

„Reduzierung von Fremdwasser bei der Abwasserentsorgung“

Von der Fakultät für Bauingenieurwesen
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen zur
Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Jörg André Hennerkes

aus

Essen

Berichter: Universitätsprofessor Professor E.h. (RC) Dr.-Ing. Max Dohmann
 Professor Dr. sc. techn. Peter Krebs
 Universitätsprofessor Dr.-Ing. Johannes Pinnekamp

Tag der mündlichen Prüfung: 12. Juli 2006

„Diese Dissertation ist auf den Internetseiten der Hochschulbibliothek online verfügbar.“

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen. Bei meinem Doktorvater Herrn Professor Dr. M. Dohmann bedanke ich mich ganz herzlich für die intensive Betreuung meiner Arbeit sowie für den fachlichen Rat und die wertvollen Anregungen.

Herrn Professor Dr. P. Krebs und Herrn Professor Dr. J. Pinnekamp danke ich ebenfalls herzlich für die Übernahme der Korreferate und die freundliche Unterstützung sowie das meiner Arbeit entgegengebrachte Interesse. Für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission danke ich Herrn Professor Dr. K. Meskouris.

Mein ganz besonderer Dank gilt an dieser Stelle meinen Eltern, die mich immer uneingeschränkt unterstützt und meinen Werdegang stets aufmerksam begleitet haben.

Essen, im Oktober 2006

Jörg André Hennerkes

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Die Rolle des Fremdwassers bei der Abwasserentsorgung	4
2.1	Historische Entwicklung	4
2.2	Parameter zum Fremdwasser.....	12
2.3	Ursachen des Fremdwassers	15
2.3.1	Herkunft und Einflussfaktoren.....	15
2.3.2	Lokalisierung der Fremdwasserquellen	36
2.4	Fremdwasseraufkommen	38
2.4.1	Überblick.....	38
2.4.2	Zufluss über Undichtigkeiten und Fehlschlüsse.....	43
2.4.3	Ansätze für die Planung.....	48
2.4.4	Analytische Verfahren zur Ermittlung des Fremdwassers	52
2.5	Auswirkungen des Fremdwassers auf die Planung und den Betrieb von Abwasseranlagen	53
2.5.1	Kanalisation und Pumpwerke	54
2.5.2	Regenwasserbehandlungsanlagen.....	55
2.5.3	Regenüberläufe	58
2.5.4	Abwasserreinigungsanlagen.....	59
2.5.5	Kosten	63
2.6	Auswirkungen von Fremdwasser auf Gewässer.....	65
2.6.1	Oberirdische Gewässer	65
2.6.2	Grundwasser	67
3	Technische Maßnahmen zur Vermeidung oder Reduzierung von Fremdwasser.....	69
3.1	Überblick.....	69
3.2	Maßnahmen zur Fremdwasservermeidung	73
3.3	Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung	76
3.3.1	Beseitigung von Undichtigkeiten.....	77
3.3.2	Beseitigung von Fehlschlüssen	80
3.4	Maßnahmen zur Reduzierung der Auswirkungen von Fremdwasser	88
3.4.1	Maßnahmen im Kanalnetz.....	89
3.4.2	Maßnahmen an Regenwasserbehandlungsanlagen.....	90
3.4.3	Maßnahmen auf kommunalen Kläranlagen	92
3.5	Maßnahmen zum Schutz vor ansteigendem Grundwasser	93

3.5.1	Bisherige Entwicklungen.....	93
3.5.2	Absenkung des Grundwasserspiegels.....	96
3.5.3	Nachträgliche Bauwerksabdichtungen gegen Grundwasser	102
4	Untersuchungen zur Quantifizierung der Grundwasserinfiltration	104
4.1	Bisherige Ansätze und Vorgehensweisen	104
4.2	Aufbau der Versuchsanlage und Versuchsprogramm	109
4.3	Ergebnisse.....	114
5	Ganzheitliche Bewertung von Maßnahmen und Auswirkungen der Fremdwasserreduzierung.....	129
5.1	Motivation	129
5.2	Bewertungsszenarien	131
5.3	Nutzwertanalyse	133
5.4	Ergebnisse.....	142
6	Zusammenfassung	147
Literatur		151
Anhang 1		171
Anhang 2		177
Anhang 3		179

Verzeichnis der Bilder

Bild 1:	Darstellung der Herkunft von Fremdwasser am Beispiel eines Trennsystems.....	17
Bild 2:	Prozentuale Verteilung der Schäden an öffentlichen Kanälen und Schächten	19
Bild 3:	Häufigkeit beobachteter Schäden an privaten Grundstücksentwässerungsanlagen.....	20
Bild 4:	Langjährige und saisonale Oszillationen des Grundwasserspiegels	24
Bild 5:	Verlauf von Grundwasserstand und Fremdwasseranteil im Abwasserzufluss einer Kläranlage im Trennsystem (DOHMANN et al., 2002)	25
Bild 6:	Abhängigkeit des Fremdwasseranteils auf kommunalen Kläranlagen in Bayern vom Niederschlag.....	26
Bild 7:	Einfluss von Niederschlagsereignissen auf den Abfluss im Schmutzwasserkanal eines Trennsystems.....	27
Bild 8:	Einfluss von Niederschlagsereignissen auf das grundwasser- und niederschlagsbedingte Fremdwasser in einer Mittelgebirgsregion	28
Bild 9:	Schematische Darstellung der Bodenwasserregime (verändert nach UVM, 2001 und BGR, 2004)	32
Bild 10:	Verteilung des Mischsystems in Deutschland (StBA, 2003)	34
Bild 11:	Angaben des Statistischen Bundesamtes (StBA, 2003) zum Fremdwasseraufkommen 2001 nach Bundesländern	34
Bild 12:	Fremdwasserabflussspenden ausgewählter Städte in Deutschland	41
Bild 13:	Literaturangaben zu Fremdwasserabflussspenden in den USA.....	42
Bild 14:	Definition der abflusswirksamen Fläche und des Lagebeiwertes	45
Bild 15:	Einfluss des Fremdwassers auf das erforderliche spez. Speichervolumen V_S und die zul. Jahresentlastungsrate e_0 für ein ausgewähltes Beispiel (nach DECKER, 1998 und ATV-DVWK, 2004)	56
Bild 16:	Entlastungshäufigkeit und -dauer bei Regenüberlaufbecken bei unterschiedlichen Fremdwasserabflussspenden (nach DECKER, 1998 und ATV-DVWK, 2004)	57
Bild 17:	Wirkungsgrade der Frachtelimination (nach DECKER, 1998 und ATV-DVWK, 2004)	61
Bild 18:	Einfluss des Fremdwassers auf das Volumen von Belebungsbecken bei der Neubemessung einer Kläranlage	63
Bild 19:	Gefährdungspotenzial der Gewässer durch Fremdwasser (verändert nach MERTSCH und SCHMIDT, 2002)	66
Bild 20:	Prinzip einer Ringdränage im Grundriss und Querschnitt (nach KOLBITSCH und TSUKALAS, 2003)	82

Bild 21:	Flächendrnge unter einem Gebäude mit kombinierter Ringdrnge (KOLBITSCH und TSUKALAS, 2003).....	82
Bild 22:	Einfluss des Grundwasserstandes auf den Fremdwasserabfluss (DOHMANN et al., 2002).....	107
Bild 23:	Aufbau der Versuchsanlage im Längsschnitt	110
Bild 24:	Korngrößenverteilung des untersuchten schwach-bindigen Bodens (BODEN I) und des untersuchten rolligen Bodens (BODEN II)	111
Bild 25:	Betonrohr DN 300 mit definierten Schäden im noch nicht mit Boden gefüllten Versuchsbehälter.....	112
Bild 26:	Abhängigkeiten der Infiltration q_F von der Fläche A bei verschiedenen hydrostatischen Druckhöhen am Beispiel des rolligen Bodens II.....	115
Bild 27:	Abhängigkeiten der Infiltration q_F von der Wasserdruckhöhe h bei verschiedenen Schadensbildern am Beispiel des rolligen Bodens II	117
Bild 28:	Summenhäufigkeiten der Vorfaktoren für den rolligen Boden II bei verschiedenen Schadensarten	119
Bild 29:	Summenhäufigkeiten der Vorfaktoren für den schwach-bindigen Boden I bei verschiedenen Schadensarten	120
Bild 30:	Grundwasserinfiltration q_F in Abhängigkeit der Schadensfläche und der hydrostatischen Druckhöhe für den schwach-bindigen Boden I	123
Bild 31:	Grundwasserinfiltration q_F in Abhängigkeit der Schadensfläche und der hydrostatischen Druckhöhe für den rolligen Boden II	124
Bild 32:	Lineare Abhängigkeiten der Infiltration q_F von der Punktschadensfläche bei verschiedenen hydrostatischen Druckhöhen (Boden II)	178
Bild 33:	Potenzielle Abhängigkeiten der Infiltration q_F von der Punktschadensfläche bei verschiedenen hydrostatischen Druckhöhen (Boden II)	178

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1:	Zusammenstellung ausgewählter Vor- und Nachteile des Misch- und Trennsystems.....	7
Tabelle 2:	Umrechnung verschiedener Bezugsgrößen für das Fremdwasser am Beispiel Nordrhein-Westfalens	14
Tabelle 3:	Quellen von Fremdwasser in Kanälen verschiedener Entwässerungssysteme.....	16
Tabelle 4:	Abflusscharakteristik von Fremdwasser (King County, 2004)	29
Tabelle 5:	Optimale Zeiträume für Messkampagnen zur Untersuchung eines Fremdwasserproblems.....	37
Tabelle 6:	Maßnahmen zur Ortung von Fremdwasserquellen.....	37
Tabelle 7:	Niederschlagsabhängige unterirdische Abflussspenden für Dränagen nach MUTH (1991) und DIN 1185-2	46
Tabelle 8:	Abflussspenden von Dränagen nach DIN 4095 (1990) und MUTH (1981).....	47
Tabelle 9:	Zufluss von Dränagewasser in die Kanalisation (STEIN et al., 1998)	47
Tabelle 10:	Übersicht über planerische Vorgaben zur Berücksichtigung des Fremdwasseraufkommens	49
Tabelle 11:	Indizien eines erhöhten Fremdwasserabflusses.....	50
Tabelle 12:	Regelungen der Bundesländer zum Abwasserabgabengesetz hinsichtlich Verdünnung und Vermischung.....	51
Tabelle 13:	Qualitativer Einfluss des Fremdwassers auf die Kosten von Abwasseranlagen (nach MICHALSKA und PECHER, 2000)	64
Tabelle 14:	Stoffliche und hydraulische Auswirkungen von Fremdwasser aus Abwassereinleitungen auf Fließgewässern (DECKER, 1998)	66
Tabelle 15:	Beispiele zu durchgeführten Maßnahmen der Fremdwasserreduzierung in den USA.....	72
Tabelle 16:	Gegenüberstellung fremdwasserrelevanter Aspekte von Dränagen	86
Tabelle 17:	Eignungskriterien zur Auswahl von Verfahren zur Grundwasserhaltung	97
Tabelle 18:	Bewirtschaftungsanlagen in Abhängigkeit von der Wasserdurchlässigkeit und Flurabstand.....	100
Tabelle 19:	Gegenüberstellung der Ansätze zur Nachbildung der Grundwasserinfiltration.....	109
Tabelle 20:	Kenndaten der verwendeten Bodenarten	111
Tabelle 21:	Versuchsprogramm	113
Tabelle 22:	Zusammenstellung der in den Versuchen ermittelten Vorfaktoren	121

Tabelle 23:	Überprüfung der von DECKER (1998) durchgeführten Fremdwassermessungen an einer undichten Muffe	127
Tabelle 24:	Einflüsse auf den Fremdwasseranfall in verschiedenen Szenarien....	133
Tabelle 25:	Bewertungskriterien zur Ermittlung des Nutzens einer Maßnahme	135
Tabelle 26:	Bewertung von Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung (Szenario 1)	137
Tabelle 27:	Bewertung von Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung (Szenario 2)	138
Tabelle 28:	Bewertung von Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung (Szenario 3)	139
Tabelle 29:	Bewertung von Maßnahmen zum Schutz vor ansteigendem Grundwasser	140
Tabelle 30:	Bewertung von Maßnahmen zur Ableitung von Grund- und Niederschlagswasser	141
Tabelle 31:	Rangfolge der Maßnahmen zum Schutz gegen ansteigendes Grundwasser und zur Ableitung von Grund- und Niederschlagswasser	144
Tabelle 32:	Kosten ausgewählter Sanierungsverfahren	172
Tabelle 33:	Prognose des Sanierungsaufwand für Abwasserkanäle und - leitungen in Deutschland 2005 bis 2015	173
Tabelle 34:	Kosten der Inspektion und Sanierung von privaten Leitungsnetzen ...	173
Tabelle 35:	Baukosten ausgewählter Maßnahmen zur Grundwasserabsenkung	174
Tabelle 36:	Abschätzung der jährlichen Betriebskosten ausgewählter hydraulischer Maßnahmen zur Grundwasserabsenkung	174
Tabelle 37:	Abschätzung der Baukosten von Maßnahmen zur Grundwasserableitung	175
Tabelle 38:	Stabilitätsbetrachtung (Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung - Szenario 1)	180
Tabelle 39:	Stabilitätsbetrachtung (Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung - Szenario 2)	181
Tabelle 40:	Stabilitätsbetrachtung (Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung - Szenario 3)	182
Tabelle 41:	Stabilitätsbetrachtung (Maßnahmen zum Schutz vor ansteigendem Grundwasser)	183
Tabelle 42:	Stabilitätsbetrachtung (Maßnahmen zur Ableitung von Grund- und Niederschlagswasser)	184

Verzeichnis der Abkürzungen und Formelzeichen

Abkürzung und Formelzeichen	Beschreibung
a. a. R. d. T.	allgemein anerkannte Regeln der Technik
AbwAG	Abwasserabgabengesetz
AbwV	Abwasserverordnung
A_E	Fläche eines Einzugsgebietes
$A_{E,b}$	befestigte Fläche
A_{red}	alte Bezeichnung der kanalisierten Fläche, neu $A_{E,k}$
ATV-DVWK	alte Bezeichnung der DWA
A_u	undurchlässige Fläche
AZ	Aktenzeichen
BauGB	Baugesetzbuch
BauO	Bauordnung
BGB	Bundesgesetzbuch
BGH	Bundesgerichtshof
BSB_5	Biochemischer Sauerstoffbedarf nach 5 Tagen
$C_{CSB,mm}$	Konzentration des CSB als monatlicher Mittelwert
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DIN	Deutsches Institut für Normung
DN	Nennweite eines Kanals in mm
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
E	Einwohner (Einheit)
EntwS	Entwässerungssatzung
EPA	US Environmental Protection Agency, Washington, USA
EW	Einwohnerwert (Einheit)
FWA	Fremdwasseranteil in %
FWZ	Fremdwasserzuschlag in %
GDSDS	Greater Dublin strategic drainage study
GFK	Glasfaserkunststoff
GG	Grundgesetz
GO	Gemeindeordnung
gpcd	amerikanische Gallonen pro Einwohner und Tag (Einheit)
GV	Gesetz- und Verordnungsblatt
GWL	Grundwasserleiter
ha	Fläche in Hektar (Einheit)
ha_{red}	reduzierte Fläche in Hektar (Einheit)
KAG	Kommunalabgabengesetz
k_F	Wasserdurchlässigkeit des Bodens in m/s

Abkürzung und Formelzeichen	Beschreibung
K_l	Leakage-Faktor in 1/s
km_{Kanal}	Länge eines Kanals in km (Einheit)
LWG	Landeswassergesetz
mm_{DN}	Nennweite eines Kanals in mm (Einheit)
MUNLV	Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW
MW	Mischwasser
N_{ges}	gesamter Stickstoff
$NH_4\text{-N}$	Ammoniumstickstoff auf Molgewicht des Stickstoffs bezogen
$NO_3\text{-N}$	Nitratstickstoff auf Molgewicht des Stickstoffs bezogen
NRC	Federation of Canadian Municipalities
NRW	Nordrhein-Westfalen
OVG	Oberverwaltungsgericht
P	Phosphor
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
q_F	Fremdwasserabflussspende
Q_F	Fremdwasserzufluss
q_s	spezifische Schmutzwasserspende
Q_s	Schmutzwasserzufluss
Q_T	Trockenwetterzufluss
$q_{T,d,mM}$	spezifischer täglicher Trockenwetterzufluss (als monatlicher Mittelwert)
RL	Richtlinie
RÜB	Regenüberlaufbecken
RW	Regenwasser
s	Abflussspende von Dränagen
SK	Stauraumkanal
St. d. T.	Stand der Technik
StBA	Statistisches Bundesamt
SW	Schmutzwasser
TW	Trockenwetter
UBA	Umweltbundesamt
UVM	Ministerium für Umwelt und Verkehr, Baden Württemberg
VG	Verwaltungsgericht
VwVfG	Verwaltungsverfahrensgesetz
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

1 Einleitung

In der Vergangenheit zielte die Entwässerungsplanung von Siedlungsgebieten auf eine schnellstmögliche Ableitung des dort anfallenden Niederschlagswassers ab. Durch die Siedlungsplanung erfolgte ein Eingriff in den Bodenwasserhaushalt, so dass auch Grund- und Dränagewasser mit abgeleitet wurden. Mit der Einführung der Schwemmkanalisation kam die Entsorgung des Schmutzwassers bald hinzu. Hierbei standen vor allem seuchenhygienische und städtebauliche Aspekte im Vordergrund. Durch das mit abgeleitete Grundwasser entstand ein positiver Nebeneffekt, indem auch vernässte Wege und Siedlungsgebiete trockengelegt und damit nutzbar gemacht wurden.

Im Laufe der Zeit entwickelten sich die Städte zunehmend und mit ihnen auch die Bevölkerung. Um 1960 begann man in Deutschland, die ersten Kläranlagen mit Kohlenstoffelimination zu errichten. Das in den Kanälen mit abgeleitete Grundwasser war zu diesem Zeitpunkt noch kein Problem. Erst als die Anforderungen an den Betrieb von Regenwasserbehandlungsanlagen und die Abwasserreinigung stiegen, begann man auch das mit dem Schmutzwasser zusammen abgeleitete Grundwasser mit pauschalen Ansätzen zu berücksichtigen. Auch der Flächenverbrauch und die Versiegelung des natürlichen Bodens stiegen rapide bis auf einen heutigen Betrag von 129 ha/d an (UBA, 2003). Hierdurch erhöhte sich die Gefahr von Hochwasserabflüssen, und die Niedrigwasserführung in Gewässern wurde reduziert. Gleichzeitig sank die Grundwasserneubildungsrate, wodurch der Aquifer noch zusätzlich geschädigt wurde (GEIGER, 2000; BECKER und GERETSHAUSER, 2003).

Mit der Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (RL 2000/60/EG) steht seit dem Jahr 2000 das Bemühen um einen besseren Schutz der Umwelt im Vordergrund. Im Rahmen einer integralen Sichtweise erfolgt der Umgang mit Wasser mit Hilfe der Instrumente des Flussgebiets- und Grundwassermanagements naturnah und enger am natürlichen Wasserkreislauf orientiert als bisher. Hierzu zählen vor allem der Schutz natürlicher Ressourcen, die Verbesserung des ökologischen und strukturellen Zustandes der oberirdischen Gewässer sowie des Grundwassers. Mit in diesen Zusammenhang fällt die Forderung einer Reduzierung des Anteils des durch Kanäle abgeleiteten und den Kläranlagen zugeführten, ehemals nicht behandlungsbedürftigen Wassers aus Siedlungsgebieten. DIN-EN 752-1 (1996) bezeichnet diesen „unerwünschten Abfluss in einem Entwässerungssystem“ als Fremdwasser. Fremdwasser erfordert aufgrund seiner Qualität keine Abwasserbehandlung und belastet Abwasseranlagen unnötig (SICKERT, 1998). Zur Kategorie des Fremdwassers zählen beispielsweise das durch undichte Kanäle eindringende Grundwasser und das über Fehlanlüsse eingeleitete Dränage- bzw. Niederschlagswasser.

Zur Verbesserung des ökologischen Zustandes der Gewässer wurden in den vergangenen Jahrzehnten auf der Basis neuer technischer Erkenntnisse und rechtlicher Zwänge umfangreiche Investitionen zum Ausbau kommunaler Kläranlagen und Anlagen zur Mischwasserbehandlung getätigt. Bei der bemessungstechnischen Auslegung dieser Anlagen wurde der Anteil des Fremdwassers gewöhnlich auf der Basis einschlägiger Regelwerke (bspw. ATV-A 128, 1992) pauschal abgeschätzt. Diese Vorgehensweise stellte sich jedoch als unbefriedigend heraus, da Untersuchungen zeigten, dass Fremdwasser sowohl räumlichen und zeitlichen als auch quantitativen Veränderungen unterlegen ist (DOHMANN und HELLE, 1997; DECKER, 1998; BROMBACH et al., 2002; LUCAS, 2003).

Durch eine ungenügende Berücksichtigung des Fremdwasseranfalls bei der Bemessung von Abwasseranlagen kam es langfristig zu Einschränkungen beim Betrieb. Diese führten beispielhaft zu dauerhaft eingestauten Regenbecken mit erhöhten Entlastungsdauern, hydraulisch überlasteten Abwasserkanälen und einem verringerten Wirkungsgrad von Abwasserreinigungsanlagen. Obwohl sich die Ablaufkonzentrationen der Kläranlagen durch eine Verdünnung mit Fremdwasser verbesserten, kam es in der Folge zu einer gestiegenen Gesamtemission von Frachten aus Kanalnetz und Kläranlage sowie zu einer Gefährdung der Gewässer. Vielen Kommunen wurden daraufhin behördliche Auflagen zur Sanierung ihrer undichten Kanalisationen und zur Reduzierung des Fremdwasseraufkommens gemacht. Es war jedoch zu beobachten, dass das Ziel einer deutlichen Fremdwasserreduzierung in den meisten Fällen hierdurch nicht erreicht wurde, da das ansteigende Grundwasser nun durch die höher liegenden undichten Grundstücksentwässerungsleitungen eindrang. Die getroffenen Maßnahmen führten teilweise auch zu neuen Problemen. Mehrfach wurde bereits von einem Anstieg des Grundwasserspiegels nach erfolgter Kanalsanierung (BWK Statusbericht, 2003) und hierdurch hervorgerufene Vernässungen von Gebäuden berichtet (PECHER, 2000 und TREUNERT, 2001). Als eine mögliche Begründung für diese Vernässungen kann angeführt werden, dass die fehlende Abdichtung der betroffenen Bebauung an dem durch die undichten Kanäle abgesenkten Grundwasserspiegel ausgerichtet war und der vormals höhere Grundwasserstand in Vergessenheit geraten war.

Diese Umstände machen Fremdwasser zu einem zentralen Thema der Siedlungsentwässerung. BROMBACH et al. (2002) stellen anhand einer Auswertung des statistischen Bundesamtes heraus, dass die Problematik „Fremdwasser“ nicht nur auf Einzelfälle beschränkt ist, sondern trotz Einhaltung der a. a. R. d. T. beim Bau von Abwasseranlagen in Deutschland fast flächendeckend auftritt. Hochrechnungen zu Folge entspricht das in Deutschland in den Kanalisationen abfließende Fremdwasser etwa dem Gesamtabfluss der Ems, die rund 4 % des Bundesgebietes entwässert

(WITTENBERG und BROMBACH, 2002). Seit Ende der 80er Jahre sind in Deutschland eine Vielzahl von Forschungsprojekten und Untersuchungen durchgeführt worden, die neben der Erforschung der Ursachen von Fremdwasser auch die Entwicklung von Maßnahmen zur Reduzierung von Fremdwasser zum Ziel hatten. Eine Zusammenstellung laufender und bereits abgeschlossener Forschungsprojekte in NRW enthält eine Recherche der Abwasserberatung NRW (2002). Demnach schätzen 82 % der nordrhein-westfälischen Kommunen das Fremdwasserproblem als mäßig bis groß ein, die übrigen 18 % der befragten Kommunen sehen keinen oder nur geringfügigen Handlungsbedarf.

Aus der aktuellen bundesweiten Diskussion zeichnet sich ab, dass Fremdwasser nicht nur aus technischer sondern auch aus juristischer Sicht ein komplexes Aufgabenfeld darstellt. Verschiedene Anstrengungen zur Klärung der Ursachen von Fremdwasser und dessen Auswirkungen auf abwassertechnische Anlagen wurden unternommen. Eine allgemein übertragbare Vorgehensweise und eine umfassende Lösung des Problems „Fremdwasser“ existiert jedoch nicht.

Verschärft wird die Thematik durch die rechtlichen Anforderungen, nach denen die Reinigungsziele der Abwasserverordnung nicht durch eine unzulässige Verdünnung oder Vermischung des Abwassers erreicht werden dürfen. Dies erscheint insofern überraschend, als dass bis heute keine einheitliche Festlegung getroffen wurde, bis zu welchem Maß eine Verdünnung zulässig ist. Ebenfalls ungeklärt ist die sich hieraus ergebende Frage, inwieweit Fremdwasser in den Kanalnetzen reduziert werden muss bzw. in einem Entwässerungssystem wasserwirtschaftlich und ökonomisch tolerabel ist. Unsicherheiten der Kommunen zur technischen und rechtlichen Umsetzung sowie die Abschätzung der Wirksamkeit und Auswirkungen von Maßnahmen zur Reduzierung des Fremdwasseraufkommens rücken das Thema in den Brennpunkt der kommunalpolitischen Diskussion.

Ansätze zur Lösung dieser Aufgaben sollen im Rahmen der vorliegenden Arbeit aufgezeigt werden. Dies betrifft die folgenden Teilaufgaben:

- Zusammenfassung der nationalen und internationalen Erkenntnisse zum Thema Fremdwasser und zur Quantifizierung einzelner Fremdwasserquellen.
- Erarbeitung von Lösungen zur Vermeidung oder Reduzierung von Fremdwasser unter Berücksichtigung von Grundwasseraspekten und einer Dränagewasserableitung.
- Ganzheitliche Betrachtung der Thematik durch eine Bewertung von Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung und deren Auswirkungen.

2 Die Rolle des Fremdwassers bei der Abwasserentsorgung

2.1 Historische Entwicklung

In Siedlungsgebieten hatten alle ersten Entwässerungsmaßnahmen das gemeinsame Ziel, den Siedlungsbereich der Menschen durch Ableitung des Niederschlagswassers trocken zu halten. In den Straßen zwischen den Häusern wurden anfangs Entwässerungsanlagen in Form von flachen, oberirdischen Gräben angelegt. Mit der Einführung des Klosetts wurden diese im Rahmen der Schwemmkanalisation auch zur Ableitung des Schmutzwassers zusammen mit dem Niederschlagswasser genutzt. Hierzu verwendete man auch aus Quellen zufließendes Grundwasser und Bäche bewusst zur permanenten Spülung und Abschwemmung von Feststoffen. Im Laufe der Zeit wurden die Gräben in gepflasterte Rinnen umgewandelt und später mit der Entstehung von Geruchsproblemen abgedeckt oder in unterirdische geschlossene Leitungen umgebaut. Bei Regen kam es häufig zu Überflutungen. Als Vorflut für die Entwässerungsgräben und -leitungen dienten nahe gelegene Gewässer (DUNBAR, 1912 und SICKERT, 1998).

Bis zu diesem Zeitpunkt lag der Schwerpunkt der Kanalisierung auf einer fortschrittlichen und wachstumsorientierten Siedlungsentwicklung (ANDOH, 2002). Technische und juristische Regelungen mit einer Relevanz für Gewässer gab es in Deutschland bis in das 19. Jahrhundert kaum (NISIPÉANU, 2003). Im Vordergrund stand die schnelle Ableitung des Niederschlagswassers, um Vernässungen zu vermeiden. Durch die geschaffenen Graben- und Rinnensysteme wurde in Gebieten mit hohem Grundwasserstand zusätzlich Grundwasser abgeleitet und der Grundwasserspiegel somit künstlich gesenkt.

Auch die verlegten Kanäle waren in aller Regel nicht wasserdicht. Dies resultierte in erster Linie aus undichten Rohrverbindungen (SICKERT, 1998). Verlässliche Rohrverbindungen, welche die Grundwasserinfiltration und die Gefahr von Erdfällen durch Grundwassereintritt vermindern, entstanden erst in den letzten Jahrzehnten. KÖNIG (1902) und FRÜHLING (1903) schlugen bereits sehr früh vor, in Regionen mit hohem Grundwasserstand eine Grundwasserableitung durch unterhalb der Kanäle verlegte Drainageleitungen durchzuführen. Die beim Kanalbau zur temporären Trockenhaltung der Baugruben verlegten Drainageleitungen verblieben oft auch nach Fertigstellung der Kanäle funktionstüchtig im Boden und erfüllten langfristig noch ihre Funktion der Grundwasserableitung (RUBNER, 1903 und PFEIFF, 1989).

Bis vor etwa 25 Jahren blieb das unverschmutzte Grund- und Niederschlagswasser meist ein willkommenes Mittel, um einen ablagerungs- und geruchsfreien Kanalbetrieb gewährleisten zu können. Allerdings gab es immer schon vereinzelte Hinweise, dass die Vernachlässigung von mit abgeleitetem Grundwasser bei der Dimensionierung eines Kanalnetzes eine erhebliche Unterbemessung zur Folge haben kann. So berichtet DUNBAR (1912), dass es sich hierbei oft um sehr bedeutende Mengen handelt. Kanäle in amerikanischen Großstädten wurden mit 5 - 30 % ihres Fassungsvermögens mit Dränagewasser belastet. Auch Kanalisationen in Berliner Vororten sollen schon vor Inbetriebnahme vollständig mit Grundwasser gefüllt gewesen sein.

Der Kanalisationsbau wurde in Deutschland in der Mitte des 19. Jahrhunderts durch Einsetzen der Industrialisierung ausgelöst. Eine Ausnahme stellt die schlesische Stadt Bunzlau dar. Dort wurde bereits ab 1531 erstmals ein Kanalnetz gebaut, bei dem die Möglichkeit einer Spülung mit Trinkwasser bestand und das sein Abwasser tiefer gelegenen Rieselfeldern noch bis Anfang des 20. Jahrhunderts zuführte (STRELL, 1913 und SICKERT, 1998). Mit der ansteigenden Bevölkerungszahl in den Städten wuchs die Bevölkerungsdichte und die Flächennutzung wurde intensiviert. Die planmäßige Sammlung und Ableitung des Schmutz-, Grund- und Niederschlagswassers führten zusammen mit einer verbesserten Trinkwasserversorgung zu günstigeren hygienischen Verhältnissen in den Städten. Das Abwasserproblem wurde hierdurch allerdings nur scheinbar gelöst, es verlagerte sich auf die Gewässer (DUNBAR, 1912).

Die ersten flächendeckenden Kanalisationen nach dem Prinzip der Schwemmkanalisation (heutiges Mischsystem) wurden ab 1840 in London (England) errichtet. Innerhalb von 30 Jahren verfügten 146 von 176 Städten in England und Wales über zeitgemäße Kanalisationen (STANBRIDGE, 1976). In Deutschland wurde 1842 in Hamburg nach einem großen Brand in der Altstadt mit dem Bau der ersten Schwemmkanalisation durch den Ingenieur William Lindley begonnen und bis 1910 auf das übrige Stadtgebiet ausgedehnt. Hierbei bestand die Möglichkeit, das Kanalnetz von der Alster spülen zu lassen. Mit dem Bau von weiteren Schwemmkanalisationen wurde 1867 in der Freien Reichsstadt Frankfurt, Stettin und Danzig begonnen. Berlin (1873), Breslau (1877) und München (1881) folgten bald (SICKERT, 1998). Im Jahr 1914 waren beinahe alle mittleren bis größeren Städte in Deutschland mit Schwemmkanalisationen ausgestattet. Der Bau von Kanalisationen in den kleineren Städten fand, unterbrochen vom ersten und zweiten Weltkrieg, erst im 20. Jahrhundert statt.

Bei den ersten Mischkanalisationen wurde schnell die Erfahrung gemacht, dass beim Anschluss von Gebieten mit einem weniger durchlässigen Untergrund der Regenabfluss erheblich anstieg. Aus diesem Grund wurde es Praxis, ein Entwässerungssystem durch Abschlagen eines Teilstromes in ein nahe gelegenes Gewässer zu entlasten, um ein Überlaufen der Kanäle und Überflutungen von Kellern zu vermeiden. Hierzu wurden Regenüberläufe als Entlastungsbauwerke in der Mischkanalisation angeordnet. Erste Regelungen zum Betrieb wurden 1870 in England entwickelt, wonach eine Entlastung erst bei einer sechsfachen Verdünnung des Schmutzwassers durch Regenwasser erfolgen durfte (DUNBAR, 1912). Auch in Deutschland wurde diese Methode bis nach dem 2. Weltkrieg vielfach angewendet.

Eine Alternative zum Mischsystem bot das Trennverfahren. Hierbei erfolgt im Gegensatz zum Mischsystem eine getrennte Ableitung des Schmutz- und Niederschlagswassers in zwei Kanälen. Das Trennverfahren kam erstmals 1870 in Leamington (England) auf der Basis eines Patentes von 1868 zur Anwendung. In Deutschland wurde das Trennverfahren zum ersten Mal 1882 in Elberfeld und später ab 1885 in Homburg angewendet (SICKERT, 1998).

Die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Entwässerungssysteme werden bereits seit Entstehung der ersten Kanalisationen diskutiert. Eine Zusammenstellung der Vor- und Nachteile des Trenn- und Mischsystems enthält Tabelle 1. In Bezug auf Fremdwasser ist ausdrücklich anzumerken, dass die im Vergleich zum Mischsystem geplante strikte Trennung von Schmutz- und Regenwasser in der Praxis nicht immer vollständig erreicht werden konnte. Das Schmutzwasser ist oft durch Fehlanlüsse oder angeschlossene mischentwässerte Außengebiete mit Regen- und Drainagewasser verdünnt.

Tabelle 1: Zusammenstellung ausgewählter Vor- und Nachteile des Misch- und Trennsystems

Trennsystem	Mischsystem
Vorteile + theoretisch konzentrierte Ableitung des Schmutzwassers zur Kläranlage, dadurch kleinere Dimensionierung der Kläranlage, keine Mitbehandlung von Regenwasser; in der gängigen Praxis wird immer Fremdwasser mit abgeleitet + keine Regenbecken und Entlastungen im Kanalnetz + Nutzung des Regenwasserkanals für die Mitableitung von Dränagewasser, führt zusätzlich zu einer Niedrigwasseranreicherung in den Gewässern; Kläranlagenemissionen fallen weniger stark ins Gewicht + kein schädlicher Rückstau aus dem Regenwasserkanal in die Wohnhäuser Nachteile - ein hoher Fremdwasseranteil im Schmutzwasserkanal führt aufgrund des geringen Durchmessers zu hydraulischen Problemen und zur Kläranlagenüberlastung - im Straßenquerschnitt ist ein größerer Raumbedarf erforderlich (zwei Kanäle schräg versetzt), es entstehen höhere Kosten - Gefahr von Fehlschlüssen durch zwei erforderliche Anschlusskanäle - Schmutzwasserkanal liegt tiefer als der Regenwasserkanal, größere Anschlusstiefe für Hausanschlüsse erforderlich - Teile des Regenwassers sind durchaus behandlungsbedürftig und gelangen u. U. unbehandelt in Gewässer - Ablagerungen in den Anfangshaltungen der Schmutzwasserkanäle	Vorteile + auch behandlungsbedürftiges Niederschlagswasser wird der Kläranlage zugeführt + geringer Raumbedarf durch Einkanal-Lösung, v. a. im Bau geringere Baugrubenbreite erforderlich; gut geeignet für Innenstadtbereiche + nur ein Anschlusskanal erforderlich, minimiertes Risiko eines Fehlschlusses; geringere Anschlusskosten für die Anwohner + geringeres Gefälle und somit geringere Tiefenlage erforderlich als im Trennverfahren + gute Spülwirkung bei Regen zur Remobilisierung von Ablagerungen Nachteile - große Differenzen bei den Fließtiefen und auftretenden Schleppspannungen von Trockenwetter- und Regenwetterabfluss - Auftreten von typischen Spülstößen bei Regenereignissen - Gewässerbelastungen durch Entlastungsereignisse bei Regenbecken und Abschlagsbauwerken - hohe Investitionen in den Bau und Betrieb von Regenbecken - hohe Mitbehandlungskosten für den Niederschlagswasseranteil auf den kommunalen Kläranlagen; leistungsfähige Regenwasserpumpen erforderlich - Gefahr von Rückstau und Kellerüberschwemmungen bei Niederschlagsereignissen
Quellen: NISIPEANU (2003), DOHMANN und LORENZ (2003)	

Mit zunehmender und nicht mehr hinnehmbarer Verschmutzung der Gewässer durch das mit dem Grund- und Niederschlagswasser verdünnte Schmutzwasser begann man mit der Entwicklung von Maßnahmen zum Gewässerschutz. Durch einen verstärkten Bau von Kläranlagen nach dem 2. Weltkrieg und verschärften Anforderungen an die entlasteten Mischwasserteilströme verringerte sich die Gewässerbelastung bei gleichzeitig steigenden technischen Anforderungen. Anlagen zur Mischwasserbehandlung wurden in den vergangenen 30 Jahren ausgebaut. Das Problem

der Gewässerbelastung konnte jedoch insgesamt nicht zufrieden stellend gelöst werden, da nun das in den Kanälen mit abgeleitete Grundwasser anfang zu stören.

Die möglichen schädlichen Auswirkungen einer Infiltration von Grundwasser in die Kanalisationen werden erst seit geraumer Zeit in der Umweltpolitik thematisiert. Mit der Neufassung des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) wurde erstmals im Jahr 1976 festgelegt, dass die Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in ein Gewässer nicht durch Vermischen oder Verdünnen erreicht werden dürfen. § 7a WHG in Verbindung mit § 1a WHG erlaubt die Einleitung von Abwasser in ein Gewässer nur, wenn die Schadstofffracht so gering gehalten wird, wie mindestens nach dem Stand der Technik möglich. In Ergänzung zum WHG führen die Rahmen-Abwasser-Verwaltungsvorschrift und später ab 1997 auch die Abwasserverordnung (AbwV) in § 3 Abs. 3 aus, dass konzentrationsbezogene Anforderungen des Anhangs 1 nicht entgegen dem St. d. T. durch Verdünnung erreicht werden dürfen.

Fremdwasser als *Terminus technicus* im deutschen Wasserrecht sowie seine wasserwirtschaftlichen Auswirkungen waren in Deutschland bis zur Einführung des Abwasserabgabengesetzes im Jahr 1976 gänzlich unbekannt (NISPEANU, 2003). Erst als die Jahresabwassermenge für die Ermittlung der kostenpflichtigen Schadeinheiten im Rahmen der Abwasserabgabe herangezogen wurde, stieg die Bedeutung von Fremdwasser erheblich. Im zweiten Gesetz zur Änderung des Abwasserabgabengesetzes (AbwAG) vom 19. Dezember 1986 wurde festgelegt, dass die Ermäßigung des Abgabesatzes ausgeschlossen wird, falls die Mindestanforderungen entgegen den a. a. R. d. T. durch Verdünnen und Vermischen erreicht werden. Fremdwasser wird sinngemäß in die Abwasserdefinition des § 2 Abs. 1 AbwAG als „das durch häuslichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch in seinen Eigenschaften veränderte und das bei Trockenwetter damit zusammen abfließende Wasser (Schmutzwasser) sowie Niederschlagswasser“ mit einbezogen.

Im Rahmen der Ausführungsverordnungen der Länder zum Abwasserabgabengesetz begrenzte erstmals Bayern 1992 den zulässigen Anteil des Fremdwassers am Trockenwetterabfluss im Jahresmittel pauschal auf 25 %. Baden-Württemberg folgte im Jahr 1993 mit der Festlegung auf 50 %. Wurden diese Verdünnungsverhältnisse durch zuviel Fremdwasser überschritten, entfiel die nach § 9 Abs. 5 AbwAG vorgesehene Ermäßigung des Abwasserabgabesatzes. Neuere Vollzugsregelungen in Bayern zum Bayerischen Abwasserabgabengesetz (ROSENZWEIG, 2004a) legen fest, dass unterhalb von 25 % Fremdwasseranteil am Trockenwetterabfluss keine Fremdwasserreduzierung erforderlich ist, oberhalb von 50 % ist Fremdwasser zwingend zu reduzieren. Im Mittelbereich zwischen 25 % und 50 % ist nur dann keine Fremdwasserreduzierung erforderlich, wenn die Kläranlage die über 25 % hinausge-

hende Verdünnung ausgleichen kann. Nach Auswertungen des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft ist hierdurch der Fremdwasseranteil am Trockenwetterabfluss im Jahresmittel nahezu gleichmäßig von knapp über 50 % im Jahr 1992 auf 30 % in 2003 gesunken. Betrachtet man allerdings eine detailliertere Statistik auf Basis neuerer Auswertungen von ROSENZWEIG (2004a) für die Jahre 2001 bis 2003, so lässt sich der genannte Jahresmittelwert von 30 % differenzieren. Bei 54 % aller bayerischen Kläranlagen liegt der Fremdwasseranteil im Bereich von 0 - 25 %, bei 33 % aller Anlagen im Bereich 25 - 50 % ist die Aufnahmekapazität entscheidend und bei 13 % der Kläranlagen mit mehr als 75 % Fremdwasseranteil sind zwingend Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung durchzuführen.

Neben den gesetzlichen Regelungen zur zulässigen Verdünnung von Schmutzwasser enthalten Normen, Regelwerke und Fachaufsätze vielseitige Aspekte zum Fremdwasser. Ergänzend zur bereits genannten Definition von Fremdwasser in DIN-EN 752-1 (1996) ist oft die Begriffsdefinition in DIN 4045 (1985) von Belang.

Eine mehr pragmatische Definition von Fremdwasser unternimmt PFEIFF (1989), indem er Fremdwasser als „...Wasserabflüsse, die in dem jeweiligen Kanalsystem nicht erwünscht sind, da sie dieses und die Abwasserreinigung unnötig belasten“ umschreibt. Ähnlich fasst FISCHER (1990) zusammen und bezeichnet Fremdwasser als Wasser, das nicht in einen Abwasserkanal gehört und auch nicht in einer Kläranlage behandelt werden muss. Aus dieser Umschreibung ergibt sich im Umkehrschluss, dass die Behandlung von Abwasser und damit auch des Fremdwassers nur dann sinnvoll und notwendig ist, wenn die Qualität des Abwassers verbessert wird.

Die Definitionen des Abwasserbegriffs im Abwasserabgabengesetz und den Landeswassergesetzen bilden die Basis für die hinsichtlich des Fremdwassers konkreten Ausführungen der Entwässerungssatzungen der Kommunen. Hiernach wird das Fremdwasser immer als Teilmenge des Abwassers definiert. In den allermeisten Fällen basieren die Entwässerungssatzungen der Kommunen auf der Mustersatzung des Städte- und Gemeindebundes, wonach die Einleitung von Grund- und Dränagewasser in die öffentliche Kanalisation allgemein zu untersagen ist. Die Fremdwasserdefinitionen in den Texten der DIN bzw. DIN-EN wurden vereinzelt auch in die technischen Regelwerke der ATV bzw. ATV-DVWK übernommen (bspw. ATV-A 118).

Eine steigende Sensibilisierung der Behörden und Thematisierung des Fremdwasserproblems in der Öffentlichkeit führten 1999 zur Gründung der ATV-DVWK-Arbeitsgruppe ES-1.3 „Fremdwasser“. In ihrem ersten Arbeitsbericht gibt die Arbeitsgruppe eine erweiterte Definition des Begriffes Fremdwasser als „...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 gezielt eingeleitet wurde“ (ATV-DVWK, 2003a).

Bei einer zusammenfassenden Betrachtung wird deutlich, dass der Begriff „Fremdwasser“ sehr unspezifisch verwendet wird und einzelne Umschreibungen erheblich voneinander abweichen. Hieraus entstehen Unsicherheiten bei Kommunen, wie aus rechtlicher, technischer und ökonomischer Sicht mit dem Fremdwasser umzugehen ist und welche Maßnahmen zur Vermeidung ergriffen werden können.

Auch in anderen Ländern stellt Fremdwasser ein ernst zu nehmendes Problem dar. In den USA wurde man bereits 1975 auf Fremdwasser aufmerksam. Ein Großteil der amerikanischen Kanalisationen wurde im Trennsystem errichtet. Besonders nach Regenereignissen traten bei den Schmutzwasserkanälen erhebliche Entlastungen als Folge von unerlaubten Fehllanschlüssen auf. Die amerikanische Bundesumweltbehörde (Environmental Protection Agency, EPA) gab daraufhin Richtlinien heraus, nach denen Städte mit einem Fremdwasseraufkommen von mehr als $140 \text{ l}/(\text{d} \cdot \text{mm}_{\text{DN}} \cdot \text{km}_{\text{Kanal}})$ Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung ergreifen mussten. Taten sie dieses nicht, konnten sie keine Beihilfe zur Sanierung von Kanalnetzen oder dem Bau neuer Kläranlagen erhalten (GDSDS, 2005). Bei den Angaben eines zulässigen Fremdwasseraufkommens bezieht sich die Angabe auf die Nennweite (mm_{DN}) und Länge (km_{Kanal}) eines Kanals. Basis der amerikanischen Bemühungen bildet das „Federal water pollution control act amendment, PL 92-500 (1972)“, ein Änderungsgesetz zum amerikanischen Wassergesetz. Durch die EPA wurden in den vergangenen Jahren zahlreiche Untersuchungen und Vorgaben zur Reduzierung des Fremdwassers, im amerikanischen Sprachgebrauch „Infiltration“ und „Inflow“ (I/I), gemacht und veröffentlicht (NRC, 2003). Der heutige Standard eines zulässigen Fremdwasseraufkommens liegt nach Angaben der EPA in den USA bei $18,5 \text{ l}/(\text{d} \cdot \text{mm}_{\text{DN}} \cdot \text{km}_{\text{Kanal}})$.

Die Entwässerungsphilosophie der Schwemmkanalisation und die damit einhergehende Verdünnung des Schmutzwassers mit Niederschlags- und Grundwasser (ANDOH, 2002) hatten im Zuge der fortschreitenden Urbanisierung neben ihren Vorzügen auch Schattenseiten. Passend formuliert die ATV-DVWK-Arbeitsgruppe „Nachhaltige Siedlungswasserwirtschaft“ (2002b) hierzu: „Die heutige Siedlungswasserwirtschaft beruht auf der vor über hundert Jahren eingeführten Schwemmkanalisation. Seither haben sich Art und Umfang der Benutzung des Systems signifikant ausgeweitet, ohne dass es zu einer kritischen Bewertung der Anwendungsgrenzen des Systems gekommen wäre. Mittlerweile gibt es deutliche Hinweise, dass sich die Schwemmkanalisation in hydraulischer, hydrologischer, stofflicher, ökonomischer

und damit letztendlich auch in nachhaltiger Hinsicht aus dem sinnvollen Bereich seiner Anwendung heraus bewegt.“

Als bedenklich wird aus heutiger Sicht die zentrale Sammlung und schnelle Ableitung des Niederschlagswassers aus Siedlungsgebieten angesehen. Natürliche Retentionsräume werden nicht voll ausgenutzt. Maßgeblich wird dieses Vorgehen von einer Versiegelung der Landschaftsflächen und einem derzeit noch ansteigenden Flächenverbrauch beeinflusst (DOSCH, 2001). Hierdurch nehmen die abgeleiteten Niederschlagswassermengen zu. Allerdings postuliert die Bundesregierung im Rahmen ihrer Nachhaltigkeitsstrategie bis zum Jahr 2020 eine Senkung des bundesweiten Verbrauchs von derzeit 129 auf 30 ha/d. Bis 2050 soll das Wachstum auf Bestandsflächen umgelenkt und nur dort realisiert werden, so dass kein weiterer Flächenverbrauch mehr stattfindet (SCHEIBLER, 2003 und UBA, 2003).

Mit zunehmender Flächenversiegelung erfolgt ein Ausbau von Kanalisationsnetzen, Rückhaltebecken und Anlagen zur Niederschlagswasserbehandlung, um die steigenden Niederschlagswassermengen gefahrlos ableiten und behandeln zu können (BECKER und GERETSHAUSER, 2003). Oft mangelt es jedoch in dicht besiedelten Gebieten an geeigneten Flächen, um derartige Maßnahmen umsetzen zu können. Auch zielen die Maßnahmen nicht auf eine Behebung der Ursache ab, sondern bekämpfen lediglich die Auswirkungen einer zunehmenden Versiegelung mit Hilfe von End-of-pipe Maßnahmen. Im Sinne der Nachhaltigkeit ist diese Vorgehensweise unerwünscht, da von den herkömmlichen Anlagen zur Mischwasserbehandlung eine stoffliche und hydraulische Belastung der Gewässer ausgeht, während erlebbare Wasserläufe Mangelware sind.

Als erster Schritt zum Wandel wurde die Entwässerungsphilosophie des modifizierten Misch- und Trennsystems entwickelt (ATV-A 105, 1997). Diese sieht vor, einer Kläranlage nur das Schmutz- und behandlungsbedürftige Niederschlagswasser zuzuführen. Niederschlagswasser von Flächen mit geringer Verschmutzung ist möglichst am Ort des Anfalls zu versickern, zu nutzen oder zurückzuhalten. Unter diese Maßnahmen fällt auch die Entsiegelung von befestigten Flächen (§ 51a LWG NRW und ATV, 1996).

Mit der Umsetzung der europäischen Kommunalabwasserrichtlinie (RL 91/271/EWG) in Bundesrecht in § 7a Abs. 1 WHG sowie der Abwasserverordnung und den Kommunalabwasserverordnungen der Länder sind die zur Ortsentwässerung benötigten Abwasseranlagen (Kanalisationen, Kläranlagen und Sonderbauwerke) nahezu flächendeckend erstellt bzw. dem St. d. T. weitgehend angepasst worden (NISIPÉANU, 2003). Als Reaktion auf eine Klage der EU-Kommission beim Europäischen Gerichtshof, die EG-Richtlinie „Kommunales Abwasser“ (1991) nur unzureichend in na-

tionales Recht umgesetzt zu haben, wurden mit der 5. Novellierung der Abwasserverordnung die Mindestanforderungen für den Gesamtstickstoff (N_{ges}) bei Kläranlagen > 100.000 EW von 18 auf 13 mg/l gesenkt. Zusätzlich werden Überwachungswerte bis zu 25 mg/l N_{ges} zugelassen, wenn die Kläranlage mindestens 70 % der Stickstoffzulaufmenge eliminiert. Nach Einschätzung der ATV-DVWK (2002a) werden rund 50 % der großen Kläranlagen den herabgesetzten Konzentrationswert im Ablauf nicht einhalten können. Ist in empfindlichen Einzugsgebieten der Nachweis der Ablaufkonzentrationen nicht bei jeder einzelnen Kläranlage möglich, muss nach Artikel 5 der europäischen Kommunalabwasserrichtlinie für die Einzugsgebiete allgemein nachgewiesen werden, dass die Gesamtbelastung für Phosphor und Stickstoff um jeweils mindestens 75 % in den Kläranlagen verringert wird.

Es zeichnet sich jedoch ab, dass das geplante Ziel eines verbesserten Gewässerschutzes nicht mit vollem Erfolg erreicht werden konnte. So geht aus einer Auswertung der ATV-DVWK (2003b) hervor, dass sich die mittlere Ablaufqualität der Kläranlagen beim CSB leicht verschlechtert hat. Auch die Wirkungsgrade der Stickstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen fallen im Bundesmittel nach Angaben der DWA (2004) mit 79 % bei Kläranlagen der Größenklasse 4 und 75 % bei Kläranlagen der Größenklasse 5 mäßig aus. Gründe hierfür liegen teilweise in noch nicht voll ausgebauten Kläranlagen, mehrheitlich jedoch in einem hohen Fremdwasseraufkommen (TREUNERT, 2004).

Fremdwasser und die hierdurch hervorgerufenen Probleme wurden bisher gewöhnlich losgelöst von wasserwirtschaftlichen Zusammenhängen betrachtet. Aspekte der effizienten Bewirtschaftung eines Gewässereinzugsgebietes und Darstellung der Auswirkungen beispielsweise auf die Grundwasserverhältnisse fehlten bislang. Mit der Einführung der Wasserrahmenrichtlinie (RL 2000/60/EG) werden zunehmend integrale Aspekte betrachtet und der Nachhaltigkeit von Reduzierungsstrategien mehr Bedeutung beigemessen. Insbesondere gilt dies auch für Maßnahmen zur Reduzierung oder Vermeidung von Fremdwasser. Nicht nur eine hohe Wirksamkeit dieser Maßnahmen ist anzustreben sondern auch eine Berücksichtigung von Auswirkungen auf den Wasserhaushalt.

2.2 Parameter zum Fremdwasser

In der Abwasserpraxis wird das Fremdwasseraufkommen entweder in Relation zum Abfluss des Abwassers oder anderer geeigneter Bezugsgrößen betrachtet. Hierzu eignet sich eine Quantifizierung mit Hilfe des Fremdwasseranteiles, Fremdwasserzuschlages oder der Fremdwasserabflussspende (DECKER, 1998).

Der **Fremdwasseranteil (FWA)** bezieht das Fremdwasseraufkommen auf den Trockenwetterabfluss im Abwasserkanal. Bei einer prozentualen Darstellung ist der Anteil immer kleiner als 100 %. Diese Kennzeichnung eignet sich, wenn das Fremdwasseraufkommen aus konkreten Abflussmessungen ermittelt wird. Der Fremdwasseranteil berechnet sich zu:

$$FWA(\%) = \frac{Q_F}{Q_T} \cdot 100 = \frac{Q_F}{Q_S + Q_F} \cdot 100$$

Im Vergleich zum Fremdwasseranteil gibt der **Fremdwasserzuschlag (FWZ)** ein Vielfaches des Schmutzwasserabflusses an, dem der Fremdwasserabfluss entspricht. Bei prozentualer Darstellung kann der FWZ auch Werte über 100 % annehmen. Er wird vornehmlich bei der Planung von Abwasseranlagen verwendet und ist definiert als:

$$FWZ(\%) = \frac{Q_F}{Q_S} \cdot 100 = \frac{Q_F}{Q_T - Q_F} \cdot 100 \quad \text{bzw.} \quad FWZ = \frac{1}{1 - FWA} - 1$$

Die **Fremdwasserabflussspende (q_F)** setzt das Fremdwasseraufkommen gewöhnlich in einen Bezug zur Fläche, zu Einwohnerwerten oder zur Haltungslänge und gibt damit eine Vorstellung von der „Dichte“. Die Fremdwasserabflussspende wird dem entsprechend in $l/(s \cdot ha_{red})$, $l/(E \cdot d)$ bzw. $l/(EW \cdot d)$ angegeben. Darüber hinaus wird in einer kanadischen Studie (NRC, 2003) ein Bezug des Fremdwasserabflusses auf die Kanalnennweite (mm_{DN}) und Kanalnetzlänge (km_{Kanal}) in der Einheit $l/(mm_{DN} \cdot km_{Kanal} \cdot d)$ vorgeschlagen. Über die Nennweite wird der Fremdwasserabfluss damit in Bezug zur benetzten Mantelfläche des Kanalrohres gesetzt und stellt ein Maß für die Undichtigkeit des Kanalrohres dar. Im Vergleich hierzu kann die einwohnerspezifische Fremdwasserabflussspende als Maß für die Anzahl der anthropogen bedingten Fehlanlüsse gesehen werden.

Für eine bessere Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Bezugsgrößen zur Angabe des Fremdwasseraufkommens lassen sich diese mit Hilfe von Tabelle 2 umrechnen. Als Vergleichsgrößen wurden die einwohner- und längenspezifische Fremdwasserabflussspende gewählt. Hierbei wurden am Beispiel Nordrhein-Westfalens vereinfachend Annahmen zu Schmutzwasseranfall, spezifischer Kanalnetzlänge, Einwohnerdichte und Nennweiten getroffen. Zur Übertragung auf andere Regionen bzw. Bundesländer mit abweichenden Eigenschaften müssen die getroffenen Annahmen angepasst werden.

Es zeigt sich, dass die Angabe eines Fremdwasseranfalls in den Einheiten FWA und FWZ signifikant vom einwohnerspezifischen Schmutzwasserabfluss beeinflusst wird

und damit regional verschieden ist. Ein Fremdwasserzuschlag in NRW von 100 % entspricht damit etwa 133 % in den östlichen Bundesländern auf der Basis eines einwohnerspezifischen Schmutzwasserabflusses von 90 l/(E·d). FWA und FWZ eignen sich daher ohne weiteres nicht für überregionale Vergleiche.

Ein Bezug von Fremdwasser auf die Kanalnetzlänge lässt Fremdwasser in städtischen und ländlichen Gebieten unterschiedlich gewichtet erscheinen. Sofern es sich bei den Fremdwasserquellen jedoch ausschließlich um Undichtigkeiten handelt, gibt eine längenspezifische Fremdwasserabflussspende ein gutes Abbild vom Zustand der Kanalisationen. Am praktikabelsten erscheint - auch vor dem Hintergrund der Kostenzuordnung - die einwohnerspezifische Fremdwasserabflussspende in l/(E·d). Die Zahl der Einwohner findet Einklang in die Bemessung von Abwasseranlagen und die Umlegung der zu deckenden Kosten.

Tabelle 2: Umrechnung verschiedener Bezugsgrößen für das Fremdwasser am Beispiel Nordrhein-Westfalens

Basiseinheit	Umrechnung mit Annahmen*) für NRW	Ergebnis q_F	
		l/(E·d)	l/(s·km)**)
10 % FWA Fremdwasseranteil	mit $q_F = q_F / (q_S + q_F)$, nicht linear (!) → $q_F = \text{FWA} \cdot q_S / (1 - \text{FWA}) \rightarrow q_F = 13,33 \text{ l/(E·d)}$	13,3	0,040
10 % FWZ Fremdwasserzuschlag	mit $q_F = \text{FWZ} \cdot q_S$ → $q_F = 10/100 \cdot 120 = 12,0 \text{ l/(E·d)}$	12,0	0,036
1 gpcd Gallonen je Einwohner und Tag	mit 1 amerikanische gallon (gal) = 3,785 Liter → $1 \text{ gal/(E·d)} = 3,785 \text{ l/(E·d)}$	3,79	0,011
1 l/(s·ha _{red}) Liter je Sekunde und Hektar	mit 5,3 E/ha und 48,2 E/ha _{red} → $1 \text{ l/(s·ha}_{red}) = 1 \text{ l/(1/86400} \cdot 48,2)$ → $q_F = 1793 \text{ l/(E·d)}$	1793	5,433
1 l/(s·km _{Kanal}) Liter je Sekunde und Kilometer Kanalnetzlänge	mit 3,82 m/E → $1 \text{ km}_{Kanal} = 262 \text{ E}$ → $q_F = 1 \text{ l/(s·km)} / 262 \text{ E/km} \cdot 86400 \text{ s/}$ → $q_F = 330 \text{ l/(E·d)}$	330	1
1 l/(mm _{DN} ·km _{Kanal} ·d) Liter je mm Nennweite, Kilometer Kanalnetzlänge und Tag	für einen mittleren Durchmesser DN 600: → $q_F = 1 \text{ l/(mm·km·d)} / 262 \text{ E/km} \cdot 600 \text{ mm}$ → $q_F = 2,29 \text{ l/(E·d)}$	2,29	0,007
Erläuterungen: *) Annahmen für NRW (MUNLV, 2005 und www.flaechennutzung.nrw.de , 12.10.2005): • einwohnerspezifisches Schmutzwasseraufkommen $q_{S,NRW} = 120 \text{ l/(E·d)}$ • 18.079.686 Einwohner auf einer Fläche von 3.410.000 ha, hiervon 11 % versiegelte Fläche ergeben 5,4 E/ha bzw. 48,2 E/ha_{red} • einwohnerspezifische Kanalnetzlänge im Misch- und Trennsystem 69.000 km ergeben 3,82 m/E **) umgerechnet mit Hilfe der Beziehung $1 \text{ l/(s·km}_{Kanal}) = 330 \text{ l/(E·d)}$			

2.3 Ursachen des Fremdwassers

2.3.1 Herkunft und Einflussfaktoren

Untersuchungen von STEIN et al. (1995 und 1998), DECKER (1998), DOHMANN et al. (2002) und LUCAS (2003) hatten bisher die Bestimmung der Herkunft, die Quantifizierung und die Auswirkungen von Fremdwasser auf Abwasseranlagen bzw. Gewässer zum Inhalt. In letzter Zeit wurden bei der Bearbeitung von Forschungsvorhaben zur Fremdwasserproblematik zunehmend auch Geologen und Juristen mit eingebunden (KLEEGRAB et al., 2002; DOHMANN et al., 2004), um Zusammenhänge besser ergründen und auftretende rechtliche Probleme lösen zu können.

Fremdwasser entstammt den Zuflüssen von Grundwasser über undichte Kanäle und Leitungen sowie Fehleinleitungen von Dränagewasser, Niederschlagswasser und sonstigem nicht behandlungsbedürftigem Wasser (z. B. Kühlwasser). Eine Übersicht über die Quellen von Fremdwassers in Misch- und Trennsystemen enthält Tabelle 3. Am Beispiel eines Trennsystems sind mögliche Quellen von Fremdwasser im Schmutzwasserkanal in Bild 1 dargestellt. Vom Grundwasser gespeistes Fremdwasser wird als **grundwasserinduziertes** Fremdwasser, durch Niederschlag direkt beeinflusstes Fremdwasser als **niederschlagsinduziertes** Fremdwasser bezeichnet.

Um die Erkenntnisse aus amerikanischsprachiger Literatur und Forschungsprojekten einbinden zu können, ist eine kurze Erläuterung der dort verwendeten Begriffe erforderlich. Unter „infiltration“ versteht man das über Undichtigkeiten eindringende Fremdwasser. Hierbei handelt es sich überwiegend um Grundwasser. „Inflow“ beschreibt das vornehmlich bei Niederschlag in einen Abwasserkanal fehleingeleitete, nicht behandlungsbedürftige Wasser (NRC, 2003 und KING COUNTY, 2004).

Tabelle 3: Quellen von Fremdwasser in Kanälen verschiedener Entwässerungssysteme

Quellen des Fremdwassers		beeinflusst durch (...)	Fremdwasserquelle im (...)		
			Mischsystem	Trennsystem Schmutzwasserkanal	Regenwasserkanal
Undichtigkeiten	kommunale Abwasserkanäle und Schachtbauwerke	Grundwasser	●	●	●
	Hausanschlüsse / Hausanschlussleitungen und Grundstücksentwässerungsleitungen	Grundwasser	●	●	●
Fehlanschlüsse und Fehleinleitungen	Dränagen (Grundstücke, Baustellen, landwirtschaftliche Flächen, unter Abwasserkanälen verlegte Dränagen)	Niederschlag Grundwasser	●	●	
	durch die Öffnungen von Schachtdeckeln zufließendes Oberflächenwasser	Niederschlag			
	Überläufe vom Regenwasser- in den Schmutzwasserkanal			●	
	Dach- und Straßenabläufe an den Endpunkten der Schmutzwasserkanäle				
	Wegeseitengräben, Siefen und Außengebiete, unbefestigte Flächen	Niederschlag	●	●	●
	Bachläufe, Quelfassungen und Brunnenüberläufe	Niederschlag Grundwasser	●	●	●
	nicht behandlungsbedürftiges Regenwasser von befestigten Flächen (siehe MERTSCH, 2001)	Niederschlag		●	●
	Flusswasser (Überflutungen)	Niederschlag	●	●	
sonstige Einleitungen	nicht schädlich verunreinigtes Kühlwasser, Wasser aus Wärmepumpen	anthropogen	●	●	
	Trinkwasserverluste	anthropogen	●	●	●
	Löschwasser, Spülwasser aus der Kanal- und Schachtreinigung	anthropogen	●	●	

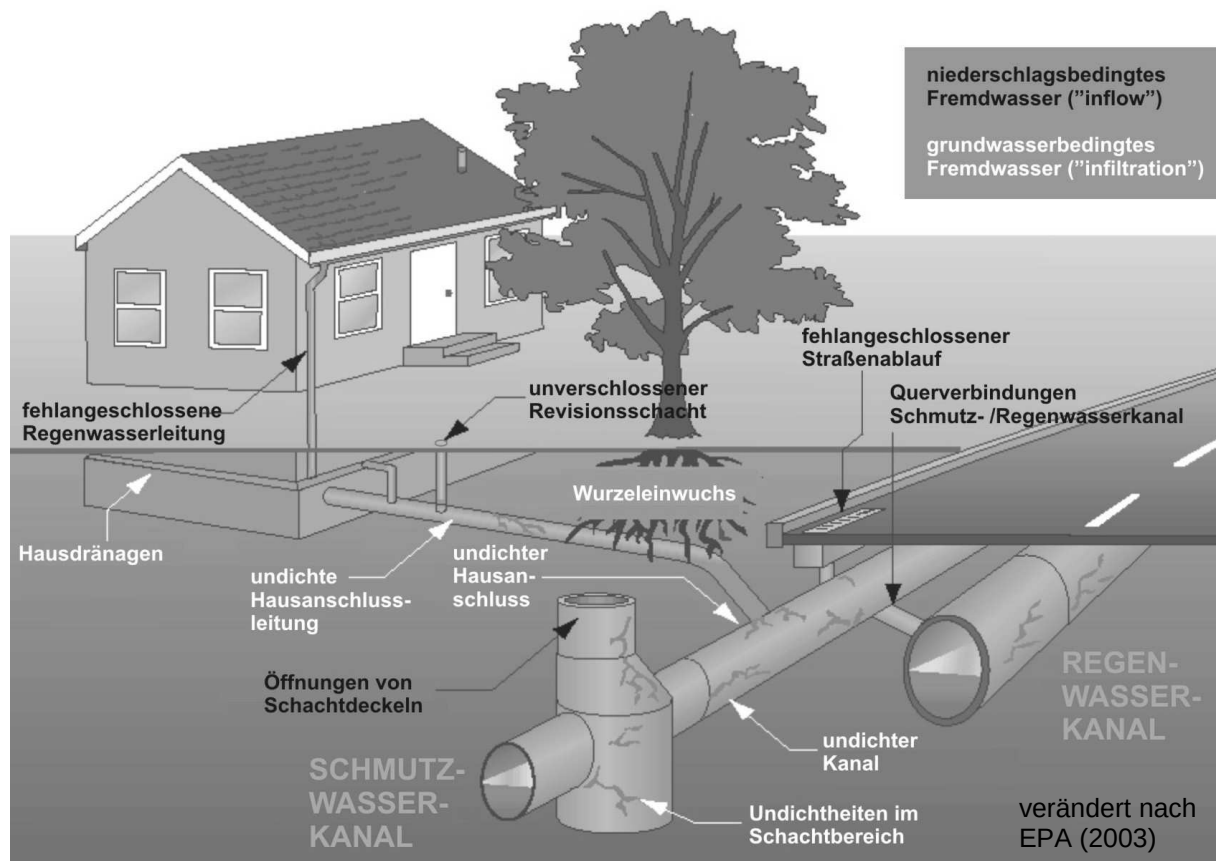


Bild 1: Darstellung der Herkunft von Fremdwasser am Beispiel eines Trennsystems

Nach KLASS (1985) und STEIN (1998) wird der Fremdwasseranfall deutlich mehr durch undichte private Grundstücksentwässerungsanlagen beeinflusst, als durch die zum Teil bereits sanierten öffentlichen Kanäle. In Regionen mit einem ausgeprägten Grundwasserkörper und tief liegenden undichten Hauptsammlern spielt jedoch auch der öffentliche Bereich eine bedeutende Rolle. In Nordrhein-Westfalen sehen 55 % von 214 befragten Kommunen die Hauptursache von Fremdwasser auf privaten Grundstücken und 36 % im Bereich öffentlicher Kanäle. Keine Angaben machten 9 % der Befragten (Abwasserberatung NRW, 2002). Einer detaillierten Befragung von 45 ausgewählten Kommunen in NRW nach entstammt das Fremdwasser nach Einschätzung der Befragten überwiegend undichten Kanälen und Leitungen sowie Fehlan schlüssen. Auf die einzelnen Quellen des Fremdwassers wird nachfolgend näher eingegangen.

Darüber hinaus nehmen bspw. die Lage des Grundwasserspiegels, das Niederschlags geschehen sowie morphologische, geologische und hydrogeologische Eigenschaften des Einzugsgebietes Einfluss auf die Höhe des Fremdwasseranteils. Hierdurch unterliegt der Fremdwasserandrang zeitlichen und räumlichen Veränderungen und wird nicht nur allein von der Art und dem Zustand der öffentlichen bzw. privaten

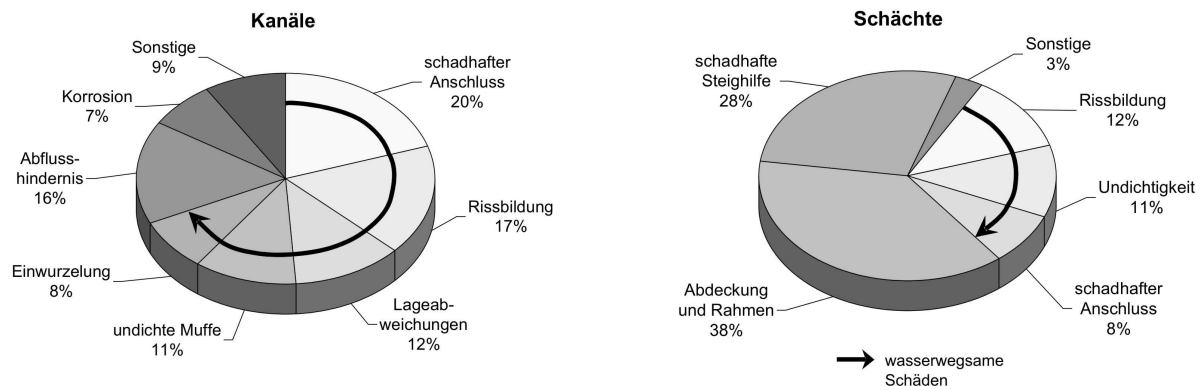
Entwässerungssysteme bedingt (NRC, 2003). Auch diese Beeinflussungen werden genauer betrachtet.

Undichtigkeiten

Im Bereich von öffentlichen und privaten Kanalisationen resultieren Undichtigkeiten mit eindringendem Grundwasser aus wasserwegsamem Rissen, Scherbenbildungen, Muffenschäden und undichten Schächten. Statistische Auswertungen zur Schadensverteilung wurden beispielsweise von STEIN und KAUFMANN (1993), SAWATZKI (1995, 1996) sowie regelmäßig von der ATV-DVWK bzw. DWA (BERGER et al., 2002; BERGER und LOHAUS, 2004) durchgeführt. Bisherige Untersuchungen zeigen, dass der Zustand der Kanäle wesentlich von der Verlegequalität, dem Alter, Beanspruchungen aus Verkehrslasten und dem Betrieb, verwendeten Materialien und Dichtungsmaterialien sowie Anzahl und Ausführungsqualität der Hausanschlüsse abhängt (PFEIFF, 1993; STEIN, 1998; TREUNERT, 2001; KÖRKEMEYER, 2003; PINNEKAMP und BOLLE, 2005).

Nordrhein-westfälische Kommunen haben im Zuge der Umsetzung der SüwV Kan (1995) bis Ende 2001 den Zustand von 73 % der öffentlichen Kanäle mit einer Länge von 63734 km erfasst (BOSELER et al., 2003a). Bei 14,6 % (9305 km) der untersuchten Kanäle wurden wesentliche bauliche Schäden identifiziert, die kurz- bzw. mittelfristig zu sanieren sind. Nach Angaben der Kommunen wurden davon jedoch erst 13 % (1210 km) saniert, so dass im Schnitt von einem größeren Schadenspotenzial bei den öffentlichen Kanälen in Nordrhein-Westfalen auszugehen ist.

Im Bereich der öffentlichen Kanäle tritt das Schadensbild „schadhafter Anschluss“ bezogen auf die untersuchte Kanalnetzlänge am häufigsten auf. Es folgen Risse, Lageabweichungen, undichte Muffen und Wurzeleinwuchs als fremdwasserrelevante Schäden. Seltener wurde ein Rohrbruch bzw. Einsturz des Kanals beobachtet. Die prozentuale Schadensverteilung für öffentliche Kanäle und Schachtbauwerke ist in Bild 2 gezeigt. Die für eine Entstehung von Fremdwasser relevanten Schäden sind als „wasserwegsame Schäden“ gekennzeichnet. Der Anteil möglicher wasserführender Schäden an den beobachteten Schäden insgesamt beträgt bei öffentlichen Kanälen 68 % und bei Schächten 31 %.



Datenbasis: BERGER und LOHAUS (2004)

Bild 2: Prozentuale Verteilung der Schäden an öffentlichen Kanälen und Schächten

Insbesondere private Leitungen sind aufgrund ihrer Länge und ihres schlechten Zustandes für das Fremdwasser relevanter als öffentliche Kanäle, wurden jedoch bisher vergleichsweise nur in geringem Umfang untersucht. So ergeben alle privaten Grundstücksentwässerungsleitungen und Anschlusskanäle nach Schätzungen von DOHMANN und EWRINGHAUS (1997) bundesweit eine Länge von etwa 1,55 Mio. km. Im Vergleich hierzu macht die Länge der öffentlichen Kanäle in Deutschland mit 490.000 km (StBA, 2003) nur etwa ein Drittel aus.

DOHMANN und HAUSSMANN (1994) berichten über 164 optisch inspizierte private Grundstücksentwässerungsleitungen in Gelsenkirchen, von denen 74 % mit sichtbaren Schäden und 26 % ohne sichtbare Schäden klassifiziert wurden. Bei weiteren 200 auf ihre Dichtheit hin untersuchten Grundstücksentwässerungsanlagen in einer süddeutschen Großstadt waren 64 % der Anlagen undicht und 36 % dicht. Eine Verteilung der beobachteten Schäden zeigt Bild 3. Die Dichtheit der Leitungen wurde mittels Wasserdruckprüfung durchgeführt. Hierbei wurden die Leitungen keinem Überdruck ausgesetzt sondern lediglich mit Wasser bis zum Scheitel gefüllt und der Wasserverlust gemessen. Eine differenzierte Auswertung nach der Art der Undichtigkeit ist aufgrund fehlender Aussagen nicht möglich.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes in Köln-Höhenhaus wurden bis zum November 2005 bei 513 optisch inspizierten Grundstücksentwässerungsanlagen 98 % als undicht eingestuft. Nach Durchführung von Wasserdruckprüfungen stieg der Anteil der undichten Leitungen auf 99 % an (STEPKES, 2005). Die Häufigkeit der beobachteten Schäden von bereits 256 ausgewerteten optischen Inspektionen sind ebenfalls in Bild 3 dargestellt (PINNEKAMP und STEPKES, 2005). Eindringendes Grundwasser über Undichtigkeiten und damit Fremdwasser konnte in dem Untersuchungsgebiet Köln-Höhenhaus nicht nachgewiesen werden, da der Grundwasserspiegel unterhalb der Abwasserleitungen liegt.

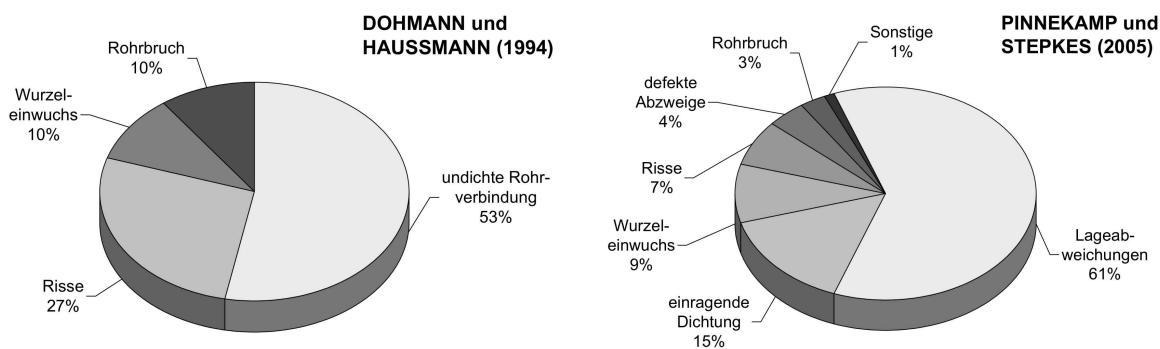


Bild 3: Häufigkeit beobachteter Schäden an privaten Grundstücksentwässerungsanlagen

BEYERT (2003) berichtet über eine Untersuchung von 128 Hausanschlüssen und Grundleitungen mit einer gesamten Länge von 4500 m. Es wurden überwiegend Lageabweichungen identifiziert, gefolgt von Risssschäden, Scherben und Inkrustationen. Insgesamt wurde aus den Untersuchungen der Schluss gezogen, dass 95 % aller Grundstücksentwässerungsanlagen sanierungsbedürftig sind.

Untersuchungen in Göttingen (EISENER und FIEDLER, 2003; BALLWEG, 2005) an 7956 überwiegend im Trennverfahren entwässernden Grundstücken zeigen, dass 68 % der privaten Grundstücksentwässerungsleitungen sanierungsbedürftig sind. Nur 32 % der untersuchten Leitungen waren ohne Befund. Ein ähnlich schlechtes Bild zeigte sich bei den Grundstücksschächten. Von 384 untersuchten Schächten wurden 28 % bereits optisch als undicht befunden, 62 % wurden geprüft und als undicht bewertet. Nur 10 % der betrachteten Schächte genügten den Prüfkriterien und waren dicht.

Dränagen

Dränagen sind technische Einrichtungen zur Entwässerung des Bodens. Über gelochte Rohre fassen bzw. sammeln sie Grundwasser und leiten es einer geeigneten Vorflut zu. Da es sich bei dem Grundwasser gewöhnlich um nicht behandlungsbedürftiges Wasser handelt, ist es im Sinne einer nachhaltigen Wasserwirtschaft möglichst dezentral wieder offenen Gewässern zuzuführen oder bspw. in Regenwasserkänen abzuleiten.

Um ein Bauwerk dauerhaft gegen Grundwasser in Form von Sicker- bzw. Stauwasser zu schützen und damit einen hohen Wohnkomfort zu gewährleisten, werden in aller Regel durch den Architekten oder Bauherrn Bauwerksdränagen nach DIN 1986, 4095 und DIN 18195-6 angeordnet (MUTH, 1981). Obwohl Dränagen teilweise sogar in die Baugenehmigungsanträge mit einbezogen werden, wird bei fehlenden alternativen Ableitungsmöglichkeiten oft ein vorhandener Abwasserkanal zur Vorflut genutzt

und damit eine Fremdwasserquelle geschaffen. Besonders im Trennsystem liegt ein Regenwasserkanal oft in zu geringer Tiefe, um Dränagen in freier Vorflut an diesen legal anschließen zu können, so dass dann der tiefer liegende Schmutzwasserkanal nicht bestimmungsgemäß genutzt wird (PECHER, 1998). In Untersuchungen wiesen STEIN et al. (1995) nach, dass Dränagen erheblich zum Fremdwasseraufkommen beitragen. Zusätzlich zu dem beschriebenen Einsatz im Bereich des Gebäudeschutzes werden Dränagen auch zu den nachfolgend genannten Zwecken verwendet und können dort bei entsprechendem Fehlanschluss zum Fremdwasseraufkommen beitragen:

- Bauzeitdränagen werden häufig bei der Erstellung von Gebäuden und Kanälen im Grundwasser verwendet, um die Baugruben trocken zu halten. Auch nach einer Fertigstellung verbleiben diese oft aktiv im Boden und leiten bei fehlender natürlicher Vorflut unbemerkt Grundwasser in die öffentliche Kanalisation ein.
- Flächendränagen werden bei der Entwässerung von feuchten Böden angewendet, um diese landwirtschaftlich intensiver nutzen zu können (Melioration). Hierdurch wird zwangsläufig auch eine Absenkung des Grundwasserspiegels erreicht. In der Regel wird das Dränagewasser offenen Bächen oder Gewässern zugeleitet.
- Dränagen zur Ableitung von Sumpfungswasser aus Bergwerken
- Dränagen werden zur Entwässerung des Straßenunterbaus eingesetzt, um die Frostbeständigkeit sicherzustellen und das anfallende, versickernde Niederschlagswasser möglichst schnell abzuleiten. Je nach Örtlichkeit wird dieses Dränagewasser in die öffentliche Kanalisation fehleingeleitet oder einem nahe gelegenen Gewässer bzw. Straßenseitegraben zugeführt.

CREMER (1999) unterscheidet hinsichtlich ihrer Wirkungsart Dränagen in Hanglage und in Niederungen. Untersuchungen ergaben, dass bebaute Hanglagen nicht mehr wie früher über das Netz kleinerer Oberflächengewässer (Wegeseitengräben, Siefen) entwässern, sondern hauptsächlich über undichte Kanäle und Dränagen. Der natürliche, ursprünglich hohe Grundwasserstand wurde durch die Bebauung gestört und künstlich abgesenkt. Je nach geologischen Eigenschaften und Durchfeuchtung des Bodens einer Hanglage sind kurzzeitige Reaktionen auf Niederschlagsereignisse zu verzeichnen. Die Bebauung in Flussniederungen wird hingegen vorwiegend von den saisonal wechselnden Grundwasserständen in den Porengrundwasserleitern beeinflusst, die zusätzlich von variierenden Flusspegeln geprägt sind. In Nordrhein-Westfalen sind die niederschlagsreichen Mittelgebirgsregionen und Bereiche im Flachland mit hoch anstehendem Grundwasserspiegel von Fremdwasseranfall infolge angeschlossener Dränagen betroffen.

Anschlüsse von Außengebieten

Besonders in ländlich geprägten Mittelgebirgsregionen, wie bspw. dem Sauerland, Siegerland, Bergischen Land oder der Eifel, fließt ein großer Teil des Niederschlagswassers von unbefestigten Flächen in Außengebieten entweder als Oberflächenwasser ab bzw. versickert und kommt oberflächennah als Stau- oder Schichtenwasser zum Abfluss. Trifft das talwärts fließende Wasser auf die über Jahrhunderte hinweg entwickelten Ortslagen und die dort geschaffenen Kanalisationen, wird eine natürliche Vorflut mit geeigneter hydraulischer Kapazität nur noch selten angetroffen. Stattdessen gelangen die Abflüsse aus den Außengebieten über Undichtigkeiten und Fehlanlüsse in die öffentlichen Kanalisationen. Für den faktischen ungewollten Anschluss dieser Außengebiete an die Kanalisation nennt NISIPEANU (2003) verschiedene Gründe:

- Durch die exponierte Lage kommt es in bergigen Regionen in Deutschland aufgrund der zumeist von Westen kommenden Regengebiete zu zahlreichen und ergiebigen Niederschlägen mit jährlichen Niederschlagshöhen von über 1200 mm. Ausgeprägte kalte Winter mit Schneefall führen bei noch gefrorenen Böden zu hohen Oberflächenabflüssen von Regen- und Tauwasser.
- Im Bereich unbefestigter Außengebiete verhindert felsiger oder wenig versickerungsfähiger Boden eine nennenswerte Retention. Bereits nach kurzen Niederschlägen ist die Aufnahmekapazität des Bodens erschöpft, so dass das Niederschlagswasser in größeren Mengen als Oberflächen- oder Sickerwasser abfließt.

Neben den bereits genannten Fremdwasserquellen nehmen auch noch weitere Faktoren Einfluss auf Fremdwasser. Hierzu gehören im Wesentlichen die lokalen Grundwasser- und Niederschlagsverhältnisse, die hydrogeologischen Eigenschaften der Böden sowie die Art des Entwässerungssystems.

Stand des Grundwasserspiegels und Niederschlag

Abwasserkanäle und -leitungen können ganz oder teilweise im Grundwasser liegen und bei entsprechender Undichtigkeit infiltrierendes Grundwasser aufweisen. Der Fremdwasseranfall wird damit direkt von den hydrogeologischen Verhältnissen und der relativen Lage der Kanäle zum Grundwasserspiegel beeinflusst.

Der Grundwasserstand unterliegt langfristigen Schwankungen über mehrere Jahrzehnte (siehe Bild 4). Diese langwelligen Veränderungen werden von den periodischen saisonalen Oszillationen im Verlauf eines wasserwirtschaftlichen Jahres (1.10. bis 30.09.) überlagert (DOHMANN und HELLE, 1997). Die Lage des Grundwasserspiegels wird von den regional unterschiedlichen Niederschlägen und der hiervon

abhängigen Grundwasserneubildungsrate beeinflusst. In Regionen der gemäßigten Zone mit ausgeprägten Jahreszeiten fallen im Sommer in den Monaten Juli und August die höchsten Niederschläge mit 35 % der Jahresregenmenge, so dass während dieser Zeit auch ein Anstieg des Grundwasserspiegels zu erwarten wäre. Durch die Benetzungs- und Muldenverluste, Verdunstung sowie den infolge des trockenen Bodens hohen Oberflächenabfluss resultiert daraus allerdings keine erhöhte Grundwasserneubildungsrate. Allgemein führen die in den Monaten November bis April weniger intensiven aber lang anhaltenden Niederschläge zusammen mit einer geringeren Evapotranspiration zu einer höheren Grundwasserneubildungsrate und damit zu steigenden Grundwasserspiegeln (CREMER, 2000).

So konnte beispielsweise seit 1994 aufgrund einer Abfolge von mehreren niederschlags- und damit neubildungsstarken Winterhalbjahren („nasse Jahre“) ein deutlicher Anstieg der Grundwasserstände beobachtet werden. Auch die sehr niedrigen Grundwasserstände im Jahr 1996 („trockenes Jahr“) sind mit durchschnittlich geringeren Niederschlägen erklärbar. Die Grundwasserneubildungsrate ist stark von der oberflächigen Schichtenfolge, den Böden und ihren Nutzungsarten sowie dem Gebietsniederschlag abhängig. Zur Verdeutlichung der Größenordnung lassen sich nach MUTSCHMANN und STIMMELMAYR (2002) bei einer mittleren Niederschlagshöhe von bspw. 663 mm/a in der Rheinebene Grundwasserneubildungsraten von 66 mm/a bei Waldgebieten, 166 mm/a bei Grünland bis hin zu 232 mm/a bei einer Nutzung als Ackerland angeben.

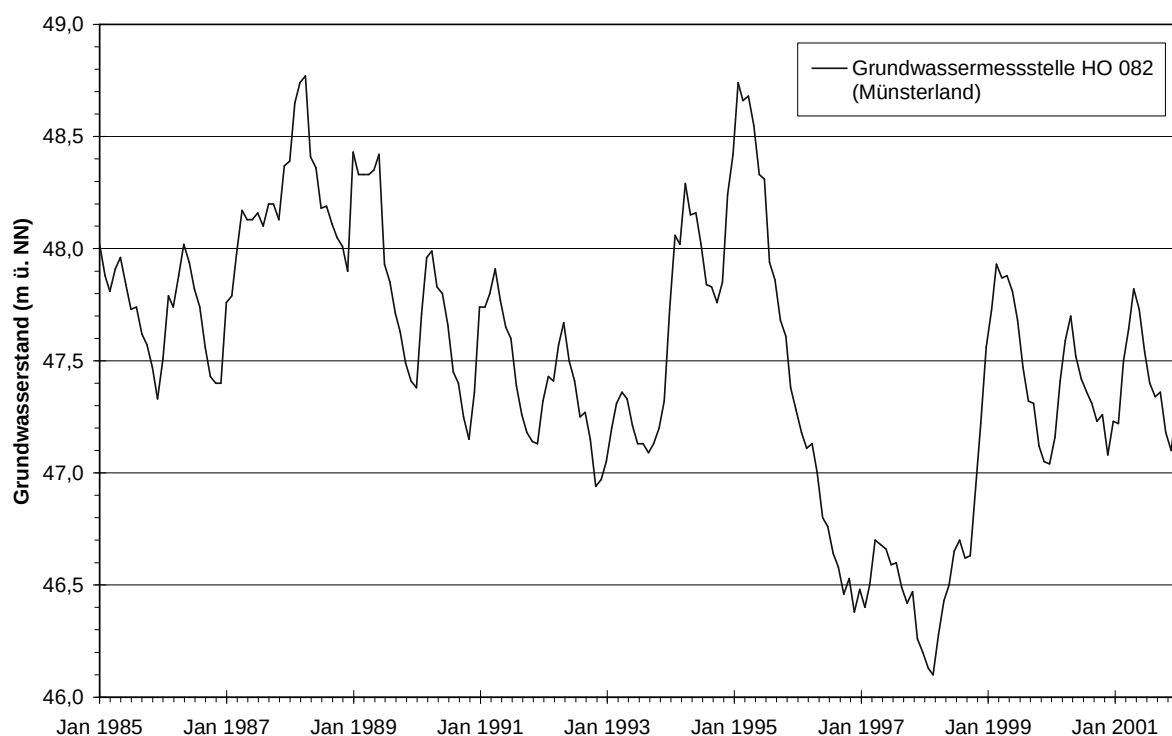


Bild 4: Langjährige und saisonale Oszillationen des Grundwasserspiegels

Untersuchungen von DOHMANN und HELLE (1997) ergaben, dass der Fremdwasserzufluss und der Stand des Grundwasserspiegels einen ähnlichen Verlauf zeigen. Bestätigt wurde dies durch Untersuchungen von DOHMANN et al. (2002) im Münsterland (siehe Bild 5) sowie KARPf und KREBS (2004a). Es konnte nachgewiesen werden, dass das Fremdwasseraufkommen mit ansteigendem Grundwasserspiegel zunimmt. Deutlich sind die saisonalen Oszillationen des Grundwasserspiegels erkennbar. Das benachbarte Einzugsgebiet der Grundwassermessstelle zeigt eine ähnliche Charakteristik. Eine Auswertung der optischen Untersuchungen des Kanalnetzes zeigte eine Vielzahl undichter Muffen und Hausanschlüsse, die je nach Jahreszeit unterhalb des Grundwasserspiegels liegen und eindringendes Grundwasser aufzeigen. Die leichte zeitliche Verzögerung zwischen dem Verlauf beider Kurven ist auf die komplizierten Grundwasserverhältnisse im Münsterland zurückzuführen.

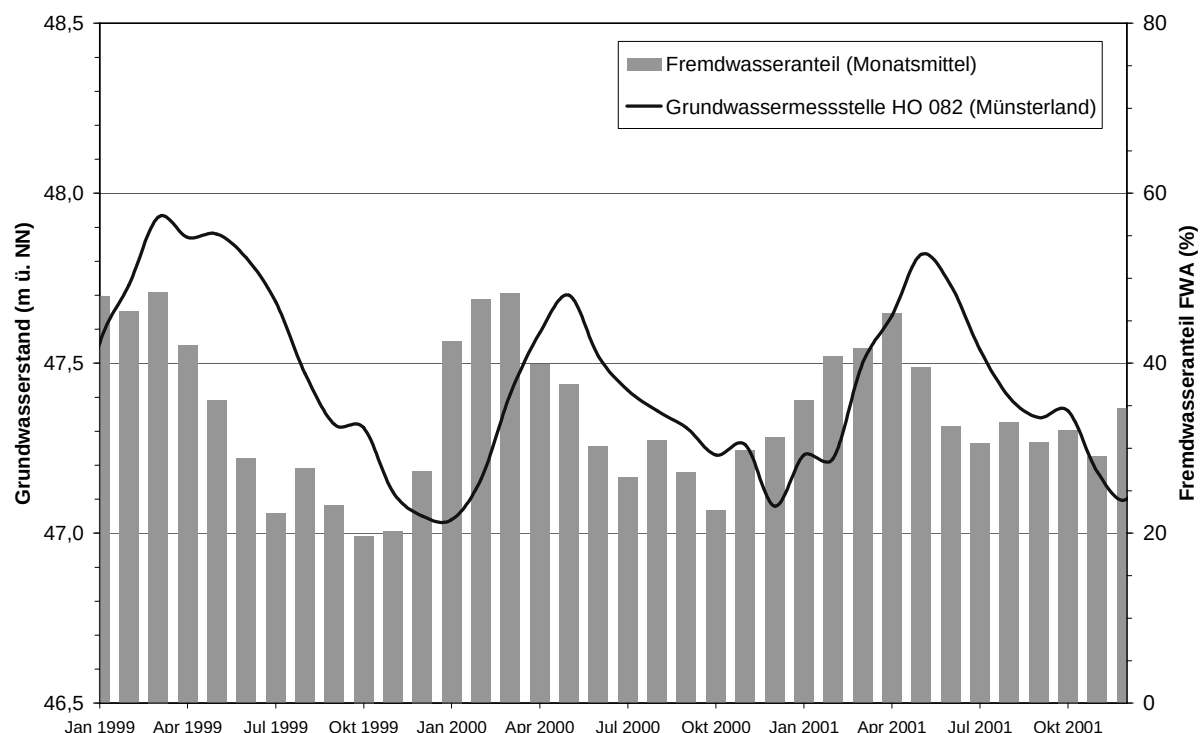


Bild 5: Verlauf von Grundwasserstand und Fremdwasseranteil im Abwasserzufluss einer Kläranlage im Trennsystem (DOHMANN et al., 2002)

Die Unterschiede des Fremdwasseraufkommens zwischen Sommer und Winter können einem Verhältnis von bis zu 1:10 entsprechen (BROMBACH et al., 2002). Auswertungen von PECHER (1998) ergaben in Wintermonaten einen im Vergleich zum Schmutzwasser sogar um den Faktor 16 erhöhten Fremdwasserabfluss. Bei den genannten Werten handelt es sich jedoch um Einzelfallbetrachtungen, die nicht ohne weiteres verallgemeinerbar sind. Das Verhältnis des Fremdwasserabflusses von Winter zu Sommer ist regional sehr unterschiedlich. Durch Frostperioden kann es im Frühjahr während normalerweise hoher Fremdwasserabflüsse zu einem deutlichen Absinken der Abflusskurve kommen (SITZMANN, 2000).

Auch Niederschlagsereignisse beeinflussen mitunter erheblich den Abfluss im Schmutzwasserkanal. Zu ähnlichen Erkenntnissen kommen auch KARPf und KREBS (2005). Auf der Basis von Daten des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft zum Fremdwasseraufkommen bayerischer Kläranlagen und Abweichungen des Jahresniederschlages vom langjährigen Mittel (ROSENZWEIG, 2004a und 2004b) lässt sich eine Abhängigkeit des Fremdwasseranfalls auf kommunalen Kläranlagen vom Jahresniederschlag nachweisen. In Bild 6 sind die Abweichungen des Fremdwasseranfalls, bezogen auf die gemäßigten Referenzjahre 1998 bis 2000, für drei Jahre mit jeweils steigendem Jahresniederschlag dargestellt. Weiterhin ist eine Differenzierung nach der Größenordnung des Fremdwasseranteils in drei Klassen ($< 25\%$, 25 bis 50% und $> 50\%$) vorgenommen worden. Es zeigt sich, dass mit

steigendem Jahresniederschlag zunehmend mehr Kläranlagen mit Fremdwasser belastet werden. Es findet eine Verschiebung innerhalb der drei dargestellten Fremdwasserklassen von der Klasse < 25 % FWA hin zur Klasse > 50 % statt. Im Hinblick auf die bayerische Gesetzgebung zum Abwasserabgabengesetz bedeutet dies eine nachweisbare Zunahme des Anteils von Kläranlagen, die mit einem Fremdwasseranteil von größer als 50 % zwingend Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung ergreifen müssen.

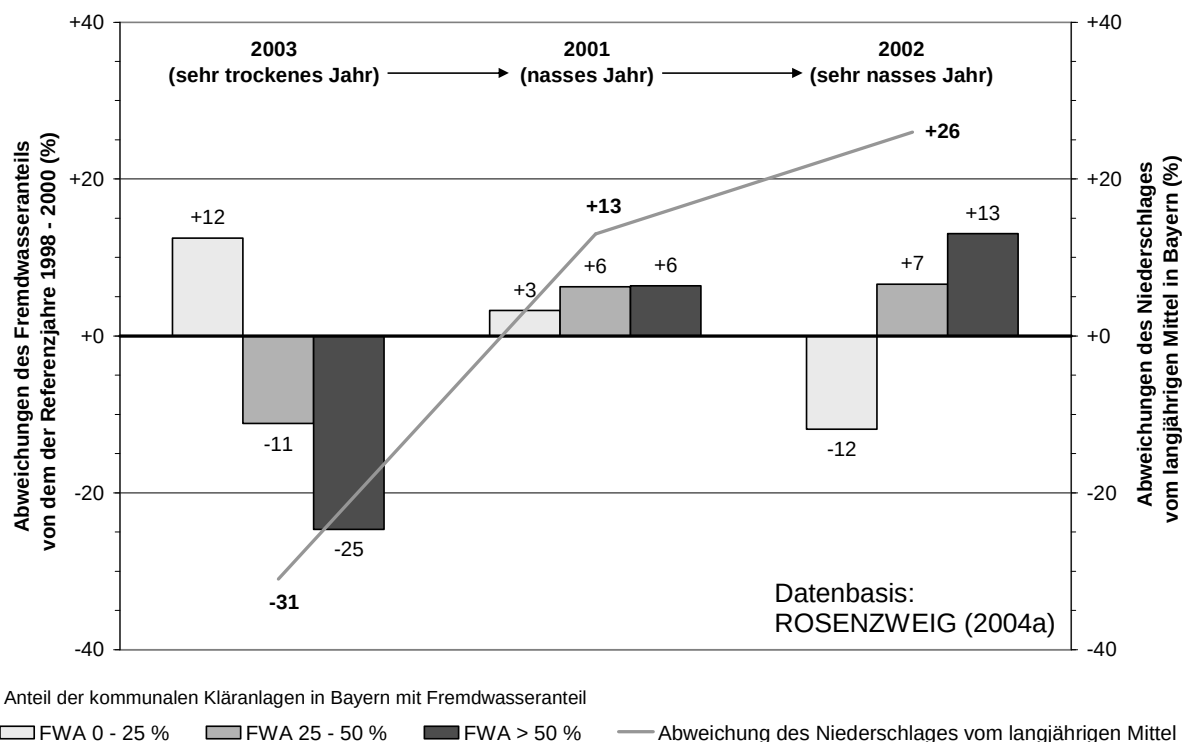


Bild 6: **Abhängigkeit des Fremdwasseranteils auf kommunalen Kläranlagen in Bayern vom Niederschlag**

Bei einer genaueren Betrachtung der Abflussverhältnisse in einem Schmutzwasserkanal des Trennsystems sind am Beispiel von Bild 7 deutlich Abflussspitzen nach einem Regenereignis erkennbar. Fehleinleitungen führen im gezeigten Beispiel aus dem Rheinland zu einer Verdreifachung des Abflusses durch Fremdwasser. Kurz vor Einsetzen des ersten Regenereignisses um 3 Uhr ist davon auszugehen, dass kein Schmutzwasser abfließt, sondern dass es sich bei dem gemessenen Abfluss um grundwasserbedingtes Basisfremdwasser aus Undichtigkeiten und Dränagen handelt. Die sofortige Reaktion des Abflusses im Schmutzwasserkanal auf das einsetzende Regenereignis ist auf abflusswirksame fehlangeschlossene Flächen zurückzuführen und stellt den niederschlagsbedingten Fremdwasserabfluss dar. Die Nachlaufzeit nach Abklingen des Regenereignisses ist dementsprechend kurz und wird überwiegend nur durch die Fließzeit im Netz bedingt. Wären Dränagen an den Kanal fehlangeschlossen oder wäre das Fremdwasser auf Undichtigkeiten zurückzuführen,

würde man eine entsprechende Vorlaufzeit und eine längere Nachlaufzeit von bis zu mehreren Tagen bis zum Abklingen der Abflusskurve feststellen können. Die höheren Abflüsse beim zweiten Regenereignis sind auf die Überlagerung des Fremdwasserabflusses mit dem Schmutzwassertagesgang zurückzuführen.

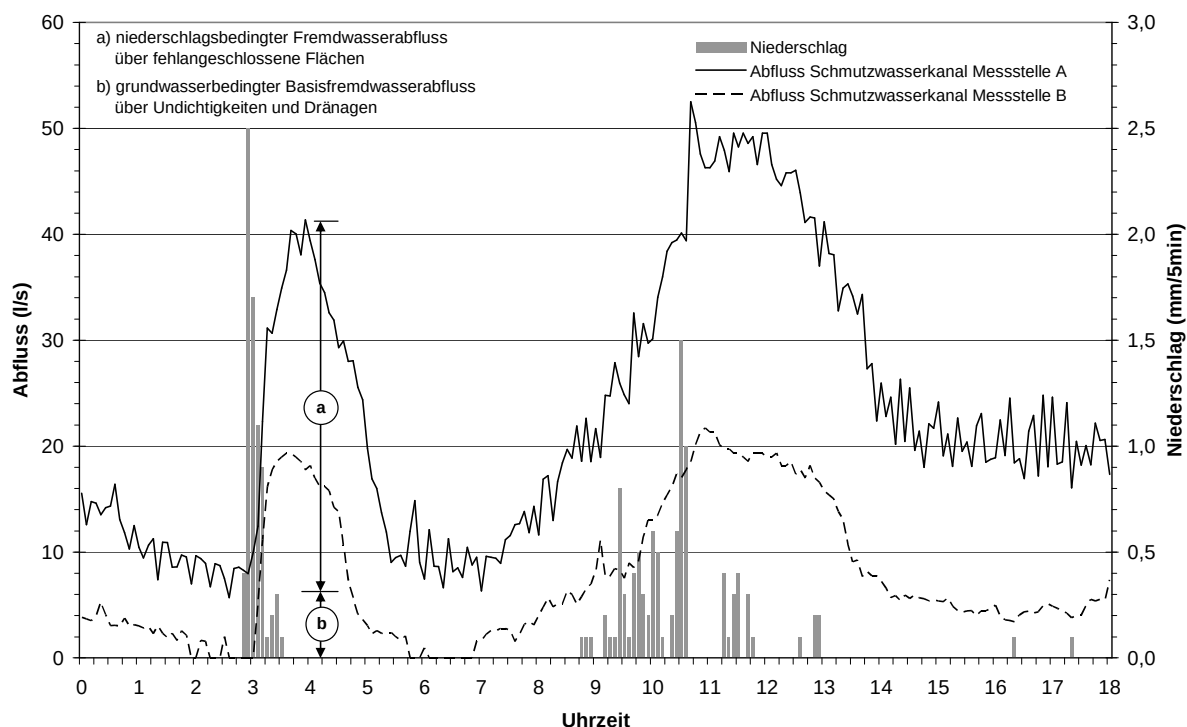


Bild 7: Einfluss von Niederschlagsereignissen auf den Abfluss im Schmutzwasserkanal eines Trennsystems

Auch Bild 8 zeigt am Beispiel einer Mittelgebirgsregion Nordrhein-Westfalens den Einfluss von Niederschlagsereignissen auf den Abfluss im Schmutzwasserkanal eines Trennsystems. Im Gegensatz zu Bild 7 weist das Entwässerungssystem im gezeigten Beispiel mehr Undichtigkeiten und Dränagewasserfehlanschlüsse auf, so dass längere Nachlaufzeiten von mehreren Tagen auch nach Ende eines Regenereignisses erkennbar sind. Bei Trockenwetter setzt sich die Abflussganglinie nur aus dem Schmutzwassertagesgang und dem grundwasserbedingten Basisfremdwasser zusammen. Bei Einsetzen eines Regenereignisses weist ein schnelles Ansteigen des Abflusses auf direkt abflusswirksame Regenwasserfehlanschlüsse hin. Das während des Regenereignisses versickernde Wasser gelangt mit leichter Verzögerung über Dränagen und Undichtigkeiten in den Schmutzwasserkanal und führt zu einem kontinuierlichen Anstieg des grundwasserbedingten Fremdwassers. Nach Ende des Regenereignisses nimmt das niederschlagsbedingte Fremdwasser je nach Fließzeit im Kanalnetz schnell ab. Auch das grundwasserbedingte Fremdwasser verringert sich kontinuierlich entsprechend den dargestellten Abklingkurven bis wieder das Basisfremdwasser erreicht ist.

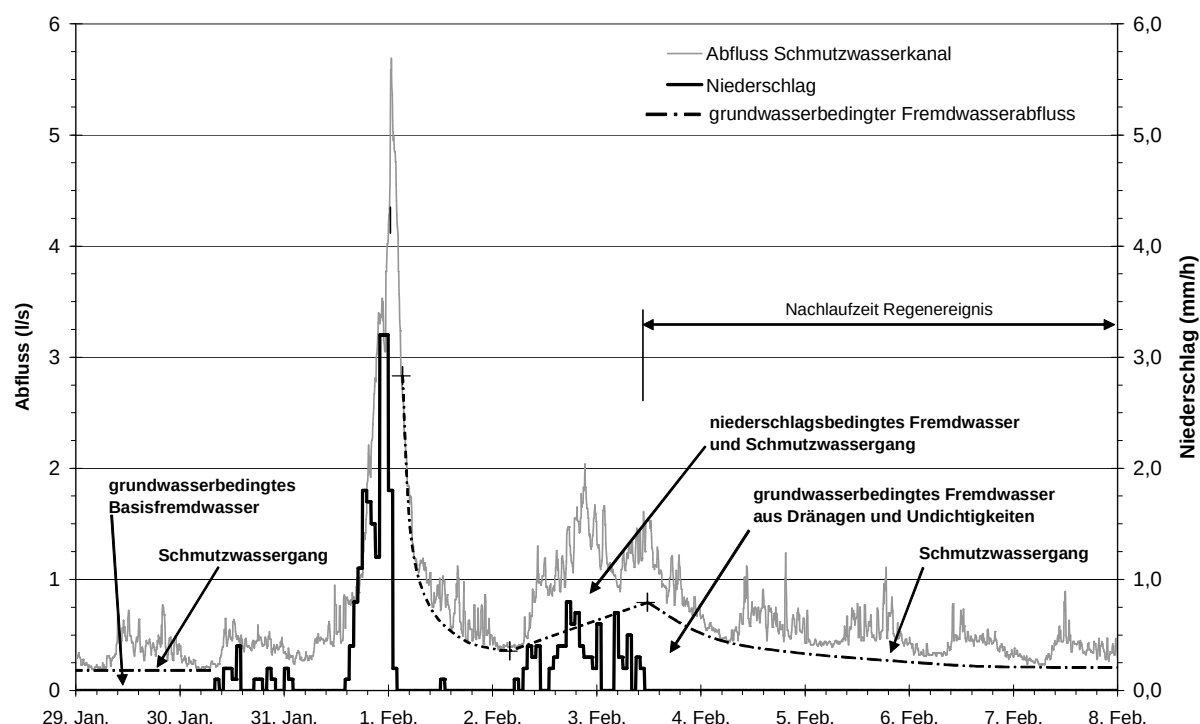


Bild 8: Einfluss von Niederschlagsereignissen auf das grundwasser- und niederschlagsbedingte Fremdwasser in einer Mittelgebirgsregion

Besonders in den Wintermonaten mit länger anhaltenden, schwachen Regen speichert der Untergrund das versickernde Niederschlagswasser, so dass je nach Retentionsvermögen des Untergrundes ein Regennachlauf über einen Zeitraum von 10 bis 20 Tagen möglich ist (FISCHER, 1990). Im Rahmen eines Forschungsvorhabens entwickelte die LfU (2001) mathematische Gleichungen zur Modellierung der Abflussschwingkurven.

Abstrahiert man diese Erkenntnisse, können anhand der Betrachtung von Abflussganglinien im Schmutzwasserkanal eines Trennsystems und im Mischsystem unter Berücksichtigung der Fließzeit gute Kenntnisse über mögliche Fremdwasserquellen gewonnen werden. In Tabelle 4 sind die einzelnen Komponenten von Abflussganglinien erläutert und mögliche Hinweise auf potenzielle Fremdwasserquellen gegeben.

Tabelle 4: Abflusscharakteristik von Fremdwasser (King County, 2004)

Bezeichnung der Fremdwasser-komponente	Abflusscharakteristik	Begründung und mögliche Fremdwasserquellen
Grundwasser-basisabfluss bei Trockenwetter	kontinuierlicher Fremdwasser-abfluss meist geringer Größe	Zeitweise oder dauerhaft im Grundwasser liegende undichte Kanäle oder Schächte sowie fehleingeleitete Oberflächengewässer führen je nach Grundwasserstand, Hydrogeologie und Gewässerpegel zu einem stetigen Basisabfluss mit jahreszeitlicher Charakteristik.
schnelle Reaktion bei Niederschlag nur im Schmutzwasserkanal eines Trennsystems	sofortiger Anstieg der Abflussganglinie bei einem Regenereignis (meist nur temporär)	Niederschlagswasser gelangt von abflusswirksamen Flächen über Fehllanschlüsse in die Kanalisation. Dränagen wird hierbei eine untergeordnete Rolle zugeordnet.
mäßige Reaktion bei Niederschlag	ansteigender Abfluss während oder nach einem Regenereignis, allmähliches Abflachen der Abflussganglinie bis mehrere Stunden oder Tage nach Ende des Regenereignisses	Das versickernde Niederschlagswasser gelangt als Zwischenabfluss bzw. Stauwasser über oberflächennahe Dränagen und undichte Abwasserleitungen in die Kanalisation. Einen geringeren Beitrag leisten undichte Schächte und Kanäle in größerer Tiefe.
langsame Reaktion nach Niederschlag	langsamer Anstieg des Abflussganglinie über Stunden oder Tage nach einem Regenereignis, Abflachen der Ganglinie über einen längeren Zeitraum von Tagen oder Wochen nach Ende eines Regenereignisses	Gelangt das langsam versickernde Niederschlagswasser in größere Tiefen und führt zu einem Anstieg des Grundwasserspiegels, steigt auch der Fremdwasseranfall über die im Grundwasser liegende undichte Schächte und Kanäle.

Es wird deutlich, dass der durch das Grundwasser beeinflusste Anteil des Fremdwassers tendenziell langsameren und zeitlich ausgedehnteren Veränderungen unterliegt als das niederschlagsbedingte Fremdwasser. Letzteres reagiert zeitnah auf Niederschläge und führt während oder nach einem Regenereignis zu einem messbaren Anstieg des Abflusses im Kanalnetz. Der Fremdwasserabfluss bei und nach einem Regenereignis ist nicht bei jedem Regen gleich, sondern ist u. a. von der Regendauer, -intensität und Jahreszeit abhängig. PECHER (1998) weist am Beispiel des Schmutzwasserkanalnetzes einer größeren Stadt nach, dass sich eine nahezu lineare Abhängigkeit zwischen der täglichen Niederschlagshöhe und dem niederschlagsbedingten Fremdwasserabfluss im Schmutzwasserkanal ergibt.

Bei Einzugsgebieten in Flussnähe beeinflusst der Pegel des Fließgewässers zusätzlich den Grundwasserstand und damit auch den Fremdwasserabfluss in einem Kanalnetz (ATV-DVWK, 2003a; KARPf und KREBS, 2004a). Maximale Grundwasserstände sind folglich nicht mehr direkt an die Jahreszeit gekoppelt, sondern können auch im Zusammenhang mit einem Hochwasser auftreten. Auch LUCAS (2003)

weist den Einfluss eines Jahrhunderthochwassers im Sommer 1999 am Beispiel einer Kläranlage in unmittelbarer Nähe des Bodensees nach.

Aus Pilotstudien im Einzugsgebiet der Emscher (COLDEWEY und GEIGER, 2001) geht hervor, dass die in den vergangenen Jahrzehnten zunehmende Flächenversiegelung einen maßgeblichen Einfluss auf den Wasserhaushalt und das Klima hat. Mit zunehmendem Versiegelungsgrad nimmt der oberirdische Abfluss überproportional zu, während sich der Anteil von Verdunstung und Grundwasserneubildung stark verringert. Bestätigt werden diese Ergebnisse durch Untersuchungen von GROTEHUSMANN und HARMS (2002) im Berliner Raum. In Folge beginnt der Grundwasserspiegel langfristig zu sinken. Die Hochwasserabflüsse steigen an und der Niedrigwasserabfluss in Gewässern verringert sich. Auswertungen der jährlich maximal gemessenen Hochwasser der Emscher am Pegel Königstraße zeigen bspw. seit 1950 nach Auswertungen von BECKER und GERETSHAUSER (2003) eine ansteigende Tendenz. Der Trend über die letzten 50 Jahre weist eine Zunahme der Hochwasserabflüsse um etwa 69 % mit durchschnittlich 1,1 m³/s jährlich auf.

Ein durch die Flächenversiegelung niedriger Grundwasserstand wird durch grundwasserbedingtes Fremdwasser zusätzlich abgesenkt. Koppelt man befestigte, abflusswirksame Flächen von der Kanalisation ab und versickert das Wasser dezentral bzw. leitet es in offenen Gewässern ab, erhöht man die Grundwasserneubildung. Der Grundwasserspiegel beginnt wieder zu steigen. Führt man parallel auch fremdwasserreduzierende Maßnahmen durch, bspw. indem man undichte Abwasserkanäle saniert, verstärkt man den Effekt des Grundwasseranstiegs. Das ansteigende Grundwasser kann über noch nicht bekannte höher liegende Undichtigkeiten in die Kanalisation gelangen und auf diesem Weg wieder zu einem Anstieg des Fremdwassers führen.

Auch aktuell diskutierte Klimaveränderungen können über eine Veränderung des Niederschlags-Abflussgeschehens langfristig Einfluss auf das Fremdwasser nehmen. Bis 2080 prognostiziert das Umweltbundesamt (UBA, 2005) auf Basis eines Berechnungsmodells eine Zunahme der Niederschlagsmengen im Winterhalbjahr um bis zu 30 %, bei einer Zunahme des gesamten Jahresniederschlags um nur 10 %. Die Anzahl trockener Tage wird zunehmen und die Tage mit geringen und mittleren Niederschlägen (1 - 20 mm/d) abnehmen. Gleichzeitig steigt in dem betrachteten Szenario die Anzahl der nassen Tage (25 bis 40 mm/d). Dabei sind vor allem die Sommermonate von einem Rückgang der mittleren Niederschläge und die Wintermonate von einem Anstieg der Starkniederschläge betroffen. Bei einer regionalen Betrachtung zeigen sich tendenziell trockenere Monaten im Osten mit weniger extremen Niederschlagsereignissen und höhere Niederschlagssummen in den westlichen Bundes-

ländern. Von diesen Veränderungen können in NRW besonders die Hangregionen der Mittelgebirge betroffen sein (BRÜCHER et al., 2001).

Für das Fremdwasserabflussgeschehen würde dieses Berechnungsszenario bedeuten, dass insbesondere in den fremdwasserstarken Jahreszeiten Winter und Frühjahr durch die halbjahreszeitliche Erhöhung der Niederschlagsmengen insbesondere in den westlichen Mittelgebirgsregionen erheblich mehr grund- und niederschlagswasserbedingtes Fremdwasser anfällt.

Geologische und hydrogeologische Eigenschaften

Es wurde gezeigt, dass die Entstehung von Fremdwasser durch Niederschlags- und Grundwasser beeinflusst wird. Wenn man von denjenigen Fremdwasserquellen absieht, die durch fehlangeschlossene Flächen Niederschlagswasser direkt in Schmutzwasserkanalisationen einleiten, so ist das Auftreten von Fremdwasser wesentlich von den Abflussvorgängen an der Geländeoberfläche und im Boden abhängig. Damit ist Fremdwasser direkt an die vorhandenen Bodentypen und Gesteine im Untergrund, das Relief und die Vegetation gekoppelt. Das Niederschlagswasser, welches nicht verdunstet oder je nach Relief oberirdisch abfließt, wird entweder in den Böden gespeichert oder versickert in tiefer liegende Bodenschichten. Auf diesem Weg speist es Grundwasser bzw. Quellen und oberirdische Gewässer oder fließt als Fremdwasser in Kanalisationen ab. Nimmt die Wasserdurchlässigkeit bspw. an Boden- oder Schichtgrenzen von oben nach unten ab, kann ein lateraler oberflächennaher Abfluss auftreten, wenn die wasserleitende Schicht mit Wasser gesättigt ist. Diese Teilkomponente des Sickerwassers wird als Zwischenabfluss bzw. (Hang-)Stauwasser bezeichnet (BGR, 2004).

Die beschriebenen Abflussvorgänge sind im Wasser- und Bodenatlas Baden-Württembergs (UVM, 2001) in unterschiedlichen Bodenwasserregimetypen charakterisiert (siehe Bild 9). Sie beschreiben den für einen Standort typischen Bodenwasserhaushalt und lassen nach LUCAS (2003) einen tendenziellen Rückschluss auf die Fremdwassersituation in der betrachteten Region zu.

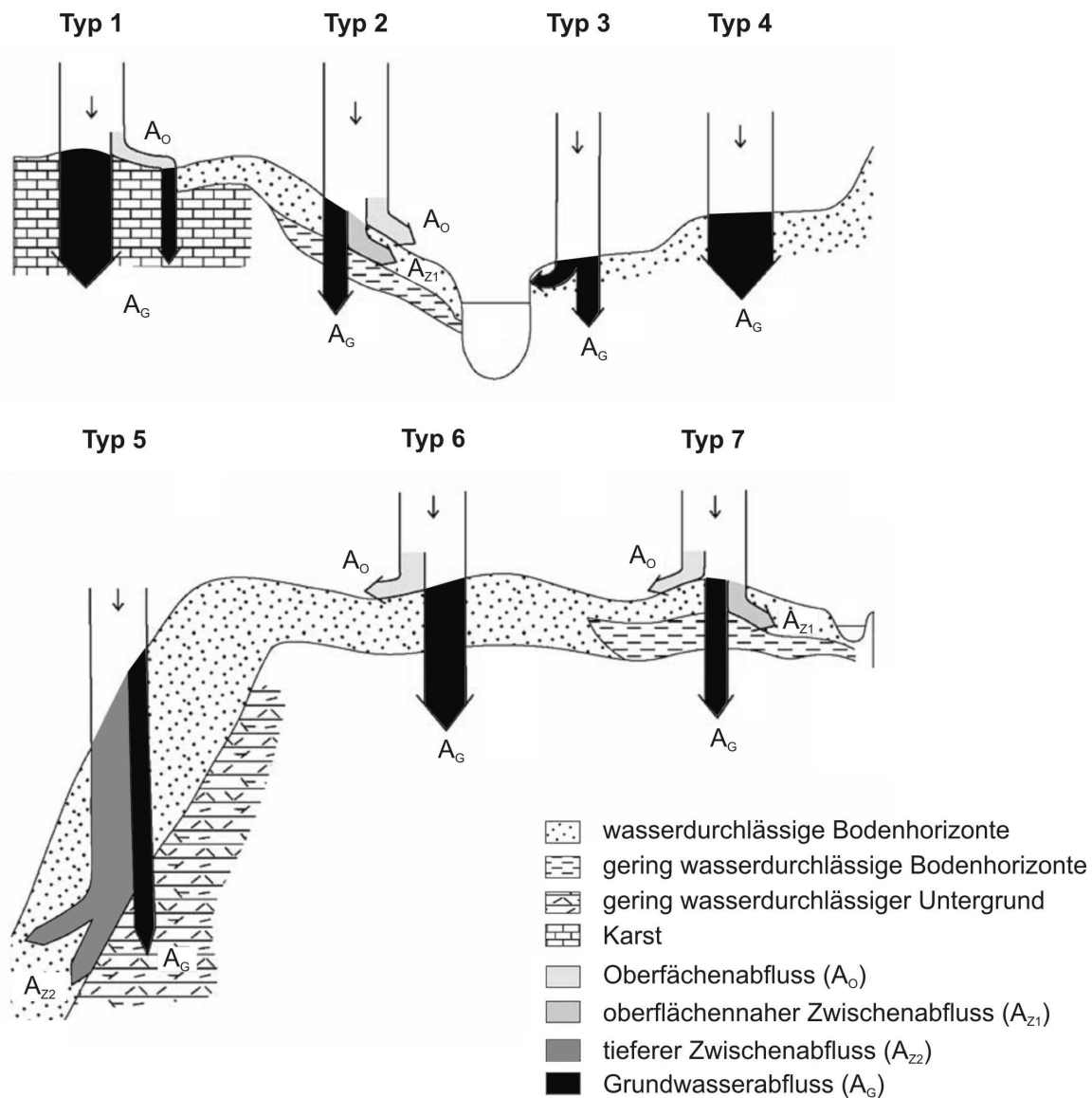


Bild 9: Schematische Darstellung der Bodenwasserregime (verändert nach UVM, 2001 und BGR, 2004)

Karstgebiete mit kleinräumigem Oberflächenabfluss (Typ 1), Grundwasserböden (Typ 3) und Böden mit vorwiegend vertikaler Sickerwasserbewegung ohne Direktabfluss (Typen 4 und 6) weisen ein vergleichsweise geringes Fremdwasseraufkommen auf. Allerdings bieten diese Böden bei entsprechenden Undichtigkeiten der tief und damit größtenteils im Grundwasser liegenden Hauptsammler bzw. Schachtbauwerke ein größeres Risiko für die Entstehung von Fremdwasser. Vornehmlich Typ 3 zeigt einen signifikant auf Veränderungen von Flusspegeln reagierenden Fremdwasseranfall. In Regionen mit ausgeprägtem Stauwasser (Typ 5) treten hohe Fremdwasserabflüsse auf. Dies ist insbesondere in den Mittelgebirgslandschaften und Alpen der Fall. Verstärkt wird der Fremdwasserabfluss noch zusätzlich durch ein ausgeprägtes Relief und hohe Niederschläge. Ein uneinheitliches Bild ergibt sich bei Böden mit eingeschränkter vertikaler Wasserbewegung (Typen 2 und 7). Hier wird die Verteilung der

Abflusskomponenten und damit auch der Fremdwasserabfluss im Wesentlichen durch das Relief und die Flächennutzung bestimmt. Die Fließrichtung des Sickerwassers folgt dabei in der Regel der Morphologie des Geländes. Im Bereich von Gräben und Hanganschnitten durch Straßen bzw. Gebäude gelangt das Sickerwasser an die Oberfläche oder über Dränagen und Undichtigkeiten als Fremdwasser in die Kanalisationen (DOHMANN et al., 2004).

Eine Auswertung von Angaben zum Fremdwasseraufkommen in den fünf Regierungsbezirken Nordrhein-Westfalens ergab regionale Unterschiede. So zeigten die für das Bodenwasserregime 5 typischen Mittelgebirgsregionen (Sauerland, Eifel, Bergisches Land, Weser-Bergland etc.) nach SCHMIDT (2000) und MERTSCH (2003) ein deutlich höheres Fremdwasseraufkommen als vergleichbar flachere Regionen. Untersuchungen von MAUS und EVERS (2005) im Einzugsgebiet des Ruhrverbandes kommen für die Mittelgebirgsregion Sauerland zu einem ähnlichen Ergebnis. Die in Bild 9 getroffene Einteilung wird damit gestärkt.

Einfluss des Entwässerungssystems

BROMBACH et al. (2002) und LUCAS (2003) untersuchten den Einfluss des Entwässerungssystems auf das Fremdwasseraufkommen in Baden-Württemberg und zeigten, dass mit steigendem Anteil an Mischkanalisationen auch der Fremdwasseranfall tendenziell zunimmt. Die DWA (2004) kommt bei der Auswertung der Leistungsfähigkeit ihrer Kläranlagen in ihren Landesverbänden zu einem ähnlichen Ergebnis. Im Norden Deutschlands finden sich mehrheitlich Trennkanalisationen und im Süden mischkanalisierte Entwässerungssysteme (siehe Bild 10). Ein Vergleich mit der Verteilung des Fremdwasserzuschlag in Deutschland nach Angaben des Statistischen Bundesamtes in Bild 11 zeigt, dass eine Ähnlichkeit zur Verteilung des Mischsystems besteht.

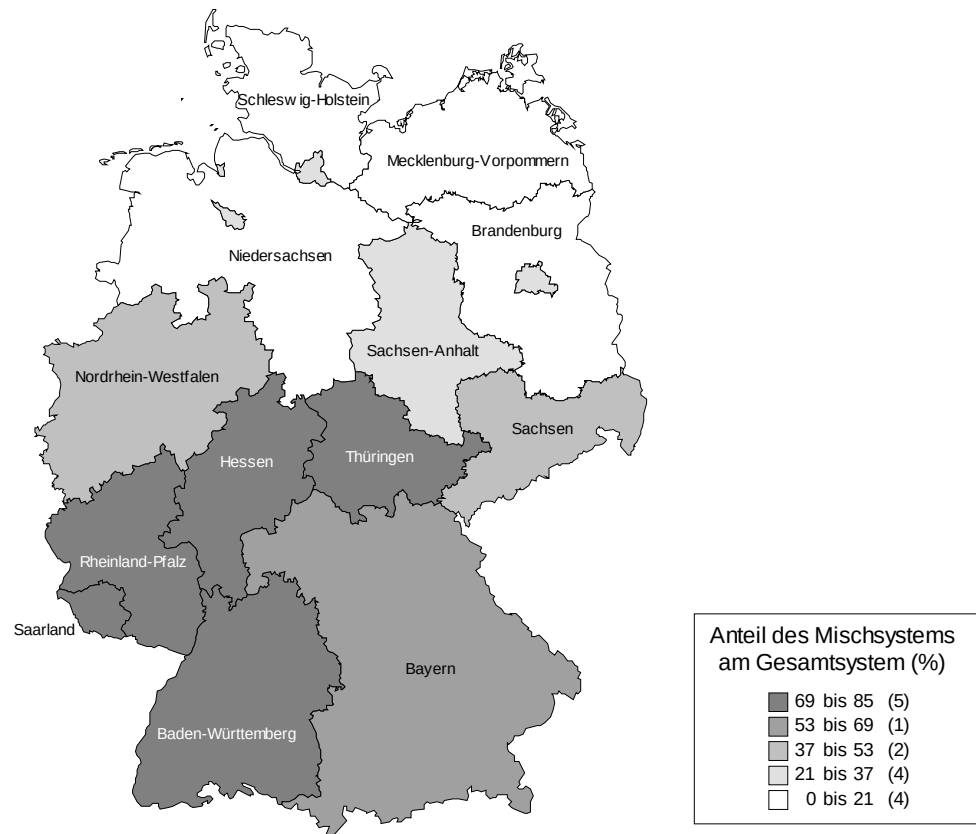


Bild 10: Verteilung des Mischsystems in Deutschland (StBA, 2003)

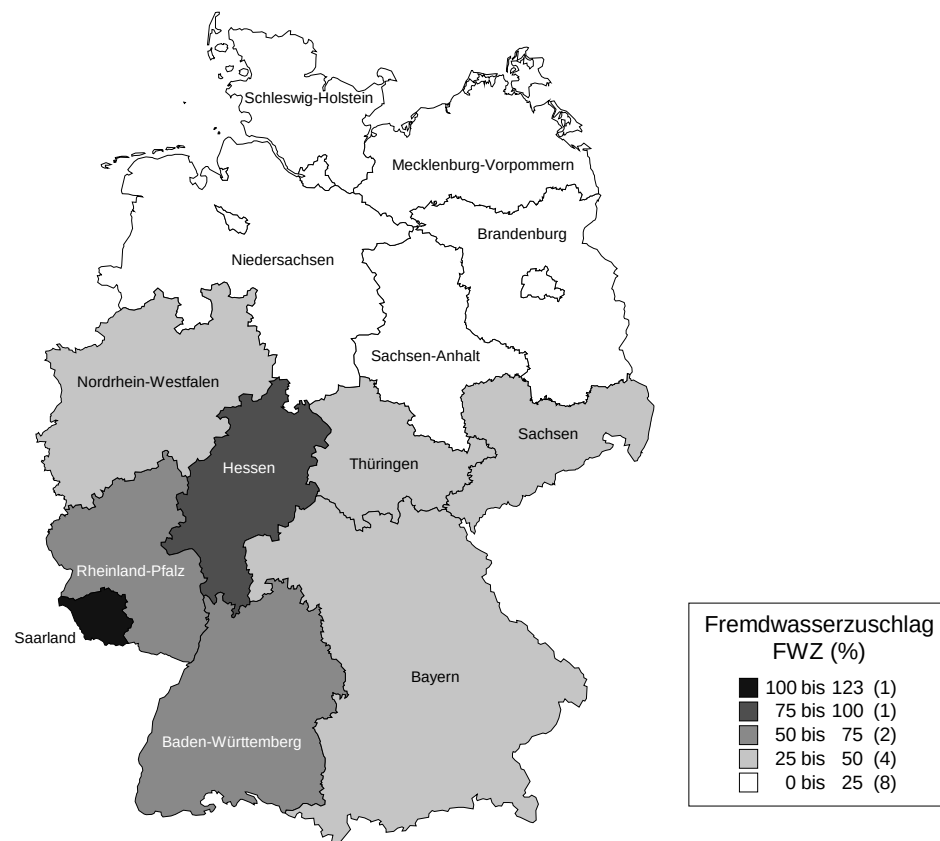


Bild 11: Angaben des Statistischen Bundesamtes (StBA, 2003) zum Fremdwasseraufkommen 2001 nach Bundesländern

Aufbauend auf den in Tabelle 1 zusammengestellten Vor- und Nachteilen eines Trenn- bzw. Mischsystems und den Definitionen von Fremdwasser in den einzelnen Entwässerungssystemen nach Tabelle 3 ist zunächst sicherlich zu recht anzunehmen, dass es sowohl im Misch- als auch im Trennsystem undichte Kanäle gibt, die im Grundwasser liegen. Auch ist der Grundwasserstand im Norden Deutschlands nicht grundsätzlich höher als im Süden, so dass auch nicht mehr Grundwasser unter höherem Wasserdruck in die Kanäle eindringt. Allerdings liegen Schmutzwasserkanäle des Trennsystems in der Regel weniger tief als Misch- oder Regenwasserkanäle. Wenn somit im Süden Deutschlands Mischwasserkanäle dominieren steigt dort die Wahrscheinlichkeit, dass sie ins Grundwasser einbinden und durch entsprechende Undichtigkeiten Grundwasser abführen.

Ein weiterer Grund kann in fehlangeschlossenen Dränagen begründet liegen. In Regionen mit stark wechselndem Gefälle, wie bspw. in Hanglagen, werden Dränagen eher angeordnet als in flacheren Bereichen. Im Mischsystem, welches nach der topografischen Karte überwiegend auch in Regionen mit größerem Gefälle verbreitet ist, können demnach mehr Dränagen angeschlossen sein. Ergänzend kommt hinzu, dass Dränagen im Trennsystem legal an einen Regenwasserkanal angeschlossen werden können und damit das Fremdwasserpotenzial grundsätzlich sinkt.

Fremdwasser fällt aufgrund der großen Dimensionen der Kanäle im Mischsystem weniger ins Gewicht, als in den hydraulisch eher knapp bemessenen Schmutzwasserkanälen des Trennsystems. Man wird das Fremdwasser somit im Trennsystem schon eher bemerkt haben und im Gegensatz zum Mischsystem vermutlich bedeutendere Fremdwasserquellen abgestellt haben. Ein Vergleich mit den mittleren Jahresniederschlägen zeigt ebenfalls eine Ähnlichkeit. Der Jahresniederschlag nimmt nach Angaben des Deutschen Wetterdienstes vom Nord-Osten nach Süd-Westen zu. Mit Hilfe der für Bayern ausgewerteten Abhängigkeit des Fremdwasseranfalls vom Jahresniederschlag (siehe Bild 6) lässt sich hiermit auch die ähnliche Fremdwasserverteilung erklären. Auch gehen mit den Nennweiten eines Mischsystems größere Grundwasseraustauschflächen einher, so dass das Potenzial von grundwasserbedingtem Fremdwasser dort höher ist als im Schmutzwasserkanal eines Trennsystems.

Sonstige Einflüsse

Untersuchungen von BROMBACH (2000) ergaben, dass kein Zusammenhang zwischen der Bevölkerungsdichte und dem Fremdwasseraufkommen besteht. Weiterhin war keine Korrelation zwischen Fremdwasserzufluss und Anzahl der Einwohner,

Länge des Kanalnetzes oder der entwässerten Fläche erkennbar (RENNER, 1996 und LUCAS, 2003).

FRANZ et al. (2004) untersuchten mögliche Parameterabhängigkeiten des Fremdwasseranfalls mit Hilfe statistischer Methoden. Obwohl keine direkten Korrelationen nachgewiesen werden konnten, ließen sich dennoch Tendenzen festlegen. So haben bspw. die Bevölkerungsdichte, Relation zum Grundwasser oder das Baujahr einen höheren Einfluss auf den Fremdwasserabfluss als die Lage eines Kanals zu Gebäuden, die Materialart eines Kanals oder die Nennweite. In der Annahme, dass ähnliche Eigenschaften von Kanälen auch zu einem vergleichbaren Fremdwasseranfall führen, untersuchten FRANZ und KREBS (2005) in Einzugsgebieten in Dresden und im Einzugsgebiet der Emscher im Ruhrgebiet voneinander unabhängige Parameter auf Korrelationen zum Fremdwasserabfluss. Es wurde eine Hypothese zur Überprüfung und Verbesserung der Fremdwassersituation aufgestellt, nach der das Fremdwasseraufkommen von der vom Grundwasser benetzten Mantelfläche (A_S), der Haltungslänge und dem Baujahr der Kanäle, der Bevölkerungsdichte (D) und dem Kanalgefälle beeinflusst wird:

$$Q_{INF} = \frac{A_S \cdot \text{Haltungslänge}}{10000 \cdot \sqrt{\text{Baujahr}} \cdot e^{2 \cdot D} \cdot \text{Gefälle}^2}.$$

Rückblickend ist die Bevölkerungsdichte bzw. Anzahl der Grundstücke ein geeigneter Indikator, um die Häufigkeit von Fehlan schlüssen zu beschreiben. Allerdings ist die Anzahl der tatsächlich vorgenommenen Fehlan schlüsse von der regional unterschiedlich ausfallenden gängigen Praxis abhängig.

2.3.2 Lokalisierung der Fremdwasserquellen

Zur Identifikation und Lokalisierung möglicher Fremdwasserquellen im öffentlichen und privaten Kanal- und Leitungsnetz bieten sich verschiedene, teils ausgereifte und in der Praxis erprobte Techniken an. Für den Erfolg der Ortung ist die Wahl des richtigen Untersuchungszeitraumes maßgeblich. Tabelle 5 gibt hierzu einen Überblick. Eine Zusammenfassung von bekannten Methoden zur Ortung von Fremdwasserquellen enthält Tabelle 6. In die Tabelle sind die Ergebnisse einer Umfrage der Abwasserberatung NRW (2002) nach den in der Praxis verwendeten Methoden zur Lokalisierung von Fremdwasser und eines Vortrages von HAUSSMANN und HENNERKES (2001) mit eingearbeitet.

Tabelle 5: Optimale Zeiträume für Messkampagnen zur Untersuchung eines Fremdwasserproblems

Randbedingungen	optimaler Untersuchungszeitpunkt zur Erfassung des (...)		
	niederschlagsabhän- gigen Fremdwassers	grundwasserabhän- gigen Fremdwassers	gesamten Fremdwassers
Trockenwetter		●	
Regenwetter im Schmutzwasserkanal des Trennsystems im Anschluss an Regenwetter	●		●
Grundwassertiefststand im Sommerhalbjahr	●		
Grundwasserhöchststand im Winterhalbjahr		●	●
Quellen: IKT (1998), HAUSSMANN und HENNERKES (2001)			

Tabelle 6: Maßnahmen zur Ortung von Fremdwasserquellen

Maßnahme	erfassbare Fremdwasserquellen	Anforderungen	Umfrage- ergebnis ¹⁾
TV-Inspektion von Kanälen und Leitun- gen ggf. mit Dichtheitsprüfung	Grundwassereintritt über Undichtigkeiten des Kanals	Grundwasserstand oberhalb der Schadensstelle	28 %
	Fehlanschlüsse	aktive Fehleinleitungen (z. B. Regenwetter)	
	Dränagewassereinleitungen	arbeitende Dränagepumpen	
Nebeluntersuchung	Fehlanschlüsse	kein Wasserpolster im Kanal als Hindernis	25 %
	Einleitung von Dränagen und Wegeseitengräben	Abfluss zum Kanalnetz im frei- en Gefälle	
Farbtests	Fehlanschlüsse	vermutete Einleitstelle muss bekannt sein, geeigneter Tracer (Uranin, Eosin etc.)	10 %
Durchflussmessung	im Vergleich zum Trockenwetterbasisabfluss erhöhter Abfluss	länger andauernder Messein- satz	
	Teilgebiete mit hohem Fremdwasseraufkommen	systematischer Einsatz der Messeinrichtung in Knoten- punkten	7 %
Auswertung alter Karten	alte Verläufe von Bächen, Quellen oder Siefen	Abgleich mit aktueller Topogra- phie	
Auswertung des Katasters	Zustand der Kanalisation	entsprechende EDV- Ausrüstung und Datenpflege	

Maßnahme	erfassbare Fremdwasserquellen	Anforderungen	Umfrage- ergebnis ¹⁾
Befragung von alt- eingesessenen Bürgern	Einleitungen von Gewässern, Quellen oder Siefen	zeitaufwendige Gespräche	30 %
Hausbefragung	Fehlanschlüsse, Einleitung von Dränagen, Besonderhei- ten auf dem Grundstück (Bachläufe, Quellen etc.)	aufwendige Kampagne mit in- tensiver Nachbereitung (Aus- wertung), Sensibilisierung der Eigentümer	
Netzbegehung	Besonderheiten im Netz, z. B. Schachtdeckel mit Lüf- tungsöffnungen in Tiefpunk- ten	-	
	sukzessives Zurückverfolgen des Fremdwassers zur Quel- le durch Handmessung (Meßlatte)	Regenwetter bei nieder- schlagsbedingtem Fremdwas- ser bzw. Trockenwetter bei grundwasserbedingtem Fremdwasser	
Erläuterung:			

¹⁾ Ergebnisse einer Umfrage der Abwasserberatung NRW (2002) bei 45 nordrhein-westfälischen Kommunen zu den in der Praxis gängigen Methoden der Ortung von Fremdwasserquellen

2.4 Fremdwasseraufkommen

2.4.1 Überblick

Das Fremdwasseraufkommen wurde in Deutschland erstmals im Jahr 1979 systematisch anhand der Abwasserzuflüsse von 250 bayerischen Kläranlagen ermittelt (STEIN, 1998). Die Fremdwasseruntersuchungen wurden durch die ATV Kläranlagennachbarschaften in Bayern auf der Basis der Nachtminimum-Methode bis heute fortgeführt. Hiernach lag der Fremdwasserzuschlag im Mittel des Jahres 1979 bei 55 %. Nach ROSENZWEIG (2004a) lag der Fremdwasserzuschlag im Jahresmittel von 1992 knapp oberhalb von 100 % (siehe auch Kapitel 2.1). Es ist zu vermuten, dass sich dieser erhebliche Unterschied durch die unterschiedliche Verwendung von Messmethoden und eine größere Beteiligung erklären lässt.

Heute wird der Fremdwasseranfall in den meisten Bundesländern Deutschlands im Rahmen von Umfragen der Statistischen Landesämter bei den Betreibern, den Erklärungen der Länder zur Abwasserabgabe (Eigenüberwachung) und amtlichen Überwachungen (Fremdüberwachung) ermittelt. Die hierbei festgestellten Angaben zum Fremdwasseraufkommen weichen erheblich voneinander ab, so dass davon auszugehen ist, dass das Fremdwasseraufkommen durch die statistischen Erhebungen nicht wirklichkeitsgetreu erfasst wird. Dies wird im Folgenden begründet.

Statistische Daten zum bundesweiten Fremdwasseraufkommen wurden durch das Statistische Bundesamt auf der Basis einer im Jahr 2001 durchgeführten Erhebung in der Fachserie 19 veröffentlicht. Grundlage dieser Erhebung bildeten Angaben der Kommunen und Betreiber über die auf den kommunalen Kläranlagen angefallenen Mengen an Schmutzwasser, Niederschlags- und Fremdwasser (StBA, 2003). Nach Bild 11 zeigt sich, dass die süddeutschen Bundesländer ein tendenziell höheres Fremdwasseraufkommen aufweisen als die norddeutschen Bundesländer. Im Bundesmittel liegt der Fremdwasserzuschlag bei 39 %. Dieser Wert ist vergleichbar mit dem Gesamtabfluss der Ems, die etwa 4 % des Bundesgebietes entwässert (BROMBACH, 2004). Für Nordrhein-Westfalen beträgt der Fremdwasserzuschlag etwa 40 %, entsprechend 180 l/(EW·d). Die im Landesmittel schon sehr niedrig erscheinenden Angaben lassen sich wie folgt begründen. Die Statistische Auswertung des Bundesamtes basiert auf Jahresmittelwerten zum Fremdwasseranfall. Fehlende Angaben waren nach Angabe des Erhebungsbogens abzuschätzen. Durch die Bildung eines Jahresmittelwertes über alle Kläranlagen eines Bundeslandes erfolgt eine deutliche Datenaggregation. Eine Aussage über einen möglicherweise saisonal höheren Fremdwasseranfall ist anhand dieser Daten nicht möglich. Auch werden Regionen mit Fremdwasserschwerpunkten nicht gesondert berücksichtigt.

Angaben zum Fremdwasseranfall werden im Rahmen der Eigenüberwachung auch in den Erklärungen der Länder zur Abwasserabgabe gemacht (MERTSCH und SCHMIDT, 2002). Da der angegebene Fremdwasseranfall direkte Auswirkungen auf die Abwasserabgabe bzw. ein Entfallen der Ermäßigung des Abwasserabgabesatzes hat, ist davon auszugehen, dass die Fremdwasserbelastung tendenziell geringer als in Wirklichkeit ausfällt. FUCHS et al. (2003) bestätigen diese Vermutung anhand eigener Auswertungen des Fremdwasseranfalls in Baden-Württemberg. Für Nordrhein-Westfalen bspw. beträgt der mittlere Jahresabfluss bei Trockenwetter im Jahr 1998 nach Angaben von PECHER (2005) etwa 166 l/(EW·d). Aus der amtlichen Eigenüberwachung des Landes Nordrhein-Westfalen allerdings ergibt sich nach Angaben von PECHER (2003) für die 807 kommunalen Kläranlagen in NRW im Jahr 1998 ein mittlerer Trockenwetterabfluss von 306 l/(EW·d). Bei Betrachtung der Einzelwerte aller Kläranlagen zeigt sich eine erhebliche Streuung bis zu einem Zufluss von weit über 1000 l/(EW·d).

Die Angaben des Statistischen Bundesamtes stimmen mit den gemachten Erklärungen zur Abwasserabgabe näherungsweise überein, obwohl der wirklichkeitsgetreue Zufluss zu den Kläranlagen deutlich höher ist. Die statistischen Erhebungen beziehen in der Regel nur Trockenwettertage mit in die Berechnung ein und mitteln diese über ein gesamtes Jahr. Die Abflussspitzen infolge von niederschlagsbedingtem Fremdwasser und auch Teile des Fremdwassernachlaufs aus Drägen oder Un-

dichtigkeiten werden in der Statistik nicht berücksichtigt. Durch die Jahresmittelung wird der in Bild 5 exemplarisch dargestellte jahreszeitliche Fremdwassergang ebenfalls nicht berücksichtigt. Der eigentliche Fremdwasserabfluss in den Einzugsgebieten einer Kläranlage kann deutlich höher sein als der auf der Kläranlage erfasste Fremdwasseranteil, da im Kanalnetz eine Vergleichmäßigung der Abflussganglinie erfolgt und bei Regenwetter auch Entlastungen aus Regenwasserbehandlungsanlagen stattfinden können.

Schlussendlich bleibt festzuhalten, dass eine Angabe zum Fremdwasseraufkommen immer auch saisonale Veränderungen berücksichtigen muss. Die Angabe als Jahresmittelwert täuscht einen zu geringen Fremdwasseranfall vor. Untersuchungen von NOWAK (2002) ergaben, dass der zur Mittelwertbildung heranzuziehende Zeitraum einen erheblichen Einfluss auf die Höhe des Fremdwasseranfalls auf Kläranlagen hat. Am Beispiel von Auswertungen des Trockenwetterzuflusses zu 25 sächsischen Kläranlagen lag der größte Wert aus den Monatsmittelwerten durchschnittlich 48 % höher als der Jahresmittelwert. Der größte Wert der Monatsmaximalwerte lag sogar 84 % über dem Jahresmittelwert. FUCHS et al. (2003) bestätigen diese Tendenz anhand eigener Untersuchungen.

LUCAS (2003) wertete für das Bundesland Baden-Württemberg Daten des statistischen Landesamtes für das Jahr 1998 aus. Er errechnete den Fremdwasserzuschlag im Jahresmittel zu 119 % FWZ mit maximalen Monatswerten von bis zu 1050 %. Insgesamt 47 % aller Kläranlagen des Landes wiesen mehr als 100 % FWZ auf.

Aus den Angaben des ATV-DVWK Erfahrungsaustausches der Großstädte im Jahr 2000 sind für ausgewählte Städte und Gemeinden Deutschlands die Fremdwasserabflussspenden in Bild 12 aufgetragen. Man erkennt, dass sich der Fremdwasseranfall in Stadtteilen von Münster in einer Größenordnung von $0,005 \text{ l/(s} \cdot \text{ha}_{\text{red}})$ bis hin zu $1,0 \text{ l/(s} \cdot \text{ha}_{\text{red}})$ in Essen bewegt. Es ist ablesbar, dass die Fremdwasserabflussspende von einem Großteil der befragten Kommunen im planerischen Bereich von $0,05$ bis $0,15 \text{ l/(s} \cdot \text{ha}_{\text{red}})$ nach Arbeitsblatt ATV-A 128 (1992) liegt, aber auch überschritten wird. Auch PECHER (1998) weist darauf hin, dass Fremdwasserabflussspenden in dieser Größenordnung in bebauten Gebieten keine Seltenheit sind.

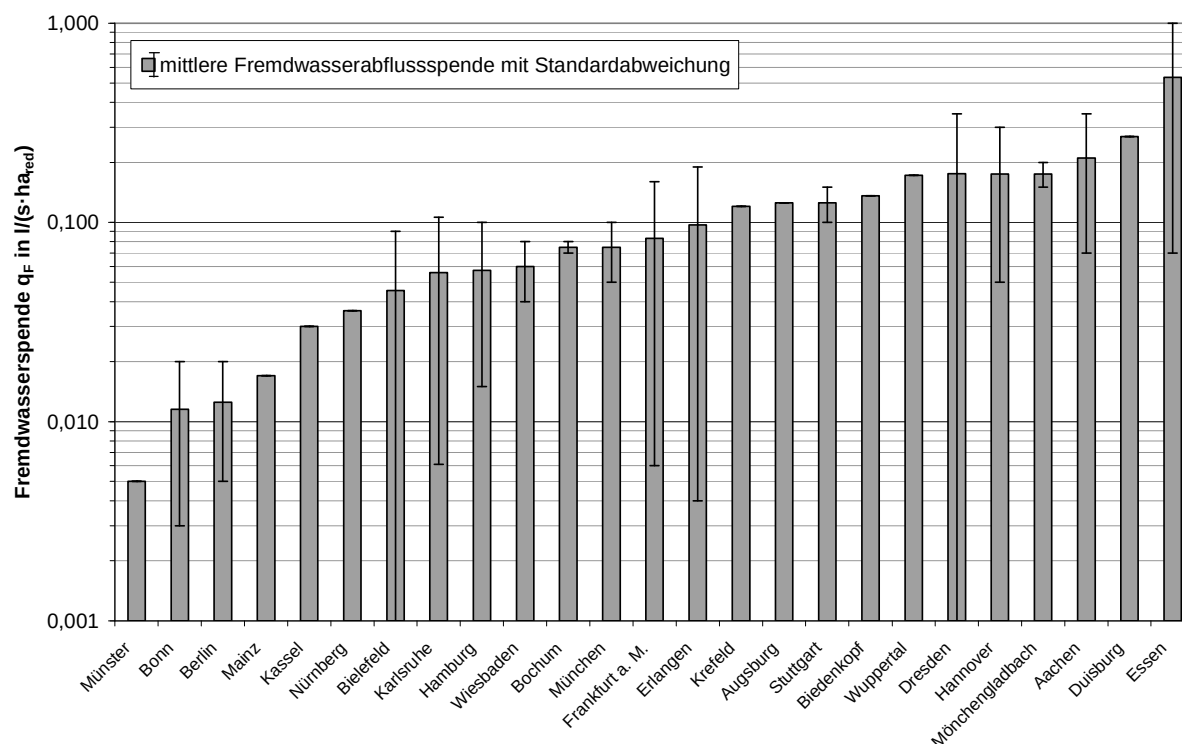


Bild 12: Fremdwasserabflussspenden ausgewählter Städte in Deutschland

Auch außerhalb Deutschlands spielt Fremdwasser eine gravierende Rolle und beeinflusst die Dimensionierung und den Betrieb von Abwasseranlagen. So beträgt der gemittelte Fremdwasserzuschlag in der Schweiz nach Schätzungen von GUJER (2002) 47 % im Jahresmittel. Nähere Untersuchungen von HOSTETTLER (2003) ergaben in den Jahren 2000 und 2001 einen mittleren Trockenwetterzufluss auf 48 schweizerischen Kläranlagen im Berner Jura von etwa 180 bis 1050 $l/(EW \cdot d)$ entsprechend einem Fremdwasserzuschlag von 20 - 600 %. RENNER (1996) ermittelte für österreichische Kläranlagen in der Steiermark Fremdwasserabflussspenden von 1 - 38 $l/(s \cdot 1000 \cdot EW)$, entsprechend 90 bis 3300 $l/(EW \cdot d)$.

Für Nordamerika geben FAIR und GEYER (1957) den Fremdwasserabfluss über Undichtigkeiten mit 0,058 - 0,58 $l/(s \cdot ha_{red})$ an, entsprechend 120 - 280 $l/(E \cdot d)$. Den Fremdwasseranfall aus Fehllanschlüssen schätzen sie mit 1,39 - 3,24 $l/(s \cdot 1000 \cdot E)$, entsprechend 104 bis 1040 $l/(E \cdot d)$. Bild 13 enthält eine Darstellung verschiedener Angaben zum Fremdwasseraufkommen in den USA. Die Literaturwerte weisen eine hohe Standardabweichung auf. Es zeigt sich, dass der Fremdwasseranfall aus Undichtigkeiten im Mittel bei 1 - 3 $l/(s \cdot km_{Kanal})$ liegt. Der aus Fehllanschlüssen stammende Anteil des Fremdwassers wird mit bis zu 13 $l/(s \cdot km)$ angegeben. Eine Umrechnung der amerikanischen, auf die Kanallänge bezogenen Fremdwasserabflussspende mit Hilfe von Tabelle 2 ist an dieser Stelle nicht sinnvoll, da die amerikanischen Verhältnisse nicht mit den für NRW getroffenen Annahmen vergleichbar sind.

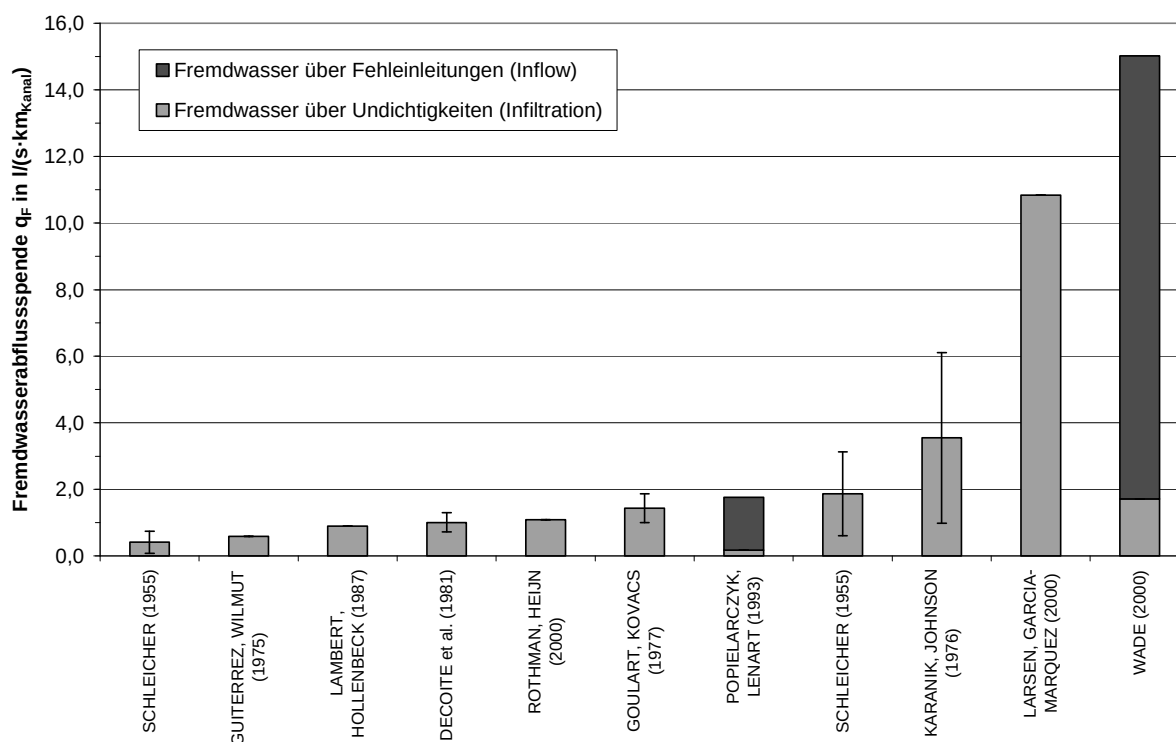


Bild 13: Literaturangaben zu Fremdwasserabflussspenden in den USA

In Großbritannien wurden von WHITE et al. (1997) und AINGER et al. (1998) umfangreiche Untersuchungen zum Fremdwasser durchgeführt. Insbesondere wurden hierbei Dränagen als Schwerpunkte für Fremdwasser identifiziert. In einer weiteren britischen Studie von POOLE (2002) zur Bemessung von Regenwasserbehandlungsanlagen wurden die Abflüsse im Kanalnetz und die Regenereignisse über fünf Jahre analysiert. Hierbei wurde bestätigt, dass Fremdwasser saisonbedingt verstärkt auftritt und erheblich von den vorhergehenden Regenereignissen abhängig ist. Die Größe des Fremdwasseranfalls wird demnach noch durch Regenereignisse beeinflusst, die bis zu drei Monate zurückliegen.

Im Rahmen einer irischen Studie (GDSDS, 2005) wurde die Fremdwassersituation in 18 Misch- und Trennsystemen Irlands in den Jahren 2001 bis 2004 untersucht. Es wurden zahlreiche Durchflussmessgeräte und Regenmesser installiert, um das Abflussgeschehen im Kanalnetz nachbilden zu können.

Auch in Neuseeland (MURRAY, 1987 und NZWWA, 1996) und Singapur (SHARPE und TURNER, 1999) wurden umfangreiche Untersuchungen zum Fremdwasser durchgeführt. ATKINS CHINA (2001) untersuchten die Reduzierung von Fremdwasser in Hongkong. Veranlassung der Studie war das enorme Bevölkerungswachstum. Es bestand die Idee, dass die mit einer Reduzierung von Fremdwasser verbundenen Kapazitätzuwächse bei der Abwasserableitung den Bau neuer Kanäle unnötig machen würden. Die Untersuchungen ergaben, dass Sanierungsarbeiten zur Fremd-

wasserreduzierung mit Ausnahme eines der 34 Einzugsgebiete insgesamt kosteneffizienter sind, als der Bau neuer Kanäle.

2.4.2 Zufluss über Undichtigkeiten und Fehllanschlüsse

Eine generelle Quantifizierung des Fremdwasseraufkommens einzelner Quellen hat sich bisher als schwierig erwiesen, da entsprechende Untersuchungen fehlen. Es existieren nur wenige Angaben zum Zufluss von Fremdwasser über **Undichtigkeiten** von Kanäle und Leitungen. BÄCKMANN (1985) untersuchte an einem Schmutzwasserkanal die Infiltration von Wasser aus oberhalb liegenden schadhafte Regenwasserkanälen. Er ermittelte Infiltrationsraten von 0 - 164 l/(s·km). GOULART und KOVACS (1997) geben an, dass 71 % des Fremdwassers aus undichten Kanälen und 29 % aus undichten Schachtbauwerken stammt. STEIN (1998) berichtet von einer Grundwasserinfiltration in Basel in Höhe von 100 l/(s·km).

Im Rahmen des EU-Forschungsprojektes APUSS (siehe auch BERTRAND-KRAJEWSKI et al., 2005) konnte ein statistischer Zusammenhang zwischen dem Fremdwasseranteil und der vom Grundwasser benetzten Kanaloberfläche ermittelt werden (RUTSCH und UIBRIG, 2003; KARPf und KREBS, 2004a; SCHULZ et al., 2004). Wesentliches Kriterium ist hier die Profilhöhe des Kanals, wonach am Fallbeispiel der Stadt Dresden 80 % der Grundwasserinfiltration aus Profilen mit einer Nennweite größer als DN 1200 stammen. KARPf und KREBS (2004b) begründen dieses Ergebnis mit der Tiefenlage der größeren Kanäle. Bei im Grundwasser liegenden Kanälen nehmen die hydrostatische Druckhöhe und damit auch die Grundwasserinfiltration zu.

Untersuchungen von SCHULZ et al. (2005) lassen bei Betonkanälen großer Nennweiten eine Korrelation zwischen Fremdwasser und Zustandsklasse sowie der vom Grundwasser beeinflussten Kanallänge erkennen. Mit schlechter werdendem Kanalzustand nimmt die Infiltrationsrate exponentiell zu.

Über die zufließenden Fremdwassermengen aus **Fehllanschlüssen** existieren differenziertere Kenntnisse. Die Untersuchungen erfassen den Zufluss von Grundwasser über Dränagen und von Oberflächenwasser aus Außengebieten. Auch die oftmals tolerierte Einleitung von Niederschlagswasser über die Lüftungsöffnungen von Schachtdeckeln in Schmutzwasserkanäle stellt eine potenzielle Fremdwasserquelle dar.

Der Eintritt von **Niederschlagswasser durch die Öffnungen von Schachtdeckeln** in einen Schmutzwasserkanal wurde in der Vergangenheit oft vernachlässigt. Untersuchungen von PECHER (1998) an zwei trennkanalisierten Einzugsgebieten ohne

Fehlanschlüsse quantifizieren den Anteil der durch die Öffnungen von Schachtdeckeln entwässerten befestigten, wasserundurchlässigen Fläche des Einzugsgebietes mit etwa 3 - 9 %. Aus der Literatur geht nicht hervor, ob diese Ergebnisse mit Hilfe einer Bilanzierung der Flächen oder Abflussmessungen bestimmt wurden. PFEIFF (1989) schätzt den Zufluss des Niederschlagswassers durch die Öffnungen der Schachtdeckel mit 1 - 2 l/(s·Schacht) ab, GOULART und KOVACS (1977) geben für amerikanische Verhältnisse 4,4 l/(min·Schacht) an. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass sich die klimatischen und hydrologischen Verhältnisse Amerikas teilweise deutlich von denen Deutschlands unterscheiden.

KÖLSCH (2000) und DOHMANN et al. (2002) entwickelten eine Modellgleichung zur Quantifizierung des niederschlagsbedingten Zuflusses durch die Öffnungen eines Schachtdeckels nach DIN 19584. Am Beispiel eines ländlich geprägten, im Trennsystem entwässerten Einzugsgebietes ergab sich auf der Basis eines aufgestellten Modells ein errechneter Anteil des Zuflusses von Niederschlagswasser durch die Öffnungen der Schachtdeckel des Schmutzwasserkanals in Höhe von 27 bis 56 % des gesamten Fremdwasseranfalls. Dies entspricht einem Zufluss von 0,19 bis 0,40 l/(min·Schacht). Den Berechnungen lag eine Regenspende von $r_{T=10,n=0,5} = 190 \text{ l/(s·ha}_{\text{red}})$ zugrunde.

Die empirische Formel zur Beschreibung des Niederschlagsabflusses Q (l/min) durch den runden Schachtdeckel (Fläche 0,48 m², Abflussbeiwert $\Psi = 0,95$) beinhaltet nach KÖLSCH (2000):

$$Q = 0,95 \cdot r_{T(n)} \cdot \frac{60}{10000} \cdot \left[0,48 + \left[0,785 \cdot \sqrt{(B \cdot \lambda)^2 + \left(\frac{B \cdot \lambda \cdot s}{q} \right)^2} \cdot \left(v_e + v_p \cdot 1,12 \cdot e^{-0,13 \cdot \sqrt{q^2 + s^2}} \right) \right] \right] \cdot L \cdot \rho$$

mit:

- Anteil plangleicher Schachtdeckel v_p und Anteil eingesenkter Schachtdeckel v_e
- Länge des Kanalabschnittes L (m) und Schachtdichte ρ (Schächte/m)
- Straßenlängsgefälle s (-) und Straßenquerneigung q (-)
- Bemessungsregenspende $r_{T(n)}$ in l/(s·ha)
- Lagebeiwert λ (siehe Bild 14) berücksichtigt die Lage des Schachtdeckels im Querschnitt der Fahrbahn und beschreibt zusammen mit der Straßenbreite B die abflusswirksame Straßenbreite b .

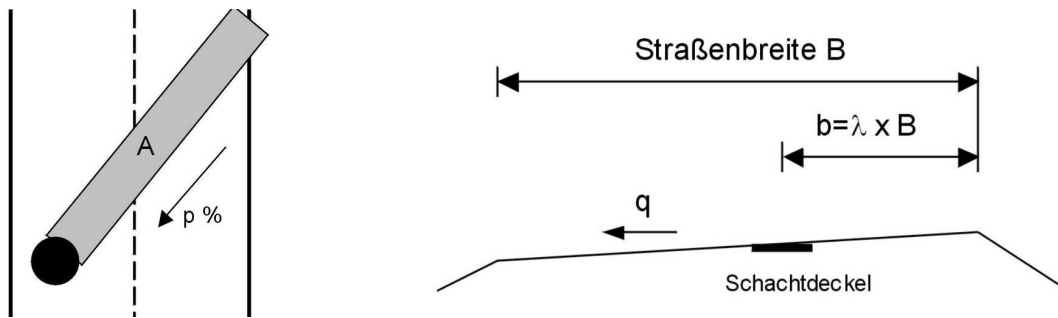


Bild 14: Definition der abflusswirksamen Fläche und des Lagebeiwertes

In der Praxis unterscheiden sich die auftretenden Fremdwasserabflüsse über Schachtdeckelöffnungen teils deutlich von den mit Hilfe des Modells errechneten Zuflüssen in einen Schmutzwasserkanal. Dies ist begründbar durch

- von den Modellannahmen abweichende Regenspenden und -intensitäten,
- je nach Relief des Einzugsgebietes, Jahreszeit und Temperatur abweichende Abflussganglinien und Oberflächenwasserabflüsse,
- teils verschlossene Lüftungsöffnungen und im Laufe der Zeit durch Feststoffe abgedichtete Fugen,
- verschiedenartige Schachtdeckelarten und
- fehlerhaft angenommene Gefälle der Straßen.

Zur Ermittlung des **Zuflusses von Grundwasser aus Dränagen** existieren unterschiedliche Bemessungsansätze, die überwiegend aus dem landwirtschaftlichen Wasserbau oder der Bautechnik stammen. Der zur Entwässerung des Bodens und zur schadlosen Abführung des Sicker- bzw. Stauwassers erforderliche Abstand zwischen Dränagesträngen kann in Abhängigkeit der Bodendurchlässigkeit und dem tolerierbaren Grundwasserstand über dem Dränageniveau nach dem Verfahren von HOOGHOUT und ERNST (DIN 1185-2, 1973) ermittelt werden. Auf die Berechnung nehmen insbesondere die Bodendurchfeuchtung, Grundwasserhöhe, Niederschlagsintensität und -dauer sowie die Kumulation aufeinander folgender Niederschlagsereignisse Einfluss. Weitere Berechnungsverfahren wurden von VAN SCHILFGAARDE und KIRKHAM entwickelt (USDA, 2004). Der Dränagewasseranfall wird nach den bisherigen Erkenntnissen wesentlich bestimmt durch die

- Bodenart, spezifische Wasserdurchlässigkeit und Geländeneigung,
- Tiefenlage und Gefälle der Dränage,
- geplante Absenkung des Grundwasserspiegels,
- Mächtigkeit und Leistungsfähigkeit des Grundwasserleiters,

- Regenintensitäten und Größe des abflusswirksamen Einzugsgebietes sowie die
- chemische Zusammensetzung des Grundwassers.

In Kapitel 2.3.1, Bild 9 wurde gezeigt, dass die Höhe der versickernden Komponenten des Niederschlages vor allem von den anstehenden Bodenarten, ihren Durchlässigkeiten und dem Relief beeinflusst werden. Die Niederschlagscharakteristik hat damit erheblichen Einfluss auf die Höhe des Sickerwasser- und Dränagewasserabflusses. Die Berechnung des Wasserzudrangs richtet sich nach den abzuführenden unterirdischen Abflussspenden, die sich aus den mittleren Jahresniederschlägen ergeben. In Tabelle 7 sind die Richtwerte für Abflussspenden von Dränagen je nach Jahresniederschlag auf der Basis von DIN 1185-2 zusammengestellt (MUTH, 1981 und 1991). Den von Dränagen abzuführenden Grundwasserstrom quantifiziert MUTH im Mittel allerdings mit 3 l/(s·ha). DIN 1185-2 (1973) rechnet im Vergleich hierzu mit einer Dränageabflussspende von 2 l/(s·ha).

Tabelle 7: Niederschlagsabhängige unterirdische Abflussspenden für Dränagen nach MUTH (1991) und DIN 1185-2

Niederschlag N	Abflussspende q l/(s·ha)	Abflussspende s *) m/d = m ³ /(m ² ·d)
< 600 mm/a	0,8	0,007
600-1000 mm/a	1,0	0,009
> 1000 mm/a	2,0	0,017
Erläuterung:		
*) Umrechnung von q in s: 1 l/(s·ha) entspricht $8,64 \cdot 10^{-3}$ m ³ /(m ² ·d)		

Die genannten Dränagewasserabflussspenden und zugehörigen Flächen gelten unter der Annahme, dass ausreichend viele linienförmige Dränagen in den nach HOOGHOUTD zu bestimmenden Abständen verlegt werden. Insbesondere bei einzelnen linienförmigen Dränagen, wie sie bspw. ringförmig um Gebäude verlegt sind, ist die abzuführende Dränagewasserabflussspende interessant. In Tabelle 8 sind vereinfachend Abflussspenden von Dränagen in Abhängigkeit der Bodendurchlässigkeit zusammengestellt.

Tabelle 8: Abflussspenden von Dränagen nach DIN 4095 (1990) und MUTH (1981)

Charakteristika der Böden	Abflussspende ¹⁾ l/(s·m)	Abflussspende ²⁾ l/(s·ha)
sehr schwach durchlässige Böden ohne Stauwasser, kein Oberflächenwasser	< 0,05	< 5
schwach durchlässige Böden mit Sickerwasser, kein Oberflächenwasser	0,05 - 0,10	5 - 10
durchlässige Böden mit Schichtwasser oder Stauwasser, wenig Oberflächenwasser	0,10 - 0,30	10 - 30
Erläuterungen: ¹⁾ je lfd. Meter Dränageleitung, bspw. vor Wänden in einer linienförmigen Sickerschicht ²⁾ je Hektar Einzugsgebiet, hochgerechnet aus einer 100 m langen Dränageleitung und einem 100 breiten Einzugsgebiet		

In einem Forschungsprojekt (STEIN et al., 1998) wurden Untersuchungen zu dem über Dränagen abfließenden Grundwasser durchgeführt. Die dabei ermittelten Dränagewasserabflüsse sind in Tabelle 9 zusammengefasst und liegen allesamt am unteren Ende der Skala der Dränagewasserabflussspenden nach Tabelle 7 und Tabelle 8.

Tabelle 9: Zufluss von Dränagewasser in die Kanalisation (STEIN et al., 1998)

Größenordnung der Abflussspende	Fremdwasserabflussspenden q_F ^{*)}			
	Dränage in Hanglage		Dränage in Tallage	
	pro Fläche l/(s·ha)	pro Haus l/(s·Haus)	pro Fläche l/(s·ha)	pro Haus l/(s·Haus)
Spitzenwerte (starke Niederschlagsereignisse)	1,3	0,1	3,6	0,44
Mittelwerte	0,76	0,07	1,82	0,22
Basiswerte (Trockenwetter im Frühjahr)	0,23	0,02	0,4	0,04
Erläuterung: ^{*)} zum Vergleich: Schmutzwasserabfluss $q_S = 0,1$ l/(s·ha)				

Die im Vergleich zur Hanglage höheren Dränagewasserabflüsse in der Tallage resultieren aus dem erhöhten Zustrom von Grundwasser infolge eines Flusshochwassers. Da es sich bei den Werten in Tabelle 9 um die Ergebnisse eines Fallbeispiels handelt, sind sie zunächst nicht direkt allgemein übertragbar. Auch spielt die ehemalige bzw. heutige gängige Praxis zum Umgang mit Dränagewasser eine maßgebende Rolle.

Ein Vergleich der zusammengestellten Literaturwerte zum Fremdwasseraufkommen über Dränagen zeigt, dass die Angaben in Abhängigkeit von Grundwassersituation,

Niederschlagscharakteristik und Hydrogeologie stark variieren. Eine genaue Festlegung des zu erwartenden Dränagewasseranfalls ist auf dieser Basis nur schwer möglich. Gleichwohl vermitteln die genannten Werte ein Gefühl für die Größenordnung und ermöglichen damit auch einen Vergleich mit anderen Fremdwasserquellen.

Auch Straßenkörper stören das natürliche Abflussverhalten des Grundwassers und machen aus Gründen der Betriebs- und Standsicherheit teilweise eine Dränierung erforderlich. Wird das Dränagewasser in die Kanalisation eingeleitet, trägt es zum Fremdwasseranfall bei. Bei der Dränierung von Fahrbahnen mit bituminöser Tragschicht oder Schottertragschichten wurden Dränageabflussspenden von 0,3 bis 0,8 l/(s·ha) gemessen, bei Straßen in Hanglage stieg der Wert auf bis zu 3 l/(s·ha) an. Angaben über den anstehenden Boden wurden dabei nicht gemacht (MUTH, 1981).

Messungen des **Zuflusses von Oberflächenwasser von unbefestigten Außengebieten** in öffentliche Abwasserkanäle wurden bisher nicht vorgenommen. Mit steigender Bebauungsdichte war es bis vor wenigen Jahrzehnten noch üblich, diese Gewässer zu verrohren und in den Siedlungsgebieten zusammen mit dem Abwasser unterirdisch abzuleiten (PECHER, 2000). Aus heutiger Sicht stellt dies keine moderne und zukunftsweisende Art der Entwässerung dar. Abschätzungen der Zuflüsse sind im ATV-Handbuch „Planung der Kanalisation“ (ATV, 1994a) gegeben. Dort werden Maximalabflüsse in der Größenordnung von 20 - 30 l/(s·ha) für Oberflächenabflüsse von Außengebieten genannt. Der kleinere Wert gilt für Mittelgebirgsregen, der größere für Hochgebirgsregen. Für das Flachland sind Abflüsse von 1 - 5 l/(s·ha) zu erwarten.

2.4.3 Ansätze für die Planung

Bei der Planung von Abwasseranlagen besteht im Rahmen der Grundlagenermittlung die Möglichkeit, den Abwasserzufluss und somit auch das Fremdwasseraufkommen mit Hilfe von Durchflussmessungen hinreichend genau zu quantifizieren. In der Vergangenheit wurde der Fremdwasseranteil am Abwasserzufluss jedoch oftmals anhand von Literaturangaben als konstanter Wert berücksichtigt. Diese Bemessungsannahmen für das Fremdwasseraufkommen stellen in aller Regel Jahresmittelwerte dar und berücksichtigen weder die örtlichen Verhältnisse noch die saisonalen und langjährigen Oszillationen.

Erste Hinweise zur Berücksichtigung des Fremdwassers bei der Dimensionierung von Kanälen finden sich bei IMHOFF (1943). Er schlug vor, für die zusätzliche Ableitung von Grund- und Regenwasser im Schmutzwasserkanal des Trennsystems einen Zuschlag von 100 % zum Schmutzwasser vorzusehen. Die sich in diesen Be-

messungsannahmen widerspiegelnde Annahme eines konstanten Fremdwasserzuflusses basierte primär auf der Annahme einer starken Infiltration von Grundwasser.

Mit der Einführung des Regelwerkes ATV-A 128 zur Bemessung und Gestaltung von „Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen“ wurde im Jahr 1992 erstmals ein Anhaltswert für eine tolerierbare Fremdwasserspende mit $q_F = 0,05 - 0,15 \text{ l/(s} \cdot \text{ha}_{\text{red}})$ vorgegeben. Die Fremdwasserabflüsse wurden auf diese Bandbreite begrenzt, um die Entlastungen in Grenzen zu halten. Die Ergebnisse einer Literaturrecherche zu Bemessungsansätzen sind in Tabelle 10 zusammengestellt. Tabelle 11 enthält eine Zusammenstellung von Vorschlägen aus der Fachwelt zur Festlegung von Hinweisen auf ein erhöhtes Fremdwasseraufkommen bzw. Grenzwerten für Fremdwasser.

Tabelle 10: Übersicht über planerische Vorgaben zur Berücksichtigung des Fremdwasseraufkommens

Quelle	Berücksichtigung des Fremdwasseraufkommens
IMHOFF (1958)	wenigstens 100 % Zuschlag für Regen- und Grundwasser beim Schmutzwasserabfluss im Trennsystem
WENDEHORST (1981)	bemessungstechnische Berücksichtigung mit einem Fremdwasserzuschlag von 200 % bei hohem Grundwasserstand
ATV-A 128 (1992) und ATV-DVWK-A 131 (2000)	Liegen keine Messergebnisse vor, wird je nach Grundwasserverhältnissen und Zustand der Abwasserkanäle bzw. -leitungen mit $q_F = 0,05 - 0,15 \text{ l/(s} \cdot \text{ha}_{\text{red}})$ bezogen auf die kanalisierte Fläche gerechnet.
ATV-Handbuch „Planung der Kanalisation“ (ATV, 1994a)	Für den Zufluss aus Dränagen oder undichten Kanälen können $q_F = 0,02 - 0,06 \text{ l/(s} \cdot \text{ha)}$ angenommen werden. Bei der Bemessung von Schmutzwasserkanälen des Trennsystems wird Fremdwasser durch einen Zuschlag von 100 % berücksichtigt. Spärliche Angaben zur Bemessung des Mischsystems mit Fremdwasserzuschlägen in Höhe von 10 - 50 % (optimal 30 - 40 %).
ATV-A 118 (1999)	Bei der Bemessung von Schmutzwasserkanälen wird der Fremdwasserabfluss $Q_F = q_F \cdot A_{E,k}$ bei Trockenwetter über die Fremdwasserabflussspende $q_F = 0,05 - 0,15 \text{ l/(s} \cdot \text{ha}_{\text{red}})$ ermittelt. Alternativ kann der gesamte Fremdwasserabfluss Q_F pauschal als ein Vielfaches m des Schmutzwasserabflusses mit $m = 0,1 - 1,0$ (in begründeten Fällen auch $m > 1$) aufgefasst werden. Als zusätzlicher Fremdwasseranteil wird der unvermeidbare Regenabfluss $Q_{r,T} = q_{r,T} \cdot A_{E,k,3}$ in Schmutzwasserkanälen über die Regenabflussspende $q_{r,T} = 0,2 - 0,7 \text{ l/(s} \cdot \text{ha}_{\text{red}})$ abgeschätzt. Bei der Dimensionierung von Mischwasserkanälen wird der Fremdwasserabfluss oft vernachlässigt, da diese in der Regel für einen wesentlich höheren Regenwasserabfluss ausgelegt werden.
ATV-DVWK-A 198 (2003)	Erstmaliger Hinweis in einem Regelwerk, dass die bisherige Festlegung eines pauschalen Fremdwasseraufkommens nicht sinnvoll ist. Bestimmung des bemessungsrelevanten Fremdwasseraufkommens über Nachtmessungen auf der Basis des maximalen Monatsmittels $Q_{F,mM,max}$ einer Mehrjahresreihe (mind. 1 Jahr, besser 3-5 Jahre), um Einflüsse aus Niederschlag und Grundwasser zu berücksichtigen.

Tabelle 11: Indizien eines erhöhten Fremdwasserabflusses

Land und Quelle		Indizien
Deutschland	FISCHER (1990)	FWA > 50 %
	SITZMANN (2000)	$q_F > 0,15 \text{ l/(s} \cdot \text{ha}_{\text{red}})$
	SCHMIDT (2000)	$q_{T,d} > 240 \text{ l/(EW} \cdot \text{d)}$
	ATV-DVWK (2004)	erhöhte hydraulische Belastung von Regenbecken im Mischsystem Anzahl Entlastungstage $\geq 30 \text{ 1/a}$ Überlaufdauer Fangbecken $\geq 150 \text{ h/a}$ Überlaufdauer Durchlaufbecken $\geq 300 \text{ h/a}$ Entleerungsdauer $\geq 24 \text{ h}$ erhöhter Zufluss und veränderte Zuflusskonzentrationen zu kommunalen Kläranlagen Fremdwasser FWA > 50 % $q_{T,d,mM} > 300 \text{ l/(EW} \cdot \text{d)}$ CSB $C_{CSB,mM} < 400 \text{ mg/l}$ Ammoniumstickstoff $C_{NH4-N,mM} < 35 \text{ mg/l}$ Phosphor $C_{P,mM} < 6 \text{ mg/l}$ Nitrat *) $C_{NO3-N,mM} > 5 \text{ mg/l}$ *) Hinweis auf Fremdwasser durch nitratreichen Grundwasserzufluss aus landwirtschaftlichen Außengebieten
Ausland	Amerika EPA (1985 und 1991)	> 450 l/(E·d) bzw. etwa 120 gpcd im Trockenwetterfall (höchster durchschnittlicher Abwasserzufluss in 7 bis 14 Tagen während hoher Grundwasserstände) > 1000 l/(E·d) bzw. etwa 275 gpcd bei Regenwetter (höchster gemessener täglicher Abwasserzufluss während eines Regenereignisses)
	Kanada NRC (2003)	Infiltration > 500 l/(d·mm _{DN} ·km _{Kanal}) Inflow > 1000 l/(E·d) 0,13 l/(s·ha) während eines Niederschlagsereignisses mit 5-jähriger Wiederkehrdauer in Vancouver 0,14 l/(s·ha) bzw. 1,74 l/(s·km) in Quebec

Eine wasserrechtliche Regelung bezüglich eines zulässigen Fremdwasseranfalls auf Bundes- oder Länderebene ist bis heute nicht erfolgt. Einzelne Bundesländer haben jedoch im Rahmen ihrer Ausführungsverordnungen zum Abwasserabgabengesetz Grenzwerte für einen zulässigen Fremdwasseranteil festgelegt.

Nach § 7a WHG liegen die wasserwirtschaftlichen Ziele des Gesetzgebers auf einer Verringerung der Schadstofffrachten und nicht der Schadstoffkonzentrationen. In diesem Sinne ist auch das grundsätzliche wasserrechtliche Verdünnungs- und Vermischungsverbot nach § 3 AbwV zu sehen. Bei Überschreitung einer zulässigen Verdünnung kann dies je nach landesspezifischer Regelung zu einem Verlust der Ermäßigung der Abwasserabgabe (§ 9 AbwAG) bzw. der Abgabeermäßigung für die Einleitung von Niederschlagswasser (siehe § 7 AbwAG) führen.

In Tabelle 12 sind die länderspezifischen Festlegungen des Grenzwertes einer unzulässigen Verdünnung von Abwasser durch Fremdwasser im Sinne des Abwasserabgabengesetzes dargestellt.

Tabelle 12: Regelungen der Bundesländer zum Abwasserabgabengesetz hinsichtlich Verdünnung und Vermischung

Bundesland	Konkretisierung
Baden-Württemberg	Nach § 115a WG Baden-Württemberg (2005) ist für die Gewährung einer Ermäßigung der Abwasserabgabe ab einem Fremdwasseranteil von 50 % im Jahresmittel der Nachweis zu führen, dass ein höherer Anforderungswert $AW = Q_T / (Q_T - Q_F) \cdot \dot{U}W_{\max}$ die Mindestanforderungen der Kläranlage einhält. Aufwendungen, die zur Verringerung der Verdünnung führen (bspw. fremdwasserreduzierende Maßnahmen) können mit der gezahlten Abwasserabgabe von 3 Jahren verrechnet werden. Das Fremdwasseraufkommen wird seit dem Jahr 2000 über das gleitende 21-Tage Minimumverfahren ermittelt.
Bayern	Das zulässige Fremdwasseraufkommen wird seit 1992 auf einen Fremdwasseranteil von 25 % im Jahresmittel begrenzt, bei Überschreitung ist ein höherer Anforderungswert für die Kläranlage maßgebend; dieser wird an jedem einzelnen amtlichen Messwert überprüft (Art. 8a BayAbwAG, 2005; VwVBayAbwAG, 2003; EÜV Bayern, 2003). D. h. die konzentrationsbezogenen Anforderungen nach AbwV werden verschärft. Die Ermittlung des Fremdwasseraufkommens erfolgt durch die Nachtminimum-Methode.
Hessen	Der Fremdwasseranteil soll den Schmutzwasseranteil nicht überschreiten. Ausnahmen existieren bei der Abwasserreinigung bei Nachweis der ausreichenden Stofffrachtminimierung (CSB, N, P) und ordnungsgemäßer Behandlung der Abwassermenge (Allg. VwV für den Vollzug des AbwAG, 1995; HAbwAG, 2005)
Nordrhein-Westfalen	Eine unzulässige Verdünnung oder Vermischung liegt nicht vor bei einem spez. Abwasseranfall von $q_{T,d} \leq 300 \text{ l/(E} \cdot \text{d)}$. Bei $300 < q_{T,d} < 450 \text{ l/(E} \cdot \text{d)}$ ist ein Nachweis über den Wirkungsvergleich für den CSB für 6 Monate im Winterhalbjahr zu führen. Bei nicht erbrachtem Nachweis oder $q_{T,d} \geq 450 \text{ l/(E} \cdot \text{d)}$ liegt eine unzulässige Verdünnung vor (Runderlassentwurf des MUNLV NRW, 1998). Als Berechnungsgrundlage war die Jahresschmutzwassermethode vorgesehen.
Sachsen	Es besteht die Möglichkeit der Reduzierung der Abwasserabgabe, wenn die Kläranlagen trotz Fremdwasser keine hydraulische Überlastung aufweisen und einen Mindestwirkungsgrad hinsichtlich der Frachten des Parameters CSB leisten (VwV des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landesentwicklung zur Erhebung der Abwasserabgabe, 1992).
Thüringen	Die Ermäßigung der Abwasserabgabe entfällt bei einem Fremdwasseranteil $\geq 50 \%$. Ermäßigungen sind zulässig, wenn ein entsprechender Wirkungsgrad bei der Frachtelimination nachgewiesen werden kann. Die Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung sind mit der Abwasserabgabe nicht verrechnungsfähig (ThürVwVAbwAG, 2003; ThürAbwAG, 2005).
Rheinland-Pfalz	Es gibt keine Definition einer zulässigen Verdünnung, allerdings Hinweise in § 9 LABwAG auf die Verfahrensweise zum Versagen der Ermäßigung der Abwasserabgabe bei Vorliegen einer unzulässigen Verdünnung (LABwAG, 2006).

Die obigen Ausführungen zeigen, dass Fremdwasser und die damit verbundenen Probleme sowohl in Deutschland als auch in anderen Staaten zu planerischen Fest-

legungen von Grenzen für Fremdwasser geführt haben. Welche technischen und historischen Entwicklungen hinter den jeweiligen Angaben stehen, ist nur schwer nachzuvollziehen. Im Gegensatz zu Deutschland mit $q_T > 300 \text{ l}/(\text{EW} \cdot \text{d})$ unterscheiden die USA zwischen dem Fremdwasserabfluss bei Trocken- und Regenwetter und legen damit unterschiedliche Grenzen für das nicht mehr zulässige grundwasser- bzw. niederschlagsbedingte Fremdwasser mit $q_{F,TW} > 450 \text{ l}/(\text{E} \cdot \text{d})$ bzw. $q_{F,MW} > 1000 \text{ l}/(\text{E} \cdot \text{d})$ fest. Für die Grenzen von Fremdwasser lässt sich nach Tabelle 11 einheitlich $q_F > 0,15 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{ha}_{\text{red}})$ nennen.

2.4.4 Analytische Verfahren zur Ermittlung des Fremdwassers

Zur Ermittlung des Fremdwasseraufkommens existieren verschiedene Verfahren, die in zahlreichen Veröffentlichungen beschrieben werden. Stellvertretend wird hier verwiesen auf Veröffentlichungen des Bundesamtes für Umweltschutz der Schweiz (BUS, 1984), ANNEN (1994), DOHMANN und HELLE (1997) sowie LfU (2001). Eine ausführliche Zusammenstellung und Bewertung der einzelnen Verfahren finden sich bei ATV-DVWK (2003a), FUCHS et al. (2003), LUCAS (2003), DE BENEDITTIS (2004), DE BENEDITTIS und BERTRAND-KRAJEWSKI (2004a), WEIDELNER et al. (2006) sowie PECHER (2005b). Die gebräuchlichsten Verfahren sind die

- Jahresschmutzwassermethode (BUS, 1984 und NEBAUER, 2000),
- Methode des Nachtminimums (BUS, 1984 und ATV-DVWK-A 198, 2003),
- Methode des gleitenden Minimums (BROMBACH et al., 2002),
- Dreiecksmethode (BROMBACH et al., 2002) und die
- Chemische Methode (BUS, 1984; HAGER et al., 1984 und 1985).

In der Praxis haben sich verschiedene Methoden zur rechnerischen Bestimmung des Fremdwasseraufkommens bewährt und in die Regelwerke der ATV-DVWK, in die Ausführungsbestimmungen zu den Landeswassergesetzen sowie in die Hinweise zur Ermittlung der Abwasserabgabe Eingang gefunden. In Deutschland wird der Fremdwasseranfall nach Angaben von DECKER (1997) und LUCAS (2003) vorwiegend durch Bilanzierung der Jahresschmutzwassermenge und durch Messung des minimalen Nachtzuflusses zur kommunalen Kläranlage bestimmt. Die Auswertung des Fremdwasserzuflusses zu kommunalen Kläranlagen im Rahmen der Eigen- und Fremdüberwachung erfolgt in Nordrhein-Westfalen und Bayern derzeit mit dem Nachtminimumverfahren.

Bei den Bestimmungsmethoden für Fremdwasser sind abhängig von den Einsatzrandbedingungen Abweichungen der Methoden untereinander um bis zu 20 % mög-

lich (DE BÉNÉDITTIS und BERTRAND-KRAJEWSKI, 2004a). Nach Untersuchungen von FUCHS et al. (2003) und WEIDELNER (2004) liefert die Jahresschmutzwassermethode im Vergleich mit der Methode des gleitenden Minimums, dem Nachtminimumverfahren und der Dreiecksmethode bei Auswertung monatlicher Mittel vergleichsweise den höchsten Fremdwasseranfall, gefolgt von der Methode des gleitenden Minimums und dem Nachtminimumverfahren. Die Dreiecksmethode ergibt den geringsten Fremdwasserabfluss. Alle Methoden haben jedoch gemein, dass sie den niederschlagsbedingten Fremdwasserabfluss, besonders im Schmutzwasserkanal eines Trennsystems, und den Fremdwassernachlauf aus Dränagen und Undichtigkeiten nach einem Regenereignis nicht ausreichend genau erfassen. Welche Methode nun letztendlich am besten angewendet werden sollte, lässt sich pauschal nicht beantworten. Vielmehr ist die Grundwasser- und Niederschlagswassercharakteristik eines Einzugsgebietes für die Auswahl entscheidend bzw. die Ergebnisse aller Methoden sollten vergleichend gegenübergestellt werden.

Neuere Untersuchungen nach DE BÉNÉDITTIS und BERTRAND-KRAJEWSKI (2004b), CLARA et al. (2004), FENZ et al. (2004), KRACHT und GUJER (2005a) sowie KRACHT et al. (2005b) erlauben die Quantifizierung der Grundwasserinfiltration in Abwasserkanalnetze mit Hilfe der Isotopenzusammensetzung des Wassers als natürlichen Tracer („Isotopen-Methode“) oder indirekt durch eine kombinierte Analyse des zeitlichen Verlaufs der Schmutzstoffkonzentration und der Abflussganglinie („Pollutographen-Methode“).

2.5 Auswirkungen des Fremdwassers auf die Planung und den Betrieb von Abwasseranlagen

Die Auswirkungen von Fremdwasser auf den Betrieb von Abwasseranlagen wurden sowohl in der Fachöffentlichkeit umfassend diskutiert als auch im Rahmen von vielen Veröffentlichungen behandelt (KROISS und PRENDL, 1996; DECKER, 1998; HARTWIG und LANGE, 2000; MICHALSKA und PECHER, 2000; HENNERKES, 2003; ATV-DVWK, 2004). Eine Umfrage der Abwasserberatung NRW (2002) bei nordrhein-westfälischen Kommunen ergab, dass Fremdwasser betriebliche Störungen bewirkt und zu erhöhte Kosten beim Betrieb und der Abwasserabgabe führt.

In der Praxis werden in der Regel nur die Auswirkungen des Fremdwassers hinsichtlich der hydraulischen Überlastungen von Kanälen und vermehrten Entlastungen aus Bauwerken zur Regenwasserbehandlung gesehen. Die Folgen der Abwasserverdünnung durch Fremdwasser, wie beispielsweise erhöhte emittierte Nährstofffrachten im Ablauf von Kläranlagen, werden dagegen selten als Folge eines hohen Fremdwasseraufkommens angeführt. Die meisten deutschen Kläranlagen erfüllen

zwar die über Konzentrationen festgelegten Emissionsgrenzwerte nach Anhang 1 der Abwasserverordnung, bei genauerer Bilanzierung wird allerdings deutlich, dass ein Teil der Anlagen mit verschärften Anforderungen (Größenklassen 4 und 5) keinen ausreichenden Wirkungsgrad der Frachtreduktion beim Parameter Stickstoff erreicht (ATV-DVWK, 2003b und MUNLV NRW, 2004a).

2.5.1 Kanalisation und Pumpwerke

Bei der Schwemmkanalisation hat Fremdwasser durchaus positive Einflüsse auf den Betrieb eines Entwässerungssystems. Durch den größeren Abfluss im Kanal und die hierdurch höheren Schleppkräfte wird der Stofftransport verbessert und mit Hilfe des entstehenden Spüleffektes dauerhafte Ablagerungen verringert. Auch bereits sedimentierte Feststoffe können besser remobilisiert werden. Zu diesem Zweck wurden die Regenabflüsse von Dachflächen früher gezielt an die Anfangshaltungen einer Kanalisation, vornehmlich eines Schmutzwasserkanals, angeschlossen. Ein erhöhter Sauerstoffeintrag durch Niederschlagswasser vermindert das Anfaulen des Abwassers. Eine Geruchsbelästigung und Entstehung von Schwefelwasserstoff mit der Gefahr von biogener Schwefelsäurekorrosion wird durch die Verdünnung mit Fremdwasser verringert (FRECHEN und KÖSTER, 2003).

Im Allgemeinen überwiegen allerdings die Nachteile eines hohen Fremdwasseraufkommens aus verschiedenen Gründen; diese werden nachstehend aufgeführt:

- Ein hoher Fremdwasseranteil führt zu einer hydraulischen Belastung der Abwasserkanäle. Vor allem bei Schmutzwasserkanälen des Trennsystems besteht die Möglichkeit einer hydraulischen Überlastung mit der Gefahr von Rückstau und Überflutungen. Dies führt bei den betroffenen Bürgern zu einer erhöhten Aufmerksamkeit und auch Sensibilisierung der Politiker, tätig zu werden. Auch nicht zulässige Abschlüsse aus den Schmutzwasserkanälen in Gewässer sind in der Praxis nach Angaben von SITZMANN (2000) noch zu finden, um die nachfolgende Kläranlage vor hydraulischer Überlastung zu schützen und Schlammverlust aus der Nachklärung zu vermeiden.
- Bei Pumpwerken im Kanalnetz führt Fremdwasser zu verlängerten Laufzeiten und höherer Schalthäufigkeit der Pumpen. Reservepumpen laufen unerwünscht lange dauerhaft und erschweren Wartungs- und Reparaturarbeiten. In der Konsequenz unterliegen die Laufräder und die Elektroanlagen einem stärkeren Verschleiß und führen zu höheren Betriebskosten.
- Das als Fremdwasser bezeichnete in den Kanal eindringende Grundwasser kann infolge Bodeneintrags je nach Schaden, hydrostatischem Druck und Bodenart zur

Bildung von Lagerungsdefekten und Hohlräumen führen. In der Konsequenz kann die Standsicherheit des Kanals, des umgebenden Bodenkörpers und auch der Bebauung gefährdet sein (ATV-DVWK, 2003c).

- Grundwassergespeistes Fremdwasser führt je nach chemischen Eigenschaften zur Innenkorrosion von Gusseisenrohren und zementgebundenen Baustoffen. Grundwasser enthält häufig kalklösende Kohlensäure, Sulfate und Ammoniumsalze, wodurch eine Lösung des Calciumhydroxides im Zementstein und Sulfatreiben entstehen kann (DECKER, 1998).
- Mineralhaltiges Grundwasser kann bei einer Infiltration in gering durchflossene Abwasserkanäle bei Oxidation zur Ausfällung von Salzen (vorwiegend Eisen- und Manganverbindungen) und zur Bildung von Verockerungen führen (ATV-DVWK, 2003a).
- Durch einen unplanmäßigen Anschluss von Außengebieten können durch das zufließende Fremdwasser Feststoffe in die Kanalisation eingespült werden. Hierdurch steigt der Betriebsaufwand bei der Kanal- und Sinkkastenreinigung.

2.5.2 Regenwasserbehandlungsanlagen

Bis Mitte der siebziger Jahre wurde der über den Bemessungszufluss der kommunalen Kläranlage hinausgehende Abwasservolumenstrom im Mischsystem über Regenüberläufe in Gewässer entlastet. Ausgelöst durch die nicht mehr hinnehmbare Gewässerbelastung und mit Erscheinen des Arbeitsblattes ATV-A 128 (1977) setzte zunehmend der Bau von Regenwasserbehandlungsanlagen in Form von Regenüberlaufbecken (RÜB) und Stauraumkanälen (SK) ein (BROMBACH, 2004). Durch die Abflussdrosselung in diesen Anlagen fällt ein Übermaß an Fremdwasser dort schnell ins Gewicht.

Bei der Bemessung von Regenüberlaufbecken und Stauraumkanälen wirkt sich Fremdwasser auf das erforderliche Speichervolumen und die entlastete Mischwassermenge aus. Bei Ansatz einer konstanten Fremdwasserabflussspende bei der Bemessung führt die Saisonalität von Fremdwasser bei diesen Anlagen im Sommer zu einer Unterlastung und in den Wintermonaten zu einer Überlastung mit langen Entleerungs- und Entlastungszeiten.

Nach Bild 15 nimmt das erforderliche Speichervolumen mit steigender Fremdwasserabflussspende zu und die zulässige Jahresentlastungsrate ab. Hierbei ist die Größe des Drosselabflusses von entscheidender Bedeutung. DECKER (1998) verdeutlicht am Beispielnetz des Arbeitsblattes ATV-A 128, dass eine Versechsfachung der Fremdwasserabflussspende von $q_F = 0,1 \text{ l/(s} \cdot \text{ha}_{\text{red}})$ (Bemessungsgrundlage) auf

0,6 l/(s·ha_{red}) zu einem Anstieg des Speichervolumens um 350 % auf 121 m³/ha_{red} führt. Das wirtschaftlich vertretbare spezifische Speichervolumen von 40 m³/ha_{red} nach ATV-A 128 (1992) wird bereits bei $q_F = 0,21$ l/(s·ha_{red}) erreicht.

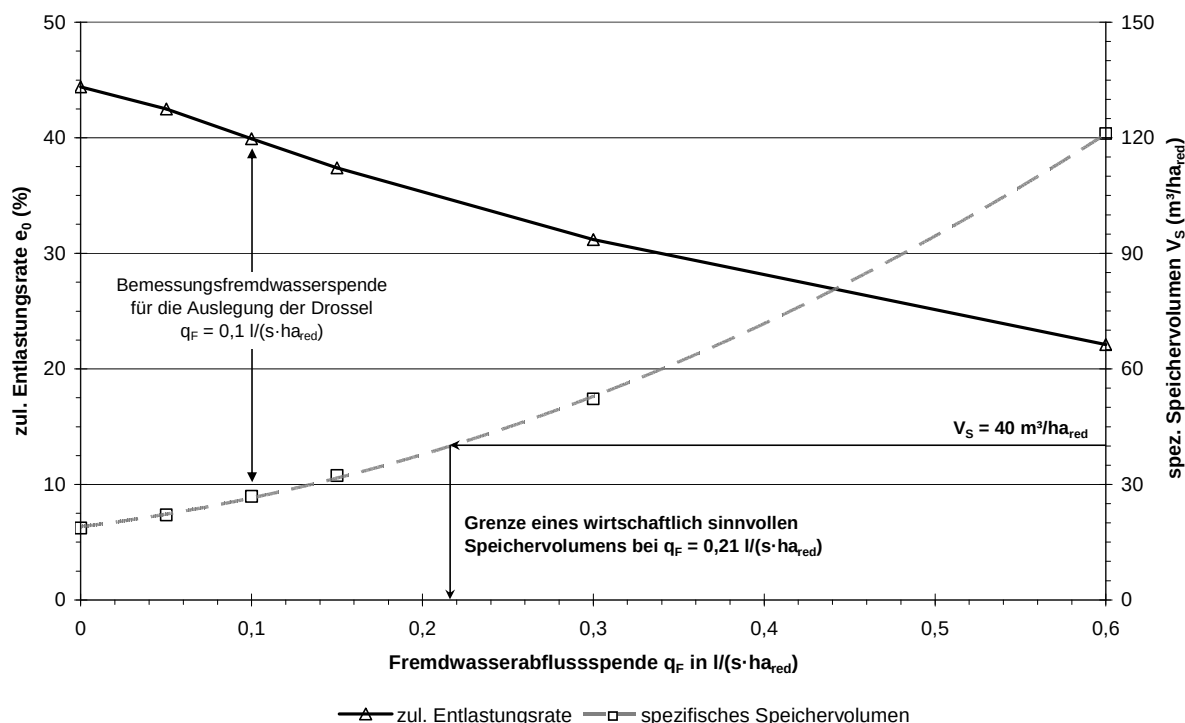


Bild 15: Einfluss des Fremdwassers auf das erforderliche spez. Speichervolumen V_S und die zul. Jahresentlastungsrate e_0 für ein ausgewähltes Beispiel (nach DECKER, 1998 und ATV-DVWK, 2004)

Wird der Fremdwasseranteil bei der Bemessung zu gering eingeschätzt, steigen die in das Gewässer entlasteten Mischwassermengen und Stofffrachten. Die sich hierdurch ergebende Mehrbelastung des Gewässers ist erheblich. DECKER (1998) wies am Beispielnetz des ATV-A 128 (1992) bei einem Anstieg der Fremdwasserabflussspende q_F von 0,1 auf 0,6 l/(s·ha_{red}) eine Erhöhung der in das Gewässer entlasteten CSB-Schmutzfracht um 80 % nach.

Nach Bild 16 nehmen mit steigendem Fremdwasseranteil die Entlastungshäufigkeit und die Entlastungsdauer bei Anlagen zu, die für einen geringeren als den tatsächlichen Fremdwasseranteil bemessen wurden. Dies führt zu einer vorzeitigen Entlastung von Mischwasser in die Gewässer. Legt man bei der Planung Fremdwasserabflussspenden von 0,05 bis 0,15 l/(s·ha_{red}) zugrunde, nehmen Entlastungshäufigkeit und -dauer noch nicht signifikant zu. Erst ab einer Abflussspende von etwa 0,35 l/(s·ha_{red}) steigen die Entlastungen an. WEIDELNER et al. (2006) kommen anhand eigener Simulationsrechnungen zu einem ähnlichen Ergebnis.

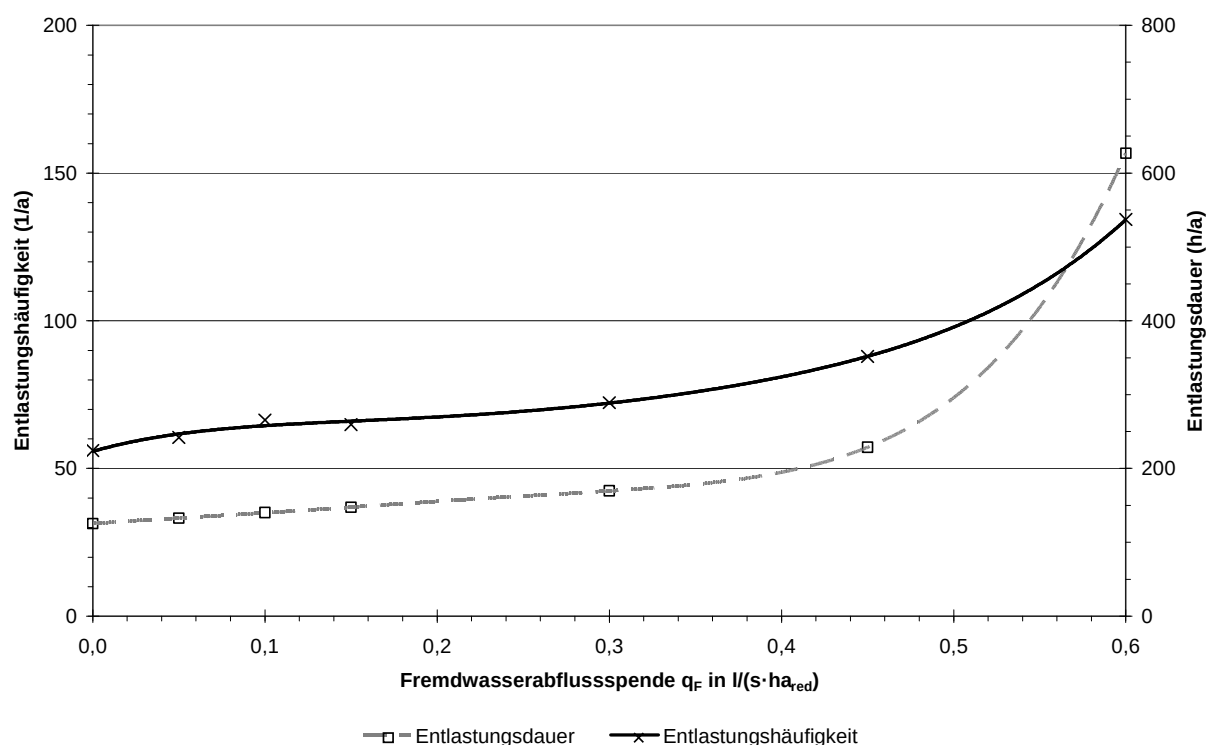


Bild 16: Entlastungshäufigkeit und -dauer bei Regenüberlaufbecken bei unterschiedlichen Fremdwasserabflussspenden (nach DECKER, 1998 und ATV-DVWK, 2004)

BROMBACH und WÖHRLE (1997) berichten, dass in Baden-Württemberg in den Wintermonaten zahlreiche Regenüberlaufbecken teilweise oder vollständig über längere Zeit gefüllt sind. Auch die LfU (2001) und LUCAS (2003) untersuchten die Überlaufdauern von Regenüberlaufbecken in Baden-Württemberg und bestätigten durch Fremdwasser bedingte hohe Entlastungshäufigkeiten und -dauern. Nach Auswertungen des Ruhrverbandes (SCHMIDT, 2003) lag die mittlere Einstaudauer von Regenüberlaufbecken in vier Einzugsgebieten von Kläranlagen im Sauerland bei 1 bis 140 d/a, die mittlere Entlastungsdauer bei bis zu 85 d/a.

Die Bemessung solcher Anlagen erfolgte in der Regel auf den mittleren Jahresfremdwasserzufluss, sodass insbesondere im Winterhalbjahr der fremdwassergeprägte hohe Zufluss den Drosselabfluss übersteigt und diese Becken einstauen. Dieser Effekt verstärkt sich bei hintereinander liegenden Regenbecken. Die Anhaltswerte der DWA zur Überlaufdauer (siehe Tabelle 11) werden hierbei in der Praxis deutlich überschritten.

Auch die Entleerungszeit nimmt bei Anlagen zu, die für einen geringeren als den tatsächlichen Fremdwasseranteil bemessen wurden. DECKER (1998) weist mit Simulationsrechnungen an einem kleinen Entwässerungsnetz nach, dass ein als Durchlaufbecken ausgeführtes Regenüberlaufbecken bereits ab einer Fremdwasserabfluss-

spende von 0,2 - 0,4 l/(s·ha_{red}) die nach Arbeitsblattes ATV-A 128 (1992) empfohlene Entleerungsdauer von 10 bis 15 Stunden nicht mehr einhält.

Für Regenklärbecken (RKB) in Trennsystemen gelten bzgl. Fremdwasser annähernd die gleichen Aussagen, wie sie für die Regenüberlaufbecken und Stauraumkanäle getroffen wurden. Systematische Untersuchungen von PAULSEN (1986) und HAHN (1994) über die Verschmutzung des im Trennsystem aus urbanen Gebieten abfließenden Regenwassers haben nämlich gezeigt, dass Spurenschadstoffe in teils erheblichen Konzentrationen vorliegen können. Auch eine Gegenüberstellung der Verschmutzung der Abflüsse in Trenn- und Mischsystemen von WEISS et al. (2004) zeigt, dass aus den Mischsystemen zwar höhere Nährstofffrachten in die Gewässer emittiert werden, aus den Trennsystemen jedoch höhere Schwermetallfrachten in die Gewässer gelangen.

Regenrückhaltebecken (RRB) werden sowohl im Kanalnetz zur Translation der Welle eingesetzt als auch Entlastungen zum Schutz des Gewässers vor zu hoher hydraulischer Belastung nachgeschaltet. Sie dienen somit der verzögerten Ableitung und bewirken eine Abflusssdämpfung. In Nordrhein-Westfalen entfallen 12 % der insgesamt 7520 Regenbecken bzw. Regenüberläufe auf Regenrückhaltebecken in Trennsystemen, 8 % auf RRB im Mischsystem und 5 % auf RRB, die Entlastungen nachgeschaltet sind (MUNLV, 2004a). Fehlerhafte Fremdwasseransätze bei der Bemessung wirken sich ähnlich aus wie bei Regenüberlaufbecken. Die Einstauhäufigkeit und -dauer nehmen mit steigendem Fremdwasseranteil zu.

2.5.3 Regenüberläufe

Regenüberläufe (RÜ) werden im Mischsystem zur Begrenzung des kritischen Mischwasserabflusses angeordnet. Sie erfüllen keine Aufgaben der Speicherung oder Mischwasserbehandlung und entlasten direkt oder über ein Regenrückhaltebecken ins Gewässer. Regenüberläufe werden für die kritische Regenspende bemessen. Die kritischen Abflüsse von in der Regel bis zu 15 l/(s·ha) sind nach BROMBACH (2004) um ein Vielfaches größer als die Fremdwasserabflussspende. Fremdwasser hat somit hinsichtlich des Entlastungsvolumens eine untergeordnete Bedeutung (ATV-DVWK, 2004 und WEIDELNER et al., 2006).

Eine Überprüfung des Entlastungsverhaltens von Regenüberläufen auf der Basis einer hydrologischen Simulation durch DECKER (1998) zeigt an einem Fallbeispiel, dass eine Versechsfachung der Fremdwasserabflussspende eine Zunahme des entlasteten Mischwasservolumens um lediglich 4 % bedeutet. Die Entlastungskonzentrationen sinken dabei geringfügig infolge der Verdünnung des Mischwassers durch

das Fremdwasser. Die entlasteten Schmutzfrachten bleiben nahezu unbeeinflusst vom Fremdwasser.

2.5.4 Abwasserreinigungsanlagen

Fremdwasser verändert die Zusammensetzung des Rohabwassers. Mit steigendem Fremdwasseranteil nehmen der Abwasservolumenstrom und die Verdünnung zu. Die Zuflusskonzentration zur Kläranlage sinkt bei gleich bleibenden Frachten. Entsteht das Fremdwasser überwiegend dem Zufluss von kühlem Grundwasser, ist bei steigendem Fremdwasseranteil besonders auch bei der Schneeschmelze zusätzlich mit einem Temperaturrückgang des Abwassers zu rechnen. Hierdurch wird die Abwassertemperatur jedoch nur selten unter die Bemessungstemperatur von 10 bis 12°C bei kommunalen Kläranlagen abgesenkt. Obwohl eine niedrige Temperatur die kinetischen Reaktionen der Mikroorganismen verringert, sind in der gängigen Praxis mehrheitlich keine entscheidenden Auswirkungen eines Temperaturrückgangs auf die Abwasserreinigung zu verzeichnen (ATV-DVWK Arbeitsgruppe „Wärmenutzung“). Entscheidend für signifikante Auswirkungen auf die Reinigungsleistung einer Kläranlage ist demnach im Regelfall die Konzentrationsverringerung durch Verdünnung.

Ist eine Kläranlage im Betrieb von einem im Vergleich zur Bemessung gestiegenen Fremdwasseranteil betroffen, verringert sich nach KROISS und PRENDL (1996) bei hydraulisch bemessenen Absetzbauwerken die Abscheideleistung durch die höhere Oberflächenbeschickung. Betroffen hiervon sind besonders der Sandfang oder die Vorklärbecken. Durch geringere Konzentrationen im Vorklärbecken sind Stoßbelastungen für nachfolgende Anlagenteile jedoch reduziert. Damit wird die Gefahr einer Hemmung des mikrobiellen Abbaus im Regenwetterfall gemindert. Eine Dämpfung der Dynamik der hydraulischen Belastung bei Regenwetter durch eine kontinuierliche Fremdwasserbelastung führt zu weniger Turbulenzen und damit zu weniger Schlammabtrieb im Nachklärbecken (KREBS et al., 2000).

In erster Linie ergibt sich durch die fremdwasserbedingte Verdünnung und Zuflusserhöhung zur Kläranlage bei den biologisch nicht-abbaubaren Stoffen eine Konzentrationsverringerung im Ablauf der Kläranlage. Obwohl die Frachten in der Bilanz unverändert bleiben, wird durch die verringerten Konzentrationen eine bessere Reinigungsleistung vorgetäuscht. Die konzentrationsbezogenen Anforderungen des Anhangs 1 der Abwasserverordnung lassen sich so besser einhalten. Bei den biologisch abbaubaren Stoffen gilt dies zunächst in gleichem Maße. Verstärkend hinzu kommt jedoch ein verringerter Wirkungsgrad der biologischen Abwassereinigung, so dass auch die Frachtbelastung des Gewässers zunimmt. Dies ist besonders bei der

Einhaltung der frachtbezogenen Anforderungen nach der Kommunalabwasserrichtlinie (RL 91/271/EWG) interessant. In empfindlichen Gebieten gelten für Kläranlagen ab 10.000 EW strengere Anforderungen, hier ist zusätzlich zur physikalischen bzw. chemischen und biologischen Abwasserreinigung mit Kohlenstoffelimination eine Stickstoff- und Phosphorentfernung erforderlich. Nach Artikel 5 der Kommunalabwasserrichtlinie muss von den Mitgliedsstaaten der Nachweis erbracht werden, dass die Kläranlagen die geforderte Reinigungsleistung erbringen. Dies kann durch einen Einzelnachweis oder einen sog. 75 %-Nachweis im Landesmittel erfolgen. Im Rahmen der Erstellung des Lageberichts nach Artikel 16 der o. g. Richtlinie wurde festgestellt, dass in NRW im Jahr 2004 im Mittel über alle Kläranlagen insgesamt eine Stickstoffelimination von 80 % erzielt wurde und somit die Anforderungen eingehalten werden. Allerdings lassen sich bei detaillierter Betrachtung teils erhebliche Mängel auf kommunalen Kläranlagen bei der Frachtelimination von Stickstoff erkennen, die zwar auch aus noch nicht vollständig ausgebauten Kläranlagen resultieren, sich jedoch nach Angaben des MUNLV NRW (2005) mehrheitlich auf eine Verdünnung mit Fremdwasser zurückführen lassen.

Die Ablaufkonzentrationen der abbaubaren Stoffe sind gemäß der MONOD-Kinetik nur vom Schlammalter (dem reziproken Wert der Wachstumsrate der Mikroorganismen) und der Temperatur abhängig, nicht jedoch von den Zulaufkonzentrationen (WEIDELNER et al., 2006). Hieraus ergibt sich nach KROISS und PRENDL (1996), 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 (siehe Bild 17). Ein Grenzwert für die prozentuale Stickstoffentfernung mit abnehmendem Fremdwasseranteil wird damit leichter einhaltbar. Untersuchungen von WEIDELNER et al. (2006) ergaben, dass der verminderte CSB-Wirkungsgrad fast ausschließlich auf eine Verdünnung mit Fremdwasser zurückzuführen ist. Mikrobiologische Prozesse spielen kaum eine Rolle. Auch beim Parameter Stickstoff ist die Verdünnung bei geringem Fremdwasseranteil zunächst ausschlaggebend für einen erhöhten Frachtaustrag. Mit zunehmendem Fremdwasseranteil nimmt jedoch die Temperatur ab, wodurch das Wachstum der Nitrifikanten gehemmt wird und die Umsetzungsprozesse verlangsamt werden. Ein erhöhter Frachtaustrag ist dann zunehmend auch mit einer sinkenden Abwassertemperatur begründbar.

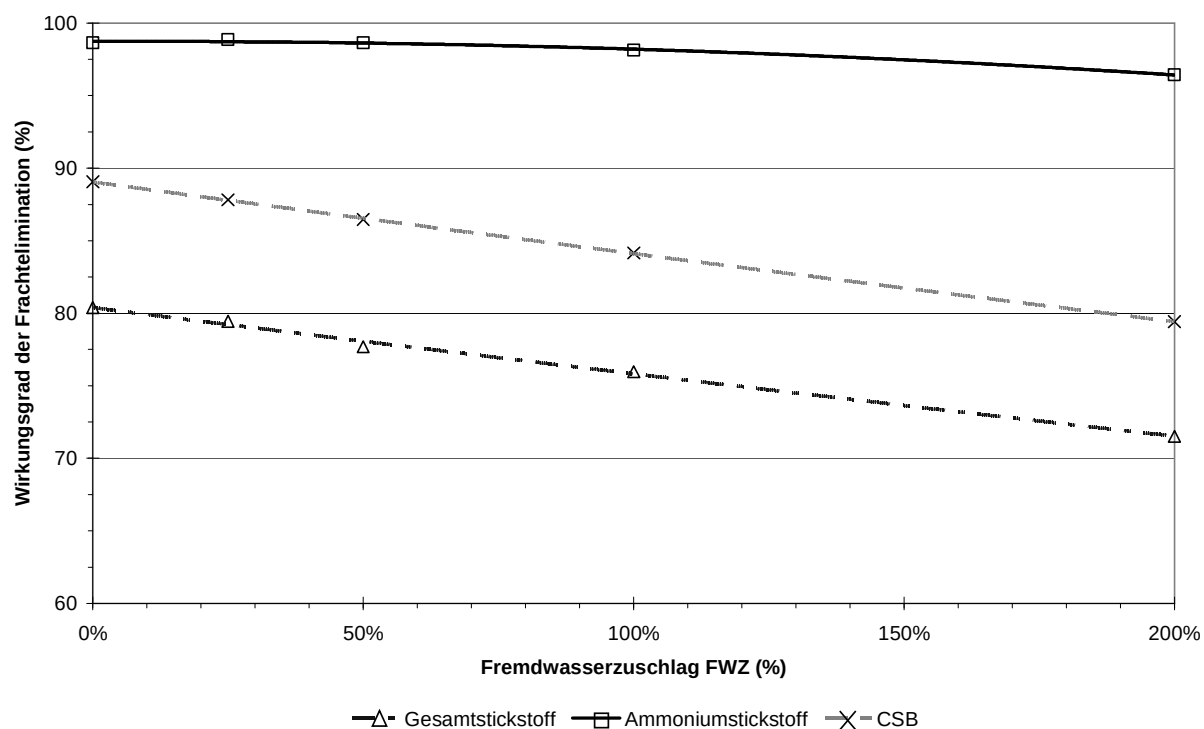


Bild 17: Wirkungsgrade der Frachtelimination (nach DECKER, 1998 und ATV-DVWK, 2004)

Vor allem bei fremdwasserbelasteten Kläranlagen im ländlichen Raum wird oft eine erhöhte Nitratkonzentration im Abwasser als Folge von infiltriertem, nitrathaltigem Grundwasser angenommen. Dies ist nur eingeschränkt richtig. Bereits im Kanalnetz findet ein vermehrter Vorabbau organischer Abwasserinhaltsstoffe durch Denitrifikation statt, so dass im Zulauf der Kläranlage in der Regel kein Nitrat mehr nachweisbar ist. Zusätzlich verringert sich hierdurch das Denitrifikationspotenzial für den Abbau des Nitratstickstoffs, da die Höhe der technisch möglichen prozentualen Stickstoffelimination durch Denitrifikation vom Verhältnis CSB zu N im Zulauf des Belebungsbeckens begrenzt wird. Durch den höheren Vorabbau im Kanalnetz liegt in der Denitrifikation weniger leicht abbaubares Substrat vor, so dass die Nitratablauffrachten ansteigen.

Nach HARTWIG und LANGE (2000) sowie HOSTETTLER (2003) nimmt auch der Wirkungsgrad der chemischen Phosphorelimination bei Fällung mit Metallsalzen mit steigendem Fremdwasseranteil ab. Die erforderlichen Mengen an Fällmittel sind von der Konzentration abhängig. Bei konzentrationsbezogenen Anforderungen sind mit zunehmendem Fremdwasseranfall und ebenfalls weniger Fällmittel erforderlich. Greifen jedoch frachtbezogene Anforderungen, steigt der Fällmittelbedarf mit zunehmendem Fremdwasseraufkommen bzw. stagniert.

Die beim Betrieb von Kläranlagen gesammelten Erkenntnisse zu den Auswirkungen von Fremdwasser können auch bei der Planung neuer Kläranlagen oder dem Aus-

bau bestehender Anlagen genutzt werden. Sofern die planerischen Angaben zum Fremdwasseraufkommen in der Literatur (siehe Tabelle 10) überschritten und keine Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung im Einzugsgebiet der Kläranlage durchgeführt werden, ist die Anlage - sofern genehmigungsrechtlich zulässig - auf den tatsächlichen Fremdwasserzufluss zu bemessen.

Im Bereich der mechanischen Abwasserreinigung einer Kläranlage bewirkt ein hoher Fremdwasserzuschlag bei allen hydraulisch bemessenen Teilen durch den höheren Abfluss einen linearen Anstieg der erforderlichen Oberfläche, Querschnittsfläche und des Volumens (DECKER, 1998).

Bei den Auswirkungen von Fremdwasser auf die Bemessung der biologischen Abwasserreinigung ist zwischen konzentrationsbezogenen und frachtbezogenen Reinigungsanforderungen zu unterscheiden. Für die Bemessung eines Belebungsbeckens auf Stickstoffelimination ergibt sich nach LANGE und HARTWIG (2000) bzw. DECKER (1998) mit zunehmendem Fremdwasserzufluss

- bei einer einzuhaltenden Ablaufkonzentration (z. B. nach Anhang 1 der Abwasserverordnung) ein abnehmendes erforderliches Volumen des Belebungsbeckens infolge größer werdender Verdünnung des Abwassers mit steigenden Ablauffrachten.
- bei einer einzuhaltenden Stofffracht (z. B. nach EG-Kommunalabwasserrichtlinie) ein steigendes erforderliches Volumen des Belebungsbeckens infolge des verringerten Bakterienwachstums.

In Bild 18 ist der Einfluss von Fremdwasser auf die Bemessung des Belebungsbeckens für die beiden geschilderten Fälle veranschaulicht. Es zeigt sich, dass das erforderliche Gesamtvolumen des Belebungsbeckens bei frachtbezogenen Anforderungen beträchtlich zunimmt. Bei einem in der Praxis durchaus üblichen Fremdwasserzuschlag von bspw. 200 % findet eine Volumenverdoppelung statt.

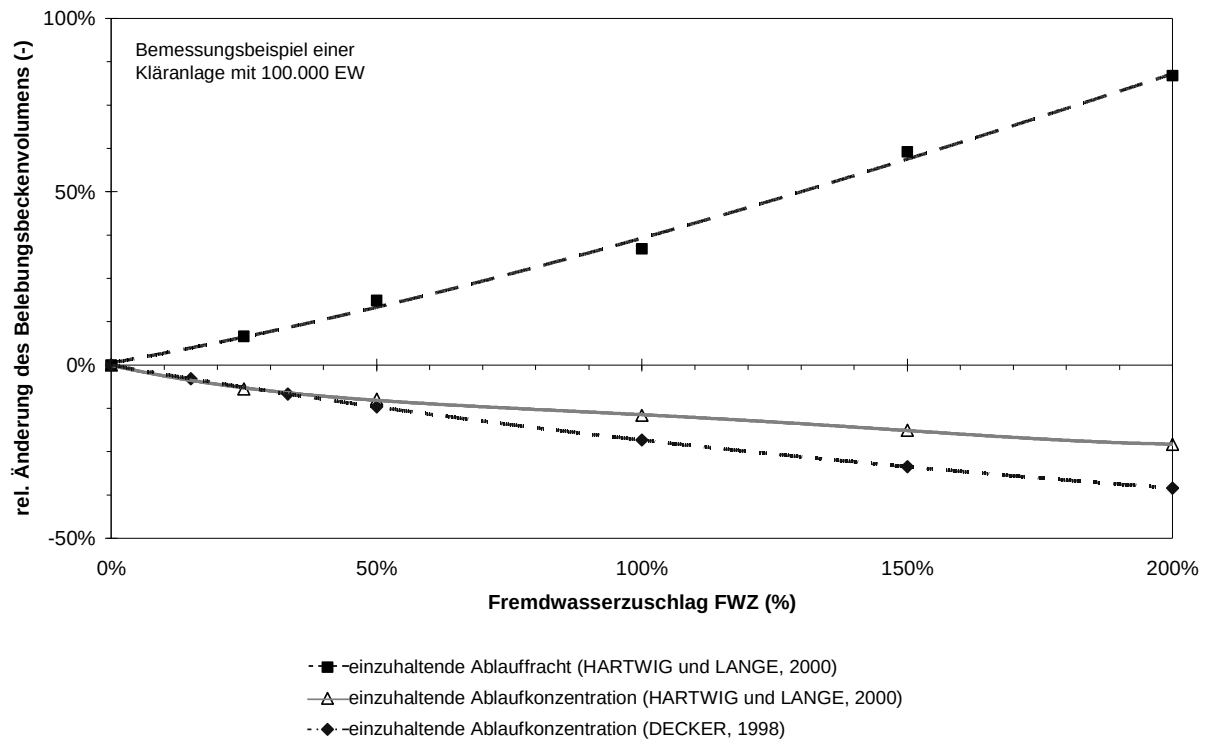


Bild 18: Einfluss des Fremdwassers auf das Volumen von Belebungsbecken bei der Neubemessung einer Kläranlage

2.5.5 Kosten

Die bisher in der Literatur aufgeführten Angaben zu den Kosten der Auswirkungen von Fremdwasser beziehen sich gewöhnlich auf Fallbeispiele und berücksichtigen nicht die unterschiedlichen Randbedingungen, die zum Auftreten von Fremdwasser führen. So können sich insbesondere bei Kanälen niedrigere Betriebskosten durch einen verringerten Reinigungsaufwand infolge der Spülwirkung von Fremdwasser ergeben. Bei Schmutzwasserkanälen macht sich im Gegensatz zu Mischwasserkanälen eine Zunahme des Abwasservolumenstromes infolge Fremdwasser schnell bemerkbar. Hier ist unter Umständen eine hydraulische Erweiterung um eine Nennweitengröße bei Fremdwasserzuschlägen von mehr als 100 % erforderlich (FLÖGL, 1987).

Aus den Beispielen lassen sich daher nur qualitative Ergebnisse ableiten. Verallgemeinernd betrachtet nehmen Investitions- und Betriebskosten der Abwasserableitung und -behandlung mit steigendem Fremdwasseraufkommen insbesondere bei kleinen Bemessungsanschlusswerten deutlich zu. In Tabelle 13 ist eine qualitative Kostenbetrachtung für einen zunehmenden Fremdwasseranteil vorgenommen. Ausführliche Angabe zu Kosten von Fremdwasser im Bereich der Abwasserableitung und -behandlung geben WEIDELNER et al. (2006) an.

Tabelle 13: Qualitativer Einfluss des Fremdwassers auf die Kosten von Abwasseranlagen (nach MICHALSKA und PECHER, 2000)

Abwasseranlage		Investitionskosten	Betriebskosten
Abwasserableitung (Kanalnetz)	Schmutzwasserkanal	+	-
	Regenwasserkanal	0	0
	Mischwasserkanal	0	-
	Pumpwerke	+	++
Regenwasserbehandlung	Regenrückhaltebecken	+	0
	Regenüberlaufbecken / Stauraumkanäle	++	0
Abwasserbehandlung (Kläranlage)	hydraulisch bemessene Anlagenteile	++	++
	biologische Abwasserreinigung mit konzentrationsbezogene Ablaufanforderungen	--	--
	biologische Abwasserreinigung mit frachtbezogenen Ablaufanforderungen	++	++
	Abwasserabgabe	k. A.	++
Erläuterungen: 0 keine bzw. geringe Beeinflussung der Kosten (++) + (starker) Anstieg der Kosten (--) - (starke) Abnahme der Kosten			

Ein hoher Fremdwasseranteil macht bei Pumpwerken im Kanalnetz die Installation von zusätzlichen Pumpen und damit auch einen größeren Baukörper erforderlich. Fremdwasser erhöht die Grundlast der Pumpwerke und führt zu höheren Bau- und Betriebskosten. Auf Kläranlagen bedingt Fremdwasser eine Vergrößerung von hydraulisch bemessenen Bauteilen und eine Erhöhung der Betriebskosten infolge zusätzlicher Pumpen, Räumlichkeiten und vergrößerter Gebläseleistung beim Belebungsbecken. Beim belüfteten Sandfang hingegen verringern sich der erforderliche Lufteintrag und damit auch die Betriebskosten.

Am Fallbeispiel einer Gesamtbetrachtung von Kanalnetz und Kläranlage schätzt DECKER (1998) die Beeinflussung der Kosten für den Fall der Belastung eines Entwässerungssystems mit Fremdwasser ab. Für den Fall einer Neubemessung der Abwasseranlagen auf 200 % Fremdwasserzuschlag (Bemessungsgrundlage ist ein Fremdwasserzuschlag von 33 %) kommt es zu einem Anstieg der Gesamtkosten um 32 %. Ohne Anpassung einer vorhandenen Abwasseranlage an den gestiegenen Fremdwasseranfall von 33 % auf 200 % FWZ entstehen betriebliche Mehrkosten in Höhe von nur 8 %.

2.6 Auswirkungen von Fremdwasser auf Gewässer

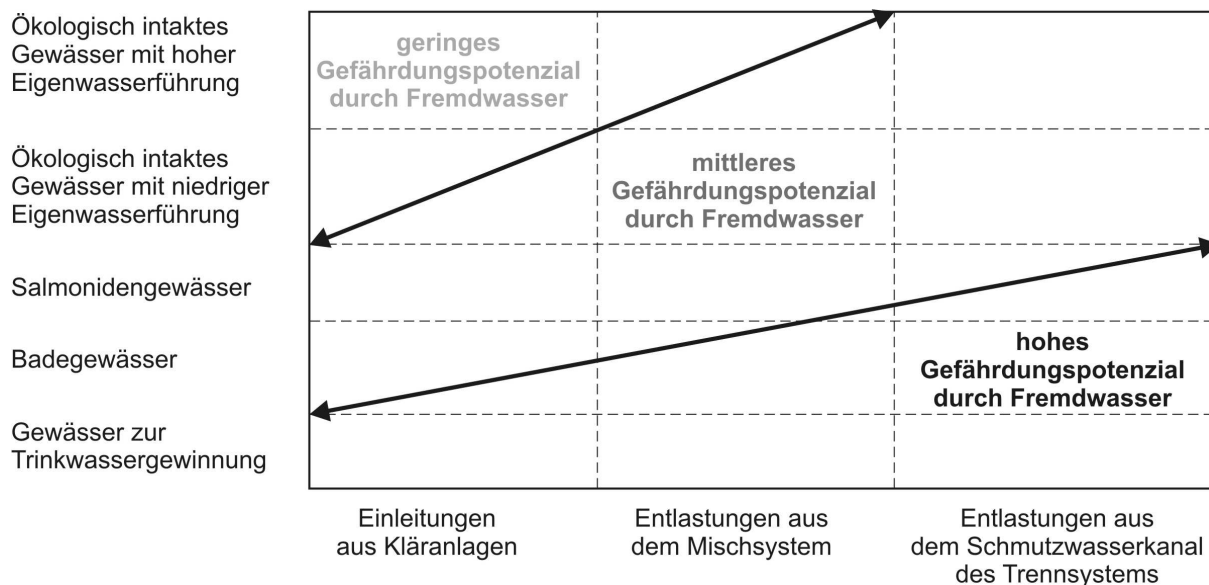
2.6.1 Oberirdische Gewässer

Oberflächengewässer werden durch Fremdwasser hydraulisch und stofflich aus Kläranlagenabläufen und Entlastungen aus Misch- bzw. Trennsystemen belastet. Die Entlastungen aus Mischsystemen nehmen mit steigendem Fremdwasserabfluss zu. Durch die Entlastungen wird ein Fließgewässer nach BORCHARDT (1993) stoßartig belastet, wodurch es unter hydraulischen Aspekten zu einer Verdriftung und damit zu einem lokalen Verlust von gewässertypischen Organismen im Gewässer kommen kann. In zweiter Linie ist mit dem Eintrag von Abwasser in ein Gewässer langfristig eine Anreicherung von toxischen und sauerstoffzehrenden Stoffen verbunden. Bei länger andauernden oder häufigen Entlastungsereignissen besteht die Gefahr einer Akkumulation von Schadstoffen, Mikroorganismen und Viren sowohl im Gewässersediment als auch in den Gewässerlebewesen (BORCHARDT, 2000 und MERTSCH et al., 2001).

Fremdwasser beeinflusst nach SCHULZ et al. (2005) die Hydraulik und den Stofftransport von Fließgewässern. Für langfristige Betrachtungen sind die Gesamtfrachten emittierter toxischer und sauerstoffzehrender Stoffe von Interesse. Hierbei dominiert insbesondere die akkumulative Belastung des Gewässers durch die Gesamtfracht an CSB, Stickstoff und partikulärer Stoffe aus der Kläranlage. Für kurz- und mittelfristige Betrachtungen sind die Konzentrationen des entlasteten Abwassers und die Häufigkeit bzw. Dauer der Entlastungen von Interesse.

In Bild 19 ist das Gefährdungspotenzial durch Fremdwasser für unterschiedliche Gewässerfunktionen auf Basis einer Auswertung nach MERTSCH und SCHMIDT (2002) dargestellt. Es zeigt sich, dass ein Gewässer umso sensibler auf eine fremdwasserbedingte Einleitung reagiert, je höher die Nutzfunktion ist. So weisen die zur Trinkwassergewinnung genutzten Gewässer zusammen mit den Badegewässern den höchsten Schutzbedarf auf. Aus stofflicher Sicht stellen nicht genehmigungsfähige Entlastungen aus dem Schmutzwasserkanal des Trennsystems die höchste Belastung eines Gewässers dar, gefolgt von den Entlastungen aus dem Mischsystem und Kläranlageneinleitungen.

Neuere Untersuchungen (MUNLV, 2005; DOHMANN, 2005) zeigen, dass insbesondere durch Einleitungen von Regenwasser aus dem Trennsystem höhere Emissionen an Schwermetallen und organischen Spurenstoffen in ein Gewässer erfolgen als bei Einleitungen aus Mischwasserbehandlungsanlagen und Kläranlagen. Aufgrund dessen ist zu vermuten, dass die Emissionen dieser Stoffe auch bei fremdwasserbedingten Einleitungen aus dem Regenwasserkanal eines Trennsystems ansteigen.

**Erläuterungen:**

- Entlastungen aus Schmutzwasserkanälen eines Trennsystems sind nicht genehmigungsfähig.
- Einleitungen aus Regenwasserkanälen eines Trennsystems sind relativ gesehen als geringfügige Belastung der Gewässer einzustufen und daher nicht dargestellt.

Bild 19: Gefährdungspotenzial der Gewässer durch Fremdwasser (verändert nach MERTSCH und SCHMIDT, 2002)

Zur Beschreibung der Auswirkungen von fremdwasserbedingten Immissionen auf die Güte von Fließgewässern kann eine Zusammenstellung der ATV-Arbeitsgruppe 2.1.1 (ATV, 1993) herangezogen werden. Die Auswirkungen von Fremdwasser auf die Gewässergüte auf der Basis einer Gesamtbetrachtung fremdwasserbedingter Immissionen und deren Tendenz sind in Tabelle 14 zusammengefasst.

Tabelle 14: Stoffliche und hydraulische Auswirkungen von Fremdwasser aus Abwassereinleitungen auf Fließgewässern (DECKER, 1998)

Wirkung	Auswirkung des Fremdwassers	Gewässerabschnitt	gewässerrelevante Auswirkung
stofflich	Verdünnung der Konzentration und Erhöhung der Fracht	rhital (Bachbereich)	keine akute Gefährdung durch Schad- und Nährstoffe wegen der hohen Wiederbelüftungsrate
		potamal (Flussbereich)	Zunahme der Gefährdung durch Akkumulation von Schad- und toxischen Stoffen Zunahme des Sauerstoffbedarfs
hydraulisch	Erhöhung des Abflussvolumenstroms	rhital (Bachbereich)	Zunahme des hydraulischen Stresses und des Sauerstoffbedarfs
		potamal (Flussbereich)	Sohlerosion mit Substratumlagerungen und Organismenabdrift möglich Remobilisierung von sedimentiertem, sauerstoffzehrendem Material

Eine Bewertung der Auswirkungen einer Einleitung von Abwasser in ein Gewässer existiert auf gesetzlicher Ebene nur auf der Basis des Emissionsprinzips. Immissionsbezogene, gesetzliche Anforderungen an die Einleitung von Abwasser in ein Gewässer gibt es zurzeit noch nicht. Ergänzend geben die Wasserrahmenrichtlinie und das BWK-Merkblatt M3 Impulse und Hinweise zur immissionsbezogenen Bewertung von Einleitungen und Entlastungen in Gewässer. Bei der Immissionsbetrachtung ist immer eine Einzelfallbetrachtung des Ökosystems erforderlich. In einer Beurteilung der Umweltrelevanz, bspw. mit Hilfe von Ökobilanzen, fließen auch übergeordnete Aspekte ein.

2.6.2 Grundwasser

Neben den Auswirkungen des Fremdwassers auf Oberflächengewässer besteht auch eine maßgebliche Interaktion zwischen dem Grundwasser als Gewässer und dem Fremdwasser. Künstlich angelegte Dränagen und undichte Abwasserkanäle bzw. -leitungen wirken entwässernd auf den Boden und können zu einer künstlichen Absenkung des Grundwasserspiegels führen. Im Gegenzug können Sanierungsmaßnahmen im Bereich öffentlicher und privater Entwässerungsnetze zu einem Anstieg des Grundwasserspiegels und zu Einschränkungen im Wohnungsumfeld durch bspw. Vernässungen oder feuchte Keller führen (BWK Statusbericht, 2003 und GETTA et al., 2004). Auch zahlreiche andere Maßnahmen können einen Grundwasseranstieg verursachen, so dass letztendlich eine Kanalsanierung alleine nicht die eigentliche Ursache sein muss.

REICHEL und GETTA (2000) stellen beispielhaft die Interaktion zwischen undichten Kanälen und dem Grundwasserhaushalt am Beispiel einer Untersuchung der Em-schergenossenschaft dar. Hierbei wurden mit Hilfe von Grundwassersimulationsrechnungen am Beispiel eines 57 km² großen Untersuchungsgebietes die grundwasserhydraulischen Auswirkungen von Kanalsanierungen betrachtet. Zurzeit erfolgt die Entwässerung des Einzugsgebietes noch durch die ortstypischen, tief eingeschnittenen offenen Schmutzwasserläufe, die infolge der Bodensenkungen durch den Bergbau auch als Abwassersammler dienen. In vielen morphologisch tief liegenden Gebieten stellen zudem noch die nicht sanierten Kanalisationen eine Vorflut für das Grundwasser dar.

In der Untersuchung konnten diejenigen Bereiche lokalisiert werden, in denen der Grundwasserstand infolge des undichten Kanalnetzes und Dränagen derzeit niedrig gehalten wird. Eine Bilanzierung ergab, dass die Entwässerung von Bereichen mit hohem Grundwasserspiegel insgesamt zu 55 % über Oberflächengewässer und zu 45 % (entsprechend 4 Mio. m³ Fremdwasser pro Jahr) durch undichte Kanäle erfolgt.

Ebenfalls untersucht wurden die Auswirkungen einer vollständigen Sanierung der undichten Kanäle sowie des Abkoppeln der Dränagen. Hierbei wurde festgestellt, dass aufgrund der fehlenden Vorflut in großen Teilen der Städte mit einem großflächigen Anstieg des Grundwasserspiegels von bis zu 4 m zu rechnen wäre. Besonders in historisch gewachsenen Regionen kann eine Veränderung des Grundwasserspiegels bzw. der Grundwasserströmungen auch eine Mobilisierung von Altlasten mit sich führen (DWA, 2005).

Schlussendlich bleibt festzuhalten, dass zwar zahlreiche Möglichkeiten zur Ortung und analytischen Bestimmung von Fremdwasser entwickelt wurden, eine genaue Aufteilung des Fremdwasserabflusses in einem Entwässerungssystem auf die einzelnen Fremdwasserquellen jedoch bisher nicht möglich ist.

Obwohl keine einheitlichen Regelungen einer zulässigen Verdünnung existieren, ist das Fremdwasseraufkommen in einzelnen Regionen Deutschlands so hoch, dass Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung erforderlich werden. Für eine erfolgreiche Fremdwasserreduzierung sind neben den technischen Einsatzrandbedingungen von Maßnahmen aber auch rechtliche Aspekte und mögliche Auswirkungen dieser Maßnahmen auf das Grundwasser zu beleuchten. Diese Zusammenhänge sollen daher in einem nächsten Schritt genauer untersucht werden.

3 Technische Maßnahmen zur Vermeidung oder Reduzierung von Fremdwasser

3.1 Überblick

In Kapitel 2 wurden die Ursachen und Auswirkungen von Fremdwasser dargestellt. Nicht in jedem Fall sind die dort genannten negativen Auswirkungen von Fremdwasser erkennbar, oft bleibt Fremdwasser unbemerkt. Sofern ein fremdwasserbelastetes Entwässerungssystem funktionsfähig ist und keine schädlichen Auswirkungen bestehen, ist es als Lösung denkbar, das Fremdwasser im Kanalnetz zu belassen.

Treten jedoch Schäden oder Funktionseinschränkungen von Abwasseranlagen auf, ist ein hohes Fremdwasseraufkommen aus behördlicher Sicht durch fremdwasserreduzierende Maßnahmen auf ein tolerierbares Maß zu reduzieren (STEIN et al., 1995; KÖHLER und MEYER, 2003; NISIPEANU, 2003). Diese ergeben sich aus den durch die Genehmigungsbehörden festgelegten, meist immissionsbezogenen Anforderungen an das Entwässerungssystem und die zugehörigen Abwasseranlagen. Hierbei spielen weniger betriebliche oder ökonomische Gesichtspunkte eine Rolle, sondern vielmehr Aspekte des Gewässerschutzes. Eine besondere Bedeutung kommt Gewässern zu, die zur Trinkwassergewinnung genutzt werden. Hier sind die Emissionen aus Kanalnetz und Kläranlage auf ein Minimum zu reduzieren. Bei Funktionseinschränkungen von Abwasseranlagen werden aus rechtlicher und genehmigungsrechtlicher Sicht fremdwasserreduzierende Maßnahmen erforderlich. Kommunen haben ihre Abwasseranlagen nach §§ 7a und 18b WHG entsprechend den a. a. R. d. T. so zu betreiben, dass Abwasser ohne Gefährdung gesammelt und Kläranlagen zugeleitet wird. Eine Gefährdung des Grundwassers durch Exfiltration von Abwasser darf nicht stattfinden. Darüber hinaus dürfen die Mindestanforderungen an die Ablaufkonzentrationen von Kläranlagen nicht durch eine unzulässige Verdünnung erreicht werden.

Auch in der Fachwelt wird eine flächendeckende Reduzierung des Fremdwassers als wesentliche Maßnahme zur Optimierung eines Entwässerungssystems angesehen. Eine konkrete und fundierte Festlegung dessen, was bei Fremdwasser als „zu hoch“ oder „tolerierbar“ erachtet wird, ist mit Ausnahme der Ausführungsverordnungen einzelner Bundesländer zum Abwasserabgabengesetz (vgl. Kapitel 2.4.3) bislang nicht erfolgt.

Eine Reduzierung von Fremdwasser geschieht durch technische Maßnahmen im Bereich öffentlicher und privater Entwässerungssysteme. Es sind auch Maßnahmen vorstellbar, die den Zufluss von Grund- und Niederschlagswasser als wesentliche

Quelle für Fremdwasser zum kanalisierten Einzugsgebiet unterbinden und folglich auch außerhalb eines Kanalnetzes angeordnet werden können. Im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Entscheidung könnte auch der Ausbau von Abwasserbeseitigungsanlagen in Betracht gezogen werden. Hierdurch erfolgt keine Reduzierung des Fremdwassers, sondern vielmehr eine Verminderung von schädlichen Auswirkungen. Bei Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung müssen insbesondere die mit der Umsetzung einhergehenden Veränderungen des natürlichen Wasserkreislaufes wie bspw. ein Grundwasseranstieg beachtet werden.

Im Gegensatz zur Fremdwasserreduzierung wird eine Vermeidung von Fremdwasser durch geeignete Maßnahmen beim Neubau von Kanalisationen bzw. der Erschließung von Grundstücken oder durch eine vollständige Reduzierung von Fremdwasser in einem Teileinzugsgebiet erreicht.

Bisherige Maßnahmen zur Reduzierung des Fremdwassers in Deutschland betrafen in der Regel die Sanierung der öffentlichen Kanäle und die Beseitigung von Regenwasserfehlanschlüssen an einen Schmutzwasserkanal. Hierbei wurden die jeweiligen Maßnahmen isoliert und ohne einen wasserwirtschaftlichen Gesamtzusammenhang betrachtet. Oftmals wurde auch nur nach Drängen der zuständigen Genehmigungsbehörden gehandelt und über den Erfolg von Maßnahmen nur selten berichtet. Private Abwasserleitungen und Dränagen wurden bisher bezogen auf eine Fremdwasserreduzierung eher untergeordnet behandelt. Die Umsetzung der im Rahmen von Forschungsprojekten vorgeschlagenen Maßnahmen (STEIN et al., 1998; KLEEGRAF et al. 2002 und MAUS et al., 2004) scheiterte oft auch an kommunalpolitischen Entscheidungen.

Obwohl es zunehmend als erforderlich angesehen wird, die Fremdwasserproblematik flächendeckend und systematisch zu betrachten, konnte dies in der Praxis bisher selten verwirklicht werden. Nach einer Umfrage der Abwasserberatung NRW (2002) bei 45 nordrhein-westfälischen Kommunen zu Umsetzungsschwierigkeiten von Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung gaben 31 % personelle und 26 % finanzielle Engpässe an. 20 % der befragten Kommunen hatten rechtliche und 19 % technische Schwierigkeiten bei der Umsetzung von Maßnahmen. Lediglich zwei Kommunen konnten ein Fremdwasserkonzept realisieren.

Viele Beispiele zu bereits durchgeführten Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung finden sich auch in der amerikanischen Literatur. In den USA berichteten GUITERREZ und WILMUT bereits 1975 über den Erfolg der in einer nordamerikanischen Stadt durchgeführten Kanalsanierung. Die Fremdwasserabflussspende konnte von 0,59 l/(s·km) auf durchschnittlich 0,16 l/(s·km) nach einer Sanierung der öffentlichen Kanäle gesenkt werden. Auch LAMBERT und HOLLENBECK (1987) dokumentierten

den Erfolg einer Fremdwasserreduzierung in Chicago, Illinois (USA) durch Kanalsanierung mit etwa 55 % von 0,90 l/(s·km) auf 0,40 l/(s·km).

In Johnson County, Kansas (EPA, 2003b) wurden im Rahmen eines großen Untersuchungs- und Bauprogramms auf 55000 privaten Grundstücken von 1983 bis 1994 Fehllanschlüsse beseitigt und undichte Abwasserleitungen saniert. Es gelang dabei in größerem Umfang, das niederschlagsabhängige Fremdwasser zu reduzieren. Veranlassung waren hohe Niederschläge in den Jahren 1981 und 1982, die zu erheblichen Belastungen der Schmutzwasserkanäle führten.

Im Rahmen einer WERF-Studie (MERRILL et al., 2003) wurden die Erfahrungen amerikanischer Städte zur Fremdwasserermittlung und -reduzierung zusammengefasst und dokumentiert. Einen Auszug aus den Ergebnissen enthält Tabelle 15. Es zeigt sich, dass der finanzielle Aufwand zur Reduzierung von Fremdwasser erheblich variiert. Die erreichte Fremdwasserreduzierung liegt in vielen Fällen niedriger als zu Beginn der Studie erwartet. So führte in den untersuchten Kanalnetzen eine Kanalsanierung häufig zu einem Anstieg des Grundwasserspiegels und über den Umweg der privaten, noch undichten Abwasserleitungen bzw. noch fehlangeschlossenen Dränagen zu einem erneuten Anstieg des Fremdwasseranfall (NRC, 2003). Ferner fasst auch WADE (2000) die Erfolge zur Fremdwasserreduzierung zusammen, wonach im Allgemeinen nur selten eine kurzfristige Reduzierung des Fremdwassers um mehr als 50 % erreicht werden konnte.

Die in der Fallstudie genannten Erfolge bei der Fremdwasserreduzierung lassen sich nicht detailliert den einzelnen Fremdwasserquellen zuordnen. Demgemäß wurden nur ganze Maßnahmenpakete bewertet und eine gesamte Fremdwasserreduzierung bzw. Kostenaufwand angegeben. Auch ist durch die oft zeitgleich durchgeführten Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung keine Differenzierung des Erfolges und Aufwandes möglich. Erst anhand einer solchen Differenzierung ließe sich abschätzen, welche Maßnahme am ehesten zur Fremdwasserreduzierung geeignet wäre.

Tabelle 15: Beispiele zu durchgeführten Maßnahmen der Fremdwasserreduzierung in den USA

Stadt / Bezirk		Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung				Fremdwasserreduzierung	Kosten der Maßnahmen je m³ reduziertes Fremdwasser € je m³/d
		Schachtsanierung	Sanierung von öffentlichen Abwasserkanälen	Sanierung von privaten Entwässerungsleitungen	Beseitigung von Hausdränagen		
Oak Creek					●	48 %	320
Milwaukee		●				55 %	2
Honolulu		●	●			5 %	24.214
Lacey, Olympia, Tumwater, Thurston	Phase 1		●	●		17 %	1.000
	Phase 2		●	●		53 %	177
	Phase 3			●		53 %	159
King County	Phase 1	●	●	●		78 %	200
	Phase 2	●	●	●		51 %	1.178
Quellen: verändert nach MERRILL et al. (2003), KING COUNTY (2004) und CANTRELL (2004)							

Weitere Angaben zu erfolgreich durchgeführten Maßnahmen der Fremdwasserreduzierung mittels Kanalsanierung finden sich bei LARSEN und GARCIA-MARQUEZ (2000), WADE (2000), ROTHMANN und HEIJN (2000), EPA (2003) sowie GDSDS (2005).

Die in den USA ermittelten Erfolge von fremdwasserreduzierenden Maßnahmen sind nicht direkt auf bspw. deutsche Verhältnisse übertragbar, da die spezifischen Gegebenheiten im jeweiligen Entwässerungsnetz und Einzugsgebiet zu berücksichtigen sind. Hinzu kommt, dass die klimatologischen Bedingungen in den USA nicht mit denen Deutschlands vergleichbar sind. Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen jedoch durchweg Erfolge. Sie geben wertvolle Hinweise darauf, welche Maßnahmen anzuwenden sind und in welcher Größenordnung eine Fremdwasserreduzierung liegen kann. Als besonders erfolgversprechend lassen sich aus der Zusammenstellung Maßnahmen zur Sanierung privater Abwasserleitungen und zum Abkoppeln von Hausdränagen hervorheben. Anhand der Ergebnisse der Literaturstudie ist jedoch davon auszugehen, dass eine 100-%ige Reduzierung des Fremdwassers mit den bisher durchgeführten Methoden und damit eine Fremdwasservermeidung nicht gelingen kann.

Letztendlich ist auch die Frage nach dem Verbleib des reduzierten Fremdwassers zu klären. So sind beispielsweise geeignete Ableitungsmöglichkeiten und eine Vorflut für Drainage- und Niederschlagswasser zu finden. Auch die Möglichkeit eines in Kapi-

tel 2.6.2 beschriebenen Grundwasseranstiegs nach einer Kanalsanierung darf nicht außer Acht gelassen werden.

3.2 Maßnahmen zur Fremdwasservermeidung

Zur Fremdwasservermeidung können Maßnahmen bei der Erschließung von Siedlungsgebieten und der Bebauung von Grundstücken durchgeführt werden. Sie haben das Ziel, Grundwasser und nicht behandlungsbedürftiges Niederschlagswasser vollständig von der Kanalisation fernzuhalten. Hierzu zählen eine durchdachte Bauausführung bei der Errichtung von Gebäuden sowie eine grundwasserunempfindliche und somit fremdwasserarme Entwässerungskonzeption.

Da Fremdwasser zu einem großen Teil dem Grundwasser entstammt, ist die Klärung der Frage nach der Zulässigkeit und Art der Ausführung von Bauvorhaben im Grundwasser von zentraler Bedeutung. Sofern Nutzungseinschränkungen in einem Siedlungsgebiet durch einen hohen Grundwasserspiegel zu erwarten sind, müssen geeignete Maßnahmen getroffen werden, dieses Wasser entweder abzuleiten oder die künftigen Gebäude entsprechend zu schützen. Eine Kommune ist zwar im Rahmen der Grundstückerschließung nach § 123 Abs. 1 BauGB (2004) zu entsprechender Vorsorge verpflichtet, jedoch folgt hieraus nach KÖHLER und MEYER (2003) nicht die Pflicht, künftige Fremdwasserprobleme zu vermeiden. Dementsprechend gilt es in der Bauleitplanung abzuwägen, inwiefern ein Gebiet zur Bebauung geeignet ist. Die Bebaubarkeit ist grundsätzlich auch bei hohem Grundwasserstand gegeben, so dass grundwasserabsenkende Maßnahmen mit diesem Ziel ausgeschlossen sind. Allerdings können schon im Bebauungsplan nach § 9 BauGB (2004) verbindliche Festsetzungen zu fremdwasservermeidenden Maßnahmen getroffen werden, wenn die hydrogeologischen und morphologischen Eigenschaften des zu bebauenden Gebietes Sickerwasser oder hohe Grundwasserstände vermuten lassen. Festsetzungen im Bebauungsplan, auf welche Art Gebäude gegen Grundwasser zu schützen sind, können nicht erfolgen. Jedoch kann die maximale Einbindetiefe eines Gebäudes in den Untergrund festgelegt oder per Satzung eine Unterkellerung in einem zu benennenden Gebiet untersagt werden.

Letztendlich gehört die Gewährleistung von Standsicherheit und Nutzbarkeit eines Gebäudes zu den Aufgaben des Architekten bzw. Bauherrn. Dieser ist verpflichtet, die Grundwasserstände der letzten Jahrzehnte zu recherchieren und die Abdichtung des Gebäudes auf den höchsten gemessenen bzw. zu erwartenden Grundwasserstand auszulegen. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass sich ein Grundwasserstand unabhängig von den natürlichen Schwankungen im Verlauf eines wasserwirtschaftlichen Jahres bspw. durch Grundwasserentnahmen zur Wassergewinnung

oder durch Veränderungen der Abbauplanung im Bereich von Tagebau und Bergwerken jederzeit ändern kann. Auch die im Rahmen der Genehmigung eines Bauvorhabens durch die Bauaufsichtsbehörde durchgeführte Prüfung schließt keine Richtigkeitsgarantie mit ein. Die Gemeinde ist nach STÜER (2001) infolgedessen nicht haftbar für grundwasserbedingte Gebäudeschäden oder Nutzungseinschränkungen, solange sie nicht fahrlässig fehlerhafte Angaben zur Planung geleistet hat.

Wird ein Gebäude im Grundwasser errichtet, ist die Art und Dauer der Beanspruchung entscheidend bei der Frage nach der Art der Abdichtung eines Gebäudes gemäß DIN 18195, Teile 1 bis 6 (2000). Die für die Entstehung von Fremdwasser relevanten Dränagen werden nur bei nicht drückendem Grundwasser angeordnet. Dieses liegt bei weniger wasserdurchlässigem Baugrund ($k_f \leq 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$) mit Stau- und Sickerwasserbeanspruchungen vor. Beträgt der Abstand der Kellersohle zur Geländeoberfläche weniger als 3 m und liegt der höchste gemessene Grundwasserstand mind. 30 cm unter der Kellersohle, werden zur Abdichtung Bitumenbahnen in Kombination mit Dränagen vorgesehen (DÜLLMANN, 2001; KOLBITSCH und TSUKALAS, 2003). Binden Gebäude in einen Aquifer ein (Lastfall „drückendes Grundwasser“), wird man aus planerischer Sicht keine Dränagen anordnen, sondern das Gebäude bspw. mit einer weißen Wanne gegen Grundwasser schützen oder auf eine Unterkellerung verzichten.

In vielen Städten ist die Einleitung von Dränagewasser in die Schmutz- bzw. Mischwasserkanalisation bereits durch die Entwässerungssatzung untersagt. Zur Vermeidung von Fremdwasser ist das Dränagewasser hier nicht an die Kanalisation anzuschließen, sondern anderweitig schadlos abzuleiten. Im Rahmen der Bebauungsplanung können nach § 51a Abs. 3 LWG NRW Festsetzungen der Versickerung oder Einleitung von Niederschlagswasser in Gewässer aufgenommen werden, sofern dies ohne Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit möglich ist. Auch können im Zuge der Planung von Siedlungsgebieten Gräben zur Ableitung von Dränagewasser nach § 9 Abs. 1 BauGB (2004) planungsrechtlich festgesetzt werden. Für den Fall, dass im Bestand geeignete Systeme zur Ableitung des Dränagewasser fehlen, wie bspw. eine Regenwasserkanalisation, Versickerungsanlagen oder Gewässer, muss ein Grundstückseigentümer den Schutz seines Gebäudes gegen Grundwasser auch ohne Dränage realisieren.

Aus technischer Sicht stehen dem Bauherrn dann vielfältige Möglichkeiten zur Verfügung, ein Gebäude im Grundwasser zu gründen und wasserdicht zu bauen. Wie auch bei einer hohen Beanspruchung durch zeitweise oder permanent anstehendes (drückendes) Grundwasser können Abdichtungsbahnen aus Bitumen oder Kunststoff allseitig von außen in Form einer „schwarzen Wanne“ angeordnet werden, oder der

Kellerbereich wird als „weiße Wanne“ aus wasserundurchlässigem Beton ausgeführt. Bei einer weißen Wanne wird zusätzlich eine dauerhafte Belüftung der Innenräume erforderlich, da Grundwasser durch den Beton diffundiert. Die Konzeption der schwarzen und weißen Wanne ist bei KOLBITSCH und TSUKALAS (2003) ausführlich dargestellt.

Bei der konkreten Umsetzung dieser bautechnischen Forderungen fehlte bisher in der Praxis eine entsprechende Sensibilisierung für die mit dem Fremdwasser verbundenen Probleme. Eine nachhaltige Vermeidung von Fremdwasser kann nur erreicht werden, wenn alle an der Erschließung, Planung und Genehmigung sowie Bau und Betrieb beteiligten Personen und Institutionen für die Fremdwasserproblematik sensibilisiert werden. Schon während der Baumaßnahme hat eine regelmäßige Güteüberwachung und Qualitätskontrolle zu erfolgen. Durch eine bautechnische und funktionale Abnahme der Entwässerungseinrichtungen kann ein ausreichender Qualitätsstandard gewährleistet werden. Derzeit erfolgt die bautechnische Abnahme eines Gebäudes durch das Bauordnungsamt i. d. R. unabhängig von einer Abnahme der Entwässerungseinrichtungen. In diesem Sinne ist künftig besonders ein engeres Zusammenwirken von Bau- und Wasserbehörden erforderlich. Im Hinblick auf eine größere Transparenz sollten die Anschlussleitungen und Grundleitungsanschlüsse bei Neubauten durch die Kommune künftig in offener Baugrube abgenommen werden. Nach Verfüllung der Baugrube können die Entwässerungsleitungen mit Hilfe eines Nebelgerätes auf Fehlanlüsse geprüft werden. Es ist zweckmäßig, nur zertifizierte Unternehmen für die Abdichtung eines Gebäudes und die Herstellung der Entwässerungseinrichtungen zu beauftragen.

Fremdwasser kann bei wassergesättigten Böden außerdem durch eine geeignete Wahl von Werkstoffen für die Entwässerungsleitungen vermieden werden. Bspw. bieten sich in Abhängigkeit von den Belastungs-, Boden- und Grundwasserverhältnissen muffenlose oder muffengesicherte Rohre für die Verlegung an, um Undichtigkeiten möglichst zu vermeiden. Die Idee eines redundanten Abwasserrohres ist jedoch nicht neu. Ein von Dyckerhoff & Widmann ursprünglich zur Deponieabdichtung entwickeltes Mineralgemisch (FINSTERWALDER, 1990; FINSTERWALDER und BEYER, 1994) kann in die Leitungszone eingebracht werden und erfüllt dort sowohl Bettungs- als auch Abdichtungsfunktionen. Die mineralische Kapselung kann nach STEIN (1998) für die öffentlichen Kanäle und Schachtbauwerke sowie die privaten Abwasserleitungen erfolgen.

Der Anschluss von privaten Entwässerungsleitungen an eine öffentliche Kanalisation wurde bisher oft von den Grundstückseigentümern selbst oder zum Teil auch unsachgemäß von einer beauftragten Baufirma durchgeführt. Dies hat in der Vergan-

genheit häufig zu Fehlan schlüssen im Trennsystem oder undichten Stutzen geführt. Um derartige Fehler künftig zu vermeiden, sollte der entwässerungstechnische Anschluss eines Grundstückes nur von der Kommune selbst oder von dieser ausdrücklich zugelassenen Bau firmen vorgenommen werden dürfen. Eine solche Festlegung muss in der Entwässerungssatzung entsprechend geregelt sein.

Gerade nach starken Niederschlägen und im Frühjahr während der Schneeschmelze lassen sich besonders in ländlichen Regionen erhebliche Zuflüsse von Oberflächenwasser über befestigte Flächen zur Kanalisation beobachten. Zur Vermeidung dieses Fremdwassers ist die Ableitung von Oberflächenwasser bei der Entwässerungskonzeption von Siedlungsgebieten besonders sorgfältig zu planen, indem ein Zufluss dieses Wassers in die Kanalisation über Schachtdeckelöffnungen, Dränagen oder fehlangeschlossene befestigte Flächen verhindert wird. Hierbei ist je nach Hydrogeologie, Morphologie und klimatischer Situation auch das oberflächennah abfließende Sickerwasser einzubeziehen.

Alternativ zu einer Entwässerungskonzeption im Misch- oder Trennsystem bieten sich eine Druck- oder Vakuumentwässerung an, um Fremdwasser langfristig zu vermeiden. Die Netze der Druck- und Vakuumentwässerung liegen in einer geringeren Tiefe als die Freispiegelentwässerung, da sie unabhängig vom Gefälle sind. Einziges Kriterium ist eine frostfreie Verlegung in mindestens etwa 80 cm Tiefe. Hierdurch liegen sie in der Regel oberhalb des Grundwasserspiegels. Ergänzend kommt hinzu, dass die Kosten der Entwässerung von Außengebieten im Misch- und Trennsystem deutlich höher sind als bei einer Druck- bzw. Vakuumentwässerung. Für die Ableitung von Regenwasser müssten separate Systeme angelegt werden, an die auch Gebäudedränagen angeschlossen werden können. Hingegen wird eine Druckentwässerung besonders in Wasserschutzgebieten als kritisch wegen einer möglichen Exfiltration von Abwasser angesehen. In solchen Fällen wird die Vakuumentwässerung bevorzugt.

Welche der beschriebenen Maßnahmen zur Vermeidung von Fremdwasser eingesetzt wird, bleibt zurzeit noch den individuellen Entscheidungen einer Kommune und Baubehörde überlassen.

3.3 Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung

Eine Reduzierung des Fremdwasserabflusses kann durch ursachenbezogene Maßnahmen erfolgen, indem der Zufluss des Grund- und Niederschlagswasser in das Kanalnetz an der Quelle verhindert wird. Neben der Beseitigung von Undichtigkeiten öffentlicher Kanäle und privater Abwasserleitungen besteht die Möglichkeit, Fehlleitungen von Niederschlags- und Grundwasser über Dränagen, Schachtdeckelöff-

nungen, Brunnenüberläufe und Regenfallleitungen abzustellen. Fernerhin können eine Unterbindung des Grundwasserzuflusses zum kanalisierten Einzugsgebiet oder eine gesonderte Fassung und Ableitung der Regenabflüsse aus Außengebieten (siehe Kapitel 2.3.1) wirksam sein. Die vorgenannten Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung werden im Folgenden auch unter Beachtung rechtlicher Gesichtspunkte näher beschrieben.

3.3.1 Beseitigung von Undichtigkeiten

Undichtigkeiten in Entwässerungssystemen tragen durch infiltrierendes Grundwasser zum Fremdwasserabfluss bei. Ein Abdichten dieser Undichtigkeiten mit Verfahren der Kanalsanierung stellt eine übliche Maßnahme zur Fremdwasserreduzierung dar. Hierdurch wird ein Eindringen von Grundwasser verhindert und der Fremdwasserzufluss verringert.

Betrachtet man die Klassifizierung von Schäden nach ATV-M 149 (1999) stellt man fest, dass Undichtigkeiten in Bezug auf eine Grundwasserinfiltration in der Fachwelt unterschätzt werden. Sie sind überwiegend in der untersten Schadensklasse angehäuft, so dass sich hieraus gewöhnlich keine direkte Sanierungsnotwendigkeit ergibt. Bei der Festlegung dieses Systems zur Schadensklassifizierung standen vornehmlich die Aspekte der Funktionsfähigkeit, Betriebssicherheit, Boden- und Grundwassergefährdung durch Exfiltration sowie die Gewährleistung der Standsicherheit im Vordergrund. Dass auch die Grundwasserinfiltration ein erhebliches Schadenspotenzial aufweist, wurde bereits in den Kapiteln 2.5 und 2.6 ausführlich dargelegt. Als künftige Aufgabe der Fachwelt gilt es somit, fremdwasserrelevante Undichtigkeiten entsprechend ihren Auswirkungen auf die Siedlungsentwässerung passender zu gewichten. Um eine derartige Gewichtung vornehmen zu können, sind insbesondere die durch Undichtigkeiten infiltrierenden Grundwassermengen in Abhängigkeit vom Schadensbild zu quantifizieren.

Die Kanalsanierung umfasst nach DIN EN 752-1 (1995) Verfahren der Reparatur, Renovierung und Erneuerung. Die kurzlebigen Reparaturverfahren zur Behebung örtlich begrenzter Schäden umfassen Ausbesserungs-, Injektions- oder Abdichtungsverfahren. Renovierungsverfahren nutzen die ursprüngliche Substanz der Kanäle in Verbindung mit Beschichtungs- oder Auskleidungsverfahren. Sie grenzen sich von einer Erneuerung in offener oder geschlossener Bauweise ab. Entscheidungshilfen für die sachgerechte Wahl eines geeigneten Sanierungsverfahrens geben u. a. DIN EN 752-5 (1997), STEIN (1998), MUNLV NRW (1999a), PECHER (1999b), BBR (2002) und MUNLV NRW (2002c).

Kanäle mit fremdwasserrelevanten Schäden liegen entweder zeitweise oder dauerhaft im Grundwasser. Bei hohen Grundwasserinfiltrationen durch Undichtigkeiten gestaltet sich eine Sanierung oftmals schwierig, da der Grundwasserspiegel während der Sanierungsmaßnahme nur selten abgesenkt wird. Die Auswahl der dann noch anwendbaren Sanierungsverfahren wird hierdurch stark eingeschränkt. Eine Übersicht der bei Grundwasserinfiltrationen gut anwendbaren Verfahren geben HEINRICH-S TALITZA (2004) und die ABWASSERHILFEN (2004).

So besteht bei hohen Grundwasserdrücken bspw. bei den Reparaturverfahren der partiellen Injektion und dem Flutungsverfahren die Gefahr einer Verdünnung oder Auswaschung der Injektionen bzw. bei Zweikomponenten-Gelen die Gefahr einer Entmischung. Eine Kontrolle des Sanierungserfolges ist bei Injektionsverfahren schwer möglich. Partielle Inliner werden von Fachleuten in Bezug auf ihre Dauerhaftigkeit und Dichtheit kritisiert. Bei hohen Infiltrationsraten treten Probleme mit der Haftung bei Gewebemanschetten auf. Bei Renovierungsverfahren lässt sich ein Relining mit Ringraum (Rohrstrangrelining, Kurzrohr- bzw. Langrohr- und Noppenbahnrelining) zur Abdichtung von Infiltrationen gut anwenden, allerdings ist mit einem Querschnittsverlust zu rechnen, und eine nachträgliche Ringraumverfüllung wird erforderlich. Beim Schlauchrelining, einem Reliningverfahren ohne Ringraum, wird bei einem hohen Grundwasserdruck eine Vorabdichtung über Injektionen erforderlich, um die Bildung von Beulen zu verhindern. Möglicherweise reicht aber auch ein entsprechender Innendruck während der Aushärtedauer aus. Eine weitere Einschränkung von möglichen Verfahren ergibt sich bei privaten Entwässerungsleitungen aufgrund ihrer geringeren Nennweite und den verzweigten Leitungen. Ausreichende Betriebserfahrungen liegen nur für wenige Verfahren vor. In der derzeit gängigen Praxis der Kanal- und Leitungssanierung wird vorwiegend das Schlauchreliningverfahren eingesetzt. Für Erneuerungsverfahren in offener Bauweise muss während der Bauzeit eine Grundwasserabsenkung durchgeführt werden.

Besonders bei verzweigten Kanal- und Leitungsnetzen stoßen Reliningverfahren an ihre Grenzen. Bei einem verpressen des Ringraumes werden abzweigende Leitungen (Hausanschlüsse oder Grundleitungsnetze) mit dem Verfüllmaterial verschlossen. Auch das Schlauchrelining zeigt im Bereich privater Entwässerungsleitungen Anwendungsgrenzen auf. Mit der heute zur Verfügung stehenden Technik ist nur die von der Revisionsöffnung verlaufende Abwasserleitung sanierbar. Abzweigende Leitungen können zwar nachträglich aufgefräst aber mit dem Schlauchrelining nicht auch noch saniert werden.

Bei der Suche nach einem geeigneten Sanierungsverfahren ist auch die Frage entscheidend, ob in offener oder geschlossener Bauweise saniert werden soll. Verfah-

ren in geschlossener Bauweise können im Gegensatz zur offenen Bauweise mit geringen Erdbauarbeiten und Belästigungen der Anwohner bzw. Verkehrseinschränkungen durchgeführt werden. Bei einer Sanierung in offener Bauweise können die notwendigen Arbeiten wegen der besseren Transparenz eindeutiger bestimmt werden. Maßgeblichen Einfluss auf die Kosten und damit auf die Entscheidung, ob in offener Bauweise erneuert oder mittels Inlinerverfahren saniert werden soll, haben die Lage des Kanals (ländlich bzw. städtisch), die Anzahl der im Inlinerverfahren einzubindenden Hausanschlüsse und die Art der Bebauung oberhalb des zu sanierenden Kanals.

Bei privaten Entwässerungsleitungen obliegt die Beauftragung und Übernahme der Kosten einer Sanierung den Grundstückseigentümern. In der Regel wird man hier versuchen, die Leitungen in offener Bauweise zu erneuern. Problematisch allerdings wird die Sanierung von undichten Abwasserleitungen unterhalb eines Gebäudes. Da die Leitungen unzugänglich sind, bieten sich als Sanierungsverfahren das Schlauchrelining und Flutungsverfahren an. Beispiele für Sanierungsmaßnahmen auf Privatgrundstücken finden sich bei FIEDLER (2000 und 2001), BOSSELER et al. (2003b), PINNEKAMP und STEPKE (2005).

Die Restnutzungsdauer des zu sanierenden Kanals ist bei der Auswahl der Sanierungsverfahren zu berücksichtigen. Diese kann erheblichen Einfluss auf die Entscheidung haben, ob ein Einzelschaden lediglich repariert oder eine Haltung komplett renoviert bzw. erneuert wird. Die mittels Reparaturverfahren sanierten Schäden haben im Allgemeinen eine geringe Nutzungsdauer. Bei partiellen Injektionen und Kurzlinern liegt sie unter 10 Jahren. Bei Renovierungsverfahren liegen noch keine Langzeiterfahrungen vor, so dass aus heutiger Sicht auch nur 30 - 50 Jahre als Nutzungsdauer der sanierten Schäden angesetzt werden können (MUNLV NRW, 1999a). Bei Erneuerungsverfahren kann für neuverlegte Beton- und Steinzeugrohre nach Angaben der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser und Abwasser (LAWA, 1998) eine Nutzungsdauer von 50 - 80 Jahren angenommen werden. Neuere Untersuchungen nach PINNEKAMP und BOLLE (2005) ergaben eine mittlere Nutzungsdauer der Kanalisationen von etwa 60 bis 90 Jahren bei durchschnittlicher Belastung.

Die für eine Kanalsanierung beschriebenen Verfahren und Einsatzgrenzen gelten im übertragenen Sinne auch für Undichtigkeiten in Schächten. Grundwasser kann bspw. im Bereich der Ausgleichsringe, Steigeisen und Einbindungen der Kanäle eindringen. Auch sind undichte Fugen bei gemauerten Schächten oder defekte Dichtungen bei Schächten aus Fertigteilen möglich. Die Reparatur einer Undichtigkeit lässt sich mit Hilfe von Injektionsverfahren ausführen, die auch bei gleichzeitig eindringendem Grundwasser wirksam sind. Zur Sanierung bieten sich neben der Reparatur einzel-

ner undichter Stellen vor allem Renovierungsverfahren, wie bspw. Auskleidungsverfahren mit GFK-Segmenten oder Beschichtungsverfahren mit Kunststofflaminaten an (STEIN, 1998).

Für Kanalnetzbetreiber und Grundstückseigentümer besteht vor dem Hintergrund einer Abwasserexfiltration eine Verpflichtung zur Sanierung schadhafter Kanäle und Leitungen entsprechend der zugewiesenen Zustandsklasse nach § 324 StGB. Zur Anordnung solcher Sanierungsmaßnahmen gibt es mehrere Möglichkeiten. Sofern Grundwasser über undichte private Abwasserleitungen in öffentliche Abwasseranlagen gelangt, kann die Untere Bauaufsichtsbehörde wegen eines Verstoßes gegen § 45 BauO NRW die erforderlichen Maßnahmen gemäß §§ 61, 62 BauO NRW anordnen. Auch die Untere Wasserbehörde kann bei Undichtigkeiten des privaten Abwassernetzes vor dem Hintergrund einer Grundwasserverunreinigung eine Sanierung verfügen. Auf kommunaler Ebene wird eine Gemeinde auf Basis ihrer Entwässerungssatzung und des hiermit geschaffenen öffentlich-rechtlichen Benutzungsverhältnisses ermächtigt, die Dichtheit der Abwasserleitungen per Verwaltungsakt (Sanierungsverfügung, Untersagungsverfügung) zu fordern, sofern die Maßnahmen verhältnismäßig sind.

Aus rechtlicher Sicht kann auch ein möglicher Grundwasseranstieg einer Kanalsanierung nicht entgegenstehen, da es sich bei einer Abwasseranlage nicht um eine Dränage handelt (KÖHLER und MEYER, 2003). Durch ein Abdichten von Undichtigkeiten erfolgt die Wiederherstellung eines ursprünglich wasserwirtschaftlich und wasserrechtlich gebotenen Zustandes, so dass an dieser Stelle die Sanierung mit der Konsequenz des Grundwasseranstiegs nach § 3 Abs. 2 WHG nicht als Gewässerbenutzung gilt. Diese Auffassung wird durch das Landgericht Dortmund mit einem Urteil vom 16.03.2000 (AZ: 11 S 82/99) gestützt. Ein Grundstückseigentümer hat demnach keinen Anspruch aus Amtshaftung einer Stadt, wenn ein Abwasserkanal saniert wird und hierdurch das Grundwasser so ansteigt, dass Vernässungen im Gebäude auftreten. Das Landgericht Dortmund hat keine Amtspflichtverletzung darin gesehen, dass eine Stadt die Grundstückseigentümer nicht darauf hingewiesen hat, dass ein alter Abwasserkanal eine Dränagewirkung besitzt und nach einer Sanierung ein entsprechender Grundwasseranstieg zu befürchten sei. Als Grund wurde unter anderem genannt, dass ein Grundwasser nicht höher steigen könnte, als der ursprünglich vorhandene höchste Grundwasserspiegel.

3.3.2 Beseitigung von Fehlan schlüssen

Fremdwasser gelangt zu erheblichen Teilen auch über fehlangeschlossene Dräna gen, Regenfallleitungen und Schachtdeckelöffnungen in Kanäle (vgl. Kapitel 2.3.1).

Lassen sich diese Fehleinleitungen von der Kanalisation durch geeignete Maßnahmen abkoppeln, kann der Fremdwasserabfluss merklich reduziert werden. In diesem Zusammenhang ist einerseits die Frage nach dem Verbleib des abgekoppelten Grund- und Niederschlagswasser wichtig und andererseits auch, ob eine entsprechende Verpflichtung seitens der Kommune zu dessen Ableitung besteht.

Dränagen dienen der gezielten Entwässerung des Bodens in der näheren Umgebung von Gebäuden, Baugruben, landwirtschaftlichen Flächen, den Leitungszonen von Abwasserkanälen und des Straßenunterbaus (vgl. Kapitel 2.3). Während im Kapitel 3.2 Dränagen unter dem Aspekt des Gebäudeneubaus betrachtet wurden, steht in diesem Kapitel der Umgang mit bestehenden Dränagen im Vordergrund.

Eine wesentliche Fremdwasserquelle stellen fehlangeschlossene Gebäudedränagen zum Schutz vor Sickerwasser oder Schichtenwasser bei Anschnitt wasserführender Bodenschichten dar. Im Rahmen einer Umfrage der Abwasserberatung (2002) wurden 45 Kommunen in NRW zum Umgang mit Dränagen im Mischsystem befragt. 57 % der befragten Kommunen stimmten dafür, die Dränagen an der Mischwasserkanalisation zu belassen, möglicherweise jedoch in Verbindung mit einer zu erhebenden Benutzungsgebühr. Die restlichen 43 % tendierten zu einem Abkoppeln der Dränagen mit anschließender Versickerung des Grundwassers (31 %), Ableitung über einen separaten Dränagewasserkanal (7 %) oder entsprechendem Gebäudeschutz gegen Vernässungen (5 %). Aus dem Ergebnis der Umfrage wird ein breites Spektrum von Lösungen wie auch Problemen im Umgang mit Dränagen deutlich. An eine Kanalisation fehlangeschlossene Dränagen werden unterschiedlich bewertet, v. a. in Bezug auf den Umgang mit Dränagewasser im Sinne eines dauerhaften Gebäudeschutzes. Auch eine ortsnahe Versickerung des zuvor über Dränagen entnommenen Grundwassers ist kritisch zu sehen, da hier ein Gebäude nur augenscheinlich vor Grundwasser geschützt wird. Bei benachbarten Grundstücken treten womöglich infolge der Versickerung wieder hohe Grundwasserstände auf und führen zu Vernässungen. Es ist daher dringend erforderlich, eine geeignete Bewertungsbasis für den Umgang mit Dränagewasser zu finden.

Im Vorfeld der erfolgreichen Beseitigung eines Fehlschlusses sind genaue Kenntnisse zur Lage und Ausführung erforderlich. Um Dränageeinleitungen sicher auffinden zu können, ist das öffentliche und private Kanalnetz optisch zu inspizieren. Bei der Wahl eines geeigneten Inspektionszeitpunktes nach Tabelle 5 in Kapitel 2.3.2 kann Dränageaktivität erkannt werden und der Anschluss einer Dränage an einen Kanal bzw. eine Abwasserleitung geortet werden. Können entlegene Bereiche der privaten Leitungen nicht mit einer Kamera erreicht werden, helfen Gespräche mit den Grundstückseigentümern bzw. eine Durchsicht der Hausakten.

ansteigen. Bei unterkellerten Gebäuden mit bewehrten Bodenplatten treten dann im Regelfall Vernässungen auf. Stärker betroffen sind jedoch Gebäude mit unbewehrter Bodenplatte. Hier können die Bodenplatten durch den Grundwasserdruck beulen oder sogar brechen. Im schlimmsten Fall sind ältere Gebäude ohne Bodenplatte ausgeführt und der Kellerboden besteht lediglich aus verdichtetem Erdreich. Diese Keller können komplett vernässen.

Um solche Folgen zu vermeiden und den Wohnkomfort aufrecht zu erhalten, ist das Dränagewasser nach Möglichkeit anderweitig abzuleiten. Problematisch gestaltet sich in diesem Zusammenhang oft das Auffinden eines Vorfluters. Ist dieser nicht vorhanden oder besitzt der Grundstückseigentümer keine Genehmigung für den Bau bzw. Betrieb einer Gebäudedränage, hat er sein Gebäude bautechnisch auf eigene Kosten nachträglich gegen Grundwasser zu schützen. Hierzu bieten sich verschiedene technische Lösungen wie bspw. der nachträgliche Einbau einer weißen Wanne oder ein Kellerverzicht an. Aus politischer Sicht wird dieser Weg jedoch nur schwer durchsetzbar sein, so dass vielmehr nach einer praktikablen Möglichkeit gesucht wird, Dränagewasser abzuleiten.

In diesem Zusammenhang hat bereits der Bundesgerichtshof (BGH) mit Beschluss vom 29.4.2004 (AZ: III ZR 31/03) ein Urteil des Oberlandesgerichts Düsseldorf vom 18.12.2002 bestätigt, nach dem es Sache des Bauherrn sei, sich gegen drückendes Grundwasser durch entsprechende Bauweise und Isolierung zu schützen und im Rahmen der Planung eines Kellergeschosses untersuchen zu lassen, ob eine Grundwassergefährdung bestehe. Der BGH hat damit seine bisherige Rechtsprechung insbesondere auch zu Altlastenfällen fortgeführt, nach der es sich bei Grundwassereintrüben um vorhersehbare und beherrschbare Gefahren handelt, die dem Verantwortungsbereich des Bauherrn zuzuordnen seien. Das Risiko für eine fachgerechte Planung eines Hauses trage ausschließlich der Bauherr, so dass eine Haftung der Stadt ausgeschlossen ist.

Unabhängig von der Fremdwasserreduzierung ist die Gewährleistung einer dauerhaften Leistungsfähigkeit von Dränagen maßgeblich von den chemischen Eigenschaften des Grundwassers und Bodens abhängig. Bei einem Grundwasser mit pH-Werten um ca. 7, einem Eisengehalt (Fe^{2+}) von $> 0,2 \text{ mg/l}$ und einem Redoxpotenzial von $> 10 \text{ mV}$ besteht nach BIESKE (1992) die Gefahr von Verockerungen bei Kontakt mit Sauerstoff oder einer Entspannung des Grundwassers. Dienen Dränagen der Ableitung eines solchen Grundwassers wird die Leistungsfähigkeit auf Dauer signifikant reduziert. Auch bei regelmäßiger Anwendung von betrieblichen Regenerierungsmaßnahmen durch Spülung oder mechanische Reinigung bleibt die Nutzungsdauer bei einem Grundwasser mit Verockerungspotenzial auf durchschnittlich 20 - 30

Jahre beschränkt (MUTH, 1991). Die Wahrscheinlichkeit einer Verockerung erhöht sich zusätzlich bei turbulenten Fließvorgängen und durch ein gleichzeitiges Vorliegen von Eisen- und Manganbakterien. Abgemindert wird die Gefahr durch im Boden vorhandene Huminsäuren. Verockerungen im Bereich von Undichtigkeiten im Abwasserkanal durch eindringendes Grundwasser sind aufgrund reduzierender Prozesse selten zu beobachten. Aufgrund dessen ist davon auszugehen, dass - anders als bei Dränagen - vom Abwasser umströmte Undichtigkeiten auch dauerhaft undicht bleiben.

Aus rechtlicher Sicht sind insbesondere die mit einem Abkoppeln von Dränagen verbundenen Fragen nach der Zulässigkeit von Interesse. Fraglich ist auch, wer die entstehenden Kosten zu tragen hat. Zur Klärung dieser Fragen gibt es entsprechende Rechtsgutachten und Fachaufsätze, wie bspw. REINERT (1992), BARTH und GRIEM (1998), HOMBURG (2000), NISIPEANU (2003), KÖHLER und MEYER (2003), NISIPEANU (2004), ABWASSERBERATUNG (2004) und COSACK (2004). Bei Grundstücksdränagen handelt es sich um eine Anlage zur Gewässerbenutzung, für die eine wasserrechtliche Erlaubnis nach §§ 2, 3 Abs. 1 WHG vorliegen muss. Darüber hinaus ist die Ableitung von Fremdwasser im Abwasserkanal nach einem Grundsatzurteil des OVG NRW mit Urteil vom 12.09.1997 (AZ: 22 A 5779/96) generell unzulässig. Je nach Entwässerungssatzung einer Gemeinde war die Einleitung von Dränagewasser auch nicht immer schon untersagt, so dass sich einzelne Grundstückseigentümer womöglich auf einen „Bestandsschutz“ oder bestehende Gestattungen zur Dränagewassereinleitung in die Kanalisation berufen. Die rechtlichen Szenarien in Bezug auf Dränagen werden nachfolgend durchleuchtet.

- Beseitigung von Dränagewasserfehlanschlüssen, die nach Erlass eines kommunalen Einleitungsverbotes errichtet wurden

Die Unterbindung eines Dränagefehlanschlusses aufgrund baurechtlicher Bestimmungen durch die untere Bauaufsichtsbehörde ist nicht möglich, da kein Verstoß gegen §§ 45 und 61 BauO NRW vorliegt. Aufgrund ihrer Anstaltsautonomie darf eine Kommune aber einen Fehlanschluss durch Erlass einer Unterlassungsverfügung untersagen oder als Ordnungswidrigkeit ahnden (COSACK, 2004).

Nach dem o. g. Urteil des OVG NRW vom 12.09.1997 besitzt ein Grundstückseigentümer für die Aufwendungen zum Abkoppeln von Dränagen keine Kostenersatzansprüche gegenüber einer Kommune, wenn er den Fehlanschluss selbst oder durch ein von ihm beauftragtes Unternehmen errichtet hat. Auch wenn der Fehlanschluss von einem Voreigentümer verursacht wurde, muss der Eigentümer für die Kosten aufkommen, da die satzungsrechtliche Verpflichtung zur Herstellung eines ordnungsgemäßen Anschlusses grundstücks- und nicht personenbezogen ist.

Der Eigentümer kann einem Bescheid nicht entgegenhalten, dass durch die Nichtableitung des Dränagewassers möglicherweise Vernässungsschäden auftreten oder die Standsicherheit des Gebäudes gefährdet sein kann, da die erstmalige Ableitung des Dränagewasser zu einem Zeitpunkt erfolgte, als dies bereits per Satzung untersagt war. Der Grundstückseigentümer muss den Anschluss seiner Grundstücksentwässerungsanlage anpassen, wenn dies in der Entwässerungssatzung entsprechend geregelt ist (VG Minden, Urteil vom 25.06.2004, AZ: 3 K 644/01). Einen Bestandschutz gibt es im Wasserrecht nicht. Wenn nie eine Erlaubnis zum Einleiten von Dränagewasser bestanden habe, so sei nach dem Grundsatz der Verhältnismäßigkeit entscheidend, ob einem Grundstückseigentümer die Anpassung der Entwässerungsanlage zugemutet werden könne. Dies sah das VG Minden im vorliegenden Fall bei Umstellungskosten von ca. 5000 € pro Grundstück als gegeben an.

- Beseitigung von Dränagewasserfehlanschlüssen, die vor Erlass eines kommunalen Einleitungsverbotes errichtet wurden

Der Widmungszweck einer Abwasseranlage ist ausschließlich die Ableitung von Abwasser. Bei Einführung des Abwasserbegriffes lehnte man sich an die Definition der DIN 4045. Auch in der Vergangenheit war Grundwasser hiernach kein Abwasser. Dessen Ableitung verstieß somit gegen den Widmungszweck. Es kann daher eine Untersagungsverfügung für die Einleitung von Dränagewasser durch die Stadt ausgesprochen werden, wobei hierbei das Ermessen und der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit beachtet werden müssen. Ein baurechtlicher Bestandsschutz besteht nicht, da es sich um satzungsrechtliche Regelungen in Verbindung mit wasserrechtlichen Vorschriften handelt.

Liegen keine Gestattungen zur Einleitung von Dränagewasser vor, ist im Einzelfall zu prüfen, ob die durch die Einleitung des Grundwassers hervorgerufenen Schäden den finanziellen Aufwand für die Abkoppelung des Dränagewassers auf den Grundstücken überschreiten und damit eine Abkoppelung verhältnismäßig machen.

Sofern nachweisbare Gestattungen zur Einleitung von Dränagewasser in einen Abwasserkanal vorliegen, kann eine Gemeinde eine Fehleinleitung durch Aussprechen einer Beseitigungsverfügung untersagen. Im Vorfeld muss die Gestattung im Rahmen eines rechtmäßigen Verwaltungsaktes widerrufen werden. Die Gemeinde hat jedoch nach § 49 VwVfG NRW die erforderlichen Umbaukosten aus ihrem allgemeinen Haushalt zu tragen.

In Tabelle 16 sind die fremdwasserrelevanten Aspekte der wichtigsten Dränagetypen (vgl. Kapitel 2.3.1) gegenübergestellt. In der Tabelle nicht genannte Dränagearten, wie bspw. landwirtschaftliche Flächendränagen oder Dränagen zur Entwässerung

des Straßenunterbaus, spielen hinsichtlich der Fremdwasserthematik eine untergeordnete Rolle.

Tabelle 16: Gegenüberstellung fremdwasserrelevanter Aspekte von Dränagen

fremdwasser-relevanter Aspekt	Gebäudedränagen	Bauzeitdränagen auf Grundstücken und in der Kanalleitungszone
Art der Einleitung	temporär über Pumpen bzw. permanent	temporär bzw. permanent, sofern ein Verschluss vergessen wurde
Ort der Einleitung von Dränagewasser in ein Abwassersystem	separate Dränagewassereinleitung in einen öffentlichen Kanal oder auf dem privaten Grundstück in eine Abwasserleitung (vgl. Bild 20 und Bild 21)	über bereits fertig gestellte Hausanschlusskanäle oder Schächte in einen öffentlichen Abwasserkanal
Ortung von Dränagen zur gezielten Abkoppelung	optische Inspektion eines öffentlichen Kanals und privater Leitungen Befragung von Grundstückseigentümern und Durchsicht von Baugenehmigungen	Durchsicht von Baugenehmigungen und Begehung einer Baustelle optische Inspektion eines öffentlichen Kanals und privater Leitungen
Schwierigkeiten beim Verschluss von Dränageleitungen	Verschluss technisch durchführbar und immer zulässig, erhöhter Aufwand bei Flächendränagen Kostenübernahme durch den Grundstückseigentümer, bei vorliegender Gestattung Kostenübernahme durch die Kommune	Bei vorliegender Genehmigung darf eine Baudränge während der Bauzeit nicht verschlossen werden. Nach Abschluss der Bauphase nicht verschlossene, nicht genehmigte Dränagen dürfen abgekoppelt werden.
Konsequenzen eines Verschlusses	kleinräumiger Grundwasseranstieg mit den Folgen einer Gebäudevernässung	bei Baugrubendränagen nur kleinräumiger Grundwasseranstieg mit den Folgen einer Gebäudevernässung und Baugrubenüberflutung bei Dränagen in der Kanalleitungszone durch die größere Länge weiträumiger Grundwasseranstieg mit den Folgen von zahlreichen Gebäude- und Grundstücksvernässungen
Verantwortlichkeit	Grundstückseigentümer bzw. bei vorliegender Gestattung die Kommune	Bauunternehmen für den Verschluss nach Fertigstellung der Baumaßnahme und über die Gewährleistung auch danach
rechtliche Verpflichtung einer alternativen Ableitung des Dränagewassers	Prinzipiell ist ein Grundstückseigentümer für die Abdichtung seines Gebäudes selbst verantwortlich, so dass kein Anspruch auf eine Ableitung des Dränagewassers besteht. Bei bestehenden Gestattungen ist die Kommune mitverantwortlich.	keine, da entsprechende Bauverfahren im Grundwasser existieren (Bohrpfahlwand, Vereisung, Schlitzwand). Wenn jedoch weiträumige Vernässungen durch einen Grundwasseranstieg auftreten, können aus politischem Anlass Ableitungssysteme gebaut werden.

Die Beseitigung der **Fehleinleitungen von nicht behandlungsbedürftigem Niederschlagswasser** in Schmutzwasserkanäle stellt ein weiteres Instrument der

Fremdwasserreduzierung dar. Die verschiedenen Fehleinleitungen wurden in Kapitel 2.3.1 beschrieben.

Fehlangeschlossene Regenfallleitungen auf Grundstücken treten häufig auf. Erste Hinweise auf hierdurch hervorgerufenes Fremdwasser liefern Abflussspitzen in einer Schmutzwasserkanalisation während eines Regenereignisses, die auch zu einer Überlastung der Kanalisation führen können. In der Regel veranlasst dies eine Kommune, fehlangeschlossene Regenfallleitungen zu vermuten und diese auch abstellen zu wollen. Sie können über eine Vernebelung der Hauptkanals oder Zugabe eines Farbstoffes (Tracer) lokalisiert werden. Ein Abkoppeln der Leitungen gestaltet sich in der Regel problemlos, wenn eine entsprechende Vorflut für das Regenwasser vorhanden ist. Beispiele hierfür sind vorhandene Regenwasserkanäle, Wegseitengräben oder Gewässer. Darüber hinaus lässt sich Regenwasser zentral oder dezentral versickern sowie als Brauchwasser nutzen.

Zur Reduzierung der Zuflüsse von Niederschlagswasser über Schachtdeckelöffnungen in Schmutzwasserkanäle können wasserdicht konstruierte Schachtdeckel eingesetzt werden. Einfacher gestaltet sich ein provisorischer Verschluss der Lüftungsöffnungen mit Kunststoffstopfen und der Einlegetaschen mit Bitumenband. Sind Schachtdeckel unter dem Niveau der Fahrbahnoberfläche eingebaut, ist eine Anhebung mit Ausgleichsringen sinnvoll, um den Zufluss von Oberflächenwasser zu erschweren. Eine beinahe vollständige Abdichtung der Öffnungen der Schachtdeckel führt zu Problemen bei der Belüftung und ggf. zur Entstehung von biogener Schwefelsäurekorrosion. Aus diesem Grund ist eine ausreichende Belüftung sicherzustellen, indem die Schachtdeckel mindestens an den Endpunkten einer Kanalstrecke ausreichend belüftet werden.

Aus rechtlicher Sicht sind Fehleinleitungen von Niederschlagswasser genauso zu behandeln wie Dränagewassereinleitungen.

Ergänzend zu den bisher geschilderten Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung können auch in die Kanalisation **fehleingeleitete Gewässer**, wie bspw. Brunnen- und Quellenüberläufe, Oberflächengewässer sowie Siefen, abgekoppelt werden. Die Fehleinleitungen sind im Einzelfall anhand von aktuellen und historischen Karten, Genehmigungen und Befragung von Bürgern zu orten und entsprechende Maßnahmen zu ergreifen. Werden fehlangeschlossene Gewässer von der Abwasserkanalisation abgekoppelt und auf diese Weise der Fremdwasserabfluss reduziert, ist das Wasser im idealen Fall oberirdisch abzuleiten. Bei der Schaffung einer solchen Ableitung ergeben sich aus genehmigungsrechtlicher Sicht erhöhte Anforderungen an den Gewässerausbau nach der „Blauen Richtlinie“ (MUNLV NRW, 1999b) des Landes Nordrhein-Westfalen. In der Regel ist beim Gewässerausbau ein Plangenehmigungs-

bzw. Planfeststellungsverfahren durchzuführen, was einen erhöhten Zeitbedarf erfordert.

Unabhängig von den bisher geschilderten Maßnahmen lässt sich Fremdwasser durch eine gezielte **Absenkung des Grundwasserspiegels oder Umleitung des Grundwassers** reduzieren, indem es von möglichen Eintrittsstellen in Kanalisationen wie Undichtigkeiten oder Dränagen ferngehalten wird. Das entnommene Grundwasser kann oberirdisch in offenen Gewässern abgeleitet oder an geeigneter Stelle wieder ins Grundwasser versickert werden. So wird bspw. in der Stadt Monschau im Rahmen eines Pilotprojektes des Landes Nordrhein-Westfalen (SCHRÖDER und HENNERKES, 2003; HENNERKES et al., 2005) eine Hangdränage gebaut, die das einer in Hanglage liegenden Ortschaft oberflächennah zufließende Sickerwasser abfangen soll. Das entnommene Grundwasser wird in Oberflächengewässer eingeleitet. Die Ortschaft wird durch die Wirkung der Hangdränage vom größten Teil des nach Niederschlägen oberflächennah abfließenden Sickerwassers abgeschirmt und auf diesem Weg ein weiterer Grundwassereintritt über Dränagen und Undichtigkeiten verringert.

Im Anhang 1 sind Anhaltswerte zu den Kosten von Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung zusammengestellt.

3.4 Maßnahmen zur Reduzierung der Auswirkungen von Fremdwasser

Fremdwasser lässt sich in historisch gewachsenen Entwässerungsnetzen nie ganz vermeiden. Selbst neu gebaute Kanalisationen sind in der Praxis selten dauerhaft wasserdicht. Um schädliche Auswirkungen von Fremdwasser noch weiter zu minimieren, bieten sich eine einzugsgebietsbezogene Betrachtung und die Ausnutzung vorhandener Reserven in Entwässerungssystemen an (LfU, 2001; ATV-DVWK, 2003d und DWA, 2005). Wurden Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung durchgeführt und treten durch den noch verbleibenden Fremdwasserabfluss dennoch Schäden auf, lassen sich End-of-pipe Maßnahmen ergreifen. Diese Maßnahmen reduzieren die Auswirkungen des Fremdwassers und werden als wirkungsbezogene Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung bezeichnet. Im Sinne der Nachhaltigkeit und dem Verdünnungsverbot nach § 7a AbwV ist jedoch grundsätzlich den ursachenbezogenen Maßnahmen Vorrang einzuräumen, also der Reduzierung des Fremdwasserabflusses an der Quelle. Sie kommen nur dann in Betracht, wenn im betreffenden Netz keine fremdwasserbedingten Entlastungen erfolgen und die Kläranlagen eine den genehmigungsrechtlichen Vorgaben genügende Abwasserreinigung gewährleisten.

Zur Minimierung der Auswirkungen von hohen Fremdwasserabflüssen können Maßnahmen im Kanalnetz, an Regenwasserbehandlungsanlagen und auf kommunalen Kläranlagen ergriffen werden. Dies gilt besonders für diejenigen Netze, in denen Undichtigkeiten und Fehlanlüsse nur längerfristig beseitigt werden können. Die verschiedenen Möglichkeiten werden nachfolgend geschildert.

3.4.1 Maßnahmen im Kanalnetz

Besonders niederschlagsbedingtes Fremdwasser führt in den Schmutzwasserkanälen eines Trennsystems bei Überschreitung der Abflusskapazität schnell zu hydraulischen Überlastungen. In Mischsystemen hingegen treten auf Fremdwasser zurückführbare hydraulische Überlastungen kaum auf, da diese Kanäle zur Abführung des Niederschlages auf ein Vielfaches des Schmutzwasserabflusses bemessen werden.

Vor allem Schmutzwasserpumpwerke stellen daher neuralgische Punkte in Kanalnetzen dar. Wird das Abwasser nicht schnell genug gefördert und stehen keine ausreichenden Kapazitäten bei Spitzenbelastungen zur Verfügung, können Teile eines Netzes eingestaut werden und ggf. Überflutungen auftreten. Um derartige Probleme durch ein hohes Fremdwasseraufkommen zu vermeiden, können zusätzliche Aggregate installiert werden oder vorhandene Pumpen durch leistungsfähigere ausgetauscht werden. Limitierend wirkt bei der Erweiterung von Pumpwerken der verfügbare Platz, so dass ggf. Zusatzpumpwerke erforderlich werden.

Tritt eine hydraulische Überlastung von Kanälen durch Fremdwasser auf, kann durch eine Erweiterung der Abflusskapazität Abhilfe geschaffen werden. Durch den Einbau von größeren Nennweiten in den betreffenden Netzabschnitten können die Überlastungen reduziert werden. Zur Querschnittsvergrößerung bieten sich technische Verfahren der Erneuerung an, bspw. eine Neuverlegung, Berstlining oder Pipe-Eating. Um keinen Rückstau zu erzeugen, müssen nicht nur einzelne Haltungen ausgetauscht werden müssen, sondern ganze Rohrstränge. Die mit vergleichsweise großem Aufwand zu beziffernde Maßnahme bietet sich besonders für zu erneuernde schadhafte Kanäle an. Da diese Maßnahme überwiegend nur auf die Schmutzwasserkanäle eines Trennsystems zutreffend ist, entfällt eine Betrachtung von Regenwasserbehandlungsanlagen. Lediglich die Aufnahme- und Reinigungskapazität einer am Netzeende gelegenen Kläranlage ist nachzuweisen.

Alternativ zu einer Vergrößerung der hydraulischen Abflusskapazität können Änderungen einer bestehenden Entwässerungskonzeption sinnvoll sein, um diese an die zu erwartenden Abflüsse anzupassen. Die in diesem Zusammenhang erforderlich werdenden Umbauten v. a. auf den Privatgrundstücken können nicht pauschal abgeschätzt werden. Beispiele für derartige Maßnahmen sind der

- Umbau eines bestehenden Mischsystems in ein Trennsystem durch Umwidmung des Mischwasserkanals in einen Regenwasserkanal und Neubau eines Schmutzwasserkanals,
- Bau einer Druck- oder Vakuumentwässerung und Umwidmung des bestehenden Mischwasserkanals zu einem Regen- und Dränagewasserkanal,
- Bau eines Kanals oder offenen Grabensystems zur Ableitung von Dränagewasser zusätzlich zu einem vorhandenen Misch- oder Trennsystem,
- die Umwidmung eines Schmutzwasserkanals im Trennsystem in einen Dränagesammler und Neubau eines zusätzlichen Schmutzwasserkanals (3-Rohr-System) oder
- zusätzliche Anordnung von abschlagsfreien Rückhaltebecken im Schmutzwasserkanalnetz eines Trennsystems zur Zwischenspeicherung und Pufferung von Abflussspitzen des niederschlagsbedingten Fremdwasserabflusses (DWA, 2005).

Im Rahmen von Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung kann zur Minimierung von Abflüssen in Mischwasserkanalisationen auch eine Abkoppelung von nicht behandlungsbedürftigem Niederschlagswasser betrachtet werden. In Kombination mit fremdwasserreduzierenden Maßnahmen kann eine Verminderung der hydraulischen Belastung von Kanälen, Regenbecken und Kläranlagen erreicht werden. Die hierbei erforderlichen Grabensysteme und Gewässer sind dann auch zur Ableitung des bei der Fremdwasserreduzierung abgekoppelten Grund- und Niederschlagswassers nutzbar. Hinweise zu Vor- und Nachteilen sowie den erreichbaren Graden der Abkoppelung geben die Arbeitsberichte der DWA Arbeitsgruppe ES-2.6 „Hydrologie der Stadtentwässerung“ (ATV-DVWK, 2000 und 2002c). Zurzeit arbeitet bspw. die Emschergenossenschaft an einem „Zukunftsvertrag Regenwasser“ mit dem Ziel, innerhalb der nächsten 15 Jahre in der Emscherregion 15 % des Abflusses des von befestigten Flächen abfließenden Niederschlagswassers von Mischkanalisationen abzukoppeln. Im Rahmen einer nachhaltigen Regenwasserbewirtschaftung soll hierdurch ein großer Teil des Regenwassers allmählich wieder dem natürlichen Wasserhaushalt zugeführt werden (BECKER et al., 1999 und Emschergenossenschaft, 2004).

3.4.2 Maßnahmen an Regenwasserbehandlungsanlagen

Im Mischsystem spielen hohe Fremdwasserabflüsse hinsichtlich der hydraulischen Auslastung der Kanäle eine untergeordnete Rolle, nicht jedoch beim Betrieb von Regenwasserbehandlungsanlagen. Überlagern sich Regenereignisse mit hohen Fremdwasserabflüssen, besteht besonders im Frühjahr die Gefahr, dass Regenbecken überdurchschnittlich lange eingestaut sind und auch länger in Gewässer ent-

lasten (vgl. Kapitel 2.5). Derartige schädliche Auswirkungen können in einem Entwässerungssystem nachträglich reduziert werden, indem das Speichervolumen von Regenbecken vergrößert oder die Abflüsse zur Kläranlage erhöht werden.

Durch eine Vergrößerung des Speichervolumens von Regenbecken können die Abflussspitzen bei Regenereignissen ausreichend abgepuffert werden. Dies ist insbesondere für Becken relevant, die durch Fremdwasser überdurchschnittlich lange teileingestaut sind. Die Becken sind so neu zu dimensionieren, dass die auf einen Fremdwasserabfluss rückführbaren Entlastungen auf ein Minimum reduziert werden, d. h. die nach Arbeitsblatt ATV-A 128 (1992) vorgegebene zulässige Entlastungsrate e_0 eingehalten wird. Für ein Regenbecken bedeutet dies nach HALLER (2002) einen zum Fremdwasseraufkommen nahezu linearen Volumenzuwachs. Alternativ besteht die Möglichkeit, Kanalvolumen zum Mischwasserrückhalt zu aktivieren.

Schädliche Auswirkungen von Fremdwasser können bei Regenbecken auch durch eine Erhöhung der Drosselabflüsse zur Kläranlage vermindert werden, wenn die im Netz nachgeschalteten Abwasseranlagen einen höheren Abfluss verkraften (DWA, 2005). Diese Lösung ist nicht auf Regenbecken mit fest installierten Drosselleitungen übertragbar, sondern betrifft ausschließlich steuerbare Drosseln. Nach einer Umfrage der ATV (1998) waren 56 % der Regenrückhalteräume im Jahr 1997 mit nichtsteuerbaren Drosseln ausgerüstet, der Anteil mit steuerbaren Drosseln und einer Abflusssteuerung durch Pumpen betrug 44 % bei steigender Tendenz. Diese Aussage wird durch eine Auswertung neuerer Daten in der Datenbank REBEKA des Landes Nordrhein-Westfalen gestützt. Hiernach verfügen 44 % der 7833 Anlagen im Jahr 2004 über steuerbare oder einstellbare Drosseln. In 45 % der Anlagen sind feste Drosseln installiert, zu den restlichen 11 % liegt keine Auskunft vor. Die Zahlen verdeutlichen, dass bei knapp der Hälfte aller Anlagen zur Regenwasserbehandlung ein entsprechendes Potenzial zur Vergrößerung der Drosselabflüsse vorhanden ist. Die Abflüsse im Kanalnetz können allerdings nicht beliebig vergrößert werden, da eine am Netzende gelegene Kläranlage nicht mit beliebig großen Abwassermengen beschickt werden kann. Es gilt vielmehr, unter dem Gesichtspunkt einer Minimierung der Schmutzfrachtemissionen ins Gewässer ein Optimum zwischen Entlastungen aus Regenbecken im Netz und Emissionen aus einem Kläranlagenablauf zu finden. Auch die Betriebskosten auf einer Kläranlage steigen mit zunehmender hydraulischer Belastung. Das ATV-DVWK Merkblatt M 177 (2001) und ATV-DVWK Arbeitsblatt A 198 (2003) geben einen optimalen Mischwasserzufluss zu Kläranlagen im Bereich von $2,0$ bis $3,0 \cdot Q_T$ an. Zu vergleichbaren Ergebnissen kommt bspw. auch der RUHRVERBAND (1999) anhand von eigenen Optimierungsberechnungen. Eine weitere Limitierung der hydraulischen Beschickung einer Kläranlage ergibt sich durch die Forderung, dass die Mindestablaufanforderungen nach AbwV nicht durch Ver-

dünnung erreicht werden dürfen. Der für die Verdünnung des Abwassers maßgebende Fremdwasseranteil im Zufluss zu einer Kläranlage darf also nicht beliebig groß sein.

Entsprechende einheitliche Festlegungen, wie groß ein Fremdwasserabfluss sein muss, damit eine unzulässige Verdünnung vorliegt, gibt es mit Ausnahme der länderspezifischen Ausführungen zum Abwasserabgabengesetz nicht (vgl. Kapitel 2.4.3). Die Nennung eines konkreten Wertes wird zusätzlich dadurch erschwert, dass Fremdwasser in der Fläche nicht homogen verteilt anfällt, sondern von einer Vielzahl an Faktoren in seiner Menge und Charakteristik beeinflusst wird.

Finden überdurchschnittlich häufig Entlastungen aus Regenbecken statt, besteht die Möglichkeit, eine weitergehende Behandlung des entlasteten Mischwassers durch den Bau von Retentionsbodenfiltern zu erreichen. In Nordrhein-Westfalen kommen auf etwa 5000 Abschlags- und Entlastungsbauwerke aus Mischkanalisationen in Gewässer etwa 20 Retentionsbodenfilter (KASTING, 2000; KLEEGRAF et al., 2002 und MUNLV NRW, 2003). Durch den hohen erforderlichen Flächenbedarf und die hiermit verbundenen Kosten für den Grunderwerb werden Retentionsbodenfilter überwiegend im ländlichen Raum eingesetzt.

Obwohl sich Retentionsbodenfilter grundsätzlich anbieten, ein Gewässer vor stofflicher und auch hydraulischer Belastung zu schützen, sprechen bei einer hohen Fremdwasserbelastung nach DWA Merkblatt M 178 (2005) einige Argumente gegen den Bau eines solchen Beckens. Eine kontinuierliche hydraulische Belastung des Filterbeckens durch einen hohen Fremdwasserabfluss in den Winter- und Frühjahrsmonaten führt zu einem Teileinstau, so dass die notwendige Belüftung des Filtermaterials unterbunden wird. Hierdurch kommt es zu anaeroben Abbauprozessen und zur Verschlammung des Beckens. Tritt zusätzlich noch eine Belastung des Beckens mit organischen Stoffen auf, kann sich der Porenraum des Filters durch biologische Kolmation zusetzen. Letztendlich rät daher das DWA Merkblatt M 178 (2005), bei hohen Fremdwasserzuflüssen auf Retentionsbodenfilter zu verzichten. Geht es vornehmlich um den Schutz eines Gewässers vor hydraulischer Belastung, kann dies am besten durch den Bau eines Regenrückhaltebeckens erreicht werden.

3.4.3 Maßnahmen auf kommunalen Kläranlagen

Auf kommunalen Kläranlagen lassen sich ebenfalls Maßnahmen zur Reduzierung der Auswirkungen von Fremdwasser durchführen. Die Maßnahmen beschränken sich im Wesentlichen auf eine Ertüchtigung hydraulisch oder biologisch unzureichend bemessener oder durch erhöhten Fremdwasserzufluss belastete Bauteile. Die entsprechenden Auswirkungen von Fremdwasser, v. a. auf den niedrigen Wirkungsgrad

der Stickstoffelimination, wurden bereits in Kapitel 2.5.4 geschildert. Der theoretische Fall des Neubaus einer Kläranlage infolge unzureichender Reinigungsleistung lässt sich nicht alleinig mit der Begründung „Fremdwasser“ rechtfertigen.

In erster Linie kommt im Rahmen einer genehmigungsfähigen Erhöhung des Ausbauzuflusses bei hydraulisch bemessenen Teilen eine Leistungssteigerung durch Erweiterung oder den Einbau von zusätzlichen Aggregaten in Betracht. Bei temporären Engpässen können zusätzliche Aggregate zur Abwasser- bzw. Mischwasseraufbereitung im Bypass auf der Kläranlage installiert werden. Hierzu eignen sich u. a. chemische Fällungs- und Flockungsanlagen, die je nach Fremdwasserbelastung sowohl bei Trockenwetter als auch bei Mischwasserzufluss eingesetzt werden können. Alternativ sind Verfahrensumstellungen bspw. durch Flockungsmittelzugabe oder Einbau von Lamellenseparatoren zur Erhöhung der Behandlungskapazität vorstellbar. Eine Verbesserung des Wirkungsgrades v. a. bei einer durch Verdünnung hervorgerufenen unzureichenden Stickstoffelimination (vgl. Kapitel 2.5.4) lässt sich bestenfalls nur durch den aufwendigen Bau von Verfahrensstufen zur weitergehenden Abwasserreinigung erzielen, bspw. durch den Bau einer Nachnitritifikation, eines Sandfilters oder Membranfiltration (DWA, 2005).

3.5 Maßnahmen zum Schutz vor ansteigendem Grundwasser

3.5.1 Bisherige Entwicklungen

Undichte Abwasserkanäle und -leitungen sowie Hausdränagen funktionieren als Vorfluter für Grundwasser und können den Grundwasserspiegel künstlich absenken. Werden die undichten Kanäle saniert bzw. fehlangeschlossene Dränagen vom Kanal abgekoppelt, besteht die Möglichkeit, dass der Grundwasserspiegel hierdurch ansteigt (vgl. Kapitel 2.6.2 und 3.3.1). In der Folge sind erhebliche Nutzungseinschränkungen durch Vernässung von Gebäuden sowie land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen möglich. Auch können weitere schädliche Auswirkungen durch einen hohen Grundwasserspiegel entstehen (GETTA et al., 2004), wie bspw.

- erneuter Zufluss von Grundwasser in die Kanalisation über bisher noch nicht geortete Dränagen und Undichtigkeiten, v. a. im Bereich der in der Regel höher als ein öffentlicher Kanal gelegenen Grundstücksentwässerungsleitungen,
- Auswaschung und Mobilisierung von Schadstoffen aus bspw. Altlasten und Deponien,
- Hebungen an der Geländeoberfläche durch quelfähige Tonmineralien sowie

- Gefährdung der Standsicherheit von Gebäuden durch Auftrieb und Einspülung von Boden.

Einige ausgewählte Beispiele zur Vorflutwirkung von undichten Abwasserkanälen für Grundwasser sind nachfolgend aufgeführt. GUSTAFSSON (2000) schildert die Erneuerung eines Abwasserkanals, wodurch das Fremdwasser um 75 % reduziert werden konnte. Im Vorfeld wurde jedoch nachgewiesen, dass durch den alten, undichten Kanal eine erhebliche Grundwasserabsenkung stattfand. Eine Abdichtung hätte eine großräumige Überflutung zur Folge gehabt. Aufgrund dessen wurden erfolgreich grundwasserabsenkende Maßnahmen durchgeführt, indem parallel zum neuen Abwasserkanal Dränagen verlegt wurden. Auch KÖRKEMEYER (2003) berichtet über die Sanierung eines Abwasserkanals in Altena in Nordrhein-Westfalen, in deren Folge der Grundwasserspiegel weiträumig anstieg und zu einer Vernässung der Keller führte.

Die Stadtwerke Essen AG (IHDE, 2004) berichteten auf einem Workshop über zwei Beispiele, bei denen es nach umfangreichen Kanalsanierungsarbeiten zum Anstieg des Grundwassers mit anschließenden Anwohnerbeschwerden kam. So traten in einem von ehemaligen Bergsenkungen betroffenen Gebiet einer Kleingartenanlage in Essen-Altenessen Überschwemmungen auf, die eine starke Vernässung der angrenzenden Gärten bewirkten. Durch Verlegen von Dränagen sowie die Installation einer Pumpe mit Überleitung zu einem Graben konnte das Problem gelöst werden. Schadensersatzforderungen der Betroffenen wurden von den Stadtwerken mit dem Hinweis abgelehnt, dass durch die Verlegung der neuen Kanäle lediglich die Rechtspflicht des Abwasserbeseitigungspflichtigen erfüllt wurde, ein den a. a. R. d. T. entsprechendes Kanalnetz zu betreiben. Durch die Aufhebung der Dränagewirkung des vormals undichten Kanals hätte sich der natürliche Grundwasserstand eingestellt, gegen den sich jeder Grundstückseigentümer selber schützen müsse. Diese Auffassung entspricht auch der gegenwärtigen Rechtsprechung (vgl. Kapitel 3.3).

Im zweiten Beispiel kam es nach der Durchführung von Kanalsanierungsmaßnahmen in einer Wohnsiedlung in einem Poldergebiet nördlich des Rhein-Herne-Kanals zu einem Grundwasseranstieg, der die Durchfeuchtung mehrerer Keller zur Folge hatte. Auch hier wurden Schadensersatzforderungen der Betroffenen aus dem gleichen Grund wie im ersten Beispiel abgelehnt. Da keine weitere Betreuung durch den Netzbetreiber erfolgte, ist davon auszugehen, dass die Betroffenen schwer kontrollierbar auf eigene Kosten Dränageleitungen mit Anschluss an die privaten Abwasserleitungen verlegt haben, um dem Problem Abhilfe zu schaffen. Die beiden Beispiele dokumentieren den häufigen Fall einer Kanalsanierung, deren Folge eines Grundwasseranstiegs im Vorfeld nicht berücksichtigt wurde. Im Rahmen eines Fremdwasser-

serkonzeptes hätte man den Betroffenen ggf. auch kostenpflichtig geeignete Vorflutmöglichkeiten für das Dränagewasser zur Verfügung stellen können (vgl. Kapitel 3.3.2) und so einen erneuten Fehlanschluss vermeiden können. Eine genaue Aussage zu einer Kostenübernahme und Haftung ist in den beiden genannten Beispielen nicht möglich, da weitere Angaben fehlen.

BECKER (2004a) berichtet über die Problematik grundwasserbedingter Gebäudeschäden in Duisburg. Aufgrund der exponierten Lage der Stadt am Rhein hat die Thematik Grundwasserbewirtschaftung im Stadtgebiet bereits seit Jahrzehnten einen hohen Stellenwert. Dies liegt ursächlich darin begründet, dass infolge der bergbaulichen Einwirkungen weite Gebiete der Stadt als Poldergebiete ausgewiesen sind. Im Ortsteil Duisburg-Meiderich traten bereits kurz nach Abschluss von Kanalsanierungsarbeiten erhebliche Vernässungsschäden an einzelnen Gebäuden auf. Das Drängen der Betroffenen nach einer Sanierung der vernässten Gebäude wurde dadurch verstärkt, dass in einigen Kellern auffällige Geruchsbelästigungen infolge mobilisierter PAK aus einer nahe gelegenen Altlast festgestellt wurden. Eine angedachte Grundwasserabsenkung wurde verworfen, da das entnommene kontaminierte Grundwasser einer Reinigung hätte zugeführt werden müssen. Als einzig zeitnahe Lösung bot sich die Sanierung direkt am betroffenen Objekt an, z. B. in Form einer innenliegenden „weißen Wanne“.

Werden durch einen Grundwasseranstieg Altlasten mobilisiert, haftet nach § 22 WHG in erster Linie der Verantwortliche der Altlasteneinlagerung. Wenn dieser nicht ausfindig gemacht werden kann, wird der Verursacher des Grundwasseranstieges für die Folgen der Altlastenmobilisierung verantwortlich. Im vorgenannten Beispiel übernimmt die Kommune die Kosten für die Sanierung der kontaminierten Gebäude.

In Kapitel 3.3 wurde bereits festgestellt, dass ein Grundstückseigentümer für die Abdichtung seines Gebäudes gegen Grundwasser selbst verantwortlich ist. Sofern ein Gebäude nicht ausreichend abgedichtet ist und nur kleinräumige Veränderungen des Grundwasserspiegels zu erwarten sind, kommt eine nachträgliche Bauwerksabdichtung in Betracht. Sind jedoch großräumige Vernässungen als Folge einer Kanalsanierung zu befürchten, ist auch aus Sicht der Wasserbehörden dafür Sorge zu tragen, dass ein hoch anstehendes Grundwasser nicht zu einer Beeinträchtigung der Bausubstanz bzw. Nutzung der Grundstücke führt. Aus diesen Gründen wird in einem konkreten Beispiel von einer Wasserbehörde die Installation eines Ableitungssystems für Grundwasser vorgeschlagen, welches von der zuständigen Kommune bzw. dem Wasserverband bewirtschaftet werden soll (IHDE, 2004).

Die Anlage von solchen dränierenden Systemen stellt eine erlaubnispflichtige Gewässerbenutzung nach § 2 Abs. 1 WHG dar, die je nach Ausmaß mit erheblichen

Eingriffen in den Bodenwasserhaushalt und damit entsprechenden Ausgleichsmaßnahmen, wie bspw. der Anlage von Biotopen an anderer Stelle, verbunden sein kann. Eine Grundwasserabsenkung ist nach NISPEANU (2004) erlaubnispflichtig und auch erlaubnisfähig nach §§ 2, 3 und 7 WHG, sofern sie dazu dient, den Grundwasserabfluss im Abwasserkanal zu vermeiden und auf diesem Weg die Funktionsfähigkeit von Abwasseranlagen zu gewährleisten. Sie ist weiterhin erlaubnisfähig, wenn sie gemäß § 6 WHG (Beurteilungsmaßstab) dem Wohl der Allgemeinheit dient. Flankierend aufgestellte Grundwassermodelle können helfen, die Reichweite und Auswirkungen einer solchen Grundwasserabsenkung auf die Umwelt abzuschätzen. In einem Urteil des Verwaltungsgerichtes Neustadt vom 6.7.2005 (AZ: 1 K 350/05.NW und 1 K 351/05.NW) wurde es am Beispiel einer von steigenden Grundwasserständen und Vernässungen betroffenen Ortschaft als rechtens angesehen, von den betroffenen Grundstückseigentümern Beiträge für die Installation und den Betrieb von grundwasserabsenkenden Einrichtungen zu erheben.

3.5.2 Absenkung des Grundwasserspiegels

Entschließt sich eine Gemeinde in Absprache mit den Genehmigungsbehörden einen durch fremdwasserreduzierende Maßnahmen verursachten steigenden Grundwasserspiegel gezielt abzusenken, bieten sich hierzu bewährte Verfahren an, wie die offene Wasserhaltung, vertikale und horizontale Brunnen, Sickerschlitze und Dränagesysteme. Zusätzlich werden Ableitungssysteme und eine Vorflut für das entnommene Grundwasser mit einer ausreichenden hydraulischen Leistungsfähigkeit erforderlich.

Die Auswahl von **Verfahren zur Grundwasserhaltung** erfolgt mit Hilfe von Eignungskriterien, die in Tabelle 17 zusammengefasst sind. Wesentlichen Einfluss haben die Wasserdurchlässigkeit des Bodens und das Ausmaß der geplanten Grundwasserabsenkung. Vakuumbrunnen und Elektroosmose sind aufgrund von hohen Bau- und Betriebskosten sowie einer geringen Reichweite des Absenktrichters des Grundwasserspiegels nicht geeignet.

Eine offene Wasserhaltung, bspw. in Form von Entwässerungsgräben, wird bei einem oberflächennahen Grundwasserleiter angewendet. Tief eingeschnittene Fließgewässer erfüllen eine ähnliche Funktion wie offene Ableitungsgräben und wirken ebenso dränierend auf das Grundwasser. Die Absenkleistung wird von der Wasserdurchlässigkeit des Bodens und der Grabentiefe bestimmt. Je nach Lage und erforderlicher Tiefe der Gräben sind bei einer Böschungsneigung von 1:2 ein hoher Flächenbedarf und Grunderwerbskosten notwendig. Aus diesem Grund dürfte die Anwendung vornehmlich auf den ländlich geprägten Raum beschränkt sein. Dennoch lässt sich die offene Wasserhaltung im Straßenraum anordnen und bis in einige Me-

ter Tiefe kostengünstig herstellen bzw. unterhalten. Offene Entwässerungsgräben verfügen bei regelmäßiger Pflege im Vergleich zu den in Tabelle 17 sonst genannten Verfahren über die längste Nutzungsdauer. Technische Anlagen zur Hebung des Grundwassers sind nicht erforderlich, da sie bei erforderlicher flacher Absenkung eingesetzt werden.

Tabelle 17: Eignungskriterien zur Auswahl von Verfahren zur Grundwasserhaltung

Fassungs- bauart	k_F - Wert (m/s)	Absenk- tiefe ¹⁾ (m)	Mächt- keit des GWL ²⁾ (m)	Flur- abstand (m)	Pump- betrieb erford.	Bemerkungen
offene Wasserhal- tung	$1 \cdot 10^{-1}$ bis $1 \cdot 10^{-9}$	0 - 6	unab- hängig	0 - 7	nein	geringer Unterhaltungsaufwand, linienförmiger Absenkungsbereich, Absenkungstiefe von der Ein- schnitttiefe und der Wasserdurch- lässigkeit abhängig, begrenzter Absenkungsbetrag aufgrund der geringen Tiefe des Grabenwas- serspiegels
horizontale Si- ckerleitungen und Dränagen	$1 \cdot 10^{-1}$ bis $1 \cdot 10^{-5}$	0 - H/2	unab- hängig	0 - 6	i. d. R. nein	wenige Bauwerke mit zentralen Betriebspunkten, flächen- und li- nienförmige Absenkung vom Po- tentialgefälle im Sammler abhän- gig
vertikale Tiefbrunnen	$1 \cdot 10^{-1}$ bis $1 \cdot 10^{-5}$	0 - H/2	ab 5	unab- hängig	ja	viele Einzelbauwerke, konzentri- scher Absenkungstrichter, große Absenkung möglich
Horizontalfil- terbrunnen	$1 \cdot 10^{-1}$ bis $1 \cdot 10^{-5}$	0 - H/2	5 - 30	0 - 20	ja	wenige Bauwerke mit zentralen Betriebspunkten, hohe und fläch- ige Absenkung
Quellen: HERTH und ARNDT (1994), BIESKE (1999)						
Erläuterungen: ¹⁾ H = Grundwasserdruckhöhe ²⁾ GWL = Grundwasserleiter						

Eine weitere Möglichkeit zur Grundwasserabsenkung stellt der Bau von Sickerleitungen oder Dränagen bei einem oberflächennahen Grundwasserleiter dar. Hierzu werden Sickerrohre DN 200 - 800 in Gräben unter geringem Gefälle in einer filterstabilen Kiespackung verlegt. Das in die Rohre infiltrierende Grundwasser wird in Sammel-schächten gefasst und zu Tage gefördert oder im Freigefälle einem Vorfluter zugelei-tet. Sickerleitungen bzw. Dränagen erzeugen eine linienförmige Absenkung des Grundwasserspiegels und eignen sich daher ebenso wie eine offene Wasserhaltung besser für die Abfangung von Sickerwasser in Hanglagen als für eine weiträumige Grundwasserabsenkung. Alternativ können Sickerleitungen auch parallel zu den bis-her undichten Abwasserkanälen gebaut werden und damit eine vergleichbare Drä-nierung des Bodens erzeugen. Durch die Verlegung im Boden entsteht nur ein gerin-ger Flächenverbrauch, so dass auch eine Anordnung im Straßenraum problemlos

möglich ist. Trotz einer hohen Betriebssicherheit besteht bei Dränagen und Sickerleitungen bei aggressivem Grundwasser die Gefahr einer Verockerung und damit einer begrenzter Nutzungsdauer (vgl. Kapitel 3.3.2).

Soll nach einer umfassenden Sanierung des Kanalnetzes eine in der Siedlungsfläche ausgeprägte Grundwasserabsenkung durchgeführt werden, kommt der Einsatz von Brunnen in Betracht. So eignen sich Horizontalfilterbrunnen besonders bei einem Grundwasserleiter geringer Mächtigkeit in größerer Tiefe und vertikale Tiefbrunnen bei Fassung von Grundwasser aus einer in größerer Tiefe liegenden Schicht mit höherer Mächtigkeit. Der entstehende Absenkungstrichter nimmt mit der Förderrate zu. Eine flächendeckende Absenkung ist in Form einer Brunnengalerie erreichbar. Brunnen unterliegen ähnlich wie Dränagen Alterungsprozessen, die von der chemisch-physikalischen Beschaffenheit des Grundwassers und dem Betrieb der Brunnen bestimmt werden. Brunnen zeichnen sich durch eine lange Lebensdauer bei geringem Wartungsaufwand aus. Einer hohen Förderleistung stehen ein immenser Energie- und Platzbedarf entgegen.

Werden grundwasserabsenkende Systeme eingerichtet, sind letztendlich auch geeignete offene oder verrohrte **Möglichkeiten zur Ableitung des entnommenen Grundwassers** zu nutzen oder zu schaffen. Das Wasser kann nach der Ableitung bspw. versickert, über Regenwasserkanäle oder Entwässerungsgräben in ein Gewässer oder Feuchtgebiete eingeleitet sowie als Brauchwasser genutzt werden. Neben einer Nutzung von bereits bestehenden Dränagen bzw. Sickerleitungen lassen sich separate Grundwasserkanäle bauen oder auch bestehende Mischwasserkanäle bei gleichzeitigem Neubau eines Schmutzwasserkanals in einen Regenwasserkanal umwidmen. Besonders bei der Umwidmung eines Mischwasserkanals entfallen zeitintensive Entflechtungs- und Kanalsanierungsarbeiten auf den Grundstücken.

Bei der Planung von Ableitungssystemen, der Auswahl einer Vorflut und der Lage von Anlagen zur Versickerung sind die örtlichen Gegebenheiten zu berücksichtigen, um einen erneuten Grundwasseranstieg zu verhindern oder Vernässungsschäden an anderer Stelle zu vermeiden. Bei der Frage nach der Auswahl eines geeigneten Ableitungssystems steht ein nachhaltiger und naturnaher Umgang mit dem Grund- und Niederschlagswasser im Vordergrund. Hierdurch entstehen Vorteile, wie eine erhöhte Grundwasserneubildungsrate, gesteigerte Niedrigwasserabflüsse in Gewässern und Dämpfung von Hochwasserwellen sowie wirtschaftliche Vorteile für den Kanalbau bei einer Kombination mit Abkoppelungsmaßnahmen von Niederschlagswasser (BECKER, 2000; WOLF und MILOJEVIC, 2003).

Offene Ableitungssysteme für das Grundwasser sind daher verrohrten Systemen vorzuziehen, erfordern aber ein ausreichendes Gefälle. Sie bieten einen Lebensraum

für Aquafauna und -flora und prägen als Funktions- und Erlebniselement das Stadtbild (SÖNNICHSEN und GESCH, 2002). Andererseits erfordern sie wie Entwässerungsgräben zur Grundwasserabsenkung einen hohen Flächenbedarf und Unterhaltungsaufwand. Die Planung erfolgt unter Einbeziehung von Gewässerökologie und der Stadtplanung. Falls eine offene Ableitung nicht möglich ist, muss verrohrt abgeleitet werden. Existiert kein gesonderter Regenwasserkanal, der für eine Mitableitung genutzt werden kann, können gesonderte Entwässerungskanäle geschaffen werden. Sinnvoll wird diese Lösung besonders bei einer Vielzahl angeschlossener Hausdrainagen und der Gefahr eines Grundwasseranstiegs. Allerdings werden Mehrkosten und ein hoher Platzbedarf erforderlich.

Die Ableitung von Grundwasser in einem Gewässer ist unter hydraulischen und stofflichen Aspekten unkritisch, da es sich bei einem unverschmutzten Grundwasser im Vergleich zum Abfluss des Vorfluters nur um verhältnismäßig geringe Mengen handelt. Weitaus interessanter ist die Fragestellung nach der Zulässigkeit einer Versickerung von Grundwasser in einem ehemals fremdwasserbelasteten Siedlungsgebiet. Letztendlich soll Grundwasser ja nur dort wieder dem Bodenwasserhaushalt zugeführt werden, wo es zu keinen Vernässungen führt.

Für eine Versickerung von Grund- und Niederschlagswasser kommen eine Flächenversickerung, Versickerung in Mulden und Mulden-Rigolen in Betracht. Sie sind aufgrund der Reinigungswirkung des bewachsenen Oberbodens zu bevorzugen. In Ausnahmefällen ist auch eine erlaubnispflichtige Rigolen-, Rohr-Rigolen- oder Schachtversickerung zulässig. Vor- und Nachteile von Systemen zur Versickerung finden sich bei u. a. bei GEIGER und DREISEITL (1995), Materialien des Bundesverbandes Boden (BVB, 1999), Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 138 (2002) und GRAU (2004).

Zur Vermeidung von Bauwerksvernässungen sind besondere Anforderungen an die wasserwirtschaftlichen und hydrogeologischen Randbedingungen zu stellen. Neben einer hinreichenden Wasserdurchlässigkeit des Bodens sind Mindestflurabstände des Grundwassers einzuhalten (siehe Tabelle 18). Bei klüftig-felsigem Untergrund, Hanglagen oder schwierigen Gefälleverhältnissen müssen zusätzliche Untersuchungen durchgeführt werden.

Tabelle 18: Bewirtschaftungsanlagen in Abhängigkeit von der Wasserdurchlässigkeit und Flurabstand

Art der Versickerung		Durchlässigkeitsbereich der Böden (m/s)	erforderlicher Grundwasserflurabstand
Flächenversickerung (nur Versickerung)	Flächenverfügbarkeit hoch ↕ niedrig	$k_F \geq 2 \cdot 10^{-5}$	> 0,5 m (> 1,00 m*)
Muldenversickerung (Versickerung + Speicherung)		$5 \cdot 10^{-6} \leq k_F < 2 \cdot 10^{-5}$	> 0,8 m (> 1,50 m*)
Mulden-Rigolen-Versickerung ohne Ableitung (Versickerung + Speicherung)		$1 \cdot 10^{-6} \leq k_F < 5 \cdot 10^{-6}$	> 1,2 m (> 2,50 m*)
Mulden-Rigolen-Versickerung mit gedrosselter Ableitung (Versickerung, Speicherung und Ableitung)		$k_F < 1 \cdot 10^{-6}$	> 1,5 m (> 2,50 m*)
Quellen:			
SIEKER (1997), * Werte in Klammern nach HAMACHER (1996)			

Die genannten Ausschlusskriterien einer Versickerung treffen in den meisten Fällen auf die Siedlungsgebiete zu, in denen Fremdwasserprobleme existieren. Eine Grundwasserabsenkung zur Vermeidung von Vernässungsschäden mit anschließender Versickerung des Wassers darf nicht erfolgen. Ausnahme ist eine Ableitung des Grundwassers aus dem Entnahmegebiet in ein weiter entferntes, zur Versickerung geeignetes Gebiet über entsprechende Transportleitungen oder offene Gräben mit abgedichteter Bettung.

Bei der Umsetzung eines Ableitungssystems für Fremdwasser spielt immer auch die Umlage der Kosten über **Gebühren oder Beiträge** eine entscheidende Rolle. Zur Beantwortung dieser Frage helfen Fachaufsätze von NISIPEANU (2003), KÖHLER und MEYER (2003), NISIPEANU (2004), der Abwasserberatung NRW (2004) und COSACK (2004) weiter. Am Anfang steht die Frage, ob eine Kommune für das abzuleitende Grundwasser einen Anschluss- und Benutzungszwang anordnen kann. Die ist nach § 9 GO zu verneinen, da es sich bei Grundwasser nicht um Abwasser oder „eine ähnliche der Volksgesundheit dienende Einrichtung“ handelt. Es sind nicht allein die fiskalischen Interessen Einzelner maßgebend. Auch mehrheitlich auftretende Vernässungsschäden rechtfertigen keinen Anschluss- und Benutzungszwang, da das öffentliche Bedürfnis für eine solche Einrichtung fehlt.

Die Erhebung von Anschlussbeiträgen nach § 8 KAG für die Anlage einer öffentlichen Fremdwassereinrichtung ist nur möglich, wenn den Grundstücken hierdurch ein wirtschaftlicher Vorteil geboten wird. Dieser liegt vor, wenn durch die Anlage die Bebaubarkeit des Grundstückes im Rahmen der erforderlichen Erschließungsmaßnahmen i. S. von § 124 ff. BauGB und § 4 BauO NRW gegeben ist. Hierzu zählen jedoch nur Abwasserbeseitigungsanlagen und keine Anlagen zur Ableitung von Grundwas-

ser. Die Erhebung von Anschlussbeiträgen ist somit nicht möglich bzw. nur mit entsprechenden Risiken und Verwaltungsaufwand verbunden.

Auf Grundlage des Kommunalabgabengesetzes (KAG) in Verbindung mit einer satzungsrechtlichen Regelung können nach § 6 KAG kostendeckende Benutzungsgebühren für die Ableitung von Grundwasser bzw. Fremdwasser in einer öffentlichen Einrichtung erhoben werden, wenn eine Einrichtung oder Anlage überwiegend dem Vorteil einzelner Personen oder Personengruppen dient. Dies ist insbesondere für den Fall interessant, dass ein Grundstück Fremdwasser wissentlich und satzungswidrig in die öffentliche Kanalisation einleitet und keine anderen Möglichkeiten zu dessen Beseitigung bestehen. In diesem Fall wird die Kanalisation nach § 2 KAG durch die Einleitung von Fremdwasser in Anspruch genommen. Eine Benutzungsgebühr für die Einleitung von Fremdwasser darf somit von einzelnen gezielten Fremdwassereinleitern per Satzung erhoben werden, da diese wissentlich Fremdwasser einleiten. Allerdings ist für die Festlegung einer solchen Gebühr ein entsprechender Gebührenmaßstab erforderlich. Prinzipiell ist hierfür die Menge des eingeleiteten Grundwassers ausschlaggebend. Diese ist jedoch nicht immer genau erfassbar bzw. schwankt, so dass Zusatzmaßstäbe (befestigte Fläche, im Erdboden umbauter Raum) herangezogen werden.

Letztendlich bleibt noch die Frage zu klären, wie die durch Fremdwasser entstehenden Kosten umzulegen sind, wenn keine Benutzungsgebühren erhoben werden. So bietet sich die Möglichkeit, die Kosten der Fremdwasserableitung in die Abwassergebühr einzurechnen. Unter Beachtung der Rechtsprechung des OVG Schleswig (Urteil vom 5.4.2000, AZ: 2 L 215/98) dürfen die Kosten einer Fremdwasserbeseitigung in die Abwassergebührekalkulation eingestellt werden, sofern sie nicht auf einer unwirtschaftlichen Betriebsführung beruhen. Dies darf nach BVerwG (ZMR 1978 und KStZ 1975) jedoch nur dann erfolgen, solange die Mehrkosten unwesentlich sind, d. h. solange diese unter 3 % der Gesamtkosten liegen (COSACK, 2004). Nach neuester Rechtsprechung (OVG Schleswig, KStZ 2001 und VG Köln, Urteil vom 14.01.2003, AZ 14 K 5876/00) kann der Vorwurf einer unwirtschaftlichen Betriebsführung erst dann erhoben werden, wenn die Kosten der unterlassenen Mängelbehebung in einem angemessenen Verhältnis zu den betriebswirtschaftlichen Auswirkungen des abzustellenden Mangels stehen. Bei einer Übertragung der Verhältnisse aus dem Bereich der Niederschlagswasserentsorgung ist die Erhebung einer gesonderten Gebühr erforderlich, wenn die Kosten der Niederschlagswasserentsorgung einen Anteil von 12 - 15 % der Gesamtkosten übersteigen (BVerwG, KStZ 1985). Nach Urteil des OVG Schleswig bedeutet dies auch, dass die Kosten für die Aufstellung und Abarbeitung eines Fremdwasserkonzeptes bei geringfügigen Kosten mit in die Abwassergebühr eingestellt werden dürfen.

3.5.3 Nachträgliche Bauwerksabdichtungen gegen Grundwasser

Steigt ein Grundwasserspiegel in der Folge von Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung bis oberhalb der Kellersohle an und sind bspw. aus genehmigungsrechtlichen oder kommunalpolitischen Gründen keine grundwasserabsenkenden Maßnahmen bzw. eine entsprechende Vorflut für Dränagewasser realisierbar, werden nachträgliche Bauwerksabdichtungen durch den Grundstückseigentümer notwendig. Hierbei handelt es sich nach DIN 18195-6 (2000) vornehmlich um den Lastfall „drückendes Grundwasser“, gegen das Gebäude durch aufwendige Außen- bzw. Innenabdichtungen oder durch den Bau einer nachträglichen weißen Wanne geschützt werden können (siehe auch BRAMESHUBER und SPÖREL, 2002). Die Aufgabe eines Kellers stellt eine letzte Alternative dar. Werden die betroffenen Grundstückseigentümer mit dieser Thematik konfrontiert, steigt schnell der Druck auf die Öffentlichkeit und die politischen Entscheidungsträger. Möglicherweise lassen sich vor diesem Hintergrund für alle Beteiligten volkswirtschaftlich sinnvolle Lösungen finden. Im Anhang 1 sind Anhaltswerte zu den Kosten von Maßnahmen zur Schutz vor ansteigendem Grundwasser zusammengestellt.

Es wird deutlich, dass die Thematik Fremdwasser nicht allein auf eine Reduzierung des Abflusses im Kanalnetz oder eine Minimierung der Gewässerbelastung beschränkt ist, sondern dass sich mit der Durchführung von Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung bspw. auch Auswirkungen auf den Bodenwasserhaushalt und die Bebauung ergeben. So reduziert sich der Erfolg von Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung deutlich, wenn das Grundwasser ansteigt und über höher liegende undichte Abwasserleitungen wieder der Kanalisation in Form von Fremdwasser zufließt. Vernässungsschäden sind ebenfalls vorstellbar. Letztendlich besteht ein hohes Risiko, die Folgen von fremdwasserreduzierenden Maßnahmen zu unterschätzen und damit längerfristig hohe Kosten für die Beseitigung dieser unerwünschten Folgen zu verursachen.

Eine Lösung der sich in diesem Zusammenhang ergebenden Probleme ist nur in einem ganzheitlichen Ansatz unter Berücksichtigung technischer, rechtlicher, ökologischer und ökonomischer Gesichtspunkte möglich. Politische und soziale Aspekte spielen ebenfalls eine entscheidende Rolle. Eine solche ganzheitliche Betrachtung durch Bewertung von Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung und deren Auswirkungen auf die Siedlungsentwässerung ist bisher noch nicht vorgenommen worden. Diese sind jedoch notwendig, um mit einem Konzept zur Fremdwasserbeseitigung weder an genehmigungsrechtlichen Fragen zu scheitern, noch Vernässungsschäden durch ansteigendes Grundwasser zu verursachen.

Voraussetzung für die Durchführung einer ganzheitlichen Bewertung ist die Kenntnis des Reduzierungspotenzials für Fremdwasser bei einzelnen Maßnahmen und des aus den einzelnen Quellen zufließenden Fremdwasseraufkommens. In Kapitel 2 wurden bereits Ansätze zur Quantifizierung des Zuflusses über fehlangeschlossene Dränagen und über Fehlanlüsse befestigter bzw. unbefestigter Flächen aufgezeigt. Unbekannt hingegen ist das Fremdwasseraufkommen des über Undichtigkeiten in Abwasserkanäle und -leitungen eindringenden Grundwassers.

Aus diesem Grund sollen vor einer Bewertung zunächst die bereits in Kapitel 3.3.1 für sinnvoll erachteten Untersuchungen zur Quantifizierung der Grundwasserinfiltration in undichte Abwasserkanäle und Leitungen vorgenommen werden.

In der Literatur existieren zahlreiche Werke, die sich zur Abschätzung des über Fehlanlüsse eingeleiteten Fremdwassers eignen. Einige davon sind in Kapitel 2.4 dargestellt. Die durch Undichtigkeiten infiltrierenden Grundwassermengen wurden allerdings bisher nur ansatzweise bestimmt (DECKER, 1998; GUSTAFSSON, 2000; PRINC und KOHOUT, 2003; KARPf und KREBS, 2004a). Aussagen zu spezifischen Infiltrationsraten bei einem bestimmten Schaden können nicht getroffen werden. Mit Hilfe von Kenntnissen zur Grundwasserinfiltration über Undichtigkeiten kann eine bessere Gewichtung der Zustandsklassifizierung von Schäden erfolgen, oder Grundwassermodelle können genauer kalibriert werden. Zudem ist eine Abschätzung des Sanierungserfolges und des Nutzens einer Kanalsanierung möglich. Um eine genaue Quantifizierung der Fremdwasserabflüsse zu ermöglichen, möchte ich mich dieses Themas annehmen und Untersuchungen zur Grundwasserinfiltration in undichte Kanäle durchführen.

4 Untersuchungen zur Quantifizierung der Grundwasserinfiltration

4.1 Bisherige Ansätze und Vorgehensweisen

Eine differenzierte Quantifizierung des durch Undichtigkeiten in kommunale Kanäle und private Leitungen gelangenden Grundwassers sowie des durch Dränagen eingeleiteten Grundwassers bereitet in der Praxis erhebliche Schwierigkeiten. Die eingeleiteten Grundwassermengen sind wichtig für eine Bewertung der Sanierungsprioritäten bzw. die Festlegung eines geeigneten Fremdwasserreduzierungskonzeptes. Bedeutende Ansätze aus der Literatur, die sich zur Nachbildung der Quantifizierung einer Grundwasserinfiltration in undichte Kanäle eignen, sind nachfolgend zusammengestellt:

- **Horizontale Grundwasserfassung**

Es liegt nahe, für die Ermittlung der Grundwasserinfiltration bestehende Ansätze aus der Brunnenberechnung heranzuziehen. Vornehmlich horizontale Grundwasserfassungen in Form von Sickergräben bzw. Dränagen verhalten sich ähnlich wie im Boden liegende undichte Abwasserkanäle. Unter Annahme einer stationären Zuströmung und der Gesetzmäßigkeiten nach DUPUIT-FORCHHEIMER und DARCY ergibt sich die Zuströmung zum Sickergraben zu $q_x = -k \cdot y(x) \cdot dy/dx$ (MUTH, 1991 und KAMMERER, 2005). Nach Integration und Ermittlung der Randbedingungen ergibt sich bei ungespannten Grundwasserverhältnissen ein quadratischer Einfluss der hydrostatischen Druckhöhe auf die Abflussspende der Dränage bzw. des Sickergrabens. Die Skizze eines horizontalen Sickergrabens ist in Tabelle 19 dargestellt. Dieser Ansatz kann auf das Infiltrationsverhalten eines undichten Abwasserkanals übertragen werden, wenn man annimmt, dass ein Kanal dieselbe Durchlässigkeit besitzt wie der einen Sickergraben umgebenden Boden. Einen ähnlichen Ansatz zur Nachbildung der Grundwasserinfiltration verfolgen auch PRINC et al. (2002 und 2003). Die Reichweite R einer Grundwasserabsenkung s kann nach SICHARDT empirisch durch die Formel $R = 3000 \cdot s \cdot k_F^{0,5}$ abgeschätzt werden.

- **Ausfluss aus einem Gefäß**

Die Infiltration von Grundwasser durch die Schadstelle eines Abwasserkanals kann mit dem hydrodynamischen Ansatz für den Ausfluss aus einem wassergefüllten Gefäß mit einer Öffnung nachempfunden werden. Unter der Annahme, dass die Öffnungsfläche A im Vergleich zur Oberfläche des Gefäßes vernachlässigt werden kann, ergibt sich für den Ausfluss Q nach Torricelli:

sigbar klein ist, wandelt sich die hydrostatische Druckhöhe h vollständig in kinetische Energie um. Ein Vorfaktor μ_A berücksichtigt Reibungsverluste. TORICELLI entwickelte für laminare Strömungsverhältnisse mit einer vernachlässigbaren Anströmgeschwindigkeit aus $Q = v \cdot A$ und $h = v^2/2g$ den Ansatz $Q = \mu_A \cdot A \cdot \sqrt{2g \cdot h}$ für den stationären Wasserausfluss Q aus einem Gefäß mit einer kleinen Boden- oder Seitenöffnung (SCHRÖDER, 1994). Die hydrostatische Druckhöhe geht als Quadratwurzel ein, die Fläche der Ausflussöffnung linear. Bei größeren Öffnungsflächen und einem seitlichen Ausfluss aus dem Gefäß ist die Geschwindigkeitsverteilung über die Öffnungshöhe zu berücksichtigen. Die hydrostatische Druckhöhe geht mit dem Exponenten 1,5 ein. Für den Ausfluss aus einer Rechtecköffnung der Breite b und Höhe $a = h_2 - h_1$ in der seitlichen Wand eines Gefäßes weist BOLLRICH (2000) den Zusammenhang $Q = 2/3 \cdot \mu_A \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot (h_2^{3/2} - h_1^{3/2})$ nach. Bei bekannter Geometrie der Ausflussöffnung kann der Widerstandsbeiwert abgeschätzt und der Ausfluss bestimmt werden. Eine Skizze mit den verwendeten Parametern ist in Tabelle 19 enthalten.

Bei einer Übertragung dieses Ansatzes auf die Grundwasserinfiltration aus einem Bodenkörper in einen Abwasserkanal ist die Annahme von laminaren Strömungsverhältnissen nicht in jedem Fall zutreffend. HÄRIG (1991) führt nämlich aus, dass ein laminarer Fliesszustand in der Praxis bei höheren Filtergeschwindigkeiten in einen turbulenten Zustand übergehen kann. Da die Größe einer Undichtigkeit im Kanalrohr im Verhältnis zum umgebenden Aquifer sehr klein ist, darf man davon ausgehen, dass der Grundwasserzutritt nicht durch die Leistungsfähigkeit des Aquifers, sondern durch die Durchlässigkeit der Schadstelle limitiert ist. In diesem Fall ist nach ZUPPKE (1992) anzunehmen, dass die Filtergeschwindigkeit v_F im Bereich eines Risses die laminare Grenzgeschwindigkeit überschreitet und dass damit h proportional v_F^2 ist. In der Praxis liegt die richtige Lösung nach Einschätzung von ZUPPKE zwischen dem linearen und dem quadratischen Ansatz.

- **Wasseraustausch von Grundwasser und Oberflächengewässer**

Der Wasseraustausch zwischen Grundwasser und Oberflächengewässer lässt einen Vergleich zur Grundwasserinfiltration in undichte Kanäle zu. Für die Beziehung des Wasseraustausches über die kolmatierte Gewässersohle eines Oberflächengewässers (Fläche A , Dicke D , Wasserdurchlässigkeit k_F und durchflusswirksamer Porenanteil n_F , Potenzialdifferenz Δh) kann der so genannte Leakage-Ansatz aus dem Fließgesetz von DARCY hergeleitet werden:

$$Q = v \cdot A = (k_F \cdot I) \cdot A = k_F \cdot \frac{\Delta h}{n_F \cdot D} \cdot A = K_I \cdot \frac{1}{n_F} \cdot \Delta h \cdot A \text{ mit } k_I = \frac{k_F}{D}.$$

Für den Leakage-Faktor k_l (1/s) gelten Größenordnungen von $1,2 - 4,6 \cdot 10^{-6}$ 1/s. Er erfasst ausschließlich den Einfluss der Selbstdichtung der Flusssohle und ist abhängig von der Geometrie des Flusses, den hydraulischen Eigenschaften der Flusssohle, der Höhe des Wasserstandes im Fluss und im Grundwasseraquifer, der Aquifermächtigkeit und den Strömungsverhältnissen im Grundwasser (HAN, 1997). Dem Leakage-Ansatz liegt die Annahme zugrunde, dass sich die Sickergeschwindigkeit v nach dem Gesetz von DARCY linear zur Druckhöhe h verhält. Wie auch beim Ansatz für den Ausfluss aus einem Gefäß ist davon auszugehen, dass ein laminarer Fliesszustand in der Praxis bei höheren Filtergeschwindigkeiten in einen turbulenten Zustand übergehen kann und dann die hier dargestellte lineare Abhängigkeit nicht mehr gültig ist.

Ergänzend zu den oben aufgeführten Ansätzen sind die bisherigen durchgeführten Untersuchungen zur Quantifizierung der Grundwasserinfiltration in undichte Abwasserkanäle nachfolgend aufgeführt:

- **Messungen von Infiltrationsraten**

DECKER (1998) ermittelte Infiltrationsraten an einer Abwasserhaltung durch undichte Muffen. Aus den wenigen Versuchsergebnissen sind allerdings keine Rückschlüsse auf den Einfluss von hydrostatischer Druckhöhe h , Schadens- und Bodenart möglich.

Untersuchungen von DOHMANN et al. (2002) zeigen einen Zusammenhang zwischen Fremdwasserabfluss im Schmutzwasserkanal und hydrostatischer Druckhöhe des Grundwassers im Einzugsgebiet zweier Kläranlagen. Die in Bild 22 dargestellten, voneinander abweichenden Messergebnisse lassen sich im Wesentlichen auf die anstehenden Bodenarten zurückführen. Während in Düsseldorf überwiegend gut wasserdurchlässige Bodenarten anstehen, sind es im Münsterland bindige Böden mit einem niedrigem k_F - Wert. Die Messergebnisse können am besten mit exponentiellen Regressionskurven beschrieben werden. Auch möglich ist die Verwendung von potenziellen Regressionskurven mit dem Exponenten $3/2$. Beide Regressionskurven sind ebenfalls in Bild 22 vergleichend gegenübergestellt.

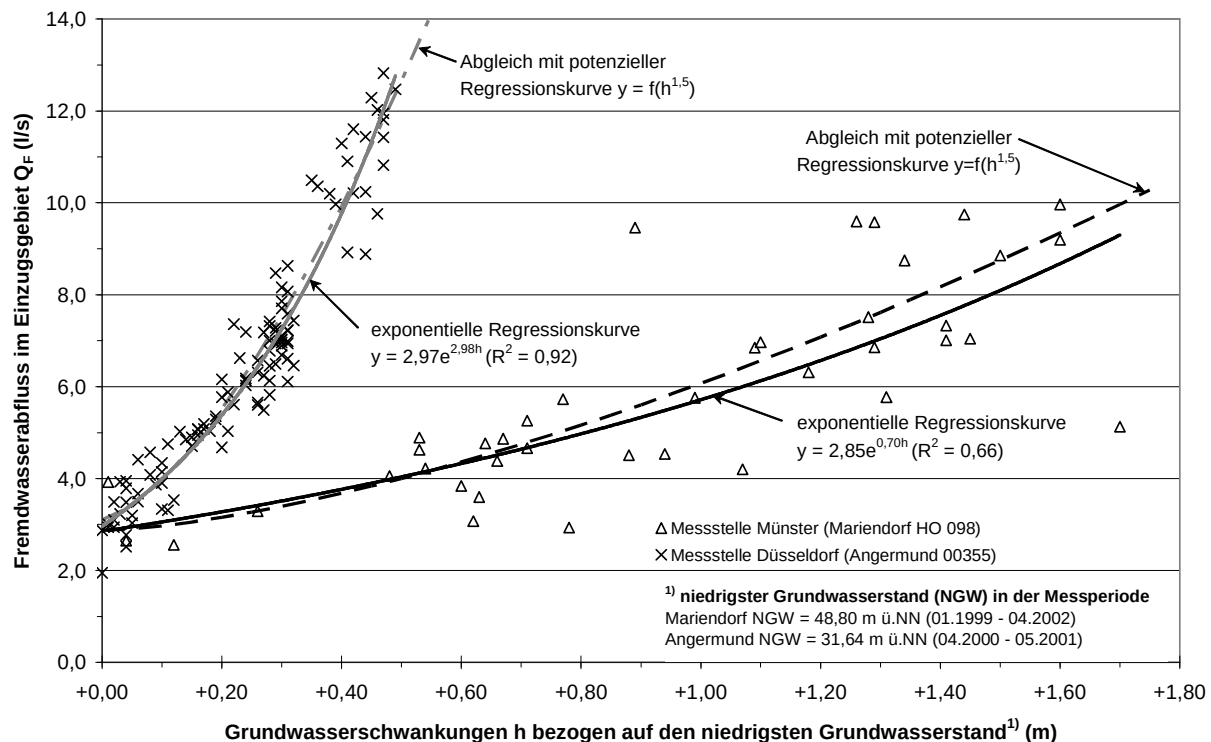


Bild 22: Einfluss des Grundwasserstandes auf den Fremdwasserabfluss (DOH-MANN et al., 2002)

- Modellierung der Grundwasserinfiltration mit dem Leakage-Ansatz**

Der Leakage-Ansatz wurde bereits mehrfach angewendet, um die Infiltration von Grundwasser in einen Abwasserkanal oder die Exfiltration von Abwasser ins Grundwasser nachzubilden. GUSTAFSSON (2000) verwendete den linearen Leakage-Ansatz $Q_F = k_I \cdot A \cdot (h_G - h_{Kanal}) = k_I \cdot A \cdot h$, um die Auswirkungen einer Kanalsanierung auf die Lage des Grundwasserspiegels zu prognostizieren. Der von ihm benutzte Ansatz wurde auch von KARPf und KREBS (2004a) verwendet, um die Fremdwasserabflüsse im Kanalnetz von Dresden in Abhängigkeit vom Grundwasserspiegel nachzubilden. Hierbei wurden keine Einzelschäden oder wechselnde Bodenarten berücksichtigt. Die Kalibrierung erfolgte anhand eines Grundwassermodells und Abflussmessungen vor der Kläranlage. Nach dem Leakage-Ansatz kann eine Proportionalität von benetzter Mantelfläche A zu Grundwasserinfiltration Q_F angenommen werden. Untersuchungen für das Dresdner Kanalnetz bestätigen diesen Zusammenhang. Die hierbei aus dem Modell extrapolierten haltungsspezifischen Leakage-Faktoren ($2,0 - 3,2 \cdot 10^{-6}$ 1/s) liegen in einer vergleichbaren Größenordnung wie die von HAN (1997) ermittelten Zahlen.

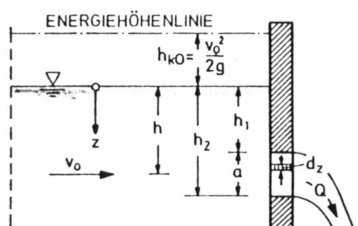
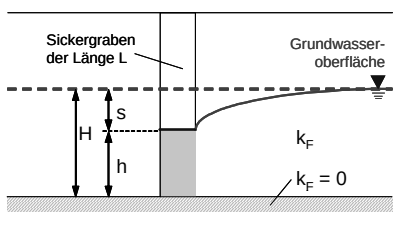
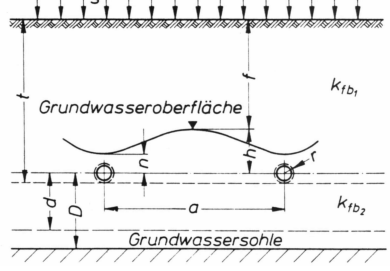
Für einen ersten Eindruck zur Größenordnung sind die Ergebnisse der aufgezeigten Ansätze zur Grundwasserinfiltration in Tabelle 19 vergleichend gegenübergestellt. Es werden vereinfachend Annahmen u. a. zu Grundwasserständen und Bodenarten ge-

troffen. Welcher Ansatz für die Nachbildung einer Grundwasserinfiltration in undichte Kanäle richtig bzw. wirklichkeitsgetreuer ist, kann an dieser Stelle noch nicht festgestellt werden.

Detaillierte Kenntnisse zu den Infiltrationsmengen und Abhängigkeiten von Grundwasserstand, Bodenart und Größe eines Kanalschadens existieren bisher nicht. Gerade für eine genaue Kalibrierung von Grundwassermodellen fehlt bisher ein entsprechender Ansatz zur Berücksichtigung von Einzelschäden und Dränagen. Die Kalibrierung erfolgt bisher im Wesentlichen nur über ganzheitliche Ansätze. Gewöhnlich wird dabei die Dränagewirkung eines Kanalstranges aus einer gemessenen Grundwasserabsenkung errechnet.

Aus der Literaturstudie wird deutlich, dass eine Abhängigkeit der Grundwasserinfiltration von der Schadensfläche, der hydrostatischen Druckhöhe und der Wasserdurchlässigkeit des Bodens zu erwarten ist. Unklar ist jedoch, mit welchem Exponenten insbesondere die hydrostatische Druckhöhe eingeht. Die dargestellten Untersuchungen anderer Autoren reichen nicht aus, um in diesen Punkten Klarheit zu schaffen. Aus diesem Grund erscheinen weitere Untersuchungen notwendig, um bei verschiedenen Schadensbildern das durch undichte Kanäle und Leitungen infiltrierende Grundwasser zu quantifizieren. Dabei ist zu überprüfen, ob sich vergleichbare Exponenten ergeben, wie in den Untersuchungen von DOHMANN et al. (2002) oder dem theoretischen Ansatz von TORICELLI bzw. dem Leakage-Ansatz.

Tabelle 19: Gegenüberstellung der Ansätze zur Nachbildung der Grundwasserinfiltration

Ansatz	Annahmen	Ergebnis	
		Boden A $k_F = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$	Boden B $k_F = 4,4 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$
vollkommener Ausfluss aus einem Gefäß mit kleiner Öffnung nach SCHRÖDER (1994) 	kreisförmige Öffnung Beiwert $\mu_A = 0,95$ Radius $a = 5 \text{ mm}$ Druckhöhe $h = 60 \text{ cm}$	15,36 l/min	
	schlitzförmige Öffnung Beiwert $\mu_A = 0,673$ Öffnungsbreite $a = 1 \text{ mm}$ Öffnungslänge $b = 100 \text{ cm}$ Druckhöhe $h = 60 \text{ cm}$	138,54 l/min	
Wasseraustausch zwischen Grund- und Oberflächengewässern (Leakage-Ansatz über den benetzten Umfang eines Kanalrohres)	Kanalrohr DN 300 Druckhöhe $H = 60 \text{ cm}$ Leakage-Faktor $k_l = 3 \cdot 10^{-6} \text{ 1/s}$ unabhängig vom Boden da Dicke der Kolmationsschicht unbekannt	0,10 l/min	
horizontale Grundwasserfassung (Sickergraben) 	vollkommene Verhältnisse ungespannter Grundwasserleiter Druckhöhe $H = 60 \text{ cm}$ Länge Graben $L = 1 \text{ m}$ Absenkung $s = 50 \text{ cm}$ $Q = L \cdot k_F \cdot \frac{H^2 - h^2}{3000 \cdot s \cdot \sqrt{k_F}}$	0,24 l/min	6,00 l/min
Dränagewasserabflussspende nach DIN 1185-2 (1973) 	nach HOOGHOUTT $Q = \frac{8 \cdot k_{fb1} \cdot d \cdot h + 4 \cdot k_{fb2} \cdot h^2}{a} \cdot L$ Druckhöhe $h = 60 \text{ cm}$ und $n = 0$ Länge Dränage $L = 1 \text{ m}$ Absenkung $s = 50 \text{ cm}$ $k_{fb1} = k_{fb2} = k_F$	0,54 l/min	9,67 l/min
	pauschaler Ansatz der Dränageabflussspende nach Tabelle 8 vor einer Wand je lfd. m Dränage.	mit $d = 0,71$ und $a = 5,97 \text{ m}$ 3 - 6 l/min	mit $d = 2,58$ und $a = 37,76 \text{ m}$ 6 - 12 l/min

4.2 Aufbau der Versuchsanlage und Versuchsprogramm

Zur Quantifizierung der durch Undichtigkeiten in einen Abwasserkanal eindringenden Grundwassermengen wurden halbertechnische Untersuchungen in zwei Infiltrationsanlagen bei variierten Belastungen durchgeführt. Jede Infiltrationsanlage bestand

aus einem Stahlbehälter ($L \cdot B \cdot H = 2,50 \cdot 1,25 \cdot 1,50 \text{ m}$), in den zwei durch eine Muffe verbundene, definiert geschädigte Betonrohre DN 300 längs eingebaut wurden. Bild 23 zeigt die Versuchsanlage im Längsschnitt. Die Rohrspiegel wurden im Stahlbehälter ausgespart und mit zwei Plexiglasscheiben verschlossen. Der zu untersuchende Boden wurde in den jeweiligen Stahlbehälter mit entsprechenden Verdichtungsanforderungen im Bereich der Leitungszone eines Abwasserkanals nach ATV-A 139 (1988), DIN EN 1295 (1997) und ZTVE-StB 94 (1997) eingebaut. Der durchschnittlich erreichte Verdichtungsgrad betrug etwa 96 % Proctordichte.

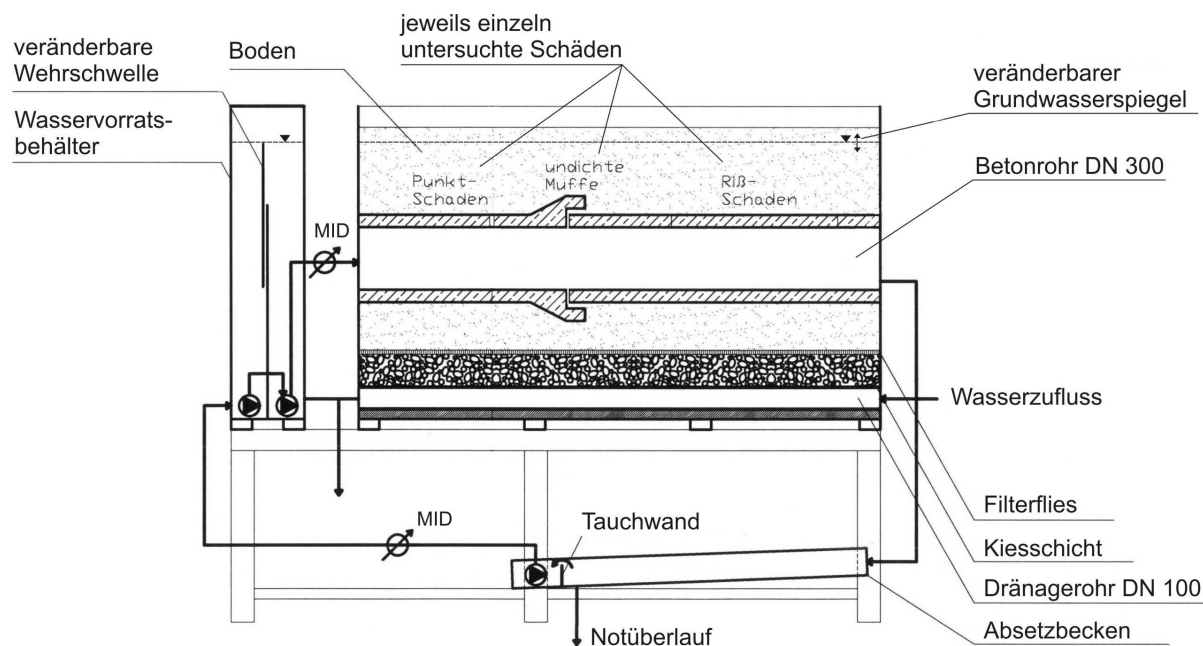


Bild 23: Aufbau der Versuchsanlage im Längsschnitt

Die Einstellung eines gleichmäßigen hydrostatischen Druckes im Versuchsbehälter (simulierter Grundwasserstand) erfolgte durch einen Wasservorratsbehälter vor dem Stahlbehälter. Die Anlage wurde durch Trinkwasser gespeist. Über ein Rohrsystem und eine Kies-Ausgleichsschicht wurde der Vorratsbehälter mit dem Untersuchungs-boden im Stahlbehälter verbunden.

Zum Untersuchungsprogramm gehörten auch die Beurteilung der mit dem infiltrierenden Grundwasser eingetragenen Bodenteilchen und der qualitative Einfluss der Bodenverdichtung. Das durch die Undichtigkeiten in das Betonrohr eingetragene Boden-Wassergemisch floss über einen Schlauch in das unter dem Stahlbehälter angeordnete Absetzbecken. Die Feststoffe setzten sich ab und das infiltrierte Wasser wurde von einer Pumpe über ein Durchflussmessgerät wieder zurück in den Vorratsbehälter gefördert. Die Quantifizierung des Wasservolumenstromes erfolgte je nach Versuchsrandbedingungen durch ein MID oder Handmessungen.

Untersucht wurden zwei unterschiedliche Böden. Im ersten Versuchsbehälter wurde ein leicht kiesiger, schwach schluffiger Sand (Boden I) verwendet, wie er typischerweise zur Verfüllung der Leitungszone bei Kanalbauarbeiten benutzt wird. Im zweiten Versuchsbehälter wurde ein Grobsand ohne bindige Anteile (Boden II) eingebracht. Die Korngrößenverteilungen beider Böden sind in Bild 24 dargestellt, die zugehörigen Kenndaten der Böden sind in Tabelle 20 zusammengefasst.

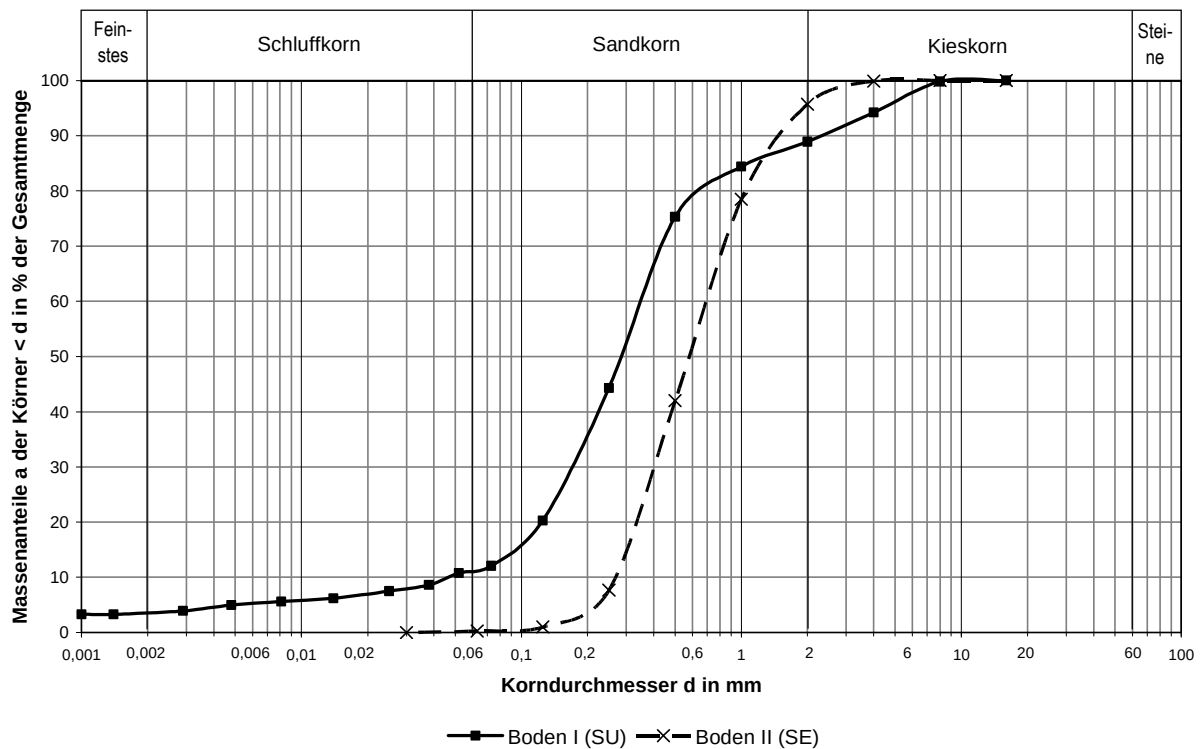


Bild 24: Korngrößenverteilung des untersuchten schwach-bindigen Bodens (BODEN I) und des untersuchten rolligen Bodens (BODEN II)

Tabelle 20: Kenndaten der verwendeten Bodenarten

Bezeichnung	Bodenart	Bodengruppe nach ATV-DVWK A 127	Größtkorn	U ¹⁾ (-)	C_c ²⁾ (-)	k_F Wert ³⁾ (m/s)	ρ_{Pr} ⁴⁾ (g/cm ³)
BODEN I	SU (Sand, schwach kiesig, schwach schluffig, gemischtkörniger Boden, weitgestuft)	G2 (schwach-bindig) 12 % Anteil < 0,063 mm	8 mm	11,0	2,27	$1,1 \cdot 10^{-5}$	k. A.
BODEN II	SE (Mittelsand, schwach kiesig, grobkörniger Boden, enggestuft)	G1 (nicht-bindig) 0 % Anteil < 0,063 mm	4 mm	2,8	0,91	$4,4 \cdot 10^{-4}$	1,751
Erläuterungen: ¹⁾ Ungleichförmigkeitszahl U ²⁾ Krümmungszahl C_c ³⁾ Wasserdurchlässigkeit k_f ⁴⁾ Proctordichte ρ_{Pr}							

Im Versuchsprogramm wurden die Belastungen und Schäden an den beiden, separat betriebenen Anlagen variiert. Um in der Praxis vorkommende unterschiedliche

Schadensbilder zu simulieren, wurden die Kanalrohre wie folgt präpariert (siehe Bild 25):

- Punktschäden und Scherben durch kreisrundes Aufbohren am Rohrscheitel mit unterschiedlichen Durchmessern bis 25 mm,
- Risschäden durch Auffräsen des Rohrscheitels mit verschiedenen Breiten bis 10 mm über eine Länge von 100 cm

sowie

- Muffenschäden durch Entfernen des Dichtungsringes und Installation von drei Abstandshaltern. Die Durchlassweite betrug etwa 2 mm.

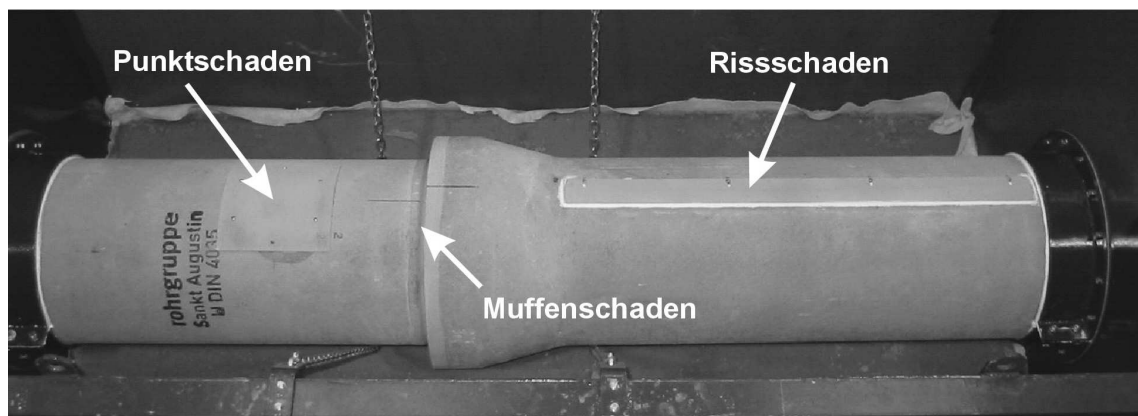


Bild 25: Betonrohr DN 300 mit definierten Schäden im noch nicht mit Boden gefüllten Versuchsbehälter

Das Versuchsprogramm ist in Tabelle 21 zusammengefasst. In diesem Zusammenhang wurden neben dem stationären Zustand bei gleich bleibendem hydrostatischen Druck auch der Einfluss von wechselnden Grundwasserständen (variabler hydrostatischer Druck im Bereich ± 60 cm), Hochdruckreinigung sowie von dynamischer Belastung des Bodenkörpers untersucht.

Während der Versuchsdurchführung wurden bei jeder Versuchskonfiguration die folgenden Parameter erfasst:

- Grundwasserinfiltration q_F (l/min),
- hydrostatische Druckhöhe h (m) des Grundwassers im Bereich der Schadstelle,
- Bodeneintrag und
- Grad der Verdichtung des Bodens.

Voraussetzung der Versuche war eine ausreichende Wassersättigung des Bodens. Diese konnte sich je nach Bodenart bereits nach 30 Minuten im rolligen Boden (Bo-

den II) und erst nach bis zu 6 Stunden bei dem schwach-bindigen Boden (Boden I) einstellen. Durch eine regelmäßige Kontrolle der Grundwasserstände anhand verschiedener Pegelrohre und eine versuchsparallele Auswertung der infiltrierten Wassermengen wurden der Zeitpunkt der Wassersättigung und somit auch der Zeitpunkt für den Start der Messung bestimmt. Vor jedem Versuch wurde der entsprechende Schaden dem Versuchsprogramm angepasst und der Boden oberhalb der Schadstelle neu eingebaut und verdichtet. Die Messung wurde bei jeder Schadensart solange betrieben, bis sich ein konstanter Wert für die Grundwasserinfiltration einstellte.

Tabelle 21: Versuchsprogramm

Schaden		Untersuchungsreihen			
Art	Durchmesser bzw. Rissbreite	stationär	veränderte Grundwasserstände	HD-Reinigung	dynamische Belastung
Punktschaden mit Schadens- durchmesser	3 mm	○●	●	●	
	5 mm	○●		○●	
	6 mm	●			●
	7 mm	○●		○●	
	8 mm	○●	●○		○●
	10 mm	○●	●	○●	○●
	12 mm	●	●	●	
	14 mm	●	●	●	
	15 mm	○	○	○	○
	18 mm	○	○	○	
	20 mm	○	○	○	
	25 mm	○			
Rissschaden mit Rissbreite (Länge 1 m)	1 mm	○●	●		
	2 mm	○●	●	○●	
	3 mm	○●	●	●	●
	4 mm	●		●	
	5 mm	○●	●○	○●	○●
	6 mm	○		○	
	8 mm	○		○	○
	10 mm	○			○
Muffenschaden (Beton DN 300)		○●	●		○●
Erläuterungen: ○ schwach-bindiger Boden I untersucht ● rolliger Boden II untersucht					

4.3 Ergebnisse

Anhand der Literaturlauswertung war zu vermuten, dass die Grundwasserinfiltration beeinflusst wird vom Grundwasserstand (hydrostatischer Druckhöhe), der Schadensart und Schadensgröße, der Bodenart und Wasserdurchlässigkeit sowie von der Verdichtung des Bodens. Die Versuche wurden aus diesem Grund auf diese Parameter ausgelegt und ausgewertet. Der Auswertung lagen für den Boden I (SU) insgesamt 557 Messergebnisse für die Grundwasserinfiltration und für den Boden II (SE) 1212 Werte zu Grunde.

Aus allen Versuchsergebnissen mit gleichen Randbedingungen (Bodenart, Schadensart und -größe, hydrostatische Druckhöhe, Belastung) wurden der Mittelwert mit Standardabweichung, der Median (50 %-Quantil) und das 80 %-Quantil gebildet. Aufgrund der teils hohen Standardabweichung wurde für die nachfolgende Auswertung der Median herangezogen. Die Auswertung der Versuchsergebnisse erfolgte zunächst anhand der Versuchsergebnisse des rolligen Bodens II, da die Versuchsdaten hier eine geringere Streuung aufwiesen.

Um Abhängigkeiten vom Parameter Schadensart bzw. -größe aufzuzeigen, werden alle Versuchsergebnisse zunächst nach der Schadensfläche sortiert und für die hydrostatische Druckhöhe vier Klassen gebildet. Die sich ergebende Abhängigkeit der Grundwasserinfiltrationsrate q_F von der Schadensfläche A ist in Bild 26 für verschiedene hydrostatische Druckhöhen zusammen mit möglichen Regressionskurven und deren Bestimmtheitsmaßen dargestellt. Die Abszisse ist logarithmisch dargestellt, da ansonsten alle Schäden mit kleiner Fläche (überwiegend Punktschäden) nur als Punktwolke sichtbar wären. Für die undichte Muffe des Betonrohres DN 300 wurde als Schadensfläche ein Kreisring mit der Dicke des Muffenspaltes $d = 2 \text{ mm}$ und dem Radius $r = 21 \text{ mm}$ ($0,5 \cdot \text{DN } 300 + \text{Wanddicke } 6 \text{ cm}$) angesetzt.

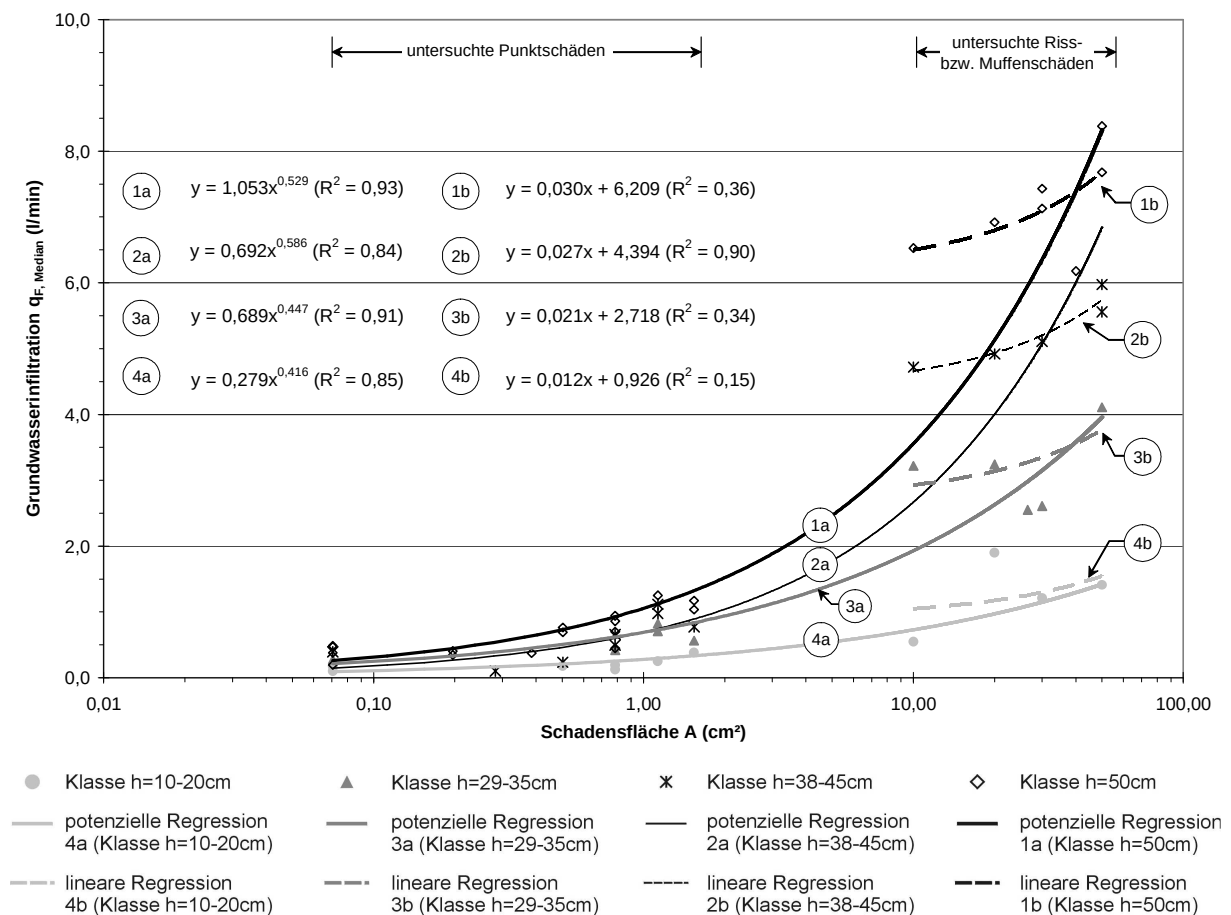


Bild 26: Abhängigkeiten der Infiltration q_F von der Fläche A bei verschiedenen hydrostatischen Druckhöhen am Beispiel des rolligen Bodens II

Bei Betrachtung des gesamten Flächenspektrums (Punkt-, Riss- und Muffenschäden) eignen sich die in Bild 26 dargestellten potenziellen Regressionskurven 1a bis 4a gut zur Beschreibung des Einflusses der Schadensfläche auf die Grundwasserinfiltration (Bestimmtheitsmaß $R^2 \geq 0,84$). Bei Mittelwertbildung der Exponenten der Trendlinien ergibt sich für alle untersuchten Schäden eine potenzielle Abhängigkeit der Grundwasserinfiltration von der Schadensfläche zu $A^{0,49}$ (näherungsweise wurzelförmig mit $A^{1/2}$).

Werden Riss- bzw. Muffenschäden unabhängig von den Punktschäden betrachtet, kann bei den Riss- und Muffenschäden mit größer werdender Schadensfläche auch ein linearer Einfluss der Schadensfläche auf die Grundwasserinfiltration angenommen werden. Die berechneten linearen Regressionskurven für Riss- bzw. Muffenschäden (1b bis 4b) sind zusammen mit dem Bestimmtheitsmaß ebenfalls in Bild 26 dargestellt. Auch bei alleiniger Betrachtung der untersuchten Punktschäden zeigt sich, dass am Beispiel des Bodens II prinzipiell ein linearer Ansatz der Schadensfläche zur Beschreibung der Grundwasserinfiltration geeignet erscheint. In Anhang 2 sind Abhängigkeiten der Infiltration von den Schadensfläche bei verschiedenen hyd-

rostatischen Druckhöhen für Punktschäden mit einem linearen (siehe Bild 32) bzw. potentiellen Ansatz (siehe Bild 33) separat aufgeführt.

Hier soll noch nicht festgelegt werden, ob ein linearer oder potenzieller Einfluss der Schadensfläche zur Beschreibung der Grundwasserinfiltration besser geeignet ist. Dieser Sachverhalt wird an späterer Stelle nochmals aufgegriffen. Bis dahin werden Punktschäden bei der weiteren Auswertung getrennt von Riss- bzw. Muffenschäden betrachtet.

Nach dem Einfluss der Schadensfläche A auf die Infiltration wird in einem zweiten Schritt der Einfluss der hydrostatischen Druckhöhe h auf die Grundwasserinfiltration erfasst. Hierzu werden in derselben Weise für die Schadensfläche A Klassen gebildet. Für jede Klasse werden die hydrostatische Druckhöhe auf der Abszisse und die zugehörige Grundwasserinfiltration auf der Ordinate aufgetragen (Bild 27). Der potenzielle Ansatz liefert hier für den Einfluss der hydrostatischen Druckhöhe die beste Abhängigkeit (Bestimmtheitsmaß $R^2 > 0,81$). Exponentielle und lineare Regressionsfunktionen beschreiben die Versuchsergebnisse mit deutlich niedrigen Korrelationskoeffizienten als der potenzielle Ansatz und werden daher hier nicht weiter verfolgt.

Bei Mittelwertbildung der Exponenten der Regressionskurven in Bild 27 ergibt sich für Punkt- und Risssschäden einschließlich der Muffenschäden eine Abhängigkeit der Grundwasserinfiltration von der hydrostatischen Druckhöhe zu $h^{1,44}$ (näherungsweise $h^{3/2}$). In den Versuchen lagen Punkt- und Risssschäden im Scheitelpunkt des Betonrohres. Der in den Versuchsergebnissen dargestellte Grundwasserdruck wirkt also direkt im Flächenschwerpunkt des Schadens im Rohrscheitel. Die Muffe jedoch wird durch eine mit dem Rohrdurchmesser veränderliche Druckhöhe beansprucht. Die hydrostatische Druckhöhe ist hier im Schwerpunkt der Kräfte resultierenden aus Außen- und Innenwasserdruck anzusetzen.

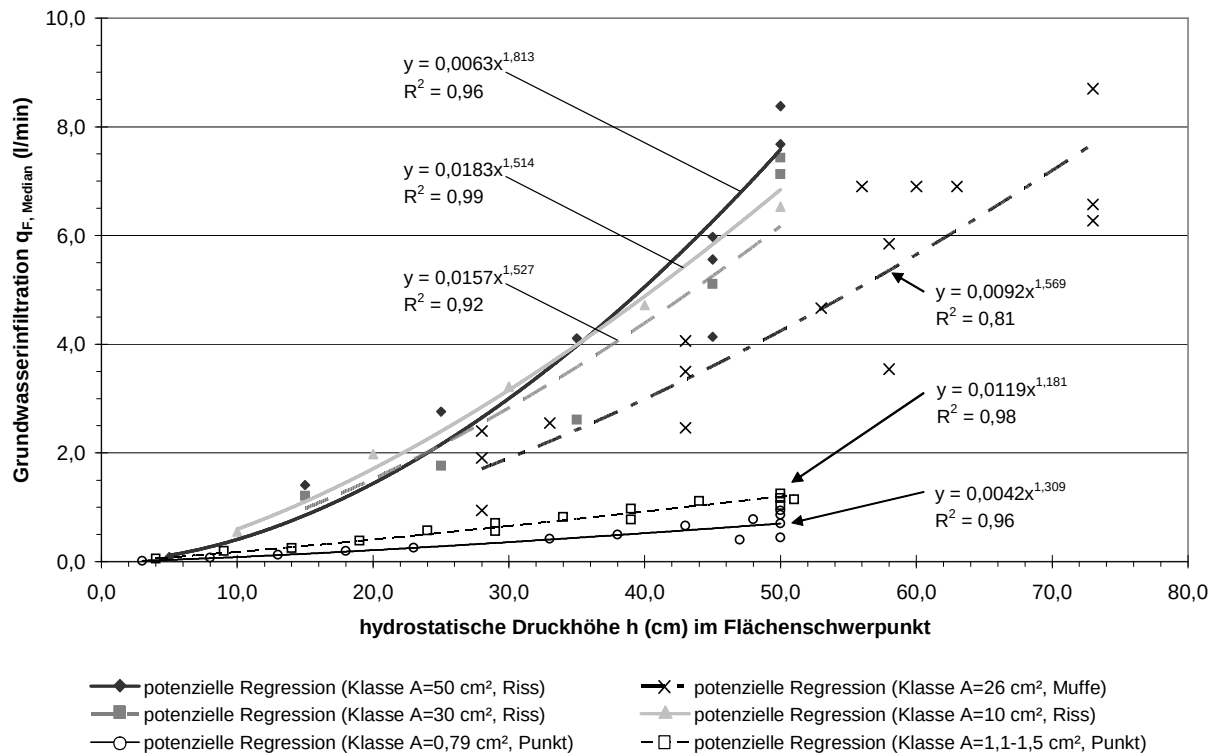


Bild 27: Abhängigkeiten der Infiltration q_F von der Wasserdruckhöhe h bei verschiedenen Schadensbildern am Beispiel des rolligen Bodens II

In Bild 27 fällt auf, dass die Schadensfläche A bei den untersuchten Risssschäden bei gleicher hydrostatischer Druckhöhe nur einen vergleichsweise geringen Einfluss auf die Grundwasserinfiltration besitzt. Dies zeigt sich in den eng beieinander liegenden Regressionskurven für die Risssschäden. Die untersuchten Risse sind alle 1 m lang, so dass die Schadensfläche allein durch die Rissbreite bestimmt wird. Hierfür gibt es zwei mögliche Gründe:

- In die Versuchsauswertung werden nur diejenigen Messergebnisse einbezogen, bei denen eine Grundwasserinfiltration ohne Bodeneintrag stattgefunden hat. Bei einer näheren Untersuchung der Messergebnisse ist festzustellen, dass bei Boden II ab einer Rissbreite von 4 bis 5 mm mit verstärktem Bodeneintrag zu rechnen ist. Das Größtkorn dieses Bodens liegt bei 4 mm, so dass die Stabilität eines Kornfilters oberhalb der Schadstelle verringert wird. Eine höhere Grundwasserinfiltration besonders bei dem Risssschaden der Breite 4 mm kann somit unter der Bedingung eines feststofffreien Grundwassereintritts nicht erzielt werden.
- Das Infiltrationsgeschehen wird vornehmlich durch die Länge eines Risses bzw. Häufigkeit von Riss- bzw. Punktschäden bestimmt. Die im Vergleich zur Länge eines Risses geringe Breite hat einen untergeordneten Einfluss auf die Grundwasserinfiltration.

Aufgrund der ermittelten Abhängigkeiten der Grundwasserinfiltration q_F von der Schadensfläche A und der hydrostatischen Druckhöhe h lassen sich nun auf Basis der in der Literatur bekannten Ansätze (siehe Tabelle 19) entsprechende Funktionen aufstellen:

$$\eta_i = \frac{q_{F,i}}{k_F \cdot A^X \cdot h^{1,5}} \quad \text{mit} \quad X = (0,5 \text{ und } 1) \quad \text{und} \quad i = \begin{cases} \text{Boden I: } 1 \dots 557 \\ \text{Boden II: } 1 \dots 1212 \end{cases}$$

Der Vorfaktor η_i beschreibt die Abweichung eines Messergebnisses $q_{F,i}$ von der berechneten Grundwasserinfiltrationsrate $k_F \cdot A^X \cdot h^{1,5}$. Ziel ist es, für alle Versuche gleicher Randbedingungen (Schadensart, Bodenart) möglichst einen konstanten Vorfaktor zu bestimmen, d. h. eine geringe Streuung zu erreichen. Zur Bestimmung der Vorfaktoren η_i werden die Messwerte der Versuche mit den Infiltrationsraten der o. g. Funktion verglichen.

Die sich für den Boden II ergebenden Vorfaktoren sind in Bild 28 als Quantile getrennt für Punktschäden und Riss- bzw. Muffenschäden jeweils für einen linearen ($X = 1$) und potentiellen Ansatz ($X = 0,5$) der Schadensfläche dargestellt. Anhand der ebenfalls dargestellten statistischen Kenngrößen zeigt sich, dass die Standardabweichung der Vorfaktoren für den potenziellen Ansatz $q_F = f(\sqrt{A})$ bei Punktschäden und für den linearen Ansatz $q_F = f(A)$ bei Riss- bzw. Muffenschäden am geringsten ist. Es ist daher davon auszugehen, dass sich der potenzielle Ansatz für Punktschäden besser eignet als ein linearer Ansatz und der lineare Ansatz für Riss- bzw. Muffenschäden dem potenziellen Ansatz vorzuziehen ist.

Eine nähere Untersuchung der Streuung der Vorfaktoren für Punktschäden in den Randbereichen der Summenlinie zeigt, dass bei Punktschäden noch eine geringe Abhängigkeit in der Form $\eta = f(A)$ besteht. So nehmen die Vorfaktoren mit abnehmender Schadensfläche zu.

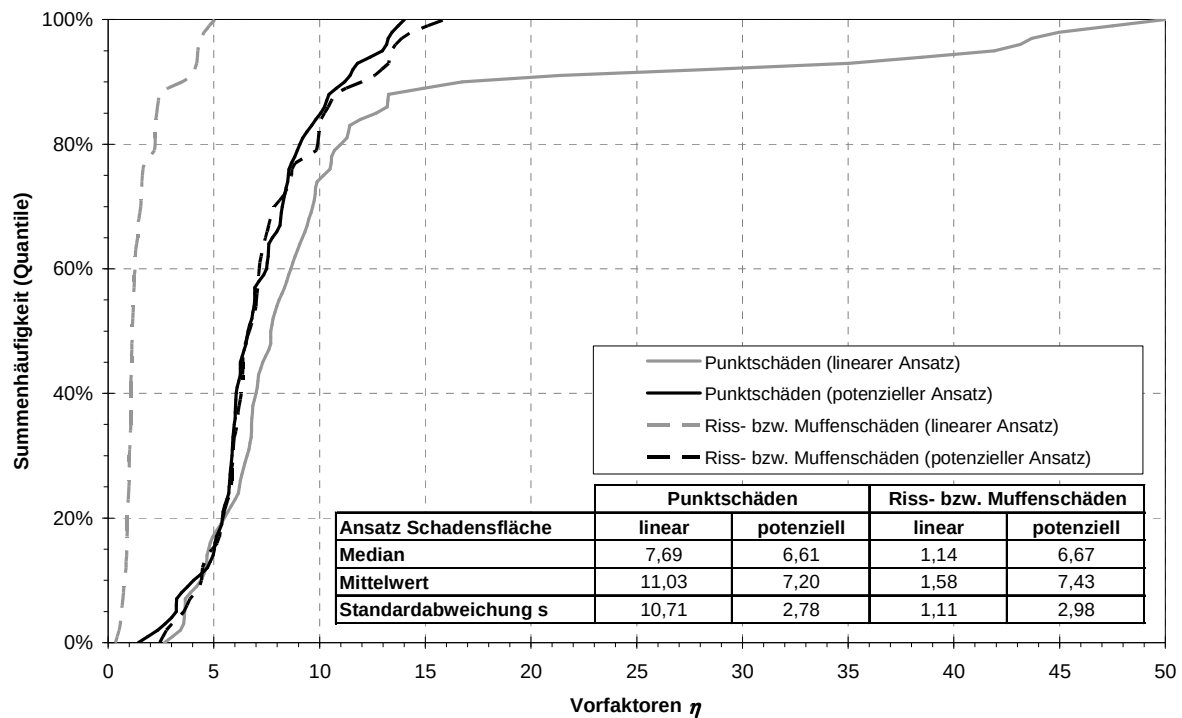


Bild 28: Summenhäufigkeiten der Vorfaktoren für den rolligen Boden II bei verschiedenen Schadensarten

Die Verteilungen in Bild 28 zeigen, dass sowohl für Punktschäden mit potenziellem Ansatz als auch für Riss- bzw. Muffenschäden mit linearem Ansatz ein charakteristischer Vorfaktor gefunden werden kann. Dieser ergibt sich als Wert mit der größten Steigung in der Summenlinie. Als Vorfaktor für Punktschäden wird der Median genutzt mit $\eta_P = 6,61$ (Spannweite 4,41 - 9,98). Für Riss- und Muffenschäden ergibt sich $\eta_R = 1,14$ (Spannweite 0,48 - 2,69). Die Klammerwerte geben die Streuung der Vorfaktoren an.

Bei Punktschäden hat die Schadensfläche damit einen potenziellen Einfluss auf die Infiltration, bei Riss- bzw. Muffenschäden geht sie linear ein. Diese Unterschiede können wir folgt begründet werden. Infolge der Grundwasserströmung in Richtung Schaden finden Bodenumlagerungen durch innere Erosion und Suffosion statt, die im Bereich der Schadstelle zum Aufbau eines stabilen Korngerüstes führen können, das als Filter wirkt. Das Wasser tritt dann bei kleinen Punktschäden nicht homogen über die gesamte Schadensfläche in den Kanal ein, sondern nur über einen Teil der Fläche, der näherungsweise mit $A^{1/2}$ (siehe potenzielle Regressionskurven in Bild 26) beschrieben werden kann. Bei größeren Schadensbildern ist je nach Kornabstufung der Filter wegen fehlender Stützung nicht so stabil wie bei kleineren Schadensbildern, so dass bei den hier untersuchten Riss- und Muffenschäden von einem linearen Einfluss der Schadensfläche ausgegangen werden kann ($A^{1,0}$).

Es lässt sich weiterhin vermuten, dass beim Einfluss der Schadensfläche A^x ein Übergang von $X = 0,5$ bis $X = 1$ stattfindet und demnach bei Punktschäden ein grundsätzlich anders gearteter Mechanismus als bei Riss- und Muffenschäden vorliegt. Dieser Zusammenhang kann aber im Detail mit den vorliegenden Messergebnissen nicht nachgewiesen werden.

Um die für den Boden II gewonnenen Ergebnisse zu überprüfen, wird für den Boden I die gleiche Vorgehensweise gewählt, wie für den Boden II. Anschließend werden die Ergebnisse beider Böden miteinander verglichen. Hierbei können die für den Einfluss der Schadensfläche A und der hydrostatischen Druckhöhe h auf die Grundwasserinfiltration ermittelten Ergebnisse grundsätzlich bestätigt werden. Allerdings weisen die Versuchsergebnisse des schwach-bindigen Bodens I eine deutlich größere Streuung auf als die Ergebnisse des Bodens II. Dies ist durch das inhomogene Korngemisch und die Bindigkeit des Bodens I zu begründen. Die auf gleiche Weise wie bei Boden II ermittelten Vorfaktoren sind in Bild 29 für Punktschäden und Riss- bzw. Muffenschäden dargestellt. Als Vorfaktor für Punktschäden wird der Median $\eta_P = 3,33$ (Spannweite 0,24 - 9,86) und für Riss- bzw. Muffenschäden $\eta_R = 2,22$ (Spannweite 0,95 - 4,64) ermittelt.

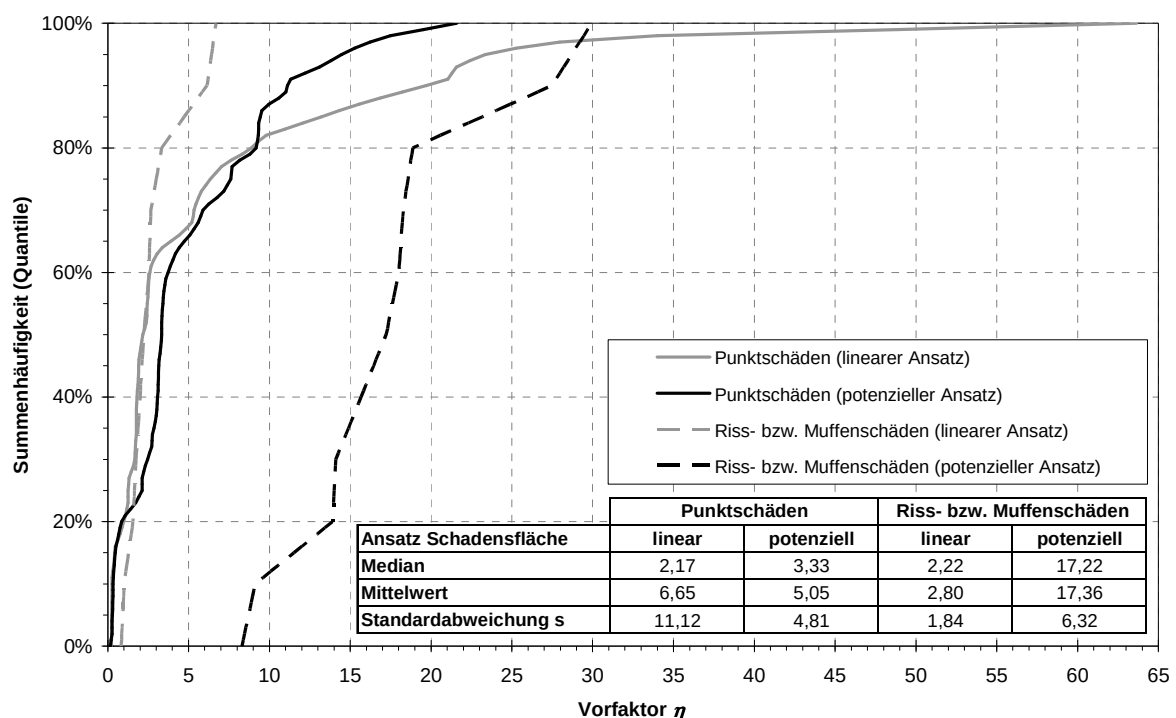


Bild 29: Summenhäufigkeiten der Vorfaktoren für den schwach-bindigen Boden I bei verschiedenen Schadensarten

Aus den beschriebenen Auswertungen ergibt sich für den rolligen Boden II die nachfolgende empirische Formel, welche die Infiltrationsrate von Grundwasser q_F (l/min)

je Schaden hinreichend genau abbildet. Es wird die Annahme getroffen, dass der k_F -Wert des Bodens nach dem Gesetz von DARCY einen linearen Einfluss hat. Die jeweiligen Parameter sind in SI-Einheiten einzusetzen. Aus praktischen Gründen erfolgt eine direkte Umrechnung in die Einheit l/min für die Grundwasserinfiltration. Die aus den Versuchsergebnissen ermittelten Vorfaktoren η sind in Tabelle 22 für beide Böden einander gegenübergestellt. Es wird empfohlen, den Median der Vorfaktoren einzusetzen.

Punktschäden:
$$q_F = \eta_P \cdot 1 \cdot 10^5 \cdot k_F \cdot \sqrt{A} \cdot h^{1,5} \quad (1)$$

Riss- bzw. Muffenschäden:
$$q_F = \eta_R \cdot 1 \cdot 10^7 \cdot k_F \cdot A \cdot h^{1,5} \quad (2)$$

mit	q_F (l/min)	Grundwasserinfiltrationsrate je Schaden
	η_P ($m^{-0,5}$)	Vorfaktor für Punktschäden
	η_R ($m^{-1,5}$)	Vorfaktor für Riss- und Muffenschäden
	k_F (m/s)	Wasserdurchlässigkeit des Bodens
	A (m^2)	Fläche des Schadens
	h (m)	Grundwasserdruckhöhe am hydrostatischen Flächenschwerpunkt des Schadens

Tabelle 22: Zusammenstellung der in den Versuchen ermittelten Vorfaktoren

Vorfaktor η *)	BODEN I (SU)		BODEN II (SE)	
	Punktschäden $\eta_P (m^{-0,5})$	Riss- bzw. Muffenschäden $\eta_R (m^{-1,5})$	Punktschäden $\eta_P (m^{-0,5})$	Riss- bzw. Muffenschäden $\eta_R (m^{-1,5})$
Median	3,33	2,22	6,61	1,14
Mittelwert $\bar{x}$	5,05	2,80	7,20	1,58
Standardabweichung s	4,81	1,84	2,78	1,11
Streuung $(\bar{x} - s) \leq \eta \leq (\bar{x} + s)$	0,24 - 9,86	0,95 - 4,64	4,41 - 9,98	0,48 - 2,69
Erläuterung: *) Die angegebenen Vorfaktoren beziehen sich auf die Formel (1) für Punktschäden und Formel (2) für Riss- bzw. Muffenschäden. Es wird empfohlen, den Median der Vorfaktoren einzusetzen.				

Die Unterschiede in den Vorfaktoren zwischen Punktschäden und Riss- bzw. Muffenschäden sind auf den unterschiedlichen Einfluss der Schadensfläche zurückzuführen. Letztere wird bei Punktschäden mit einem quadratwurzelförmigen Ansatz berücksichtigt (siehe Gleichung 1), wohingegen bei Riss- bzw. Muffenschäden ein line-

arer Einfluss der Schadensfläche auf die Grundwasserinfiltration zugrunde liegt (siehe Gleichung 2). Für die große Streuung der Vorfaktoren gibt es verschiedene Begründungen, die nachstehend im Einzelnen genannt sind:

- Ein Versuchsbeginn vor Abschluss einer ausreichenden Wassersättigung des Bodens führt zu einer fehlerhaft angenommenen hydrostatischen Druckhöhe und somit zu einem abweichenden „Korrekturfaktor η “.
- Eine ungleichmäßige Verdichtung des Bodens führt zu unterschiedlichen Lagerungsdichten und damit auch zu unterschiedlichen Grundwasserinfiltrationsraten. Mit zunehmender Lagerungsdichte sinkt die Infiltration. So konnte bei einer Extrembetrachtung mit Hilfe einer Vibrationsplatte die Verdichtung des Bodens II im Vergleich zur Handverdichtung von 96 % auf 101 % Proctordichte erhöht werden. Die Grundwasserinfiltration reduzierte sich hierdurch bei einzelnen untersuchten Punkt- und Risschäden um 30 %. Die Streuung der Verdichtung mit dem Handstampfer lag jedoch in einem deutlich kleineren Bereich.
- Mit größer werdendem Schadensumfang erfolgt mit der Grundwasserinfiltration ein Eintrag von Boden durch innere Erosion, wodurch die Messergebnisse der Grundwasserinfiltration verfälscht werden. Zur Auswertung der Messergebnisse wurden daher nur Messwerte mit keinem bzw. geringfügigem und damit vernachlässigbarem Bodeneintrag herangezogen.
- Durch Erosion und Suffosion können Bodenumlagerungen stattfinden, wodurch sich im Bodenkörper Zonen unterschiedlicher Wasserdurchlässigkeiten ausbilden. Auch ist der Aufbau eines Filters (Kolmation) aus einem abgestuften Korngemisch oberhalb einer Schadstelle vorstellbar, durch den die Wasserdurchlässigkeit herabgesetzt wird. Diese Effekte nehmen mit der Bindigkeit des Bodens zu und sind darüber hinaus stark von der Abstufung des Korngemisches abhängig. Als Fazit bleibt festzuhalten, dass sich rollige Böden hinsichtlich des Infiltrationsgeschehens homogener verhalten als bindige Böden.

Neben der reinen Quantifizierung der Grundwasserinfiltration wurden während der Versuche die folgenden Erkenntnisse zur Auswirkung der untersuchten Belastungen auf das Infiltrationsverhalten gewonnen:

- Hochdruckreinigungen führen zu einer vorübergehenden Veränderung des Infiltrationsgeschehens, weil dabei die natürliche Grundwasserströmung im Bereich der Schadensfläche verändert wird. Kurze Zeit später stellt sich jedoch wieder der ursprüngliche Zustand ein. Im Einzelfall ist eine Hochdruckreinigung in der Lage, eine kolmatierte Bodenschicht (Filter) zeitweise aufzubrechen und höhere Infiltrationsraten auszulösen.

- Eine dynamische Belastung des Bodenkörpers bspw. durch fließenden Verkehr führt nur kurzfristig zu einer höheren Infiltrationsrate, da die Kohäsionskräfte des Bodens besonders bei bindigen Böden aufgehoben werden. Mittelfristig kann durch die dynamische Belastung eine irreversible Verdichtung des Korngemisches erfolgen. Eine zunehmende Verdichtung verringert die Infiltrationsrate. Dies erfolgt allerdings nicht in dem Ausmaß wie es exemplarisch mit der dynamischen Verdichtung nachgewiesen wurde, da die Verdichtungsenergie im Boden mit größer werdender Tiefe schnell abnimmt.

In Bild 30 ist die Grundwasserinfiltrationsrate für den schwach-bindigen Boden I für die untersuchten Punkt-, Riss- und Muffenschäden aufgetragen, Bild 31 zeigt eine ähnliche Darstellung für den Boden II. Bei bekannter Bodenart kann mit Auftragen der Schadensfläche A und der hydrostatischen Druckhöhe h die zu erwartende Grundwasserinfiltrationsrate q_F je Schaden abgelesen werden. Die in den Versuchen betrachteten Schäden sind auf den Abszissen zusätzlich gekennzeichnet.

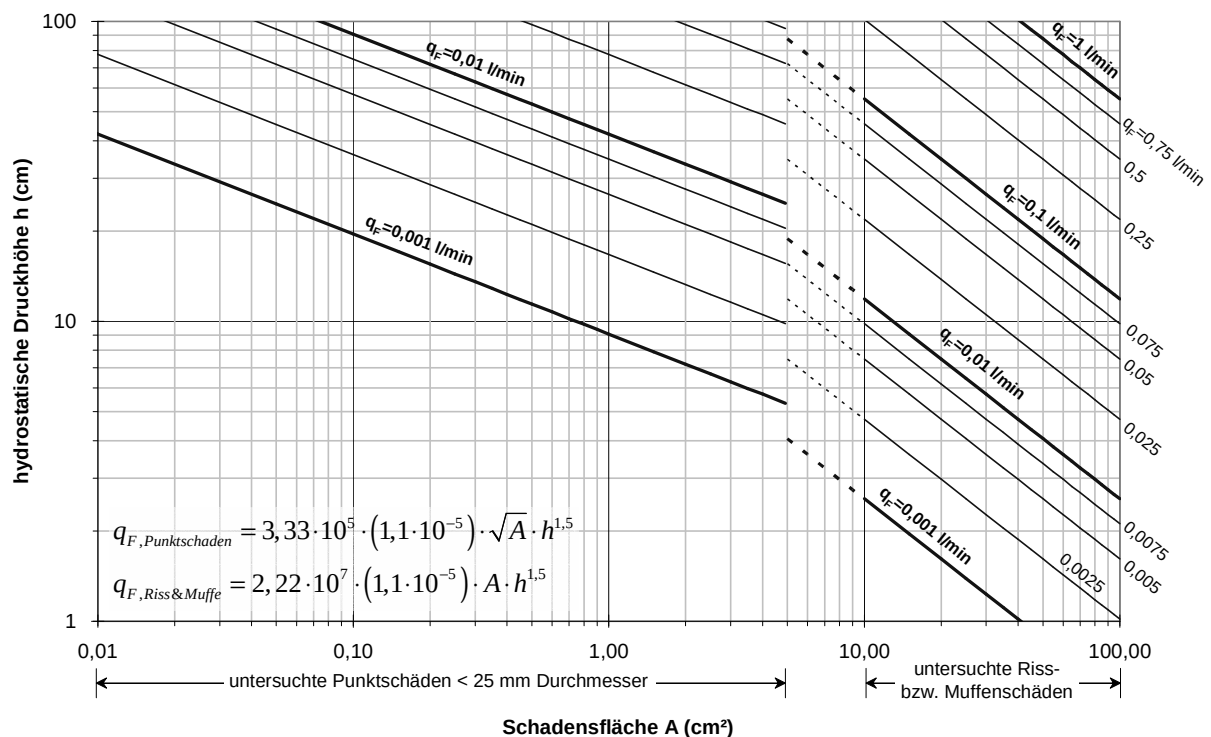


Bild 30: Grundwasserinfiltration q_F in Abhängigkeit der Schadensfläche und der hydrostatischen Druckhöhe für den schwach-bindigen Boden I

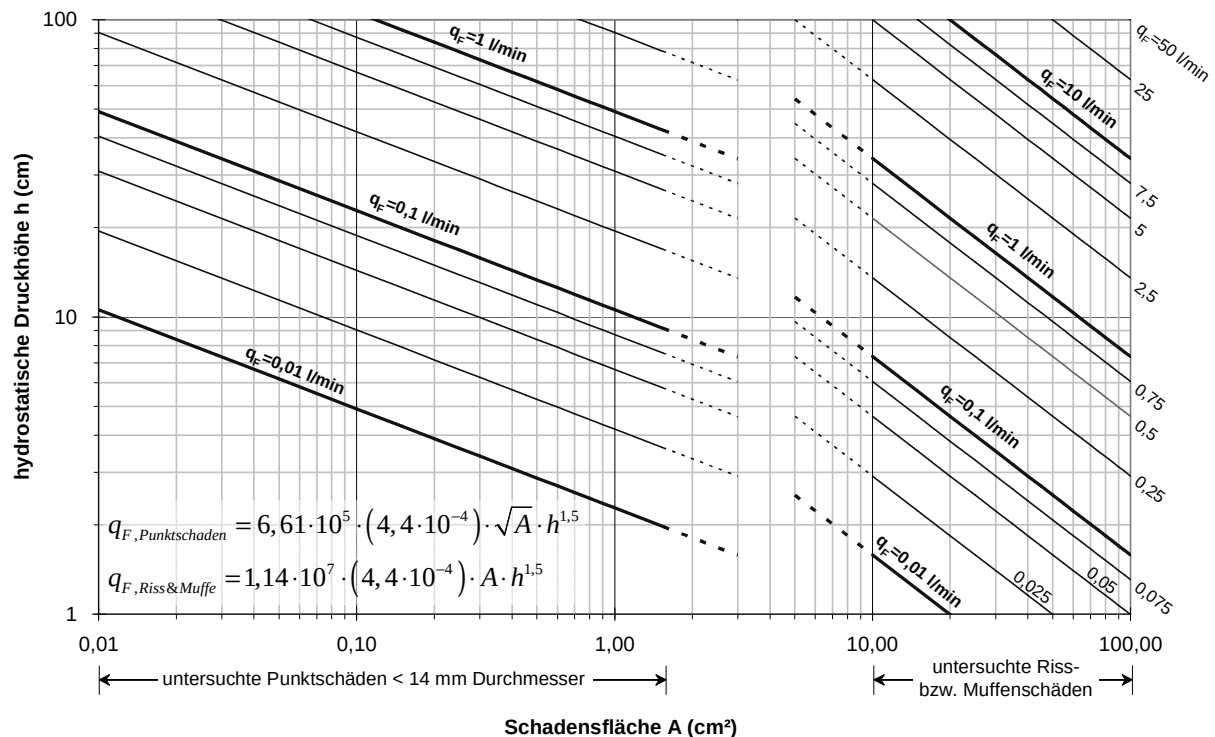


Bild 31: Grundwasserinfiltration q_F in Abhängigkeit der Schadensfläche und der hydrostatischen Druckhöhe für den rolligen Boden II

Darüber hinaus erscheint eine Extrapolation der Funktionsverläufe soweit zulässig, solange die Grundwasserinfiltration nicht durch einen Bodeneintrag in den Abwasserkanal gestört wird. Extrapolierte Werte sind in Bild 30 und Bild 31 im Übergangsbereich zwischen Punkt- und Riss- bzw. Muffenschäden gestrichelt eingezeichnet. Der wurzelförmige Ansatz der Schadensfläche endet für Punktschäden des Bodens I bei der Fläche 4,91 cm² entspr. 25 mm und für Punktschäden des Bodens II bei der Fläche 1,54 cm² entspr. 14 mm Durchmesser des Punktschadens. Anhand der Versuchsergebnisse ist davon auszugehen, dass Punkt- und Riss- bzw. Muffenschäden getrennt voneinander zu sehen sind.

Ein Übergang zwischen den beiden Graphen der Punktschäden und Riss- bzw. Muffenschäden ist nicht dargestellt, da er in den Versuchen mit zu großem Punktschaden aufgrund einer Störung durch Bodeneintrag nicht genau bestimmt werden konnte. Der Bodeneintrag oder eine sich einstellende Filterwirkung durch ein stabiles Korngerüst oberhalb der Schadstelle haben erheblichen Einfluss auf die Infiltrationsraten. Mit größer werdendem Durchmesser von Punktschäden sinken die Stabilität eines Korngerüsts und damit die Wahrscheinlichkeit eines Bodeneintrages. Bei Rissen entsteht durch die Längsausrichtung eine andere Tragwirkung des Korngerüsts. Diese Gründe und auch die bereits geäußerte Annahme, dass bei Punktschäden noch eine geringe Abhängigkeit des Vorfaktors von der Schadensfläche vorhanden ist, führen zu der Festlegung, dass das Infiltrationsverhalten von Punktschäden ein

anderes ist als das von Riss- bzw. Muffenschäden, so dass die Linien gleicher Infiltration in Bild 30 und Bild 31 nicht stetig sind.

Der hier entwickelte Ansatz zur Berechnung der Grundwasserinfiltration unterscheidet sich von den theoretischen Betrachtungen und bisherigen Modellen zur Berechnung der Infiltrationsraten (siehe Kapitel 4.1). Die theoretische Formel von TORICELLI kommt dem hier entwickelten Ansatz sehr nahe. TORICELLI geht von einem mit Wasser gefüllten Behälter aus, Reibungsverluste werden nur an der Austrittsöffnung angesetzt. Durch den Einfluss des Fließwiderstandes eines Bodens werden beide Formeln betragsmäßig jedoch nicht miteinander vergleichbar. Interessant ist der Einfluss der hydrostatischen Druckhöhe mit Exponenten im Bereich von 0,5 bis 1,5 je nach hydrodynamischer Aufgabenstellung. Der hier entwickelte empirische Ansatz mit $h^{1,5}$ ist mit den Abflussformeln durchaus vergleichbar.

Der ursprünglich für den Wasseraustausch von Grundwasser und Oberflächengewässern entwickelte Leakage-Ansatz wurde sowohl von GUSTAFSSON (2000) als auch von KARPf und KREBS (2004a) für die Berechnung der Grundwasserinfiltration in undichte Kanäle genutzt.

Er ist nicht auf eine lineare Abhängigkeit der infiltrierenden Wassermengen von der hydrostatischen Druckhöhe beschränkt, sondern kann auch mit potenziellem Einfluss der Druckhöhe in der Form $q_F = k_l \cdot A \cdot h^x$ angewendet werden. Mehrheitlich wird jedoch der lineare Ansatz angewendet. Der in dieser Arbeit entwickelte Ansatz mit einem potenziellen Einfluss der hydrostatischen Druckhöhe von $h^{3/2}$ auf die Grundwasserinfiltration wird zusätzlich noch bestätigt durch die von DOHMANN et al. (2002) durchgeführten Untersuchungen über einen Zusammenhang zwischen dem Fremdwasserabfluss und Grundwasserstand (siehe Kapitel 4.1).

Weiterhin geht der Leakage-Ansatz von der gesamten benetzten Oberfläche eines Kanals zur Berechnung der Grundwasserinfiltration aus und unterscheidet sich damit ebenfalls von dem in dieser Arbeit entwickelten Ansatz in der Fläche. In den Leakage-Faktor finden die effektive Schadensfläche und die Wasserdurchlässigkeit des Bodens Eingang. Die Angabe von Leakage-Faktoren bleibt damit in der Praxis auf flächendeckende Aussagen beschränkt, schadensspezifische Aussagen sind nicht möglich. Wird ein linearer Leakage-Ansatz auf die eigenen Messwerte angewendet, ergeben sich für ein Betonrohr DN 300 und den Boden I Leakage-Faktoren der Spannweite $1,10 \cdot 10^{-8}$ bis $1,35 \cdot 10^{-5}$ 1/s. Für den rolligen Boden II liegen die Leakage-Faktoren in einem Wertebereich von $2,81 \cdot 10^{-6}$ bis $2,11 \cdot 10^{-4}$ 1/s.

Für einen Vergleich des hier entwickelten Ansatzes der Grundwasserinfiltration mit den in Tabelle 19 zur Veranschaulichung aufgezeigten Größenordnungen der unter-

schiedlichen Ansätze, ergeben sich bei Verwendung der gleichen Böden die folgenden Ergebnisse:

- **Grundwasserinfiltration für einen Punktschaden** (10 mm Durchmesser, Druckhöhe 60 cm): Boden A = 0,016 l/min bzw. Boden B = 1,25 l/min
- **Grundwasserinfiltration für einen Risssschaden** (1 mm Breite, Länge 1 m und Druckhöhe 60 cm): Boden A = 0,12 l/min bzw. Boden B = 2,47 l/min

Es zeigt sich, dass die berechneten Einzelwerte des hier entwickelten Ansatzes in der Größenordnung näherungsweise vergleichbar sind mit den Ergebnissen der Berechnungsansätze der horizontalen Grundwasserfassung und der Dränagewasserabflussspende nach HOOGHOUTD sowie des Leakage-Ansatzes. Diese Ähnlichkeit ist zunächst jedoch nicht verallgemeinerbar, da die Funktionsverläufe der verschiedenen Ansätze erheblich voneinander abweichen.

Eine entsprechende Überprüfung der von DECKER (1998) gemessenen mittleren Infiltrationsraten an einer Haltung Ei 500/750 bei einem rolligen Boden und undichten Muffen gestaltet sich schwierig, da der k_F -Wert des Bodens unbekannt ist. In Tabelle 23 sind die gemessenen Grundwasserinfiltrationsraten zusammen mit den getroffenen Annahmen den berechneten Infiltrationsraten vergleichend gegenübergestellt. Dabei ergeben sich gute Übereinstimmungen, vor allem hinsichtlich des Einflusses der hydrostatischen Druckhöhe. Die zur Berechnung getroffenen Annahmen haben jedoch maßgeblichen Einfluss auf das Berechnungsergebnis.

Tabelle 23: Überprüfung der von DECKER (1998) durchgeführten Fremdwassermessungen an einer undichten Muffe

Messung Nr.	Messwerte nach DECKER (1998)		berechnet durch $q_F = 1,14 \cdot 10^7 \cdot k_F \cdot A \cdot h^{1,5} \cdot 60 \text{ min/h}$	
	h_1 (cm) *	q_F (l/h)	h_2 (cm) **	q_F (l/h)
1	106,5	967,8	83,5	1023
2	107,5	1218,6	84,5	1041
3	108,5	1254,6	85,5	1060
4	111,5	1167,4	88,5	1116
Erläuterungen: Annahmen: k_F -Wert = $4 \cdot 10^{-4}$ m/s (rolliger Boden) undichte Muffe mit Muffenspalt = 2 mm Wanddicke = 6 cm, Rohrumfang: $l_U = 7,93 \cdot R \approx 7,93 \cdot (25 \text{ cm} + 6 \text{ cm}) = 245,8 \text{ cm}$ Schadensfläche $A = 245,8 \text{ cm} \cdot 0,2 \text{ cm} + \pi \cdot (0,2 \text{ cm})^2 = 49 \text{ cm}^2$ Flächenschwerpunkt vereinfachend bei 2/3 der Rohrhöhe bei ~58 cm * Grundwasserstand über der Sohle des Kanalrohres Ei 500/750 ** hydrostatische Druckhöhe im Flächenschwerpunkt $h_2 = h_1 - 23 \text{ cm}$ (75 cm Höhe - 58 cm Flächenschwerpunkt + 6 cm Wandstärke = 23 cm)				

Mit Hilfe der entwickelten Abhängigkeiten ist neben der schadensgenauen Quantifizierung der Grundwasserinfiltration auch eine Prognose des zu erwartenden Fremdwasseranfalls anhand der Auswertung einer optischen Zustandserfassung möglich. Voraussetzung ist hierfür die Kenntnis von Bodenart und Grundwasserstand in der Leitungszone. Erkannten Schadensbildern kann auf diesem Weg direkt ein Infiltrationspotenzial und damit bei Vorliegen einer geeigneten Bewertung auch eine entsprechende Sanierungspriorität zugeordnet werden. Es ist angesichts der bundesweiten Fremdwasserproblematik durchaus vorstellbar, dass die bisher geltende Zustandsklassifizierung von infiltrationswirksamen Undichtigkeiten im Kanalnetz eine neue, stärkere Gewichtung erfährt.

Bei bekanntem Fremdwasseraufkommen, Grundwasserstand und Bodenart kann nach den Gleichungen (1) und (2) auch die in einem Netzstrang vorliegende infiltrationswirksame Schadensfläche abgeschätzt werden. Dränagen müssen dabei gesondert erfasst werden. Letztendlich dienen die hier vorgestellten Ergebnisse auch als Grundlage für die exaktere Aufstellung von Grundwassermodellen. Einzelnen geschädigten Abwasserkanälen und -leitungen können mit Hilfe des entwickelten Ansatzes nun spezifische grundwasserabsenkende Eigenschaften zugeordnet werden.

Mit den nunmehr vorliegenden Kenntnissen zur schadensspezifischen Abschätzung des über Undichtigkeiten in Kanäle und Leitungen infiltrierenden Grundwassers, können die Abflüsse der einzelnen Fremdwasserquellen besser quantifiziert werden.

Die Erfolge von fremdwasserreduzierenden Maßnahmen, insbesondere der Kanalsanierung, werden bei Kenntnis entsprechender Randbedingungen prognostizierbar.

Eine ganzheitliche Bewertung von Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung und deren Auswirkungen auf die Siedlungsentwässerung kann mit den nun vorliegenden Kenntnissen des über Undichtigkeiten zufließenden Fremdwassers vorgenommen werden (siehe auch 3.5.3). Die Auswahl von Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung ist neben dem finanziellen und zeitlichen Aufwand von einer Reihe weiterer Faktoren abhängig. So wurden in der Vergangenheit die Auswirkungen auf den Bodenwasserhaushalt selten berücksichtigt, insbesondere was die Frage nach einem möglichen Grundwasseranstieg anbelangt (siehe Kapitel 3). Entsprechende Kriterien zu einer integralen Bewertung und gezielten Auswahl geeigneter Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung wurden bisher nicht entwickelt. So fehlen letztendlich auch schlüssige Entscheidungshilfen zur Aufstellung eines individuellen Fremdwasserkonzeptes. Erst mit einer solchen Entscheidungshilfe können im sozialen und politischen Spannungsfeld ökonomisch und ökologisch sinnvolle Entscheidungen getroffen und entsprechende Planungen zur Fremdwasserreduzierung aufgestellt werden. Ansätze zur Lösung dieser Aufgabe sollen in Form einer Bewertung als Abschluss der Arbeit aufgezeigt werden.

5 Ganzheitliche Bewertung von Maßnahmen und Auswirkungen der Fremdwasserreduzierung

5.1 Motivation

In Kapitel 3 wurden Maßnahmen zur Reduzierung von Fremdwasser in Kanalnetzen aufgezeigt. Einhergehend mit der Durchführung dieser Maßnahmen kann es zu einem lokalen oder auch weiträumigen Grundwasseranstieg kommen, wenn Undichtigkeiten saniert oder Dränagen abgekoppelt werden. Vorstellbar sind auch eine Mobilisierung von Altlasten oder eine grundlegende Veränderung der Grundwasserströmung, bspw. durch ein Durchfließen vormals nicht vom Grundwasser berührter Bodenschichten. Um Folgeschäden durch einen hohen Grundwasserspiegel zu vermeiden, können Gebäude nachträglich gegen Grundwasser abgedichtet oder das Grundwasser entnommen und separat abgeleitet werden. Die sich daraus ergebende Fragen nach der Haftung, Zulässigkeit und Kostenübernahme solcher Maßnahmen sind oft nicht einfach zu beantworten. Letztendlich zeigt sich, dass Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung allein in aller Regel nicht ausreichend sind und dass häufig auch aufwändige ergänzende Maßnahmen zur Grund- und Niederschlagswasserbewirtschaftung notwendig werden können.

Um diese Zusammenhänge erfassen und bewerten zu können, ist eine ganzheitliche wasserwirtschaftliche Betrachtungsweise erforderlich, die neben den Ursachen für Fremdwasser auch Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung und Lösungen zur Vermeidung von Folgeschäden, bspw. durch eine Veränderung des Grundwasserspiegels, berücksichtigt. Zur Wertung dieser Zusammenhänge spielen die in Kapitel 3 und 4 erarbeiteten Erkenntnisse zu Maßnahmen im Umgang mit Fremdwasser und der Quantifizierung der Grundwasserinfiltration eine maßgebende Rolle. Dabei sind insbesondere die folgenden Komponenten zu betrachten:

- Ist-Zustand des Fremdwassers,
- Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung und deren Auswirkungen,
- Nutzung oder Schaffung von Ableitungssystemen für Grund- und Niederschlagswasser sowie
- Schaffung von Ersatzsystemen zur Grundwasserabsenkung und Ableitung des entnommenen Grundwassers oder Abdichtung von Bauwerken.

Es wurde weiterhin gezeigt, dass die Auswahl und Umsetzung von Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung nicht allein von technischen Faktoren abhängig ist, sondern auch ökologische, ökonomische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte eine

wesentliche Rolle spielen. Um die vielfältigen Einflüsse auf den Auswahlprozess übersichtlich ordnen und beurteilen zu können, ist eine entsprechende Bewertungsmethode erforderlich. Ziel ist es, verschiedene Möglichkeiten zur Fremdwasserreduzierung unter Berücksichtigung integraler Aspekte aufzuzeigen und zu bewerten.

Zu einer ganzheitlichen Analyse unter Berücksichtigung auch nicht-monetärer Größen bietet sich insbesondere die Nutzwertanalyse an. Die Nutzwertanalyse beruht nach GRASSINGER und SALHOFER (1998) auf einem entscheidungstheoretischen Modell, das die Nutzwerte von Handlungsalternativen (Maßnahmen) in Bezug auf mehrere Bewertungskriterien ermittelt. Der Nutzwert ist daher ein relativer Wert und wird nicht monetär angegeben. Nach ZANGEMEISTER (1970) dient die Nutzwertanalyse der systematischen Entscheidungsvorbereitung bei Auswahlproblemen. Sofern mehrere Möglichkeiten existieren, ein Ziel zu erreichen, ist die Alternative mit dem größten Wert der Zielerreichung zu wählen. Die Nutzwertanalyse stellt eine Bewertungstechnik dar, bei der alle nicht-monetären Vor- und Nachteile von Alternativen einheitlich als Nutzengrößen in Form einer Bewertungsmatrix dargestellt werden (BMF, 1995). Hierbei werden vier Teile unterschieden:

- **Konzeptionsphase:** Aufstellung eines Zielsystems, indem Maßnahmen festgelegt und Bewertungskriterien definiert werden.
- **Bewertungsphase:** Die Bewertungskriterien werden gewichtet. Es erfolgt eine Ermittlung der Teilnutzwerte der einzelnen Varianten in Bezug auf die jeweiligen Bewertungskriterien durch Multiplikation der Punkte und Gewichtung.
- **Ergebnisphase:** Die Nutzwerte werden aus den Teilnutzwerten berechnet. Durch Sortierung nach ihrer Größe ergibt sich eine Rangfolge als Vergleichsmaßstab zur Bewertung der Alternativen untereinander. Je höher der Nutzwert einer Maßnahme ist, desto eher ist diese Maßnahme zur Fremdwasserreduzierung einzusetzen.
- **Sensitivitätsanalyse:** Die Wahl der Bewertungskriterien und insbesondere die Gewichtung können die Ergebnisse beeinflussen. Durch eine Veränderung der Gewichtung kann der Einfluss auf die Rangfolge aufgezeigt werden. Je stabiler die Rangfolge ist, desto mehr Anspruch auf Objektivität ist an das Ergebnis zu stellen.

Die Nutzwertanalyse setzt voraus, dass für die Lösung eines Problems verschiedene Lösungswege bestehen. Bei den in Kapitel 3.3 dargelegten Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung handelt es sich jedoch um parallel anzuwendende Maßnahmen. Es besteht lediglich Entscheidungsfreiheit in der zeitlichen Reihenfolge von Maßnahmen. Die Nutzwertanalyse wird daher hier modifiziert, da es sich bei den Maß-

nahmen zur Fremdwasserreduzierung um keine echten Alternativen handelt, sondern um Maßnahmen, die langfristig alle durchgeführt werden müssen. Allerdings kann so eine Prioritätenliste erstellt werden. Darüber hinaus werden Maßnahmenkombinationen erarbeitet.

Einen entsprechenden Handlungsrahmen zur Umsetzung der Ergebnisse einer solchen Bewertung stellt ein Fremdwasserkonzept dar. Ähnlich einem Abwasserbeseitigungskonzept werden in einem solchen Konzept die Planung und Umsetzung von Maßnahmen unter technischen Aspekten in einen zeitlichen und finanziellen Rahmen gebracht. Ein Fremdwasserkonzept vereint Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung, Verminderung der Auswirkungen von Fremdwasser, Maßnahmen zur Ableitung von Grund- und Niederschlagswasser sowie Maßnahmen zum Schutz der Bebauung vor ansteigendem Grundwasser. Bevor Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung ergriffen werden können, sind entsprechende Untersuchungen zur Quantifizierung des Fremdwasseranfalls und zur Ortung der Fremdwasserquellen erforderlich.

Im Folgenden werden ganzheitlich die Einflüsse von Technik, Ökonomie, Recht, Gesellschaft und Politik sowie Ökologie auf den Prozess der Fremdwasserreduzierung aufgezeigt und Wege im Rahmen eines Entscheidungsprozesses zur schnellen Zielerreichung bei gleichzeitiger Vermeidung von Fehlentscheidungen vorgeschlagen.

5.2 Bewertungsszenarien

Bei der Bewertung von Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung ist davon auszugehen, dass dem Fremdwasser unterschiedliche Ursachen zugrunde liegen. So entstammt es je nach geographischer Lage unterschiedlichen Quellen oder weist eine individuelle Größenordnung auf. In Mittelgebirgsregionen sind bspw. vornehmlich Dränagen zu finden, während in flacheren Regionen mit einem ausgeprägten Grundwasserkörper überwiegend mit eindringendem Grundwasser über Undichtigkeiten zu rechnen ist. Auch finden sich Regenwasserfehlanschlüsse und eindringendes Oberflächenwasser über Schachtdeckelöffnungen nur in Trennsystemen. Aus diesem Grund müssen vor einer Bewertung Szenarien gebildet werden. Auf fremdwasserspezifische Sonderfälle, wie bspw. Gegenden des Karst, wird nicht näher eingegangen. Mit Hilfe der Bodenwasserregimetypen (siehe Bild 9, Kapitel 2.3.1) und der unterschiedlichen Einflüsse auf den Fremdwasseranfall lassen sich mit Hilfe von Tabelle 24 drei Szenarien unterscheiden, jeweils für eine Entwässerung im Misch- und Trennsystem:

- **Szenario 1 (Mittelgebirge mit Hangstauwasser):** Es handelt sich um ein Kanalnetz in Mittelgebirgslage mit weitgehend wasserundurchlässigem Gesteinsuntergrund und einer darüber liegenden Verwitterungsschicht. Der in diesen Regionen

überdurchschnittlich hohe Niederschlag versickert in der Verwitterungsschicht, staut sich auf der Gesteinsschicht auf und fließt dann als Stauwasser bzw. Hangstauwasser talabwärts. Ein ausgeprägter und vom Niederschlag nahezu unbeeinflusster Grundwasserleiter existiert in der Regel nicht. Das Szenario trifft auf den Bodenwasserregimety 5 zu. Um Gebäude vor dem Hangstauwasser zu schützen, ist von einem Großteil fehlangeschlossener Dränagen auszugehen, die insbesondere bei Niederschlägen Grundwasser abführen. Die Verwitterungsschicht besitzt vor allem in den Frühjahrs- und Wintermonaten eine große Speicherwirkung für das Niederschlagswasser, so dass neben den Dränagen auch Undichtigkeiten der in geringer Tiefe liegenden Kanäle und Leitungen eine signifikante Fremdwasserquelle darstellen. Insbesondere auch die künstlich hergestellten und mit gut wasserdurchlässigen Böden verfüllten Kanal- und Leitungsgräben besitzen eine dränierende Wirkung.

- **Szenario 2 (Flachland mit Stauwasser):** In vielen Regionen sind wasserdurchlässige Porengrundwasserleiter von gering wasserdurchlässigen Schichten durchzogen. Die vertikale Fließrichtung des versickernden Niederschlagswassers wird durch diese Schichtgrenzen gestört, so dass sich zeitweise Stauwasser ausbildet. Unabhängig davon kann in einer größeren Tiefe ein Grundwasserleiter anstehen. Charakterisierend für dieses Szenario sind die Bodenwasserregimety 2 und 7. Ähnlich wie bei Szenario 1 ist davon auszugehen, dass dieses Stauwasser über Dränagen und in geringer Tiefe liegenden Undichtigkeiten in Kanäle infiltriert. Tiefer liegende Kanäle können dauerhaft in den Aquifer einbinden und damit auch zum Fremdwasserabfluss beitragen.
- **Szenario 3 (Flachland mit Grundwasserleiter):** Stehen im Flachland wasserdurchlässige Böden in Form von Porengrundwasserleitern an, bildet sich in der Regel ein durchgehender Grundwasserleiter aus. Das Niederschlagswasser kann in der Regel ungestört versickern. Die Bodenwasserregimety 3, 4 und 6 bilden dieses Szenario gut ab. Durch die relative Lage des Grundwasserspiegels zu einer Undichtigkeit wird über die hydrostatische Druckhöhe der Fremdwasseranfall bestimmt. Der Grundwasserspiegel selbst wird u. a. durch die Fließtiefe von nahe gelegenen Gewässern und den Niederschlag bestimmt. Im Vergleich zu den Szenarien 1 und 2 werden Dränagen eine untergeordnete Rolle besitzen, da der Boden ausreichend versickerungsfähig ist. Ausgeprägte Vernässungen können daher ausgeschlossen werden.

Tabelle 24: Einflüsse auf den Fremdwasseranfall in verschiedenen Szenarien

Einflüsse	Szenario 1 Mittelgebirge mit Hangstauwasser Typ 5 ¹⁾	Szenario 2 Flachland mit Stauwasser Typen 2 und 7 ¹⁾	Szenario 3 Flachland mit Grundwasserleiter Typen 3, 4 und 6 ¹⁾
Entwässerungssystem (Mischsystem / Trennsystem)	●	●	●
potenziell angeschlossene Dränagen	●	●	-
auftretendes Stauwasser v. a. im Anschluss an Niederschlagsereig- nisse	●	●	-
permanent anstehendes Grundwasser	-	-	●
hohe Geländeneigung	●	-	-
Bachtäler	●	-	-
Oberflächengewässer	-	-	●
Niederschlagscharakteristik (Niederschlagssumme, -dauer und -intensität)	●	●	-
Temperatur (Frostdauer, Schneeschmelze)	●	-	-
Erläuterungen: ¹⁾ Bodenwasserregimetypen (UVM, 2001) siehe Kapitel 2.3.1 ● Einfluss entscheidend für dieses Szenario - Einfluss nicht entscheidend für dieses Szenario			

5.3 Nutzwertanalyse

Nachfolgend wird der Versuch einer vergleichenden Bewertung der in Kapitel 3 vorgestellten Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung einschließlich geeigneter Ableitungssysteme und Maßnahmen zum Schutz vor einem Grundwasseranstieg unternommen. Dabei helfen die in Kapitel 4 gewonnenen Kenntnisse zur Grundwasserinfiltration, den Erfolg der Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung bewerten zu können. Die in den Kapiteln 3.2 und 3.4 vorgeschlagenen Maßnahmen zur Fremdwasser-Vermeidung im Rahmen einer Kanalisierung und Maßnahmen zur Verminderung der Auswirkungen von Fremdwasser werden im Folgenden nicht weiter betrachtet. Sie können ergänzend bzw. unterstützend angewendet werden.

In diesem Kapitel steht die Findung sinnvoller Maßnahmenkombinationen zur Fremdwasserreduzierung bei gleichzeitiger Vermeidung von Folgeschäden im Vordergrund. Dieses Ziel lässt sich durch eine Betrachtung der nachfolgenden Aspekte erreichen:

- wirtschaftliche und leicht umsetzbare Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung,
- hoher Wirkungsgrad der Fremdwasserreduzierung bei überschaubarem technischen Aufwand und Sicherstellung der Funktionsfähigkeit über die Nutzungsdauer der Maßnahmen,
- hohe Akzeptanz der Maßnahmen bei den Bürgern und der Politik,
- Durchsetzbarkeit der Maßnahmen aus rechtlicher Sicht bei geringem Genehmigungsaufwand und
- Reduzierung von Folgekosten durch Gewährleistung von vollständigen Planungen sowie Verminderung von schädlichen Umweltauswirkungen, bspw. durch einen Grundwasseranstieg oder eine Mobilisierung von Altlasten.

Die vorgenannten Aspekte werden in Tabelle 25 unter den Begriffen Technik, Planung, Gesellschaft, Ökologie und Ökonomie behandelt und daraus entsprechende Bewertungskriterien abgeleitet. Diese sind so formuliert, dass das o. g. Ziel mit einem möglichst hohen Nutzen erreicht werden soll. Entsprechend werden die Bewertungskriterien in Bewertungsmatrizen (siehe Tabelle 26 bis Tabelle 30) mit einer fünfstufigen Skala von „sehr positiv“ bis „sehr negativ“ bewertet. Da nicht alle Bewertungskriterien als gleichrangig anzusehen sind, werden diese entsprechend ihrer Entscheidungsrelevanz zusätzlich in drei Stufen von „mäßig wichtig“ über „wichtig“ bis „sehr wichtig“ gewichtet.

Tabelle 25: Bewertungskriterien zur Ermittlung des Nutzens einer Maßnahme

Bewertungskriterium		Verwendung des Bewertungskriteriums			Gewichtung
		Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung	Maßnahmen zum Schutz vor ansteigendem Grundwasser	Ableitungssysteme für Grund- und Niederschlagswasser	
		Tabelle 26 Tabelle 27 Tabelle 28	Tabelle 29	Tabelle 30	
Technik	hoher Wirkungsgrad	●	●		3
	geringes Erfordernis separater Ableitungssysteme	●	●		3
	hohe Nutzungs- bzw. Betriebsdauer		●	●	3
	hohe Betriebssicherheit		●	●	2
Gesellschaft	hohe politische Durchsetzbarkeit	●	●	●	2
	geringer Betroffenheitsgrad der Bürger	●	●	●	2
	hohe Attraktivität der Maßnahme	●	●	●	1
Planung	hohe rechtliche Durchsetzbarkeit	●	●	●	3
	geringe Schwierigkeiten bei der Genehmigung	●	●	●	2
	Dauer der Umsetzung	●	●	●	3
	geringe Komplexität der Planung	●	●	●	1
Ökologie	geringe Auswirkungen auf Grund- und Oberflächengewässer *)	●	●	●	3
Ökonomie	geringer Aufwand zur Ortung	●			3
	geringer technischer Aufwand	●	●	●	3
	geringe Kosten	●	●	●	3
Erläuterungen: Gewichtung: 1 - mäßig wichtig, 2 - wichtig, 3 - sehr wichtig *) In diesem Bewertungskriterium wird das Potenzial eines möglichen Grundwasseranstieges mit bewertet ● Bewertungskriterium wird berücksichtigt					

Nachfolgend werden einzelne ausgewählte Bewertungskriterien gesondert erläutert:

- Primäres Ziel ist zunächst ein hoher Wirkungsgrad der Fremdwasserreduzierung. Auch bei den Maßnahmen zur Grundwasserentnahme ist eine hohe Leistungsfähigkeit entscheidend. Bei der Wasserableitung fällt hierunter eine möglichst hohe Transportkapazität (→ sehr wichtig).
- Sowohl Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung als auch Maßnahmen zur Grundwasserabsenkung benötigen separate Ableitungssysteme für Grund- und

Niederschlagswasser. Das Wasser soll in Bereiche abgeleitet werden, in denen es keine Schäden hervorruft (→ sehr wichtig).

- Ein geringer Betroffenheitsgrad der Bürger ist grundsätzlich förderlich für die Umsetzung von fremdwasserreduzierenden Maßnahmen. Die potenziellen Wähler sollten aus Sicht der Politik so wenig wie möglich belastet werden, um ein hohes Ansehen zu wahren (→ wichtig).
- Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung, Wasserableitung und Grundwasserabsenkung werden von der Öffentlichkeit unterschiedlich wahrgenommen. Eine hohe Attraktivität der Maßnahme ist für ein insgesamt vorteilhaftes und öffentlichkeitswirksames Erscheinungsbild wichtig. Weniger attraktiv werden Maßnahmen, wenn umfangreiche Arbeiten an den privaten Entwässerungsleitungen erforderlich werden (→ mäßig wichtig).
- Grundsätzlich ist eine hohe rechtliche Durchsetzbarkeit von Maßnahmen erforderlich. So kann es bspw. je nach Maßnahme in Einzelfällen aus rechtlicher Sicht nicht eindeutig sein, wer die Verantwortlichkeit trägt oder Kosten übernehmen muss (→ sehr wichtig).
- Im Rahmen der Genehmigungsplanung sind geringe Schwierigkeiten bei der Genehmigung besonders bedeutsam. Hierdurch verringert sich der planerische und zeitliche Bedarf erheblich (→ wichtig).
- Fremdwasserreduzierende Maßnahmen beeinflussen die Abflussverhältnisse in Oberflächengewässern und im Grundwasser. In diesem Sinne sind geringe Auswirkungen auf Grund- und Oberflächengewässer anzustreben. So kann das Wasser aus abgekoppelten Regenwasserfehlanschlüssen oder Dränagen oberirdisch in Gräben oder Gewässern abgeleitet werden. Dies führt im Sommer zu einer Niedrigwasseranreicherung und im Winter zu höheren Abflüssen, die berücksichtigt werden müssen. Letztendlich kann aber auch ein Grundwasserspiegel ansteigen und zu Vernässungen führen oder Altlasten mobilisieren (→ sehr wichtig).
- Bevor Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung ergriffen werden können, spielt ein möglichst geringer Aufwand zur Ortung von Undichtigkeiten und Fehleinleitungen eine bedeutende Rolle. Der überwiegend durch Personalkosten geprägte zeitliche Aufwand beeinflusst entscheidend die Auswahl geeigneter Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung (→ sehr wichtig).

Tabelle 26: Bewertung von Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung (Szenario 1)

Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung (siehe Kapitel 3.3) SZENARIO 1: Mittelgebirge mit Hangstauwasser			Gewichtung	Maßnahmen															
				Beseitigung von Undichtig- keiten im Bereich öffentlicher Kanäle		Beseitigung von Undichtig- keiten im Bereich privater Leitungen		Abkoppeln von Dränagen						Abkoppeln von Gewässern		Abkoppeln von Regenwas- serfehleinleitungen im Trennsystem		Verschließen von Schacht- deckelöffnungen des SW- Kanals im Trennsystem	
								a) Fehlschluss vor Verbot in der Satzung und Genehmigungen vorliegend		b) Fehlschluss vor Verbot in der Satzung und keine Genehmi- gung vorliegend		c) Fehlschluss nach Verbot in der Satzung							
				P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN
Bewertungskriterien	Technik	hoher Wirkungsgrad	3	+	3+	+	3+	+	3+	+	3+	+	3+	++	6+	+	3+	+	3+
		geringes Erfordernis separater Ableitungssysteme	3	++	6+	++	6+	--	6-	-	3-	0	0+	--	6-	--	6-	++	6+
	Gesellschaft	hohe politische Durchsetzbarkeit	2	++	4+	-	2-	--	4-	--	4-	+	2+	+	2+	+	2+	+	2+
		geringer Betroffenheitsgrad der Bürger	2	++	4+	--	4-	-	2-	-	2-	-	2-	+	2+	-	2-	++	4+
		hohe Attraktivität der Maßnahme	1	+	1+	--	2-	--	2-	--	2-	-	1-	++	2+	0	0+	+	1+
	Planung	hohe rechtliche Durchsetzbarkeit	3	++	6+	++	6+	-	3-	0	0+	+	3+	++	6+	++	6+	++	6+
		geringe Genehmigungsschwierigkeiten	2	++	4+	++	4+	--	4-	-	2-	+	2+	-	2-	++	4+	++	4+
		Dauer der Umsetzung	3	-	3-	--	6-	-	3-	-	3-	0	0+	-	3-	+	3+	0	0+
		geringe Komplexität der Planung	1	+	1+	-	1-	0	0+	0	0+	0	0+	--	2-	+	1+	++	2+
	Ökologie	Auswirkungen auf Grund- und Oberflächengewässer	3	+	3+	0	0+	0	0+	0	0+	0	0+	+	3+	++	6+	++	6+
	Ökonomie	geringer Aufwand zur Ortung	3	0	0+	--	6-	-	3-	-	3-	-	3-	-	3-	0	0+	+	3+
		geringer technischer Aufwand	3	-	3-	-	3-	0	0+	0	0+	0	0+	+	3+	+	3+	++	6+
		geringe Kosten	3	--	6-	--	6-	-	3-	-	3-	-	3-	--	6-	0	0+	++	6+
Nutzwert (Gesamtbewertung Summe)				X	20+	X	11-	X	27-	X	19-	X	1+	X	2+	X	20+	X	49+
Rangfolge des Nutzens der Maßnahme (MS)				1		4		6		5		3		2		X		X	
Rangfolge des Nutzens der Maßnahme (TS)				2		6		8		7		5		4		2		1	
Die Bewertung (P = Punkte) stellt die Zielerreichung der zu bewertenden Maßnahme in Bezug auf das Bewertungskriterium dar. Teilnutzen (TN) ergibt sich aus der Multiplikation der Gewichtung mit den Punkten (++ sehr positiv, + positiv, 0 neutral, - negativ, -- sehr negativ)																			

138 Ganzheitliche Bewertung von Maßnahmen und Auswirkungen der Fremdwasserreduzierung

138 Ganzheitliche Bewertung von Maßnahmen und Auswirkungen der Fremdwasserreduzierung

Tabelle 28: Bewertung von Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung (Szenario 3)

Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung (siehe Kapitel 3.3) SZENARIO 3: Flachland mit Grundwasserleiter			Gewichtung	Maßnahmen															
				Beseitigung von Undichtig- keiten im Bereich öffentlicher Kanäle		Beseitigung von Undichtig- keiten im Bereich privater Leitungen		Abkoppeln von Dränagen						Abkoppeln von Gewässern		Abkoppeln von Regenwas- serfehleitungen im Trennsystem		Verschließen von Schacht- deckelöffnungen des SW- Kanals im Trennsystem	
								a) Fehlschluss vor Verbot in der Satzung und Genehmigungen vorliegend		b) Fehlschluss vor Verbot in der Satzung und keine Genehmi- gung vorliegend		c) Fehlschluss nach Verbot in der Satzung							
				P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN
Bewertungskriterien	Technik	hoher Wirkungsgrad	3	++	6+	++	6+	-	3-	-	3-	-	3-	+	3+	+	3+	-	3-
		geringes Erfordernis separater Ableitungssysteme	3	++	6+	++	6+	--	6-	-	3-	0	0+	--	6-	--	6-	++	6+
	Gesellschaft	hohe politische Durchsetzbarkeit	2	++	4+	-	2-	--	4-	--	4-	+	2+	+	2+	+	2+	+	2+
		geringer Betroffenheitsgrad der Bürger	2	++	4+	--	4-	-	2-	-	2-	-	2-	+	2+	-	2-	++	4+
		hohe Attraktivität der Maßnahme	1	+	1+	--	2-	--	2-	--	2-	-	1-	++	2+	0	0+	+	1+
	Planung	hohe rechtliche Durchsetzbarkeit	3	++	6+	++	6+	-	3-	0	0+	+	3+	++	6+	++	6+	++	6+
		geringe Genehmigungsschwierigkeiten	2	++	4+	++	4+	--	4-	-	2-	+	2+	-	2-	++	4+	++	4+
		Dauer der Umsetzung	3	-	3-	--	6-	-	3-	-	3-	0	0+	-	3-	+	3+	0	0+
		geringe Komplexität der Planung	1	+	1+	-	1-	0	0+	0	0+	0	0+	--	2-	+	1+	++	2+
	Ökologie	Auswirkungen auf Grund- und Oberflächengewässer	3	-	3-	0	0+	0	0+	0	0+	0	0+	-	3-	++	6+	++	6+
	Ökonomie	geringer Aufwand zur Ortung	3	+	3+	-	3-	-	3-	-	3-	-	3-	0	0+	+	3+	+	3+
		geringer technischer Aufwand	3	-	3-	-	3-	0	0+	0	0+	0	0+	+	3+	+	3+	++	6+
		geringe Kosten	3	--	6-	--	6-	0	0+	0	0+	0	0+	-	3-	0	0+	++	6+
Nutzwert (Gesamtbewertung Summe)			X	20+	X	5-	X	30-	X	22-	X	2-	X	1-	X	23+	X	43+	
Rangfolge des Nutzens der Maßnahme (MS)			1		4		6		5		3		2		X		X		
Rangfolge des Nutzens der Maßnahme (TS)			3		6		8		7		5		4		2		1		
Die Bewertung (P = Punkte) stellt die Zielerreichung der zu bewertenden Maßnahme in Bezug auf das Bewertungskriterium dar. Teilnutzen (TN) ergibt sich aus der Multiplikation der Gewichtung mit den Punkten (++ sehr positiv, + positiv, 0 neutral, - negativ, -- sehr negativ)																			

Tabelle 29: Bewertung von Maßnahmen zum Schutz vor ansteigendem Grundwasser

Maßnahmen zum Schutz vor ansteigendem Grundwasser (siehe Kapitel 3.5)			Gewichtung	Grundwasserabsenkende Maßnahmen										Bautechnik			
				offene Wasserhaltung (Entwässerungsgräben)		horizontale Sickerleitungen		Dränagesysteme		Horizontalfilterbrunnen		vertikale Tiefbrunnen		Bau einer nachträgli- chen schwarzen, weißen oder braunen Wanne		Aufgabe eines Kellers und Verfüllen mit Däm- mer	
			P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	
Bewertungskriterien	Technik	hoher Wirkungsgrad	3	-	3-	+	3+	0	0+	++	6+	++	6+	++	6+	++	6+
		geringes Erfordernis separater Ableitungssysteme	3	+	3+	+	3+	+	3+	-	3-	-	3-	++	6+	++	6+
		hohe Nutzungs- bzw. Betriebsdauer	3	+	3+	-	3-	-	3-	0	0+	0	0+	++	6+	++	6+
		hohe Betriebssicherheit	2	+	2+	+	2+	+	2+	0	0+	0	0+	+	2+	0	0+
	Gesellschaft	hohe politische Durchsetzbarkeit	2	++	4+	+	2+	+	2+	-	2-	-	2-	--	4-	--	4-
		geringer Betroffenheitsgrad der Bürger	2	+	2+	+	2+	+	2+	0	0+	++	4+	--	4-	--	4-
		hohe Attraktivität der Maßnahme	1	++	2+	+	1+	+	1+	+	1+	+	1+	--	2-	--	2-
	Planung	hohe rechtliche Durchsetzbarkeit	3	+	3+	0	0+	0	0+	-	3-	--	6-	-	3-	--	6-
		geringe Genehmigungsschwierigkeiten	2	--	4-	-	2-	-	2-	-	2-	-	2-	+	2+	+	2+
		Dauer der Umsetzung	3	+	3+	0	0+	0	0+	--	6-	-	3-	--	6-	-	3-
	Ökonomie	geringer technischer Aufwand	3	+	3+	0	0+	0	0+	--	6-	--	6-	--	6-	--	6-
		geringe Kosten	3	+	3+	0	0+	0	0+	--	6-	--	6-	--	6-	-	3-
	Nutzwert (Gesamtbewertung Summe)				24+		8+		5+		29-		24-		7-		2-
Rangfolge des Nutzens der Maßnahme				1		2		3		7		6		5		4	
Die Bewertung (P = Punkte) stellt die Zielerreichung der zu bewertenden Maßnahme in Bezug auf das Bewertungskriterium dar. Teilnutzen (TN) ergibt sich aus der Multiplikation der Gewichtung mit den Punkten (++ sehr positiv, + positiv, 0 neutral, - negativ, -- sehr negativ)																	

Tabelle 30: Bewertung von Maßnahmen zur Ableitung von Grund- und Niederschlagswasser

Schaffung von Ableitungssystemen für Grund- und Niederschlagswasser (siehe Kapitel 3.5)			Gewichtung	Maßnahmen									
				offene Ableitungssysteme (Gräben)		Bau eines separaten Grundwasserkanals		Einleitung in einen Regenwasserkanal (nur im Trennsystem)		Nutzung des Mischwasserka- nals als Dränage- und Re- genwasserkanal sowie Bau eines separaten Schmutzwas- serkanals (nur im Mischsys- tem)		dezentrale Grundwassernut- zung (in Verbindung mit einer erforderlichen Grundwasser- speicherung)	
				P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN
Bewertungskriterien	Technik	hohe Nutzungs- bzw. Betriebsdauer	3	0	0+	-	3-	+	3+	0	0+	-	3-
		hohe Betriebssicherheit	2	+	2+	+	2+	++	4+	+	2+	-	2-
	Gesellschaft	hohe politische Durchsetzbarkeit	2	+	2+	-	2-	++	4+	-	2-	--	4-
		geringer Betroffenheitsgrad der Bürger	2	0	0+	0	0+	0	0+	-	2-	-	2-
		hohe Attraktivität der Maßnahme	1	++	2+	0	0+	+	1+	-	1-	--	2-
	Planung	hohe rechtliche Durchsetzbarkeit	3	+	3+	+	3+	+	3+	0	0+	-	3-
		geringe Genehmigungsschwierigkeiten	2	--	4-	-	2-	+	2+	-	2-	-	2-
		Dauer der Umsetzung	3	0	0+	-	3-	+	3+	-	3-	-	3-
		geringe Komplexität der Planung	1	+	1+	-	1-	+	1+	-	1-	--	2-
	Ökologie	Auswirkungen auf Grund- und Oberflächengewässer	3	++	6+	-	3-	+	3+	-	3-	+	3+
Ökonomie	geringer technischer Aufwand	3	0	0+	-	3-	+	3+	0	0+	-	3-	
	geringe Kosten	3	0	0+	-	3-	+	3+	-	3-	-	3-	
Nutzwert (Gesamtbewertung Summe)				12+		15-		30+		15-		26-	
Rangfolge des Nutzens der Maßnahme (MS)				1		2				2		4	
Rangfolge des Nutzens der Maßnahme (TS)				2		3	1				4		
Die Bewertung (P = Punkte) stellt die Zielerreichung der zu bewertenden Maßnahme in Bezug auf das Bewertungskriterium dar. Teilnutzen (TN) ergibt sich aus der Multiplikation der Gewichtung mit den Punkten (++ sehr positiv, + positiv, 0 neutral, - negativ, -- sehr negativ)													

Die Grundlage für die vorgenommene Bewertung bilden die Aspekte der einzelnen Maßnahmen, die bereits in Kapitel 3 genannt sind, so dass an dieser Stelle auf eine Erläuterung der Bewertung im Einzelnen verzichtet wird.

Die Festlegung der Gewichte und auch der unternommene Versuch einer Bewertung unterliegen der Einschätzung des Bewertenden. Um das Ausmaß einer sich daraus ergebenden Abweichung abschätzen zu können, wird eine Stabilitätsanalyse durchgeführt, bei der alle Gewichte zu „eins“ gesetzt werden. Die entsprechenden Bewertungsmatrizen sind in Anhang 3 (Tabelle 38 bis Tabelle 42) aufgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich im Vergleich zur ursprünglich durchgeführten Bewertung keine signifikanten Veränderungen ergeben. Das Ergebnis bleibt weitgehend stabil, so dass eine Fehleinschätzung durch die nach eigener Einschätzung festgelegte Gewichtung auszuschließen ist. Gleiches gilt auch, wenn alle Bewertungskriterien infolge der unterschiedlichen Anzahl an Feinkriterien gleich bewertet werden. Das Ergebnis der Nutzwertanalyse verändert sich nicht.

5.4 Ergebnisse

Die durchgeführte vergleichende Bewertung ergibt eine Rangfolge der Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung, die sinnvoll mit Maßnahmen zur Ableitung von Grund- und Niederschlagswasser zu kombinieren sind. Je nach Ausmaß eines Grundwasseranstiegs und Erfordernis können dezentrale oder auch zentrale grundwasserabsenkende Maßnahmen eingerichtet werden, um das Ausmaß von Folgeschäden gering zu halten.

Im Trennsystem steht an erster Stelle ein teilweiser Verschluss von Schachtdeckelöffnungen des Schmutzwasserkanals zur Verringerung von eindringendem Niederschlagswasser. Werden Schachtöffnungen komplett verschlossen, sind gesonderte Belüftungseinrichtungen vorzusehen, die den Aufwand erhöhen.

Ein Abkoppeln von Regenwasserfehleinleitungen in den Schmutzwasserkanal folgt an zweiter Stelle für ein Trennsystem. Diese Maßnahme erfordert ebenfalls ein gesondertes Ableitungssystem für das Niederschlagswasser. Gewöhnlich werden hierfür Regenwasserkanäle oder offene Grabensysteme genutzt. Diese können im Trennsystem auch zusätzlich zur Ableitung von Grund- und Dränagewasser herangezogen werden. Eine ähnliche Situation ergibt sich, wenn Gewässer vom Kanalnetz abgekoppelt werden. Für diese Gewässer ist ein neues Bachbett zur Wasserableitung entsprechend den genehmigungsrechtlichen Erfordernissen zu schaffen. Um bei gut durchlässigen Böden (Szenario 3) bei entsprechender Gefährdung einen

Grundwasseranstieg zu vermeiden, sind die Gewässersohlen abzudichten oder ausreichend tief zu verlegen.

Die Beseitigung von Undichtigkeiten im Bereich der öffentlichen Kanäle im Misch- und Trennsystem folgt als nächster Schritt. Mit der eigentlichen Maßnahme zur Fremdwasserreduzierung wird kein zusätzliches System zur Grundwasserableitung erforderlich. Im Mittelgebirge ist aufgrund der Geländeneigung gewöhnlich nicht mit einem Grundwasseranstieg zu rechnen. Allerdings können im Flachland (Szenarien 2 und 3) unter bestimmten Randbedingungen grundwasserabsenkende Maßnahmen erforderlich werden, so dass hier Ableitungssysteme für das geförderte Grundwasser zu schaffen sind.

Eine gute rechtliche Handhabe zur Abkoppelung von Dränagen besteht, wenn sie nach einem entsprechenden Verbot in der Entwässerungssatzung an die Kanalisation fehlangeschlossen wurden. Die Kommune ist rechtlich nicht verpflichtet, ein System zur Ableitung von Dränagewasser zu schaffen oder vorzuhalten, aus politischen Gründen wird man jedoch je nach Möglichkeiten der Kommune ein entsprechendes System anbieten und mit Benutzungsbeiträgen belegen. Die Attraktivität einer solchen Lösung wird bei einer Kombination der Grundwasserableitung mit der Abkoppelung von nicht behandlungsbedürftigem Niederschlagswasser von bspw. Dachflächen steigen. Um lokale bzw. je nach Anzahl der Dränagen auch großräumige Vernässungsschäden zu vermeiden, ist insbesondere im Mittelgebirge und Flachland mit gering wasserdurchlässigen Böden (Szenarien 1 und 2) die Wirkung von Gebäude-dränagen aufrechtzuerhalten.

Die Beseitigung von Undichtigkeiten im Bereich privater Leitungen kann im Flachland (Szenarien 2 und 3) mit Maßnahmen zur Grundwasserabsenkung und auch entsprechender Ableitung verbunden sein, um Vernässungen zu vermeiden. Ausschlaggebend für die Entscheidung zur Anlage eines solchen Systems sind politische Gründe und eine hohe Anzahl an Betroffenen. Aus juristischer Sicht ist der Grundstückseigentümer für die Abdichtung seines Gebäudes gegen Grundwasser selbst verantwortlich.

Ein Abkoppeln von Dränagen gestaltet sich genehmigungsrechtlich schwierig, wenn der Anschluss erfolgte, bevor in der Entwässerungssatzung die Einleitung von Dränagewasser untersagt worden ist. Kompliziert wird die Situation durch ggf. vorliegende Gestattungen zur Einleitung von Dränagewasser in einen öffentlichen Abwasserkanal. Um Rechtsstreitigkeiten mit unsicherem Ausgang zu vermeiden, sollte die Kommune vorhandene Genehmigungen widerrufen und das Dränagewasser über ein zu schaffendes System ableiten. Die hierfür entstehenden Kosten sind wohl nicht gebührenfähig und damit aus dem allgemeinen Haushalt der Kommune zu bezahlen.

Liegt keine Genehmigung vor, kann im Einzelfall mit dem Grundstückseigentümer eine anteilige Kostenübernahme vereinbart werden.

In Tabelle 31 sind die Rangfolgen der Maßnahmen zum Schutz vor ansteigendem Grundwasser und zur Ableitung von Grund- und Niederschlagswasser zusammengestellt. In der Regel benötigen Maßnahmen zur Grundwasserabsenkung auch entsprechende Einrichtungen zur Ableitung des Grundwassers. Diese Verknüpfungen sind in der Tabelle durch Pfeile angedeutet. Eine Ausnahme bilden künstliche Entwässerungsgräben, die kein zusätzliches Ableitungssystem erfordern. Auch die beiden vorgeschlagenen bautechnischen Maßnahmen (Aufgabe eines Kellers und Verfüllen sowie Bau einer nachträglichen Wanne) bedingen kein gesondertes Ableitungssystem. Diese Maßnahmen sind jedoch nur dann sinnvoll anzuwenden, wenn einzelne Gebäude betroffen sind. Bei einer Mehrzahl an Betroffenen sind andere Maßnahmen sinnvoll.

Tabelle 31: Rangfolge der Maßnahmen zum Schutz gegen ansteigendes Grundwasser und zur Ableitung von Grund- und Niederschlagswasser

Rang	Maßnahmen zum Schutz gegen ansteigendes Grundwasser		Rang	Maßnahmen zur Ableitung von Grund- und Niederschlagswasser
1	offene Wasserhaltung		1	Einleitung in einen Regenwasserkanal (nur im Trennsystem)
2	horizontale Sickerleitungen	→	2	offene Ableitungssysteme (Gräben)
3	Dränagesysteme	→	ebenfalls 2	Bau eines separaten Grundwasserkanals
4	Aufgabe eines Kellers und Verfüllen		4	Nutzung des MW-Kanals als Dränge- und RW-Kanal und Bau eines separaten Schmutzwasserkanals (nur im Mischsystem)
5	Bau einer nachträglichen weißen, schwarzen oder braunen Wanne		5	dezentrale Grundwassernutzung
6	vertikale Tiefbrunnen	→		
7	Horizontalfilterbrunnen	→		

Anm.: Ein Pfeil weist auf zusätzliche erf. Ableitungsmaßnahmen hin.

Der Ingenieur, der mit der Planung fremdwasserreduzierender Maßnahmen beauftragt ist, ist allein verantwortlich für die Vollständigkeit aller erforderlichen Planungsschritte. So sind die Auswirkungen der Sanierungsmaßnahmen auf den Aquifer zu prüfen. Hierzu können Abschätzungen ausreichend sein. In vielen Fällen wird aber ein Grundwassermodell notwendig, in das die Topographie und auch tief liegende Keller eingearbeitet sind. Für den Fall eines Grundwasseranstieges mit schädlichen Auswirkungen sind großflächig oder auch als Objektschutz alternative grundwasserabsenkende Systeme sowie auch eine gesonderte Ableitung zum nächstgelegenen Gewässer zu planen. Die Wirtschaftlichkeit dieser neu zu schaffenden Ableitung wird

erhöht, wenn zusätzlich zum Grundwasser auch nicht behandlungsbedürftiges Niederschlagswasser von abkoppelbaren Flächen mit abgeleitet werden kann.

Im Zusammenhang mit der Nennung einer Rangfolge von Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung wird zwangsläufig auch die Notwendigkeit des Umfangs der Reduzierung des Fremdwassers thematisiert werden. Bundesdeutsche einheitliche Regelungen einer rechtlichen Grenze für das Maß einer zulässigen Verdünnung liegen nicht vor. Die Praxis zeigt jedoch, dass hohe Fremdwasserabflüsse ein Problem darstellen und zu signifikanten Einschränkungen beim Betrieb von Anlagen zur Regenwasserbehandlung und Kläranlagen führen können. Aus ökologischen und ökonomischen Gründen ist ein geringer Fremdwasseranteil in jedem Fall anzustreben. Aus den Erkenntnissen dieser Arbeit heraus wird empfohlen, eine Grenze für ein zulässiges Fremdwasseraufkommen unter Berücksichtigung der topographischen und hydrogeologischen Gegebenheiten sowie der Immissionssituation der Gewässer festzulegen. So zeigt sich insbesondere in Mittelgebirgslagen, dass trotz eines durchschnittlich hohen Fremdwasseraufkommens die Gewässer infolge der hohen Wiederbelüftungsrate durch Fremdwasser nur geringfügig nachteilig beeinflusst werden.

Dennoch wird aus den Erkenntnissen dieser Arbeit die Empfehlung ausgesprochen, allgemein einen Fremdwasserzuschlag von 100 % als mittelfristigen Richtwert festzulegen. Dies entspricht für Nordrhein-Westfalen einem ungefähren einwohnerspezifischer Trockenwetterzufluss von etwa 300 l/(EW·d). In anderen Bundesländern kann ein einwohnerspezifischer Wert dann aufgrund eines anderen Trinkwasserverbrauchs von dem in NRW abweichen. Die in der Abwasserverordnung festgelegten Anforderungen an die Konzentrationswerte dürften mit dem Richtwert für Fremdwasser dann eingehalten werden. Die Abwasserabgabe für Schmutzwasser würde reduziert und die Abwasserabgabe für Niederschlagswasser dürfte ganz entfallen. Ein Richtwert von 100% FWZ wird seit über 50 Jahren in der einschlägigen Literatur und Arbeitsblättern vorgegeben (siehe Kapitel 2.4.3), so dass ein Großteil aller Abwasseranlagen darauf bemessen ist. Dieser Wert gilt sowohl für den Abfluss in Kanalisationen als auch für den Zufluss von Kläranlagen. Besonders im Mischsystem würde eine alleinige Betrachtung der Kläranlage ein falsches Bild ergeben, da durch die Anlagen zur Regenwasserbehandlung besonders im Frühjahr auch bei Trockenwetter ein Teil des Fremdwasserabflusses in Gewässer entlastet wird.

Die Durchführung von fremdwasserreduzierenden Maßnahmen und der damit verbundene Erfolg sind eng an die zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel gebunden. Zum heutigen Zeitpunkt steht man nicht vor dem Problem, zu viel Fremdwasser zu reduzieren und damit zu hohe Kosten zu verursachen. Vielmehr bestehen grundsätzliche Schwierigkeiten, Fremdwasser zunächst zu orten und anschließend geeig-

nete Maßnahmen unter kostenminimierenden Aspekten anzuwenden. Um einen möglichst hohen und wirtschaftlichen Wirkungsgrad der Fremdwasserreduzierung zu erreichen, sollte man sich zunächst auf die in der Bewertung an erster Stelle stehenden Maßnahmen beschränken. Wenn dieses Ziel erreicht wurde, können bei Bedarf und noch nicht ausreichender Fremdwasserreduzierung langfristig weitere Maßnahmen geplant werden, die jedoch auch einen unverhältnismäßig hohen Finanzaufwand bedeuten können.

6 Zusammenfassung

Steigende Anforderungen an den Gewässerschutz und hohe finanzielle Belastungen der Kommunen haben in den vergangenen Jahren das Interesse an optimierenden und kostenreduzierenden Untersuchungen im Abwassersektor geweckt. Aus dem breiten Themenfeld ist besonders das Fremdwasser ins Rampenlicht politischer und technischer Diskussionen gerückt.

Fremdwasser bezeichnet das unerwünscht in Kanalisationen abfließende, nicht behandlungsbedürftige Abwasser. Es besteht überwiegend aus dem über Undichtigkeiten und Dränagen in öffentliche Kanäle bzw. private Leitungen gelangenden Grundwasser. Auch Niederschlagswasser wird in den Schmutzwasserkanälen eines Trennsystems als Fremdwasser bezeichnet, wenn es über Regenfallleitungen oder die Öffnungen von Schachtdeckeln in die Kanalisationen eindringt.

Eine Reduzierung von Fremdwasser durch geeignete technische Maßnahmen ist in den vergangenen Jahren Gegenstand zahlreicher Untersuchungen gewesen. Der im Vorfeld geplante Erfolg einer Fremdwasserreduzierung konnte allerdings aus vielfältigen Gründen oft nicht erreicht werden.

Im Rahmen dieser Arbeit werden zunächst die für den Themenbereich des Fremdwassers nationalen und internationalen Kenntnisse zusammengestellt und bewertet. Hieraus wird ersichtlich, dass ein hoher Bedarf besteht, Fremdwasser durch geeignete Maßnahmen zu reduzieren.

Fremdwasser ist kein regionales Problem, sondern tritt mit unterschiedlichem Gewicht in ganz Deutschland auf. Allerdings lassen sich in Deutschland Schwerpunkte mit einem besonders hohen Fremdwasseraufkommen und entsprechendem Handlungsbedarf in den Mittelgebirgsregionen feststellen. Auch andere Länder, wie bspw. die USA oder Großbritannien, sind in ähnlicher Weise betroffen. Fremdwasser lässt sich durch Auswerten der Abflussganglinien im Kanalnetz gezielt nachweisen. In Verbindung mit weiteren Untersuchungen sind so Rückschlüsse auf Regenwasserfehlanschlüsse, Undichtigkeiten oder fehlangeschlossene Dränagen möglich. Im Rahmen dieser Arbeit werden Möglichkeiten und Grenzen beschrieben, Fremdwasserquellen zu orten und das Fremdwasseraufkommen mit Hilfe verschiedener Methoden zu quantifizieren.

Die Auswirkungen von Fremdwasser auf Kanalisationen, Kläranlagen und Gewässer sind vielfältig. So führt Fremdwasser zu einer hydraulischen Mehrbelastung. Besonders in den Schmutzwasserkanälen des Trennsystems treten dadurch zeitweise Überlastungen auf. Auch Schmutzwasserpumpwerke sind mehr belastet und erfor-

dern einen größeren Energieaufwand. Im Mischsystem fallen hydraulische Aspekte aufgrund der Dimensionierung für den Regenwetterfall weniger ins Gewicht. Besonders die Anlagen zur Regenwasserbehandlung reagieren empfindlich auf Fremdwasser. Es bedingt einen längeren, in Wintermonaten teils auch dauerhaften Einstau, wodurch diese Anlagen häufiger und länger entlasten. Die Gewässerbelastung nimmt hierdurch zu. Auch auf Kläranlagen sind die Folgen von Fremdwasser bemerkbar. Durch eine Verdünnung und Temperaturniedrigung des Rohabwassers sinkt der Wirkungsgrad der biologischen Abwasserreinigung in der kalten Jahreszeit.

Ein Übermaß an Fremdwasser ist bei bestehenden Problemen dauerhaft nicht tolerierbar. In dieser Arbeit werden daher grundlegende Maßnahmen zur Vermeidung oder Reduzierung von Fremdwasser erarbeitet. Hierbei erfolgt keine isolierte Betrachtung der Maßnahmen, sondern insbesondere auch eine Integration möglicher Auswirkungen und erforderlicher Ableitungsmöglichkeiten. Neben technischen Details der Maßnahmen spielen vor allem die praktische Umsetzung und die sich dabei ergebenden rechtlichen Probleme eine bedeutende Rolle. Klassische Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung sind bspw. eine Kanalsanierung oder ein Abkoppeln von Fehllanschlüssen.

Um die Auswirkungen von Fremdwasser auf Kanalisationen und Kläranlagen unabhängig von einer Fremdwasserreduzierung reduzieren zu können, können in Einzelfällen allerdings auch End-of-pipe Maßnahmen, wie bspw. eine Kapazitätserweiterung von Abwasseranlagen oder Erhöhung der Drosselabflüsse sowie Zuflüsse zu Kläranlagen umgesetzt werden und auch wirtschaftlich sein. Langfristig gesehen handelt es sich hierbei jedoch nur um temporäre Maßnahmen, welche das eigentliche Ziel, nämlich die Verringerung einer unzulässigen Verdünnung, nicht erreichen können. Die Lösung der Frage nach der Wirtschaftlichkeit solcher Maßnahmen ist nur im Einzelfall und anhand gesonderter Untersuchungen zu klären. Eine pauschale Beantwortung ist nicht möglich.

Es sind jedoch nicht nur allein die Aspekte des Gewässerschutzes bedeutend. Mit einer Verbesserung der Situation durch eine Reduzierung von Fremdwasser sind auch an anderer Stelle ebenfalls Probleme zu erwarten. So wurden bisherige Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung oft nur einseitig betrachtet, der geplanter Erfolg konnte nicht erreicht werden. Auch wurde mehrfach beobachtet, dass der Grundwasserspiegel im Anschluss an eine Kanalsanierung anstieg und das Grundwasser erneut über höher gelegene undichte Abwasserleitungen zum Abfluss gelangte bzw. zu Vernässungen oder der Mobilisierung von Altlasten führte.

Ein Großteil des Fremdwassers entstammt dem Grundwasser, welches über Undichtigkeiten in Kanäle infiltriert. Dieser Zustand ist kein neuzeitliches Problem, son-

dern existiert bereits seit der Verlegung der ersten Kanalisationen. Der Grundwasserspiegel wird in der Regel hierdurch ungewollt abgesenkt. Verstärkt wird dieser Effekt durch die in den letzten Jahrzehnten angestiegene Flächenversiegelung, durch die auch die Grundwasserneubildungsrate reduziert wurde. Werden nun undichte Abwasserkanäle bzw. -leitungen saniert und Dränagewasser abgekoppelt, steigt gewöhnlich der Grundwasserstand an. Verstärkt wird dies wiederum durch das Bemühen, die Flächenversiegelung zu reduzieren und Niederschlagswasser dezentral zu versickern.

Den unerwünschten Folgen eines ansteigenden Grundwasserspiegels kann entgegen gewirkt werden, indem eine nachträgliche Abdichtung von betroffenen Gebäuden gegen Grundwasser oder die Installation grundwasserabsenkender Systeme vorgenommen wird. Insbesondere die genehmigungsrechtliche Umsetzung bzw. Akzeptanz dieser Maßnahmen auf Privatgrund bereiten in der Praxis erhebliche Schwierigkeiten.

Eine einseitige Betrachtung der Thematik oder eine Vernachlässigung der Auswirkungen von Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung kann hohe Folgekosten nach sich ziehen. Um eine abschließende ganzheitliche Betrachtung durchführen zu können, ist zunächst jedoch eine Einschätzung erforderlich, wieviel Fremdwasser durch entsprechende Maßnahmen reduziert werden kann. Insbesondere eine Quantifizierung des über Undichtigkeiten in Abwasserkanäle und -leitungen infiltrierenden Grundwassers ist bisher noch nicht vorgenommen worden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden daher Untersuchungen zur Quantifizierung des durch undichte Kanäle und Leitungen eindringenden Grundwassers vorgenommen. Hierzu wurden in zwei Versuchsanlagen an einem rolligen und einem schwachbindigen Boden bei unterschiedlichen Grundwasserständen, Schadensbildern und Belastungen die Grundwasserinfiltrationsraten gemessen. Durch Auswertung der Messergebnisse gelingt die Aufstellung einer funktionalen Abhängigkeit der Grundwasserinfiltration für Punkt-, Riss- und Muffenschäden in Abhängigkeit von der Wasserdurchlässigkeit des Bodens, der Schadensfläche und der hydrostatischen Druckhöhe.

Auf Basis dieses Ansatzes ist eine bessere Kalibrierung von Grundwassermodellen auf der Basis optischer Kanalzustandserfassungen und der Kenntnis von Boden- bzw. Grundwasserverhältnissen möglich. Auch kann eine Abschätzung des infiltrationswirksamen Schadenspotenzials von Abwasserkanälen vorgenommen werden. Weiterhin trägt das Ergebnis dazu bei, die durch eine Sanierung von undichten Kanälen und Leitungen erreichbare Fremdwasserreduzierung zu prognostizieren.

Mit den vorliegenden Erkenntnissen zur Quantifizierung der Grundwasserinfiltration über Undichtigkeiten kann nun eine ganzheitliche Betrachtung der Thematik durch eine Bewertung von Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung und deren Auswirkungen auf die Siedlungsentwässerung durchgeführt werden. Ziel der Bewertung ist eine an die jeweilige Entwässerungssituation angepasste Priorisierung und Kombination von Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung.

Die ganzheitliche Bewertung wird in Form einer Nutzwertanalyse für verschiedene Szenarien (Misch- und Trennsystem im Flachland und in Mittelgebirgsregionen) vorgenommen. Hierbei werden die vielfältigen Erkenntnisse über die Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung und Grundwasserableitung sowie zum Schutz vor ansteigendem Grundwasser eingearbeitet. Die Bewertung erfolgt anhand von technischen, planerischen, ökologischen und ökonomischen, genehmigungsrechtlichen und sozial-politischen Kriterien. Der Einfluss verschiedener Gewichtungen der Bewertungskriterien wird mit Hilfe einer Stabilitätsanalyse untersucht. Als Ergebnis können Rangfolgen und Maßnahmenkombinationen für die verschiedenen Szenarien ermittelt werden. Besonderes Augenmerk liegt auf einer praktischen Umsetzbarkeit der Maßnahmenpakete.

Als Ergebnis bleibt festzuhalten, dass eine ganzheitliche Betrachtung der Fremdwasserproblematik unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt nunmehr vorliegt. Mit dieser Entscheidungshilfe können längerfristig wirksame Konzepte zum Umgang bzw. zur Reduzierung von Fremdwasser aufgestellt und eine Priorisierung von Maßnahmen vorgenommen werden. Folgeschäden und Folgekosten können hierdurch vermieden werden.

Forschungsbedarf besteht noch in der gezielten Ermittlung der Auswirkungen von fremdwasserbedingten Abwassereinleitungen in Gewässer. Die Kenntnis der immissionsbezogenen Auswirkungen von Fremdwasser kann eine fundierte Festlegung des Grenzwertes einer zulässigen Verdünnung ermöglichen.

Literatur

Abwasserabgabengesetz (AbwAG): Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Januar 2005 (BGBl. I Nr. 5 vom 25.01.2005)

Abwasserberatung NRW (2002): Handlungsempfehlung zum Umgang mit Fremdwasser, Stufe I: Recherche, Schlussbericht im Auftrag des MUNLV NRW, Düsseldorf

Abwasserberatung NRW (2004): Handlungsempfehlung zum Umgang mit Fremdwasser, Stufe II: Fachliche und programmtechnische Umsetzung, Bereich Recht: Die Fremdwasserproblematik aus Sicht der Stadt / Gemeinde als Betreiber der öffentlichen Abwassereinrichtung, Düsseldorf

Abwasserhilfen (2004): Arbeitshilfen Abwasser, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen sowie Bundesministerium der Verteidigung, www.arbeitshilfen-abwasser.de (01.05.2004)

Abwasserverordnung (AbwV): Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Juni 2004 (BGBl. I Nr. 28 vom 22.06.2004), zuletzt geändert am 14. Oktober 2004 durch Berichtigung der Bekanntmachung zur Neufassung der Abwasserverordnung (BGBl. I Nr. 55 vom 27.10.2004)

AINGER, C. M., ARMSTRONG, R. J., BUTLER, D. (1998): Characterisation of dry weather flow in sewers, CIRIA Report 177, ISBN 0-86017-493-X

ANDOH, R. (2002): Urban Drainage and Wastewater Treatment for the 21st Century, 9th International conference on urban drainage, 08.-13.09.2002, Portland, Oregon, USA

ANDRESEN, K. (1996): Untersuchung der Umstellungsgebiete, Fachliche Berichte 1/96, Hamburger Stadtentwässerung

ATKINS CHINA LIMITED (2001): Pilot Study for Inflow and Infiltration Reduction Strategy, www.atkins.com.hk (in GDSDS, 2005)

ATV (1993): Arbeitsbericht „Weitergehende Anforderungen an Mischwasserentlastungen“, ATV-Arbeitsgruppe 2.1.1 „Grundlagen und Vorprüfung“, Korrespondenz Abwasser (40), Nr. 5

ATV (1994a): ATV-Handbuch „Planung der Kanalisation“, Ernst & Sohn Verlag, 4. Auflage

ATV (1994b): Arbeitsbericht „Umgang mit Regenwasser - derzeitiger Stand der Regenwasserbehandlung im Trennsystem“, ATV-Arbeitsgruppe 1.4.3, Korrespondenz Abwasser (41), Nr. 2

ATV (1995): ATV-Handbuch „Betriebstechnik, Kosten- und Rechtsgrundlagen der Abwasserreinigung“, ISBN 3-433-00910-4

ATV (1996): Arbeitsbericht „Handlungsempfehlungen für Regenwasser“, ATV-Arbeitsgruppe 1.4.3, Korrespondenz Abwasser (43), Nr. 8

ATV (1998): Arbeitsbericht „Ergebnisse einer ATV-Umfrage zum Thema Regenrückhaltebecken“, ATV-Arbeitsgruppe 1.2.9, Korrespondenz Abwasser (45), Nr. 8

ATV-A 105 (1997): Wahl des Entwässerungssystems, GFA Verlag, Hennef

ATV-A 118 (1999): Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen, GFA Verlag, Hennef

ATV-A 128 (1992): Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen, GFA Verlag, Hennef

ATV-DVWK (2000): Arbeitsbericht „Abkoppelung in der Stadtentwässerung“, ATV-DVWK Arbeitsgruppe ES-2.6, KA - Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall (47), Nr. 11

- ATV-DVWK (2002a): 5. Novelle der Abwasserverordnung und ihre Konsequenzen, KA-Abwasser, Abfall (49), Nr. 8
- ATV-DVWK (2002b): Arbeitsgruppe „Nachhaltige Siedlungswasserwirtschaft“, Pressemitteilung 10/02 vom 14.3.2002 (in: NISIPEANU, 2003)
- ATV-DVWK (2002c): Arbeitsbericht „Auswirkungen von Abkoppelungsmaßnahmen auf die Kanalnetzhydraulik“, ATV-DVWK Arbeitsgruppe ES-2.6, KA - Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall (49), Nr. 4
- ATV-DVWK (2003a): Arbeitsbericht „Fremdwassersituation in Deutschland“, ATV-DVWK Arbeitsgruppe ES-1.3 „Fremdwasser“, KA-Abwasser, Abfall (50), Nr. 1
- ATV-DVWK (2003b): 16. ATV-DVWK Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen 2003, GFA Verlag, Hennef
- ATV-DVWK (2003c): Arbeitsbericht „Detektion von Lagerungsdefekten und Hohlräumen in der Umgebung erdverlegter Abwasserkanäle“, ATV-DVWK Arbeitsgruppe ES-5.8, KA-Abwasser, Abfall (50), Nr. 5
- ATV-DVWK (2003d): Arbeitsbericht „Hinweise zu Wirksamkeit und Kosten gewässerbezogener Maßnahmen zur Regenwasserbehandlung in der Siedlungsentwässerung“, ATV-DVWK Arbeitsgruppe GB-5.3, GFA Verlag, Hennef
- ATV-DVWK (2004): Arbeitsbericht „Auswirkungen von Fremdwasser und Hinweise zum Erkennen kritischer Fremdwasserhältnisse“, ATV-DVWK Arbeitsgruppe ES-1.3 „Fremdwasser“, GFA Verlag, Hennef
- ATV-DVWK-A 138 (2002): Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, GFA Verlag, Hennef
- ATV-DVWK-A 198 (2003): Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen, GFA Verlag, Hennef
- ATV-DVWK-M 177 (2001): Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen - Erläuterungen und Beispiele, GFA Verlag, Hennef
- ATV-M 101 (1996): Planung von Entwässerungsanlagen: Neubau-, Sanierungs- und Erneuerungsmaßnahmen, GFA Verlag, Hennef
- ATV-M 149 (1999): Zustandserfassung, -klassifizierung und -bewertung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, GFA Verlag, Hennef
- BALLWEG, H. (2005): Herausforderung Grundstücksbearbeitung, 5. Göttinger Abwassertage 23.-24.2.2005, Göttingen
- BANTZ, I. (2003): Veränderungen des Klimas, der Wirtschaftsstruktur und der Wassernutzung und ihre Auswirkungen auf die Entwicklung der Grundwasserstände am Beispiel Düsseldorf, 21. Bochumer Workshop Siedlungswasserwirtschaft „Siedlungswasserwirtschaft im gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und ökologischen Wandel“ am 30.09.2003, Bochum
- BARTH, S., GRIEM, N. (1998): Fremdwasserzutritt zur Mischwasserkanalisation durch Drainageleitungen, Korrespondenz Abwasser (45), Nr.1
- BAUMBACH, A., SÄGEBRECHT, D., HEINE, A. (2001): Kostenkennziffern für Abwasserpumpwerke, KA - Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall (48), Nr. 11
- BBR (2002): Grabenlose Sanierung von Hausanschluss- und Grundleitungen, Teil 2: Basisdaten, Recht und Technik, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Berlin
- BECKER, H.-P. (2004a): Problematik grundwasserbedingter Gebäudeschäden am Beispiel des Bereiches Gelderblomstraße in Duisburg-Meiderich, Workshop „Grundwasserbewirtschaftung im Emschergebiet“ am 7. Juli 2004 in Bochum, Emscher-genossenschaft, Essen

- BECKER, M. (2000): Aspekte einer nachhaltigen Regenwasserbewirtschaftung, ATV-Fortbildungskurs K/1 für Wassergütwirtschaft und Abwassertechnik, Kassel
- BECKER, M., GERETSHAUSER, G. (2003): Die Versiegelung der Städte - Konsequenzen für die Niederschlagswasserableitung und -behandlung, Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft Bochum, Band 46
- BECKER, M., GETTA, M. (2004b): Grundwasserbewirtschaftung - Aufgabenwahrnehmung durch die Emscher-genossenschaft, Workshop „Grundwasserbewirtschaftung im Emscher-gebiet“ am 7. Juli 2004 in Bochum, Emscher-genossenschaft, Essen
- BECKER, M., MANG, J., RAASCH, U. (2003): Regenwasserbewirtschaftung im Ballungsraum - Veranlassung, Ziele und Maßnahmen am Beispiel der Emscherregion, TAH-Seminar „Regen- und Mischwasserbehandlung - Aktueller Stand der Regelwerke“, 30.09.-1.10.2003, Hannover
- BECKER, M., RAASCH, U., SPENGLER, B. (1999): Kosteneinsparung durch Abkoppelung des Niederschlagswasser vom Mischwasserkanal, Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft Bochum, Band 36, ISSN 0178-0980
- BELHADJ, N., JOANNIS, C., RAIMBAULT, G. (1995): Rainfall induced infiltration into sewer systems, Water Science and Technology (32), Nr. 1
- BERGER, C., LOHAUS, J. (2004): Zustand der Kanalisation in Deutschland, Ergebnisse der DWA Umfrage 2004, DWA Hennef
- BERGER, C., LOHAUS, J., WITTNER, A., SCHÄFER, R. (2002): Zustand der Kanalisation in Deutschland, Ergebnisse der ATV-DVWK Umfrage 2001, KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall (49), Nr. 3
- BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L. (Projektkoordinator) et al. (2005): Assessing infiltration and exfiltration on the performance of urban sewer systems, 8th Management Report, Section 6 (Final Report), unveröffentlicht
- BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L., CARDOSO, M. A., ELLIS, B., FREHMANN, T., GUILIANELLI, M., GUJER, W., KREBS, P., PLISKA, Z., POLLERT, J., PRYL, K. (2005): Towards a better knowledge and measurement of infiltration and exfiltration in sewer systems: the APUSS project, 10th International conference on urban drainage, 21.-26.8.2005, Kopenhagen, Dänemark
- BEYERT, J. (2003): Zustandsprüfung von Grundstücksentwässerungsanlagen, KA - Abwasser, Abfall (50), Nr. 10
- BGR (2004): Empfehlungen für die Charakterisierung und Parametrisierung des Transportpfades Boden-Grundwasser als Grundlage für die Sickerwasserprognose, Bund-Länder-Ausschuss Bodenforschung, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, www.infogeo.de
- BIESKE, E. (1992): Bohrbrunnen, Oldenbourg Verlag, München
- BIESKE, E. (1999): Vorstudie zur Realisierung grundwasserstandsregulierender Maßnahmen im Boye-Gebiet, Teil B: Technische Konzipierung der Fassungsmöglichkeiten, Studie im Auftrag der Emscher-genossenschaft Essen, Bieske und Partner GmbH, Lohmar
- BILEK, A. (1996): Präventive Maßnahmen gegen Fremdwasser im Rahmen der Planung und Ausführung, Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft der TU Graz, Band 18: „Fremdwasser in Abwasseranlagen“
- BIRKNER, T., BOSSELER, B. (2002): Fremdwasserermittlung unter Berücksichtigung privater Entwässerungsnetze, GWA (82), Nr. 12
- BMF (1995): Arbeitsanleitung Einführung in Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen, Bundesministerium der Finanzen, Rundschreiben vom 21.8.1995, II A 3 H 1005 23/95

- BÖHNKE, B. (1968): Skriptum zur Abwasserableitung, Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft, TH Aachen
- BOLLRICH, G. (2000): Technische Hydromechanik, Band 1 „Grundlagen“, 5. Auflage, Verlag Bauwesen, Berlin
- BORCHARDT, D. (1993): Gewässerbelastung durch Regenwassereinleitungen - Weitergehende Anforderungen, Berichte der Abwassertechnischen Vereinigung e. V., Nr. 43, GFA Verlag, Hennef
- BORCHARDT, D. (2000): Bewertung von Regen- und Mischwassereinleitungen in Gewässer, ATV-Fortbildungskurs K/1 „Entwässerungskonzepte“, Kassel
- BOSSELER, B., BIRKNER, T., SOKOLL, O. BRÜGGEMANN, T. (2003A): Umsetzung der Selbstüberwachungsverordnung Kanal (SüwV Kan) bei den kommunalen Netzbetreibern und Wasserverbänden in NRW, IKT Gelsenkirchen
- BOSSELER, B., PUHL, R., BIRKNER, T. (2003b): Koordination von Planungs- und Baumaßnahmen zur Fremdwasserverminderung im öffentlichen und privaten Bereich, Vorabzug des Endberichtes im Auftrag der Stadt Rheine, IKT Gelsenkirchen
- BRAMESHUBER, W., SPÖREL, F. (2002): Ertüchtigungskatalog für die Stadt Korschenbroich, Gutachten im Auftrag der Unteren Wasserbehörde Stadt Grevenbroich, Institut für Bauforschung der RWTH Aachen
- BRANDT, T., DRECHSEL, U. (1996): Abwasserverband Perfgebiet - Bad Laasphe: Fremdwasserzuläufe in Abwasserbehandlungsanlagen, Vortrag am 05.11.1996, Ingenieurbüro Brandt, Gerdes und Sitzmann, Darmstadt
- BROMBACH, H. (2000): Leistungsreserven und Engpässe im System Abwasserkanal, Regenwasserbehandlung und Kläranlage, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 161, Stuttgart
- BROMBACH, H. (2002): Urban Storm Water Practice in Germany, 9th International conference on urban drainage, 08.-13.09.2002, Portland, Oregon, USA
- BROMBACH, H. (2004): Auswirkungen von Fremdwasser und Hinweise zum Erkennen kritischer Fremdwasserhältnisse, Band 47 „Niederschlagswasserbehandlung“, Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft Bochum, ISSN 0178-0980
- BROMBACH, H., WEISS, G., LUCAS, S. (2002): Temporal Variation of Infiltration Inflow in Combined Sewer Systems, 9th International conference on urban drainage, 08.-13.09.2002, Portland, Oregon, USA
- BRÜCHER, T., KRÜGER, A., ULBRICH, U. (2001): Entwicklung von Extremsituationen bzgl. Niederschlag im Bereich NRW, Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, Heft 27
- BRUNNER, P. G. (1998): Bodenfilter zur Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Handbuch Wasser 4, Heft 10
- BURIAN, S. J., EDWARDS, F. G. (2002): Historical Perspectives of Urban Drainage, 9th International conference on urban drainage, 08.-13.09.2002, Portland, Oregon, USA
- BUS (1984): Fremdwasser: Methoden zur Bestimmung der Fremdwassermenge in Kanalisationen und Kläranlagen (Expertenstudie), Bundesamt für Umweltschutz der Schweiz, Bern
- BVB (1999): Regenwasserversickerung und Bodenschutz, Band 2, Bundesverband Boden, ESV Verlag, Berlin
- BWK Merkblatt M3 (2001): Ableitung von Anforderungen an Niederschlagswassereinleitungen unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse, Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e. V., Düsseldorf

BWK Statusbericht (2003): Nutzungskonflikte bei hohen Grundwasserständen - Lösungsansätze, Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e. V., Pfuldingen

CANTRELL, C. (2004): Chasing inflow and infiltration - Is it worth it? WaPUG Spring Conference, 11.5.2004, Coventry, www.wapug.org.uk

CARDOSO, A., PRIOGIOBBE, V., GIULIANELLI, M., BAER, E., DE BÉNÉDITTIS, J., COELHO, S. T. (2005): Assessing the impact of infiltration and exfiltration in sewer systems using performance indicators: case studies of the APUSS project, 10th International conference on urban drainage, 21.-26.8.2005, Copenhagen, Dänemark

CLARA, M., STRENN, B., KREUZINGER, N. (2004): Carbamazepine as a possible anthropogenic marker in the aquatic environment: investigations in the behaviour of Carbamazepine in wastewater treatment and during groundwater infiltration, Water Research Nr. 38

COLDEWEY, W. G., GEIGER, W. F. (2001): Pilotstudie zum Einfluss der Versickerung auf den Wasserhaushalt eines Stadtteils, Phase II, Schlussbericht im Auftrag des MUNLV, Düsseldorf

COSACK, T. (2004): Rechtliche Rahmenbedingungen und Möglichkeiten zur Lösung und Finanzierung von Fremdwasserproblemen, DWA Seminar 1018/04 „Fremdwasser im Kanal“, 18.11.2004, Fürth

CREMER, S. (1999): Ableitung von Dränagewasser: technische und rechtliche Aspekte, Tagung „Entwicklungen in der Kanalisationstechnik“, 2.-3.9.1999, Köln

CREMER, S. (2000): Ermittlung von Fremdwassermenge und -herkunft, UTA Umwelt Technologie Aktuell, Ausgabe 06/2000

DAMIECKI, R. (1982): Leistung und Prozessstabilität kommunaler Kläranlagen, GWA-Band 61, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen

DE BÉNÉDITTIS J., BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L. (2004a): Infiltration in sewer systems: comparison of measurement methods, 4th International conference on „Sewer Processes and Networks“ proceedings, 22.-24.11.2004, Madeira, Portugal

DE BÉNÉDITTIS J., BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L. (2004b): Measurement of infiltration rates in urban sewer systems by use of oxygen isotopes, 4th International conference on „Sewer Processes and Networks“ proceedings, 22.-24.11.2004, Madeira, Portugal

DE BÉNÉDITTIS, J. (2004): Mesurage de l'infiltration et de l'exfiltration dans les réseaux d'assainissement, Dissertation, INSA de Lyon, Villeurbanne, Frankreich

DECKER J. (1997): Auswirkungen des Fremdwassers auf die Abwasserableitung, Tagung am 19.3.-21.3.1997, GWA-Band 158, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen

DECKER, J. (1998): Auswirkungen von Fremdwasser auf Abwasseranlagen und Gewässer, Dissertation am Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, GWA-Band 168, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen

DILG, R. (2001): Verfahren zur grabenlosen Sanierung von Abwasserkanälen, Reparatur - Renovierung - Erneuerung, bbr (52), Nr. 2

DIMAG (2004): www.dimagb.de (28.10.2004)

DIN 1185-1 (1973): Regelung des Bodenwasser-Haushaltes durch Rohrdränung, Rohrlose Dränung und Unterbodenmelioration, Blatt 1: Allgemeine Hinweise und Sonderfälle, Beuth Verlag, Berlin

- DIN 1185-1 (1973): Regelung des Bodenwasserhaushaltes durch Rohrdränung, rohrlose Dränung und Unterbodenmelioration, Dezember 1973, Teil 1: Allgemeine Hinweise und Sonderfälle, Beuth-Verlag, Berlin
- DIN 1185-2 (1973): Regelung des Bodenwasser-Haushaltes durch Rohrdränung, Rohrlose Dränung und Unterbodenmelioration, Blatt 2: Wesentliche Angaben für Planung und Bemessung, Beuth Verlag, Berlin
- DIN 1185-2 (1973): Regelung des Bodenwasserhaushaltes durch Rohrdränung, rohrlose Dränung und Unterbodenmelioration, Teil 2: Wesentliche Angaben für Planung und Bemessung, Beuth-Verlag, Berlin
- DIN 18195 (2000): Bauwerksabdichtungen, Teile 1 bis 6, Beuth Verlag, Berlin
- DIN 19584 (1997): Schachtabdeckungen für Einsteigschächte - Klasse D 400, Beuth Verlag, Berlin
- DIN 1986-30 (2003): Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke, Teil 30: Instandhaltung, Beuth Verlag, Berlin
- DIN 4045 (1985): Abwassertechnik - Grundbegriffe, Beuth Verlag, Berlin
- DIN 4095 (1990): Dränung zum Schutz baulicher Anlagen - Planung, Bemessung und Ausführung, Beuth Verlag, Berlin
- DIN EN 752-1 (1995): Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Teil 1: Allgemeines und Definitionen, Beuth Verlag, Berlin
- DIN EN 752-5 (1997): Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Teil 5: Sanierung, Beuth Verlag, Berlin
- DMT (1999): Hydrogeologisch-geotechnische Untersuchungen zur Umgestaltung der Emscher in Dortmund-Hörde, Gutachten im Auftrag der Emschergenossenschaft, unveröffentlicht, Deutsche Montan Technologie GmbH, Essen
- DOHMANN, M. (1993): Erkenntnisse für die Undichtigkeit von Abwasserkanälen in Abhängigkeit von der Schadensart, Veranstaltungsreihe Wirtschaftsforum „Unterhaltung und Betrieb von Kanalisationsanlagen“, 4.-5.10.1993, FET, Essen
- DOHMANN, M. (2004): Analysis of sewer renovation demand in Germany, Vortrag in Ungarn
- DOHMANN, M. (2005): Organische Spurenstoffe im Regenwasser und Auswirkungen auf die Gewässer, 4. Regenwassertage der DWA, 1.-2.6.2005, Leverkusen
- DOHMANN, M., BÄUMER, A. (2000): Ermittlung der behandelten Regenwassermengen in kommunalen Kläranlagen >100.000 E, Schlussbericht im Auftrag des MUNLV NRW, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen
- DOHMANN, M., EWRINGSHAUS, D. (1997): Die Entwicklung und Marktnachfrage nach Abwasserentsorgungsdienstleistungen in Deutschland, Gutachten im Auftrag des BDE, Köln
- DOHMANN, M., HAUSSMANN, R. (1994): Zustand und Gefährdungspotenzial von Grundstücksentwässerungsanlagen, ATV-Bundestagung 1994, Berichte der Abwassertechnischen Vereinigung Nr. 44, Hennef
- DOHMANN, M., HAUßMANN, R., WEYAND, M. (1990): Aspekte der Abwasserableitung: Abwasserteilströme - Umwelteinflüsse durch undichte Kanäle - Kanalnetzbewirtschaftung, Handbuch Wasserversorgungs- und Abwassertechnik, Vulkan Verlag, 3. Ausgabe
- DOHMANN, M., HELLE, K. (1997): Jahreszeitliche Schwankungen des Fremdwasseranfalls und Konsequenzen für eine zukünftige Bemessung von Entlastungsanlagen, Studie des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen im Auftrag der ATV

- DOHMANN, M., HENNERKES, J., SISTEMICH, S. (2004): Entwicklung einer systematischen Vorgehensweise zur Fremdwasservermeidung und -reduzierung im ländlichen Raum (Demonstrationsvorhaben), Forschungsvorhaben im Auftrag des MUNLV NRW, Schlussbericht, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen
- DOHMANN, M., HENNERKES, J., SPEICHER, A. (2002): Ermittlung und Eliminierung von Fremdwasserquellen, Schlussbericht zum Forschungsvorhaben im Auftrag des MUNLV NRW, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen
- DOHMANN, M., LORENZ, U. (2003): Umdruck zur Vorlesung Gewässergüte- und Abwasserwirtschaft I, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen
- DOHMANN, M., MICHALSKA, A. (1999): Auswirkungen von reduziertem Wasserverbrauch und Fremdwasserreduzierung auf den Betrieb und die Kosten von Abwasseranlagen, Tagung „Entwicklungen in der Kanalisationstechnik“, 2.-3.9.1999, Köln
- DORNBUSCH, J. (2000): Leitfaden für die Sanierung von Kanalisationen im ländlichen Raum, 33. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft in Essen, 29.-31.3.2000, GWA-Band 177, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen
- DORNBUSCH, J. (2001): Dichtheitsprüfung und Sanierung von Grundstücksentwässerungsleitungen auf Chemischreinigungsgrundstücken, 1. Teil, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben, Lehrstuhl und Institut für Baumaschinen und Baubetrieb der RWTH Aachen, www.duesseldorf.de/umweltamt (10.11.2005)
- DOSCH, F. (2001): Flächenverbrauch in Deutschland und Mitteleuropa - Struktur, Trends und Steuerungsoptionen durch das Boden-Bündnis, 1. Internationale Jahrestagung des Boden-Bündnis europäischer Städte und Gemeinden, 12.-13.11.2001, Osnabrück
- DÜLLMANN, H. (2001): Grundwasserproblematik im Stadtgebiet Korschenbroich - Konzeptvorschläge für langfristige Lösungen zur Abwendung von Gebäudeschäden, Aachen
- DÜLLMANN, H. (2002): Grundwasserproblematik im Stadtgebiet Korschenbroich - Konzeptentwicklung und gutachtliche Bewertung von langfristigen Lösungen zur Abwendung von Gebäudeschäden, Gutachten im Auftrag der Stadt Korschenbroich, Aachen
- DUNBAR, W. P. (1912): Leitfaden für die Abwasserreinigungsfrage, 4. Auflage von 1998, ATV-DVWK (Hrsg.), Hennef
- DUPASQUIER, B. (1999): Modélisation hydrologique et hydraulique des infiltrations d'eaux parasites dans les réseaux séparatifs d'eaux usées (Hydrological and hydraulic modeling of infiltration in separated sewers), Dissertation, ENGREF Centre de Paris
- DWA (2004): 17. DWA-Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen 2004, GFA Verlag, Hennef
- DWA (2005): Arbeitsbericht „Konzepte und Maßnahmen zur Lösung von Fremdwasserproblemen“, DWA-Arbeitsgruppe ES-1.3 „Fremdwasser“, GFA Verlag, Hennef
- DWA-M 178 (2005): Empfehlungen für Planung, Konstruktion und Betrieb von Retentionsbodenfilteranlagen zur weitergehenden Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem, ISBN 3-937758-27-2, GFA Verlag, Hennef
- EISENER, W., FIEDLER, M. (2003): Das Göttinger Kooperationsmodell, KA - Abwasser, Abfall (50), Nr. 10
- ELLIS, J. B. (2001): Sewer infiltration / exfiltration and interactions with sewer flows and groundwater quality, Conference Proceedings, Interactions between sewers, treatment plants and receiving water in urban areas, INTERURBA II, 19.-22.2.2001, Lissabon, Portugal
- ELLIS, J. B., REVITT, D. M. (2002): Sewer losses and interactions with groundwater quality, Water Science and Technology (45), Nr. 3

- Emschergenossenschaft (1993): Wohin mit dem Regenwasser?, Essen
- Emschergenossenschaft (2004): Nachhaltige Regenwasserbewirtschaftung im Emschergebiet - Regen auf richtigen Wegen, Essen
- EPA (1985): Infiltration / Inflow Analysis and project Certification, Ecology publication Nr. 97-03, Office of municipal pollution control, US Environmental Protection Agency, Washington, USA
- EPA (1991): Handbook sewer system infrastructure analysis and rehabilitation, US Environmental Protection Agency, Washington
- EPA (2003): Regional infiltration / inflow control program, King County - Department of natural resources and parks, US Environmental Protection Agency, Washington, USA, <http://dnr.metrokc.gov/WTD/i-i> (08.09.2003)
- EPA (2003b): Private inflow / infiltration source control program helps reduce SSOs, US Environmental Protection Agency, Washington, USA, www.epa.gov/npdes/sso/kansas/index.htm (06.06.2003)
- FAIR, G. M., GEYER, J. G. (1961): Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung, Oldenbourg Verlag, München
- FENZ, R., BLASCHKE, A. P., CLARA, M., KROISS, H., MASCHER, D., ZESSNER, M. (2004): Monitoring of carbamazepine concentrations in waste water and groundwater to quantify sewer leakage, 6th International Conference on Urban Drainage Modelling proceedings, 15.-17.9.2004, Dresden
- FIEDLER, M. (2000): Umsetzung und Optimierung von Sanierungskonzepten, TAH-Seminar „Kanalsanierungsplanung unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit“, 14.09.2000, Hannover
- FIEDLER, M. (2001): Praxiserfahrungen der Stadt Göttingen bei der Inspektion und Sanierung im Bereich der Grundstücksentwässerung, Tagung „Entwicklungen in der Kanalisationstechnik“, 04.-05.09.2001, Köln
- FIEDLER, M. (2003): Finanzierbarkeit komplexer Kanalsanierungskonzepte und Auswirkungen auf die Abwassergebühr, TAH-Seminar, 08.-09.10.2003, Hannover
- FINSTERWALDER, K. (1990): Vorsorge für die Schadstoffemissionen von Deponien und Altlasten in geologischen Zeiträumen, Firmeninformationen DYWIDAG Umweltschutztechnik, München
- FINSTERWALDER, K., BEYER, S. (1994): Entwicklung eines selbstabdichtenden Bettungssystems für Abwasserkanäle, 4. Internationaler Kongress Leitungsbau, 16.-20.10.1994, Hamburg
- FISCHER, M. (1990): Fremdwasser im Kanal - jetzt noch teurer, Korrespondenz Abwasser (37), Nr. 10, S. 1196-1201
- FLÖGL, W. (1987): Betriebswirtschaftliche Aspekte im Kanalbau - Einfluss und Kosten des Fremdwasseranfalles, Österreichische Wasserwirtschaft (39), Heft 9/10
- FRANZ, T., RUTSCH, M., KREBS, P. (2004): Field data to estimate infiltration into sewer systems, 19th European Junior Scientist Workshop (EJSW) on „Process Data and Integrated Urban Water Modelling“, 11.-14.3.2004, Lyon, Frankreich
- FRANZ, T., KREBS, P. (2005): Statistical methods towards more efficient infiltration measurements, 10th International conference on urban drainage, 21.-26.8.2005, Kopenhagen, Dänemark
- FRECHEN, F.-B., KÖSTER, W. (2003): Geruch - Messung, Bewertung und Abhilfe, ATV-DVWK-Seminar 1018/03 „Fremdwasser im Kanal / Geruchsbelästigung“ am 12.11.2003, Kassel

- FRÜHLING, A. (1903): Handbuch der Ingenieurwissenschaften, Die Entwässerung der Städte, Anlagen zur Abführung der Brauch- und Regenwässer, W. Engelmann Verlag, Leipzig (in: SICKERT, 1998)
- FUCHS, S. (2000): Verschmutzung von Regen- und Mischwasser, ATV-Fortbildungskurs K/1 für Wassergütewirtschaft und Abwassertechnik, Kassel
- FUCHS, S., LUCAS, S., BROMBACH, H., WEISS, G., HALLER, B. (2003): Fremdwasserprobleme erkennen - methodische Ansätze, KA-Abwasser, Abfall (50), Nr. 1
- GDSDS (2005): Greater Dublin strategic drainage study, Volume 4: Inflow, Infiltration & Exfiltration, www.dublincity.ie (13.10.2005)
- GEIGER, W. F. (2000): Entwässerungskonzepte und Zielsetzungen, ATV-Fortbildungskurs K/1 „Entwässerungskonzepte“ in Kassel, ATV, Hennef
- GEIGER, W., DREISEITL, H. (1995): Neue Wege für das Regenwasser, Oldenbourg Verlag, München
- GEISSLER, W. (1933): Kanalisation und Abwasserreinigung, Springer Verlag, Berlin (in: SICKERT, 1998)
- GETTA, M., HOLTE, A., PECHER, K. H. (2004): Lösungsansätze zur Vermeidung von Nachteilen bei der Abdichtung von Kanalnetzen, KA - Abwasser, Abfall (51), Nr. 10
- GEURTS, S. (2001): Vermeidung von Fremdwasser - technische Ansätze, Erfahrungen eines Planungsbüros, IKT-Forum Fremdwasser, 30.10.2001, Gelsenkirchen
- GO NRW (2004): Gemeindeordnung für das Land Nordrhein-Westfalen vom 3.2.2004, www.staedtetag-nrw.de (11.7.2005)
- GOULART, A.F., KOVACS, R.C. (1977): Infiltration / inflow studies at Warren, Rhode Island, Journal of the New England water pollution control association (11), Nr. 2
- GRASSINGER, D., SALHOFER, S. (1998): Methoden zur Bewertung abfallwirtschaftlicher Maßnahmen, BOKU Wien, Österreich
- GRAU, A. (2004): Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser nach dem neuen ATV-DVWK A 138, Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft Bochum, Band 47, ISSN 0178-0980
- GUJER, W. (2002): Siedlungswasserwirtschaft, 2. Auflage, Springer Verlag, ISBN 3-540-43404-6
- GÜNTHER, F. W., REICHERTER, E. (2001): Investitionskosten der Abwasserentsorgung, Oldenbourg Verlag, ISBN 3-486-26507-5
- GUSTAFSSON, L.-G. (2000): Alternative drainage schemes for reduction of inflow / infiltration - prediction and follow-up of effects with the aid of an integrated sewer / aquifer model, DHI Water and Environment, Växjö, Schweden
- HAGER, W. H., BRETSCHER, U., RAYMANN, B. (1984): Methoden zur indirekten Fremdwasserermittlung in Abwassersystemen, Gas-Wasser-Abwasser (64), Nr. 7
- HAGER, W. H., RAYMANN, B., BRETSCHER, U. (1985): Die Berechnung des Fremdwasseranfalls in Abwassersystemen, GWF - Wasser, Abwasser (126), Nr. 11
- HAHN, H. H. (1994): Neuere Untersuchungen zur Verschmutzung des Regen- und Mischwasserabflusses, ATV-Kurs zur Abwasser- und Abfalltechnik H/1, ATV, Hennef
- HALLER, B. (2002): Fremdwasser - Einzelfälle oder einrelevantes Problem in der Fläche, TAH-Seminar, 05.12.2002, Würzburg
- HAMACHER, R. (1996): Berücksichtigung der Regenwasserversickerung bei der städtebaulichen Konzeption von Wohngebieten, ISBN 3-88354-125-7, Aachen

- HAMACHER, R. (2000): Bau- und Betriebskosten von Anlagen zur Regenwasserversickerung, KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall (47), Nr. 4
- HAN, Z. (1997): Modellierung von Stofftransport und -umsetzung in kleinen Einzugsgebieten unter Berücksichtigung der Wechselbeziehungen zwischen Grundwasser und Oberflächenwasser, Mitteilungen des Institutes für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Landwirtschaftlichen Wasserbau der Universität Hannover, Heft 84, ISSN 0343-8090
- HÄRIG, F. (1991): Auswirkungen des Wasseraustausches zwischen undichten Kanalisationssystemen und dem Aquifer auf das Grundwasser, Dissertation, Mitteilungen des Institutes für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau der Universität Hannover, Heft 76, Hannover
- HARTWIG, P., LANGE, R. (2000): Einfluss von Fremdwasser auf Kläranlagen, ATV-DVWK Infotag „Fremdwasser im Kanal“, 12.09.2000, Köln
- HAUSSMANN, R., HENNERKES, J. (2001): Stand der Untersuchungen zur Sanierung von Kanalisationen bei Fremdwasserproblemen, Tagung „Entwicklungen in der Kanalisationstechnik“, 04.-05.09.2001, Köln
- HEINRICHS-STALITZA, P. (2004): Fremdwasser durch undichte Kanäle und Schächte, BEW-Seminar „Fremdwasser“, 03.07.2004, Essen
- HENNERKES, J. (2003): Auswirkungen von Fremdwasser, ATV-DVWK-Seminar „Fremdwasser im Kanal / Geruchsbelästigung“, Kurs Nr. 1018/03, 12.11.2003, Kassel
- HENNERKES, J., SCHMIDT, A., SCHRÖDER, M., SISTEMICH, S. (2005): Fremdwasser-Vermeidung und Reduzierung in Monschau, Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft in Aachen, 9.3.-11.3.2005, GWA-Band 198, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen
- HERTH, W., ARNDTS, E. (1994): Theorie und Praxis der Grundwasserabsenkung, 3. Auflage, Ernst & Sohn Verlag
- HOGSON, J. E., WARD, C. J. W., SCHULTZ, N. U. (1995): Sanitary sewage discharges in the city of Edmonton, Alberta, National conference on sanitary sewer overflows (SSOs), 24.-26.4.1995, Washington, USA
- HOMBURG, H.-W. (2000): Gewässereigenschaft von Straßenseitengräben: Anmerkungen zur bestehenden Rechtslage, Abwasserreport, Nr. 1/2000
- HOSTETTLER, R. (2003): Fremdwasser belastet die Umwelt, Informationsbulletin 2/2003, GSA, Schweiz
- IHDE, B. (2004): Grundwasserprobleme nach Kanalsanierungen, Workshop „Grundwasserbewirtschaftung im Emschergebiet“ am 7. Juli 2004 in Bochum, Emschergenossenschaft, Essen
- IMHOFF, K. (1943): Taschenbuch der Stadtentwässerung, 10. Auflage, Oldenbourg Verlag, München
- JOANNIS, C., BELHADJ, N., RAIMBAULT, G. (1993): Rainfall induced infiltration into sewer systems, Proceedings 6. ICUD (Vol. II), 12.-17.09.1993, S. 1988-1993, Ontario, Kanada
- JOANNIS, C., COMMAILLE, J.-F., DUPASQUIER, B. (2002): Assessing infiltration flow-rates into sewers, Proceedings 9. ICUD, 8.-13.09.2002, Portland, Oregon, USA
- JÜTTING, F. (2000): Maßnahmen zur Verminderung des Fremdwassers in Göttingen, 33. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft in Essen, 29.-31.03.2000, GWA-Band 177, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen
- KAG NRW (2004): Kommunalabgabengesetz für das Land Nordrhein-Westfalen vom 4.5.2004, www.kommunalpraxis.de (12.7.2005)

- KAMMERER, G. (2005): Regelung des Bodenwasserhaushaltes, Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft, BOKU Wien
- KAMMERER, R. (2002): Sanierung von Kanalschäden mit Kurzschläuchen, KA - Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall (49), Nr. 1
- KARPF, C., KREBS, P. (2004a): Sewers as drainage systems - quantification of groundwater infiltration, NOVATECH 5th conference, Volume 2, 6.-10.06.2004, Lyon, Frankreich
- KARPF, C., KREBS, P. (2004b): Die Kanalisation als Drainagesystem, BMBF-Projekt: Hochwassernachsorge Grundwasser Dresden, Abschlusspräsentation, Dresden, 26.10.2004
- KARPF, C., KREBS, P. (2005): Assessment of extraneous water inflow in separate sewer networks, 10th International conference on urban drainage, 21.-26.8.2005, Kopenhagen, Dänemark
- KASTING, U. (2000): Hydraulisches Verhalten von Bodenfiltern zur weitergehenden Misch- und Regenwasserbehandlung, KA-Abwasser, Abfall (47), Nr. 10
- King County (2004): Regional infiltration and inflow control program, Pilot Project Report, King County Department of Natural Resources and Parks, King County, Washington, USA
- KLASS, M. (1985): Fremdwasser auf Kläranlagen, Abwasser im Untergrund, Korrespondenz Abwasser (32), Nr. 10
- KLEEGRAF, B., DONNER, H. G., HINZMANN, H.-U., BAHNERS, M. (2002): Erfassung, Verhinderung und Beseitigung von Fremdwasser aus öffentlichen Abwasseranlagen, Schlussbericht des Pilotprojektes „Ortsentwässerung Brilon-Madfeld“ der Stadtwerke Brilon im Auftrag des MUNLV NRW, Ruhr-Wasserwirtschafts-Gesellschaft mbH, Arnsberg
- KÖHLER, H., MEYER, C. (2003): Rechtliche Aspekte der Fremdwasser vermeiden und -reduzierung, Beitrag zum Forschungsvorhaben des ISA im Auftrag des MUNLV NRW „Entwicklung einer systematischen Vorgehensweise zur Fremdwasser vermeiden und -reduzierung im ländlichen Raum“, Schlussbericht Teil D, Aachen
- KOLBITSCH, A., TSUKALAS, A. (2003): Zement - Kellerbauen plus, Bauberatungsstelle der österreichischen Zementindustrie, Wien
- KÖLSCH, T. (2000): Untersuchungen zur Ermittlung des über Schachtdeckel der Kanalisation zufließenden Niederschlagswassers, Diplomarbeit am Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen
- Kommunalabwasserverordnung (KomAbwV): Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 91/271/EWG des Rates vom 21. Mai 1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser vom 30. September 1997 zuletzt geändert am 5. April 2005 durch Artikel 140 des Vierten Gesetzes zur Befristung des Landesrechts NRW (GV.NW. Nr. 18 vom 29.04.2005)
- KÖNIG, F. (1902): Anlage und Ausführung von Städte-Kanalisationen - Leitfaden und Handbuch für Ingenieure, Architekten, Verwaltungs-Beamte und andere Berufskreise in allen Wasserversorgungsfragen, Verlag Otto Wigand, Leipzig
- KÖRKEMEYER, K. (2003): Sanierung von Abwasserkanälen unter Berücksichtigung der Vermeidung von Vernässung angeschlossener Liegenschaften - Beispiel Altena, BEW-Seminar „Fremdwasser“, 03.07.2004, Essen
- KRACHT, O., GRESCH, M., GUJER, W. (2005b): Innovative tracer methods for infiltration monitoring, 10th International conference on urban drainage, 21.-26.8.2005, Kopenhagen, Dänemark
- KRACHT, O., GUJER, W. (2005a): Neue Wege in der Fremdwasserbestimmung, VSA - Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute, Verbandsbericht Nr. 562, Zürich, Schweiz

- KRAUTH, K., SCHWENTNER, G. (1994): Auswirkungen der Feststoffe im Abwasser auf die Denitrifikation, Korrespondenz Abwasser (41), Nr. 4
- KREBS, P. (2005): Einfluss undichter Kanäle auf die Gewässerbelastung, Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft in Aachen, 9.3.-11.3.2005, GWA-Band 198, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen
- KREBS, P., ARMBRUSTER, M., RODI, W. (2000): Numerische Nachklärbeckenmodelle, Korrespondenz Abwasser (47), Nr. 7
- KROISS, H., PRENDL, L. (1996): Einfluss von Fremdwasser auf Abwasserreinigungsanlagen, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 140, Forschungs- und Entwicklungsinstitut für Siedlungswasserwirtschaft sowie Abfallwirtschaft e. V., Stuttgart
- KROISS, H., PRENDL, L. (1996): Einfluss von Fremdwasser auf Planung und Betrieb von Abwasserreinigungsanlagen, Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Band 18, TU Graz, Österreich
- Landeswassergesetz NRW (LWG NRW): Wassergesetz für das Land Nordrhein-Westfalen (LWG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 25. Juni 1995 (GV.NW. Nr. 59 vom 18.08.1995) zuletzt geändert am 3. Mai 2005 durch Artikel 1 des Gesetzes zur Änderung wasserrechtlicher Vorschriften (GV.NW. Nr. 21 vom 11.05.2005)
- LARSEN, J. P., GARCIA-MARQUEZ, C. (2000): Broward county, Florida - successful I/I rehabilitation programs, WEFTEC 2000 Conference proceedings 10/2000 (14)
- LAWA (1998): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR Leitlinien), Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, ISBN 3-88961-228-8
- LfU (2001): Quantifizierung der saisonalen und naturräumlichen Bedeutung von Fremdwasserzuflüssen in Mischsystemen, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe
- LfU (2002): Bodenfilter zur Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe
- LfW (1998): Leitfaden flächenhafte Niederschlagswasserversickerung, Band 208/98, Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz, Mainz
- LIERSCH, K.-M. (1985): Fremdwasser überlastet viele Schmutzwasserkanalisationen, Korrespondenz Abwasser (32), Nr. 10
- LONDONG, D. (1997): Die Regenwasserbewirtschaftung vor Ort und ihre Kosten, EntsorgungsPraxis, Nr. 10
- LONDONG, D., NOTHNAGEL, A. (1999): Bauen mit dem Regenwasser, Oldenbourg Verlag, München
- LUCAS, S. (2003): Auftreten, Ursachen und Auswirkungen hoher Fremdwasserabflüsse - eine zeitliche und räumliche Analyse, Dissertation, Universität Karlsruhe, ISBN 3-9807882-8-8
- LUCAS, S. (2004): Einflüsse der Fremdwasserbelastung auf die Entlastungstätigkeit von Regenbecken innerhalb eines Entwässerungsnetzes, KA - Abwasser, Abfall (51), Nr. 10
- LUCAS, S., FUCHS, S. (2003): Regionalisierung von Fremdwasserproblemen, Korrespondenz Abwasser (50), Nr. 3
- MARHOLD (2002): www.marhold.de/wb (25.06.2002)
- MARK, G., WADE, P. E. (2000): Sealing Springfield, Civil Engineering (70), Nr. 5
- MAUS, H., EVERS, P. (2005): Fremdwasser-Problematik, Ursachen und Ansätze zur Reduzierung, Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft in Aachen, 9.3.-11.3.2005, GWA-Band 198, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen

- MAUS, H., KLEEGRAF, B., DONNER, H. G. (2004): Erfassung, Verhinderung und Beseitigung von Fremdwasser am Beispiel eines ländlichen Mischwasserkanalnetzes, KA - Abwasser, Abfall (51), Nr. 10
- MERRILL, S., LUKAS, A., ROBERTS, C., PALMER, R., VAN RHEENAN, N. (2003): Reducing peak rainfall-derived infiltration / inflow rates - Case studies and protocol, Water environment research foundation 99-WWF-8, IWA Publishing, London, England
- MERTSCH, V. (2001): Anforderungen an die öffentliche Niederschlagsentwässerung in Nordrhein-Westfalen, BEW-Seminar „Anforderungen an den Betrieb von Kanalisationsnetzen“, 29.8.2001, Essen
- MERTSCH, V. (2003): persönliche Mitteilung im Rahmen des Workshops „Fremdwasser“, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, 30.06.2003, Aachen
- MERTSCH, V., SCHMIDT, A. (2002): Anforderungen an die Fremdwasserbeseitigung / Projekte in NRW, TAH-Seminar „Umgang mit Fremdwasser“ am 5.12.2002, Würzburg
- MERTSCH, V., STÖLTING, B., HAUSSMANN, R. (2001): Gewässeremissionen aus Mischwasserentlastungen, Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft Bochum, Band 39, 20.09.2001, ISSN 0178-0980
- METCALF, L., EDDY, H. P. (1930): Sewerage and sewage disposal, 2. Auflage, McGraw-Hill Book Company, New York und London
- MICHALSKA, A., PECHER, K.-H. (2000): Betriebliche und kostenmäßige Auswirkungen des Fremdwassers auf die Abwasseranlagen, 33. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft in Essen, 29.-31.3.2000, GWA-Band 177, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen
- MILOJEVIC, N., WOLF, M. (2004): Sanierungsstrategie zur Fremdwasserreduzierung in der öffentlichen Kanalisation, KA - Abwasser, Abfall (51), Nr. 10
- MLUR (2001): Leitfaden zur umweltverträglichen und kostengünstigen Regenwasserbewirtschaftung in Brandenburg, Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg, Potsdam
- MLUR (2003): Abwasserentsorgung in Brandenburg - Orientierungswerte Jahr 2003, Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg, Potsdam
- MORRIS, C. D., EISENBATH, K. (2002): Modelling infiltration / inflow using a disaggregated stochastic process, Proceedings 9. ICUD, 08.-13.09.2002, Portland, Oregon, USA
- MUNLV NRW (1998): Anforderungen an den Betrieb von Abwasserbehandlungsanlagen hinsichtlich der zulässigen Verdünnung und Vermischung, Entwurf eines Runderlasses des MUNLV NRW (AZ: IV B 6 - 031 003 0501), unveröffentlicht
- MUNLV NRW (1999a): Praxisorientierter Leitfaden für die Sanierung von Kanalisationen im ländlichen Raum, Düsseldorf
- MUNLV NRW (1999b): Richtlinie für naturnahe Unterhaltung und naturnahen Ausbau der Fließgewässer in Nordrhein-Westfalen („Blaue Richtlinie“), 5. Auflage, Mbl. NRW Nr. 39 vom 18.6.1999, Düsseldorf
- MUNLV NRW (2002a): Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung NRW, 9. Auflage, Düsseldorf
- MUNLV NRW (2002b): Gewässerbewirtschaftung in Nordrhein-Westfalen - Neue Impulse durch die Europäische Wasserrahmenrichtlinie, Wasserrundbrief 05/2002
- MUNLV NRW (2002c): Sanierung von Kanalisationen innerhalb von Staats- und Landesliegenschaften, Planungshilfe Kanalsanierung, ISBN 3-9807642-9-X, Düsseldorf

- MUNLV NRW (2003): Retentionsbodenfilter - Handbuch für Planung, Bau und Betrieb, 1. Auflage, ISBN 3-9808617-1-6, Düsseldorf
- MUNLV NRW (2004a): Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen, 10. Auflage, Düsseldorf
- MUNLV NRW (2004b): Hausanschluss dicht? Instandhaltung von Grundleitungen und Anschlusskanälen Informationsbroschüre, www.munlv.nrw.de (10.11.2004)
- MUNLV NRW (2005): Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen, 11. Auflage, Düsseldorf
- MURRAY, J. B. (1987): Infiltration rates for separate sewage collection systems, *Water Science and Technology*, Vol. 19, pp. 589 - 601
- MURRAY, J. B., HASKINS, G. (1986): Fremdwasseranteil bei getrennten Abwasserkanalisationssystemen - Studie in Australien, Kurzberichte der 13. IAWPRC-Konferenz in Rio de Janeiro 1986, Mitteilungen der Oswald Schulze Stiftung, Heft 9
- MUTH, W. (1981): Dränung erdberührter Bauteile
- MUTH, W. (1991): Landwirtschaftlicher Wasserbau, Bodenkultur, Werner-Ingenieur-Texte, Band 35, 2. Auflage, Werner Verlag, Düsseldorf
- MUTSCHMANN, J., STIMMELMAYR, F. (2002): Taschenbuch der Wasserversorgung, 13. Auflage, Vieweg Verlag, Wiesbaden
- NIEHAUS, J. P. (1995): Rainfall-Derived Infiltration and Inflow: An Innovative Approach, Cincinnati, Ohio, USA (in GSDSDS, 2005)
- NISIPEANU, P. (2003): Fremdwasser & Recht - eine empirische Bestandsaufnahme sowie Darstellung ausgewählter Rechtsprobleme der Fremdwasserauffindung, -verhinderung, -minimierung und -beseitigung sowie rechtliche und vollzugspraktische Lösungsansätze, Gutachten im Auftrag des MUNLV NRW, RWG Essen
- NISIPEANU, P. (2004): Rechtsfragen der Auffindung, Verhinderung, Minimierung und Beseitigung von sog. Fremdwasser, 3. Forum Ruhrverband am 23. Juni 2004, www.ruhrverband.de/forum (6.10.2004)
- NOWAK, J. (2002): Fremdwasseranfall in kommunalen Kläranlagen im Westerzgebirge / Vogtland, KA - Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall (49), Nr. 9
- NRC (2003): Infiltration/inflow control/reduction for wastewater collection systems - A best practice by the national guide to sustainable municipal infrastructure, Federation of Canadian Municipalities, www.infraguide.gc.ca (05.06.2003)
- NZWWA (1996): New Zealand Infiltration and Inflow Control Manual, New Zealand Water and Wastes Association, www.nzwwa.org.nz, Wellington, Neuseeland
- OLEV, Beitrag im Online-Verwaltungslexikon, www.olev.de (22.8.2005)
- ÖWWV-Regelblatt 11 (1982): Österreichische Richtlinien für die abwassertechnische Berechnung von Schmutz-, Regen- und Mischwasserkanälen, Wien, Österreich
- PAULSEN, O. (1986): Die Verschmutzung des Regenwassers in der Trennentwässerung, GWF - Wasser / Abwasser (127), Nr. 8
- PECHER, K. H. (1999a): Kosten der Regenwasserableitung, Wasser-Abwasser-Praxis, Nr. 3
- PECHER, K. H. (2003): Fremdwasseranfall, Schwankungen und Konsequenzen für die Abwasserbehandlung, 36. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft in Aachen, 26.-28.3.2003, GWA-Band 190, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen

- PECHER, K. H. (2005a): Erfahrungen bei der Umsetzung der Fremdwasserreduzierung, Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft in Aachen, 9.3.-11.3.2005, GWA-Band 198, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen
- PECHER, K. H. (2005b): Relevanz der Fremdwasserthematik in Deutschland und Methoden zur Fremdwasserermittlung, DWA-Seminar 1018/05 am 8.11.2005, Diemelsee
- PECHER, R. (1998): Fremdwasseranfall im Kanalnetz - ein wasserwirtschaftliches Problem? Korrespondenz Abwasser (45), Nr. 12
- PECHER, R. (1999b): Sanierungsstrategien für Kanalisationen, Tagung in Aachen, 17.-19.3.1999, GWA-Band 172, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen
- PECHER, R. (2000): Lösungsansätze für die Sanierung von fremdwasserbelasteten Kanalisationen, IKT-Forum Fremdwasser 2000 (Fachseminar für kommunale Entscheidungsträger), Gelsenkirchen
- PECHER, R., KELLNER, G. (1991): Abwassertechnische Strukturdaten, abgeleitet aus der amtlichen Statistik für Nordrhein-Westfalen, Korrespondenz Abwasser (38), Nr. 11
- PFEIFF, S. H. (1989): Das Problem Fremdwasser, Korrespondenz Abwasser (36), Nr. 4
- PFEIFF, S. H. (1993): Das Problem Kanal-Dichtheit, Korrespondenz Abwasser (40), Nr. 4
- PINNEKAMP, J., BOLLE, F.-W. (2005): Untersuchung der Nutzungsdauer von Abwasserleitungen im öffentlichen Bereich, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben im Auftrag des MUNLV NRW, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen
- PINNEKAMP, J., STEPKE, H. (2005): Durchführung der Zustandserfassung und Sanierung von Abwasserleitungen auf Grundstücken und Empfehlungen für akzeptanzfördernde Maßnahmen, Statusbericht zum Forschungsvorhaben im Auftrag des MUNLV NRW
- POOLE, B. (2002): Estimation of infiltration from long term flow records, WaPUG Spring Meeting, 14.5.2002, Coventry, www.wapug.org.uk (28.2.2006)
- PRIGIOBBE, V. (2005): Assessment of infiltration and exfiltration in urban sewer systems: Experimental design for the application of new methods, Dissertation, Università degli Studi di Roma Tor Vergata in Verbindung mit IRSA-CNR, Rom, Italien
- PRIGIOBBE, V., GIULIANELLI, M. (2004): Design of tests for quantifying sewer leakages by QUEST-C method, 6th International Conference on Urban Drainage Modelling proceedings, 15.-17.9.2004, Dresden
- PRINC I., KOHOUT, D., TUMA, R. (2002): Infiltrace a exfiltrace do/z domovních přípojek, Hydrosphere, Breclav, Tschechische Republik
- PRINC, I., KOHOUT, D. (2003): Infiltrace a exfiltrace ve vztahu ke stokové síti (Infiltration and exfiltration from house connections), Conference book „Water Management Task 2003“, ISBN 80-01-02844-5
- Rahmen-Abwasser-Verwaltungsvorschrift (Rahmen-Abwasser VwV): Allgemeine Verwaltungsvorschrift über Mindestanforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer, in der Fassung der Bekanntmachung vom 25.11.1992 (BAnz. Nr. 233b), geändert durch VwV vom 31.01.1994 (BAnz. S. 1076)
- REICHEL, F., GETTA, M. (2000): Hydraulischer Einfluss des Kanalisationssystems auf die Grundwasserverhältnisse im Stadtgebiet, 33. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft in Essen, 29.-31.3.2000, GWA-Band 177, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen
- REINERT, S. (1992): Undichte Kanäle - haftungsrechtliche Fragen, gwf Wasser Abwasser (133), Nr. 4

- RENNER, H. (1996): Fremdwasser - Stand des Wissens über Herkunft und anfallende Mengen, Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Band 18: „Fremdwasser in Abwasseranlagen“, TU Graz, Schweiz
- RIES, T., MERTSCH, V. (2005): Vorschläge zur Überarbeitung der Anhänge gem. § 7a WHG, Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft in Aachen, 9.3.-11.3.2005, GWA-Band 198, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen
- RITZEMA, H. P. (1994). Drainage Principles and Applications, ILRI Publication, Wageningen, International Institute for Land Reclamation and Improvement
- RL 2000/60/EG - Wasserrahmenrichtlinie (WRRL): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik vom 23. Oktober 2000 (ABl. EG vom 22.12.2000 Nr. L 327) zuletzt geändert am 20. November 2001 durch Artikel 1 der Entscheidung Nr. 2455/2001/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Festlegung der Liste prioritärer Stoffe im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG (ABl. EG vom 15.12.2001 Nr. L 331)
- RL 91/271/EWG - Kommunales Abwasser (Kommunalabwasserrichtlinie): Richtlinie 91/271/EWG des Rates über die Behandlung von kommunalem Abwasser vom 21. Mai 1991 (ABl. EG vom 30.05.1991 Nr. L 135) zuletzt geändert am 29. September 2003 durch Anhang III Nr. 21 der Verordnung (EG) Nr. 1882/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Anpassung der Bestimmungen über die Ausschüsse zur Unterstützung der Kommission bei der Ausübung von deren Durchführungsbefugnissen, die in Rechtsakten vorgesehen sind, für die das Verfahren des Artikels 251 des EG-Vertrags gilt, an den Beschluss 1999/468/EG des Rates (ABl. EU vom 31.10.2003 Nr. L 284)
- ROSENZWEIG, G. (2004a): Grenzen für Fremdwasser, ATV-DVWK Seminar „Fremdwasser im Kanal“ am 18.11.2004, Fürth
- ROSENZWEIG, G. (2004b): persönliche Mitteilung vom 6. Mai 2004, Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft
- RUBNER, M. (1903): Lehrbuch der Hygiene, 7. Auflage, Verlag F. Deuticke, Leipzig
- RUDOLPH, K. U., BALKE, H. (2000): Wirtschaftlichkeit der naturnahen Regenwasserentsorgung, KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall (47), Nr. 3
- Ruhrverband (1999): Geschäftsbericht 1999, Essen
- RUTSCH, M., MÜLLER, I., KREBS, P. (2004): Dynamics of rain-induced pollutographs of solubles in sewers, 6th International Conference on Urban Drainage Modelling proceedings, 15.-17.9.2004, Dresden
- RUTSCH, M., UIBRIG, H. (2003): Classification system to estimate the leakage of sewers, in: BAUR, R. et al. (2003): Rehabilitation management of urban infrastructure networks, Dresden
- RWG (2004): Erfassung und Verhinderung von Fremdwasser aus öffentlichen Abwasseranlagen, Stadt Olsberg, Forschungsvorhaben im Auftrag des MUNLV NRW, Kennziffer P 02/02-71 Ar, unveröffentlicht, Arnsberg
- SAWATZKI, J. (1995): Schadensverteilung an Steinzeug- und Betonrohren in TV-untersuchten Abwasserkanälen, Teil 1, Korrespondenz Abwasser (42), Nr. 3
- SAWATZKI, J. (1996): Schadensverteilung an Steinzeug- und Betonrohren in TV-untersuchten Abwasserkanälen, Teil 2, Korrespondenz Abwasser (43), Nr. 3
- SCHEIBLER, U. (2003): Boden gutmachen - Unglaubliche Verwüstung, BUNDmagazin, Nr. 3

- SCHMIDT, A. (2000): Mengen, Charakteristik und Probleme des Fremdwasseranfalls auf kommunalen Kläranlagen in NRW, 33. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft in Essen, 29.-31.3.2000, GWA-Band 177, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen
- SCHMIDT, A. (2003): Indizien und Handlungsbedarf zum Thema „Fremdwasser“ aus wasserbehördlicher Sicht, Workshop „Fremdwasser - zukünftiger Handlungsbedarf in Nordrhein-Westfalen“ am 30.6.2003, Aachen
- SCHNEIDER, K.-J. (1994): Bautabellen für Ingenieure, 11. Auflage, Werner Verlag, Düsseldorf
- SCHRÖDER, M., HENNERKES, J. (2003): Maßnahmenplan der Stadt Monschau zur Verringerung des Fremdwasseraufkommens, 36. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft in Aachen, 26.3.-28.3.2003, GWA-Band 190, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen
- SCHRÖDER, W. (1994): Grundlagen des Wasserbaus, 3. Auflage, Werner Verlag, Düsseldorf
- SCHUBERT, M. (2000): Ermittlung von Sanierungsschwerpunkten im Kanalnetz der Stadt Leipzig zur Reduzierung des Fremdwasserzuflusses, Diplomarbeit an der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig, Markkleeberg
- SCHULZ, N., BAUR, R., KREBS, P. (2004): Integrated modelling for the evaluation of infiltration effects, 6th International Conference on Urban Drainage, 15.-17.09.2004, Dresden
- SCHULZ, N., KARPf, C., KREBS, P. (2005): Einfluss undichter Kanäle auf die Gewässerbelastung, Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft in Aachen, 9.3.-11.3.2005, GWA-Band 198, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen
- SHARPE, TURNER (1999): Infiltration/Inflow studies in Singapore, WaPUG Spring Meeting (in: GDSDS, 2005)
- SICKERT, E. (1998): Kanalisation im Wandel der Zeit - Geschichte der Abwasserentsorgung, Korrespondenz Abwasser (45), Nr. 2
- SIEKER, F. et al. (1997): Möglichkeiten einer naturnahen Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten - untersucht und demonstriert am Beispiel der Städte Dortmund und Zwickau, Schriftenreihe für Stadtentwässerung und Gewässerschutz, Band 17, SuG Verlag, Hannover
- SITZMANN, D. (2000): Erfahrungen mit Fremdwassermessungen, 33. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft in Essen, 29.-31.3.2000, GWA-Band 177, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen
- SÖNNICHSEN, D., GESCH, A. (2002): Gewässer in Ortslagen - Aspekte zur Unterhaltung, Gestaltung, Hochwasserschutz, Wasser & Boden (54), Nr. 7 und 8
- STANBRIDGE, H. H. (1976): History of sewage treatment in Britain, The institute of water pollution control, Maidstone, England
- StBA (2001): Fachserie 19, Reihe 2.1 „Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 1998“, Fragebogen 6K des Statistischen Bundesamtes „Erhebung über die öffentliche Abwasserbeseitigung 1998 - Angaben über Abwasserbehandlungsanlagen“, Statistisches Bundesamt
- STEIN, D. (1998): Instandhaltung von Kanalisationen, 3. Auflage, Ernst & Sohn Verlag, Berlin
- STEIN, D. (2000): Kanalsanierung - Notwendigkeit und Nutzen, 33. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft in Essen, 29.-31.3.2000, GWA-Band 177, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen

- STEIN, D., FALK, C., CREMER, S. (1995): Fremdwasser durch Dränageanschlüsse, Forschungsvorhaben im Auftrag des MUNLV NRW, Schlussbericht, IKT Gelsenkirchen
- STEIN, D., FALK, C., CREMER, S. (1998): Ganzheitliche Sanierung eines durch Fremdwasser beeinträchtigten Kanalisationsnetzes, Forschungsvorhaben im Auftrag der Bezirksregierung Köln, Schlussbericht, IKT Gelsenkirchen
- STEIN, D., KAUFMANN, O. (1993): Schadensanalyse an Abwasserkanälen aus Beton- und Steinzeugrohren der Bundesrepublik Deutschland-West, Korrespondenz Abwasser (40), Nr. 2
- STEIN, D., STEIN, R. (1999): Sachgerechte Wahl von Kanalsanierungsverfahren, Tagung in Aachen, 17.-19.3.1999, GWA-Band 172, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen
- STELZER, V. (1997): Bewertungen in Umweltschutz und Umweltrecht, Springer-Verlag, Heidelberg, ISBN 3-540-62605-0
- STEPKES, H. (2005): persönliche Mitteilung vom 11.11.2005
- STRELL, M. (1913): Die Abwasserfrage in ihrer geschichtlichen Entwicklung von den ältesten Zeiten bis in die Gegenwart, Verlag F. Leineweber, Leipzig
- STÜER, B. (2001): Grundwasserproblematik und Braunkohlentagebau, Ergänzungsgutachten im Auftrag der Stadt Kaarst, Münster
- SüwV Kan (1995): Verordnung zur Selbstüberwachung von Kanalisationen und Einleitungen von Abwasser aus Kanalisationen im Mischsystem und im Trennsystem (Selbstüberwachungsverordnung Kanal), GV. NRW. vom 16.01.1995
- THOMA, R. (2003): Strategie zur nachhaltigen und wirtschaftlichen Instandhaltung von Abwasserleitungen staatlicher und privater Grundstücke, TAH, 8.-9.10.2003, Hannover
- TOBIAS, S. (2001): Regionales Umwelt- und Flächenmanagement (Kulturtechnik), Institut für Kulturtechnik, ETH Zürich
- TRAUTH, R., HAHN, H. H., XANTHOPOULOS, C. (1995): In-situ-Messmethode zur Bestimmung des Wasseraustausches zwischen Kanalisation und Grundwasser, awt Abwassertechnik, Nr. 4
- TREUNERT, E. (2001): Handlungsbedarf bei Kanalisationen aus der Sicht des Landes NRW, Tagung: Entwicklungen in der Kanalisationstechnik, 4.-5.9.2001, Köln
- TREUNERT, E. (2004): Stand der Stickstoffelimination in großen kommunalen Kläranlagen des Landes NRW, 37. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft in Essen, 24.-26.3.2004, GWA-Band 193, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen
- UBA (2003): Raumbezogene Umweltplanung - Sparsamer Umgang mit Grund und Boden, Umweltbundesamt, www.umweltbundesamt.de/rup/flaechensparen.html (28.07.2003)
- UBA (2005): Klimafolgen und Anpassung an den Klimawandel in Deutschland - Kenntnisstand und Handlungsnotwendigkeiten (Hintergrundpapier), Umweltbundesamt, Dessau
- USDA (2004): Agricultural research service, US Department of Agriculture, <http://msa.ars.usda.gov> (06.04.2004)
- UVM (2000): Leitfaden für kostenminimierende Instandhaltung von Kanalnetzen, Ministerium für Umwelt und Verkehr, Baden Württemberg, 1. Auflage, Stuttgart
- UVM (2001): Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg, Ministerium für Umwelt und Verkehr, Baden Württemberg, Stuttgart

- UVM (2003): Kommunales Flächenmanagement, Strategie und Umsetzung, Ministerium für Umwelt und Verkehr des Landes Baden Württemberg, Stuttgart, www.uvm.baden-wuerttemberg.de (21.11.2003)
- VOGT, N. (2005): Vorlesungsmanuskript, Lehrstuhl und Prüfamnt für Grundbau, Bodenmechanik und Felsmechanik der TU München, www.gb.bv.tum.de (30.11.2005)
- VOLLERTSEN, J., HVITVED-JACOBSEN, T. (2003): Exfiltration from gravity sewers: A pilot scale study, *Water Science and Technology* (47), Nr. 4
- WADE, M. G. (2000): Controlling inflow and infiltration in wastewater collection systems, *Convergence* 23.-26.7.2000, Kansas City, USA
- WAGNER, W. (1997): Anteil der Kosten für die Behandlung und Ableitung des Regenwassers im Mischsystem, 4. Saarländischer Abwassertag, 24.-25.09.1997, Saarbrücken
- WARNECKE, M. (1996): Das Problem Fremdwasser und die Ermittlung der Fremdwassermenge, Diplomarbeit am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftsbau, TU Graz, Österreich
- Wasserhaushaltsgesetz (WHG): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts in der Fassung der Bekanntmachung vom 19. August 2002 (BGBl. I Nr. 59 vom 23.08.2002) zuletzt geändert am 25. Juni 2005 durch Artikel 2 des Gesetzes zur Einführung einer Strategischen Umweltprüfung und zur Umsetzung der Richtlinie 2001/42/EG, BGBl. I Nr. 37 vom 28.06.2005
- WEIDELENER, A. (2004): Fremdwassersituation in Baden-Württemberg und Anwendung der Isotopenmethode zur Fremdwasserbestimmung, Kleines Institutstreffen 2004, Hamburg
- WEIDELENER, 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
- WEIDELENER, A., ROTT, U. (2005): Strategien zum Umgang mit dem Fremdwasserproblem - Erfahrungen aus Baden-Württemberg, Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft in Aachen, 9.3.-11.3.2005, GWA-Band 198, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen
- WEISS, G., BROMBACH, H. (2004): Kritische Bewertung der Immissionsbelastungen der Gewässer durch Regenwassereinleitungen, 37. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft in Essen, 24.-26.3.2004, GWA-Band 193, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen
- WEISS, G., MICHELBAACH, S. (1998): Strategie zur wirtschaftlichen Phosphor-Rückhaltung in Regenüberlaufbecken und Kläranlagen, im Auftrag der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee, UFT Umwelt- und Fluid-Technik, Bad Mergentheim
- WELTER (1996): Abwassersammlung und -transport im ländlich strukturierten Gebiet der Eifel, Schlussbericht im Auftrag des MURL NRW, Ingenieurbüro Welter, Aachen
- WENDEHORST, R. (1981): Bautechnische Zeichentafeln, 25. Auflage, Teubner Verlag
- WEYAND, M., WILLEMS, G. (1999): Behandlung von Niederschlagswasser im Mischsystem, *GWF Wasser Abwasser*, Nr. 12
- WHITE, M., JOHNSON, H., ANDERSON, G., MISSTEAR, B. (1997): Control of infiltration to sewers, CIRIA Report 175, London, England
- WISNER, P., SABOURIN, J., COMEAU, A. (1993): Modelling of extraneous flows in sanitary sewers, *Proceedings 6. ICUD*, 12.-17.09.1993, Ontario, Kanada

WITTENBERG, H., BROMBACH, H. (2002): Hydrological determination of groundwater drainage by leaky sewer systems, 3rd International conference on water resources and environment research, Dresden

WOLF, M., MILOJEVIC, N. (2003): Dezentrale Niederschlagswasserentsorgung, KA - Abwasser, Abfall (50), Nr. 5

WTA (1998): Nachträgliches Abdichten erdberührter Bauteile, Merkblatt 4-6-98/D, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V., Zürich

ZANGEMEISTER, C. (1970): Nutzwertanalyse in der Systemtechnik - Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen, 1. Auflage, Wittemann Verlag, München

ZUPPKE, B. (1992): Hydromechanik im Bauwesen, Bauverlag, Wiesbaden

Anhang 1

Aufwand von Maßnahmen zur Reduzierung von Fremdwasser
und zum Schutz vor ansteigendem Grundwasser

Ergänzend zu den in Kapitel 3.3 und 3.5 gemachten Ausführungen sind nachfolgend Anhaltswerte zur Kostenermittlung von Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung und von Maßnahmen zum Schutz vor ansteigendem Grundwasser zusammengetragen.

Sanierung von Undichtigkeiten

Kostenansätze für ausgewählte Sanierungsverfahren sind in Tabelle 32 und Tabelle 33 zusammengestellt. Weitere Angaben zu den Kosten finden sich bei GÜNTHERT und REICHERTER (2001). Die Nennweite eines Kanals hat wesentlichen Einfluss auf die Sanierungskosten, so dass auch die Sanierungskosten entsprechend streuen. Darüber hinaus werden offene Bauverfahren von der Verlegetiefe und der über dem Kanal gelegenen oberirdischen Infrastruktur im Verlauf der Kanaltrasse beeinflusst. Vor einer Sanierung ist der Kanal zu reinigen und zu inspizieren. Für die Sanierung privater Abwasserleitungen geben BOSSELER et al. (2003b) eine Größenordnung von 5000 bis 7000 € an. Die Städte Köln und Göttingen kalkulieren aufgrund ihrer Erfahrung pauschal mit 8000 bis 10000 € für die Sanierung. Die zugehörigen Kosten sind in Tabelle 34 aufgelistet.

Tabelle 32: Kosten ausgewählter Sanierungsverfahren

Sanierungsverfahren		Sanierungskosten		
		Kanäle DN 150 ¹	Kanäle DN 600 ¹	ländlicher Bereich ²
Reparatur	Roboterverfahren	240 €/Stk.	410 €/Stk.	500 €/Muffe 1.250 €/Stutzen
	partielle Injektion	12 €/Stk.	20 €/Stk.	25 - 50 €/Stk.
	Flutungsverfahren	75 €/m	340 €/m	300 - 450 €/m
	partielle Inliner	240 €/m	635 €/m	250 - 500 €/Stk.
Renovierung	Reliningverfahren mit Ringraum (Rohrstrang-, Kurzrohr-, Langrohr- und Noppenbahnrelining)	60 €/m	445 €/m	150 - 250 €/m
	Reliningverfahren ohne Ringraum mit Schlauchrelining	95 €/m	305 €/m	175 - 225 €/m
Erneuerung	offene Bauweise	125 - 185 €/m	365 - 445 €/m	225 - 375 €/m
	geschlossene Bauweise mit Berstlining	150 €/m	900 €/m	250 - 350 €/m
Quellen: ¹ ABWASSERHILFEN (2004) ² MUNLV NRW (1999)				

Tabelle 33: Prognose des Sanierungsaufwand für Abwasserkanäle und -leitungen in Deutschland 2005 bis 2015

Verfahren	Abwasserkanäle		Abwasserleitungen	
	Anteil an den Sanierungsverfahren	Kosten	Anteil an den Sanierungsverfahren	Kosten
Reparatur	30 %	100 €/m	20 %	30 €/m
Renovierung	20 %	200 €/m	30 %	200 €/m
Erneuerung	50 %	700 €/m	50 %	300 €/m
Inspektion	-	5 €/m	-	6 €/m
Quelle: DOHMANN (2004)				

Tabelle 34: Kosten der Inspektion und Sanierung von privaten Leitungsnetzen

Maßnahme	pauschale Kosten bei kleineren Grundstücken (Privatgrundstücke)	spezifische Kosten bei größeren Grundstücken (Liegenschaften und Gewerbenetze)
Reinigung und Inspektion	250 - 400 €	4 - 6 €/m
Dichtheitsprüfung		1,2 - 1,8 €/m
Ingenieurleistung Sanierungsplanung	8.000 - 10.000 €	3 - 5 €/m
Sanierung		100 - 350 €/m
Quellen: FIEDLER (2003), THOMA (2003) sowie PINNEKAMP und STEPKES (2005)		

Abkoppelung von Fehleinleitungen

Für das Auffinden und Abkoppeln von Ringdrägen sowie die gesonderte Ableitung des Dränagewassers in einer neu zu verlegenden Leitung für das Dränagewasser zu einem geeigneten Vorfluter bzw. Regenwasserkanal von etwa 12 m im Freigefälle werden 7500 bis 10000 € je Grundstück veranschlagt. Der Preis variiert je nach Tiefenlage der Kanäle. Wird eine Hebung des Dränagewassers erforderlich, betragen die Investitionskosten einschließlich einer Pumpe ca. 10000 € zzgl. 400 € jährlichen Betriebskosten für Wartung und Strom. Liegt der Ort der Vermischung von Abwasser und Dränagewasser unterhalb der Bodenplatte, werden zusätzlich Kosten in Höhe von 3800 € erforderlich (STEIN et al., 1998b). Die Kosten schließen einen Kontrollschacht und Wiederherstellungsarbeiten auf dem Grundstück mit ein.

Der Aufwand für die Abkoppelung von Fehleinleitungen von Niederschlagswasser ist abhängig davon, ob das nicht behandlungsbedürftige Niederschlagswasser durch Querverbindungen zwischen Regen- und Schmutzwasserkanälen, auf Grundstücken durch fehlangeschlossene Fallleitungen oder im Bereich von Außengebieten in die Schmutzwasserkanalisation gelangt. Bei Abkoppeln von Regenwasserfehleinleitun-

gen trägt der Grundstückseigentümer die für die Umschlussarbeiten an einen nahe gelegenen Vorfluter erforderlichen Kosten in Höhe von etwa 400 €.

Maßnahmen zur Absenkung des Grundwasserspiegels

Die Bau- und Betriebskosten ausgewählter Maßnahmen zur Grundwasserabsenkung sind in Tabelle 35 und Tabelle 36 anhand von Beispielen aufgelistet. Zu den Betriebskosten zählen im Allgemeinen jährliche Stromkosten, eine monatliche Funktionsprüfung und im zweijährigen Turnus Kosten durch Wartung, Kamerabefahrung und Regenerierung. Bei Entwässerungsgräben reicht in der Regel ein Graben mit einer Tiefe von 3 bis 4 m aus. Mit größer werdender Grabentiefe steigen die Investitionskosten. Bei Sickerschlitzen ist die Absenkleistung größer als bei offenen Entwässerungsgräben. Allerdings müssen dem Betrieb und der Nutzungsdauer besondere Beachtung geschenkt werden.

Tabelle 35: Baukosten ausgewählter Maßnahmen zur Grundwasserabsenkung

Maßnahme	Kosten
Hausbrunnen als vertikaler Tiefbrunnen (Leistung 50 m³/h, Bohrung 15 m, D = 320 mm)	12.500 €
vertikaler Tiefbrunnen (Leistung 215 m³/h, Bohrung 30 m, D = 700 mm)	70.000 €
vertikaler Tiefbrunnen (Leistung 400 m³/h) Bohrung 30 m, D = 1.000 mm	115.000 €
Horizontalfilterbrunnen (Leistung 1.200 m³/h, n = 6 Stränge DN 200 á 40 m)	1.600.000 €
Sickerschlitzz mit Sickerrohr (Tiefe 5 m, Breite 150 cm, Sickerrohr DN 300)	1.500 €/lfm
offene Wasserhaltung (Tiefe 3,5 m, Sohlbreite 1 m, Böschung 1:1,5 inkl. Grunderwerb)	1.250 €/lfm
Quelle: DÜLLMANN (2002)	

Tabelle 36: Abschätzung der jährlichen Betriebskosten ausgewählter hydraulischer Maßnahmen zur Grundwasserabsenkung

Maßnahme	Kosten
Hausbrunnen (Leistung 50 m³/h)	14.235 €
Vertikalbrunnen (Leistung 215 m³/h)	32.375 €
Vertikalbrunnen (Leistung 400 m³/h)	68.550 €
Quelle: DÜLLMANN (2002)	

Maßnahmen zur Grundwasserableitung

Eine Abschätzung der Baukosten von Maßnahmen zur Grundwasserableitung ist in Tabelle 37 zusammengestellt. Für die Gewässerunterhaltung kleiner Vorflutgräben ist zweimal jährlich eine Entkrautung für 11 €/lfd. m und alle 5 Jahre eine Sohlgrundräumung für 5 €/lfd. m durchzuführen. Den Unterhaltungsaufwand von Gewässern 2. Ordnung können Gemeinden nach § 92 LWG NRW innerhalb ihres Gemeindegebietes als Gebühren nach §§ 6 und 7 KAG NW auf die Grundstückseigentümer mit Einleitungen in diese Gewässer umlegen (KÖHLER und MEYER, 2003).

Tabelle 37: Abschätzung der Baukosten von Maßnahmen zur Grundwasserableitung

Maßnahme	Kosten
Transportleitung inkl. Verlegung in 0,8 m Tiefe DN 200 PE-HD	200 €/lfm
Transportleitung inkl. Verlegung in 0,8 m Tiefe DN 600 PE oder duktiles Gussrohr	450 €/lfm
Vorflutgraben 3,5 m Tiefe, Böschungen 1:1,5 und Sohlbreite 1 m, inkl. landw. Grunderwerb	1.250 €/lfm
Vorflutgraben 4,5 m Tiefe, Böschungen 1:1,5 und Sohlbreite 1 m, inkl. landw. Grunderwerb	1.900 €/lfm
Quelle: DÜLLMANN (2002)	

Bauwerksabdichtung gegen Grundwasser

Die Kosten für den nachträglichen Einbau einer weißen Wanne liegen für Nutzkeller bei 55000 bis 75000 € und bei höherwertigen Wohnkellern bei 70000 - 125000 € pro Gebäude. Umgerechnet sind dies nach MARHOLD (2002) bei einer schwarzen Wanne etwa 44 €/m² Wandfläche und bei einer weißen Wanne 22 €/m² zzgl. Lüftungseinrichtungen (MARHOLD, 2002).

Anhang 2

Ergänzende Betrachtungen zu Kapitel 4

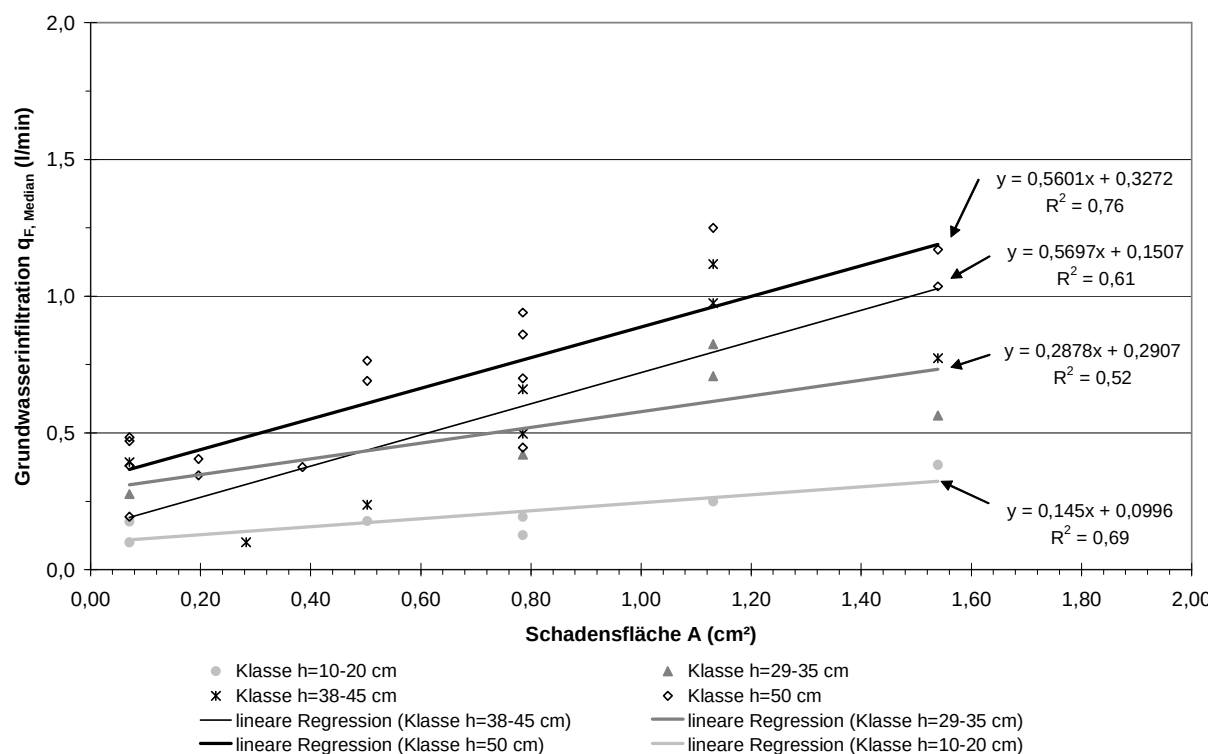


Bild 32: Lineare Abhängigkeiten der Infiltration q_F von der Punktschadensfläche bei verschiedenen hydrostatischen Druckhöhen (Boden II)

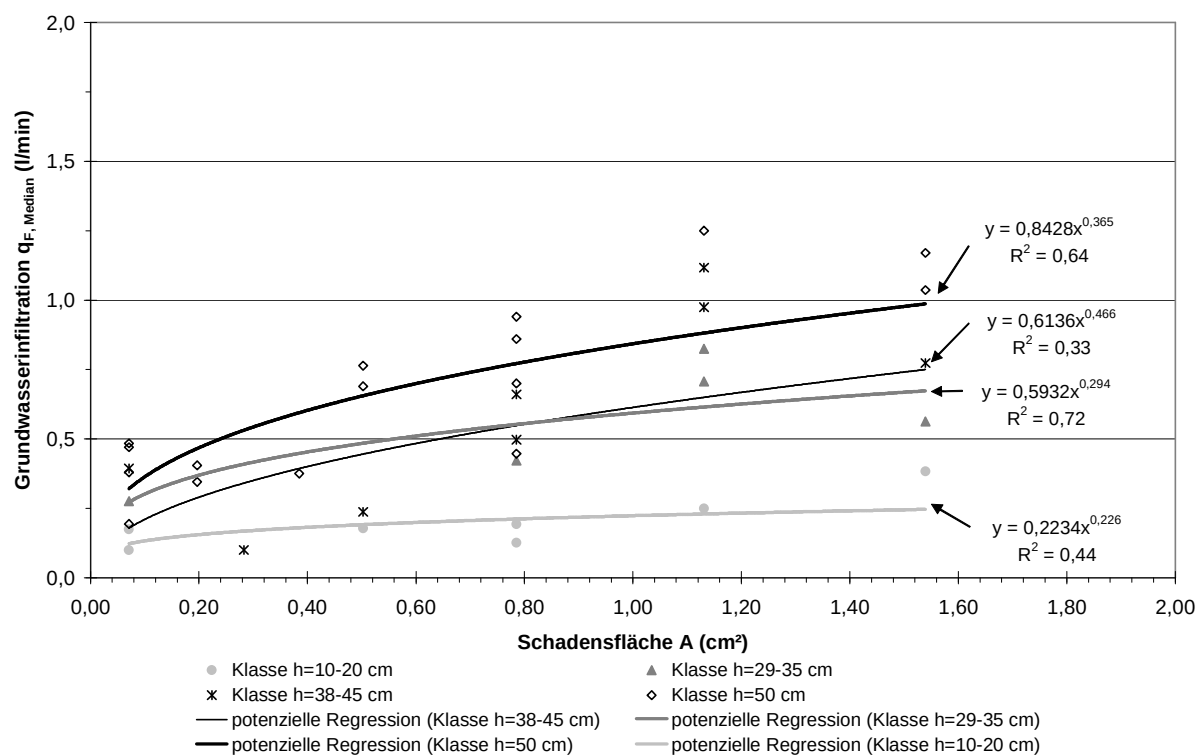


Bild 33: Potenzielle Abhängigkeiten der Infiltration q_F von der Punktschadensfläche bei verschiedenen hydrostatischen Druckhöhen (Boden II)

Anhang 3

Ergänzungen der Nutzwertanalyse aus Kapitel 5
(Stabilitätsbetrachtung)

Tabelle 38: Stabilitätsbetrachtung (Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung - Szenario 1)

Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung (siehe Kapitel 3.3) SZENARIO 1: Mittelgebirge mit Hangstauwasser			Gewichtung	Maßnahmen															
				Beseitigung von Undichtig- keiten im Bereich öffentlicher Kanäle		Beseitigung von Undichtig- keiten im Bereich privater Leitungen		Abkoppeln von Dränagen						Abkoppeln von Gewässern		Abkoppeln von Regenwas- serfehleitungen im Trennsystem		Verschleiß von Schacht- deckelöffnungen des SW- Kanals im Trennsystem	
								a) Fehlschluss vor Verbot in der Satzung und Genehmigungen vorliegend		b) Fehlschluss vor Verbot in der Satzung und keine Genehmi- gung vorliegend		c) Fehlschluss nach Verbot in der Satzung							
				P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN
Bewertungskriterien	Technik	hoher Wirkungsgrad	1	+	1+	+	1+	+	1+	+	1+	+	1+	++	2+	+	1+	+	1+
		geringes Erfordernis separater Ableitungssysteme	1	++	2+	++	2+	--	2-	-	1-	0	0+	--	2-	--	2-	++	2+
	Gesell- schaft	hohe politische Durchsetzbarkeit	1	++	2+	-	1-	--	2-	--	2-	+	1+	+	1+	+	1+	+	1+
		geringer Betroffenheitsgrad der Bürger	1	++	2+	--	2-	-	1-	-	1-	-	1-	+	1+	-	1-	++	2+
		hohe Attraktivität der Maßnahme	1	+	1+	--	2-	--	2-	--	2-	-	1-	++	2+	0	0+	+	1+
	Planung	hohe rechtliche Durchsetzbarkeit	1	++	2+	++	2+	-	1-	0	0+	+	1+	++	2+	++	2+	++	2+
		geringe Genehmigungsschwierigkeiten	1	++	2+	++	2+	--	2-	-	1-	+	1+	-	1-	++	2+	++	2+
		Dauer der Umsetzung	1	-	1-	--	2-	-	1-	-	1-	0	0+	-	1-	+	1+	0	0+
		geringe Komplexität der Planung	1	+	1+	-	1-	0	0+	0	0+	0	0+	--	2-	+	1+	++	2+
	Ökologie	Auswirkungen auf Grund- und Oberflächengewässer	1	+	1+	0	0+	0	0+	0	0+	0	0+	+	1+	++	2+	++	2+
	Ökonomie	geringer Aufwand zur Ortung	1	0	0+	--	2-	-	1-	-	1-	-	1-	-	1-	0	0+	+	1+
		geringer technischer Aufwand	1	-	1-	-	1-	0	0+	0	0+	0	0+	+	1+	+	1+	++	2+
		geringe Kosten	1	--	2-	--	2-	-	1-	-	1-	-	1-	--	2-	0	0+	++	2+
Nutzwert (Gesamtbewertung Summe)				X	10+	X	6-	X	12-	X	9-	X	0+	X	1+	X	8+	X	20+
Rangfolge des Nutzens der Maßnahme (MS)				1		4		6		5		3		2		X		X	
Rangfolge des Nutzens der Maßnahme (TS)				2		6		8		7		5		4		3		1	
Die Bewertung (P = Punkte) stellt die Zielerreichung der zu bewertenden Maßnahme in Bezug auf das Bewertungskriterium dar. Teilnutzen (TN) ergibt sich aus der Multiplikation der Gewichtung mit den Punkten (++ sehr positiv, + positiv, 0 neutral, - negativ, -- sehr negativ)																			

Tabelle 39: Stabilitätsbetrachtung (Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung - Szenario 2)

Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung (siehe Kapitel 3.3) SZENARIO 2: Flachland mit Stauwasser			Gewichtung	Maßnahmen															
				Beseitigung von Undichtig- keiten im Bereich öffentli- cher Kanäle		Beseitigung von Undichtig- keiten im Bereich privater Leitungen		Abkoppeln von Dränagen						Abkoppeln von Gewässern		Abkoppeln von Regenwas- serfehleitungen im Trennsystem		Verschließen von Schacht- deckelöffnungen des SW- Kanals im Trennsystem	
								a) Fehlschluss vor Verbot in der Satzung und Genehmigungen vorliegend		b) Fehlschluss vor Verbot in der Satzung und keine Genehmi- gung vorliegend		c) Fehlschluss nach Verbot in der Satzung							
Bewertungskriterien	Technik	hoher Wirkungsgrad	1	+	1+	+	1+	+	1+	+	1+	+	1+	++	2+	+	1+	-	1-
		geringes Erfordernis separater Ableitungssysteme	1	++	2+	++	2+	--	2-	-	1-	0	0+	--	2-	--	2-	++	2+
	Gesell- schaft	hohe politische Durchsetzbarkeit	1	++	2+	-	1-	--	2-	--	2-	+	1+	+	1+	+	1+	+	1+
		geringer Betroffenheitsgrad der Bürger	1	++	2+	--	2-	-	1-	-	1-	-	1-	+	1+	-	1-	++	2+
		hohe Attraktivität der Maßnahme	1	+	1+	--	2-	--	2-	--	2-	-	1-	++	2+	0	0+	+	1+
	Planung	hohe rechtliche Durchsetzbarkeit	1	++	2+	++	2+	-	1-	0	0+	+	1+	++	2+	++	2+	++	2+
		geringe Genehmigungsschwierigkeiten	1	++	2+	++	2+	--	2-	-	1-	+	1+	-	1-	++	2+	++	2+
		Dauer der Umsetzung	1	-	1-	--	2-	-	1-	-	1-	0	0+	-	1-	+	1+	0	0+
		geringe Komplexität der Planung	1	+	1+	-	1-	0	0+	0	0+	0	0+	--	2-	+	1+	++	2+
	Ökologie	Auswirkungen auf Grund- und Oberflächengewässer	1	-	1-	--	2-	--	2-	--	2-	--	2-	+	1+	++	2+	++	2+
	Ökonomie	geringer Aufwand zur Ortung	1	+	1+	-	1-	-	1-	-	1-	-	1-	0	0+	+	1+	+	1+
		geringer technischer Aufwand	1	-	1-	-	1-	0	0+	0	0+	0	0+	+	1+	+	1+	++	2+
		geringe Kosten	1	--	2-	--	2-	-	1-	-	1-	-	1-	--	2-	0	0+	++	2+
Nutzwert (Gesamtbewertung Summe)				9+		7-		14-		11-		2-		2+		9+		18+	
Rangfolge des Nutzens der Maßnahme (MS)				1		4		6		5		3		2					
Rangfolge des Nutzens der Maßnahme (TS)				2		6		8		7		5		4		2		1	
Die Bewertung (P = Punkte) stellt die Zielerreichung der zu bewertenden Maßnahme in Bezug auf das Bewertungskriterium dar. Teilnutzen (TN) ergibt sich aus der Multiplikation der Gewichtung mit den Punkten (++ sehr positiv, + positiv, 0 neutral, - negativ, -- sehr negativ)																			

Tabelle 40: Stabilitätsbetrachtung (Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung - Szenario 3)

Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung (siehe Kapitel 3.3) SZENARIO 3: Flachland mit Grundwasserleiter			Gewichtung	Maßnahmen															
				Beseitigung von Undichtig- keiten im Bereich öffentlicher Kanäle		Beseitigung von Undichtig- keiten im Bereich privater Leitungen		Abkoppeln von Dränagen						Abkoppeln von Gewässern		Abkoppeln von Regenwas- serfehleinleitungen im Trennsystem		Verschließen von Schacht- deckelöffnungen des SW- Kanals im Trennsystem	
								a) Fehlschluss vor Verbot in der Satzung und Genehmigungen vorliegend		b) Fehlschluss vor Verbot in der Satzung und keine Genehmi- gung vorliegend		c) Fehlschluss nach Verbot in der Satzung							
				P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN
Bewertungskriterien	Technik	hoher Wirkungsgrad	1	++	2+	++	2+	-	1-	-	1-	-	1-	+	1+	+	1+	-	1-
		geringes Erfordernis separater Ableitungssysteme	1	++	2+	++	2+	--	2-	-	1-	0	0+	--	2-	--	2-	++	2+
	Gesell- schaft	hohe politische Durchsetzbarkeit	1	++	2+	-	1-	--	2-	--	2-	+	1+	+	1+	+	1+	+	1+
		geringer Betroffenheitsgrad der Bürger	1	++	2+	--	2-	-	1-	-	1-	-	1-	+	1+	-	1-	++	2+
		hohe Attraktivität der Maßnahme	1	+	1+	--	2-	--	2-	--	2-	-	1-	++	2+	0	0+	+	1+
	Planung	hohe rechtliche Durchsetzbarkeit	1	++	2+	++	2+	-	1-	0	0+	+	1+	++	2+	++	2+	++	2+
		geringe Genehmigungsschwierigkeiten	1	++	2+	++	2+	--	2-	-	1-	+	1+	-	1-	++	2+	++	2+
		Dauer der Umsetzung	1	-	1-	--	2-	-	1-	-	1-	0	0+	-	1-	+	1+	0	0+
		geringe Komplexität der Planung	1	+	1+	-	1-	0	0+	0	0+	0	0+	--	2-	+	1+	++	2+
	Ökologie	Auswirkungen auf Grund- und Oberflächengewässer	1	-	1-	0	0+	0	0+	0	0+	0	0+	-	1-	++	2+	++	2+
	Ökonomie	geringer Aufwand zur Ortung	1	+	1+	-	1-	-	1-	-	1-	-	1-	0	0+	+	1+	+	1+
		geringer technischer Aufwand	1	-	1-	-	1-	0	0+	0	0+	0	0+	+	1+	+	1+	++	2+
		geringe Kosten	1	--	2-	--	2-	0	0+	0	0+	0	0+	-	1-	0	0+	++	2+
Nutzwert (Gesamtbewertung Summe)				X	10+	X	4-	X	13-	X	10-	X	1-	X	0+	X	9+	X	18+
Rangfolge des Nutzens der Maßnahme (MS)				1		4		6		5		3		2		X		X	
Rangfolge des Nutzens der Maßnahme (TS)				2		6		8		7		5		4		3		1	
Die Bewertung (P = Punkte) stellt die Zielerreichung der zu bewertenden Maßnahme in Bezug auf das Bewertungskriterium dar. Teilnutzen (TN) ergibt sich aus der Multiplikation der Gewichtung mit den Punkten (++ sehr positiv, + positiv, 0 neutral, - negativ, -- sehr negativ)																			

Tabelle 41: Stabilitätsbetrachtung (Maßnahmen zum Schutz vor ansteigendem Grundwasser)

Maßnahmen zum Schutz vor ansteigendem Grundwasser (siehe Kapitel 3.5)			Gewichtung	Grundwasserabsenkende Maßnahmen										Bautechnik			
				offene Wasserhaltung (Entwässerungsgräben)		horizontale Sickerleitungen		Dränagesysteme		Horizontalfilterbrunnen		vertikale Tiefbrunnen		Bau einer nachträgli- chen schwarzen, weißen oder braunen Wanne		Aufgabe eines Kellers und Verfüllen mit Däm- mer	
			P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	
Bewertungskriterien	Technik	hoher Wirkungsgrad	1	-	1-	+	1+	0	0+	++	2+	++	2+	++	2+	++	2+
		geringes Erfordernis separater Ableitungssysteme	1	+	1+	+	1+	+	1+	-	1-	-	1-	++	2+	++	2+
		hohe Nutzungs- bzw. Betriebsdauer	1	+	1+	-	1-	-	1-	0	0+	0	0+	++	2+	++	2+
		hohe Betriebssicherheit	1	+	1+	+	1+	+	1+	0	0+	0	0+	+	1+	0	0+
	Gesellschaft	hohe politische Durchsetzbarkeit	1	++	2+	+	1+	+	1+	-	1-	-	1-	--	2-	--	2-
		geringer Betroffenheitsgrad der Bürger	1	+	1+	+	1+	+	1+	0	0+	++	2+	--	2-	--	2-
		hohe Attraktivität der Maßnahme	1	++	2+	+	1+	+	1+	+	1+	+	1+	--	2-	--	2-
	Planung	hohe rechtliche Durchsetzbarkeit	1	+	1+	0	0+	0	0+	-	1-	--	2-	-	1-	--	2-
		geringe Genehmigungsschwierigkeiten	1	--	2-	-	1-	-	1-	-	1-	-	1-	+	1+	+	1+
		Dauer der Umsetzung	1	+	1+	0	0+	0	0+	--	2-	-	1-	--	2-	-	1-
	Ökonomie	geringer technischer Aufwand	1	+	1+	0	0+	0	0+	--	2-	--	2-	--	2-	--	2-
		geringe Kosten	1	+	1+	0	0+	0	0+	--	2-	--	2-	--	2-	-	1-
	Nutzwert (Gesamtbewertung Summe)			⊗	10+	⊗	4+	⊗	3+	⊗	11-	⊗	8-	⊗	5-	⊗	3-
	Rangfolge des Nutzens der Maßnahme			1		2		3		7		6		5		4	
Die Bewertung (P = Punkte) stellt die Zielerreichung der zu bewertenden Maßnahme in Bezug auf das Bewertungskriterium dar. Teilnutzen (TN) ergibt sich aus der Multiplikation der Gewichtung mit den Punkten (++ sehr positiv, + positiv, 0 neutral, - negativ, -- sehr negativ)																	

Tabelle 42: Stabilitätsbetrachtung (Maßnahmen zur Ableitung von Grund- und Niederschlagswasser)

Schaffung von Ableitungssystemen für Grund- und Niederschlagswasser (siehe Kapitel 3.5)			Gewichtung	Maßnahmen									
				offene Ableitungssysteme (Gräben)		Bau eines separaten Grundwasserkanals		Einleitung in einen Regenwasserkanal (nur im Trennsystem)		Nutzung des Mischwasserka- nals als Dränage- und Re- genwasserkanal sowie Bau eines separaten Schmutzwas- serkanals (nur im Mischsys- tem)		dezentrale Grundwassernut- zung (in Verbindung mit einer erforderlichen Grundwasser- speicherung)	
				P	TN	P	TN	P	TN	P	TN	P	TN
Bewertungskriterien	Technik	hohe Nutzungs- bzw. Betriebsdauer	1	0	0+	-	1-	+	1+	0	0+	-	1-
		hohe Betriebssicherheit	1	+	1+	+	1+	++	2+	+	1+	-	1-
	Gesellschaft	hohe politische Durchsetzbarkeit	1	+	1+	-	1-	++	2+	-	1-	--	2-
		geringer Betroffenheitsgrad der Bürger	1	0	0+	0	0+	0	0+	-	1-	-	1-
		hohe Attraktivität der Maßnahme	1	++	2+	0	0+	+	1+	-	1-	--	2-
	Planung	hohe rechtliche Durchsetzbarkeit	1	+	1+	+	1+	+	1+	0	0+	-	1-
		geringe Genehmigungsschwierigkeiten	1	--	2-	-	1-	+	1+	-	1-	-	1-
		Dauer der Umsetzung	1	0	0+	-	1-	+	1+	-	1-	-	1-
		geringe Komplexität der Planung	1	+	1+	-	1-	+	1+	-	1-	--	2-
	Ökologie	Auswirkungen auf Grund- und Oberflächengewässer	1	++	2+	-	1-	+	1+	-	1-	+	1+
	Ökonomie	geringer technischer Aufwand	1	0	0+	-	1-	+	1+	0	0+	-	1-
geringe Kosten		1	0	0+	-	1-	+	1+	-	1-	-	1-	
Nutzwert (Gesamtbewertung Summe)					6+		6-		13+		7-		13-
Rangfolge des Nutzens der Maßnahme (MS)				1		2				3		4	
Rangfolge des Nutzens der Maßnahme (TS)				2		3		1				4	
Die Bewertung (P = Punkte) stellt die Zielerreichung der zu bewertenden Maßnahme in Bezug auf das Bewertungskriterium dar. Teilnutzen (TN) ergibt sich aus der Multiplikation der Gewichtung mit den Punkten (++ sehr positiv, + positiv, 0 neutral, - negativ, -- sehr negativ)													

Jörg André Hennerkes

Westpreußenstraße 41, 45259 Essen

Lebenslauf

geboren am: 09.07.1973 in Essen

Familienstand: ledig

Ausbildung

1980 - 1984	Besuch der Grundschule St. Georg, Essen
1984 - 1993	Besuch des Helmholtz-Gymnasiums, Essen, dort Abitur
10/1994 - 3/2000	Studium des Bauingenieurwesens an der RWTH Aachen
März 2000	Abschluss als Diplom-Bauingenieur

Wehrersatzdienst

1993 - 1994	Wehrersatzdienst in der Physiotherapie des Krankenhauses St. Joseph, Essen-Kupferdreh
-------------	---

Beruflicher Werdegang

11/1999 - 1/2000	Bauüberwachung, Emschergenossenschaft, Essen
04/2000 - 04/2006	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen
seit Mai 2006	Planungsabteilung Ruhrverband / Ruhr-Wasserwirtschaftsgesellschaft mbH, Essen

studienbegleitende Praktika

2/1995 - 4/1995	Dyckerhoff & Widmann AG, Essen (2 Monate)
3/1997	Dyckerhoff & Widmann AG, Essen (1 Monat)
3/1998	Lippeverband, Essen (1 Monat)

Essen, den 31. Oktober 2006