980. Luxemburg.
- Färber, D. (2011): Entwicklungsunterstützende Untersuchung zur „Infiltrationsdichtheit“ bei Werkstoffwechseln bzw. Übergängen insbesondere im Zusammenhang mit der Fremdwassersanierung, Phase I: Abnahmekriterien und Prüfprogramm. Langfassung des Endberichtes. Im Auftrag des Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur. Gelsenkirchen.
- FBS (2013): FBS – Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e. V. Rohrwerkstoffauswahl – ein Vergleich – Umweltverträglichkeit / Ökobilanz von Abwasserkanalrohren. Bonn. Aufgerufen am 20.09.2013 unter <http://fbs-rohre.de>.
- Fischer, M. (2011): Zur Sache Fremdwasser. In KA Betriebs-Info 2011 (41) Nr. 2, Seite 1828 - 1829.
- Gassner, E.; Winkelbrandt, A.; et al. (2005): UVP und strategische Umweltprüfung – rechtliche und fachliche Anleitung für die Umweltverträglichkeitsprüfung. 4. völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Heidelberg.
- GIRL NRW (2008): Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen (Geruchsimmissions-Richtlinie - GIRL -) in der Fassung vom 29. Februar 2008 und einer Ergänzung vom 10. September 2008. Internetinformationen, aufgerufen am 07.08.2013. <http://www.lanuv.nrw.de/luft/gerueche/bewertung.htm>.
- Görg, H.; Krüger, A.; Hieman, P. (2013): Technisch-wirtschaftliche Bewertungskriterien der grabenlosen Kanalsanierung. Universität Siegen. Wasser und Abfall. 1/2 2013. S. 10 – 16.

- GSTT (2000): Kriterienkatalog zur Auswahl der Bauweisen für die Sanierung von Entwässerungsleitungen (Freispiegelleitungen)-GSTT Information Nr. 14. Arbeitskreis Nr. 2 Grabenloses Bauen. Leitungsbauweisen, Anwendungskriterien und deren Bewertung. German Society for Trenchless Technology e.V. (GSTT). Berlin.
- GSTT (2011): Vergleich offener und grabenloser Bauweisen – direkte und indirekte Kosten im Leitungsbau. GSTT-Information Nr. 11. Arbeitskreis Nr. 3 Grabenloses Bauen. Leitungsinstandhaltung. German Society for Trenchless Technology e.V. (GSTT). Berlin.
- Günthert, F.W. (2008): „Untersuchungen zur Auswirkung von Fremdwasser auf die Betriebskosten einer Kläranlage“ – Datenauswertung für den Abschlussbericht 2007. Professur für Siedlungswasserwirtschaft der Universität der Bundeswehr München.
- Günthert, F.W., Sprengard, K. (2007): Ganzheitliches Konzept für eine effektive Fremdwasserreduzierung im Verbandsgebiet des Abwasserverbandes Starnberger See, Bericht Teil 1 im Auftrag des Abwasserverbandes Starnberger See, Professur für Siedlungswasserwirtschaft der Universität der Bundeswehr München. unveröffentlicht.
- Harnischmacher, S. (2013): Bergsenkungen im Ruhrgebiet. Geografische Kommission für Westfalen.
- Hauff, V. (1987): Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. Deutsche Übersetzung; Eggenkamp Verlag, Greven.
- Hennerkes, J. A. (2006): „Reduzierung von Fremdwasser bei der Abwasserentsorgung“, Dissertation an der RWTH Aachen 2006, Aachener Schriften zur Stadtentwässerung, Band 10, Aachen.
- HMUELV (2012): Brief der Staatsministerien Lucia Puttrich vom April 2012 zur Abwassereigenkontrollverordnung – Dichtigkeitsprüfung privater Hausanschlüsse an die Abgeordneten der CDU-Fraktion und FDP-Fraktion im Hessischen Landtag. Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Wiesbaden.
- IKT (2008): Erarbeitung von allgemein anerkannten Regeln der Technik (a.a.R.d.T.) zur „Inspektion und Sanierung von Grundstücksentwässerungsanlagen“ in Nordrhein-Westfalen, Bericht im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen. Rechercheergebnisse aus folgenden Urteilen: BVerfGE 49, 89 (135) = NJW 1979, 359; BVerwG, Buchholz 401.64 § 7 AbwAG Nr. 2 = NVwZ 1993, 998; Buchholz 406.25 § 3 BImSchG Nr. 9; vgl. auch § 2X UGBI; 215 E.
- IKT (09/2012): Umfrage: Folgen der Kanalabdichtung für Vegetation und Bauwerke. IKT-eNewsletter August/September 2012 vom 25.09.2012. IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur. Gelsenkirchen.
- IKT (10/2012): Umfrage: Folgen der Kanalabdichtung für Vegetation und Bauwerke? E-Mail vom 19.10.2012. IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur. Gelsenkirchen.
- IKT (2013): Entwicklungsunterstützende Untersuchungen zur „Infiltrationsdichtheit“ bei Werkstoffwechseln bzw. Übergängen insbesondere im Zusammenhang mit der Fremdwassersanierung - Phase II: Vergleichende Untersuchungen an Werkstoffwechseln und Übergängen. Zwischenbericht Phase II. Vorabzug (unveröffentlicht). Im Auftrag des Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur. Gelsenkirchen.
- Impelmann, N. (2013): awamo – Abwassermodell Starnberger See. Internetinformationen des Abwasserverbandes Starnberger See, unter: www.awamo.de (abgerufen am 20.06.2013).
- Kalusche, W. (2004): Technische Lebensdauer von Bauteilen und wirtschaftliche Nutzungsdauer eines Gebäudes. Beitrag zur Festschrift zum 60. Geburtstag von Professor Dr. Hansruedi

Schalcher von der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich. Brandenburgische Technische Universität Cottbus.

- Keding, M.; Stein, D.; Witte, H. (1987): Ergebnisse einer Umfrage zur Erfassung des Istzustandes der Kanalisation in der Bundesrepublik Deutschland; Korrespondenz Abwasser, Seite 118 – 122, St. Augustin/Bochum.
- Keding, M.; Van Riesen, S.; Esch, B. (1990): Der Zustand der öffentlichen Kanalisation in der Bundesrepublik Deutschland; Sonderdruck aus "Korrespondenz Abwasser", 37. Jahrgang, Heft 10/1990, Seite 1148 bis 1153, St. Augustin.
- Keilholz, P., & Disse, M. (2010): Entwicklungsunterstützende Untersuchung zur "Infiltrationsdichtheit bei Werkstoffen bzw. Übergängen insbesondere im Zusammenhang mit der Fremdwassersanierung". Neubiberg: Teilbericht zum Forschungsprojekt: Kanalsanierung - Entwicklung innovativer Konzeptionen und Verfahren zur Sanierung von öffentlichen und privaten Kanälen mit dem Schwerpunkt Grundstücksentwässerung. Im Auftrag des IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur. Professur für Wasserwesen und Ressourcenschutz, Universität der Bundeswehr München.
- Keilholz, P. (2012): Bundesweite Umfrage zu Schäden durch veränderte Grundwasserspiegel, Korrespondenz Wasserwirtschaft 11712, S. 588.
- Keilholz, P. (2012): Bundesweite Umfrage zu Schäden durch veränderten Grundwasserspiegel. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall 2012 (59), Nr. 11, S. 1020.
- Kroiss, H.; Prendl, L. (1996): „Einfluss von Fremdwasser auf Abwasserreinigungsanlagen“, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 140, S. 71-90, 1996.
- KRV (2013): Fachverband der Kunststoffrohr-Industrie. Recycling von Duroplasten wie GFK. Aufgerufen am 24.07.2013 unter www.krv.de.
- Kyoto (1997): Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Kyoto.
- LAWA (2003): Arbeitshilfe zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie; Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA); Bearbeitungsstand: 30.04.2003.
- LAWA (2004): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellen für das Grundwasser; Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA); Düsseldorf.
- LfU (2010): Asbestzementrohrleitungen in der Wasserversorgung. Merkblatt Nr. 1.8/7. Bayerisches Landesamt für Umwelt. Augsburg.
- LÖ (1992): Lexikon Ökotoxikologie. Hrsg. Bruno Streit. Weinheim.
- Lorenz (2007): Lorenz, Reinhard: Styrolproblematik, (k)ein Thema – Fakten zu einer Diskussion, die kein Ende nimmt. Fachhochschule Münster. Steinfurt.
- LUBW (2007): Fremdwasser in kommunalen Kläranlagen – Erkennen, Bewerten, Vermeiden. Hrsg.: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW). Karlsruhe.
- Meyer, F. H. (1982): Bäume in der Stadt, Ulmer Verlag, Stuttgart.
- MEwS Bay (2012): Muster für eine gemeindliche Entwässerungssatzung. Bekanntmachung des Bayerischen Staatsministeriums des Innern vom 6. März 2012 Az.: IB1-1405.12-5.
- Michalska, A.,; Pecher, K.H. (2000): Betriebliche und kostenmäßige Auswirkung des Fremdwassers auf Kanalisation und Kläranlage, Beitrag zur 33. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft vom 29.03.2000 - 31.03.2000, GWA, Bd. 177, Aachen.

- Mitsdörffer, R.; Gebert, W (2009): Energetische Optimierung der Kläranlage Starnberg, Energiestudie Kläranlage Starnberg vom 20. August 2009, Version 1.0, GFM Beratende Ingenieure, München.
- MURL (1999): Energie in Kläranlagen; Handbuch, Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, September 1999.
- Nisipeanu, P.; Maus, H. (2007): Fremdwasser – Betrachtungen und Untersuchungen eines erhöhten Fremdwasseraufkommens und daraus resultierende Erfahrungen, Handlungsempfehlungen und Strategien für eine effiziente Sanierung. Becker Druck. Essen/Arnsberg.
- Ökobau.dat (2011): Deutsche Baustoffdatenbank mit Beschreibung der ökologischen Wirkungen von über 950 Baumaterialien und Transportprozessen. Hrsg.: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Referat Nachhaltiges Bauen, Berlin.
- Orth, H.; Lange, R.-L.; et al. (2008): Zustands-, Prozess- und Wirkungsanalyse zur Entwicklung einer bedarfsorientierten Reinigungsstrategie für Kanalnetze. gefördert vom Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW; Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik der Ruhr-Universität Bochum in Kooperation mit IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur. Bochum.
- o.V. (2005): Schwanau trotz dem Fremdwasser; Fachartikel in der bi Umweltbau; Ausgabe 05/2005; S. 67-70.
- PlacticsEurope (2011): AISBL - Eco-profiles and environmental declarations Version 2.0 (April 2011), Brüssel, Belgien.
- ProBas (2012): Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente. Datenbank des Umweltbundesamts und des Öko-Instituts. <http://www.probas.umweltbundesamt.de>. Letzte Änderung: 02.01.2012. Dessau-Roßlau.
- Puhl, R. (2008): Zustand der Kanalisation in Bayern, im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU), IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur in Zusammenarbeit mit der Professur für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität der Bundeswehr München; Neubiberg bei München (unveröffentlicht).
- Purde, H. J.; Hecker, H. P.; Flick, K. H. (2006): Erneuerung der Dichtung an Rohrverbindungen von Steinzeug-Rohren älterer Bauart, 3R international Heft (45) 1-2/2006, S. 40-42.
- RAL (2012): Herstellung und Instandhaltung von Abwasserleitungen und -kanälen. Gütesicherung Kanalbau. RAL-GZ 961. Ausgabe April 2012. RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. Sankt Augustin.
- RASt (2006): Richtlinie für die Anlage von Stadtstraßen (RASt 06). Ausgabe 2006. Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV). Arbeitsgruppe Straßenentwurf. FGSV Verlag GmbH. Köln.
- Römpp (1996): Römpp Lexikon Chemie, Band 1, Hrsg: Jürgen Falbe u. Manfred Regnitz. 10. Auflage. 1996 – 1999. Georg Thieme Verlag. Berlin.
- Schlüter, M. (2009): Pilotprojekt der Stadt Billerbeck, Fremdwassersanierung – Konzept und Umsetzung im Mischsystem. Abschlussbericht zum Pilotprojekt der Stadt Billerbeck. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW. IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur. Gelsenkirchen.
- Statistisches Bundesamt (2012): Statistisches Jahrbuch – Deutschland und Internationales 2012; Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2013): Umwelt – Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserentsorgung 2010 – Strukturdaten zur Wasserwirtschaft, Fachserie 19 Reihe 2.1.3; Wiesbaden.

- UBA (1999): Bewertung in Ökobilanzen, Methode des Umweltbundesamtes zur Normierung von Wirkungsindikatoren, Ordnung (Rangbildung) von Wirkungskategorien und zur Auswertung nach ISO 14042 und 14043 (Version ´99). UBA-Texte 92/99. Berlin.
- UBA (2008): Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen, Forschungsbericht 205 26 307, UBA-FB 001075, Dessau-Roßlau.
- UBA (2011): Wasser, Trinkwasser und Gewässerschutz – Wasserrecht: Abwasserverordnung. Internetinformationen des Umweltbundesamtes (UBA); aufgerufen am 21.06.2013. <http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/geweschr/abwv.htm>
- UBA (06/2011): Leistungsbeschreibung vom 06.11.2011. Kanalabdichtungen - Auswirkungen auf die Reinigungsleistung der Kläranlagen und der Einfluss auf den örtlichen Wasserhaushalt (FKZ: 37 11 26 326).
- UN (1987): Our Common Future. Report of the World Commission on Environment and Development. United Nations.
- UniDO (2003): Untersuchungen zum Eintrag und zur Elimination von gefährlichen Stoffen in kommunalen Kläranlagen, Teil 1. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben. Gefördert vom Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Universität Dortmund, Fachbereich Chemie, Lehrstuhl Umwelttechnik in Zusammenarbeit mit Deutsche Projekt Union GmbH, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Stadtentwässerungsbetrieb Düsseldorf und Stadtentwässerungsbetriebe Köln AöR. Dortmund.
- VIATECTA (2013): Umweltverträglichkeit und Weiterverwertung von Silikatharzen. Viatecta GmbH. Bochum. Aufgerufen am 23.07.2013 unter www.viatecta.de/fachthemen/umweltverträglichkeit-und-wiederverwendung.
- Weideler, A.; Birkner, T.; Krampe, J.; Bosseler, B. (2006): „Erkennung, Bewertung und Vermeidung von Fremdwasser in kommunalen Kläranlagen“, Schlussbericht im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft, Universität Stuttgart, unveröffentlicht.
- Wellmann, S. R.; Queitsch, P.; Fröhlich, K. D. (2010): Wasserhaushaltsgesetz Kommentar. 1. Auflage. Kommunal- und Schul-Verlag. Wiesbaden.
- Wurm, K. (2013): Bedeutung von Regenwassereinleitungen für den ökologischen Zustand der Fließgewässer in Baden-Württemberg. Gewässerökologisches Labor, Starzach. 88. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium. Stuttgart.
- Zech, H. (2009): Übersicht der Techniken und Erfahrungen in der Kanalsanierung; RSV - Rohrleitungssanierungsverband e.V., 3R international (48) Heft 10/2009, S. 562-571.
- Zöfel, P. (2000): Statistik verstehen – ein Begleitbuch zur computergestützten Anwendung. München.