

Vorarbeiten für die Lokalisierung von Hauptfremdwasser- quellen

am Beispiel der Gemeinde Stattegg

Preliminary Work for the Location of Extraneous Water Sources

based on the Case Study Stattegg

Masterarbeit zum Erwerb des
akademischen Titels Diplomingenieur der
Studienrichtung Bauingenieurwissenschaften

Birkan Asik

Verfasst am Institut für
Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau
der Technischen Universität Graz

Betreuer der Masterarbeit:
Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Günter Gruber

Mitbetreuender Assistent:
DDipl.-Ing. Johannes Leimgruber, BSc

Graz, September 2014

Kontakt:
Birkan Asik
asikbirkan@gmx.at

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Statutory Declaration

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, am 03. 10. 2014

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Asik Birkan', written over a horizontal dotted line.

(Birkan Asik)

Danksagung

An dieser Stelle möchte mich bei allen Personen bedanken, die mich während meines Studiums nicht nur unterstützt haben, sondern auch dazu beigetragen haben, dass ich eine wunderbare Studienzeit in Graz verbrachte.

Ein besonderer Dank gilt Herrn Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Günter Gruber und DDipl.-Ing. Johannes Leimgruber, BSc für die perfekte Betreuung der Masterarbeit. Ihre ständige Verfügbarkeit und ihr bedingungsloser Einsatz die Masterarbeit voranzutreiben, muss an dieser Stelle erwähnt werden.

Ein großer Dank gilt Herrn Ing. Karl Zimmermann (Bürgermeister der Gemeinde Stattegg) und Wolfgang Schneider, die mir ermöglicht haben, mich mit diesem interessanten Thema zu befassen und mir vielerlei Unterlagen bereitgestellt haben.

Der größte Dank geht an meinen Eltern Habibe und Ismail, die mir überhaupt dieses Studium ermöglicht haben und immer mit ganzer Unterstützung (finanziell und moralisch) hinter mir standen.

Bedanken möchte ich mich auch bei meinen Geschwistern Hava, Sercan und meinem Schwager Özgür, welche mich durchgehend motiviert und mir ständig Mut zugesprochen haben.

Ein liebevolles Dankeschön an meine Freundin Tugba, die mich ständig unterstützte und großes Verständnis für die kurzen Wochenenden zeigte.

Bedanken möchte ich mich auch bei meinen Freunden Kaan, Orhan, Ugur, Sinan und Muhammed², von denen ich in den letzten Jahren die richtige Bedeutung von einer „Freundschaft“ im wahren Sinn gelernt habe.

Zuletzt möchte ich mich bei meinen Studienkollegen für die abwechslungsreichen Stunden während meines Studiums und für deren Begleitungen bedanken.

Kurzfassung

Fremdwasser ist nach ÖNORM EN 752 ein unerwünschter Abfluss in einem Entwässerungssystem. Das ÖWAV Regelblatt 11 unterscheidet dabei zwischen einem Fremdwasser, das vorwiegend über das Grundwasser und Kanalundichtigkeiten in die Kanalisation eindringt, und, speziell bei Trennsystemen, einem unvermeidbaren Regenwasserabfluss, der unplanmäßig entweder über Schachtöffnungen oder Fehlan-schlüsse in die Kanalisation gelangt. Dies kann in Schmutzwasserkanälen von Trenn-systemen insbesondere bei starken Regenereignissen zu hydraulischen Überlastun-gen des Kanals führen, welche in weiterer Folge zahlreiche weitere Probleme im Ent-wässerungssystem verursachen können.

Aufgrund der dadurch entstehenden hohen finanziellen Belastungen der Kommunen sind in den letzten Jahren viele Untersuchungen hinsichtlich des Fremdwassers in den Abwasserkanälen durchgeführt worden. Das Hauptaugenmerk lag und liegt dabei in der Reduzierung des Fremdwasseraufkommens durch geeignete technische Maßnah-men.

Im ersten Teil dieser Masterarbeit werden die theoretischen Grundlagen zusammen-gefasst. Es werden dabei die möglichen Ursachen für das Auftreten des Fremdwass-ers aufgezeigt, dessen vielfältigen Auswirkungen dargestellt und die Methoden für die Lokalisierung von Fremdwasserquellen beschrieben. Des Weiteren wird eine syste-matische Vorgehensweise zur Fremdwasserlokalisierung und -reduzierung vorgestellt.

Im zweiten Teil der Masterarbeit wurden die theoretischen Ausführungen für die Loka-lisierung von Hauptfremdwasserquellen anhand eines Fallbeispiels in der Gemeinde Stattegg angewandt. Das Ziel war hierbei, die Gemeinde bei den Vorarbeiten zu einer geplanten Messkampagne zu unterstützen. Hierzu wurden das zur Verfügung gestellte Datenmaterial gesichtet und ausgewertet, das Einzugsgebiet analysiert und schluss-endlich eine Empfehlung für mögliche Messpunkte und mögliche Messsysteme aus-gearbeitet.

Abstract

According to ÖNORM EN 752 extraneous water is unwanted flow in drainage systems. The Austrian guideline ÖWAV Regelblatt 11 distinguishes between extraneous water where mainly groundwater is penetrating into not watertight sewage system and between unwanted rainwater which is entering into foul sewers of separate systems by manholes and faulty connections. It can cause a hydraulic overload of the sewer system especially during rainy periods, which in turn causes many other (unexpected) problems in the drainage system.

Extraneous water causes high costs for the municipalities. As a result, during the last years investigations on extraneous water in the sewer systems have become very important. The main focus has been on the reduction of extraneous water using suitable technical methods.

In the first part of this master thesis, the theoretical principles are summarized. Possible causes for the occurrence of extraneous water in the sewer system, its various effects and methods for the localization of extraneous water sources are discussed. Furthermore, this thesis presents a systematic approach for the localization and reduction of extraneous water.

In the second part of the master thesis the theoretical principles were applied on the case study of Stattegg. The aim was to support the municipality of Stattegg during their preliminary work for a planned measurement campaign. Therefore, provided data was reviewed as well as analyzed and finally a recommendation for possible measuring points and measuring systems was given.

Gleichheitsgrundsatz

Aus Gründen der Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit darauf verzichtet, geschlechtsspezifische Formulierungen zu verwenden. Jedoch möchte ich ausdrücklich festhalten, dass die bei Personen verwendeten maskulinen Formen für beide Geschlechter zu verstehen sind.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
1.1	Aufgabenstellung und Zielsetzung.....	10
2	Grundlagen	11
2.1	Begriffsdefinitionen.....	11
2.1.1	Fremdwasser	11
2.1.2	Fremdwasseranteil (FWA)	12
2.1.3	Fremdwasserzuschlag (FWZ).....	12
2.1.4	Fremdwasserabflussspende (q_F)	13
2.1.5	Fremdwasserabfluss bei Trockenwetter Q_F	13
2.1.6	Unvermeidbarer Regenwasserabfluss in Schmutzwasserkanälen von Gebieten mit Trennkanalisation $Q_{R,Tr}$	14
2.2	Ursachen und Auftreten von Fremdwasser	14
2.3	Variabilität und Abflusscharakteristik von Fremdwasser.....	19
2.3.1	Variabilität	19
2.3.2	Abflusscharakteristik	25
2.4	Auswirkungen von Fremdwasser.....	27
2.4.1	Auswirkungen auf die Kanalisation und Pumpwerke	27
2.4.2	Auswirkungen auf Entlastungsbauwerke	28
2.4.3	Retentionsbodenfilter (RBF).....	30
2.4.4	Auswirkungen auf die Abwasserreinigung (ARA).....	31
2.4.5	Auswirkungen auf oberirdische Gewässer und Grundwasser.....	33
2.5	Entstehende Kosten	34
3	Vorgehensweise zur Fremdwasserreduzierung	36
3.1	Feststellung des Handlungsbedarfs	39
3.1.1	Indizien bei Kläranlagen.....	39
3.1.2	Indizien bei Mischwasserbehandlungsanlagen	40
3.1.3	Indizien bei Kanalisationen und Pumpwerken.....	41
3.2	Vertiefende Untersuchungen und Festlegung von Fremdwasserschwerpunktgebieten	42
3.2.1	Analyse des Einzugsgebiets	42

3.2.2	Weitergehende Untersuchungen	44
3.3	Fremdwasserbestimmung	47
3.3.1	Deskriptive Ansätze	48
3.3.2	Deterministische Ansätze	59
3.4	Lokalisierung und Quantifizierung der Fremdwasserquellen	68
3.4.1	Grundwasserbedingte Fremdwasserquellen im Misch- und Schmutzwasserkanal	69
3.4.2	Niederschlagsbedingtes Fremdwasser im Schmutzwasserkanal der Trennkanalisation	70
3.5	Fremdwasserreduzierung und flankierende Maßnahmen	73
3.5.1	Aufstellung eines Maßnahmenplanes	73
3.5.2	Technische Maßnahmen zur Reduzierung von Fremdwasser	75
3.5.3	Folgen der Herausnahme der grundwasserbedingten Fremdwasser aus Kanalnetzen.....	76
3.6	Erfolgskontrolle.....	78
3.6.1	Direkter Niederschlagsabfluss im Schmutzwasserkanal.....	78
3.6.2	Grundwasserbedingtes Fremdwasser	78
3.7	Präventivmaßnahmen zur Vermeidung von Fremdwasser	78
3.7.1	Entwässerungssysteme mit Dränagewasserableitung.....	78
3.8	Fremdwassersanierung: Fallbeispiel in Österreich	79
3.8.1	Zustand der Kanalisation	80
3.8.2	Ergebnisse	82
4	Fallbeispiel Gemeinde Stattegg	83
4.1	Ausgangssituation	83
4.2	Handlungsbedarf	86
4.2.1	Messwerte am Übergabeschacht.....	89
4.2.2	Indizien bei Pumpwerken.....	98
4.2.3	Beurteilung des Handlungsbedarfs	102
4.3	Vertiefende Untersuchungen und Festlegung von Fremdwasserschwerpunkten.....	103
4.3.1	Analyse des Einzugsgebiets	103
4.3.2	Weitergehende Untersuchungen: Messprogramm.....	106
4.4	Wirtschaftlichkeitsabschätzung.....	110

5	Zusammenfassung und Ausblick	115
----------	---	------------

1 Einleitung

Die Gemeinde Stattegg liegt im Nordosten der steirischen Landeshauptstadt Graz und besitzt einen ländlichen Siedlungscharakter. Sie kann als ein Vorort von Graz mit vereinzelt Klein- und Mittelbetrieben beschrieben werden. Die Anzahl der Einwohner betrug im Jahr 2007 etwa 2800 (Quelle: www.stattegg.eu).

Die Abwasserentsorgung der Grazer Umlandgemeinde erfolgt über ein modifiziertes Trennsystem. Das Kanalsystem besteht nur aus Schmutzwasserkanälen, über welche die anfallenden Schmutzwässer abgeleitet werden. Ein eigener Regenwasserkanal ist nicht vorhanden. Die anfallenden Regenwässer werden nach Möglichkeit entweder vor Ort zur Versickerung gebracht oder, falls möglich, in geeignete Vorfluter eingeleitet.

Der Schmutzwasserkanal mündet an der Ortsgrenze zu Graz in das Kanalsystem der „Holding Graz – Kommunale Dienstleistungen GmbH“ ein. An der Übergabestelle an das Grazer Kanalnetz befinden sich ein Venturigerinne und ein Ultraschall-Höhenstandsensoren. Der Messbereich dieses Durchflusssystems ist mit ca. 25 l/s begrenzt.

Für die Einleitung des Abwassers zahlt die Gemeinde Stattegg an die Holding Graz derzeit eine mengenabhängige Gebühr von 1,05 €/m³.

Die Messungen am Übergabepunkt des Kanalsystems von Stattegg an das Kanalnetz von Graz weisen insbesondere bei Regenwetter auf ein hohes Fremdwasseraufkommen hin. Die durchschnittlich zu erwartenden Abflussmengen von 3- 4 l/s werden dabei häufig überschritten. Die Messungen bei Niederschlagsereignissen zeigen stark erhöhte Werte und einen langen Nachlauf, welcher auf eine Dränagewirkung des Kanalsystems und Eintritt von Grund- und Hangwasser hinweist.

Die Gemeinde Stattegg plant Durchflusssmessungen im Frühjahr 2014, um die Fremdwasserschwerpunktgebiete im gesamten Kanalnetz zu identifizieren. Nach Identifizierung dieser Gebiete soll eine gezielte Sanierung stattfinden, um das Fremdwasseraufkommen des Netzes zu minimieren.

1.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Im Zuge der Masterarbeit sollen für die Durchführung der für das Frühjahr 2014 geplanten Messkampagne grundlegende Vorarbeiten geleistet und Empfehlungen für die Durchführung erarbeitet werden.

Dabei wird zunächst auf die grundsätzliche Vorgehensweise zur Identifikation von Fremdwasserquellen eingegangen und es werden Methoden zur Fremdwasserbestimmung dargestellt.

Anschließend erfolgt eine Analyse des Kanalsystems der Gemeinde Stattegg und des Einzugsgebietes. Hierbei werden vorhandene Messdaten und weiteres Datenmaterial in die Betrachtungen miteinbezogen. Auf Basis dieser Analysen wird ein mögliches Messprogramm erarbeitet. Das Messprogramm beinhaltet aussagekräftige Messpunkte, welche die hydraulischen Verhältnisse berücksichtigen und auf einfache Art durchführbar sind. Mögliche Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung und entsprechende Sanierungsmöglichkeiten werden in der Masterarbeit ebenfalls beschrieben.

2 Grundlagen

2.1 Begriffsdefinitionen

2.1.1 Fremdwasser

In technischen Regelwerken finden sich für den Begriff Fremdwasser mehrere und teilweise unterschiedliche Definitionen.

Nach ÖNORM B2500 (2008), DIN 4045 (2003) und DWA-A 118 (2006) ist Fremdwasser in die Kanalisation eindringendes Grundwasser (Undichtigkeiten), unerlaubt über Fehllanschlüsse eingeleitetes Dränagewasser, sowie einem Schmutzwasserkanal zufließendes Oberflächenwasser (z. B. Regenwasser über Fehllanschlüsse oder Schachtabdeckungen).

Die europäische Norm ÖNORM EN 752 (2008) besagt, dass Fremdwasser ein unerwünschter Abfluss in einem Entwässerungssystem ist.

Das Fremdwasser wird im Rahmen des Merkblattes DWA-M 182 (2012) als *„das in Abwasseranlagen abfließende Wasser bezeichnet, welches weder durch häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch in seinen Eigenschaften verändert ist noch bei Niederschlägen von bebauten oder befestigten Flächen gesammelt und bestimmungsgemäß eingeleitet wurde.“* Des Weiteren erfordert das Fremdwasser aufgrund seiner Qualität keine Abwasserbehandlung, erschwert diese und belastet sie unnötig, weshalb es zu vermeiden ist.

Gujer (2006) bezeichnet jenes Abwasser als Fremdwasser, welches im Kanalnetz stetig fließt, aber nicht mit Schmutzstoffen belastet ist: Bachwasser, Dränagewasser, laufende Brunnen, Kühlwasser, überlaufende Quellwasserspeicher etc.

Das unerwünschte Fremdwasser definiert Kainz et al. (2010) als jeden unerwünschten Abfluss in Entwässerungssystemen bei Trockenwetterbedingungen, z. B. Grundwasser, welches durch undichte Stellen in die Kanäle eindringt.

Fischer (1990) beschreibt das Fremdwasser als einen zusammenfassenden Begriff für Wasser, das nicht in einen Abwasserkanal gehört und auch nicht in einer Kläranlage behandelt werden muss.

Nach Pfeiff (1989) sind Fremdwässer als Wasserabflüsse definiert, die in dem jeweiligen Kanalsystem nicht erwünscht sind, da sie dieses und die Abwasserreinigung unnötig belasten.

Eine weitere Definition nach Kauch (1996) lautet: *„Fremdwasser ist das Wasser, das nicht in den Kanal gehört, da es sauberer ist als der Ablauf aus der Kläranlage, weshalb es unsinnig ist, dieses der Kläranlage zuzuführen.“*

Nach Brombach (2013) ist Fremdwasser vorwiegend sauberes Grundwasser, das durch undichte Kanäle eindringt, oder Regenwasser, welches ungewollt den Weg in die Schmutzwasserkanäle der Trennentwässerung findet.

Eine weitere Definition nach Hennerkes (2006) lautet: „*Fremdwasser entstammt den Zuflüssen von Grundwasser über undichte Kanäle und Leitungen sowie Fehlleitungen von Dränagewasser, Niederschlagswasser und sonstigem nicht behandlungsbedürftigem Wasser (Kühlwasser).*“

Das Fremdwasser (Q_F) kann – wie Scaria (2002) in seiner Diplomarbeit angibt – als eine eigenständige, unabhängige Größe angegeben werden. Die Angabe kann absolut (l/s), als Fremdwasseranteil (FWA), als Fremdwasserzuschlag (FWZ) oder als Fremdwasserabflussspende erfolgen. Da meistens keine Messungen vorliegen und der Fremdwasseranfall zumeist geschätzt werden muss, wird bevorzugt mit Zuschlägen gearbeitet. Durch diese Vorgehensweise wird der Vorteil einer einfachen Berücksichtigung mit geringem Ermittlungsaufwand genutzt.

2.1.2 Fremdwasseranteil (FWA)

Der Begriff Fremdwasseranteil bezieht sich auf den Trockenwetterabfluss und ist bei einer prozentualen Darstellung immer kleiner als 100 %. Diese Bezugsgröße wird immer dann verwendet, wenn das Fremdwasseraufkommen aus konkreten Abflussmessungen ermittelt wird (Pecher, 1998).

$$\text{FWA} = \frac{Q_F}{Q_T + Q_F} * 100\%$$

Gleichung 1

Q_T ... Trockenwetterabfluss

Q_F ... Fremdwasserabfluss

FWA ... Fremdwasseranteil

2.1.3 Fremdwasserzuschlag (FWZ)

Der Fremdwasserzuschlag wird für die Bemessung von Kanälen, Becken, Pumpwerken und Kläranlagen verwendet. Er gibt ein Vielfaches des Schmutzwasserabflusses an und kann bei einer prozentualen Darstellung den Wert von 100 % überschreiten (Pecher, 1998).

$$\text{FWZ} = \frac{Q_F}{Q_S} * 100\%$$

Gleichung 2

Q_S ... Schmutzwasserabfluss
 Q_F ... Fremdwasserabfluss
 FZA ... Fremdwasserzuschlag

Eine gegenseitige Umrechnung ist mit den folgenden Gleichungen möglich:

$$FWA = 1 - \frac{1}{FWZ + 1} \quad \text{bzw.} \quad FWZ = \frac{1}{1 - FWA} - 1 \quad \text{Gleichung 3}$$

2.1.4 Fremdwasserabflussspende (q_F)

Wenn der Fremdwasseranfall absolut dargestellt werden soll, wird die Angabe der Fremdwasserspende genutzt. Sie setzt das Fremdwasseraufkommen in einen Bezug zur Fläche, zu Einwohnerwerten oder zur Kanallänge. Die Einheit der Fremdwasserabflussspende ist $l/(s \cdot ha_{red})$, $l/(E \cdot d)$ oder $l/(EW \cdot d)$.

ha_{red} ... reduzierte Einzugsfläche

E ... Einwohner

EW ... Einwohnerwert

Mit diesen Begriffsbestimmungen ist es möglich, die tatsächliche Fremdwassermenge im Abwasseranfall eindeutig zu beschreiben. Im Arbeitsblatt DWA-A 118 wird für die Dimensionierung des Schmutzwasserkanals eines Trennsystems ein Fremdwasserzuschlag von 100 % empfohlen. Damit wird in die Schmutzwasserleitung eindringendes Fremdwasser berücksichtigt.

2.1.5 Fremdwasserabfluss bei Trockenwetter Q_F

Der Fremdwasserabfluss bei Trockenwetter ist in den meisten Fällen auf Grundwasser zurückzuführen, welches beispielsweise über Undichtigkeiten in die Kanäle eindringt. Bei Neuerschließungen wird empfohlen, für den Fremdwasserabfluss einen einwohnerspezifischen Wert von $q_F = 1 \text{ l/(s} \cdot 1000 \text{ E)}$ anzusetzen (ÖWAV-Regelblatt 11, 2008).

$$Q_F = \frac{q_F \cdot E}{1000} \quad \text{Gleichung 4}$$

2.1.6 Unvermeidbarer Regenwasserabfluss in Schmutzwasserkanälen von Gebieten mit Trennkanalisation $Q_{R,Tr}$

Bei der Bemessung von Schmutzwasserkanälen wird zusätzlich zu dem bei Trockenwetter abfließenden Fremdwasser ein zusätzlicher Ansatz für eindringendes Regenwasser getroffen.

Dieser Zuschlag hängt von den örtlichen Gegebenheiten ab und kann ein Mehrfaches des Schmutzwasserabflusses betragen. Er ist bei Neuerschließungen zusätzlich zum Fremdwasserabfluss bei Trockenwetter durch einen einwohnerspezifischen Wert von bis zu $q_{R,Tr} = 2 \text{ l/(s} \cdot 1000 \text{ E)}$ zu berücksichtigen (ÖWAV-Regelblatt 11, 2009).

$$Q_{R,Tr} = \frac{q_{R,Tr} \cdot E}{1000} \quad \text{Gleichung 5}$$

2.2 Ursachen und Auftreten von Fremdwasser

Die wichtigsten Ursachen von Fremdwasser in Misch- und Trennsystemen sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1: Fremdwasserkomponente in Entwässerungssystemen (DWA-M 182, 2012)

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

Das vom Grundwasser stammende Fremdwasser wird als **grundwasserbedingtes Fremdwasser** bezeichnet. Grundwasserbedingtes Fremdwasser folgt nicht den Niederschlagsereignissen oder deutlich langsamer als der Oberflächenabfluss (DWA-M 182, 2012).

Das durch ein Niederschlagsereignis direkt beeinflusste Fremdwasser wird als **niederschlagsbedingtes Fremdwasser** bezeichnet. Es tritt durch Fehleinleitungen in den

Schmutzwasserkanal bei Trennsystemen ein und folgt den Niederschlagsereignissen relativ schnell (DWA-M 182, 2012).

Darüber hinaus gibt es auch Fremdwasserkomponenten, die sich nicht eindeutig zuordnen lassen. Das ist beispielsweise das eingeleitete Bach- oder Quellwasser oder das in die Kanalisation eindringende Hochwasser (DWA-M 182, 2012).

Am Beispiel eines Trennsystems sind mögliche Eintrittspfade von Fremdwasser im Schmutzwasserkanal in Abbildung 1 dargestellt. Im Gegensatz zum Trennsystem sind im Mischsystem niederschlagsbedingte Zuflüsse planmäßig vorhanden. Daher stellen diese kein Fremdwasser dar (DWA-M 182, 2012).

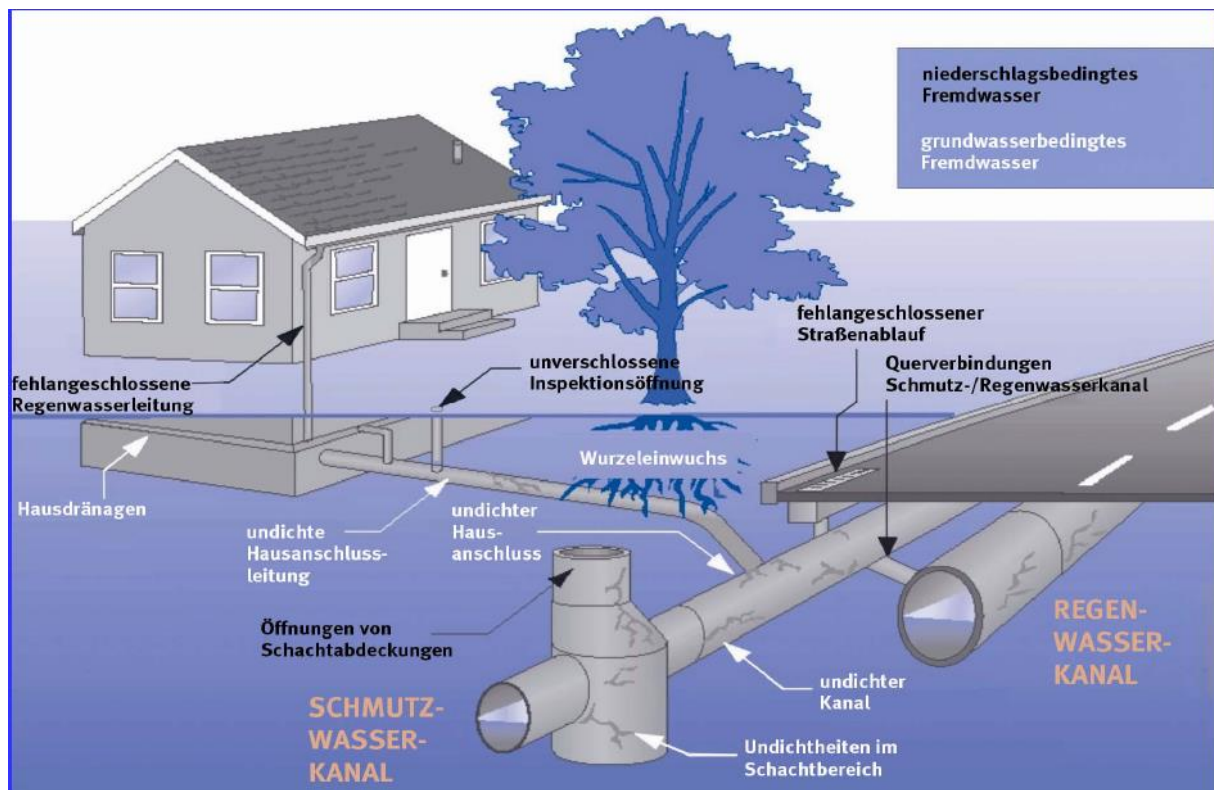


Abbildung 1: Wesentliche Eintrittspfade für Fremdwasser am Beispiel eines Trennsystems (Hennerkes, 2006)

Klass (1985) und Stein (1998) stellten fest, dass der Fremdwasseranfall stark durch undichte private Grundstücksentwässerungsanlagen beeinflusst wird. In Gebieten mit tief liegenden undichten Hauptsammlern spielt der öffentliche Bereich eine bedeutende Rolle (DWA-M 182, 2012).

Undichtheiten liegen vor, wenn Wasser in das Kanalnetz sichtbar ein- und ausdringt. Ein weiterer Hinweis auf Undichtheiten ist eine negative Prüfung auf Wasserdichtheit. Besonders häufig treten sie auf bei:

- Rohrverbindungen bzw. Bauteil- oder Bauwerksfugen
- Rohren und Rohrwandungen

- Anschlüssen an Rohre
- Schächten oder sonstigen Bauwerken der Ortsentwässerung

Folgende Beispiele wurden aus Scaria (2002) entnommen und zeigen mögliche Ursachen für Fremdwassereintritte aufgrund schadhafter Kanalleitungen.

Die Abbildung 2 zeigt einen durch eine TV-Inspektion ermittelten, chemisch angegriffenen Rohrabschnitt.



Abbildung 2: Durch Chemikalien beschädigtes Rohr (Environment Consult in Scaria, 2002)



Abbildung 3: Im Grundwasser liegender undichter Kanal (Environment Consult in Scaria, 2002)

Wenn ein Kanal im Grundwasser liegt und undichte Rohrverbindungen oder Risse aufweist (Abbildung 3), so kann Grundwasser eindringen. Nach Scaria (2002) ergibt eine

Grundwasserinfiltration von 5 l/s im Laufe eines Jahres mehr als 155 Mio. Liter unerlaubte Grundwasserförderungen. Dieses Fremdwasser wird dem Trinkwasservorrat entzogen und mit dem Abwasser zu den Kläranlagen transportiert.



Abbildung 4: Undichtiges Rohr (Environment Consult in Scaria, 2002)

Das Abwasser dringt durch undichte Rohre und Rohrverbindungen (siehe Abbildung 4) in Boden und Grundwasser ein und führt zu erheblichen Umweltproblemen. Stark zugenommene Verkehrsbelastungen aber auch der fehlerhafte Einbau der Rohre führen zum Versagen der Kanäle (Scaria, 2002).

Die Ursachen für das Auftreten von Undichtigkeiten können folgendermaßen gruppiert werden:

- Nichtbeachtung von einschlägigen Normen oder Regelwerken und Richtlinien bei Planung, Werkstoff- und Bauteilwahl, Bauausführung und Betrieb
- Werkstoffalterung
- Als Folge von anderen Schäden (Lageabweichungen, mechanischer Verschleiß Korrosion, Verformung, Risse, Rohrbruch usw.)

Als häufigstes Schadensbild zeigen Untersuchungen des öffentlichen Kanalnetzes den schadhafte Anschluss. Risse, Lageabweichungen, undichte Muffen und Wurzeleinwuchs folgen daraus als fremdwasserrelevante Schäden. Ein Rohrbruch bzw. ein Einsturz des Kanals kommt sehr selten vor. Abbildung 5 zeigt die prozentuale Schadensverteilung gemäß einer DWA-Umfrage für öffentliche Kanäle und Schachtbauwerke, wobei die für einen Fremdwassereintritt relevanten Schäden als „fremdwasserrelevante Schäden“ gekennzeichnet sind. Der Anteil solcher Schäden beträgt bei öffentlichen Kanälen etwa 68 % und bei Schächten etwa 30 % (Berger & Falk, 2011).

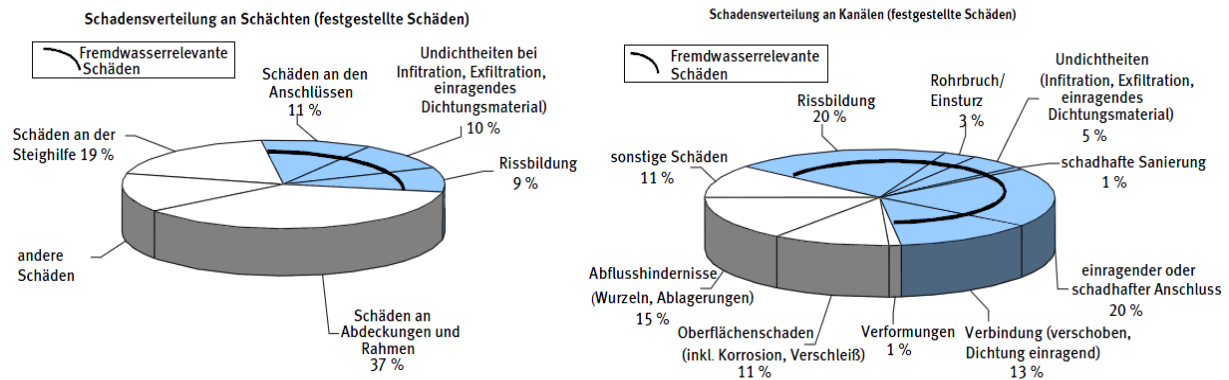


Abbildung 5: Prozentuale Verteilung der Schäden an öffentlichen Kanälen und Schächten (Berger & Falk, 2011)

Private Leitungen sind aufgrund ihrer Länge und ihres schlechten Zustandes für das Fremdwasser relevanter als öffentliche Kanäle (Hennerkes, 2006). Da sie ein höheres Infiltrationspotenzial haben, müssen sie bei Fremdwassersanierungskonzepten zwingend integriert werden.

Fehlanschlüsse an Abwasserkanälen sind neben Undichtheiten übliche Fremdwasserquellen. Hier steht vor allem der Anschluss von Hausdränagen oder der Anschluss landwirtschaftlicher Flächendränagen im Vordergrund. In der Regel handelt es sich hierbei um nicht behandlungsbedürftiges Wasser. Diese Fehlanschlüsse sind entweder offenen Gewässern zuzuführen oder in Regenwasserkanälen abzuleiten. Eine weitere Möglichkeit den Fremdwasseranfall zu vermeiden ist das Versickern an unversiegelten Stellen (Hennerkes, 2006).

Nachträglich durchgeführte Baumaßnahmen wie z. B. das fehlerhafte Anschließen von Zuleitungen (Abbildung 6) beeinträchtigen die Funktion der Abwasserkanäle.



Abbildung 6: Fehlerhaft angeschlossene Zuleitung (Environment Consult in Scaria, 2002)

Bei Niederschlag gelangen in Trennsystemen erhebliche Fremdwasserzuflüsse auch durch fehlangeschlossene Verkehrs- und Dachflächen, ungünstig angeordnete Schachttöfnungen sowie sogenannte „Kombinationsschächte“ mit zu niedrig ausgeführter Trennschwelle in den Schmutzwasserkanal. Abbildung 7 zeigt zwei Kombinationsschächte, bei denen der Regenwasserkanal bei Starkregen in den Schmutzwasserkanal übergehen kann (DWA-M 182, 2012).

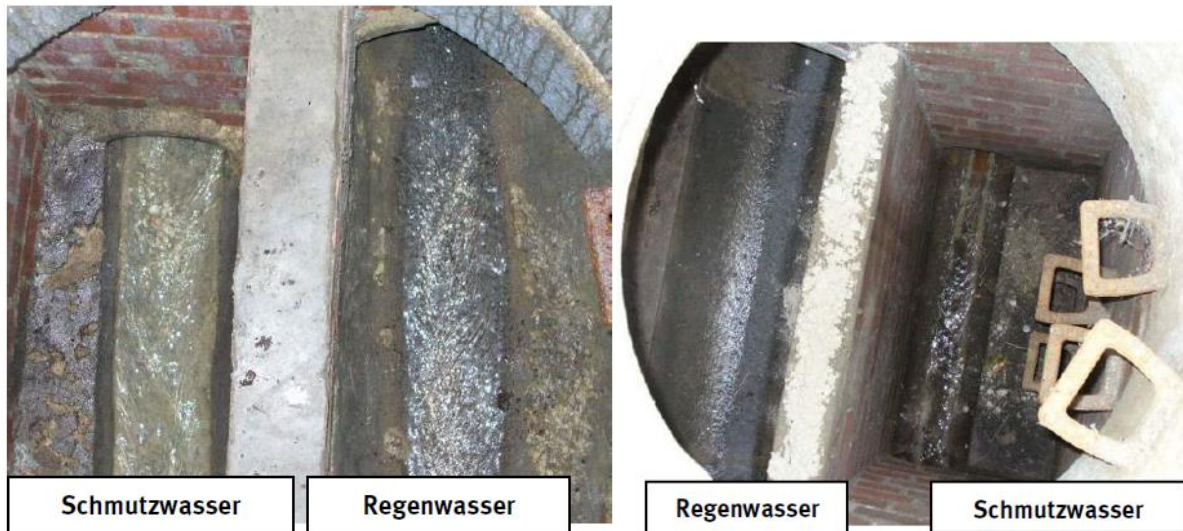


Abbildung 7: Kombinationsschächte im Trennsystem (DWA-M 182, 2012)

2.3 Variabilität und Abflusscharakteristik von Fremdwasser

2.3.1 Variabilität

Der Fremdwasseranfall wird durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst und ist nicht konstant. Er unterliegt zeitlichen und räumlichen Veränderungen. Fremdwasser tritt in sehr unterschiedlichen Spannweiten auf. Es ist durch hydrologische und hydrogeologische Standortbedingungen geprägt (DWA-M 182, 2012).

Aus den Jahresberichten der bayerischen Eigenüberwachungsverordnung wurde in der DWA-M 182 (2012) für 2576 Kläranlagen der mittlere jährliche Fremdwasseranteil für das Jahr 2007 ausgewertet (Abbildung 8). Auf der Abszisse ist die Ausbaugröße der Kläranlagen auf einer logarithmischen Skala aufgetragen. Es zeigt sich, dass die Spannweite der Jahresmittel des Fremdwasseranteiles mit Werten zwischen 0 % und 90 % sehr groß ist. Das entspricht einem Fremdwasserzuschlag von 0 % bis 900 %. Bei dieser Auswertung ist keine Abhängigkeit des Fremdwasseranteiles von der Anlagengröße zu erkennen. Das bedeutet, dass Fremdwasser kein besonderes Problem kleiner oder großer Kläranlagen ist, sondern alle Ausbaugrößen betrifft.

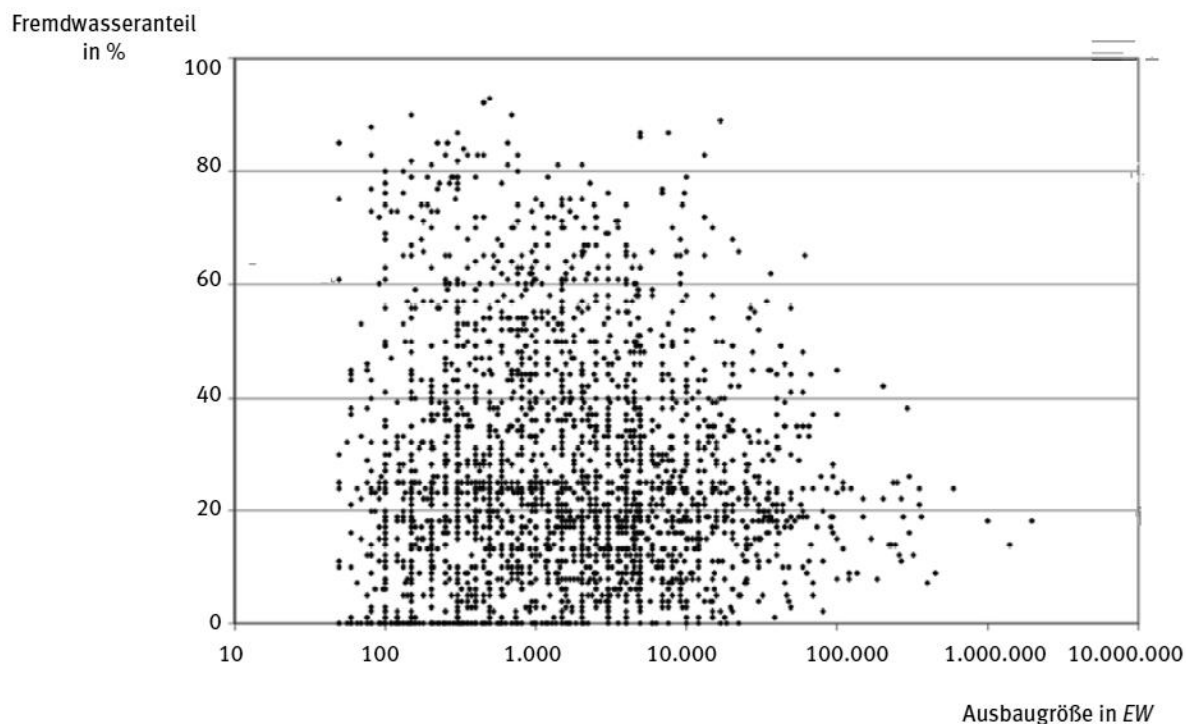


Abbildung 8: Mittelwerte des Fremdwasseranteiles von 2576 Kläranlagen in Bayern (LfU BAY, 2009 in DWA-M 182, 2012)

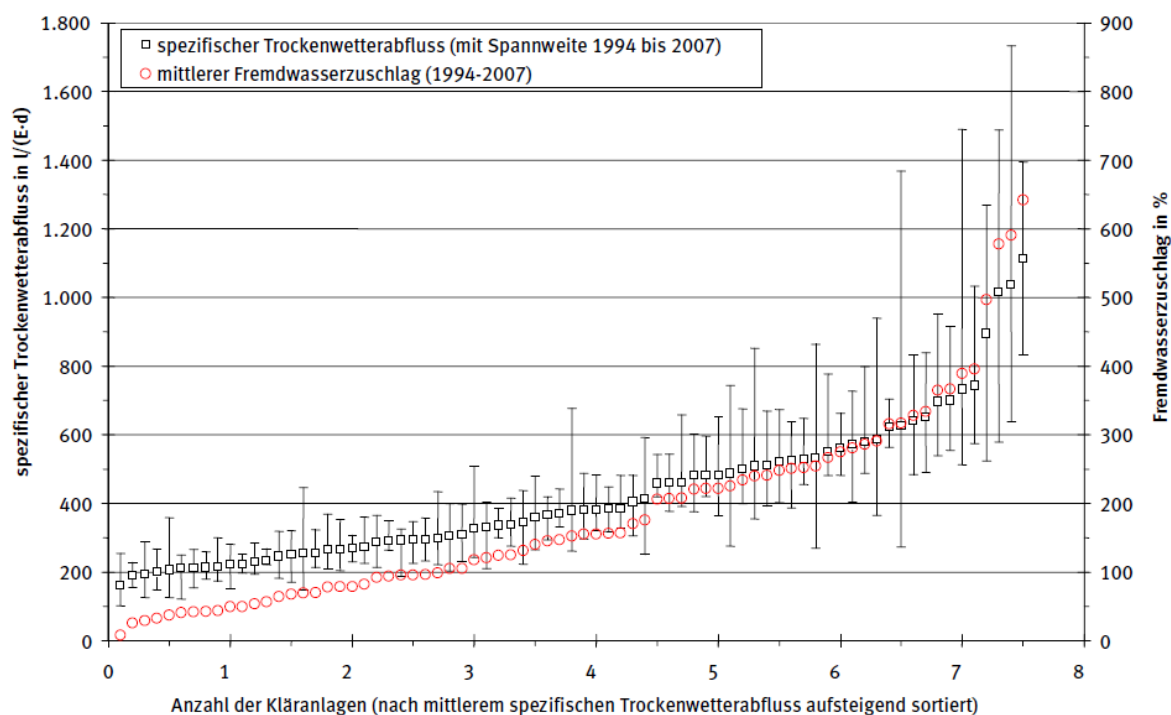


Abbildung 9: Größe und Schwankungsbreite des spezifischen Trockenwetterabflusses von 75 Kläranlagen (Ruhrverband, 2009 in DWA-M 182, 2012)

In Abbildung 9 ist das Resultat einer DWA-Auswertung der Trockenwetterzuflüsse als Jahresmittelwerte von 75 Kläranlagen dargestellt. Der Fremdwasserzuschlag ist als

Ergänzung auf der rechten Seite auf der Ordinate aufgetragen. Es ist eine deutliche Schwankungsbreite des spezifischen Trockenwetterabflusses bei jedem Kläranlagen-einzugsgebiet erkennbar. Diese Unterschiede lassen sich mit dem unterschiedlichen hydrologischen Jahresverlauf erklären. Die Abbildung verdeutlicht auch, dass die absolute Schwankungsbreite in der Regel mit größerem Fremdwasseranfall zunimmt (DWA-M 182, 2012).

In Abbildung 10 ist die Schwankungsbreite des mittleren täglichen Abflusses bei Trockenwetter innerhalb verschiedener Teileinzugsgebiete dargestellt.

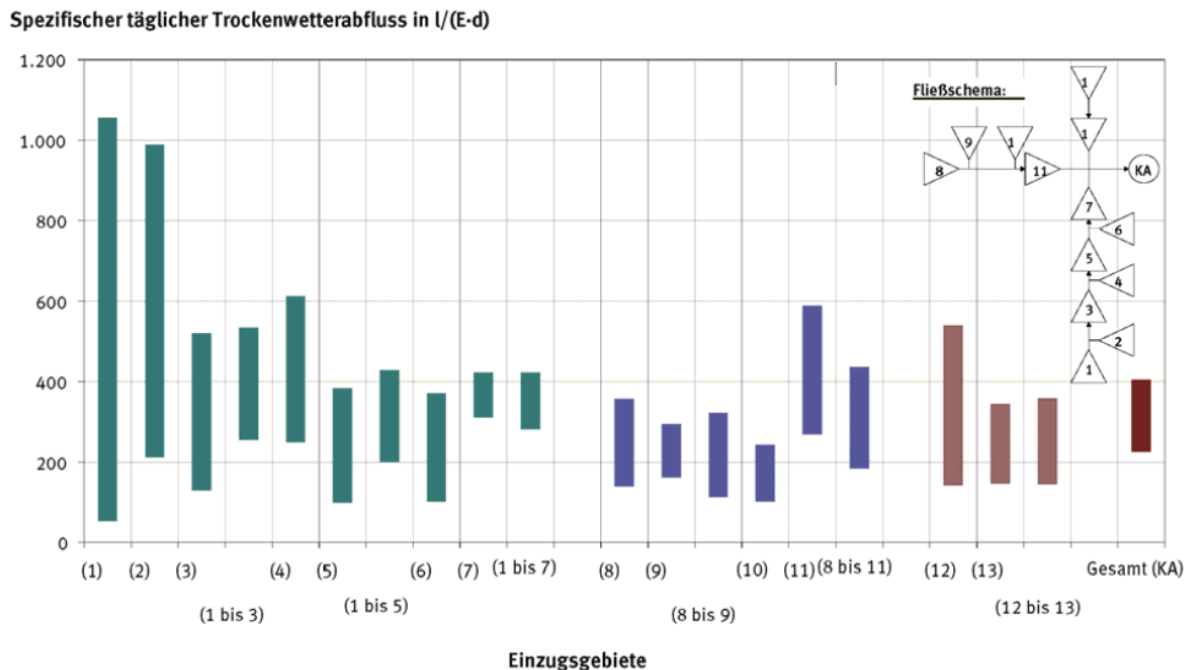


Abbildung 10: Schwankungsbreite der spezifischen täglichen Trockenwetterabflüsse in verschiedenen Teileinzugsgebieten (Pecher, 2001 in DWA-M 182, 2012)

Die Messkampagne erfolgte von Juli 1997 bis April 1998 an einer trennkanalisierten deutschen Großstadt mit etwa 130.000 Einwohnern. Die einzelnen Messstellen lagen zum Teil wenige 100 Meter voneinander entfernt. Die Balken mit unterschiedlichen Farben im Diagramm markieren jeweils den Bereich zwischen dem minimalen und dem maximalen täglichen Trockenwetterabfluss. Wenn hier ein spezifischer Schmutzwasseranfall von etwa 150 l/(E·d) angesetzt wird, so sind alle größeren Abflüsse als zusätzlicher Fremdwasserabfluss zu verstehen. Die Messstelle 1 weist einen maximalen Abwasseranfall von mehr als 1000 l/(E·d) auf. Das bedeutet, dass während der Messkampagne ein Fremdwasserzufluss von bis zu 900 l/(E·d) beobachtet wurde. Daraus ist zu schließen, dass zum ungünstigsten Punkt ein Fremdwasserzuschlag von rd. 600 % vorlag. Des Weiteren ist zu beobachten, dass innerhalb eines Siedlungsgebietes auf engstem Raum sehr unterschiedliche Fremdwasserbelastungen möglich

sind. Daraus folgt, dass eine räumlich gleichmäßige Fremdwasserverteilung ausgeschlossen ist (DWA-M 182, 2012).

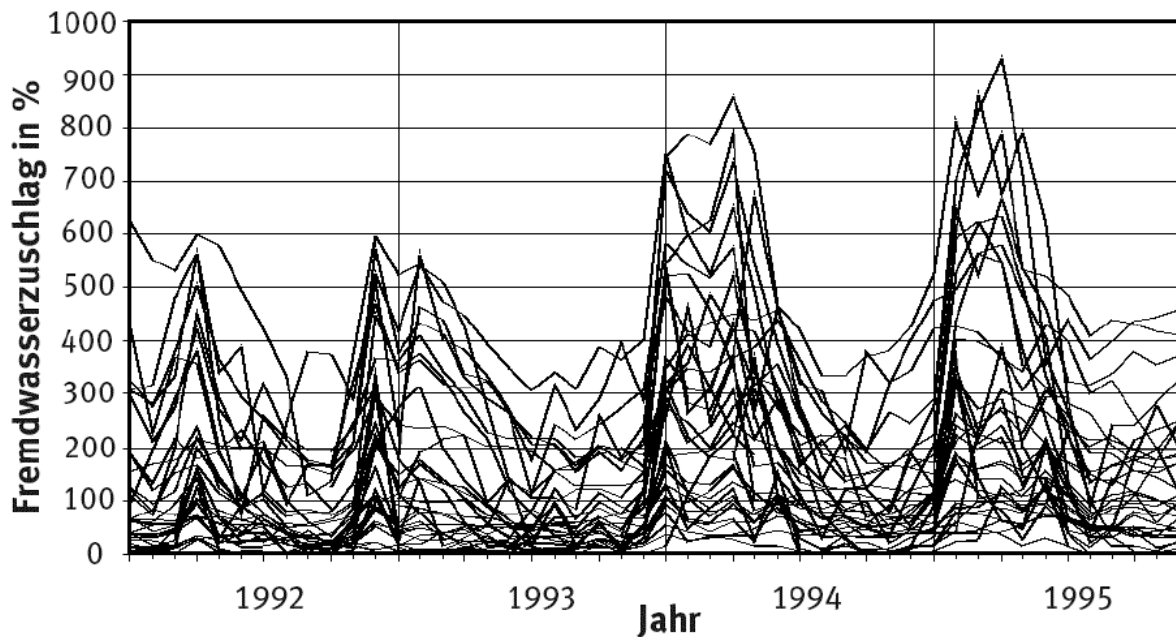


Abbildung 11: Mittlerer monatlicher Fremdwasserzuschlag von 34 Kläranlagen in Baden-Württemberg (Brombach, 2004 in DWA-M 182, 2012)

Wird der Fremdwasseranteil am Zufluss einer Kläranlage ermittelt, so erscheint ein sehr differenziertes Bild der Fremdwasserdynamik. In Abbildung 11 sind die Ganglinien der Fremdwasserzuschläge im Rhythmus von Monaten von 34 Kläranlagen aus Baden-Württemberg aufgetragen. Es ist ersichtlich, dass sich der saisonale Rhythmus der meisten untersuchten Kläranlagen wiederholt. Abgelesen werden kann auch, dass zwischen November und April mit dem größten Fremdwasseranfall (Fremdwassersaison) und zwischen Juli und September mit dem Minimum zu rechnen ist. Nach Fuchs et al. (2003) können die Minima und Maxima in Einzelfällen zu ganz anderen Zeiten auftreten. Fuchs et al. (2003) gibt zusätzlich an, dass stark fremdwasserbehaftete Systeme dem saisonalen Rhythmus stärker folgen als fremdwasserarme. D. h., dass Gebiete mit hohem Fremdwasseraufkommen großen saisonalen Schwankungen unterliegen (DWA-M 182, 2012).

Um diese Situation im Detail zu betrachten, werden in Abbildung 12 die nächtlichen Fremdwasserabflüsse eines kleinen Mischwassernetzes an Trockenwettertagen dargestellt. Hier werden die Schwankungsbreiten der Fremdwasserabflüsse innerhalb eines Monats über einen Zeitraum von etwa einem Jahr dargestellt (DWA-M 182, 2012).

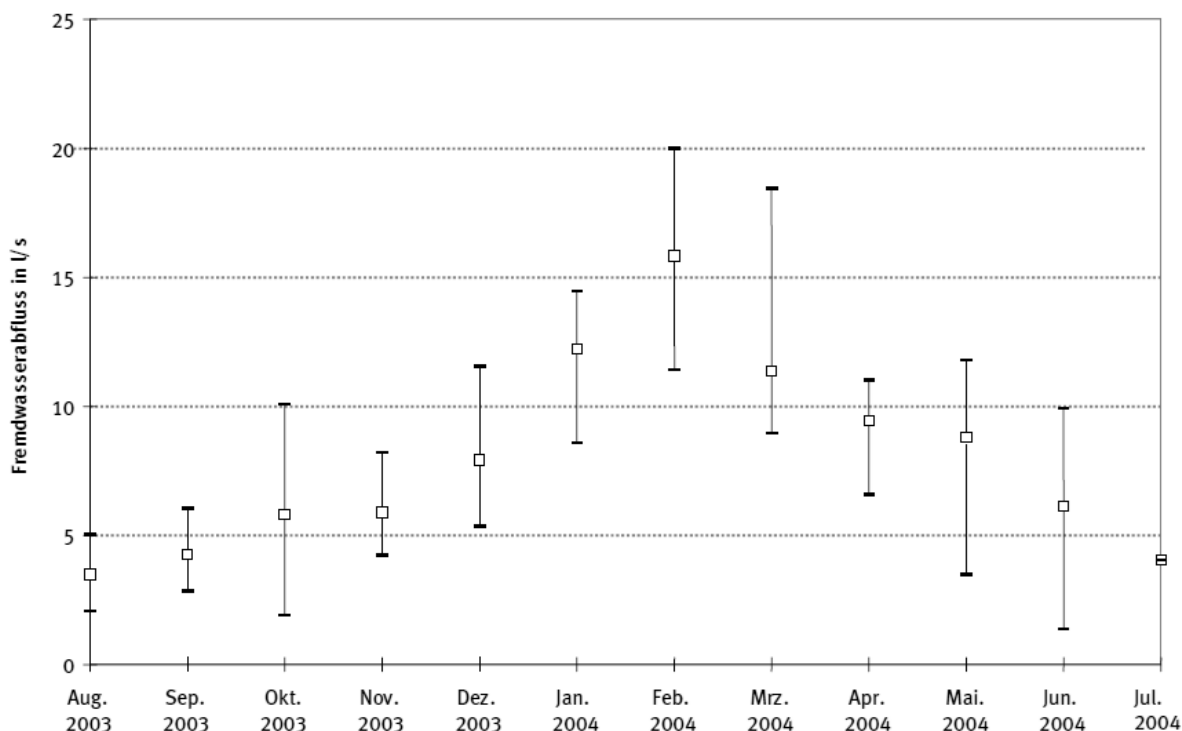


Abbildung 12: Spanne der monatlichen Fremdwasserabflüsse am Beispiel eines Kanaleinzugsgebietes (Emschergenossenschaft, 2009 in DWA-M 182, 2012)

Es ist zu erkennen, dass die Minima der Fremdwasserabflüsse dem Sommer und die Maxima den Wintermonaten zuzuordnen sind. Die Grafik zeigt eine typische jahreszeitliche Verteilung. Es ist bekannt, dass in den Wintermonaten (November bis April) weniger intensive aber lang anhaltende Niederschläge anfallen. Diese bewirken eine erhöhte Grundwasserneubildung, da in der kalten Jahreszeit auch eine geringere Verdunstung üblich ist. Die Porenräume des Grundwasserleiters werden gefüllt und der Grundwasserstand steigt an. Im Gegensatz dazu sinkt in den Sommermonaten der Grundwasserspiegel aufgrund höherer Verdunstungsraten (DWA-M 182, 2012).

Abbildung 13 stellt den Zusammenhang zwischen Grundwasserstand und Fremdwasserabfluss in einem kleinen Mischwassernetz dar.

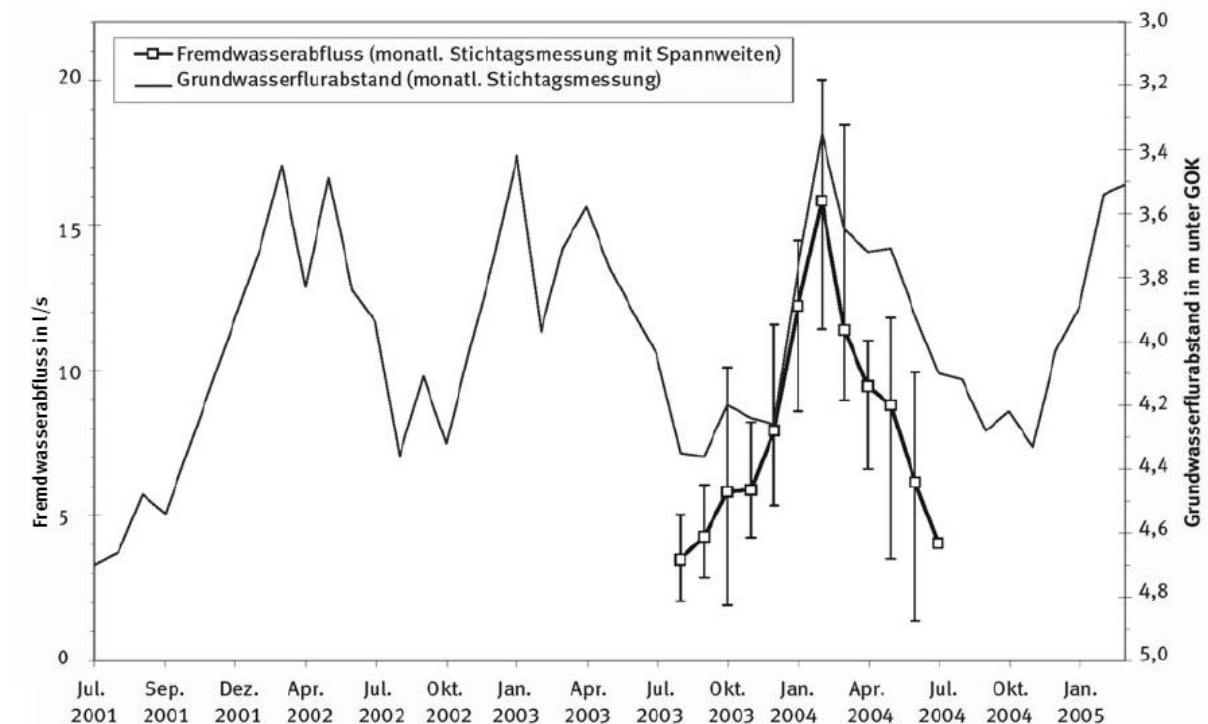


Abbildung 13: Grundwasserflurabstand im Vergleich mit den Fremdwasserabflüssen (Emschergerossenschaft, 2009 in DWA-M 182, 2012)

Aufgetragen ist die Ganglinie des Grundwasserflurabstandes, der über vier Jahre hinweg gemessen wurde. Der Fremdwasserabfluss, der von August 2003 bis Juli 2004 ermittelt wurde, ist ebenso im Diagramm dargestellt. Die jährlichen Schwankungen des Grundwasserstandes mit einem Ansteigen im Winter und Absinken im Sommer sind deutlich zu erkennen. Des Weiteren ist die zeitliche Korrelation des Fremdwasserabflusses mit der Schwankung des Grundwasserstandes zu erkennen (DWA-M 182, 2012).

Der Fremdwasserabfluss kann auch von anderen Faktoren beeinflusst werden, die bei der Analyse der Fremdwassersituation unbedingt zu berücksichtigen sind. Wenn ein Entwässerungssystem im Auenbereich eines Fließgewässers liegt, kann dessen Wasserführung und Pegelstand zeitweise den Grundwasserstand und damit auch indirekt den Fremdwasserabfluss im Kanalnetz beeinflussen. Möglich ist auch, dass maximale Grundwasserstände im Zusammenhang mit einem Hochwasser auftreten. Bei Schneeschmelze kann sich eine ähnliche Situation einstellen. Hier können ebenfalls die Fremdwasserabflussspitzen von den Niederschlagsereignissen zeitlich entkoppelt sein (DWA-M 182, 2012).

Im Schmutzwasserkanal des Trennsystems wird das Fremdwasseraufkommen durch Niederschlagsereignisse direkt beeinflusst. Dies geschieht u. a. durch Wassereintritt bei den Be- und Entlüftungsöffnungen von Schachtdeckeln (Abbildung 14). Wenn sich Schachtdeckeln in Tieflagen befinden, wird dieser Effekt noch verstärkt. Pfeiff (1989)

vermutet, dass bis zu 1-2 l/s Niederschlagswasser in den Schacht durch Lüftungsöffnungen eines Schachtdeckels eindringen kann (DWA-M 182, 2012).

Zusätzlich führen Fehlanlüsse, z. B. Dachrinnen oder Dränagen zu Fremdwasseraufkommen bei Niederschlag.



Abbildung 14: Fremdwassereintritt über die Schachtabdeckung (Scaria, 2002)

2.3.2 Abflusscharakteristik

Wenn die Abflussganglinien im Schmutzwasserkanal eines Trennsystems und im Mischsystem betrachtet werden, so können unter Berücksichtigung der Fließzeiten gute Kenntnisse über mögliche Fremdwasserquellen gewonnen werden (Hennerkes, 2006).

In der Tabelle 2 sind mögliche Hinweise auf potenzielle Fremdwasserquellen gegeben und einzelne Komponenten von Abflussganglinien erläutert.

Tabelle 2: Abflusscharakteristik von Fremdwasser (King County, 2004 in: Hennerkes, 2006)

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.

Wenn niederschlagsbedingtes und grundwasserbedingtes Fremdwasser gegenübergestellt wird, so wird Folgendes deutlich: Der grundwasserbedingte Anteil des Fremdwassers unterliegt tendenziell langsameren und zeitlich ausgedehnteren Veränderungen als der niederschlagsbedingte Anteil. Der niederschlagsbedingte Anteil reagiert rasch auf Niederschläge und führt während und nach einem Regenereignis zu einem Anstieg des Abflusses im Kanalnetz. Der niederschlagsbedingte Fremdwasserabfluss ist abhängig von der Regendauer, Regenintensität und von der Jahreszeit (DWA-M 182, 2012).

Abbildung 15 zeigt am Beispiel einer Mittelgebirgsregion den Einfluss von Niederschlagsereignissen auf den Abfluss im Schmutzwasserkanal eines Trennsystems. Nach Ende eines Regenereignisses sind längere Nachlaufzeiten von mehreren Tagen erkennbar. Die Abflussganglinie setzt sich bei Trockenwetter theoretisch nur aus dem Schmutzwassertagesgang und dem grundwasserbedingtem Basisfremdwasser zusammen (DWA-M 182, 2012).

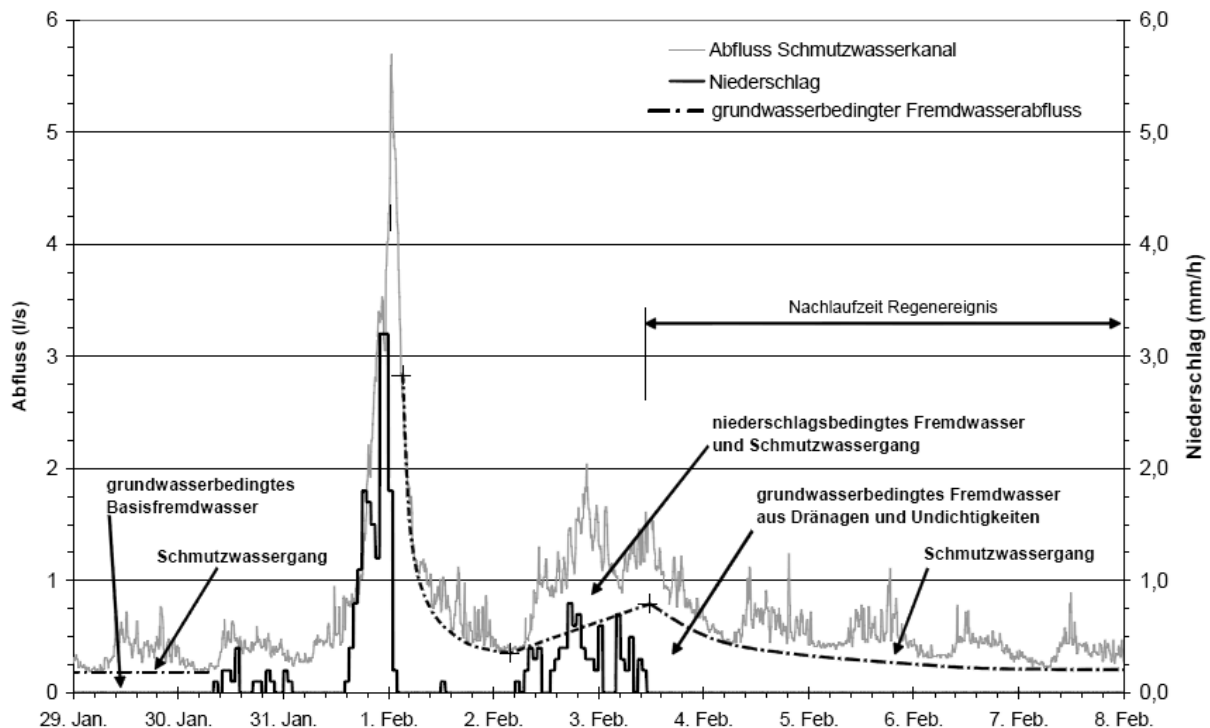


Abbildung 15: Einfluss von Niederschlagsereignissen auf das grund- und niederschlagsbedingte Fremdwasser in einer Mittelgebirgsregion (Hennerkes, 2006)

Bei einem Niederschlagsereignis steigt der Abfluss relativ schnell an. Das weist auf direkt abflusswirksame Fehlanlüsse hin. Das Wasser, das während dem Regenereignis versickert, gelangt über Dränagen und Undichtheiten in den Schmutzwasserkanal und führt zu einem kontinuierlichen Anstieg des Fremdwasserabflusses. Das niederschlagsbedingte Fremdwasser nimmt nach Ende des Regenereignisses je nach Fließzeit im Kanalnetz schnell wieder ab. Bis wieder der grundwasserbedingte Basisabfluss erreicht ist, verringert sich das mäßig verzögerte Fremdwasser aus Dränagen etc. kontinuierlich entsprechend den dargestellten Abklingkurven (Hennerkes 2006).

2.4 Auswirkungen von Fremdwasser

2.4.1 Auswirkungen auf die Kanalisation und Pumpwerke

Das Fremdwasser hat bei einer Schwemmkanalisation positive Einflüsse auf den Betrieb eines Entwässerungssystems. Das Eindringen des Fremdwassers führt zu größeren Abflüssen in der Kanalisation. Dadurch treten höhere Schleppkräfte auf und der Stofftransport wird verbessert. Mit Hilfe des entstehenden Spüleffektes werden dauerhafte Ablagerungen verringert und sedimentierte Feststoffe können besser remobilisiert werden. Aus diesen Gründen wurden früher die Regenabflüsse von Dachflächen gezielt an die Anfangshaltungen einer Kanalisation angeschlossen.

Ein weiterer Vorteil des Fremdwassers in der Kanalisation ist, dass durch das Niederschlagswasser ein erhöhter Sauerstoffeintrag eindringt. Das vermindert das Anfaulen des Abwassers. Des Weiteren wird durch eine Verdünnung des Abwassers durch Fremdwasser eine Geruchsbelästigung verringert. Die Gefahr der Entstehung von Schwefelwasserstoff mit biogener Schwefelsäurekorrosion wird ebenfalls durch Verdünnung des Abwassers verringert (Frechen und Köster, 2003, in Hennerkes, 2006).

Im Allgemeinen werden Kanalisationen und Pumpwerke von hohem Fremdwasseraufkommen jedoch negativ beeinflusst. Einige wichtige Einflussfaktoren führt Hennerkes (2006) an:

- Abwasserkanäle werden durch hohe Fremdwasseranteile hydraulisch belastet. Bei Schmutzwasserkanälen des Trennsystems besteht vor allem die Möglichkeit einer hydraulischen Überlastung mit der Gefahr von Rückstau und Überflutungen.
- Fremdwasser führt bei Pumpwerken im Kanalnetz zu verlängerten Laufzeiten und höheren Schalthäufigkeiten der Pumpen. Die Reservepumpen laufen unerwünscht lange und erschweren die Wartungs- und Reparaturarbeiten. Dadurch unterliegen die Laufräder der Anlagen einem stärkeren Verschleiß und führen zu höheren Betriebskosten.
- Das in den Kanal eindringende Grundwasser kann infolge der Bodenauswaschung zur Bildung von Lagerungsdefekten und Hohlräumen führen. Als Folge kann die Standsicherheit des Kanals, des umgebenden Bodenkörpers und auch der Bebauung gefährdet sein.
- Durch unplanmäßige Anschlüsse können durch das zufließende Fremdwasser Feststoffe in die Kanalisation eingespült werden, welche zu Ablagerungen führen. Dadurch steigt der Betriebsaufwand bei der Kanal- und Sinkkastenreinigung.
- Mineralhaltiges Grundwasser kann bei einer Infiltration in gering durchflossene Abwasserkanäle bei Oxidation zur Ausfällung von Salzen (vorwiegend Eisen- und Manganverbindungen) und zur Bildung von Verockungen führen. (ATV-DWK, 2003a).

2.4.2 Auswirkungen auf Entlastungsbauwerke

2.4.2.1 Mischwasserüberlauf (MÜ)

Bei den Mischwasserüberläufen spielt das Fremdwasser hinsichtlich des Entlastungsverhaltens eine untergeordnete Rolle. Mischwasserüberläufe werden bei Mischsystemen zur Begrenzung des kritischen Mischwasserüberlaufes angeordnet, wobei sie keine Aufgabe der Speicherung oder Mischwasserbehandlung erfüllen.

2.4.2.2 Mischwasserüberlaufbecken (MÜB) und Stauraumkanäle (SK)

Bis Mitte der siebziger Jahre wurden Abwasservolumenströme in Mischsystemen, die den Bemessungszufluss der kommunalen Kläranlagen überschritten, über Mischwasserüberläufe ins Gewässer entlastet. Mit den zunehmenden Gewässerbelastungen wurde begonnen, Regenwasserbehandlungsanlagen in Form von Mischwasserüberlaufbecken und Stauraumkanälen zu bauen. Durch diese Anlagen wird eine Aufdrosselung erreicht, weshalb ein Fremdwasserzufluss in diesem Bereich eine wesentliche Rolle spielt (DWA-M 182, 2012).

Je größer ein Fremdwasserzufluss ist, umso höher sind die Einstauhäufigkeiten und die Einstaudauern. Des Weiteren führt ein hoher Fremdwasserzufluss zu erhöhten Entlastungshäufigkeiten und Entlastungsdauern. Diese Effekte sind umso ausgeprägter, je weniger die Fremdwassercharakteristik im Hinblick auf ihre zeitliche und örtliche Verteilung bei der Bemessung berücksichtigt wurde. Dann sind lang anhaltende Entlastungen der Mischwasserüberlaufbecken und Stauraumkanäle typisch. Dies wird in Abbildung 16 beispielhaft für ein Einzugsgebiet einer Kläranlage dargestellt (DWA-M 182, 2012).

Die Niederschlagswasserbehandlung in diesem Einzugsgebiet wurde Ende der achtziger Jahre bemessen. Dies geschah unter der Annahme einer gleichmäßigen Verteilung eines Fremdwasseranfalls über das gesamte Einzugsgebiet und auf Basis eines mittleren Jahresfremdwasserabflusses. Das Entlastungsverhalten der einzelnen Kanäle zeigt eine sehr inhomogene Verteilung. Das hat den Grund, dass die tatsächlichen Fremdwasserspenden in den Teileinzugsgebieten deutliche Unterschiede aufweisen und der Fremdwasseranfall eine deutliche jahreszeitliche Variation besitzt (DWA-M 182, 2012).

Wenn bei der Anlagenbemessung die Fremdwasserbelastung zu niedrig angenommen wird, resultiert daraus eine höhere Emission aus dem Entwässerungssystem. Es handelt sich hierbei um mit Fremdwasser verdünntes Mischwasser. Es kommt aber aufgrund dieser Entlastung zu einer kontinuierlichen stofflichen Belastung des aufnehmenden Gewässers, die erhebliche Größenordnungen annehmen kann (DWA-M 182, 2012).

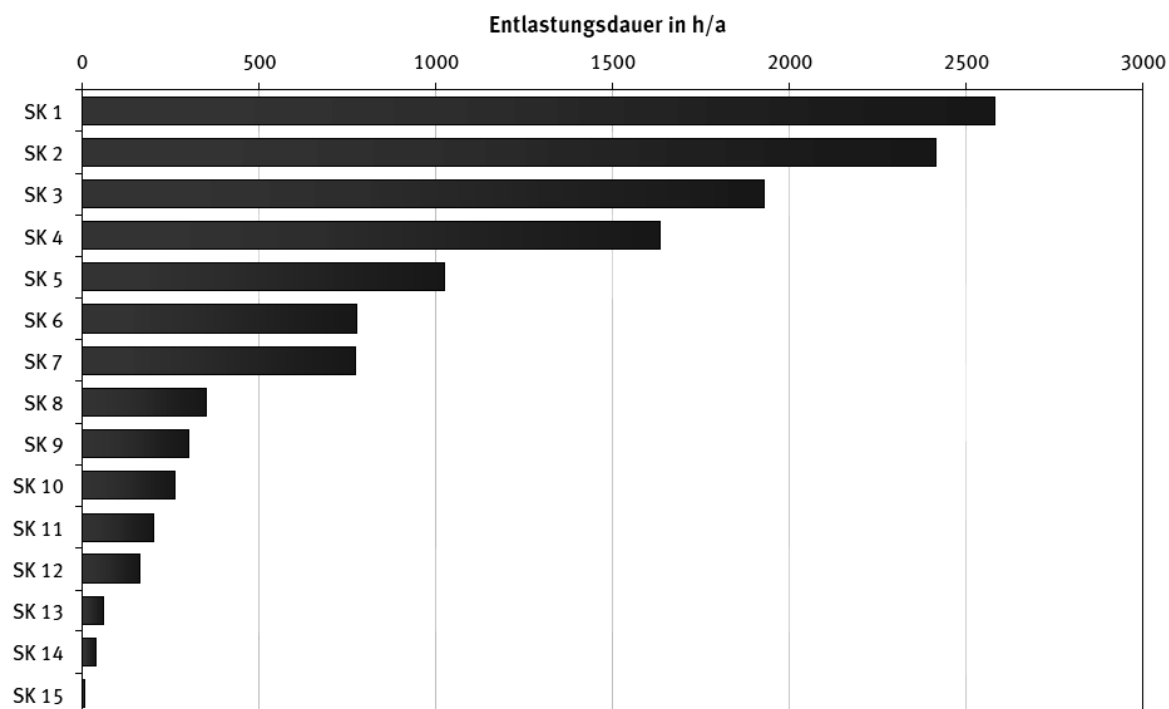


Abbildung 16: Jährliche Entlastungsdauer der Niederschlagswasserbehandlungsanlagen im Einzugsgebiet einer fremdwasserbelasteten Kläranlage (Jardin, 2007)

Der Fremdwasseranfall hat auch auf die Entleerungszeiten der Becken bedeutende Auswirkungen. Je größer der Fremdwasseranfall ist, umso länger sind die Entleerungszeiten der Becken. Wenn Niederschlagsereignisse auf ein nicht vollständig entleertes System von Mischwasserbehandlungsanlagen treffen, dann kann nur der entleerte Teil des insgesamt im Einzugsgebiet realisierten Beckenvolumens genutzt werden (DWA-M 182, 2012).

2.4.3 Retentionsbodenfilter (RBF)

Nach DWA-M 182 (2012) können hohe Fremdwasseranfälle zu extrem langen Überstaus der Filter während des Winterhalbjahres führen. Die Folgen dabei sind (DWA-M 182, 2012):

- Sehr hohes Kolmationsrisiko
- Mögliche Schäden am Bewuchs des Bodenfilters
- Starke Gewässerbelastung aufgrund der hohen gelösten Einleitungsfracht

Retentionsbodenfilter können zur Lösung von fremdwasserbedingten Problemen eines Kanalnetzes nicht beitragen (MUNLV NRW, 2003).

2.4.4 Auswirkungen auf die Abwasserreinigung (ARA)

Durch Eintritt von Fremdwasser wird die Zusammensetzung des Rohabwassers verändert. Dadurch ergeben sich zwangsläufig auch Einflüsse auf die Reinigungsleistung der Abwasserbehandlung. Die einzelnen Prozesse der biologischen Abwasserreinigung sind durch einen erhöhten Abwasseranfall in unterschiedlichem Maße betroffen. Die nachfolgende Darstellung konzentriert sich nach der DWA-M 182 (2012) auf die relevanten Prozesse des Abbaus organischer Kohlenstoffverbindungen, der Stickstoffelimination sowie der Entfernung von Phosphorverbindungen aus dem Abwasser (DWA-M 182, 2012).

2.4.4.1 Abbau der Kohlenstoffverbindungen

Das Fremdwasser wirkt sich beim Abbau von Kohlenstoffverbindungen im Wesentlichen über den Faktor der Verdünnung der CSB-Konzentration im Zulauf aus.

„Eine signifikante Beeinträchtigung des biologischen Abbauprozesses im Hinblick auf Ablaufkonzentrationen durch die geringe Abwassertemperatur oder die geringere Sauerkapazität ist in der Regel nicht festzustellen“ (DWA-M 182, 2012).

Laut DWA-M 182 (2012) ist daher der Rückgang der Abbauleistung beim Parameter CSB nur gering ausgeprägt.

2.4.4.2 Nitrifikation

Der erhöhte Fremdwasseranfall wirkt sich bei der Nitrifikation erheblich aus. Das kritische Absinken der Abwassertemperatur führt zu einem deutlichen Rückgang des aeroben Schlammalters, welches für das Wachstum der Nitrifikanten ausschlaggebend ist. Außerdem wirkt sich die Temperatur auch auf die Reaktionsgeschwindigkeit der Nitrifikation aus. Im Gegensatz zur Kohlenstoffelimination weist sie eine höhere Temperaturempfindlichkeit auf. Daraus folgt, dass mit zunehmendem Fremdwasserzufluss die Temperatur des Abwassers sinkt und gleichzeitig die Nitrifikationsleistung sehr stark abnimmt (DWA-M 182, 2012).

2.4.4.3 Denitrifikation

Bei der Denitrifikation wird durch die absinkende Temperatur und die Verdünnung des Abwassers der Abbauprozess gleich wie bei der Nitrifikation nachteilig beeinflusst. Hier kommen aber noch weitere Faktoren dazu. Bei verstärktem grundwasserbedingtem Fremdwasserzufluss aus landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten steigt die Nitratfracht. Dabei werden erhöhte Anforderungen an den Umfang der Denitrifikation gestellt. Des Weiteren wird durch Abbauprozesse innerhalb der Kanalisation auch der Anteil der für die Denitrifikation wichtigen Kohlenstoffverbindungen nachhaltig verringert. Im Ergebnis ist dann mit einem deutlichen Rückgang der Denitrifikationsleistung bei hohem Fremdwasseranfall zu rechnen (Jardin, 2007). Dieser Effekt ist in Abbildung 17 zu erkennen (DWA-M 182, 2012).

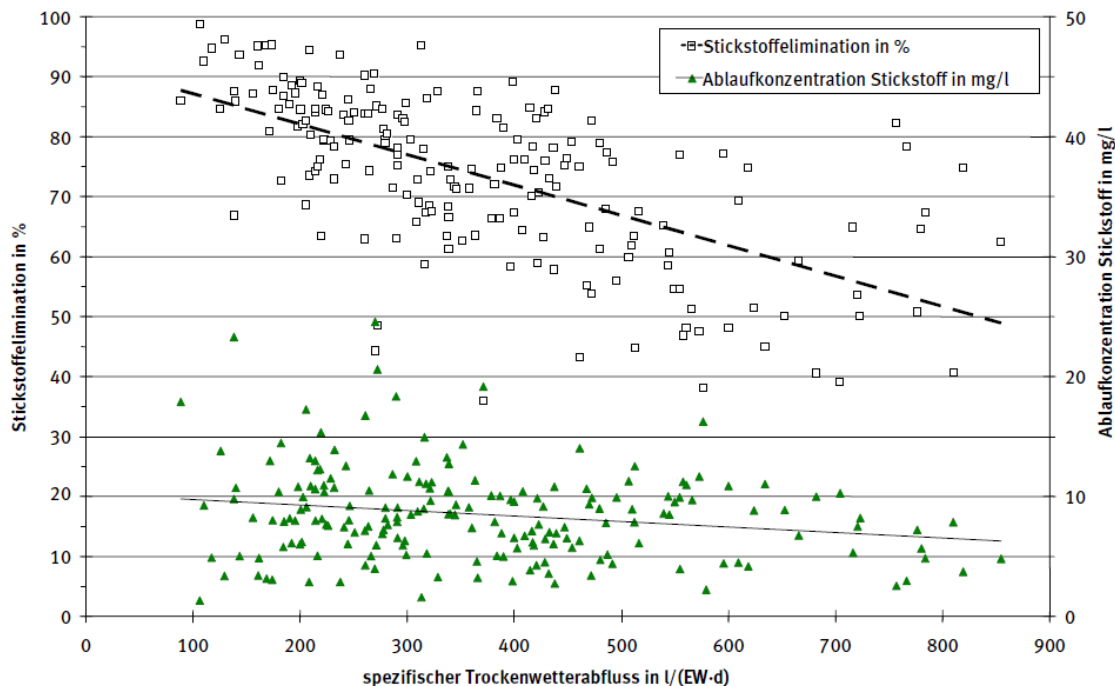


Abbildung 17: Wirkungsgrad der Stickstoffelimination nordrhein-westfälischer Kläranlagen > 10.000 EW aus den Jahren 2004 bis 2005 (MUNLV Nordrhein-Westfalen in DWA-M 182, 2012)

Die Ergebnisse der Kläranlagen hinsichtlich der Stickstoffwerte zeigen die vorgenannten Zusammenhänge nur annäherungsweise. Der Grund dafür sind betriebliche Gegenstrategien. Bei der Nitrifikation wird betrieblich meistens das aerobe Schlammalter höher eingestellt. Bei der Denitrifikation kann durch Zugabe von externen Kohlenstoffen eine niedrigere Nitratablaufkonzentration erreicht werden. Jedoch führen beide Gegenstrategien zu höheren Betriebskosten (DWA-M 182, 2012).

2.4.4.4 Phosphorelimination

Bei einer biologischen Phosphorelimination (Bio-P) ist durch erhöhte Nitrat- oder Sauerstoffkonzentrationen und geringen Konzentrationen an leicht abbaubaren Kohlenstoffverbindungen eine Beeinträchtigung zu verzeichnen. Dazu kommt ein Rückgang der Prozessleistung durch die geringe Temperatur und die geringen Phosphorkonzentrationen im Zulauf (DWA-M 182, 2012).

Bei einer chemischen Phosphorelimination ist durch die Zugabe von Fällmitteln ein geringer Einfluss des Fremdwassers festzustellen (DWA-M 182, 2012).

Laut DWA-M 182 (2012) kann zusammenfassend gesagt werden, dass bei allen Parametern die betrieblich erreichten Ablaufkonzentrationen durch den steigenden Fremdwasseranteil nur wenig beeinflusst werden. Die emittierten Frachten steigen hingegen und die Eliminationsleistung geht insgesamt zurück (DWA-M 182, 2012).

Durch ein erhöhtes Fremdwasseraufkommen können prinzipiell die geforderten Eliminationsraten im Ablauf der Kläranlage problematisch werden. Nach der 1. AEV (1996) sind Mindestwirkungsgrade in Prozent der Zulauffracht gefordert, z. B. Verminderung der zufließenden Fracht an Abwasserinhaltsstoffen bezogen auf:

- BSB₅ um mindestens 95 %,
- CSB um mindestens 85 %,
- TOC um mindestens 85 %.

Diese geforderten Eliminationsraten sind bei durch Fremdwasser verdünntem Abwasser schwerer zu erreichen.

2.4.5 Auswirkungen auf oberirdische Gewässer und Grundwasser

2.4.5.1 Oberirdische Gewässer

Beeinflusst werden Oberflächengewässer vom Fremdwasseranfall im Wesentlichen chemisch, hygienisch und in seltenen Fällen auch hydraulisch. Eine allgemeingültige Aussage zur Gefährdungsabschätzung kann jedoch nicht getroffen werden. Die möglichen Effekte hängen von der lokalen Situation des Gewässers und des Entwässerungssystems ab (DWA-M 182, 2012).

Wie bereits im Kapitel 2.5.2 erwähnt, verursacht Fremdwasser erhöhte Entlastungszeiten in Mischsystemen. Dadurch kommt es zu einer Zunahme von Frachten, die in die Gewässer eingeleitet werden. Diese können je nach Gewässerkategorie und -typ unterschiedliche Auswirkungen haben. Mit dem Abwasser können toxisch oder eutrophierend wirkende Stoffe (z. B. Stickstoff- und Phosphorverbindungen) und sauerstoffzehrende Substanzen in die Gewässer eingetragen werden (Borchhardt, 2000).

2.4.5.2 Grundwasser

Undichte Abwasserleitungen, Abwasserkanäle und künstlich angelegte Dränagen wirken entwässernd auf den Bodenkörper. Sie können zu einer künstlichen Absenkung des Grundwasserspiegels führen. Dagegen können Sanierungsmaßnahmen im Bereich öffentlicher und privater Entwässerungsnetze zu einem Anstieg des Grundwasserspiegels und zu Einschränkungen im Wohnungsumfeld z. B. durch Vernässungen oder feuchte Keller führen (BWK Statusbericht, 2003; Getta et al., 2004).

Jedoch ist es auch möglich, dass andere Maßnahmen einen Grundwasseranstieg verursachen (z. B. geringe Trinkwasserförderung, Abstellung von Sumpfungsmaßnahmen). Die Kanalisierung muss also nicht die alleinige Ursache für solche Effekte sein (DWA-M 182, 2012).

2.5 Entstehende Kosten

Bei hohen Fremdwasseranfällen müssen die Beckenvolumen vor allem der Mischwasserüberlaufbecken größer bemessen werden. Dies führt zu höheren Investitionskosten. Aber auch die Betriebskosten für den Unterhalt der Kanalisationen steigen an. Vor allem steigen die Kosten bei den Abwasserpumpwerken an (DWA-M 182, 2012).

Das Fremdwasser wirkt sich bei der Bemessung von Kläranlagen ebenfalls auf das notwendige Beckenvolumen aus. Die Volumina des Vorklärbeckens, des Belebungsbeckens und des Nachklärbeckens müssen aufgrund von Fremdwasser größer bemessen werden. Dadurch steigen die Kapitalkosten beim Bau einer Kläranlage. Nach Kroiss & Prendl (1996) hat das Fremdwasser nur eine geringe Auswirkung auf die Dimensionierung von Rechen und Sandfang (DWA-M 182, 2012).

Nach LUBW (2007) werden die Betriebskosten einer Kläranlage hauptsächlich durch die Energiekosten für Pumpwerke, die Sauerstoffversorgung des Belebungsbeckens und den Fällmittelbedarf zur Fällung von Phosphat bestimmt. Sie können durch einen erhöhten Fremdwasserabfluss stark beeinflusst werden.

Die Betriebskosten sowie der Grad der Fremdwasserbeeinflussung sind dabei sehr stark vom Einzelfall abhängig (DWA-M 182, 2012).

Bei einem erhöhten Fremdwasseranfall können Abwasserbehandlungsanlagen nicht nach den Regeln der Technik betrieben werden. Das kann Auswirkungen auf die Befreiung von der Abwasserabgabe haben, sodass hier zusätzliche Kosten entstehen (DWA-M 182, 2012).

Die Tabelle 3 stellt eine qualifizierte Beurteilung der Auswirkungen eines erhöhten Fremdwasseranteiles auf die Investitionen und die Betriebskosten der Abwasserentsorgung zusammenfassend dar.

Tabelle 3: Einfluss eines erhöhten Fremdwasseranteiles auf die Investitions- und Betriebskosten in der Abwasserentsorgung (nach Michelska und Pecher, 2000 in DWA-M 182, 2012)

	Kostenstelle	Investitionen	Betriebskosten
Kanalisation	Schmutzwasserkanalnetz	↗ größere Nennweite bei FWZ > 100 % erforderlich	↘ bessere Spülwirkung, besonders in Anfangshaltungen
	Regenwasserkanalnetz	– i. d. R. keine Auswirkungen	– i. d. R. keine Auswirkungen
	Mischwasserkanalnetz	– i. d. R. keine Auswirkungen, außer bei starker Drosselung des Mischwasserabflusses	↘ tendenziell bessere Spülwirkung, besonders bei hohen Fremdwasserabflüssen
Sonderbauwerke	Schmutzwasser-, Regenwasser- und Mischwasserpumpwerke	↗ größere Förderleistung erforderlich	↑ Betriebskosten steigen proportional zum FWZ
	Regenrückhalteräume	– keine Auswirkung bei entsprechender Erhöhung des Drosselabflusses	– keine Auswirkung bei entsprechender Erhöhung des Drosselabflusses
	Regenüberlaufbecken/Stauraumkanäle	↑ erforderliches Beckenvolumen steigt auch bei Berücksichtigung des Fremdwasserabflusses im Drosselabfluss annähernd proportional zum FWZ	– keine Auswirkung am Sonderbauwerk bei entsprechender Erhöhung des Drosselabflusses
	Regenklärbecken ohne Dauerstau	– minimale Auswirkung bei entsprechender Erhöhung des Drosselabflusses, nachfolgende Anlagen sind allerdings entsprechend größer auszulegen	– keine Auswirkung am Regenklärbecken bei entsprechender Erhöhung des Drosselabflusses
	Regenklärbecken mit Dauerstau	(–) minimale Auswirkung, wasserwirtschaftliche Sinnhaftigkeit allerdings fraglich	(–) keine Auswirkung am Regenklärbecken, jedoch evtl. Probleme für das nachfolgende Gewässer
Kläranlage	hydraulisch bemessene Anlagenteile	↑ hydraulisch ausgelegte Anlagenteile müssen proportional zum FWZ vergrößert werden	↑ Betriebskosten der hydraulisch ausgelegten Anlagenteile steigen stark an
	biologische Abwasserreinigung	↓ theoretisch kleinere Behandlungsvolumina erforderlich bei konzentrationsbezogenen Ablaufanforderungen Anmerkung: Bei der Planung dürfen keine unzulässigen Verdünnungen angesetzt werden. ↑ größere Behandlungsvolumina erforderlich bei frachtbezogenen Ablaufanforderungen	↓ theoretisch geringere Betriebskosten bei konzentrationsbezogenen Ablaufanforderungen Anmerkung: Bei der Planung dürfen keine unzulässigen Verdünnungen angesetzt werden. ↑ höhere Betriebskosten bei frachtbezogenen Ablaufanforderungen
Sonstiges	Abwasserabgabe	nicht relevant	↗ die Abwasserabgabe steigt mit zunehmenden Fremdwasserabfluss an (landesspezifische Regelungen)
ANMERKUNGEN			
↘ leichte Kostensenkung		↑ starker Kostenanstieg	– keine Kostenbeeinflussung
↓ starke Kostensenkung		↗ leichter Kostenanstieg	(–) vernachlässigbare Kostenwirkung

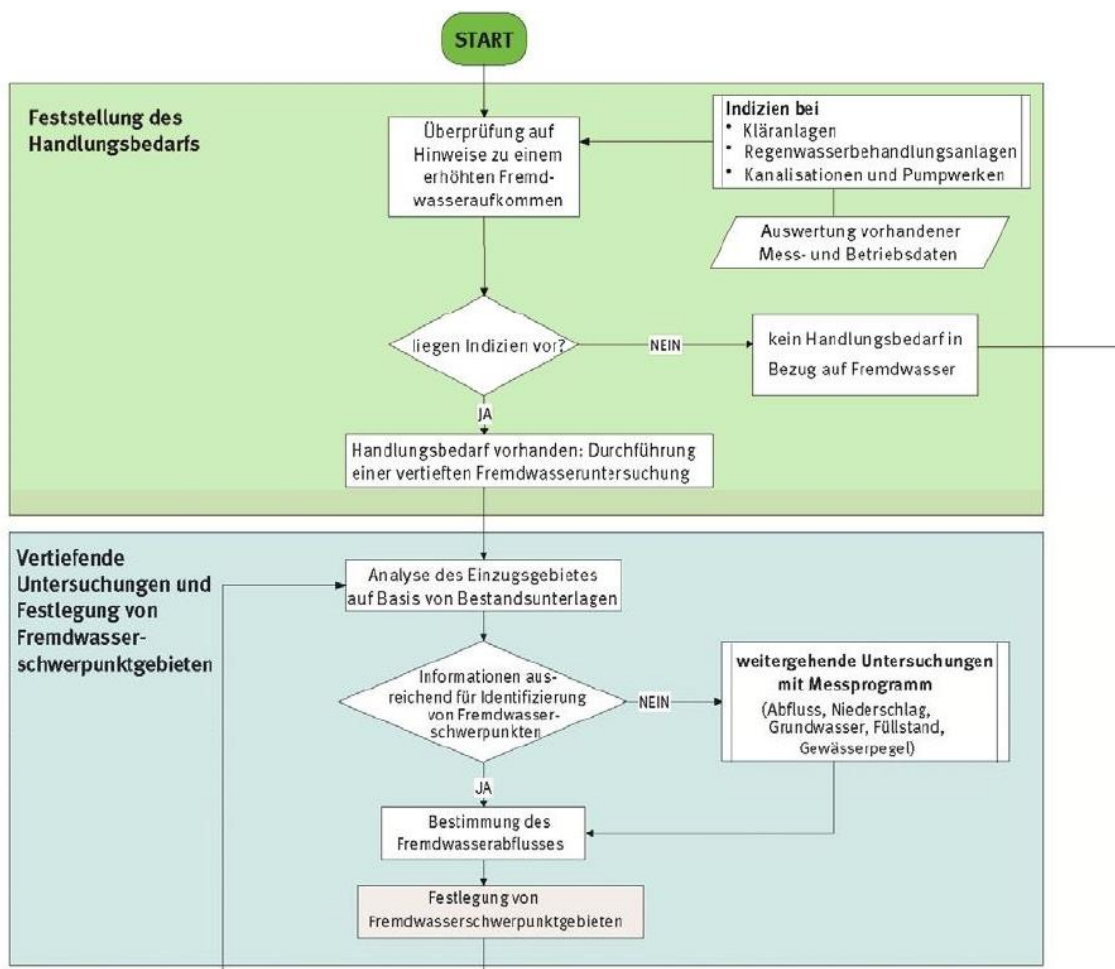
3 Vorgehensweise zur Fremdwasserreduzierung

Im vorhergehenden Kapitel 2 wurden die Ursachen und Auswirkungen von Fremdwasser dargestellt. Im folgenden Kapitel wird die Systematik der Vorgehensweise zur Fremdwasserreduzierung nach DWA-M 182 (2012) vorgestellt. Dabei werden folgende Punkte behandelt:

- Erkennen des Handlungsbedarfes bei erhöhten Fremdwasserabflüssen
- Identifizierung der Schwerpunkte
- Lokalisierung der Fremdwasserquellen
- Quantifizierung des tatsächlichen Fremdwasseranfalles
- Entwicklung eines Fremdwassersanierungskonzeptes

Am Ende dieses Kapitels steht ein Programm zur Fremdwasserreduzierung samt einer notwendigen Erfolgskontrolle.

Abbildung 18 stellt die empfohlene Vorgehensweise zum Umgang mit Fremdwasser nach DWA-M 182 (2012) dar.



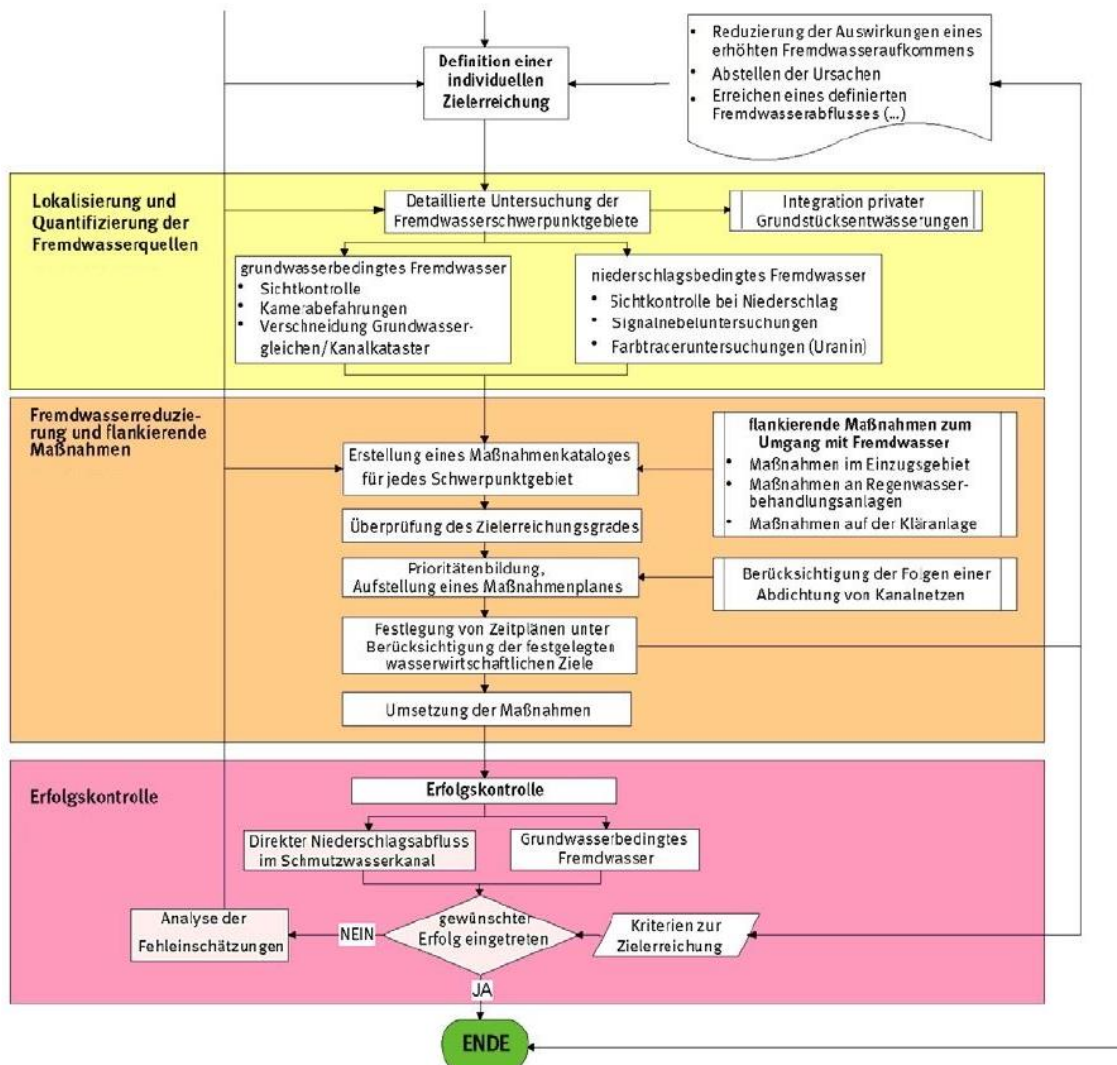


Abbildung 18: Vorgehensweise zur gezielten Fremdwasserreduzierung (DWA-M 182, 2012)

Erfahrungsgemäß sind die Kanalnetzteile nicht gleichmäßig mit Fremdwasser belastet. Deshalb erfolgt eine Feststellung in der Regel vom Groben zum Feinen. Es sollte bereits vorhandenes Datenmaterial zur Ersteinschätzung genutzt werden. Bei der Kläranlage beginnend erfolgt eine Fremdwasseranalyse über einzelne Entlastungsbauwerke, Pumpwerke und sonstige Messpunkte bis zu den Kanalnetzteilen mit hohem Fremdwasserabfluss. Somit können Fremdwasserschwerpunkte identifiziert werden (DWA-M 182, 2012).

Durch vorhandene Betriebsdatenaufzeichnungen können sich erste Hinweise zur Identifizierung von einzelnen Netzteilen mit einem überhöhten Fremdwasseranfall ergeben. Wenn die Betriebsdatenaufzeichnungen beispielsweise einer Regenwasserbehandlungsanlage zeigen, dass sie extrem häufig entlastet, so kann dies ein Indiz für

ein Fremdwasserproblem sein. Wenn keine Indizien für einen erhöhten Fremdwasserabfluss vorliegen, so besteht kein Handlungsbedarf hinsichtlich einer Fremdwasserreduzierung (DWA-M 182, 2012).

Bei Bestehen auffälliger Indizien ist eine Eingrenzung und Untersuchung der Fremdwassersituation erforderlich. Es ist ein weitgehendes Messprogramm erforderlich, wenn keine ausreichenden Messdaten an Abwasseranlagen vorhanden sind (DWA-M 182, 2012).

Zur Festlegung von Ansatzpunkten für eine Fremdwasserreduzierung sind die relevanten Fremdwasserquellen im Entwässerungssystem zu lokalisieren (DWA-M 182, 2012).

Die Definition wasserwirtschaftlicher Ziele ist für eine nachhaltige Fremdwasserreduzierung erforderlich. Das kann z. B. eine Verminderung der bisher festgestellten Auswirkungen des hohen Fremdwasserabflusses sein. Bei Bestehen konkreter Vorstellungen, welche Auswirkungen die aktuelle Fremdwassersituation hervorruft, können treffende Ziele gesetzt und geeignete Maßnahmen zusammengestellt werden (DWA-M 182, 2012).

Wenn die Fremdwasser-Schwerpunktgebiete identifiziert sind, müssen geeignete Maßnahmenprogramme zusammengestellt werden. Diese müssen auf Basis der festgelegten Ziele und Prioritäten in einen zeitlichen Rahmen gebracht werden. Ein möglicher Anstieg des Grundwasserspiegels ist neben den Sanierungsmöglichkeiten zu berücksichtigen. (DWA-M 182, 2012)

Nach Festlegung der Maßnahmen und Abschätzung der erwarteten Fremdwasserreduzierung wird nach DWA-M 182 (2012) empfohlen, die Auswirkungen mit vorhandenen wasserwirtschaftlichen Modellen für Kanalnetz, Schmutzfracht und Kläranlage zu untersuchen. Diese Untersuchung sollte ein komplettes Kanal- bzw. Kläranlageneinzugsgebiet umfassen. Die Auswirkungen hinsichtlich Kanal, Niederschlagsbehandlungsanlagen und Kläranlage sollen dabei auch betrachtet werden. Es können auch weitere Maßnahmen im Kanalnetz mitberücksichtigt werden. Des Weiteren können vorhandene Reserven im Kanalnetz und in der Kläranlage erkannt und genutzt werden (DWA-M 182, 2012).

Eine Erfolgskontrolle ist spätestens nach Abschluss der Sanierungsmaßnahmen durchzuführen. Wenn der gezielte Erfolg nicht erreicht wurde, sind iterative Schritte vorzunehmen und je nach Ergebnis weitergehende Untersuchungen durchzuführen. Außerdem sollen Fremdwasserquellen lokalisiert oder die bisherige Umsetzung von beschlossenen Maßnahmenpaketen kritisch hinterfragt werden (DWA-M 182, 2012).

3.1 Feststellung des Handlungsbedarfs

Konkrete Grenzwerte für einen zulässigen Fremdwasserabfluss werden in den allgemein anerkannten Regeln der Technik nicht genannt. Es sind nur Anforderungen zu Bau und Betrieb von Abwasseranlagen festgelegt. Zu denen gehört beispielsweise die Dichtheit eines Kanalnetzes. Im Wasserrechtsgesetz 1959 (§33b abs. 8, WRG, 1959) ist festgelegt, dass das Erreichen der vorgeschriebenen Emissionswerte durch Verdünnung unzulässig ist. Werden die festgesetzten Ablaufkonzentrationen nur durch Verdünnung erreicht, dann ist eine Reduzierung des Fremdwasseraufkommens erforderlich. Außerdem ist bei erhöhtem Fremdwasseraufkommen festzustellen, dass die Abwasseranlagen nicht das erwartete Betriebsverhalten aufweisen und daraus Belastungen für die Umwelt entstehen. Somit würden diese Anlagen nicht den Regeln der Technik entsprechen und eine Reduzierung des Fremdwasseraufkommens wäre erforderlich (DWA-M 182, 2012).

Bei einer Fremdwasseruntersuchung ist es sinnvoll, die stark fremdwasserbehafteten Systeme zu identifizieren. Es sollen Maßnahmen zur Verbesserung von negativen Umweltauswirkungen (z. B. unerlaubte Abschlüsse, unzulässige Ablaufkonzentrationen von Kläranlagen) eingeleitet werden. Deshalb sollte jeder Kläranlagen- und Kanalnetzbetreiber seine eigene Situation anhand von Anhaltswerten einschätzen (DWA-M 182, 2012).

Für folgende Betriebsbereiche werden im Folgenden zu überprüfende Indizien genannt:

- Kläranlagen
- Mischwasserbehandlungsanlagen
- Kanalisationen und Pumpwerke

Diese Indizien können auf erhöhte Fremdwasseranfälle hindeuten. Wenn eines oder mehrere dieser Indizien vorliegt, so ist eine detaillierte Untersuchung der Fremdwassersituation erforderlich (DWA-M 182, 2012).

3.1.1 Indizien bei Kläranlagen

Den ersten Hinweis auf die Höhe des Fremdwasseranfalls im Einzugsgebiet kann die Auswertung von Kläranlagenbetriebsdaten geben. Um ein fremdwasserbelastetes Einzugsgebiet zu identifizieren, sollte ein möglichst langer Zeitraum (mindestens ein Jahr) ausgewertet werden. In mischkanalisierten Einzugsgebieten werden nur Trockenwettertage berücksichtigt. Bei einer Trennkanalisation im Einzugsgebiet sind die Trocken- und Regenwettertage separat zu betrachten. Durch daraus abgeleitete Monatsmittelwerte kann dann die Bewertung erfolgen. Dabei ist für eine Erstbeurteilung der Monat mit dem ungünstigsten Wert maßgebend. (DWA-M 182, 2012)

Hohe Fremdwasserabflüsse führen zu einer höheren hydraulischen Kläranlagenbelastung. Bei hauptsächlich häuslich geprägten Einzugsgebieten ist daher die Überschreitung des mittleren monatlichen einwohnerspezifischen Trockenwetterabflusses:

- $Q_{T,d,mM} > 250 \text{ l}/(\text{EW} \cdot \text{d})$

ein Indiz für einen überhöhten Fremdwasseranfall (DWA-M 182, 2012).

Geringe Schmutzstoffkonzentrationen im Abwasser können einen erhöhten Fremdwasseranfall im Einzugsgebiet anzeigen. Durch eine Verdünnung des Schmutzwassers mit einem nicht behandlungsbedürftigen Fremdwasser sinkt die Konzentration der Schmutzstoffparameter im Abwasser. Die Unterschreitung folgender Zulaufkonzentration ist deshalb ein Indiz für einen kritischen Fremdwasseranfall (DWA-M 182, 2012):

- Chemischer Sauerstoffbedarf: $C_{CSB,mM} < 250 \text{ mg/l}$

Die Konzentration sollte vor der Vorklärung erfasst werden. Wenn die Beprobung erst nach der Vorklärung erfolgt, so muss der genannte Anhaltswert um den Wirkungsgrad der Vorklärung abgemindert werden (DWA-M 182, 2012).

Das Grundwasserfremdwasser in Regionen mit landwirtschaftlicher Flächennutzung kann stark mit Nitraten belastet sein. Da Schmutzwasser üblicherweise geringe Nitratkonzentrationen aufweist, kann die Nitratkonzentration ein Indiz für einen überhöhten Fremdwasseranfall sein. Hier wird der Monatsmittelwert mit der höchsten Nitratkonzentration im Kläranlagenzulauf bewertet. Die Überschreitung folgender Zulaufkonzentration ist ein Indiz für einen kritischen Fremdwasseranfall (DWA-M 182, 2012):

- Nitrat: $C_{\text{NO}_3\text{-N},mM} > 5 \text{ mg/l}$

Diese genannten Werte beruhen auf kommunalen Einzugsgebieten mit im Wesentlichen häuslichen Schmutzwasseranfall. Wenn das Schmutzwasser stark industriell beeinflusst ist, sind diese genannten Zusammenhänge nur bedingt übertragbar. In diesen Fällen wird nach DWA-M182 (2012) empfohlen, den industriellen Einfluss für eine Erstabschätzung zu quantifizieren und eine separate Betrachtung anzustellen (DWA-M 182, 2012).

3.1.2 Indizien bei Mischwasserbehandlungsanlagen

Bei Mischwasserüberlaufbecken und Stauraumkanälen in Mischsystemen kann das Betriebsverhalten Hinweise auf kritische Fremdwasserverhältnisse geben. Häufige Entlastungen und lange Entleerungszeiten sind dafür die Beispiele. Bei Einzugsgebieten mit mehreren Behandlungsanlagen ist ein ungleichmäßiges Entlastungsverhalten der Anlagen auch ein Indiz für ein hohes Fremdwasseraufkommen (DWA-M 182, 2012). Weitere Ursachen laut DWA-M 182 (2012) können sein:

- Falsche Drosseleinstellung
- Falsch eingeschätzter Schmutzwasserabfluss

- Falsche Annahme zur angeschlossenen Einzugsgebietsgröße
- Fehlerhafter Anlagenbetrieb

Indizien für einen überhöhten Fremdwasseranfall sind nach DWA-M 182 (2012) insbesondere bei Überschreitung folgender Betriebswerte von Entlastungsanlagen im Mischsystem gegeben:

- Anzahl der Tage mit Entlastungen > 30 d/a
- Überlaufdauer bei Fangbecken > 150 h/a
- Überlaufdauer bei Durchlaufbecken > 300 h/a
- Speicherentleerungsdauer nach Niederschlagsende > 24 h

3.1.3 Indizien bei Kanalisationen und Pumpwerken

Erste Hinweise für einen erhöhten Fremdwasseranfall können sich nach DWA-M 182 (2012) folgendermaßen ergeben:

- Befragungen des Kanalbetriebes zu bekannten Fremdwasserquellen
- Beobachtungen von Rückstau- bzw. Überflutungsereignissen im Schmutzwasserkanalnetz eines Trennsystems
- Kenntnis von unzulässigen Entlastungen aus dem Schmutzwasserkanalnetz
- Beobachtung von eindringendem Grundwasser oder klaren Zuflüssen aus den seitlichen Anschlüssen bei der Sichtung von Videos aus Kamerabefahrungen z. B. im Rahmen der Selbstüberwachung

Die abweichende Belastung der Pumpwerke von den Planungsansätzen lässt sich aus den Betriebsverhalten ableiten. Es ist schwierig, generelle Aussagen zu fremdwasser- verursachten Betriebsbesonderheiten zu treffen. Folgende Indizien sprechen nach DWA-M 182 (2012) für einen erhöhten Fremdwasseranfall:

- Dauerbetrieb der Schmutzwasserpumpen bei Trockenwetter im Trenn- und Mischsystem.
- Deutlicher Unterschied der Pumpenlaufzeiten bei Trockenwetter in den Sommer- und Wintermonaten.
- Deutlicher Unterschied der Pumpenlaufzeiten an Trocken- und Regenwettertagen bei Schmutzwasserpumpwerken im Trennsystem

Situation in Österreich

Der Handlungsbedarf bei den österreichischen Kläranlagen sieht laut Ertl und Kretschmer (2014) folgendermaßen aus:

- Es besteht kein Handlungsbedarf bei einem Fremdwasseranteil von < 25 %.
- Es sind Maßnahmen zur Verminderung bei Fremdwasseranteilen zwischen 25 und 50 % anzustreben.
- Ein akuter Handlungsbedarf besteht bei einem Fremdwasseranteil ab 50 %.

3.2 Vertiefende Untersuchungen und Festlegung von Fremdwasser-schwerpunktgebieten

3.2.1 Analyse des Einzugsgebiets

Wenn die vorher erläuterten Indizien auf ein Fremdwasserproblem hinweisen, soll nach DWA-M 182 (2012) eine detaillierte Ursachen- und Problemanalyse durchgeführt werden. Wenn sich erhöhte Fremdwasserzuflüsse als Problemursache herausstellen, dann ist eine detaillierte Fremdwasseruntersuchung für das betroffene Einzugsgebiet durchzuführen. Am Anfang einer Fremdwasseruntersuchung ist dabei eine Analyse der vorliegenden Daten des Einzugsgebietes vorzunehmen. Des Weiteren liefert eine Begehung des Einzugsgebiets wichtige Hinweise (DWA-M 182, 2012).

Ein zusammenfassender Überblick über wichtige Informationen zur Analyse des Einzugsgebiets wird in Tabelle 4 gegeben. Dabei sind die Kenngrößen in der Reihenfolge ihrer Relevanz bezüglich der Lokalisierung und Quantifizierung des Fremdwasseranfalles dargestellt (DWA-M 182, 2012).

Tabelle 4: Relevante Informationen zur Analyse des Einzugsgebietes (DWA-M 182, 2012)

Rang	Daten und Kenngröße	Relevanz ⁷⁾	
		zur Fremdwasserlokalisierung und -quantifizierung	für die Maßnahmenplanung
1	Vorhandene Unterlagen zur öffentlichen Kanalisation (Bestands- und Katasterpläne, Kanalbefahrungs- und Schadensberichte), Informationen zu durchgeführten Sanierungsmaßnahmen → Grundlage für alle weiteren Planungen der Abflussmessungen, Vor-Ort-Untersuchungen und Sanierungsmaßnahmen	+	+
2	Messwerte vorhandener Abflussmessungen, Kläranlagenzuläufe, Aufzeichnungen von Pumpwerken, Entlastungsdaten von Regenbecken, Niederschlagsdaten und Auswertung des Fremdwasserabflusses (siehe Abschnitt 8) → Liefert erste Indizien über Fremdwasserschwerpunktgebiete. Kann dazu dienen die künftigen Vor-Ort-Untersuchungen oder Messkampagnen zu fokussieren	+	0
3	Erste orientierende Begehung, ggf. verbunden mit Gesprächen mit Anliegern → Kenntnisse zur Struktur des Einzugsgebietes, Besonderheiten im Einzugsgebiet (Einschätzung der Abflüsse im Kanalnetz, Außengebiete, Gewässer, Vernässungsgebiete etc.)	+	0
4	Betriebserfahrungen des Kanal- und Kläranlagenbetriebspersonals zu Fremdwasseranfall und -herkunft sowie historischen Entwicklungen des Netzes → Liefert erste Indizien über Fremdwasserschwerpunktgebiete. Kann dazu dienen, die künftigen Vor-Ort-Untersuchungen oder Messkampagnen zu fokussieren. Gezielte Nachfrage bei identifizierten Schwerpunkten.	+	0
5	Einzugsgebietsdaten (Flächendaten, Einwohnerzahl, spezifischer Wasserverbrauch, betriebliche Schmutzwasserproduktion, aktuelles Kartenmaterial zur Topografie, Gewässer, Überschwemmungsgebiete) → Grundlage für die Auswertung der Messdaten zur Bestimmung des Fremdwasserabflusses	+	–
6	Angaben zu Grundwasserständen und -verläufen (jahreszeitliche Schwankungen), Geologie und Hydrogeologie, Aufzeichnungen zu Überflutungsflächen → Abschätzung des Risikos eines Grundwasseranstieges, Beweissicherung. Hinweise zu möglichen Eintrittspfaden von Oberflächenwasser in das Kanalnetz	0	+

Rang	Daten und Kenngröße	Relevanz ^{*)}	
		zur Fremdwasserlokalisierung und -quantifizierung	für die Maßnahmenplanung
7	Historisches Kartenmaterial zum Untersuchungsgebiet, zu Topografie, Bebauung und Infrastruktur, Gewässern im Einzugsgebiet, Straßennamen mit Wasserbezug (z. B. In den Weiden, Bruch, Broich, Siefen, Seifen) → Auffindung von Fremdwasserquellen und Planung von Sanierungsmaßnahmen	0	+
8	Informationen zur Grundstücksentwässerung (Dichtheit, Dränagen, Brauchwassernutzungsanlagen, Brunnen, Versickerungsanlagen) → Auffindung von Fremdwasserquellen und Planung von Sanierungsmaßnahmen	0	+
9	Digitales Geländemodell (DGM) → Liefert ggf. Hinweise auf mögliche Eintrittspfade von Oberflächenwasser in Mulden und Senken im Bereich unbefestigter Flächen, hochauflösendes DGM (mind. 5 m x 5 m Raster) erforderlich	0	–
ANMERKUNGEN			
*) Relevanz: + wichtig 0 kann wichtig werden – weniger wichtig			

Nach der Analyse des Einzugsgebiets ist zu entscheiden, ob die gesammelten Informationen für eine Identifikation von Fremdwasserschwerpunkten ausreichen. Wenn ja, kann die Maßnahmenplanung zur Fremdwasserreduzierung erfolgen. Ansonsten ist eine weitergehende detaillierte Untersuchung erforderlich (DWA-M 182, 2012).

3.2.2 Weitergehende Untersuchungen

Weitergehende Untersuchungen sind dann vorzunehmen, wenn die Analyse der vorliegenden Daten des Einzugsgebietes keine Festlegung von Schwerpunktgebieten ermöglicht (DWA-M 182, 2012).

Grundsätzlich ist der Umfang einer weitergehenden Untersuchung von der Größe des Einzugsgebietes abhängig. In kleinen Gebieten bietet sich zur weitergehenden Lokalisierung von Fremdwasserquellen die Durchführung einer optischen Inspektion an. Diese ist aber nur dann zielführend, wenn sie zu Zeiten mit hohen Fremdwasserabflüssen durchgeführt wird (DWA-M 182, 2012).

Durch die Zugabe von Farbtracern oder durch Nebelungen lassen sich in kleinen Netzteilen des Schmutzwasserkanals die fehlerhaften Regenwasseranschlüsse relativ einfach orten (DWA-M 182, 2012).

Die vorgenannten Methoden können bei größeren Gebieten meist aus finanziellen Gründen nicht angewendet werden. Für detaillierte Untersuchungen bei größeren Gebieten empfiehlt das DWA-M 182 (2012) ein Messprogramm zur Fremdwasserbestimmung aufzulegen.

3.2.2.1 Messprogramm zur Fremdwassererfassung

Nach DWA-M 181 (2011) werden die Fremdwasser-Messprogramme unterschieden in:

- Temporärmessung (Dauermessung, Langzeitmessung, Kurzzeitmessung) und
- Einzelmessung

Die Dauermessstelle ist eine dauerhaft auf der Kläranlage oder im Kanalnetz vorhandene und betriebene Messeinrichtung. Die Kurz- und Langzeitmessungen sind zeitlich begrenzt, wodurch beispielsweise Fremdwassersituationen festgestellt werden können. Einzelmessungen werden hingegen zum Aufspüren von Fremdwasserquellen durchgeführt (DWA-M 182, 2012).

Dauermessung

Auf größeren Kläranlagen wird der Zufluss kontinuierlich und in hoher zeitlicher Auflösung gemessen. Bei dieser Messung handelt es sich um eine Dauermessung (DWA-M 182, 2012).

Die durch die Zuflussmessung am Kläranlageneinlauf gemessenen Daten werden als

- mittlerer stündlicher,
- täglicher,
- monatlicher und
- jährlicher Zufluss

gespeichert. Extremwerte (z. B. nächtliches Minimum und Maximum bei Regenwetter) können jederzeit abgelesen werden (DWA-M 182, 2012).

Diese Daten sind in der Regel von hoher Genauigkeit und Datendichte. Deshalb sind sie für die Beurteilung der Fremdwasserproblematik sehr hilfreich. Aufgrund dessen sollten alle Fremdwasserstudien mit einer Langzeit-Analyse der vorhandenen Zuflussdaten der Kläranlage beginnen (DWA-M 182, 2012).

Eine **Dauermessstelle** wird über die gesamte Projektlaufzeit betrieben und ausgewertet. Es müssen Messwerte von Zeiträumen von mehreren Jahren vor und nach der Sanierung gegenübergestellt werden um den Erfolg einer Fremdwasserreduzierung statistisch nachzuweisen. Solche Daten können nur von zentralen Dauermessstellen geliefert werden. Von einer Dauer von je drei Jahren vor und nach der Fremdwasserreduzierung ist für die Mindestnachweiszeit auszugehen (DWA-M 182, 2012).

Bei Nicht-Vorhandensein von Messstellen, erfolgt eine Planung der Einrichtung **temporärer Messstellen** an strategischen Punkten. Es werden zur systematischen, räumlichen Eingrenzung der Fremdwasserentstehung wichtige Knotenpunkte im Kanalnetz

als Messstellen ausgewählt. Das sind z. B. die Teileinzugsgebiete der Mischwasserentlastungen oder außerhalb des Haupteinzugsgebietes gelegene Teilorte (DWA-M 182, 2012).

Im nächsten Schritt werden besonders fremdwassergefährdete Kanalabschnitte untersucht (DWA-M 182, 2012). Das können beispielsweise sein:

- Düker und Gewässerquerungen
- Kanalverläufe neben Bächen und Flüssen und
- Kanalverläufe nahe an Ufern von Teichen und Seen.

Laut DWA-M 182 (2012) hat sich die Befragung des Betriebspersonals zum Auffinden strategischer Punkte im Kanalnetz als sehr wertvoll erwiesen.

Eine Ortsbegehung ist für die Auswahl der potenziellen weiteren temporären Messstellen zwingend erforderlich. Dabei sind die baulichen und betrieblichen Merkmale, wie z. B. die hydraulische Eignung oder die Zugänglichkeit des Einstiegschachtes zu beurteilen. Außerdem sind Ortskenntnisse für die Wahl des Messverfahrens sehr wichtig. Die temporären Messstellen werden meist mit mobilen Messgeräten ausgestattet. Die Ortsbegehung soll einen Einblick für die optische Einschätzung des Abwasserabflusses hinsichtlich seiner Quantität und seines Aussehens geben (z. B. viel klares Wasser) (DWA-M 182, 2012).

Jeweils stromaufwärts wandernd können je nach Größe des Netzes weitere Detaillierungen notwendig werden. Die Anzahl der potenziellen Fremdwasserquellen nimmt umso mehr zu, je näher man dem Außenrand des Einzugsgebietes kommt. Gleichzeitig nimmt aber der absolute Fremdwasserabfluss ab. Deshalb ist es schwierig zu entscheiden, wie viele, wo und wann temporäre Messstellen eingerichtet werden sollen. Da der Messaufwand eine gewisse Erfolgschance haben soll, sind wegen den oben genannten Einschränkungen nur **Temporärmessungen** am Rande des Einzugsgebietes mit überschaubarer Messdauer sinnvoll (DWA-M 182, 2012).

Langzeitmessung

Um den Fremdwasserabfluss von einzelnen Teileinzugsgebieten zu quantifizieren, sollen temporäre Langzeitmessungen mit einer Dauer von mindestens drei Monaten durchgeführt werden. Besser ist jedoch eine Messdauer von neun bis zwölf Monaten. Dabei sollte nach DWA-M 182 (2012) unbedingt gleichzeitig eine repräsentative Dauermessstelle zur Einordnung der Messungen in das Abflussspektrum existieren. Um eine sinnvolle Beurteilung der Fremdwassersituation zu erhalten, sollten die Messungen an allen vergleichenden Messstellen im gleichen Zeitraum erfolgen. Für die Ermittlung des grundwasserbedingten Fremdwasseranfalles bei Mischwasserkanalisationen sollten die Messungen in der vegetations- und verdunstungsarmen Jahreszeit bei Trockenwetter (Beachtung des Regennachlaufes) und möglichst hohen Grundwas-

serständen (Dezember bis April) erfolgen. Dagegen sollte die Ermittlung des niederschlagsbedingten Fremdwasseranfalles im Schmutzwassernetz des Trennsystems bei möglichst niedrigen Grundwasserständen (Juni bis Oktober) und mittleren Niederschlägen erfolgen (DWA-M 182, 2012).

Kurzzeitmessung

Um einzelne Fremdwasserquellen oder Fremdwasserschwerpunktgebiete einzugrenzen können temporäre Kurzzeitmessungen sinnvoll sein. Deren Dauer richtet sich nach den örtlichen Randbedingungen und der jeweiligen Fragestellung. Um z. B. das Nachtminimum zu erkennen, sollten die dazu verwendeten Messgeräte mindestens eine Woche lang in Betrieb sein (DWA-M 182, 2012).

Einzelmessungen

Hierbei sollte das Netz stromaufwärts abgeschritten und der Abfluss an wichtigen Knotenpunkten gemessen werden. Eine Wiederholung der Einzelmessungen zu anderen Zeitpunkten ist sinnvoll (DWA-M 182, 2012).

Während der Messperiode sollten der Füllstand und das Entlastungsverhalten oberhalb liegender Becken erfasst werden. Der Grund dafür ist, dass das Rückhalte- und Entlastungsverhalten von Becken den Abfluss im unterhalb liegenden Netz beeinflusst. Bei länger andauerndem Beckeneinstau oder länger andauernden Entlastungen kann die Auswertung der unterhalb liegenden Abflussmessung zu einer Fehleinschätzung des Fremdwasserabflusses an dieser Messstelle führen (DWA-M 182, 2012).

Gleichzeitig ist zu prüfen, ob an Pumpwerken ausreichende Dokumentationen der Weiterleitungsmenge vorliegen. Eventuell ist während der Messperiode der Einbau ergänzender Messeinrichtungen zur Erfassung der Förderströme sinnvoll (DWA-M 182, 2012).

Da der Fremdwasseranfall meist mit dem Grundwasserstand in Zusammenhang steht, sollte der Grundwasserstand immer ausgewertet werden. Dabei kann auf amtliche Grundwassermessungen zurückgegriffen werden. Wenn solche Informationen nicht vorliegen, kann eine weitere Messung des Grundwasserpegels im Einzugsgebiet nützlich sein (DWA-M 182, 2012).

Das DWA-M 182 (2012) empfiehlt parallel zur Abflussmessung im Kanal eine ortsnahe Niederschlagsmessung und ggf. eine Temperaturmessung (Differenzierung Regen, Schnee etc.). Dadurch können die Zusammenhänge zwischen Niederschlagsereignissen und Fremdwasseranfall festgestellt werden (DWA-M 182, 2012).

3.3 Fremdwasserbestimmung

Die Bestimmung des Fremdwasserabflusses ist nur mit Verfahren möglich, die auf Abflussmessungen basieren (DWA-M 182, 2012).

Das Fremdwasser im Kanal tritt zusammen mit den übrigen Abflusskomponenten wie Schmutz- und Niederschlagswasser vermischt auf. Deshalb ist eine direkte Messung des Fremdwasserabflusses nicht möglich. Das DWA-M 182 (2012) beschreibt zwei Ansätze, mit denen das Fremdwasser bestimmt werden kann:

- Deskriptive Ansätze
- Deterministische Ansätze

Unabhängig von der Auswertemethode ist zur Plausibilitätsprüfung der Fremdwasserbestimmung unbedingt jeweils die Abflussbilanz an der Messstelle für den untersuchten Auswertezeitraum rechnerisch zu überprüfen. Damit können mögliche, systematische Fehler ausgeschlossen werden (DWA-M 182, 2012).

3.3.1 Deskriptive Ansätze

Die Fremdwasserbestimmung erfolgt durch einfache Auswertemethoden. Ein Ursachen-Wirkungs-Prinzip wird bei den deskriptiven Ansätzen nicht berücksichtigt. Auf Basis von Abflussmessungen des Gesamtabflusses werden Aussagen zum Fremdwasserabfluss abgeleitet. Der Nachteil eines deskriptiven Ansatzes ist, dass nur Aussagen über den betrachteten Untersuchungszeitraum gewonnen werden können. Aufgrund der hohen zeitlichen Variabilität der Fremdwasserabflüsse können diese Aussagen nur schwer auf andere Zeiträume übertragen werden. Damit ist der Vergleich von Fremdwasserauswertungen unterschiedlicher Messzeiträume ohne Berücksichtigung der Randbedingungen, wie z. B. Niederschlagsgeschehen, Grundwasserstände, Vegetationsperiode usw. nicht möglich (DWA-M 182, 2012).

Die Dauer und der Messzeitraum für ein aussagekräftiges Ergebnis sind bei den deskriptiven Ansätzen entscheidend. Der Messzeitraum ist möglichst so zu wählen, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit die relevanten Fremdwasserabflüsse erfasst werden können. Dabei soll die spezifische Fremdwassercharakteristik des jeweiligen Einzugsgebiets beachtet werden (DWA-M 182, 2012).

Die folgend angeführten Methoden, die zur Bestimmung von Fremdwasser dienen, führen alle zu unterschiedlichen Ergebnissen. Im Wesentlichen wird in keiner dieser Methoden der „richtige“ Fremdwasseranfall wiedergespiegelt. Deshalb muss bei der Ermittlung von Fremdwasser die angewandte Methode immer benannt werden. Die Vergleiche von Einzugsgebieten oder die Beurteilung von Fremdwasserreduzierungserfolgen müssen daher immer mit der gleichen Methode erfolgen (DWA-M 182, 2012).

3.3.1.1 Jahresschmutzwasser-Methode

Die Jahresschmutzwasser-Methode ist die einfachste Methode zur Fremdwasserbestimmung. Der jährliche Fremdwasserabfluss wird dabei als Differenz aus der im Rahmen der Abwasserabgabeerklärung ermittelten Jahresschmutzwassermenge (JSM) und aus dem über den Trinkwasserverbrauch ermittelten jährlichen Schmutzwasser-

anfall berechnet. Dabei werden die Verluste ebenfalls berücksichtigt. Mit der Jahresschmutzwasser-Methode kann lediglich der Jahresmittelwert des Fremdwasseranfalls berechnet werden (LUBW, 2007).

Die Jahresschmutzwassermenge (JSM) wird in der DWA-M 182 (2012) als das jährlich gereinigte Abwasservolumen ohne dem Niederschlagswasser definiert.

Die Vorgehensweise zur Fremdwasserbestimmung muss nicht auf ein Jahr beschränkt werden. Sie kann auch auf längere oder kürzere Zeiträume angewendet werden. Die Jahresschmutzwasser-Methode eignet sich für die Fremdwasserbestimmung in Mischsystemen (DWA-M 182, 2012).

Das DWA-M 182 (2012) empfiehlt eine Auswertung von ortsnahe Niederschlagsmessstationen. Somit werden subjektive Beeinflussungen bei der Festlegung von Trockenwettertagen ausgeschlossen.

3.3.1.2 Nachtminimum-Methode

Der augenblickliche, nächtliche Fremdwasserabfluss an Trockenwettertagen kann mit der Nachtminimum-Methode bestimmt werden. Dabei werden die Abflüsse zum Zeitpunkt des absoluten Tagesminimums an Trockenwettertagen ausgewertet. Dieser Zeitpunkt ist in der Regel der Zeitraum zwischen 00:00 und 05:00 Uhr. Es wird davon ausgegangen, dass in diesem Zeitraum nur ein sehr geringer Anteil an Schmutzwasser im Abfluss vorhanden ist. Weiters geht man davon aus, dass die Messergebnisse zu diesem Zeitpunkt im Wesentlichen den Fremdwasserabfluss repräsentieren. Bisher wurde der ermittelte, kleinste Nachtabfluss um einen Nacht-Schmutzwasserabfluss ($Q_{s,min}$) vermindert, welcher in Abbildung 19 veranschaulicht ist (DWA-M 182, 2012).

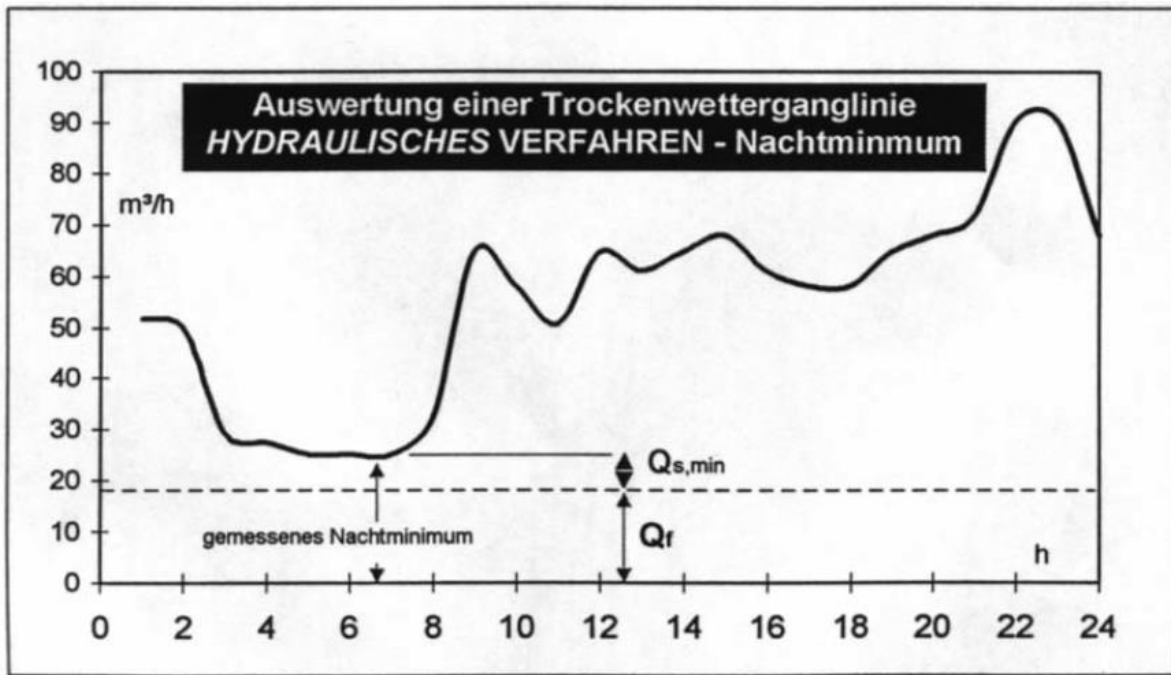


Abbildung 19: Beispiel für die Auswertung einer Trockenwetterganglinie (Warnecke, 1996 in Scaria, 2002)

Nach DWA-M 182 (2012) sind die bisher in der Literatur zum nächtlichen Schmutzwasserabfluss-Minimum genannten Werte sehr unterschiedlich und aus heutiger Sicht unrealistisch. Des Weiteren sind sie in der Regel zu hoch und für einen pauschalen Abzug nicht geeignet. Diese Behauptung lässt sich durch die genaueren Informationen zum tatsächlichen Abfluss in Abwasserkanälen und seiner Schwankungsbreite begründen. Das DWA-M 182 (2012) besagt, dass der Abzug für den Nacht-Schmutzwasserabfluss zur Bestimmung des Fremdwasserabflusses beispielsweise durch entsprechende Messungen oder Untersuchungen des Trockenwetterabflusses und des Wasserverbrauchs über einen längeren Zeitraum, für jeden Einzelfall plausibel zu ermitteln bzw. zu begründen ist. Dabei sind die Einleitungen aus Krankenhäusern, Industrie und Gewerbe, Alten- und Pflegeheimen usw. zu berücksichtigen. Überdies besagt das DWA-M 182 (2012), dass kein Abzug für den Nacht-Schmutzwasserabfluss vorgenommen werden soll, wenn für einen konkreten Einzelfall keine spezifischen Erkenntnisse zum nächtlichen Schmutzwasserabfluss vorhanden sind oder ermittelt werden können. Wenn trotzdem ein Abzug vorgenommen wird, so ist dieser zu begründen und zu benennen (DWA-M 182, 2012).

Bei Vorhandensein von zeitlich hoch aufgelösten Aufzeichnungen des Nachtabflusses über einen längeren Zeitraum kann der Fremdwasserabfluss für einen längeren Zeitraum mit dieser Methode ermittelt werden. Seine Schwankungsbreite im Auswertezimmeraum kann somit auch festgestellt werden. Jedoch sollten ständig alle Trockenwetter-

tage des Auswertezeitraumes in die Berechnung mittlerer Fremdwasserabflüsse eingehen. Andererseits ist der jährliche Fremdwasserabfluss stark von der Wahl der Messtage beeinflusst und in der Summe wenig repräsentativ (DWA-M 182, 2012).

3.3.1.3 Methode mit gleitendem Minimum

Bei dieser Methode wird versucht, aus gemessenen Tagesabflüssen Aussagen zum Trockenwetterabfluss zu erhalten. Dazu werden keine Niederschlagsinformationen verwendet. Zwei unterschiedliche Ansätze haben sich bisher dazu etabliert.

Bei der Vorgehensweise nach ATV-DVK-A 198 (2003) wird für jeden Tag eines Auswertezeitraumes der kleinste gemessene Tagesabfluss in einem Zeitraum von 21 Tagen ermittelt (10 Tage zurück und 10 Tage nach vorne). Die Ganglinie des gleitenden Minimums, die sich daraus ergibt, wird pauschal um 20% erhöht. Alle Tagesabflüsse, die unterhalb dieser Ganglinie liegen, werden als Trockenwettertage gezählt. Die darüber liegenden Abflüsse werden als niederschlagsbeeinflusste Abflüsse eingestuft. Die weitere Vorgehensweise bei der Fremdwasserbestimmung entspricht der Jahresschmutzwasser-Methode unter Verwendung der identifizierten Trockenwettertage. Die Methode des Gleitenden Minimums zur Fremdwasserbestimmung dient also zur Identifizierung von Trockenwettertagen aus der Grundgesamtheit aller Tagesabflüsse (DWA-M 182, 2012).

Kurzfristige Schwankungen in den Tagesabflüssen werden vor allem durch direkte Niederschlagsabflüsse hervorgerufen. Die Schwankung beim Fremdwasserabfluss ist hingegen relativ träge. Das ist der Grundgedanke dieses Ansatzes. Infolge der pauschalen Erhöhung der Ganglinie des gleitenden Minimums um 20% wird versucht, die Variabilität des Schmutzwasserabflusses (z.B. Wochengang) aufzufangen. Infolge dieser Ansätze wird die Bestimmungsmethode, im Vergleich zur Jahresschmutzwasser-Methode, umso ungenauer, je mehr die wahren Verhältnisse von den Grundannahmen abweichen. Diese Methode führt zu einer Unterschätzung der Fremdwassersituation, wenn beispielsweise eine schnelle Fremdwasserdynamik vorliegt. Das DWA-M 182 (2012) schlägt keine Anwendung dieser Bestimmungsmethode vor, sofern keine repräsentative Niederschlagsinformationen vorhanden sind (DWA-M 182, 2012).

Die zweite Methode des gleitenden Minimums kommt in Baden-Württemberg zur Anwendung (Fuchs et al., 2003). Hier wird für jeden Auswertezeitraum ein fiktiver Trockenwetterabfluss bestimmt. Dieser ist gleich dem kleinsten gemessenen Wert des Tagesabflusses aus den letzten 21 Tage-Intervall. Alle Abflüsse, die über diese so ermittelte Trockenwetterganglinie hinausgehen, werden als Niederschlagsabflüsse gezählt. Die Bestimmung des Fremdwasserabflusses erfolgt folgendermaßen: Von den fiktiven Trockenwettertagesabflüssen wird der als konstant angenommene tägliche Schmutzwasserabfluss abgezogen. Dadurch kann für jeden einzelnen Tag des Auswertezeitraumes ein Fremdwasserabfluss berechnet werden. Des Weiteren kann durch diese Methode eine kontinuierliche Fremdwasserganglinie ermittelt werden. Es

wird davon ausgegangen, dass sich Schwankungen beim Fremdwasserabfluss aus langsamen Veränderungen des Grundwasserstandes ergeben. Andererseits geht man bei dieser Methode ebenfalls davon aus, dass schnelle Abflussänderungen nur durch den Regenabfluss von Oberflächen hervorgerufen werden. Ein konstanter Schmutzwasserabfluss über den gesamten Auswertzeitraum wird vorausgesetzt. Die Schwankungen zwischen den einzelnen Tagen sowie ein Wochengang werden nicht berücksichtigt. Unter ungünstigen Umständen kann diese Methode sogar zu einem negativen Fremdwasserabfluss führen, wobei dieser nicht durch eine Exfiltration begründet wäre. Das DWA-M 182 (2012) empfiehlt daher, diese Bestimmungsmethode zur Ermittlung der absoluten Fremdwasserabflüsse sowie von Fremdwasserzuschlägen bzw. Fremdwasseranteilen nicht zu verwenden (DWA-M 182, 2012).

Das DWA-M 182 (2012) beschreibt diese Methode als eine sehr einfach anwendbare und praktikable Methode für ein ergänzendes Screening sowie zur qualitativen Identifikation der im Einzugsgebiet auftretenden Fremdwasserschwankungen. Dies wird in Abbildung 20 veranschaulicht. Entsprechende Rückschlüsse auf die im Einzugsgebiet vorhandenen Fremdwasserquellen sind damit dann auch möglich (DWA-M 182, 2012).

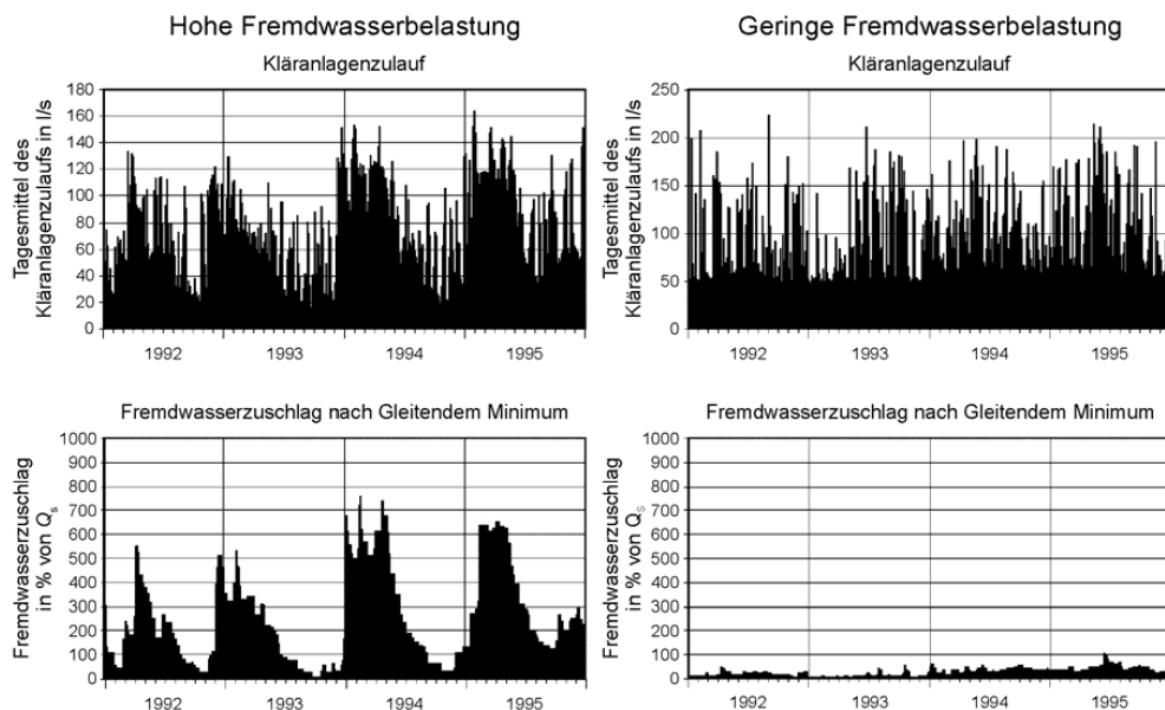


Abbildung 20: Ganglinien der mittleren Tagesflüsse und der resultierenden täglichen Fremdwasserzuschläge von zwei Kläranlagen, links mit hoher, rechts mit geringer Fremdwasserbelastung (Brombach, 2004 in DWA-M 182, 2012)

Die Methode des gleitenden Minimums hat sich zur Erhebung der Abwasserabgabe in Baden-Württemberg als eine landeseinheitliche und manipulationsresistente Bestimmungsmethode bewährt (DWA-M 182, 2012).

3.3.1.4 Chemische Methode

Die Fremdwasserbestimmung durch die chemische Methode beruht darauf, dass Stoffkonzentrationen im Abwasser umso geringer sind, je mehr Fremdwasser darin enthalten ist (Verdünnung) (LUBW, 2007).

Entwickelt wurde die chemische Methode zur Fremdwasserbestimmung von Hager et al. (1984). Die Fremdwasserbestimmung durch die chemische Methode beruht auf einer Messung im Nachtminimum. Mit den Nachtwerten kann der Fremdwasseranteil am genauesten bestimmt werden. Das Mengenverhältnis von Fremdwasser zu Schmutzwasser ist in dieser Zeit am größten. Dabei wird die Konzentrationsganglinie der Schmutzstoffe mit der Ganglinie des Abwasseranfalls verglichen. Dies ermöglicht die Berechnung der Fremdwassermenge (Scaria 2002; LUBW, 2007).

Der große Vorteil dieser Methode ist, dass dafür weder ein Wetterschlüssel noch der Schmutzwasseranfall benötigt werden. Doch die Fremdwasserbestimmung mit der chemischen Methode ist mit viel Aufwand verbunden, wenn keine Online-Messungen im Zulauf der Kläranlage vorhanden sind. Die Bestimmung des Fremdwassers muss hier an Trockenwettertagen erfolgen (LUBW, 2007).

Nach Scaria (2002) sind Schmutzstoffparameter besonders geeignet, wenn sie folgende Bedingungen erfüllen:

- Einfache, analytische Bestimmung
- Biologisch im Kanalnetz unwesentlich abbaubar
- Im Trink- und Fremdwasser nicht nachweisbar
- Konstanter, täglicher Anfall

Folgende Parameter eignen sich nach Hager et. al. (1984) zur Beurteilung der Schmutzstoffkonzentration:

- Kohlenstoff (TOC, DOC)
- Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)
- Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB)
- Spektraler Absorptionskoeffizient (SAK)

Nach Scaria (2002) müssen folgende Daten zur Berechnung der Fremdwassermenge erhoben werden:

- Mittlerer Trockenwetteranfall $Q_{T,m}$ [m³/h]
- Minimaler Trockenwetteranfall $Q_{T,min}$ [m³/h]

- Mittlere Tages-Schmutzfracht S [kg/h]
- Mittlere Schmutzstoff-Konzentration $C_{T,m}$ [g/l]
- Minimale Schmutzstoffkonzentration $C_{T,min}$ [g/l]

Die Ermittlung des Fremdwasseranteils erfolgt lt. LUBW (2007) nach der Formel

$$FWA = \frac{100}{m} * [1 - s(m - 1 + c)] \quad [\%] \quad \text{Gleichung 6}$$

mit:

$$m = \frac{Q_{T,m}}{Q_{T,min}} \quad [-] \quad \text{Gleichung 7}$$

$$c = \frac{C_{T,min}}{C_{T,m}} \quad [-] \quad \text{Gleichung 8}$$

$$s = \frac{C_{T,min} * Q_{T,min}}{S} \quad [-] \quad \text{Gleichung 9}$$

3.3.1.5 Dreiecksmethode

Die Fremdwasserbestimmung mit der Dreiecksmethode wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes unter der Maßgabe einer einheitlichen Datengrundlage und der guten Vergleichbarkeit der Ergebnisse entwickelt (LfU, 2001 in: LUBW, 2007). Es handelt sich um eine rein graphische Methode, bei welcher die Tageszuflüsse zur Kläranlage sowie die Wetterschlüssel als Grundlage dienen (DWA-M 182, 2012; LUBW, 2007).

Die Tageszuflüsse werden hierbei der Größe nach sortiert und anschließend an der Gesamtzahl bzw. am auftretenden Maximalzufluss normiert. Daraus ergibt sich eine Unterschreitungs-dauerlinie des Zuflusses. Abbildung 21 veranschaulicht exemplarisch ein Beispiel für die Anwendung der Dreiecksmethode zur Fremdwasserbestimmung (Scaria 2002).

3.3.1.6 Vergleich der deskriptiven Ansätze

Abhängig von den Einsatzrandbedingungen sind nach DWA-M 182 (2012) beachtliche Abweichungen der Ergebnisse zwischen den Methoden untereinander möglich. Erfahrungen von Fuchs et al. (2003) und der DWA-Arbeitsgruppe ES-1.3 zeigen, dass die Jahresschmutzwasser-Methode und die Nachtminimum-Methode vergleichsweise den höchsten Fremdwasseranfall liefern. Die Methoden des gleitenden Minimums führen im Gegensatz dazu zu geringeren Werten. Den Methoden ist gemeinsam, dass sie den Fremdwassernachlauf aus Drainagen und Undichtheiten direkt nach einem Regenereignis nicht ausreichend genau erfassen (DWA-M 182, 2012).

Mit der Methode des gleitenden Minimums werden im Wesentlichen die durch langfristige Veränderungen hervorgerufenen Verläufe des grundwasserbedingten Fremdwassers wiedergegeben. Nachdem die Jahresschmutzwasser-Methode und die Nachtminimum-Methode an Trockenwettertage gebunden sind, können mit denen auch die Nachlaufereignisse nach Niederschlägen prinzipiell besser erfasst werden (DWA-M 182, 2012).

Welche Methode letztendlich in der Anwendung am besten geeignet ist, lässt sich nach DWA-M 182 (2012) pauschal nicht beantworten. Entscheidend dafür ist die Grundwasser- und Niederschlagswassercharakteristik eines Einzugsgebietes bzw. sollten alle Ergebnisse der verschiedenen Methoden vergleichend gegenübergestellt werden. Die Methode des gleitenden Minimums ist für ein Screening des qualitativen Verlaufes des Basisfremdwasserabflusses gut geeignet. Sie ist nämlich relativ einfach anzuwenden und benötigt keine Informationen zum Niederschlagsgeschehen. Die Jahresschmutzwasser-Methode ist für eine qualitative Beurteilung besser geeignet, wenn die Kenntnis kurzfristiger Fremdwasserschwankungen für den Planungsprozess erforderlich ist (DWA-M 182, 2012).

In Tabelle 5 sind die gebräuchlichen, deskriptiven Fremdwasserbestimmungsmethoden gegenübergestellt.

Tabelle 5: Übersicht über die verschiedenen deskriptiven Methoden zur Fremdwasserbestimmung (DWA-M 182, 2012)

Methode	Ergebnis	Stärken	Hinweise zur Anwendung
Jahres-schmutzwassermethode	mittlerer jährlicher Fremdwasserabfluss sowie Fremdwasserabfluss an Trockenwettertagen	+ einfache Auswertung mittels Tabellenkalkulation möglich + hohe Genauigkeit des ermittelten Fremdwasserabflusses an Trockenwettertagen + saisonale Auswertung möglich	– Bei Fehlen einer konkreten Definition des Trockenwetterschlüssels bzw. bei individueller Interpretation der Repräsentativität der herangezogenen Niederschlagsreihe für das Einzugsgebiet werden Trockenwettertage mit hohem Fremdwasserabfluss oftmals (individuell) als Regennachlauftage eingestuft und bei der Fremdwasserbestimmung ausgeklammert. Dies führt dann zu einer Unterschätzung des tatsächlichen Fremdwasserabflusses.
Nachtminimummethode	aktueller Fremdwasserabfluss an Trockenwettertagen	+ prinzipiell sehr einfache und praxisgerechte Ermittlung + keine kontinuierliche Abflussmessung erforderlich + saisonale Auswertung möglich	– Pauschale Abzüge für den nächtlichen Schmutzwasserabfluss (z. B. Literaturwerte) sollten nicht verwendet werden, da diese i. d. R. zu einer Unterschätzung des Fremdwasserabflusses führen. – Die Ermittlung eines repräsentativen nächtlichen Schmutzwasserabflusses ist aufwendig und bedarf einer längeren Messperiode.
Methode mit gleitendem Minimum nach Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 198	mittlerer jährlicher Fremdwasserabfluss sowie Fremdwasserabfluss an vermeintlichen Trockenwettertagen	+ einfache Auswertung mittels Tabellenkalkulation möglich + saisonale Auswertung möglich + keine Informationen zum Niederschlagsgeschehen erforderlich	– Die Methode identifiziert bei einem ausgeprägten Schmutzwasserwochengang (z. B. Industrie) oder bei relativ schnellen Fremdwasserschwankungen systematisch eine zu geringe Anzahl von Trockenwettertagen, sodass dann der tatsächliche Fremdwasserabfluss unterschätzt wird.
Methode mit gleitendem Minimum entsprechend Baden-Württemberg	Ganglinie des grundwasserbedingten Fremdwasserbasisabflusses	+ einfache Auswertung mittels Tabellenkalkulation möglich + lückenlose Fremdwasserganglinie für den Auswertzeitraum + keine Informationen zum Niederschlagsgeschehen erforderlich	– Die Methode führt bei einem ausgeprägten Schmutzwasserwochengang (z. B. Industrie) oder bei relativ schnellen Fremdwasserschwankungen zu einer Unterschätzung des tatsächlichen Fremdwasserabflusses.

Die Genauigkeiten der Ergebnisse der einzelnen Methoden werden dann deutlich, wenn versucht wird, aufgrund der erzielten Ergebnisse für das jeweilige Einzugsgebiet eine Abflussbilanz aufzustellen.

$$\text{gemessener Abfluss} = \text{Schmutzwasserabfluss} + \text{Niederschlagsabfluss} + \text{Fremdwasserabfluss}$$

Nach Pecher & Kahrs (2008) zeigt sich bei stark fremdwasserbelasteten Netzen häufig eine deutliche Unterschätzung der Fremdwasserhältnisse. Die Methode des gleitenden Minimums, die sich für die Fremdwasserbestimmung zunehmend durchsetzt, wird dabei als sehr kritisch eingeschätzt.

Der Grund dafür ist, dass die Fremdwasserabflüsse den Niederschlagswasserabflüssen zugerechnet werden. Für die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse müssten dann

die abflusswirksamen Flächen wesentlich größer sein als in Wirklichkeit vorhanden (DWA-M 182, 2012).

In Abbildung 22 sind die methodenabhängigen Ergebnisunterschiede bei der Fremdwasserbestimmung dargestellt, die für elf Kläranlagen eines nordrhein-westfälischen Abwasserverbandes durchgeführt wurde. Es wurde dabei jeweils ein Auswertzeitraum von acht Jahren herangezogen. Die Ergebnisse der untersuchten deskriptiven Methoden wurden dann mit den Ergebnissen einer detaillierten Abflussbilanzierung verglichen. Es zeigte sich dabei je nach Auswertemethode und je nach Einzugsgebiet eine Unterschätzung des Fremdwasserabflusses. Deshalb ist in jedem Fall eine kritische Auseinandersetzung mit den Ergebnissen inklusive einer Plausibilitätsprüfung vor der Weiterverwendung der Ergebnisse für wasserwirtschaftliche Planungsaufgaben erforderlich (DWA-M 182, 2012).

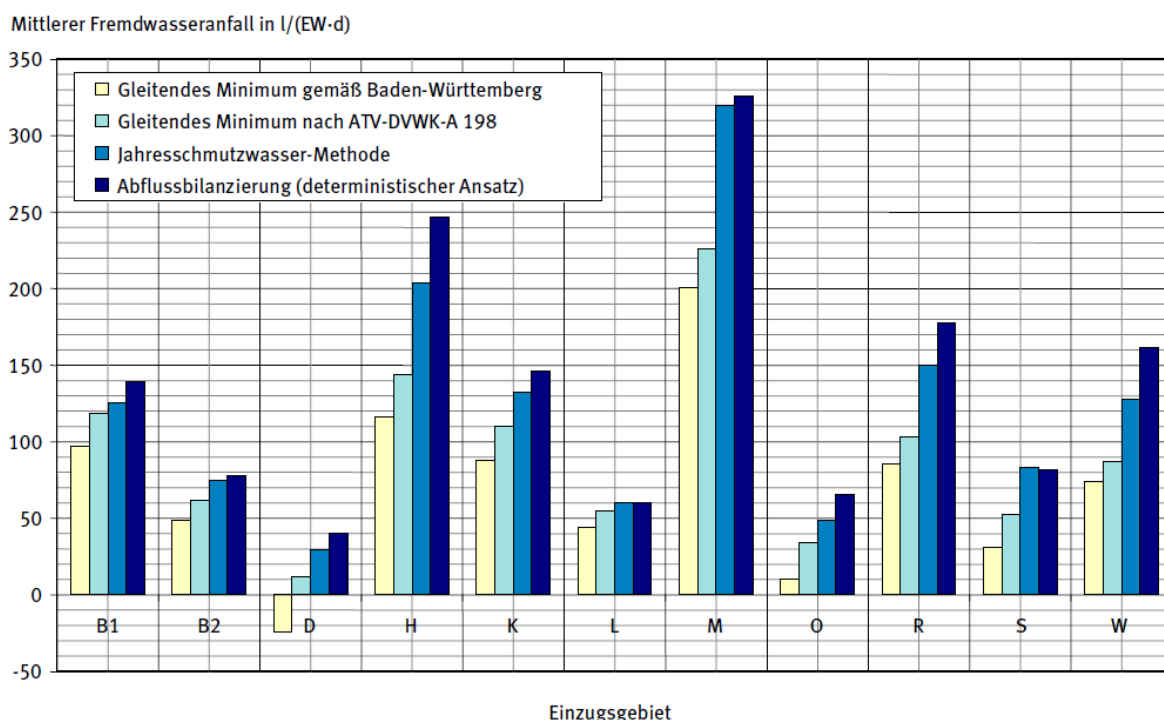


Abbildung 22: Ergebnisvergleich der verschiedenen Auswertemethoden für elf beispielhafte Einzugsgebiete und einem Auswertzeitraum von jeweils acht Jahren (Pecher, 2009 in DWA-M 182, 2012)

Wenn zur Fremdwasserbestimmung eine deskriptive Methode angewendet wird, ist nach DWA-M 182 (2012) zu beachten, dass der Fremdwasserabfluss in einem Entwässerungssystem in der Realität immer starken zeitlichen Schwankungen unterliegt. Die Aussagen zum Fremdwasserabfluss werden also unabhängig von den Vor- und Nachteilen der einzelnen Bestimmungsmethoden immer vom Beobachtungszeitpunkt bzw. -zeitraum beeinflusst. Daher ist bei den deskriptiven Ansätzen eine Reproduzierbarkeit des festgestellten Fremdwasserabflusses für einen anderen Auswertzeitraum

nicht gegeben. Außer bei sehr langen Auswerteziträumen mit weitgehender Erfassung der Fremdwasserschwankungen könnte evtl. eine vergleichende Betrachtung möglich sein (DWA-M 182, 2012).

3.3.2 Deterministische Ansätze

Die deterministischen Ansätze basieren im Gegensatz zu den deskriptiven Ansätzen auf Ursachen-Wirkungs-Relationen. Durch Analysen der Abflussmessungen in den Untersuchungszeiträumen werden bei deterministischen Analysen funktionale Abhängigkeiten des Fremdwasserabflusses beispielsweise von kurz- und mittelfristigen Niederschlagsereignissen abgeleitet. Es ist dann möglich, diese auf andere Zeiträume zu übertragen. Die Länge und die zeitliche Lage des Messzeitraumes ist dann hierfür maßgebend. Der Messzeitraum ist so zu wählen, dass die typische Bandbreite der Fremdwassercharakteristik mit hoher Wahrscheinlichkeit erfasst wird (DWA-M 182, 2012).

3.3.2.1 Direkter Niederschlagsabfluss im Schmutzwasserkanal

Der niederschlagsbedingte Fremdwasserabfluss kann durch Auswerten der gemessenen Abflüsse bei Niederschlagsereignissen direkt ermittelt werden. Wenn entsprechende Messdaten (z.B. Ganglinien) vorhanden sind, können in Abhängigkeit des Niederschlagsgeschehens folgende Aussagen möglich sein:

- Aussagen zum abgeflossenen Niederschlagsvolumen
- Aussagen zum maximalen Niederschlagsvolumen

Es ist auch möglich, daraus an das Schmutzwasserkanalnetz fehlangeschlossene abflusswirksame Flächen zu ermitteln. Wenn eine hohe statistische Genauigkeit angestrebt wird, sollen nach Möglichkeit möglichst viele Niederschlagsereignisse ausgewertet werden. Die Abflussbereitschaft der Flächen ist von sehr vielen Faktoren abhängig. Unter Anderem sind dies (DWA-M 182, 2012):

- Niederschlagshöhe
- Niederschlagsintensität
- Länge der Trockenperiode
- Durchlässigkeit der Flächen
- Jahreszeit

Aufgrund dieser o.a. Faktoren ist die Aussagekraft des Verfahrens vor allem bei Auswertung weniger Ergebnisse sehr begrenzt. Es ist zu berücksichtigen, dass die Kanalquerschnitte den Niederschlagsabfluss im Kanalnetz drosseln und damit das Auswertergebnis beeinflusst werden kann (DWA-M 182, 2012).

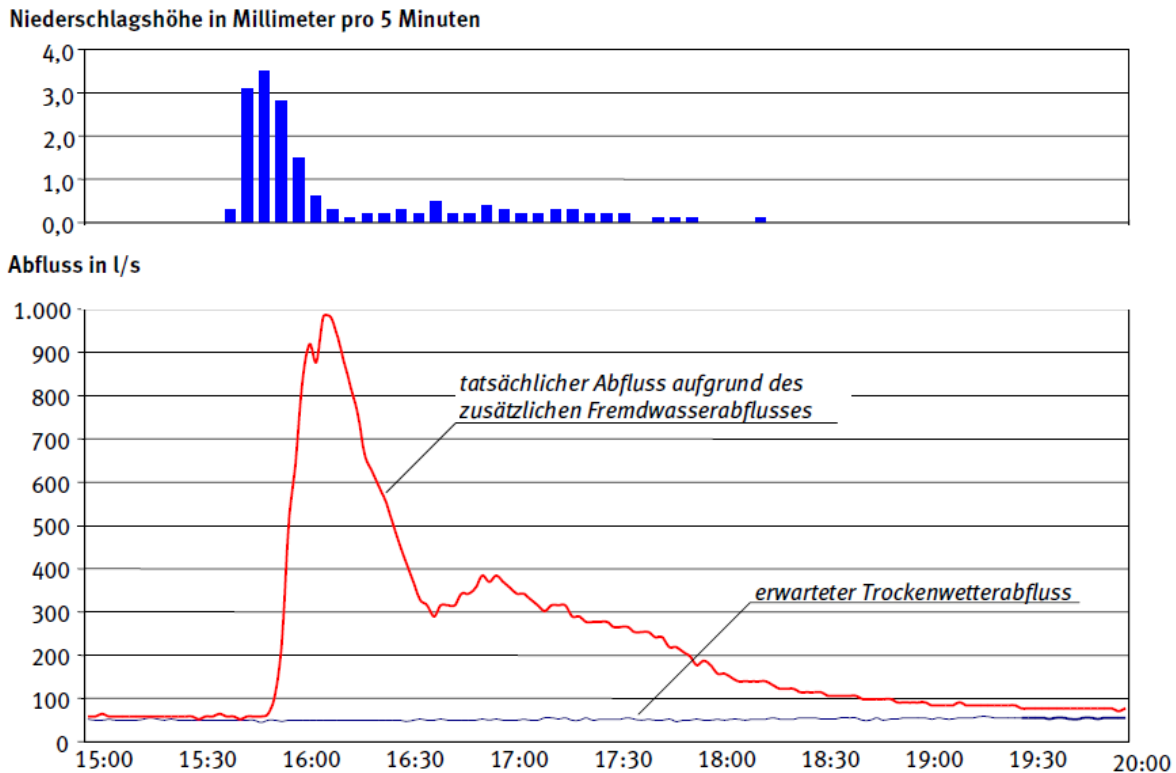


Abbildung 23: Abflussganglinie in einem Schmutzwasserkanal während eines Starkregenereignisses und Vergleich mit der typischen Trockenwetterganglinie (Pecher, 1998 in DWA-M 182, 2012)

Abbildung 23 stellt beispielhaft das Abflussgeschehen in einem Schmutzwasserkanal einer deutschen Großstadt während eines sommerlichen Niederschlagsereignisses dar. Die Niederschlagshöhe betrug dabei 16,7 mm bei einem Messzeitraum zwischen 15:00 und 20:00 Uhr. An den davor und danach liegenden Tagen wurde während dieser Tageszeit ein mittlerer Trockenwetterabfluss von ca. 50 l/s gemessen. Für den gewählten 5-Stunden-Zeitraum war daher mit einem Abflussvolumen von rd. 900m³ zu rechnen. Tatsächlich sind jedoch ca. 4000m³ abgeflossen. Somit betrug der niederschlagsbedingte Mehrabfluss (Fremdwasser) rd. 3100m³ (DWA-M 182, 2012).

Da innerhalb eines Einzugsgebietes die Niederschlagsverteilung unterschiedlich ist, kann aus einer einmaligen Abflussbilanzierung keine belastbare Aussage zur fehlangeschlossenen abflusswirksamen Fläche abgeleitet werden. Es sollte dazu eine größere Anzahl von Ergebnissen analysiert und ausgewertet werden, um ein plausibles Ergebnis zu erzielen (DWA-M 182, 2012).

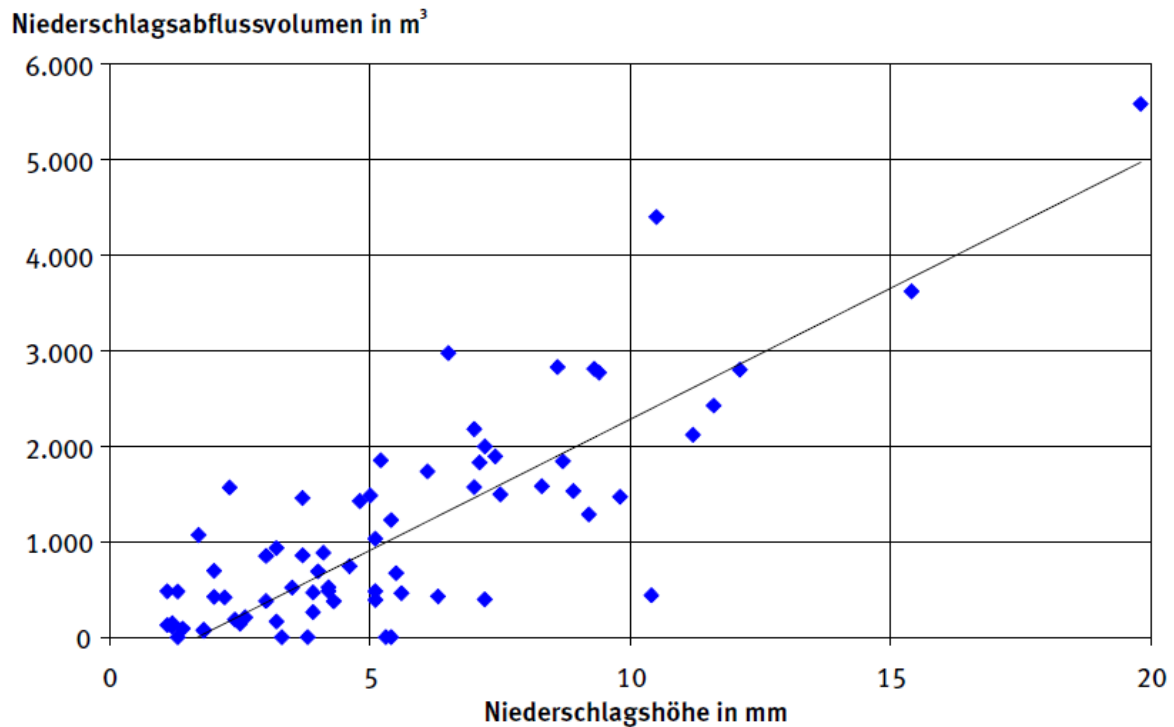


Abbildung 24: Beispielhafte Korrelation zwischen Niederschlagshöhe und Niederschlagsabflussvolumen in einem Schmutzwasserkanal (Pecher, 1998 in DWA-M 182, 2012)

In Abbildung 24 ist für die bereits oben genannte Messstelle eine Korrelation zwischen Niederschlagshöhe und dem gemessenen Niederschlagsabfluss im Kanal für eine Reihe von Ereignissen aufgetragen. Aus der Regressionsgerade kann dabei die angeschlossene abflusswirksame Fläche ermittelt werden. Es sollen allerdings die Anfangsverluste, die bei jedem Niederschlagsereignis stattfinden, berücksichtigt werden. Im untersuchten Fall führt nach der Benetzungsphase zu Niederschlagsbeginn jeder zusätzliche Millimeter Niederschlag im Mittel zu einem Abfluss von rd. 275m³. Das entspricht einer fehlangeschlossenen abflusswirksamen Fläche von ca. 27,5 ha (DWA-M 182, 2012).

3.3.2.2 Hydrologischer Modellansatz

Um die Fremdwassersituation eines Einzugsgebietes zu beschreiben bietet es sich im Weiteren an, Parallelen zum Niederschlagsabfluss von befestigten Flächen zu ziehen. Neuere Lösungsansätze beruhen auf einer Niederschlags-Abfluss-Modellierung unter den Ansatz einer bestimmten Niederschlagsbelastung und einer spezifischen abflusswirksamen Fläche unter Berücksichtigung der Abflussprozesse (DWA-M 182, 2012).

Die Belastungssituation eines Entwässerungssystems wird grundsätzlich durch das Niederschlagsgeschehen und durch die an das Kanalnetz angeschlossene abflusswirksame Fläche beschrieben. Das DWA-M 182 (2012) merkt an, dass je nach Nie-

Niederschlagsbelastung bei unveränderter Anschlusssituation unterschiedliche Niederschlagsabflüsse resultieren. Jedoch ist ein eindeutiger funktionaler Zusammenhang zwischen Niederschlagsgeschehen und Niederschlagsabfluss gegeben. Hier ist die angeschlossene abflusswirksame Fläche die Größe zur ereignisunabhängigen Beschreibung der Niederschlagswasserbelastung eines Entwässerungssystems (DWA-M 182, 2012).

Die Übertragung dieses Ansatzes auf den Fremdwasserabfluss in der Kanalisation ist möglich und nützlich. Der Hintergrundgedanke dabei ist, dass die verzögerten Fremdwasserabflüsse ebenfalls aus dem Niederschlagsgeschehen resultieren, welche auf eine Fläche fallen und von dort verzögert über die Oberfläche (z. B. unbefestigte Außengebiete) oder den Untergrund (z. B. undichte Kanäle oder Dränagen) dem Kanalnetz als Fremdwasser zufließen (Pecher & Kahrs, 2008).

Deutlich wird dieser Effekt besonders bei der Anwendung von Abflussmessungen in einem fremdwasserbelasteten Schmutzwasserkanal ohne bedeutsame Fehlanlüsse von bebauten oder befestigten Flächen. Es ist hier regelmäßig zu beobachten, dass der Abfluss im Schmutzwasserkanal nach intensiven Niederschlagsperioden deutlich ansteigt. In den darauffolgenden Trockenwetterperioden geht der Abfluss dann langsam wieder zurück. Die Abflussganglinie eines trennkanalisierten Einzugsgebietes im Norden Deutschlands ist in Abbildung 25 beispielhaft dargestellt. Aufgrund der vorhandenen relativ hohen Trägheit der Fremdwasserdynamik wird hier die prinzipielle Charakteristik des Abflusses besonders verdeutlicht. Dasselbe gilt grundsätzlich auch für den Abfluss im Mischsystem. Hierbei wird aber die Abflussganglinie durch die in der Regel sehr großen Abflussspitzen aufgrund der angeschlossenen befestigten Flächen dominiert. Das trägt dazu bei, dass der Fremdwassereffekt augenscheinlich nicht so deutlich heraustritt (Pecher & Kahrs, 2008).

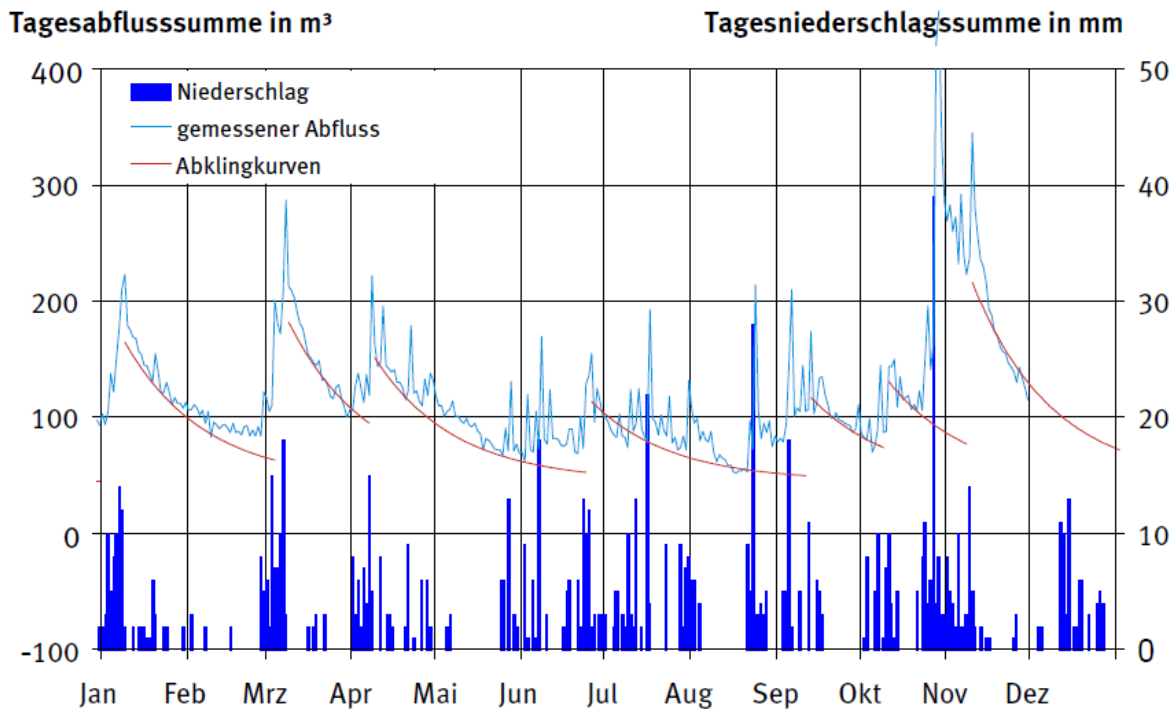


Abbildung 25: Gemessener Abfluss in einem Schmutzwasserkanalnetz ohne nennenswerte Anschlüsse von befestigten Flächen und Gegenüberstellung mit den beobachteten Niederschlägen im Einzugsgebiet (Pecher & Kahrs, 2008 in DWA-M 182, 2012)

Eine direkte Bestimmung der fremdwasserabflusswirksamen Flächen z. B. durch Ortsbegehungen ist nicht möglich. Eine Quantifizierung der relevanten Flächengrößen ist nur indirekt oder iterativ möglich. Diese ist durch einen Vergleich von real beobachteten Abflüssen und den Ergebnissen einer entsprechenden Fremdwassermodellierung möglich (Modellkalibrierung) (DWA-M 182, 2012).

Nach Pecher (2008) konnte die Richtigkeit beim hydrologischen Modellansatz zur Fremdwassersituation eines Einzugsgebietes bisher an zahlreichen Einzugsgebieten bestätigt werden. Es wurde dazu ein relativ einfacher hydrologischer Modellansatz realisiert. Dabei wurde der verzögerte Fremdwasserabfluss über eine fiktive Fläche mit nachgeschaltetem linearen Einzelspeicher bzw. einer Speicherkaskade modelliert. Danach wurden die Simulationsergebnisse mit den Abflussmessungen verglichen. Als Ergebnis dieser Untersuchungen wurde festgestellt, dass bei Berücksichtigung folgender Prozesse eine zuverlässige Fremdwassersimulation eines Einzugsgebietes aufgestellt werden kann:

- Niederschlag auf die Oberfläche (N)
- Evapotranspiration von der Oberfläche (ET_o)
- Infiltration in den Boden- und Grundwasserspeicher (I_{BG})
- Evapotranspiration aus den Boden- und Grundwasserspeicher (ET_{BG})

- Fremdwasserabfluss aus dem Boden- und Grundwasserspeicher in das Entwässerungssystem ($Q_{F,BG}$)
- Regenabfluss auf der Oberfläche (Q_R)

Des Weiteren konnte als Ergebnis festgestellt werden, dass unter Beachtung o.a. Prozesse für verschiedene Kalibrierungszeiträume reproduzierbare Fremdwassersimulationen ebenfalls aufgestellt werden können. Die erwähnten Prozesse sind in Abbildung 26 dargestellt.

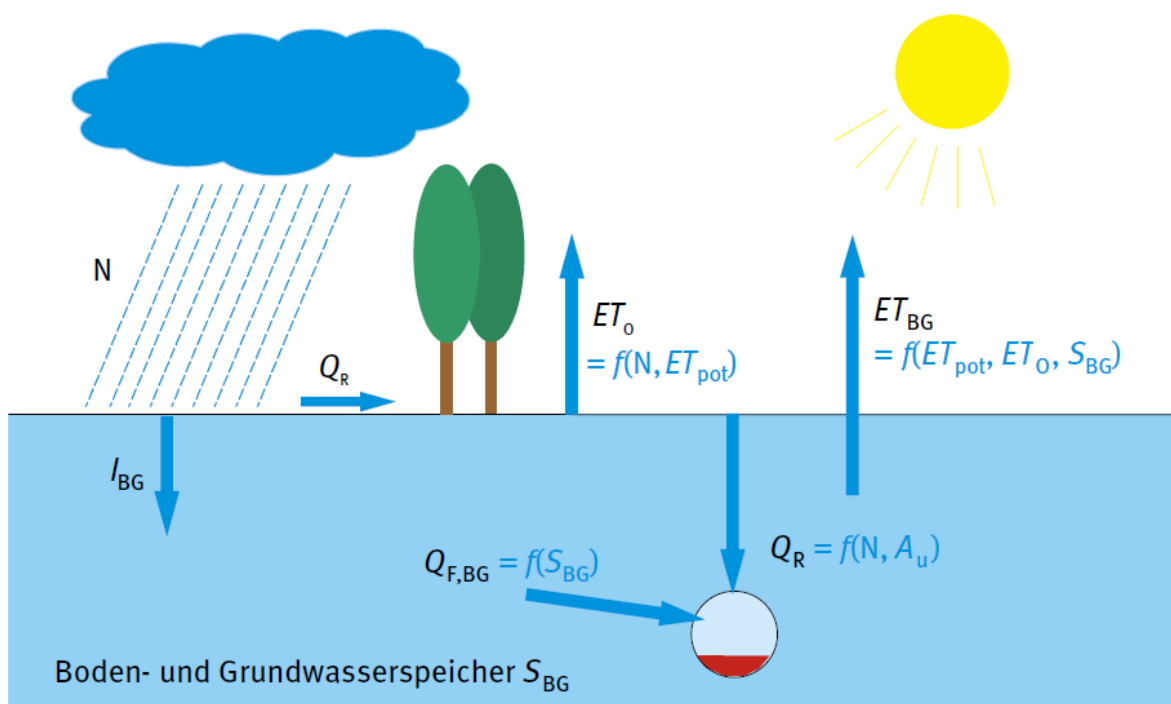


Abbildung 26: Prinzip des verwendeten hydrologischen Fremdwassermodells (Pecher, 2005 in DWA-M 182, 2012)

Die fremdwasserabflusswirksame, drainierte Fläche ($A_{Drän}$) eines Einzugsgebiets, die direkt aus dem Kalibrierungsprozess resultiert, kann dabei als eine beschreibende Kennzahl für die Fremdwassersituation herangezogen werden. Somit kann der immer vorhandene Witterungseinfluss auf die Ergebnisse beseitigt werden. Der neuartige deterministische Ansatz erlaubt nach DWA-M 182 (2012) gegenüber rein deskriptiven Ansätzen insbesondere:

- Eine objektive, da witterungsunabhängige Beschreibung der Fremdwassersituation eines Einzugsgebietes (durch eine definierte Flächengröße)
- Eine detaillierte Modellierung der Fremdwassereffekte im Rahmen von siedlungswasserwirtschaftlichen Planungen/Analysen

- Die Quantifizierung der erforderlichen Fremdwasserreduzierung zur Erreichung des gewünschten Betriebszustandes anhand von Modellszenarien
- Die Definition von quantifizierbaren und überprüfbaren Sanierungszielen anhand eines witterungsunabhängigen Kennwertes
- Die kontinuierliche Erfolgskontrolle durch einen regelmäßigen Soll-Ist-Vergleich
- Die Prognose von Fremdwasserabflüssen in Abhängigkeit des erwarteten Witterungsgeschehens (z. B. als Unterschätzung bei der Einsatzplanung zur Fremdwasserquellensuche im Netz)

Aufgrund der oben genannten Vorteile ist die Anwendung dieses deterministischen Ansatzes bei einer systematischen Auseinandersetzung mit dem Fremdwasseranfall in einem Einzugsgebiet, vor allem bei vorhandenen wasserwirtschaftlichen Problemen, sinnvoll. Es ist anzumerken, dass die Anwendung dieser Methode zur Fremdwasserermittlung mit großen Aufwand verbunden ist. Aber durch die Vorteile ist dieser nach DWA-M 182 (2012) gerechtfertigt (DWA-M 182, 2012).

3.3.2.3 Grundwassermodell

Der Vorteil eines Grundwassermodells liegt in einer ganzheitlichen Betrachtung von Grundwasser und Kanalnetz. Mit diesem Modell können neben der Lokalisierung und Bilanzierung grundwasserbedingter Fremdwassermengen auch grundstücksspezifische Prognosen zu Grundwasseranstiegen erstellt werden. Des Weiteren können auch Sanierungsmaßnahmen dimensioniert werden. Der Einsatz von Grundwassermodellen ist nach Reichel und Getta (2008) bei folgenden Rahmenbedingungen sinnvoll:

- Die grundwasserbedingten Anteile am Fremdwasseraufkommen sind bedeutsam
- Durch den Grundwasseranstieg kann die Flächennutzung beeinträchtigt werden (z.B. Gebäudeschäden in Poldergebieten)
- Wechselwirkung mit anderen wasserwirtschaftlich relevanten Eingriffen (z.B. Gewässerumbau, Versickerungsmaßnahmen, vorhandene Dränage)
- Prognosen zur Wirksamkeit und Dimensionierung von Ersatzsystemen (z.B. Dränagen zur Grundwasserbewirtschaftung sind notwendig)

Für entsprechende Prognoserechnungen wird vorausgesetzt, dass die Kanalnetze und ihre hydraulische Wechselwirkung mit dem Grundwasser in dem Modell integriert sind. Wenn eine konzeptionelle Bearbeitung des Grundwassers erforderlich ist, so reichen in der Regel ein zweidimensionaler Modellaufbau und eine stationäre Kalibrierung aus. Dabei wird das Kanalnetz über die Schächte als Netzknoten in den Aufbau des Modellnetzes integriert (DWA-M 182, 2012).

Durch die derzeit vorhandene Datenbasis ist keine differenzierte Betrachtung der Einzelsysteme verfügbar. So ist die Bezeichnung nach DWA-M 182 (2012) „dräniertes Kanalisationssystem“ immer als Kombination von öffentlichem Kanalisationsnetz und privaten Grundstücksentwässerungsanlagen inklusive daran angeschlossener Dränaugen zu verstehen (DWA-M 182, 2012).

Im Zuge der Kalibrierung des Grundwassermodells erfolgt die Lokalisierung der Dränagewirkung der Kanalisation. Dies geschieht einerseits, indem sich eine Differenz zwischen gemessenem und berechnetem Grundwasserstand ergibt. Andererseits geschieht dies unter Berücksichtigung von Kanalzustandsdaten, die deutliche Hinweise auf das Vorhandensein einer grundwasserabsenkenden Wirkung der Kanalisation ergeben. (DWA-M 182, 2012).

Nach DWA-M 182 (2012) kann die Bilanzierung der grundwasserbedingten Fremdwassermenge für beliebig abgrenzbare Bilanzgebiete erfolgen. Dabei werden innerhalb dieser Gebiete die Grundwassermengen aufsummiert, die den im Grundwasser liegenden Netzknoten zufließen. Dies wird in Abbildung 27 veranschaulicht.

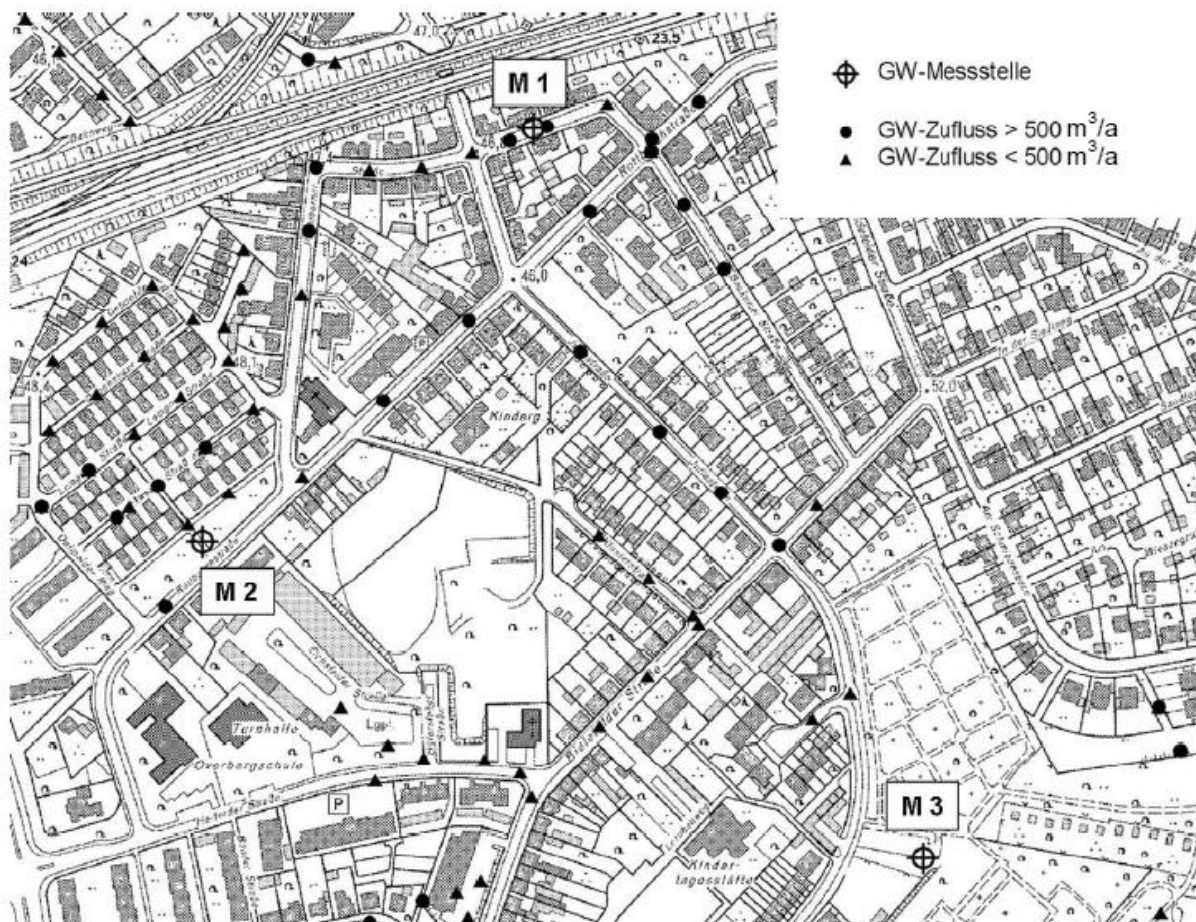


Abbildung 27: Beispiel eines Einzugsgebietes mit Grundwasserzustrom zum Kanalnetz (DWA-M 182, 2012)

Die Zuflüsse, die mit dem Grundwassermodell berechnet sind, basieren bei stationärer Kalibrierung auf einem Zustand mittlerer Grundwasserstände. Somit sind diese als mittlere Zustrommengen zu verstehen. Das grundwasserbedingte Fremdwasser stellt aber keinen konstanten Wert dar. Es unterliegt sowohl großen jahreszeitlichen als auch langjährigen Schwankungen, weshalb es sich nur als Bandbreite beschreiben lässt (DWA-M 182, 2012).

Theoretisch ist die Bilanzierung der Grundwasserzuflüsse mithilfe des Grundwassermodells auch ohne Fremdwassermessungen möglich. Es ist aber nach DWA-M 182 (2012) sinnvoll, ergänzende Fremdwassermessungen zur Validierung der Modellergebnisse durchzuführen. Es ist dabei zu beachten, dass neben dem grundwasserbedingten Fremdwasser auch weitere Fremdwasserzuflüsse existieren. Dies sind beispielsweise die niederschlagsbedingten Sickerwasserzuflüsse oder die Bacheinleitungen ins Kanalnetz (DWA-M 182, 2012).

Durch die Sanierung von Kanalnetzen und das Abklemmen von Fehlanschlüssen wird dem bisher im Kanalnetz abgeleiteten grundwasserbedingten Fremdwasser die Vorflut entzogen. Werden dann hier keine alternativen Fassungs- und Ableitungsmöglichkeiten bereitgestellt, kann es bei den im Einflussbereich des Grundwassers liegenden Kanalnetzen zu einem Anstieg des Grundwasserspiegels kommen (DWA-M 182, 2012).

Mit Hilfe der Grundwassermodellierung ist nach DWA-M 182 (2012) folgendes möglich:

- Ermittlung der Auswirkungen auf den Grundwasserspiegel
- Quantifizierung der grundwasserbedingten Fremdwassermengen, die im Kanalnetz anfallen
- Abschätzung der Lage und Dimension der notwendigen Ersatzsysteme

3.3.2.4 Vergleich der deterministischen Ansätze

Wie bereits erwähnt, basieren die deterministischen Ansätze auf Ursachen-Wirkungs-Relationen. So können mit ihnen nur indirekte Aussagen zum Fremdwasserabfluss abgeleitet werden. Im Gegensatz zu den deskriptiven Methoden können die kurz- mittel- und langfristigen Effekte des Witterungsgeschehens eliminiert werden. Somit sind sie als Instrumente für eine strategisch orientierte wasserwirtschaftliche Planung geeignet. Die einzelnen Ansätze haben dabei unterschiedliche Einsatzbereiche. Daher sind sie nicht alternativ sondern einander ergänzend zu sehen. Die deterministischen Ansätze sind für eine wirksame Erfolgskontrolle unverzichtbar (DWA-M 182, 2012).

Die Tabelle 6 stellt eine Zusammenfassung der methodischen Unterschiede dar.

Tabelle 6: Übersicht über die deterministischen Ansätze (DWA-M 182, 2012)

Ansatz	Ergebnis	Stärken	Hinweise zur Anwendung
Direkter Niederschlagsabfluss im Schmutzwasserkanal	an das Kanalnetz fehlangeschlossene abflusswirksame Fläche (A_a)	+ Der Ansatz liefert einen Flächenwert, der unabhängig vom Witterungsgeschehen im Rahmen der statistischen Genauigkeit reproduzierbar ist. + Der Ansatz erlaubt eine konkrete Zieldefinition für die geplante Fremdwasserreduzierung (Flächenabkopplung) sowie die Erfolgskontrolle für durchgeführte Maßnahmen.	– Aufgrund der örtlichen Schwankung des Niederschlagsgeschehens und weiterer Einflussfaktoren auf das Niederschlags-Abflussgeschehen sind für eine ausreichende statistische Absicherung des Ergebnisses immer mehrere Niederschlagsereignisse auszuwerten. – Für weitläufige Einzugsgebiete ist der Ansatz weniger geeignet.
Hydrologischer Modellansatz	an das Kanalnetz angeschlossene fremdwasserabflusswirksame (dränierende) Fläche ($A_{\text{Drän}}$)	+ Der Ansatz liefert einen Flächenwert, der unabhängig vom Witterungsgeschehen im Rahmen der statistischen Genauigkeit reproduzierbar ist. + Der Ansatz erlaubt eine konkrete Zieldefinition für die geplante Fremdwasserreduzierung (Flächenabkopplung) sowie die Erfolgskontrolle für durchgeführte Maßnahmen.	– Aufgrund der Schwankungen des Witterungsgeschehens und der Fremdwasserabflüsse ist für eine ausreichende statistische Absicherung des Ergebnisses ein möglichst langer Auswertungszeitraum sinnvoll. Empfehlenswert ist dabei ein Zeitraum von einem Jahr. Bei kürzeren Zeiträumen empfiehlt sich eine Vergleichsbetrachtung mit einer naheliegenden „Langzeitmessstelle“. Ein Auswertungszeitraum von drei Monaten sollte aber auch dann nicht unterschritten werden. – Einfaches allgemein anwendbares Tool ist zur Zeit noch nicht verfügbar, sodass Modelle angewendet werden, die vertieftes Fachwissen erfordern.
Grundwassermodell	Lokalisierung infiltrierender Kanalhaltungen inkl. Bilanzierung der GW-Zustrommengen Ermittlung kanal-sanierungsbedingter Grundwasseranstiege Dimensionierung notwendiger Ersatzsysteme zur GW-Bewirtschaftung	+ Der Ansatz erlaubt eine grundstücks-scharfe Auflösung sowie eine ganzheitliche Betrachtung der Auswirkungen von Kanalnetzabdichtungen bzw. Fremdwasserreduzierungen	– Der Ansatz ist relativ aufwendig und erfordert vertieftes Fachwissen. Der höhere Aufwand rentiert sich insbesondere bei großräumigen Betrachtungen in Gebieten mit bedeutenden grundwasserbedingten Fremdwasseranteilen bzw. in Gebieten, in denen große Netzteile durch Infiltrationen geprägt sind. – Bei schwierigen geologischen Verhältnissen (z. B. Klüfte, Schichtenwasserabflüsse) evtl. nur eingeschränkt anwendbar.

3.4 Lokalisierung und Quantifizierung der Fremdwasserquellen

Wenn die Messungen abgeschlossen sind, sollten die Teileinzugsgebiete mit erhöhten Fremdwasseranfall identifiziert werden. Es sind in den Schwerpunktgebieten weitergehende Untersuchungen zur Lokalisierung der Fremdwasserquellen sowie deren Zutrittspfade erforderlich. Die Auswertung der Abflussmessungen kann dabei die ersten Hinweise auf die potenziellen Fremdwasserquellen geben. Neben den öffentlichen Kanalisationen sind die privaten Grundstücksentwässerungssysteme unbedingt in die Untersuchungen mit einzubeziehen (DWA-M 182, 2012).

Die Netzknotenpunkte in den Schwerpunktgebieten sollten nach DWA-M 182 (2012) im Rahmen von Begehungen untersucht werden. Im Trennsystem sollte die Begehung bei fehlangeschlossenen Flächen bei Niederschlag erfolgen. Bei grundwasserbedingtem Fremdwasser sollte sie bei Trockenwetter und hohem Grundwasserstand (Winterhalbjahr) stattfinden. Die Begehung im Mischsystem erfolgt an Trockenwettertagen in Zeiten hoher Grundwasserstände (DWA-M 182, 2012).

Über die Ergebnisse der Lokalisierung ist eine Dokumentation zu erstellen. Die gefundenen Fremdwasserquellen sind hinsichtlich ihrer Bedeutung für den nachgewiesenen Fremdwasseranfall zu gewichten. Daraus kann dann eine Prioritätenliste für die erforderlichen Sanierungsarbeiten abgeleitet werden (DWA-M 182, 2012).

3.4.1 Grundwasserbedingte Fremdwasserquellen im Misch- und Schmutzwasserkanal

Wenn Aussagen zu Grundwasserständen im Untersuchungsgebiet vorliegen, können durch Verschneidung mit der Tiefenlage des Kanalnetzes mögliche Schwerpunktgebiete lokalisiert werden (DWA-M 182, 2012).

3.4.1.1 Kamerabefahrung

Die Kamerabefahrung (TV-Inspektion) ist das wichtigste Hilfsmittel bei der Lokalisierung der Eintragspfade für grundwasserbedingtes Fremdwasser. Zudem können Bach- und Quellwassereinleitungen sowie fehlangeschlossene Dränagen mit der TV-Inspektion am besten geortet werden (DWA-M 182, 2012).

Die Abbildung 28 stellt ein Bild der Kamerabefahrung eines Kanalstranges in Stattegg dar. An dieser Stelle wurde ein Wurzeleinwuchs in das Netz festgestellt.

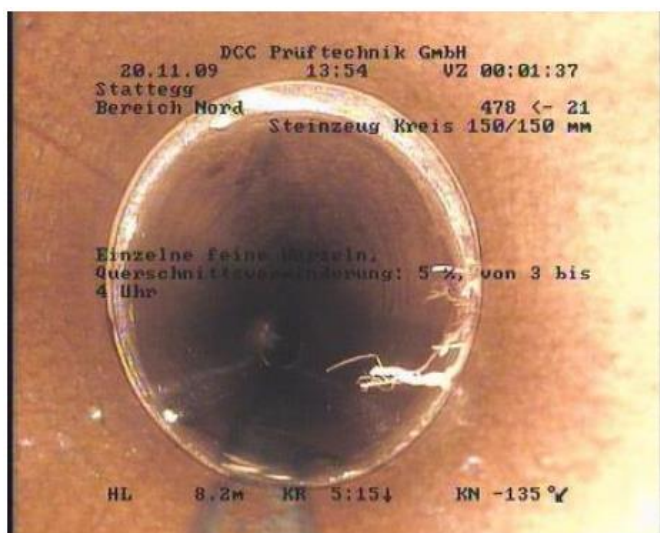


Abbildung 28: Beispiel eines Ergebnisses einer Kamerabefahrung (eigene Untersuchungen Gemeinde Stattegg, 2009)

Die folgenden Hinweise der DWA-M 182 (2012) sollten bei einer TV-Inspektion beachtet werden:

- Die Untersuchung muss zu einem Zeitpunkt mit hohem Fremdwasserabfluss durchgeführt werden.
- Die Untersuchung ist unbedingt bei Trockenwetter durchzuführen.
- Alle Leitungen, Kanäle und Schächte, bei denen eine optische Inspektion aus baulichen Gegebenheiten nicht möglich ist, können z.B. durch eine Druckprüfung auf Dichtheit untersucht werden. Somit können diese auf das mögliche Vorhandensein von potenziellen Fremdwasserquellen geprüft werden.

Grundsätzlich besteht ein Problem darin, dass eine Kamerabefahrung eine rein optische Inspektion darstellt. Somit können nur „optische Undichtheiten“ wie z.B.

- Rohrbrüche mit sichtbaren Boden,
- eintragende Dichtringe,
- massive Verformungen
- und sichtbare Wassereintritte

lokalisiert werden. Meist ergeben sich hierbei Schadensbilder, die nicht eindeutig als undichte Stellen angesehen werden können (z.B. stärkere Rohrverformungen) (Kraener, 2014).

3.4.2 Niederschlagsbedingtes Fremdwasser im Schmutzwasserkanal der Trennkanalisation

Das Signalnebelverfahren (auch Benebelung genannt) und die Farbtraceruntersuchungen sind die wichtigsten Hilfsmittel beim Aufspüren von Fremdwasserquellen in der Schmutzwasserkanalisation (DWA-M 182, 2012).

3.4.2.1 Signalnebelverfahren

Bei diesem Verfahren wird die zu untersuchende Haltung mit einem Signalnebel beaufschlagt. An Fehlstellen tritt der Nebel wieder aus. Die Ergebnisse sind in Lageplanskizzen und fotografisch zu dokumentieren. Bei vorhandenen Geruchsschlüssen versagt diese Methode (DWA-M 182, 2012).

Die folgenden Abbildungen zeigen die Rauchaustritte an Fehlstellen.



Abbildung 29: Rauchaustritt bei Flächeneinläufen (Scaria, 2002)



Abbildung 30: Rauchaustritt bei Dacheinläufen (Scaria, 2002)



Abbildung 31: Rauchaustritt bei Hausdränage (Scaria, 2002)

3.4.2.2 Farbtraceruntersuchungen

Bei Verdacht eines widerrechtlichen Anschlusses eines Flächen- oder Dacheinlaufs an das Kanalnetz, wird die Farbtraceruntersuchung zur Lokalisierung des Fremdwassereintritts angewendet. Dabei wird ein ungiftiges Färbemittel (z.B. Uranin) in potenzielle Fremdwasserezutrittspunkte eingebracht. Anschließend wird im nächsten Schacht beobachtet, ob eine Verfärbung des Abwassers ersichtlich ist (Scaria, 2002).



Abbildung 32: Beweis eines Fehlanchlusses eines Einlaufes durch eine Farbtraceruntersuchung (Scaria, 2002)

3.4.2.3 Verteilte Temperaturmessungen mittels Glasfaserkabeln (DTS)

Verteilte Temperaturmessungen mittels Glasfaserkabeln (DTS) ermöglichen eine kontinuierliche Überwachung von Kanalnetzen in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung. Damit wird eine effiziente und exakte Lokalisierung von Fehlschlüssen und Fremdwasserquellen sichergestellt (Pecher et al. 2013).

Für die Anwendung des Verfahrens in Entwässerungssystemen wird ein Glasfaserkabel temporär, zum Beispiel für einige Tage oder Wochen, in einen Abwasserkanal eingezogen. Ein eingestrahltes Lasersignal wird an den Unebenheiten der Glasfasern reflektiert und zurückgestrahlt. Zur Temperaturmessung wird sich der sogenannte Raman-Effekt zu Nutzen gemacht. Über eine Auswertung des reflektierten Lasersignals kann in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung die Temperatur entlang des Glasfaserkabels bestimmt werden (zum Beispiel räumliche Auflösung 1 m, zeitliche Auflösung 1 min). Die Genauigkeit der Messung liegt je nach Mess- und Auswerteverfahren bei etwa $\pm 0,1^\circ\text{K}$. Die Messung kann über mehrere Kilometer im Kanal erfolgen. Abbildung 33 zeigt ein Installationsbeispiel einer DTS-Messung in einem Abwasserkanal (Pecher et al. 2013).

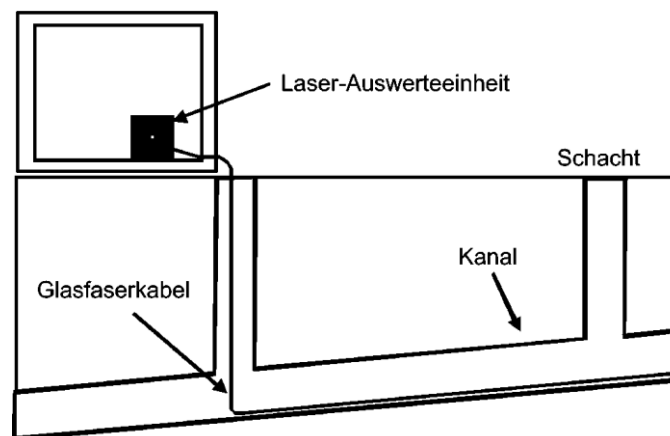


Abbildung 33: Beispiel der Installation einer DTS-Messung in einem Abwasserkanal (DWA-M 182, 2012)

3.5 Fremdwasserreduzierung und flankierende Maßnahmen

3.5.1 Aufstellung eines Maßnahmenplanes

3.5.1.1 Festlegung von Zielen und Zeitplänen

Bei Vorliegen der erforderlichen Grundlagen, sind nach DWA-M 182 (2012) überprüfbare Ziele der angestrebten Fremdwasserreduzierung festzulegen. Nur wenn konkrete Ziele mit einer Zeitplanung festgelegt sind, kann die Eignung einzelner Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung beurteilt werden. In der Praxis lässt sich eine zielorientierte Vorgehensweise sehr selten finden (DWA-M 182, 2012).

3.5.1.2 Erstellung eines Maßnahmenkataloges

Für eine systematische Bearbeitung wird für jedes Schwerpunktgebiet ein Maßnahmenkatalog erstellt, der folgende Punkte beinhaltet:

- Mögliche Einzelmaßnahmen zur Fremdwasserreduzierung
- Abschätzung der Risiken der angedachten Einzelmaßnahmen (Grundwasseranstieg) und erforderliche Ersatzmaßnahmen (alternative Ableitungssysteme)
- Kostenschätzung
- Abschätzung des Sanierungserfolges
- Einflussfaktoren auf die zeitliche Umsetzung der Einzelmaßnahmen

3.5.1.3 Prioritätenbildung und Aufstellung eines Maßnahmenplanes

In der Regel werden aus technischen, finanziellen und personellen Gründen nie alle möglichen Maßnahmen gleichzeitig zum Einsatz kommen. Deshalb sollen Maßnahmen mit Priorisierungen verbunden getroffen werden. Es ist zweckmäßig, die in Frage kommenden Maßnahmen unter verschiedenen Aspekten zu bewerten (DWA-M 182, 2012).

Eine Möglichkeit ist die Erstellung einer Entscheidungsmatrix. Hier werden alle geeigneten Maßnahmen und die relevanten Bewertungskriterien übersichtlich zusammengestellt. Somit können die Maßnahmen für jedes Kriterium bewertet werden. Ein sehr bedeutendes Bewertungskriterium für Maßnahmen sind die Kosten. Hier werden alle zu erwartenden Kosten einer Maßnahme (Bau-, Sanierungs- und Betriebskosten) mit den erwarteten Wirkungs- oder Zielerreichungsgraden gegenübergestellt. Danach werden die Einzelbewertungen aufsummiert und es ergibt sich eine Reihen- oder Rangfolge der Maßnahmen. Diese werden dann durch Gewichtung der Kriterien maßgebend bestimmt. Es kann auch eine gemeinsame Durchführung von Sanierungsmaßnahmen mit anderen Baumaßnahmen (z.B. Straßenerneuerung) in die Überlegung zur zeitlichen Abfolge von Maßnahmen mit einbezogen werden (DWA-M 182, 2012).

Nach DWA-M 182 (2012) wird der „Weg des geringsten Widerstandes“ nicht empfohlen. Bei einem geringen Nutzen einer solchen Maßnahme im Sinne der Zielerreichung, ist davon auszugehen, dass sich nur geringe Erfolge einstellen werden. Ein Beispiel dazu ist eine großräumige Sanierung des öffentlichen Netzes ohne Einbeziehung der privaten Abwasseranlagen, die weiterhin eine beträchtliche Menge an Dränagewasser ins Kanalnetz einleiten würden. In diesem Fall wäre eine Sanierung erfolglos (DWA-M 182, 2012).

3.5.2 Technische Maßnahmen zur Reduzierung von Fremdwasser

3.5.2.1 Beseitigung von Undichtheiten

Ein Abdichten der Undichtheiten mit Verfahren der Kanalsanierung stellt eine übliche Maßnahme zur Fremdwasserreduzierung dar. Die Undichtigkeiten in einem Entwässerungssystem tragen durch eindringendes Grund- und Schichtenwasser zum Fremdwasserabfluss bei (DWA-M 182, 2012).

Nach ÖNORM EN 752 umfasst die Kanalsanierung Verfahren der Reparatur, Renovierung und Erneuerung. Die Reparaturverfahren zur Behebung örtlich begrenzter Schäden, welche kurzlebig sind, bestehen aus Ausbesserungs-, Injektions- oder Abdichtungsverfahren. Die Renovierungsverfahren nutzen die baulich-ursprüngliche Substanz der Kanäle in Verbindung mit Auskleidungs- und Beschichtungsverfahren (DWA-M 182, 2012).

Kanäle, die fremdwasserrelevante Schäden aufweisen, liegen zeitweise oder dauerhaft im Grundwasser. Bei großem Grundwassereintritt durch Undichtigkeiten ist eine Sanierung häufig schwierig, weil der Grundwasserspiegel während der Sanierung sehr selten abgesenkt wird. Somit wird die Auswahl der anzuwendenden Sanierungsverfahren hierbei stark eingeschränkt (DWA-M 182, 2012).

Bei einem Grundwasserdrücken besteht z. B. bei einer partiellen Injektion mit dem Flutungsverfahren die Gefahr einer Auswaschung oder Verdünnung der Injektionen bzw. bei Zweikomponenten-Gelen die Gefahr einer Entmischung. Bei Injektionsverfahren ist eine Kontrolle des Sanierungserfolges schwer möglich. Ein Lining mit Ringraum (Rohrstranglining, Kurzrohr- bzw. Langrohr- und Noppenbahnlining) bei Renovierungsverfahren lässt sich zur Abdichtung von Infiltrationen gut anwenden. Es ist aber mit einem Querschnittverlust zu rechnen und eine nachträgliche Ringraumfüllung wird erforderlich. Bei einem Schlauchlining (Liningverfahren ohne Ringraum) ist bei einem großen Grundwasserdruck eine Vorabdichtung über Injektionen erforderlich. Damit wird die Bildung von Beulen verhindert. Für Erneuerungsverfahren in offener Bauweise ist eine Grundwasserabsenkung durchzuführen (DWA-M 182, 2012).

Die für eine Kanalsanierung angeführten Verfahren gelten auch für Undichtigkeiten in Schächten. Das Grundwasser kann z. B. im Bereich der Steigeisen und Ausgleichsringe eindringen. Des Weiteren sind undichte Fugen bei gemauerten Schächten oder defekten Dichtungen bei Schächten aus Fertigteilen möglich. Eine Undichtheit lässt sich durch Injektionsverfahren, welche auch bei gleichzeitig eindringendem Grundwasser wirksam sind, reparieren. Zur Sanierung können neben der Reparatur einzelner undichter Stellen Renovierungsverfahren wie z. B. Auskleidungsverfahren mit GFK-Segmenten oder Beschichtungsverfahren mit Kunststofflaminaten angewendet werden (DWA-M 182, 2012).

3.5.2.2 Beseitigung von Fehlan schlüssen

Eine Beseitigung von Fehlan schlüssen in das Kanalisationsnetz stellt einen weiteren Ansatz zur Fremdwasserreduzierung dar. Wenn fehlangeschlossene Flächen lokalisiert sind, können diese Leitungen problemlos abgekoppelt werden, falls eine alternative Vorflut für das Regenwasser vorhanden ist. Regenwässer können beispielsweise auch versickert und als Brauchwasser genutzt werden. Des Weiteren können wasserdicht konstruierte Schachtdeckel eingesetzt werden, um die Zuflüsse von Niederschlagswasser über Schachtdeckelöffnungen in Schmutzwasserkanäle zu reduzieren. Bei einer Abdichtung der Lüftungsöffnungen eines Schachtdeckels, um Regenwasser eintritt zu vermeiden, ist darauf zu achten, dass die komplette Abdichtung der Öffnungen zu Problemen bei der Belüftung führen kann. Dieses kann ggf. zur Entstehung von biogener Schwefelsäurekorrosion führen. Aus diesem Grund ist eine genügende Belüftung sicherzustellen (DWA-M 182, 2012).

3.5.2.3 Weitere Ansatzpunkte zur Fremdwasserreduzierung

Das Fremdwasser lässt sich durch ein gezieltes Absenken des Grundwasserspiegels oder Umleitung des Grundwassers reduzieren. Danach kann das entnommene Grundwasser oberirdisch in Gewässer abgeleitet werden oder an geeigneten Stellen wieder zur Versickerung gebracht werden. Dafür ist aber eine wasserrechtliche Genehmigung erforderlich (DWA-M 182, 2012).

Dohmann et al. (2004) und Pinnekamp et al. (2007) haben in einem Forschungsvorhaben weitere Ansätze zur Fremdwasserreduzierung entwickelt. Dabei wurden laut DWA-M 182 (2012) folgende Maßnahmen baulich umgesetzt:

- Anlage zu Hangdränagen. Damit wird das aus den oberhalb der Bebauung gelegenen Außengebieten abfließende Schichtenwasser von der Ortschaft ferngehalten
- Anlage eines durchgängigen Wegseitengrabennetzes. Dieses Netz soll das Wasser der Hang- und Hausdränage aufnehmen und in das nächst gelegene Gewässer ableiten.
- Einbringen von Dichtungsschleiern im Bereich des Straßenoberbaus und in der Leitungszone der Kanäle. Damit soll die Dränagewirkung der Verbautstoffe unterbunden werden. Das dabei abgefangene Wasser wird in den Wegeseitengräben abgeleitet

3.5.3 Folgen der Herausnahme der grundwasserbedingten Fremdwasser aus Kanalnetzen

Das komplette Abdichten der Entwässerungssysteme und die Herausnahme von Dränagen, um das grundwasserbedingte Fremdwasser zu sanieren, können zu einem Anstieg des Grundwassers führen. Dies kann passieren, sofern keine alternative Ablei-

tungsmöglichkeit geschaffen wird. Im Weiteren kann dies zu neuerlichen Fremdwasserzuflüssen von bisher nicht im Grundwasser liegenden Schadstellen führen. Darüber hinaus kann das eventuell zur Vernässung von Kellern führen. Dadurch kann es zu erheblichen Sach- und Vermögensschaden kommen (Getta et al. 2004, in DWA-M 182, 2012).

Durch einen Grundwasseranstieg können des Weiteren beispielsweise Altlasten in den Schwankungsbereich vom Grundwasser geraten und durchströmt werden. Das kann zu einer Mobilisierung von Schadstoffen führen, wie in Abbildung 34 dargestellt. Die Höhe des Gefahrenpotenzials von einer grundwasserbeeinflussten Altlast ist von seiner Lage, der hydrogeologischen Situation und von den Mobilitätseigenschaften der Schadstoffe anhängig. Deshalb sind diese im Einzelfall zu untersuchen (DWA-M 182, 2012).

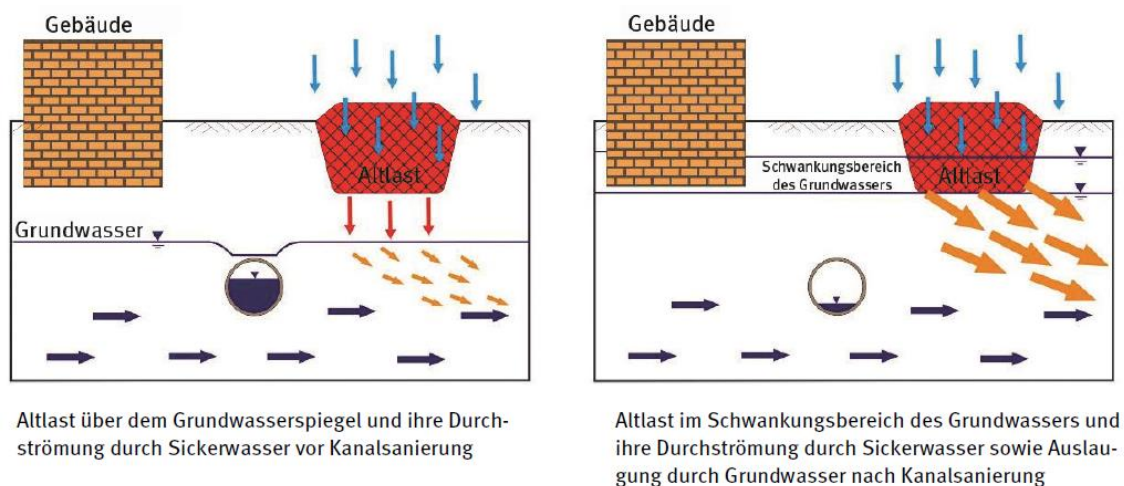


Abbildung 34: Mobilisierung von Altlasten infolge eines Grundwasseranstieges (DWA-M 182, 2012)

Die Auswirkungen einer Kanalnetzabdichtung auf den Grundwasserkörper sollte schon vor der Sanierung abgeschätzt werden. Um unschädliche Flurabstände zu schaffen und das belastete Grundwasser abzuleiten oder zu reinigen, können unter Umständen Ersatzsysteme für die drainierenden Abwasserkanäle erforderlich sein (Czdura 1992, Barkowski et al. 1993, Getta et al. 2004, DVWK-Schriften 98/1996, DWA-M 182, 2012).

Typische Anhaltswerte für unschädliche Grenzflurabstände können gemäß MUNLV NRW, 2010) wie folgt abgeschätzt werden:

- Gebäude: 0,5 m unter Kellersohle
- Landwirtschaftliche Flächen: 0,8 m unter Geländeoberkante
- Friedhöfe: 0,7 m unter der Grabsohle

3.6 Erfolgskontrolle

Die durchgeführten Sanierungsmaßnahmen sind nach der Umsetzung hinsichtlich ihrer Wirksamkeit zu bewerten. Es sind bereits in der Umsetzungsphase Erfolgskontrollen durchzuführen. Für die Erfolgskontrolle ist der gleiche Messumfang im Sanierungsgebiet erforderlich wie bei der Fremdwasserbestimmung. (DWA-M 182, 2012).

Die Messstellenstandorte sollen bei den Messungen analog zur Fremdwasserbestimmung gewählt werden. Des Weiteren sollen alle Veränderungen im Einzugsgebiet und des Schmutzwassers rechnerisch berücksichtigt werden. Bei der Auswahl der Niederschlagsereignisse sollen ähnliche Rahmenbedingungen wie bei der Fremdwasserbestimmung vorherrschen (DWA-M 182, 2012).

3.6.1 Direkter Niederschlagsabfluss im Schmutzwasserkanal

Durch eine erneute Messung des Niederschlages und des Abflusses im Schmutzwasserkanal eines Trennsystems kann die Wirkung der Sanierung geprüft werden. Die stark schwankenden Einflüsse wie die Abflussfähigkeit der Oberfläche und die Regencharakteristik, wie auch die sich daraus ergebende große Schwankungsbreite des Fremdwasserabflusses können dabei problematisch sein (DWA-M 182, 2012).

3.6.2 Grundwasserbedingtes Fremdwasser

Das grundwasserbedingte Fremdwasser zeigt eine starke Abhängigkeit vom zurückliegenden Wettergeschehen und von den Bodenparametern auf. Wenn bei der Fremdwasserbestimmung ein Grundwassermodell oder ein hydrologisches Modell gewählt wurde, kann dieses auch für die Erfolgskontrolle verwendet werden. Dabei kann mit unveränderten Grundparametern die Erfolgskontrolle durchgeführt werden. Doch die Änderungen im Einzugsgebiet (z. B. Schmutzwasseranfall) benötigen eine Aktualisierung (DWA-M 182, 2012).

3.7 Präventivmaßnahmen zur Vermeidung von Fremdwasser

3.7.1 Entwässerungssysteme mit Dränagewasserableitung

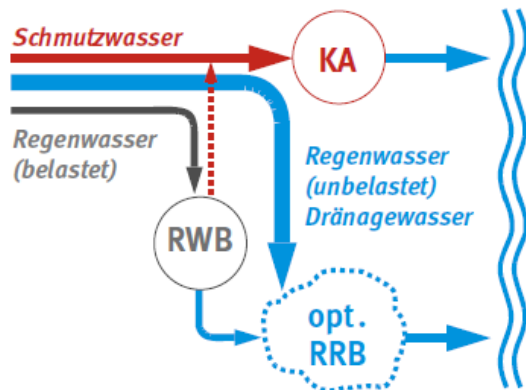
Jedes System muss nach DWA-M 182 (2012) ohne Abminderung des gegenwärtigen Entwässerungskomforts für folgende Abflüsse eine umweltgerechte, wirtschaftliche und praxistaugliche Lösung gewähren:

- Schmutzwasser
- Verschmutztes und damit behandlungspflichtiges Regenwasser
- Unverschmutztes Regenwasser
- (Unverschmutztes) Dränagewasser

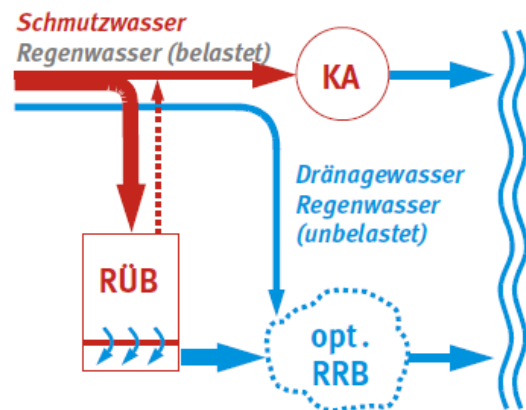
Aus wirtschaftlichen und praxistauglichen Gründen sind nach DWA-M 182 (2012) möglichst einfache Systeme zu bevorzugen.

Als zukünftige Lösungsansätze erscheinen nach DWA-M 182 (2012) im Wesentlichen nur die in Abbildung 35 dargestellten Ansätze für die Siedlungsentwässerung sinnvoll:

Trennsystem



Mischsystem



KA	Kläranlage
RWB	Regenwasserbehandlungsanlage
RÜB	Regenüberlaufbecken
opt. RRB	optionales Regenrückhaltebecken

Abbildung 35: Zukünftige Ansätze für die Siedlungsentwässerung (DWA-M 182, 2012)

Beim Trennsystem soll nach DWA-M 182 (2012) das Dränagewasser zukünftig im Regenwasserkanal abgeleitet und die Niederschlagsabflüsse von belasteten Oberflächen vor dem Zufluss zum Regenwasserkanalnetz behandelt werden. Es sind dazu beispielsweise dezentrale Lösungen denkbar. Alternativ ist die Erweiterung des Netzes um einen dritten Kanal vorstellbar (DWA-M 182, 2012).

Das Mischsystem soll nach DWA-M 182 (2012) um einen Dränagewasserkanal für das Fremdwasser erweitert werden. Es könnten an diesem Kanal auch die unbelasteten Oberflächen angeschlossen werden. Somit würden zukünftig nur die Oberflächenabflüsse von belasteten Flächen zur Kläranlage abgeleitet werden (DWA-M 182, 2012).

3.8 Fremdwassersanierung: Fallbeispiel in Österreich (Kraner, 2014)

Bei der ÖWAV-Veranstaltung „Kanalmanagement 2014“ am 24.04.2014 wurde von DI Kraner ein Vortrag zum Thema „Erfahrungen bei der Inspektion und Sanierung von

Hauskanälen“ gehalten. Inhaltlich wurde dabei auch stark die Fremdwasserproblematik behandelt. Nachfolgend werden die wichtigsten Fakten und Erkenntnisse dieses Fachbeitrages dargelegt.

Ein Ziviltechniker-Büro wurde von einer österreichischen Gemeinde mit etwa 5000 Einwohnern mit der Erstellung eines Kanalkatasters beauftragt. Dabei sollten die seit vielen Jahren bei einer Trennkanalisation bestehenden Fremdwassereinträge analysiert werden. Durch das Ergebnis dieser Analyse war geplant, die Fremdwassereinträge zu beseitigen.

3.8.1 Zustand der Kanalisation

Die Trennkanalisation wurde vor wenigen Jahren nach einer Zustandsbewertung umfassend saniert. Doch die Fremdwassersituation hat sich dadurch nicht verbessert.

Am Ende der Ortkanalisation befindet sich ein fix installierter Durchflussmesser. Um den gesamten Fremdwassereintrag in die Schmutzwasserkanalisation zu erfassen, wurden die Daten des Durchflussmessers analysiert. Dabei ließen sich bei Trockenwetter keine bedeutenden Fremdwassereinträge bemerken.

Es resultierte ein Spitzenabfluss von 12-14 l/s und Tagesabflüsse von 650-750 m³/d. Der maximale Fremdwasserabfluss lag bei ca. 3-4 l/s (siehe Abbildung 36).

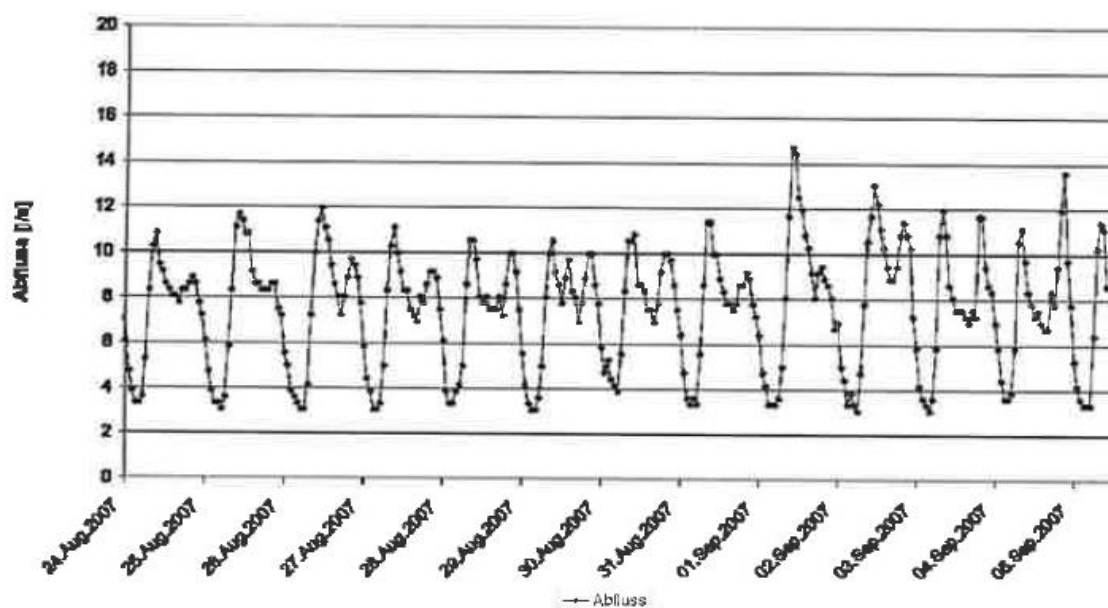


Abbildung 36: Trockenwetterabfluss (Kraner, 2014)

Bei Regenwetter war ein deutlicher Zusammenhang zwischen Niederschlagsereignissen und den abgeleiteten Wassermengen im Schmutzwasserkanal zu erkennen. Die Regenereignisse wirkten sich sofort auf die Abflüsse im Kanalnetz aus. Dies deutete auf direkte Einträge von Oberflächenwasser in den Schmutzwasserkanal hin (Dachflächenwasser, Abflüsse von befestigten Flächen).

Nach dem Ende länger andauernder Regenereignisse war ein „Nachlaufen“ im Kanalnetz erkennbar. Dies deutete auf teilweise vorhandene Drainageabflüsse hin. Ferner bestand auch die Möglichkeit, dass Außengebiete der meist bewaldeten Hanglagen unkontrolliert über vorhandene Öffnungen im Bereich der Schachtabdeckungen in die Schmutzwasserkanalisation entwässern.

Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Niederschlagsereignissen und der gemessenen Schmutzwasserfracht im Kanalnetz war gegeben, da die gemessenen Abwassermengen bei Regenwetter im Extremfall die 6-fache Trockenwettermenge erreichen konnten (bis zu 4400 m³/d).

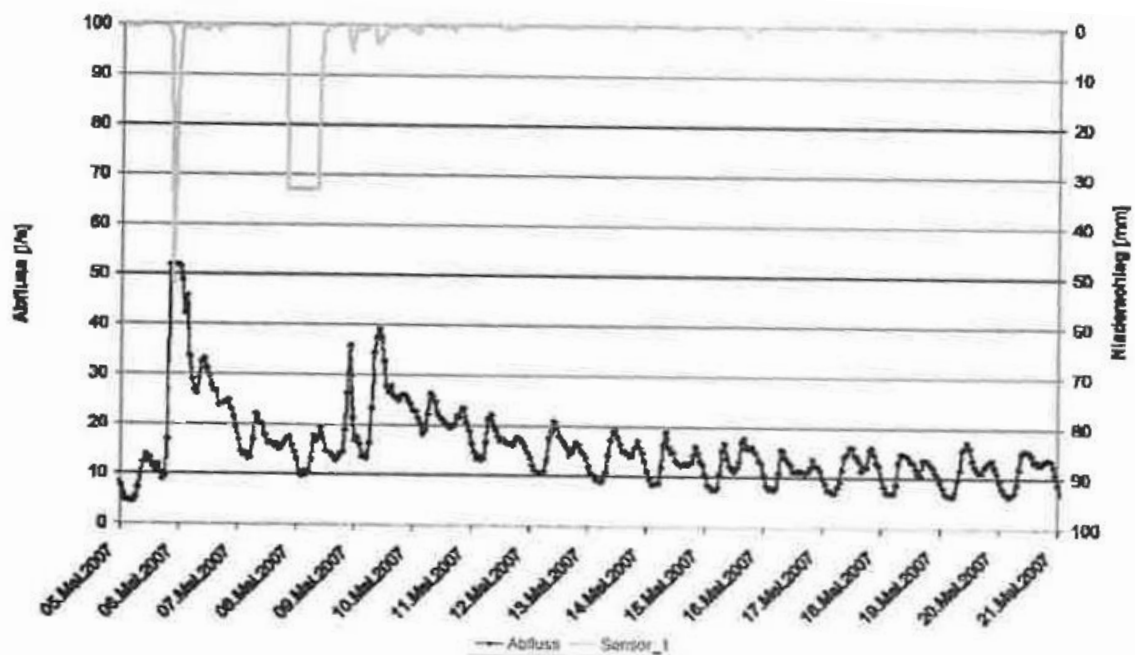


Abbildung 37: Regenwetterabfluss (Kraner, 2014)

Gleich nach Beginn von Niederschlagsereignissen traten die stärksten Abflussspitzen auf (siehe Abbildung 37). Direkte Einträge von Oberflächenwässern haben sich hier vergleichsweise stark ausgewirkt.

Durch gezielte punktuelle Wasserstandmessungen an verschiedenen Stellen im Bereich der Ortskanalisation wurde das Kanalnetz im Detail analysiert (Abbildung 38). Mit Hilfe von zehn Ultraschallsensoren wurde der Wasserstand im Gerinne der Schächte gemessen. Es standen Datenlogger zur Verfügung, welche die Wasserstände digital aufzeichneten. Gleichzeitig wurde der Niederschlag gemessen. Sowohl die zeitliche Verzögerung von Niederschlags- und Abflussmaxima, als auch die Intensität des Wasserstandanstieges im Kanal gab einen Aufschluss darüber, ob die Fremdwassereintritte eher von direkt entwässernden Hausdächern und befestigten Flächen oder von verzögert reagierenden Drainageanschlüssen stammen.

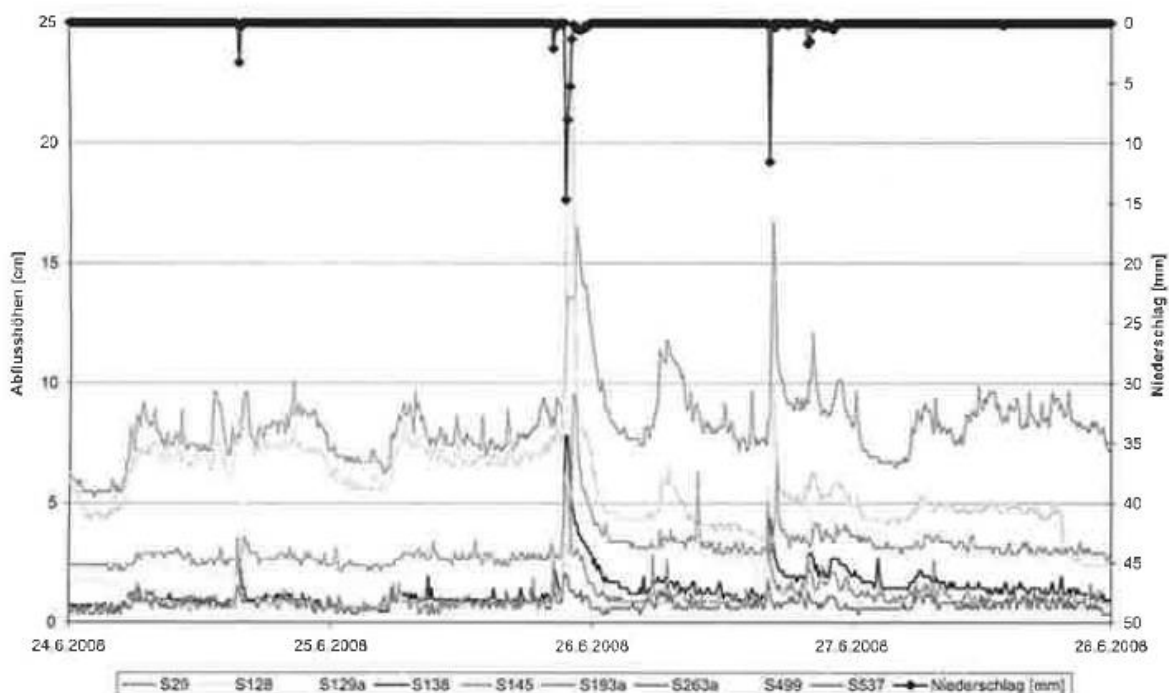


Abbildung 38: Überlagerte Abflussmessungen in einzelnen Kanalabschnitten im Vergleich zum Niederschlag (Kraner, 2014)

Ein exakter Rückschluss vom Wasserstand einer Messstelle auf das Abflussvolumen ist nicht möglich. Doch das Ergebnis war für die Eingrenzung derjenigen Bereiche, bei denen Fremdwassereinträge vermehrt auftreten sowie für die Analyse der Herkunft der Fremdwässer völlig ausreichend.

3.8.2 Ergebnisse

Im gegenständlichen Fall ist das Worst-Case-Szenario eingetreten. Es wurde festgestellt, dass die Fremdwassereinträge flächendeckend über das gesamte Einzugsgebiet erfolgen. Viele Kanalstränge, auch die Sickerstränge mit sehr niedrigem Trockenwetterabfluss, wiesen deutliche direkte Abflussreaktionen bei Niederschlagsereignissen auf. Es konnten keine Bereiche mit erhöhten oder reduzierten Einträgen gefunden werden. In nächsten Schritt musste die Inspektion der Hauskanäle erfolgen.

Dieser Fall zeigt zusätzlich, wie schwierig die Thematik „Fremdwasser“ ist und wie schwierig dessen Reduktion sein kann. Sie kann nur durch eine umfassende und systematische Herangehensweise erfolgreich gelöst werden, wozu das Merkblatt DWA-M 182, 2012 verfasst wurde. Die Fremdwasserreduzierung ist eine sehr umfangreiche Detailarbeit, dessen Erfolg erst nach mehreren Jahren erkannt werden kann. Am 1. April 2014 wurde ein ÖWAV-Seminar zum Thema „Fremdwasser“ in Wien abgehalten, bei dem ca. 170 Personen teilnahmen. Die Anzahl der Teilnehmer deutet darauf hin, dass die Thematik sehr aktuell ist und dass sehr viele Kommunen mit dem Fremdwasserproblem konfrontiert sind.

4 Fallbeispiel Gemeinde Stattegg

Im Kapitel 3 wurde in Anlehnung an das DWA-M 182 (2012) allgemein die Vorgehensweise zur Fremdwasserreduzierung beschrieben. Diese Vorgehensweise wird nun in diesem Kapitel am „Fallbeispiel Stattegg“ angewendet.

4.1 Ausgangssituation

Wie im Kapitel 1.1 schon beschrieben, erfolgt die Abwasserentsorgung von Stattegg über ein modifiziertes Trennsystem, bei dem nur Schmutzwasserkanäle vorhanden sind.

Das Kanalnetz von Stattegg besteht zum Großteil aus Steinzeugrohren und weist daher zahlreiche Muffenverbindungen auf. Diese können bzgl. der Dichtheit kritisch sein. Die maximalen Durchmesser der Rohre liegen vor der Übergabestelle an das Grazer Kanalnetz bei DN 300.

Für die Einleitung des Abwassers zahlt die Gemeinde Stattegg an die Holding Graz derzeit eine mengenabhängige Gebühr von 1,05 €/m³.

Bisher ist es an der Übergabestelle (Abbildung 39 und Abbildung 40) mehrmals vorgekommen, dass der betreffende Schacht bei starken Regenereignissen überflutet wurde.

Zur Begrenzung der Abflussmengen wurde vor der Übergabestelle an die Holding Graz eine Drosseleinrichtung eingebaut, welche den Abfluss auf ca. 20 l/s beschränkt.



Abbildung 39: Übergabeschacht Stattegg



Abbildung 40: Venturigerinne an der Übergabestelle

Der größte Teil des Kanalnetzes der Gemeinde Stattegg wurde zwischen 1989 und 1993 errichtet. Aufgrund der Lage zur nahegelegenen steiermärkischen Landeshauptstadt Graz begannen die Einwohnerzahlen gegen Ende der 90er Jahre anzusteigen. Dadurch musste die Schmutzwasserkanalisation erweitert werden. Der Zubau erfolgte in zwei Schritten. Der erste Teil wurde im Jahr 1998 erbaut. Die zweite Erweiterung fand im Jahr 2009 statt (siehe Abbildung 41). Die Nutzungsdauern von Kanälen mit Steinzeugrohren betragen nach LAWA (1998) zwischen 80 und 100 Jahren. Somit kann festgestellt werden, dass der Kanal von Stattegg noch relativ „jung“ ist und die in der Regel erreichbaren Nutzungsdauern bei weitem noch nicht erreicht sind. Daher sollte ein Fremdwasserproblem aufgrund des Alters der Kanalisation eigentlich nicht zu erwarten sein.

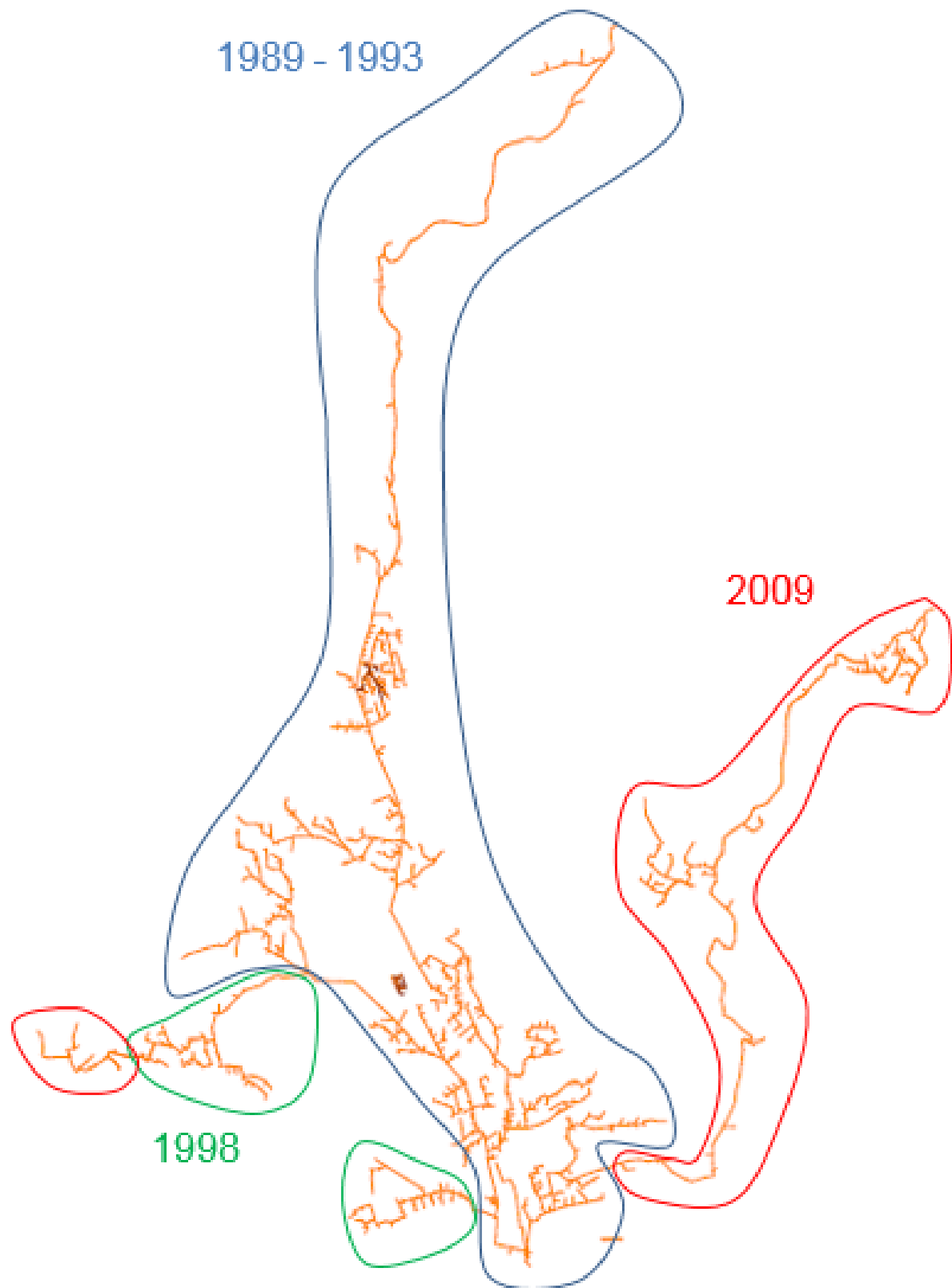


Abbildung 41: Baujahre des Schmutzwasserkanalnetzes von Stattegg

4.2 Handlungsbedarf

Von der Gemeinde Stattegg wurden für die vorliegende Masterarbeit Abflussmessungen für die Jahre 2010, 2011, 2012 und 2013 bereitgestellt. Durch diese Abflussmessungen an der Übergabestelle war es möglich, den gesamten Abfluss in verschiedenen zeitlichen Perioden zu analysieren. In Abbildung 42 bis Abbildung 45 werden die gemessenen Abflüsse dargestellt. Dabei wurde die ganze Ortschaft ohne lokale Differenzierungen erfasst.

Durch die Niederschlagsmessdaten in der Prochaskagasse in Graz-Andritz, die dankenswerterweise von der Holding Graz bereitgestellt wurden, konnten die Regenwettertage identifiziert werden. Die Niederschlagshöhen sind im oberen Bereich der Abbildungen aufgetragen. Damit wird der Zusammenhang zwischen der Niederschlagshöhe und der Abflussmenge gut ersichtlich. Die rote Linie im Diagramm kennzeichnet einen aufgrund der Einwohnerzahl zu erwartenden Schmutzwasserabfluss von ca. 350 m³/d (= 125 l/(E·d) * 2800 E).

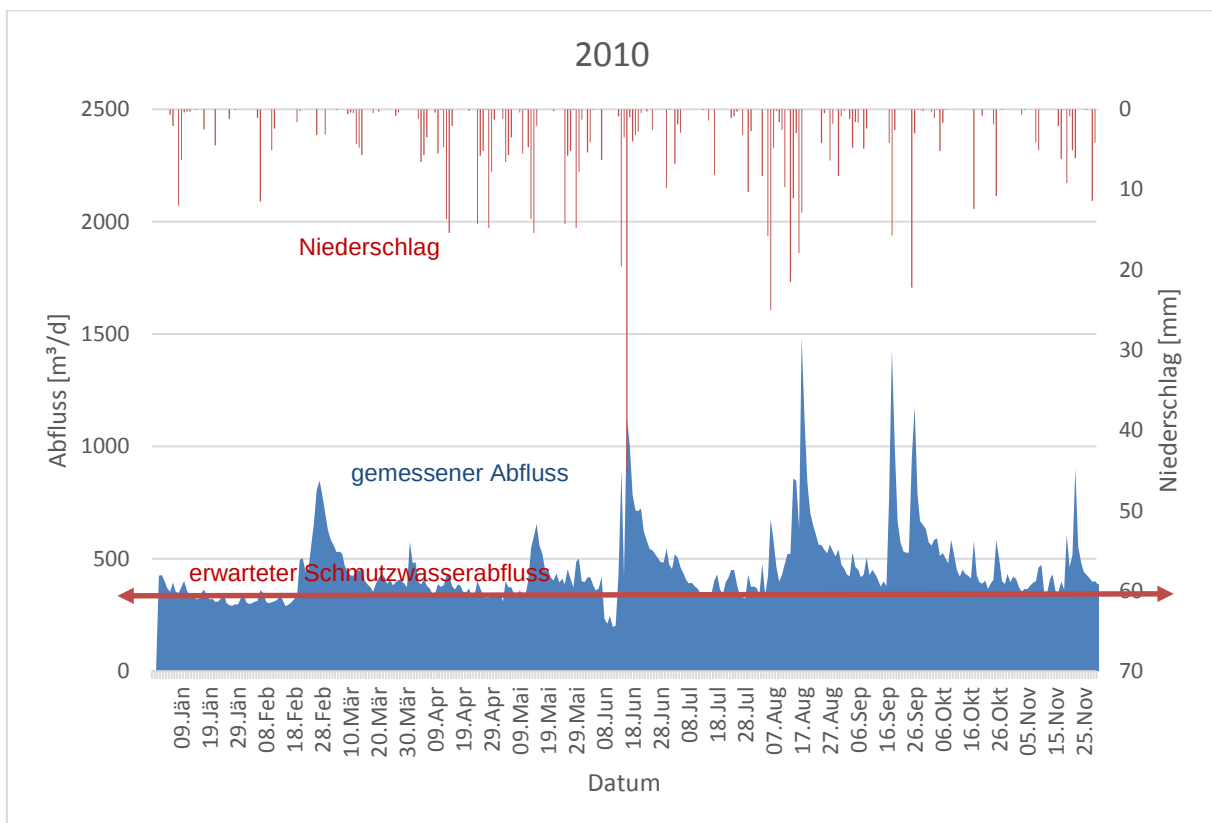


Abbildung 42: Abfluss 2010

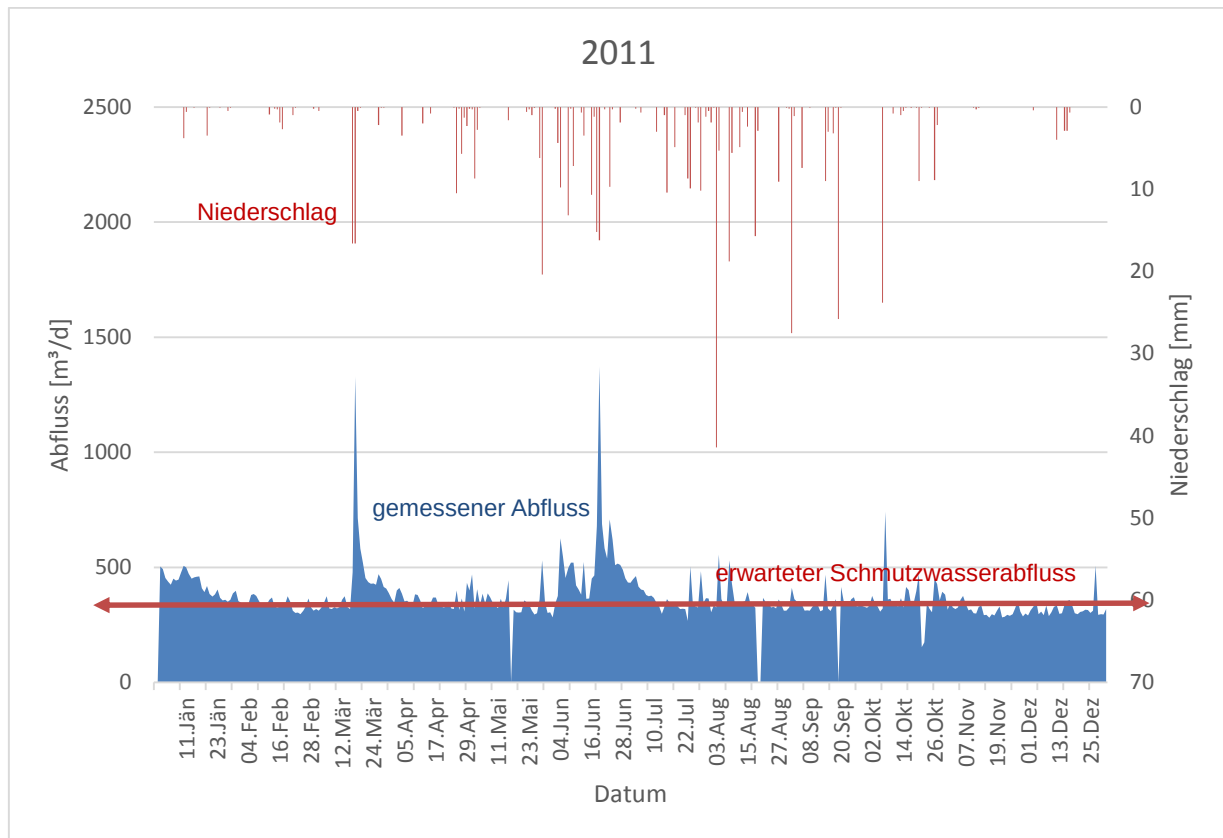


Abbildung 43: Abfluss 2011

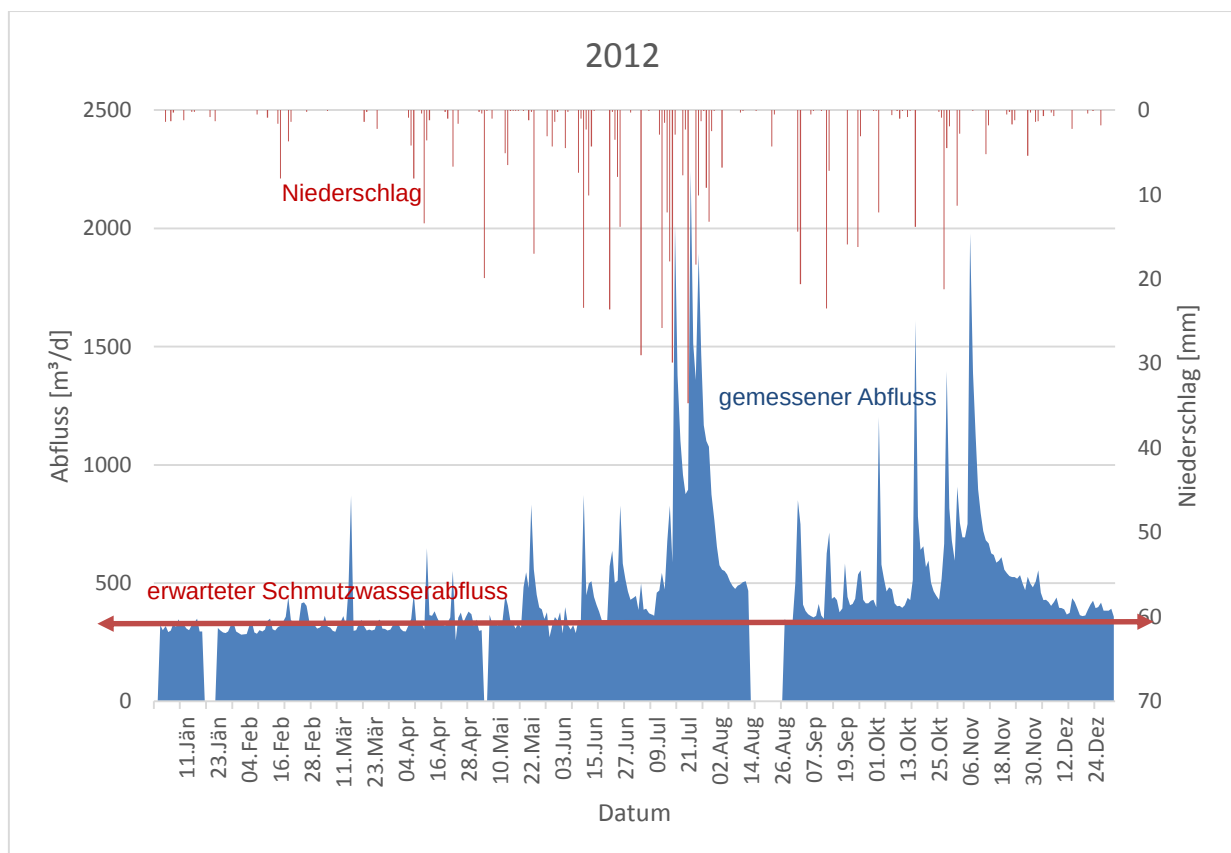


Abbildung 44: Abfluss 2012

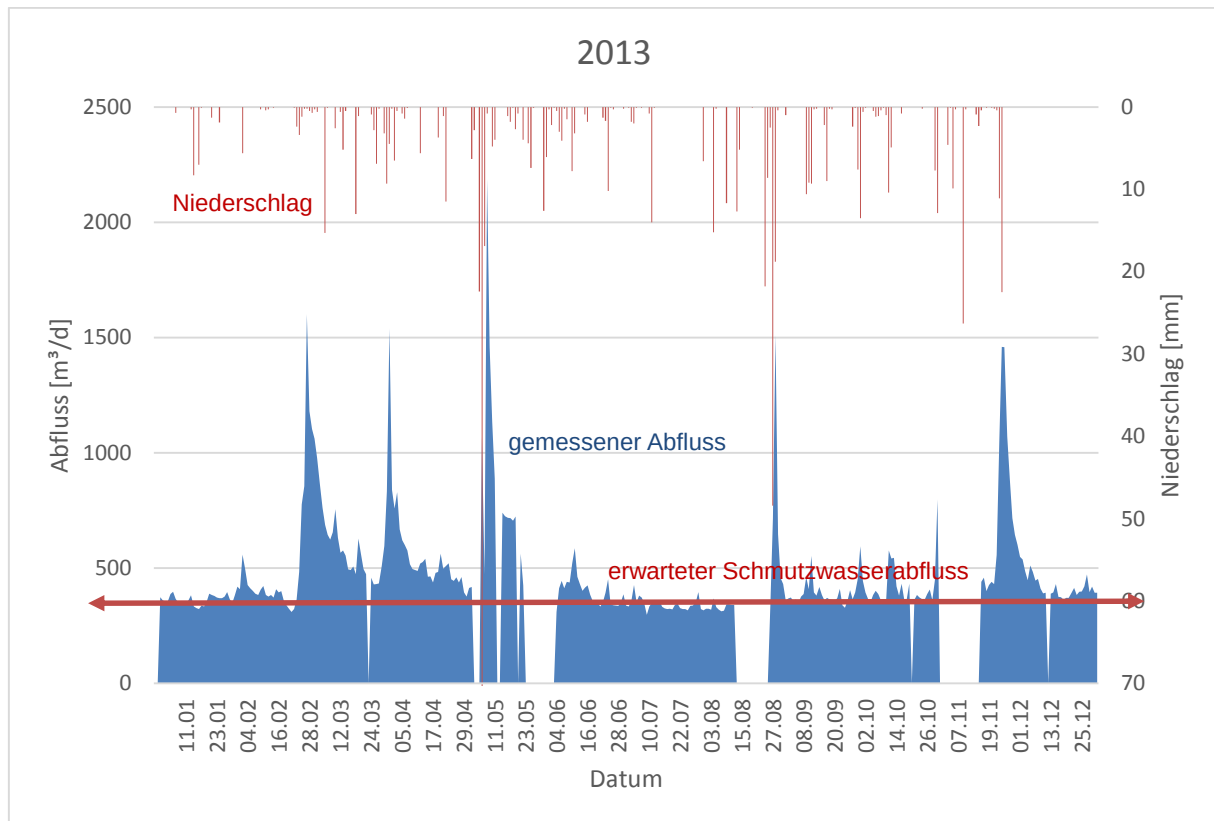


Abbildung 45: Abfluss 2013

In Abbildung 42 bis Abbildung 45 ist zu erkennen, dass es bei Trockenwetter zu keinen nennenswerten Fremdwassereinträgen kommt. Aus den ca. 2800 angeschlossenen Einwohnern resultierten bei Trockenwetter Tagesabflüsse von 350-400 m³/d.

Doch bei Regenwetter ist ein deutlicher Zusammenhang zwischen Niederschlagsereignissen und den abgeleiteten Wassermengen zu erkennen. Die Regenereignisse wirken sich praktisch ohne Zeitverzögerung auf die Abflüsse aus.

Die gemessenen Abflüsse bei Regenwetter erreichen im Extremfall das Vierfache der Trockenwettermenge.

Des Weiteren ist bei den Abbildungen abzulesen, dass es nach dem Ende der Regenereignisse zu einem langen Nachlauf kommt. Dies weist auf eine Dränagewirkung des Kanalsystems und Eintritt von Grund- und Hangwasser hin.

Zusätzlich ist erkennbar, dass die höchsten Abflussspitzen gemeinsam mit den Niederschlagsereignissen auftreten. Diese sind auf direkte Einträge von Oberflächenwasser und auf Fehllanschlüsse zurückzuführen.

Es ist also ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Regenereignissen und den gemessenen Schmutzwasserabflüssen im Kanalnetz gegeben.

4.2.1 Messwerte am Übergabeschacht

Durch Auswertung der Abflussmessungen ist es möglich, den monatlichen einwohner-spezifischen Trockenwetterabfluss zu berechnen. Wie bereits in Kapitel 3.1 angeführt, ist dieser Wert ein wichtiges Indiz für einen erhöhten Fremdwasseranfall.

Zunächst sind alle Trockenwettertage detektiert worden. Als Trockenwettertage sind alle Tage gemeint, bei denen kein Niederschlag aufgezeichnet wurde. Für diese Tage wurden anschließend die Minima, Maxima, die Mittelwerte und die Standardabweichungen der Abflussmengen berechnet. Die Auswertungen erfolgten dabei quartalsweise. In Tabelle 7 bis Tabelle 10 sind die Ergebnisse zusammenfassend wiedergegeben.

Tabelle 7: Trockenwetterauswertung 1. Quartal 2010 – 2013

1. Quartal	Trockenwetter-tage [d]	Max [m³/d]	Min [m³/d]	Mittelwert [m³/d]	Standardabweichung [m³/d]
2010	42	779	289	397	110
2011	54	504	297	381	53
2012	56	869	282	329	81
2013	37	761	310	405	87

Tabelle 8: Trockenwetterauswertung 2. Quartal 2010 – 2013

2. Quartal	Trockenwetter-tage [d]	Max [m³/d]	Min [m³/d]	Mittelwert [m³/d]	Standardabweichung [m³/d]
2010	24	521	197	381	95
2011	40	516	283	356	48
2012	29	518	287	349	50
2013	25	740	333	450	103

Tabelle 9: Trockenwetterauswertung 3. Quartal 2010 – 2013

3. Quartal	Trockenwetter- tage [d]	Max [m³/d]	Min [m³/d]	Mittelwert [m³/d]	Standardabweichung [m³/d]
2010	27	837	342	463	125
2011	36	448	298	344	31
2012	32	1512	323	485	232
2013	38	430	298	347	31

Tabelle 10: Trockenwetterauswertung 4. Quartal 2010 – 2013

4. Quartal	Trockenwetter- tage [d]	Max [m³/d]	Min [m³/d]	Mittelwert [m³/d]	Standardabweichung [m³/d]
2010	42	613	348	443	68
2011	61	507	281	320	36
2012	38	897	358	506	134
2013	46	1071	353	452	138

In Abbildung 46 bis Abbildung 49 sind die Ergebnisse grafisch dargestellt. Es ist zu sehen, dass sich die Mittelwerte der Schmutzwasserabflüsse bei Trockenwettertagen in den letzten vier Jahren nicht wesentlich verändert haben.

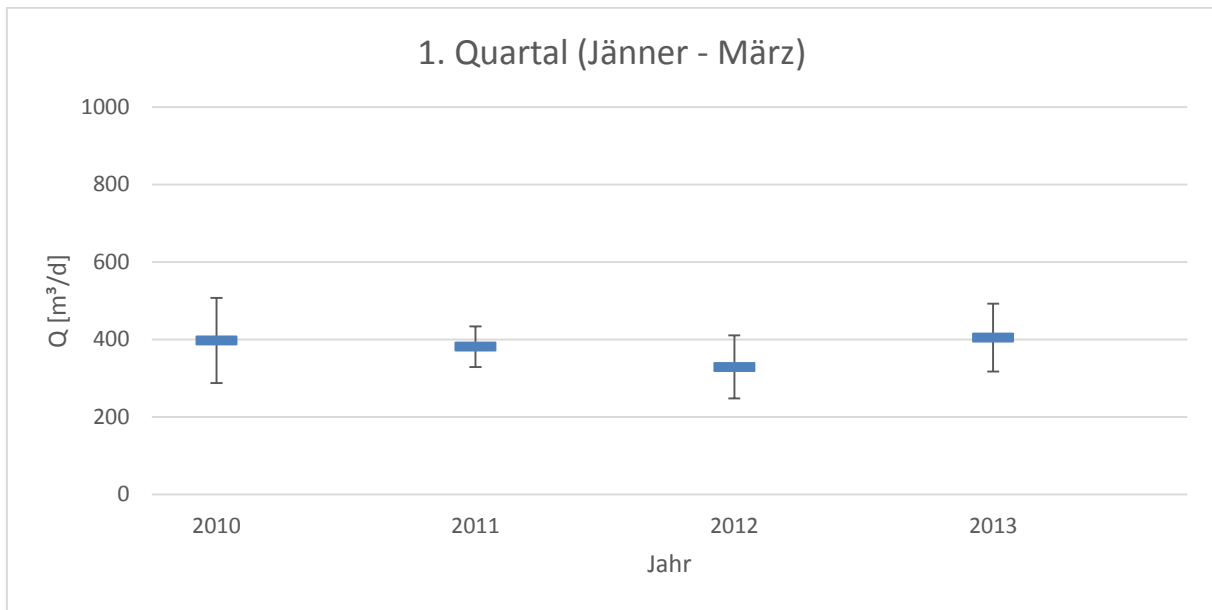


Abbildung 46: Trockenwetterauswertung 1. Quartal 2010 – 2013

In den ersten Quartalen der Jahre 2010, 2011, 2012 und 2013 bewegen sich die Mittelwerte der Schmutzwasserabflüsse bei Trockenwettertagen zwischen minimal 327 m³/d und maximal 426 m³/d.

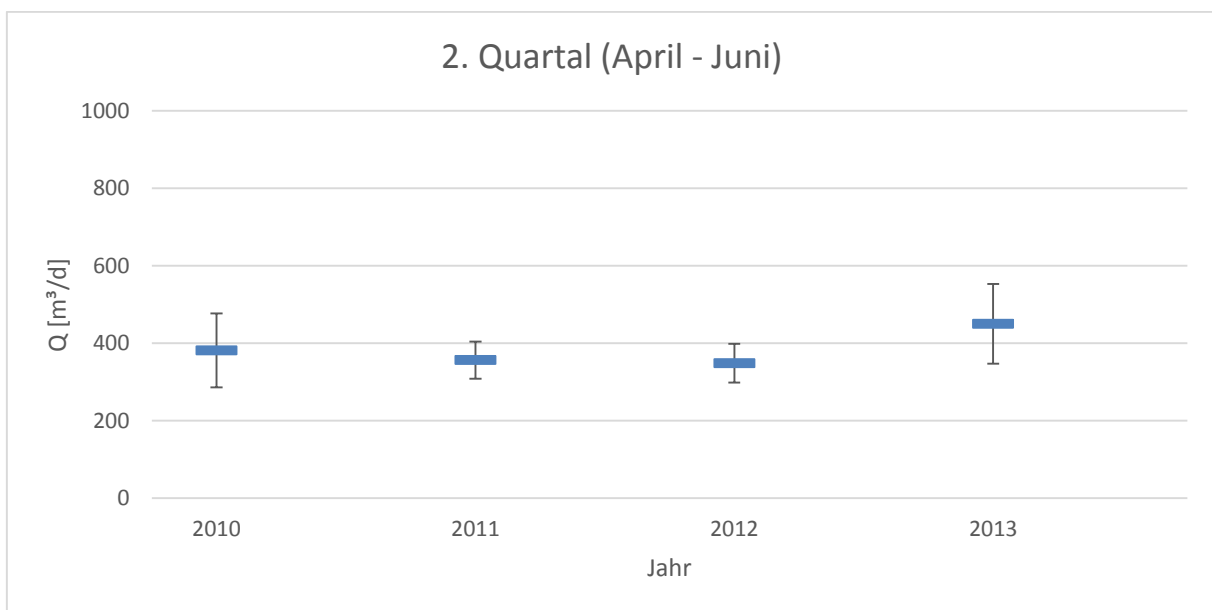


Abbildung 47: Trockenwetterauswertung 2. Quartal 2010 – 2013

Die Mittelwerte der Schmutzwasserabflüsse in den zweiten Quartalen bewegen sich ebenfalls im Bereich der zu erwartenden Abflüsse, wobei sie sich zwischen maximal 359 m³/d und maximal 495 m³/d bewegen.

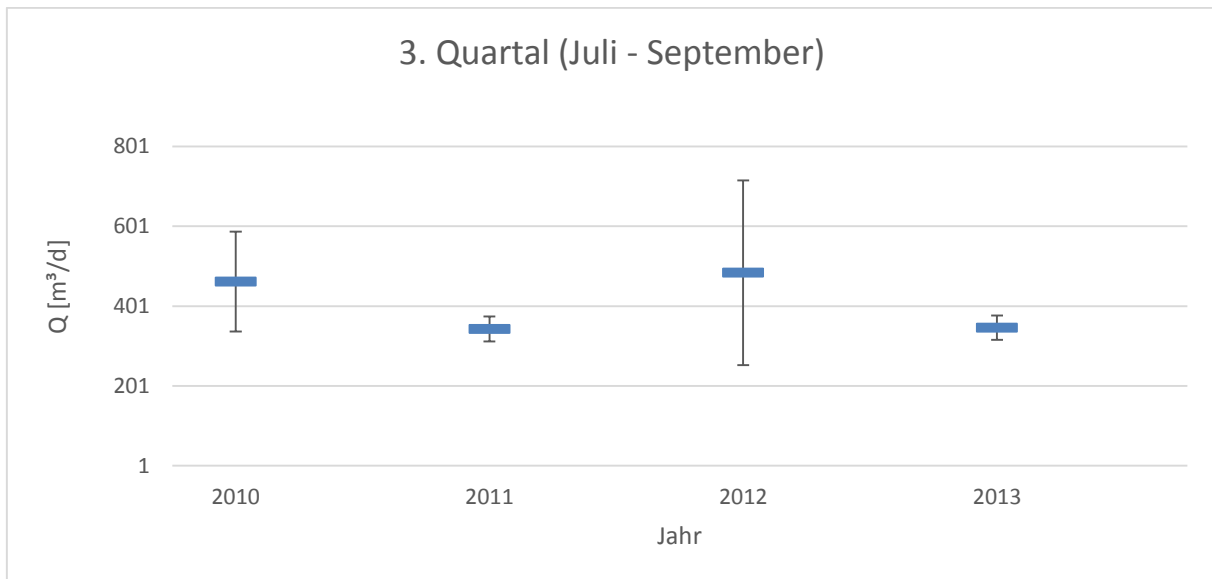


Abbildung 48: Trockenwetterauswertung 3. Quartal 2010 – 2013

Wie bei den Abflussmessungen an der Übergabestelle ersichtlich, waren die 3. Quartale der Jahre 2010 und 2012 sehr niederschlagsreich.

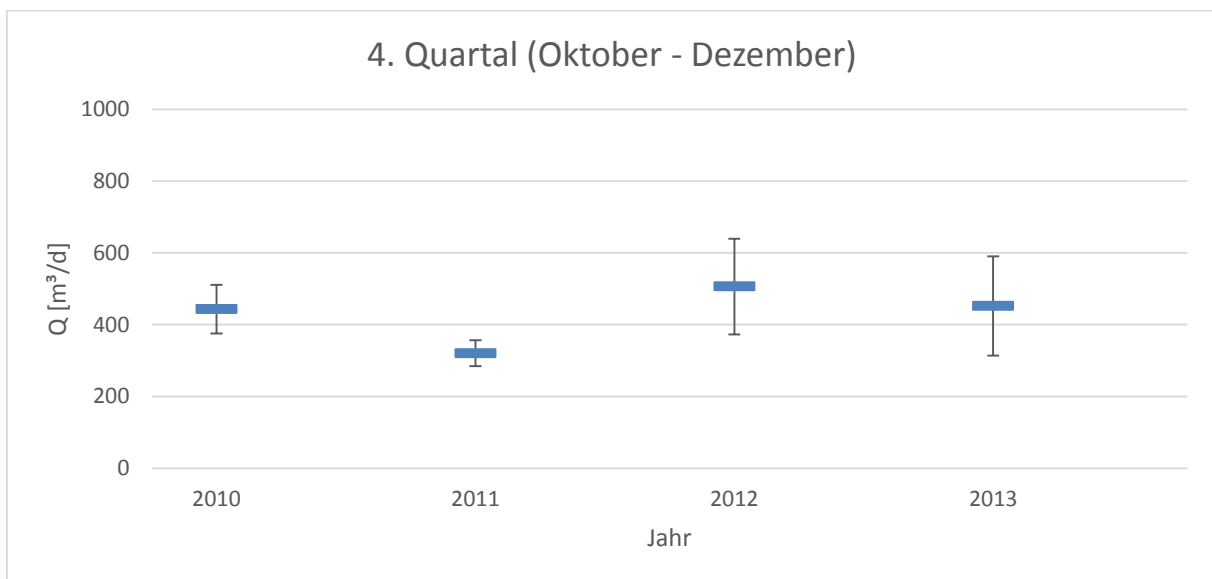


Abbildung 49: Trockenwetterauswertung 4. Quartal 2010 – 2013

4.2.1.1 Einwohnerspezifischer Wasserverbrauch bei Trockenwetter

In diesem Kapitel wird der einwohnerspezifische Wasserverbrauch anhand der Mittelwerte aus den Trockenwetterauswertungen berechnet und in Tabelle 11 dargestellt. Dabei wurde von einer Einwohnerzahl von 2800 ausgegangen.

$$Q_{T,d,mM} = \frac{Q_M}{E}$$

Gleichung 10

$Q_{T,d,mM}$... mittlerer einwohnerspezifischer Trockenwetterabfluss pro Quartal
 Q_M ... Mittelwert Abfluss
 E ... Einwohner

Tabelle 11: Einwohnerspezifischer Wasserverbrauch bei Trockenwetter

1. Quartal	Mittelwert [m³/d]	$Q_{T,d,mM}$ [l/ (EW·d)]
2010	397	142
2011	381	136
2012	329	118
2013	405	145

3. Quartal	Mittelwert [m³/d]	$Q_{T,d,mM}$ [l/ (EW·d)]
2010	463	165
2011	344	123
2012	485	173
2013	347	124

2. Quartal	Mittelwert [m³/d]	$Q_{T,d,mM}$ [l/ (EW·d)]
2010	381	136
2011	356	127
2012	349	125
2013	405	145

4. Quartal	Mittelwert [m³/d]	$Q_{T,d,mM}$ [l/ (EW·d)]
2010	443	158
2011	320	114
2012	506	181
2013	452	161

Wie bereits in Kapitel 3.1.1 angeführt, ist bei hauptsächlich häuslich geprägten Einzugsgebieten die Überschreitung des mittleren monatlichen einwohnerspezifischen Trockenwetterabflusses:

$$- Q_{T,d,mM} > 250 \text{ l/ (EW·d)}$$

ein Indiz für einen überhöhten Fremdwasseranfall (DWA-M 182, 2012).

Somit ist ersichtlich, dass die in der Tabelle 11: Einwohnerspezifischer Wasserverbrauch bei Trockenwetter berechneten einwohnerspezifischen Trockenwetterabflüsse alle unter 250 l/(EW·d) liegen, woraus der Schluss gezogen werden kann, dass in der Gemeinde Stattegg kein Grundwasserfremdwasserproblem vorliegt.

4.2.1.2 Berechnung des Fremdwasseranteiles

Um die bisherige Fremdwassersituation der Gemeinde Stattegg abzuschätzen, wird nachfolgend der Fremdwasseranteil abgeschätzt.

Laut Kainz et al. (2010) fallen in einem modernen Haushalt im Jahresschnitt pro Bewohner und Tag ca. 120 l bis 140 l Abwasser an (120-140 l/(E·d)). Für die Berechnungen in Stattegg wird ein häuslicher, einwohnerbezogener Schmutzwasseranfall von 125 l/(E·d) angenommen. Somit ergibt sich ein Schmutzwasserabfluss von $Q_s = 127.750 \text{ m}^3/\text{a}$ für 2800 Einwohner.

Der Fremdwasseranteil wurde nach Gleichung 1 im Kapitel 2.1.2 gerechnet.

Tabelle 12: Fremdwasseranteil FWA

Jahr	Q [m ³ /a]	Q _s [m ³ /a]	Q _F [m ³ /a]	Fremdwasseranteil FWA [%]
2010	168.203	127.750	40.453	24
2011	134.870	127.750	7.120	5
2012	166.838	127.750	39.088	23
2013	151.298	127.750	23.548	16

In DWA-ES 1.3 (2003) wird ein Fremdwasseranteil von bis zu 25 % als ein sehr gutes Ergebnis angesehen.

Die Fremdwasseranteile in Stattegg betragen für die Jahre zwischen 2010 und 2013 alle unter 25 %.

4.2.1.3 Jahresniederschlagsmengen

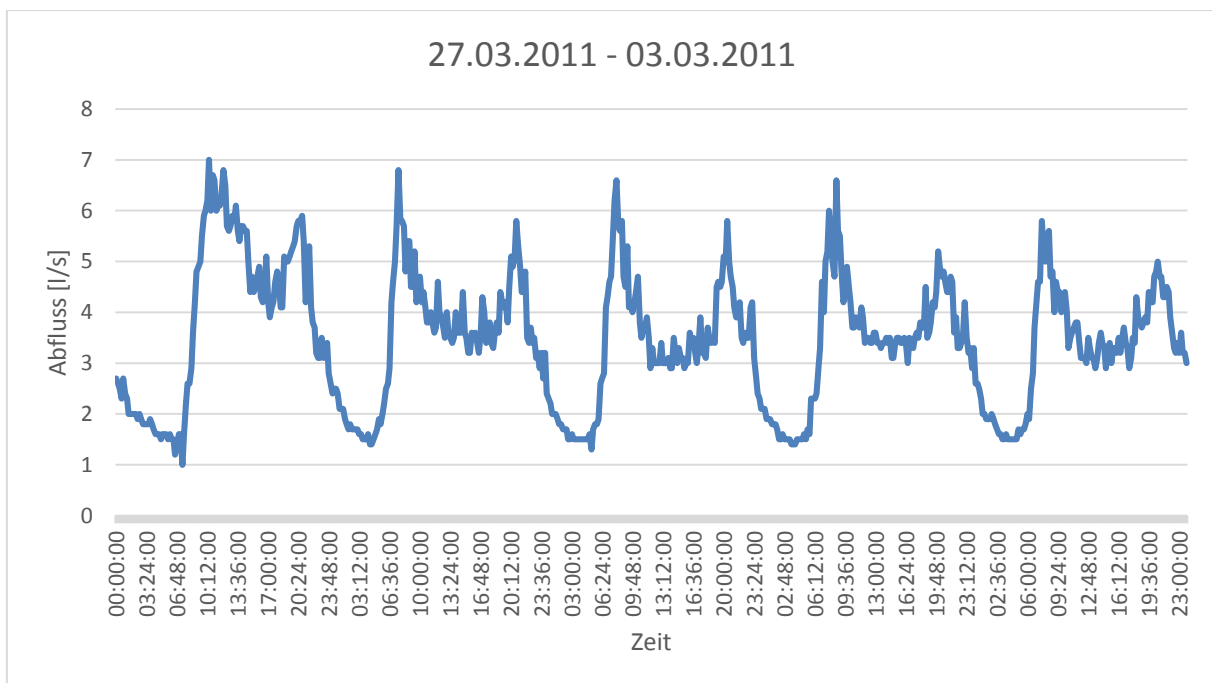
In Tabelle 13 sind die Jahresniederschlagsmengen für Jahre 2010 bis 2013 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass das Jahr 2011 im Vergleich zu den anderen Jahren nicht niederschlagsreich war. Das ist auch der Grund dafür, dass sich im Kapitel 4.2.1.2 ein sehr kleiner Wert für den Fremdwasseranteil ergibt.

Tabelle 13: Jahresniederschlagsmengen

Jahr	Jahresniederschlagsmenge [mm]
2010	705,80
2011	514,30
2012	727,00
2013	708,90

4.2.1.4 Hoch aufgelöste Abflussmessungen

Mit Hilfe der von der Holding Graz bereitgestellten hoch aufgelösten Abflussmessungen und der Niederschlagsmessungen sind einige Trockenwetterabflüsse und Regenwetterabflüsse in den Abbildung 50 bis Abbildung 53 dargestellt. Die Messungen erfolgten in Abständen von zwölf Minuten. Es ist also für alle zwölf Minuten ein Wert vorhanden.

**Abbildung 50: Trockenwetterabfluss 27.03.2011 bis 03.04.2011**

Die Abbildung 50 stellt typische Tagesganglinien bei Trockenwetter im Kanalnetz von Stattegg dar (Messung am Übergabeschacht). Es ist zu erkennen, dass das Nachtmimum bei ca. 1,5 l/s liegt.



Abbildung 51: Regenwetterabfluss 29.07.2012 bis 02.08.2012

Der Regenwetterabfluss wird in der Abbildung 51 dargestellt. Dabei hat es lt. den Aufzeichnungen der Holding Graz am ersten Tag geregnet. An den nachfolgenden Tagen ist der auftretende Nachlauf sehr deutlich erkennbar. Nach den Niederschlagsereignissen steigen auch die Nachtminima deutlich an.

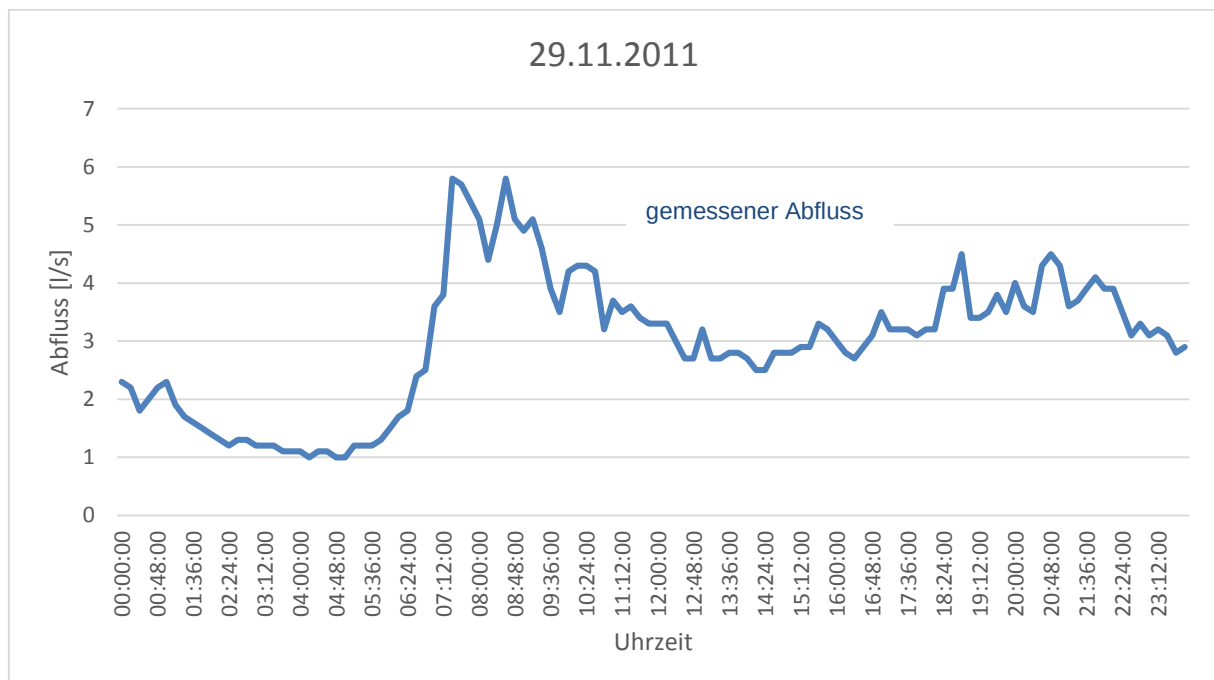


Abbildung 52: Trockenwetterabfluss 29.11.2011

Die Abbildung 52 stellt einen Tagesgang eines typischen Trockenwettertages dar. Hier befindet sich der Fremdwasseranfall in den Nachtminimumstunden bei ca. 1 l/s. Sehr gut ersichtlich sind dabei die Morgen- und Abendspitzen.



Abbildung 53: Regenwetterabfluss 11.12.2011

Am 11.12.2011 (Abbildung 53) wurde ein Niederschlag von 4mm aufgezeichnet. Der Abfluss in den Nachtminimumstunden beträgt ca. 1,5 l/s. Das Nachtminimum am Vortrag ist hierbei mit ca. 0,5 l/s abzulesen.

4.2.2 Indizien bei Pumpwerken

In Stattegg befinden sich vier Pumpwerke. Diese sind, wie in Abbildung 54 ersichtlich, in Steingraben, Krail, Kalkleiten und in Hohenberg platziert.

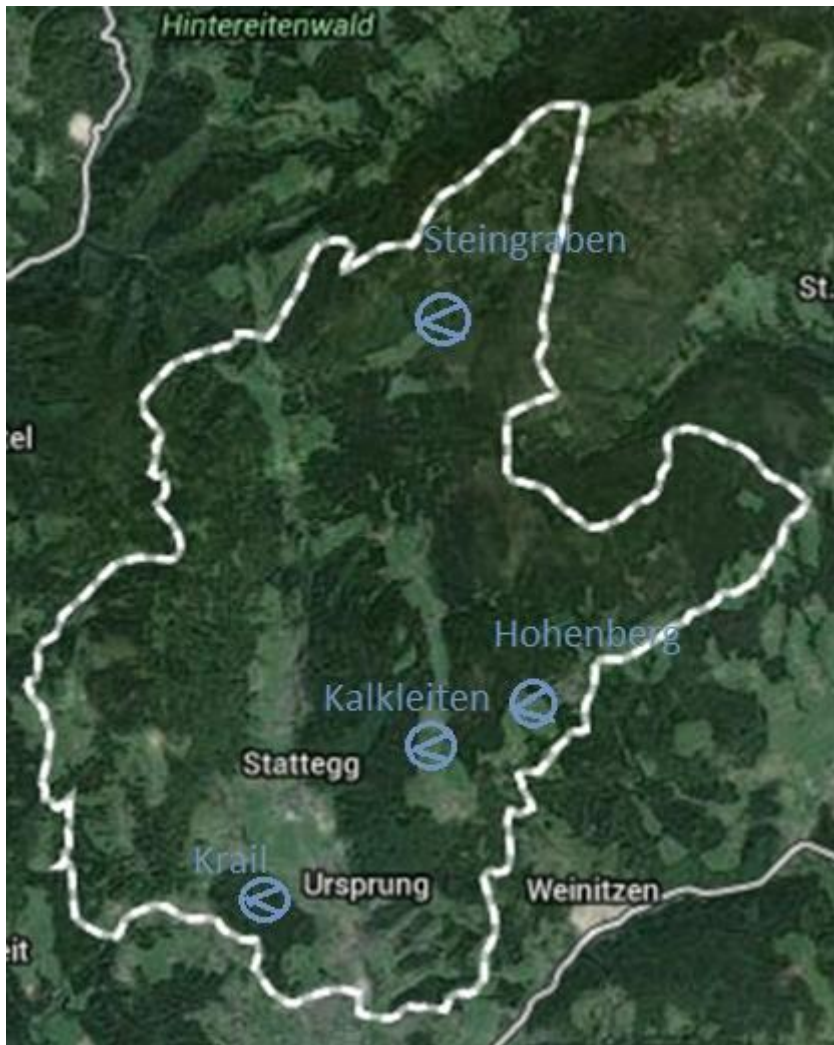


Abbildung 54: Anordnung der Pumpwerke

Bei der Besichtigung der Pumpwerke wurden einige Fotos zur Dokumentation aufgenommen, welche in der Abbildung 55 dargestellt sind.



Abbildung 55: Pumpwerke Krail, Steingraben, Kalkleiten und Hohenberg

Die Betriebsstunden der Pumpen werden vom Personal in unregelmäßigen zeitlichen Abständen abgelesen und in einer Liste dokumentiert. Diese Daten werden in den folgenden Tabellen dargestellt.

Tabelle 14: Betriebszeiten Pumpwerk Krail

Datum	Pumpe 1 Betriebsstunden [h]	Pumpe 2 Betriebsstunden [h]	Datum	Pumpe 1 Betriebsstunden [h]	Pumpe 2 Betriebsstunden [h]
Apr. 09	0	0	02.10.2013	1867,45	1694,95
17.12.2012	1542,86	1421,51	20.11.2013	1920,86	1737,78
08.07.2013	1778,22	1622,72			

Das Pumpwerk in Krail wurde im April 2009 gebaut und wies am 20.11.2013 1920,86 Betriebsstunden bei der ersten Pumpe und 1737,78 Betriebsstunden bei der zweiten Pumpe auf (Tabelle 14).

Tabelle 15: Betriebszeiten Pumpwerk Kalkleiten

Datum	Pumpe 1 Betriebsstunden [h]	Pumpe 2 Betriebsstunden [h]	Datum	Pumpe 1 Betriebsstunden [h]	Pumpe 2 Betriebsstunden [h]
Apr. 09	0	0	31.10.2012	273,42	374,82
06.12.2011	212,05	258,54	29.03.2013	302,12	414,93
19.12.2011	214,46	266,76	24.06.2013	318,72	434,08
02.04.2012	233,83	305,01	02.10.2013	336,52	453,4
01.06.2012	244,85	327,24			

Das Pumpwerk in Kalkleiten wurde ebenfalls im April 2009 gebaut und wies am 02.10.2013 336,52 Betriebsstunden bei der ersten Pumpe und 453,4 Betriebsstunden bei der zweiten Pumpe auf (Tabelle 15).

Tabelle 16: Betriebszeiten Pumpwerk Hohenberg

Datum	Pumpe 1 Betriebsstunden [h]	Pumpe 2 Betriebsstunden [h]	Datum	Pumpe 1 Betriebsstunden [h]	Pumpe 2 Betriebsstunden [h]
Okt.10	0	0	02.04.2012	142,49	142,57
29.03.2011	8,2	4,39	31.05.2012	164,48	164,46
05.04.2011	9,56	6,28	10.07.2012	180,26	179,54
20.04.2011	13,59	11,24	02.08.2012	190,59	188,37
09.05.2011	20,55	19,37	31.10.2012	257,45	294,2
27.06.2011	86,23	53,23	17.12.2012	289,4	357,27
01.08.2011	62,65	62,35	29.03.2013	395,2	572,1
21.09.2011	79,24	79,45	24.06.2013	522,39	578,43
19.10.2011	88,1	88,15	06.07.2013	522,39	578,43
06.12.2011	103,58	104,5	08.07.2013	524	610,33
19.12.2011	108,11	108,21	11.07.2013	528,9	610,33
11.01.2012	116,15	114,19	02.10.2013	577,27	647,23

Das Pumpwerk in Hohenberg wurde im Oktober 2010 gebaut und wies am 02.10.2013 577,27 Betriebsstunden bei der ersten Pumpe und 647,23 Betriebsstunden bei der zweiten Pumpe auf (Tabelle 16).

Tabelle 17: Betriebszeiten Pumpwerk Steingraben

Datum	Pumpe 1 Betriebsstunden [h]	Pumpe 2 Betriebsstunden [h]	Datum	Pumpe 1 Betriebsstunden [h]	Pumpe 2 Betriebsstunden [h]
Okt.10	0	0	01.06.2012	36,33	32,14
29.03.2011	0,13	0,1	10.07.2012	36,49	32,51
01.08.2011	0,13	0,18	02.08.2012	37,4	33,14
19.08.2011	0,34	0,37	31.10.2012	37,51	34,17
19.10.2011	1,45	1,38	17.12.2012	38,26	38,46
06.12.2011	2,1	2,3	24.06.2013	85,1	74,24
19.12.2012	2,21	2,12	02.10.2013	93,54	79,1
11.01.2013	2,31	2,23	21.11.2013	185,3	165,54
02..04.2012	35,37	31,11			

Auch das Pumpwerk in Steingraben wurde im Oktober 2010 gebaut und wies am 21.11.2013 185,3 Betriebsstunden bei der ersten Pumpe und 165,54 Betriebsstunden bei der zweiten Pumpe auf (Tabelle 17). Der Grund für die sehr langen Laufzeiten zwischen 02.10.2013 und 21.11.2013 war eine Verstopfung im Kanal, welche nach einer kurzen Zeit beseitigt worden ist.

Nachdem über die Pumpleistungen der Pumpwerke keine Informationen vorlagen, konnte nicht festgestellt werden, welche Pumpenlaufzeiten zu erwarten gewesen wären.

4.2.3 Beurteilung des Handlungsbedarfs

Die Abflussmessungen am Übergabeschacht zeigen zwar bei Niederschlagsereignissen einen erhöhten Abfluss in der Kanalisation, doch die ermittelten einwohnerspezifische Wasserverbräuche an Trockenwettertagen liegen alle unter dem im DWA-M 182 (2012) angeführten Grenzwert (250 l/ (EW·d)) als Indiz für einen erhöhten Fremdwasseranfall. Des Weiteren liegen die berechneten Fremdwasseranteile für die Jahre 2010 bis 2014 ebenfalls alle unter 25 %, was lt. DWA-ES 1.3 (2003) als ein sehr gutes Ergebnis angesehen werden kann. Somit ist die Gemeinde Stattegg anhand der Analyse

der Abflussmessungen rechnerisch eigentlich mit keinem übermäßigen Fremdwasserproblem konfrontiert. Allerdings weist die Abflusscharakteristik bei und nach Niederschlagsereignissen auf einen nennenswerten niederschlagsbedingten Fremdwassereintritt hin.

4.3 Vertiefende Untersuchungen und Festlegung von Fremdwasserschwerpunkten

4.3.1 Analyse des Einzugsgebiets

4.3.1.1 Ergebnisse Kamerabefahrung

In den Jahren 2009 und 2010 wurden in Hauptsträngen Kamerabefahrungen durchgeführt. Im Zuge dieser Befahrungen haben sich keine gravierenden Fremdwassereintritte und Schäden erkennen lassen.

Das Problem bei den Kamerabefahrungen ist jedoch, dass diese bei Trockenwetter durchgeführt werden. Somit kann der Ort des Eindringens des Niederschlagswassers in die Kanalisation nicht aufgenommen und lokalisiert werden.

Durch die Auswertung der Ergebnisse aus den Kamerabefahrungen wurden die in den folgenden Abbildungen dargestellten Schadensgruppen festgestellt.

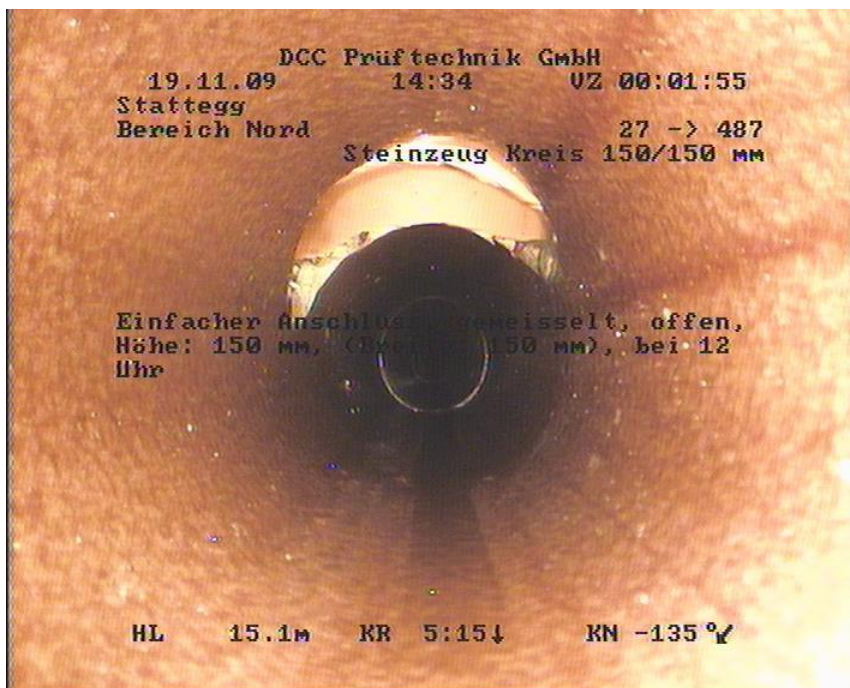


Abbildung 56: Anschlussfehler (eigene Untersuchungen Gemeinde Stattegg, 2009)

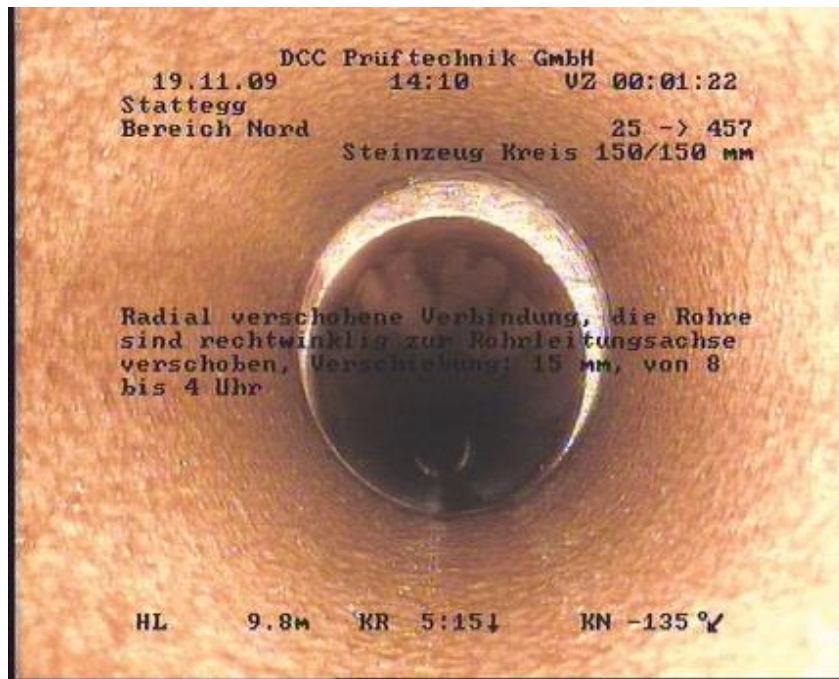


Abbildung 57: Radial verschobene Verbindung (eigene Untersuchungen Gemeinde Stattegg, 2009)

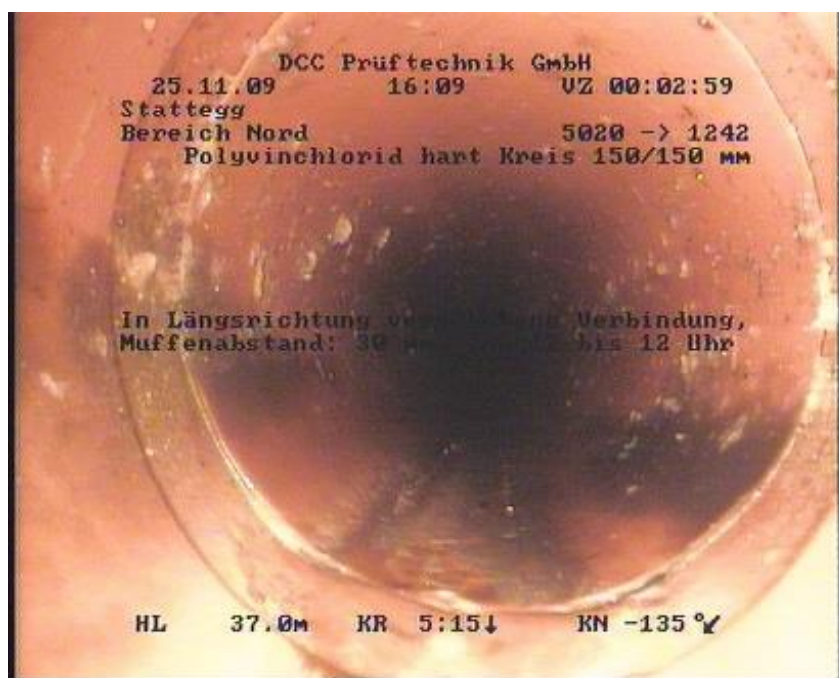


Abbildung 58: In Längsrichtung verschobene Verbindung (eigene Untersuchungen Gemeinde Stattegg, 2009)



Abbildung 59: Wurzeleinwuchs (eigene Untersuchungen Gemeinde Stattegg, 2009)

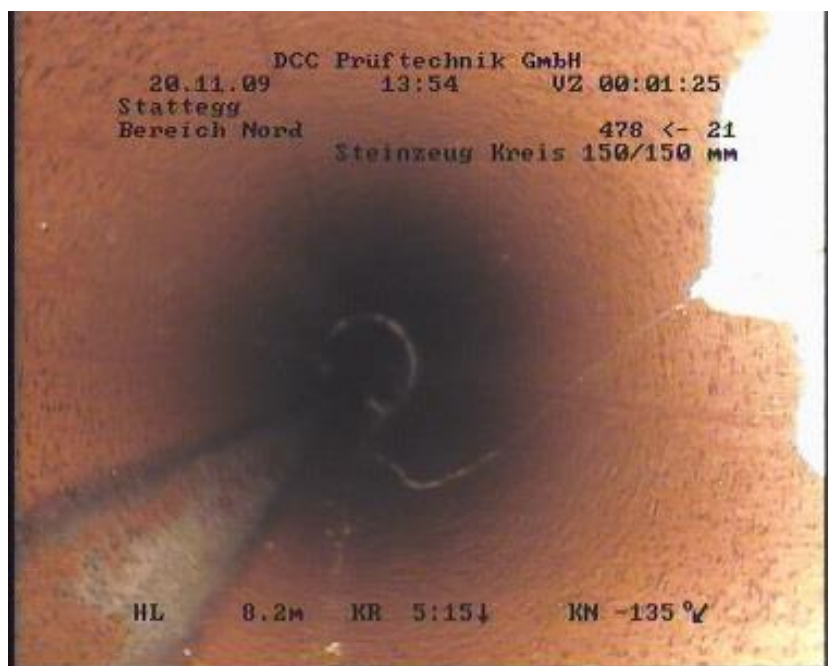


Abbildung 60: Risslinien (eigene Untersuchungen Gemeinde Stattegg, 2009)

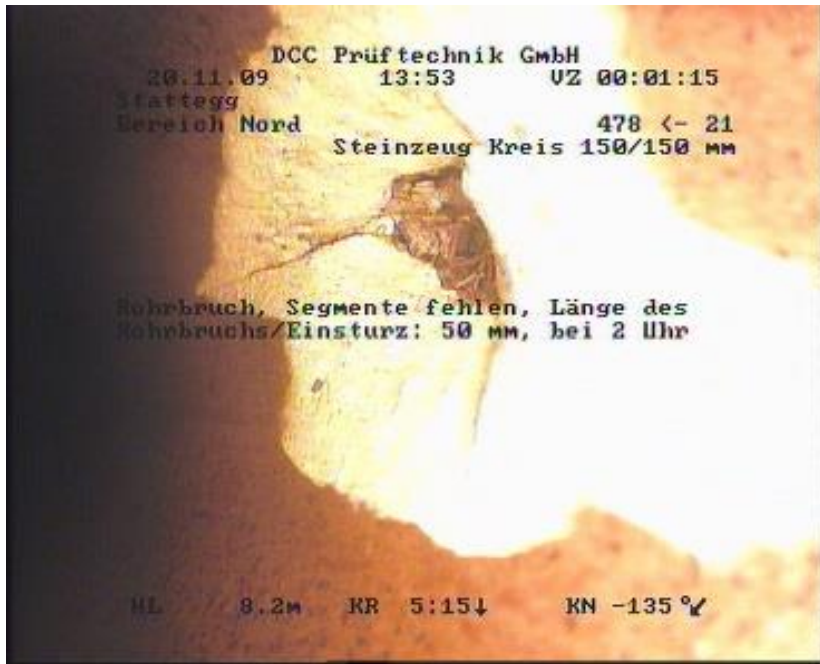


Abbildung 61: Rohrbruch (eigene Untersuchungen Gemeinde Stattegg, 2009)



Abbildung 62: Verfärbter, trüber Wasserspiegel (eigene Untersuchungen Gemeinde Stattegg, 2010)

4.3.2 Weitergehende Untersuchungen: Messprogramm

Nachdem das bisher vorhandene Datenmaterial nicht ausreichend war, um Fremdwasserschwerpunktgebiete zu lokalisieren, strebte die Gemeinde Stattegg die Durchführung eines Messprogrammes an. Für die Bestimmung des Fremdwasseranfalles in der Gemeinde Stattegg wird zunächst eine temporäre Kurzzeitmessung mittels Was-

serstandssensoren empfohlen, da diese gegenüber magnetisch induktiven Durchflussmessern (MID) günstiger sind und auch keinen Rückstau und damit die Gefahr von Überflutungen induzieren.

Am Beginn des Projektes war geplant, dass die Durchflussmessungen im Kanalnetz von Stattegg mittels MIDs durchgeführt werden sollten. Nach einer umfangreichen Literaturrecherche und nach Besuchen von Fremdwasserseminaren wurde allerdings empfohlen, zunächst nur den Wasserstand in ausgewählten Schächten zu messen. Damit wäre einerseits der Betreuungsaufwand während der Messkampagnen geringer und andererseits auch die geplanten Messkampagne selbst kostengünstiger durchzuführen. Nach Rückfrage bei der Gemeinde Stattegg hat man sich schließlich zunächst auf die Messung des Wasserstandes mittels Wasserstandssensoren geeinigt.

Auch durch eine Messung des Wasserstandes im Kanal können Bereiche mit hohem Fremdwasseraufkommen und die Herkunft des Fremdwassers sehr schnell aufgefunden werden. Durch diese Variante ist es möglich, sehr rasch und sehr wirtschaftlich die Fremdwasser-Schwerpunktbereiche einzugrenzen.

Für die Abflussmessungen, die für das Frühjahr 2014 in der Gemeinde Stattegg geplant waren, werden gezielte punktuelle Wasserstandmessungen an verschiedenen Stellen der Kanalisation mit Hilfe von Ultraschallsensoren empfohlen. Der Wasserstand soll im Gerinne der Schächte gemessen werden.

Dabei sind die Wasserstände mittels Datenlogger digital aufzuzeichnen. Aus diese Daten ergeben sich dann charakteristische Wasserstandkurven, aus denen die Abflüsse abgeschätzt und miteinander verglichen und bewertet werden können. Neben der Abschätzung der Abflüsse kann auch die zeitliche Veränderung des Wasserstandes an einem Messpunkt beobachtet werden (z. B. Trockenwetter, Anstieg bei Regen, Nachlauf, etc.)

Zusätzlich wird für die temporäre Messkampagne auch die Installation eines Niederschlagmesssystems im Untersuchungsgebiet empfohlen, mit welchem auch der Niederschlag mit hoher zeitlicher Auflösung digital aufgezeichnet werden kann.

Nach meinen durchgeführten Analysen empfiehlt es sich, zehn Ultraschall-Sensoren an zehn strategisch maßgebenden Stellen des Kanalnetzes zu platzieren. Diese Stellen werden in Abbildung 63 dargestellt. Dadurch wird das gesamte Kanalnetz in zehn verschiedene Teilgebiete aufgeteilt. Die bisherigen Erfahrungen des Betriebspersonals deuten auf einen erhöhtem Fremdwassereintritt im Zentrum des Einzugsgebiets hin. Deshalb werden in diesem Bereich fünf Messpunkte vorgeschlagen. Der zentrale Teil der Kanalisation würde somit in fünf kleinere Gebiete aufgeteilt werden, womit die Bereiche mit erhöhtem Fremdwassereintritte in diesen Gebieten ermittelt werden könnten. Damit könnten dann im Nachgang in relativ kurzer Zeit auch schon Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung ergriffen werden.

Es wurde auch noch eine zweite, vermeintlich günstigere Variante ausgearbeitet, welche den Einsatz von nur fünf Ultraschall-Sensoren statt zehn Sensoren vorsieht. Auf den ersten Blick scheint diese Variante die günstigere zu sein, da nur fünf Sensoren zu mieten sind. Doch die Miete der Messgeräte ist zeitabhängig. Je länger die Geräte eingebaut sind, umso teurer wird deren Miete. Bei Verwendung von nur fünf Sensoren müssen die Messgeräte mehrmals umgesetzt werden, um die vorgeschlagenen Gebiete in weitere Gebieten zu unterteilen und weiter einzugrenzen. Damit müssten mehrere Niederschlagsereignisse abgewartet werden, was wiederum sehr lange dauern kann. Somit ist die erste Variante aus Kosten-Nutzen-Gründen wahrscheinlich die empfehlenswertere.

Bei den Messungen sollten mindestens drei Regenereignisse pro Einbausituation abgewartet werden. Es kann aber leider nicht garantiert werden, dass folglich die Schwerpunktgebiete auch klar erkannt werden, wie ein bereits beschriebenes Beispiel von Kraner (2014) gezeigt hat. Dabei war es über eine Messung von Wasserstandhöhen in den Schächten nicht möglich, die Fremdwasserschwerpunktgebiete zu lokalisieren, da praktisch das gesamte Kanalnetz flächendeckend mit Fremdwasserproblemen behaftet war (siehe Kapitel 3.8).

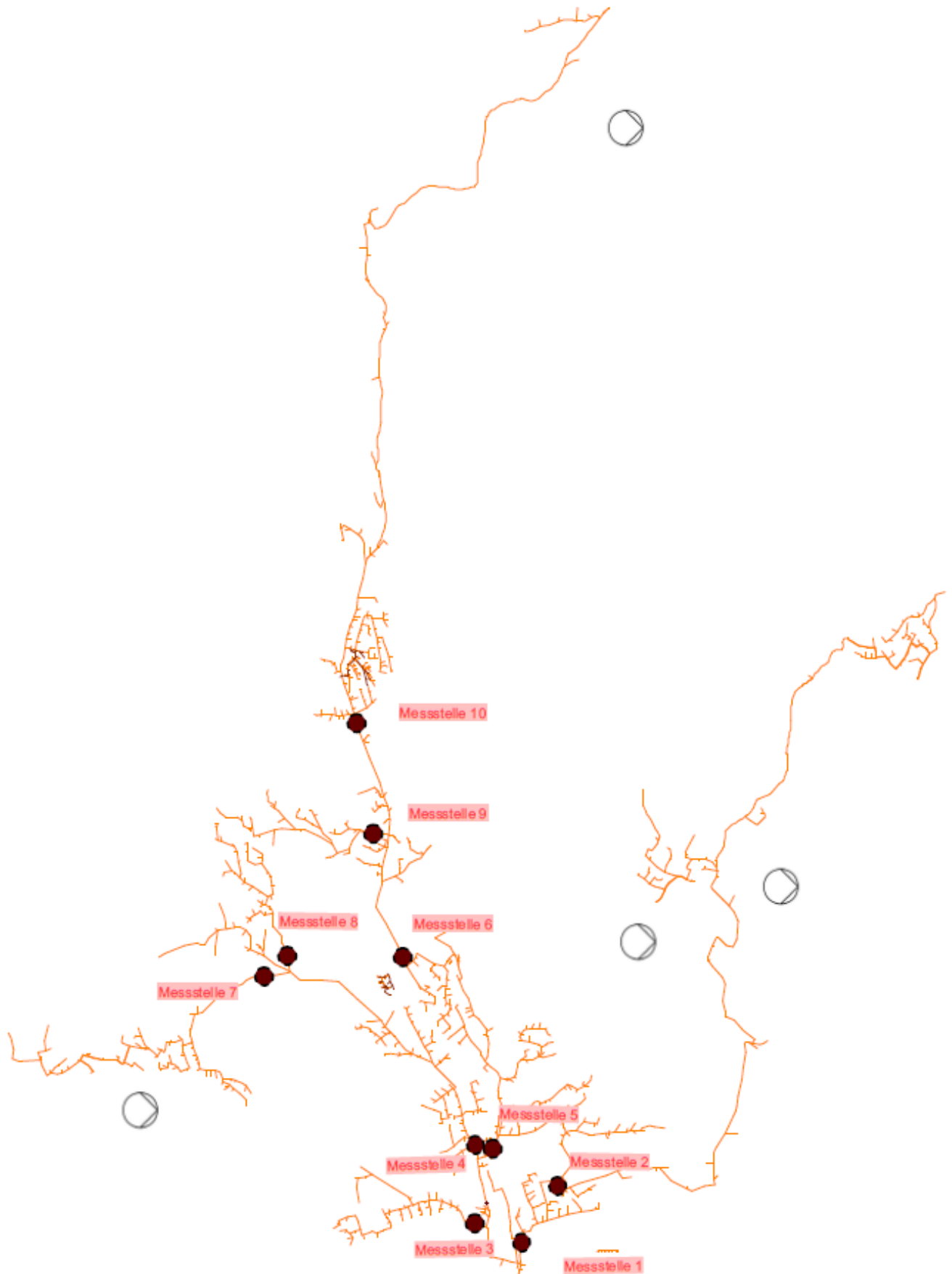


Abbildung 63: Messprogramm mit 10 vorgeschlagenen Messpunkten

4.4 Wirtschaftlichkeitsabschätzung

In diesem Kapitel werden die jährlichen Summen der seit 2010 gemessenen Abflüsse und der seither bezahlten Kosten für das Einleiten in das Grazer Kanalnetz mit den im günstigsten Fall möglichen Minimalbeträgen verglichen und grafisch dargestellt. Unter Minimalbeträge werden jene Kosten verstanden, welche bei minimalem Fremdwasser-eintritt in die Kanalisation anfallen würden. Damit kann abgeschätzt werden, ob eine Sanierung über eine längere Zeit betrachtet wirtschaftlich vertretbar ist oder nicht.

Die Menge des anfallenden häuslichen Schmutzwassers in einem modernen Haushalt beträgt nach Kainz et al. (2010) zwischen 120 – 140 l/(E·d). Für die Wirtschaftlichkeitsabschätzung wird von dem günstigsten Fall ausgegangen und der häusliche Schmutzwasseranfall mit 125 l/(E·d) angenommen. Wird dieser Wert mit der aktuellen Einwohnerzahl von 2800 multipliziert, so ergibt sich der theoretisch „geringste zu erwartende“ Abfluss mit 127.750 m³/a (best case). Nachdem für die Einleitung in das Grazer Kanalnetz derzeit eine Abgabe von 1,05 €/m³ bezahlt wird, ergeben sich für diesen Fall jährliche Kosten von 134.137 €.

Tabelle 18 zeigt den Vergleich zwischen den tatsächlichen Abflüssen und den Abflüssen im besten Fall. Des Weiteren werden dabei auch die entstehenden Kosten gegenübergestellt. Zusätzlich werden die theoretischen Mehrabflüsse und das theoretische Einsparungspotenzial dargestellt.

Tabelle 18: Kostenvergleich für das Einleiten von Abwasser in das Grazer Kanalnetz für die Gemeinde Stattegg

Jahr	Abfluss [m ³ /a]	Kosten [€]	Abfluss (best case) [m ³ /a]	Kosten (best case) [€/a]	Fremd- wasser [m ³ /a]	Theoret. Einspa- rungspoten- zial [€/a]
2010	169.251	177.714	127.750	134.137	41.501	43.576
2011	136.932	143.779	127.750	134.137	9.182	9.641
2012	174.199	182.909	127.750	134.137	46.449	48.771
2013	175.054	183.807	127.750	134.137	47.304	49.669

Die Abbildung 64 stellt den Vergleich der gemessenen Abflüsse mit dem best-case-Szenario dar, wobei die Abbildung 65 die tatsächlichen Kosten und die Kosten im günstigsten Fall gegenüberstellt.

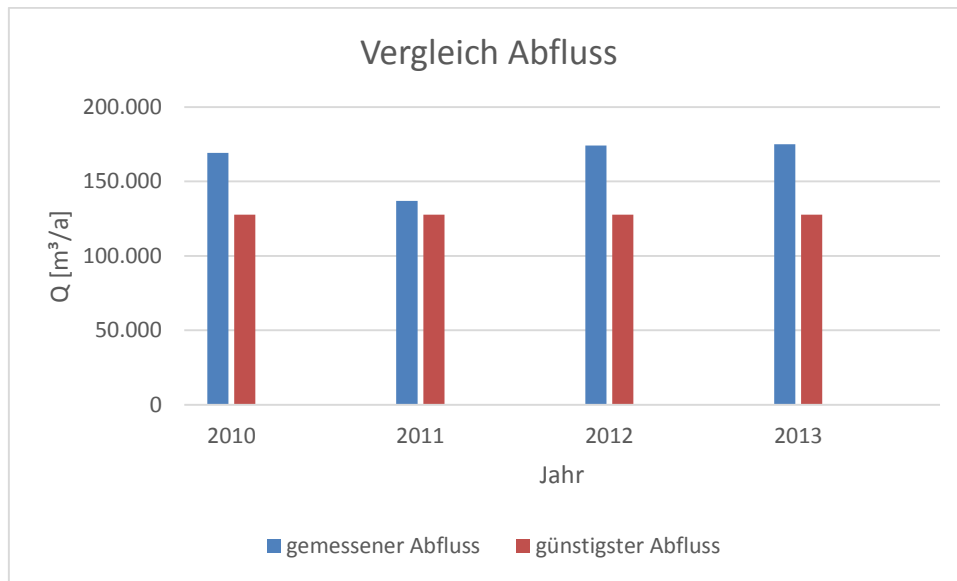


Abbildung 64: Vergleich Abfluss

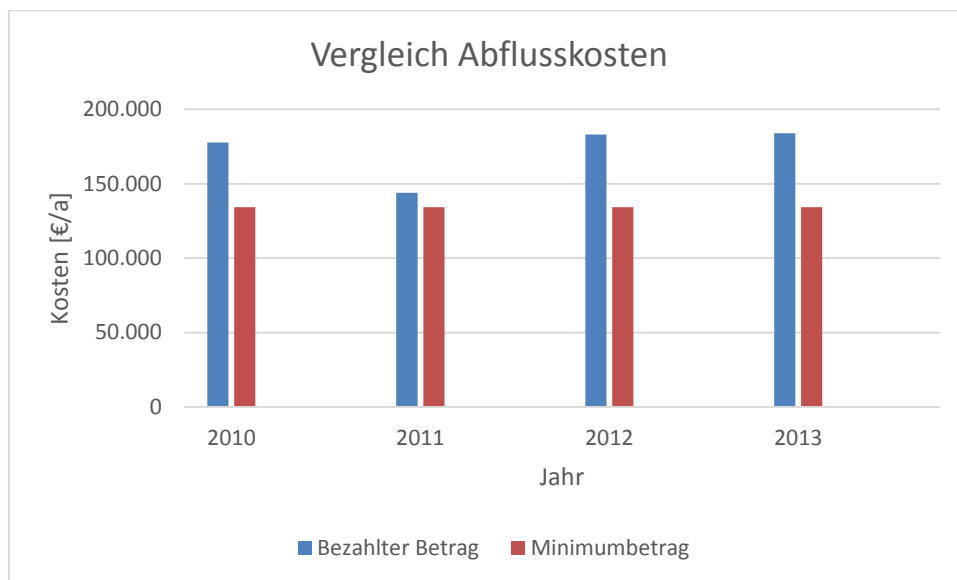
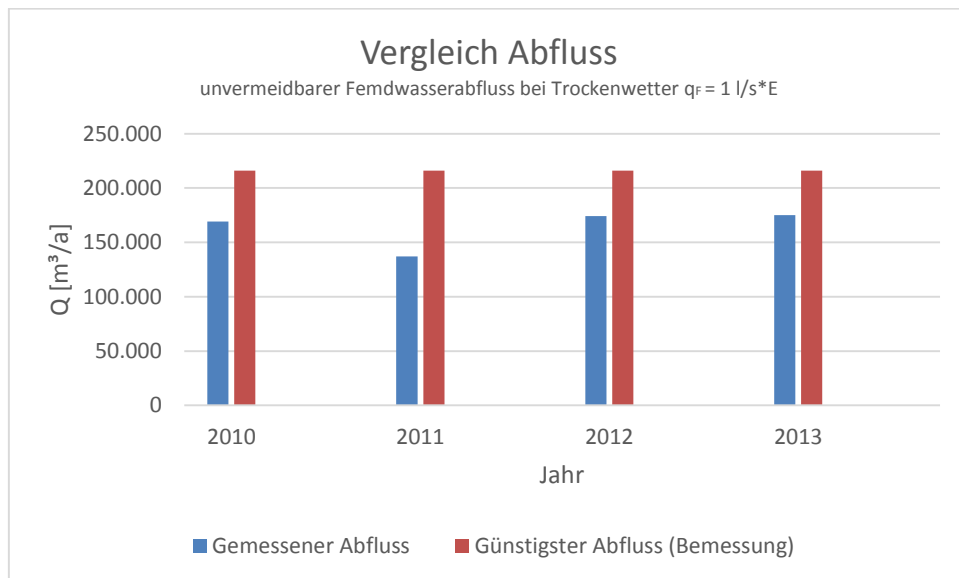


Abbildung 65: Vergleich Abwassereinleitungskosten

Im Kapitel 2.1.4 wurde erwähnt, dass bei Neuerschließungen eine Fremdwasserabflussspende q_F von $1 \text{ l}/(\text{s} \cdot 1000\text{E})$ nach DWA-M 182 (2012) für die Kanaldimensionierung angesetzt werden sollte. Würde bei der Gemeinde Stattegg eine generelle Fremdwasserabflussspende q_F von $1 \text{ l}/(\text{s} \cdot 1000\text{E})$ berücksichtigt werden, so ergäbe sich dadurch ein zusätzlicher Abfluss von $88.300 \text{ m}^3/\text{a}$ (Tabelle 19). Damit ergibt sich, dass die Abflussgebühren von der Gemeinde Stattegg in den Jahren 2010 bis 2013 weit unter dem Minimum liegen.

Tabelle 19: Kosten unter Berücksichtigung einer Fremdwasserabfluss-spende von 1 l/(s·1000 E)

Jahr	Abfluss [m³/a]	Abgaben [€]	q _F Trockenwetter [m³/a]	Abfluss (best case) [m³/a]	Abgaben (best case) [€/a]	Fremdwasser [m³/a]	theort. Einsparungspotenzial [€/a]
2010	169.251	177.713	88.300	216.051	226.853	-46.800	-49.140
2011	136.932	143.778	88.300	216.051	226.853	-79.118	-83.075
2012	174.199	182.908	88.300	216.051	226.853	-41.852	-43.945
2013	175.054	183.806	88.300	216.051	226.853	-40.997	-43.047

**Abbildung 66: Vergleich Abfluss unter Berücksichtigung einer Fremdwasserabfluss-spende von 1 l/(s·1000 E)**

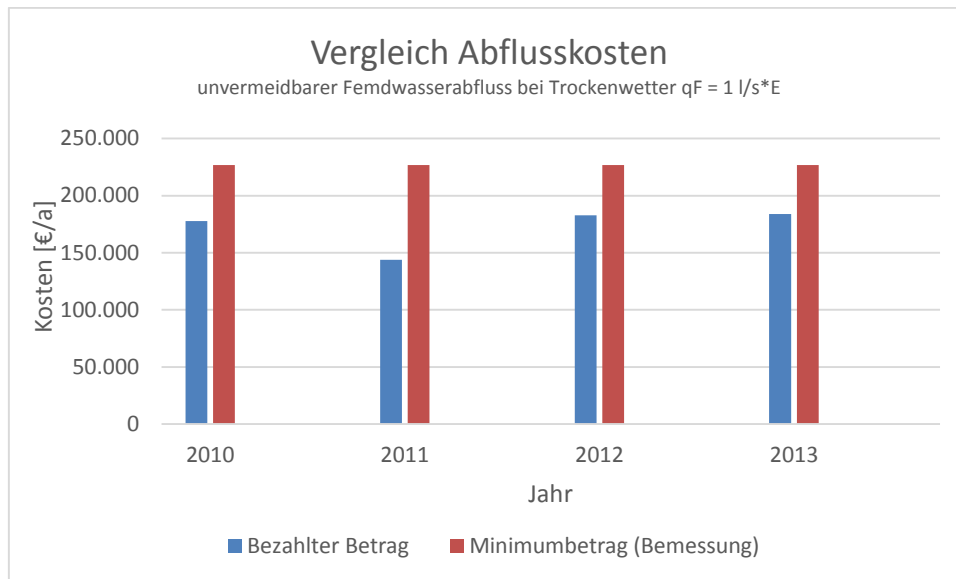


Abbildung 67: Vergleich der Ableitungskosten unter Berücksichtigung einer Fremdwasserabflussspende von $1 \text{ l/(s} \cdot 1000 \text{ E)}$

Die Abbildung 66 und Abbildung 67 stellen graphisch dar, dass die theoretischen Trockenwettermindestkosten bei Berücksichtigung einer theoretischen Fremdwasserabflussspende von $1 \text{ l/(s} \cdot 1000 \text{ E)}$ deutlich über den derzeitigen Jahreskosten liegen würden.

Allerdings ist die angesetzte Fremdwasserabflussspende von $1 \text{ l/(s} \cdot 1000 \text{ E)}$ ein empfohlener Maximalwert für die Kanaldimensionierung und es ist nicht anzustreben, dass dieser Fall über einen längeren Zeitraum kontinuierlich auftritt. Der Bemessungs-Fremdwasserabfluss wurde hierfür jedoch für eine Abschätzung herangezogen, da ein Fremdwasserabfluss in der Praxis kaum vollständig zu verhindern sein wird. Auch nach der Sanierung aller Undichtigkeiten einer Kanalisation und nach der Beseitigung aller Fehlanlüsse wird ein gewisser Fremdwasseranteil in der Kanalisation in der Praxis immer verbleiben. Durch die Abschätzung mit einer Fremdwasserabflussspende soll in erster Linie gezeigt werden, dass die Einsparungspotenziale aus Tabelle 18 wohl eher theoretische Maximalbeträge darstellen, die in der Praxis kaum erreicht werden können. In der Praxis wird man bei Fremdwassersanierungsmaßnahmen wohl deutlich geringere Einsparungen erzielen können.

Speziell für Schmutzwasserkanäle in Gebieten mit Trennkanalisation, wie in Stattegg der Fall, sollte bei der Kanaldimensionierung zusätzlich zum Grundwasserfremdwasersansatz von $1 \text{ l/(s} \cdot 1000 \text{ E)}$ für einen unvermeidbaren Regenwasserabfluss in Schmutzwasserkanälen nach Kainz et al. (2010) auch noch ein Ansatz von $2 \text{ l/(s} \cdot 1000 \text{ E)}$ berücksichtigt werden, was die oben durchgeführten Fremdwasserabschätzungen noch deutlich verschärfen würde.

Der Mittelwert für die Mehrkosten durch Fremdwasser betrug für die Jahre 2010, 2011, 2012 und 2013 für die Gemeinde Stattegg ca. 37.900 €/a. Dieser Betrag ergibt sich,

wenn man davon ausgeht, dass der häusliche Schmutzwasseranfall nur 125 l/ E·d beträgt und absolut kein zusätzliches Fremdwasser mehr in der Kanalisation abgeleitet werden würde, was praktisch kaum jemals erreichbar sein wird.

$$\text{mitl. jährl. Kosten Fremdwasser} = \frac{43.576 + 9.641 + 48.771 + 49.669}{4} \approx 37.900 \text{ €/a}$$

5 Zusammenfassung und Ausblick

Aufgrund der hohen finanziellen Belastungen der Kommunen sind in den letzten Jahren auch Untersuchungen hinsichtlich des Fremdwassers in den Abwasserkanälen in den Vordergrund getreten. Das Hauptaugenmerk liegt dabei in der Reduzierung des Fremdwasseraufkommens durch geeignete technische Maßnahmen. Von mehreren Erfahrungsberichten ausgehend, konnte aber bisher aus verschiedenen Gründen nur mäßiger Erfolg erreicht werden.

Das Fremdwasser ist ein unerwünschter Abfluss im Abwasserkanal. Es hat zwei Erscheinungsformen: grundwasserbürtig und niederschlagswasserbürtig. Das grundwasserbedingte Fremdwasser gelangt meistens über Fehllanschlüsse oder Undichtigkeiten in die Kanalisation. Wenn Niederschlagswasser über die Öffnungen eines Schachtdeckels oder durch sonstige Fehllanschlüsse in den Schmutzwasserkanal eines Trennsystems eindringt, so spricht man von niederschlagsbedingtem Fremdwasser.

Der Anteil des Fremdwasseranfalles in den Kanälen ist nicht konstant, sondern unterliegt zeitlichen und räumlichen Veränderungen. Es tritt in sehr unterschiedlichen Spannweiten auf und auch zeitlich und räumlich ist die Fremdwasserverteilung sehr ungleichmäßig.

Das Fremdwasser hat vielseitige Auswirkungen auf die Kanalisationen, auf die Kläranlagen, auf Mischwasserbehandlungsanlagen und auf die Gewässer. Es führt zu einer hydraulischen Mehrbelastung, wobei dies auch positive Effekte haben kann. Die negativen Folgen überwiegen aber zumeist. Durch das Eindringen des Fremdwassers in die Kanalisation erhöhen sich die Abflüsse, wodurch höhere Schleppkräfte auftreten. Dadurch wird der Stofftransport verbessert und dauerhafte Ablagerungen können besser remobilisiert werden. Bei den Schmutzwasserkanälen eines Trennsystems besteht dadurch allerdings die Gefahr einer hydraulischen Überlastung, wodurch Rückstau und Überflutungen auftreten können. Bei Pumpwerken im Kanalnetz führt das Fremdwasser zu verlängerten Laufzeiten und zu höheren Schaltheufigkeiten der Pumpen. Dadurch unterliegen die Laufräder der Anlagen einem stärkeren Verschleiß und führen zu höheren Betriebskosten. Bei Mischwasserüberlaufbauwerken beeinflusst das Fremdwasser die Entlastungshäufigkeiten und Entlastungsdauern sowie bei Becken auch die Einstauhäufigkeiten und die Einstaudauern. Auch die Auswirkungen des Fremdwassers auf die Kläranlagen sind nicht zu vernachlässigen. Es verursacht eine Verdünnung und eine Temperaturabsenkung des Abwassers. Dadurch sinkt der Wirkungsgrad der biologischen Abwasserreinigung in der kalten Jahreszeit und durch die Verdünnung können ev. Mindestwirkungsgrade in der Stofffrachtelimination schwerer eingehalten werden.

Bei hohen Fremdwasseranfällen müssen die Beckenvolumen von Mischwasserüberlaufbecken größer bemessen werden, was zu höheren Investitionskosten führt. Des

Weiteren müssen die Volumina des Vorklärbeckens, des Belebungsbeckens und des Nachklärbeckens größer bemessen werden, welches ebenfalls zu höheren Kapitalkosten beim Bau einer Kläranlage führt. Die Betriebskosten einer Kläranlage werden durch einen erhöhten Fremdwasserabfluss stark beeinflusst, da diese u. A. durch die Energiekosten für Pumpwerke und den Fällmittelbedarf zur Fällung von Phosphat bestimmt werden.

Um den Fremdwasseranfall zu reduzieren, muss diese Problemstellung systematisch bearbeitet werden. Im ersten Schritt ist der Handlungsbedarf festzustellen. Dazu sind Grenzwerte (Indizien) bei Kläranlagen, bei Regenwasserbehandlungsanlagen und bei Kanalisationen aufzustellen. Ein Handlungsbedarf besteht, wenn eine oder mehrere dieser Indizien als Schwellenwert überschritten werden.

Wenn ein Handlungsbedarf besteht, ist eine detaillierte Ursachen- und Problemanalyse durchzuführen. Dabei wird das Einzugsgebiet möglichst umfassend analysiert, wobei auch Begehungen wichtige Hinweise liefern können. Nach der Analyse des Einzugsgebiets und vorhandener Daten, ist die Entscheidung zu treffen, ob die vorhandenen Informationen für die Identifikation von Fremdwasserschwerpunkten ausreichen. Falls dies der Fall ist, kann eine Maßnahmenplanung erfolgen. Ansonsten ist eine detailliertere Untersuchung notwendig.

Für weitergehende Untersuchungen bieten sich in größeren Gebieten Messprogramme zur Fremdwasserbestimmung an. Dabei werden die Abflüsse oder Wasserstände und möglichst auch der Niederschlag zeitgleich gemessen. Da das Fremdwasser im Kanal mit dem Niederschlags- und Schmutzwasser vermischt auftritt, ist das direkte Messen des Fremdwassers nicht möglich. Daher gibt es zwei Ansätze, mit denen das Fremdwasser bestimmt werden kann, nämlich die „deskriptiven“ und die „deterministischen“ Ansätze.

Bei den deskriptiven Ansätzen werden Ursachen-Wirkungs-Prinzipien nicht berücksichtigt. Nachteilig ist hierbei, dass nur Aussagen über den betrachteten Zeitraum getroffen werden können.

Deterministische Ansätze hingegen beruhen auf Ursachen-Wirkungs-Relationen. Nach Analyse der durchgeführten Abflussmessungen werden funktionale Abhängigkeiten des Fremdwasserabflusses z. B. von Niederschlagsereignissen abgeleitet. Es besteht dann die Möglichkeit, diese Abhängigkeiten auf andere Zeiträume zu übertragen.

Nach Abschluss der Messungen sind die Teileinzugsgebiete mit hohem Fremdwasseranfall zu identifizieren. Die privaten Grundstücksentwässerungssysteme sind parallel zu öffentlichen Kanalisationen zwingend in die Untersuchung miteinzubeziehen. Diese Untersuchungen können je nach Gegebenheit und des finanziellen Budgets mit TV-Inspektionen, Signalnebelverfahren oder Farbtraceruntersuchungen erfolgen.

Das Problem „Fremdwasser im Abwasserkanal“ ist nicht nur das Problem einer oder einiger Gemeinden, sondern betrifft nahezu alle Kanäle weltweit und ist derzeit sehr aktuell. Bei einer Informationsveranstaltung des ÖWAV, welche im April 2014 in Wien stattgefunden hat, kam dies auch zum Ausdruck.

In der Masterarbeit wurden zunächst in einem ersten Teil die theoretischen Grundlagen zusammengefasst. Im zweiten Teil wurde die Fremdwasserproblematik am Fallbeispiel der Gemeinde Stattegg analysiert und behandelt sowie Empfehlungen für ein Messprogramm erarbeitet.

Nach einer Analyse der Abflüsse der letzten vier Jahre in der Gemeinde Stattegg hat sich ergeben, dass ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Niederschlagsereignissen und den gemessenen Abflüssen an der Übergabestelle an die Holding Graz besteht.

Infolge einer detaillierten Analyse der TV-Inspektionen, welche 2009 durchgeführt wurden, konnten keine gravierenden Fremdwassereintritte und Schäden erkannt werden. Nach einer Berechnung der Fremdwasseranteile für die Jahre 2010 bis 2013, haben sich keine erhöhten Werte ergeben. Die prozentualen Anteile befinden sich in Stattegg mit unter 25 % in einem tolerierbaren Bereich. Eine Wirtschaftlichkeitsabschätzung zeigt, dass die bisher bezahlten Kosten für das Abwasserableiten in das Kanalnetz der Stadt Graz ebenfalls in einem tolerablen Bereich liegen.

Als Messprogramm, um die Fremdwasser-Schwerpunktgebiete im Einzugsgebiet zu lokalisieren, wurde empfohlen, an zehn strategisch vorausgewählten Punkten temporär Wasserstandssensoren einzubauen und damit jeweils mindestens 3 Regenereignisse messtechnisch zu erfassen und zeitgleich auch den Niederschlag im Untersuchungsgebiet digital mitzumessen. Durch die Messung und den Vergleich der auftretenden Wasserstände sollte es möglich sein, relativ schnell die Bereiche mit erhöhtem Fremdwasseraufkommen zu identifizieren. Erfahrungsberichte lassen allerdings befürchten, dass die empfohlenen Messungen nicht sofort zum Erfolg führen, insbesondere dann, wenn die Fremdwassereinträge gleichmäßig über das gesamte Einzugsgebiet verteilt sind.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Fremdwasserkomponente in Entwässerungssystemen (DWA-M 182, 2012).....	14
Tabelle 2:	Abflusscharakteristik von Fremdwasser (King County, 2004 in: Hennerkes, 2006)	26
Tabelle 3:	Einfluss eines erhöhten Fremdwasseranteiles auf die Investitions- und Betriebskosten in der Abwasserentsorgung (nach Michelska und Pecher, 2000 in DWA-M 182, 2012)	35
Tabelle 4:	Relevante Informationen zur Analyse des Einzugsgebietes (DWA-M 182, 2012)	43
Tabelle 5:	Übersicht über die verschiedenen deskriptiven Methoden zur Fremdwasserbestimmung (DWA-M 182, 2012).....	57
Tabelle 6:	Übersicht über die deterministischen Ansätze (DWA-M 182, 2012).....	68
Tabelle 7:	Trockenwetterauswertung 1. Quartal 2010 – 2013	89
Tabelle 8:	Trockenwetterauswertung 2. Quartal 2010 – 2013	89
Tabelle 9:	Trockenwetterauswertung 3. Quartal 2010 – 2013	90
Tabelle 10:	Trockenwetterauswertung 4. Quartal 2010 – 2013	90
Tabelle 11:	Einwohnerspezifischer Wasserverbrauch bei Trockenwetter.....	93
Tabelle 12:	Fremdwasseranteil FWA.....	94
Tabelle 13:	Jahresniederschlagsmengen	95
Tabelle 14:	Betriebszeiten Pumpwerk Krail	100
Tabelle 15:	Betriebszeiten Pumpwerk Kalkleiten.....	100
Tabelle 16:	Betriebszeiten Pumpwerk Hohenberg	101
Tabelle 17:	Betriebszeiten Pumpwerk Steingraben	102
Tabelle 18:	Kostenvergleich für das Einleiten von Abwasser in das Grazer Kanalnetz für die Gemeinde Stattegg	110
Tabelle 19:	Kosten unter Berücksichtigung einer Fremdwasserabflussspende von 1 l/(s·1000 E)	112

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wesentliche Eintrittspfade für Fremdwasser am Beispiel eines Trennsystems (Hennerkes, 2006).....	15
Abbildung 2: Durch Chemikalien beschädigtes Rohr (Environment Consult in Scaria, 2002)	16
Abbildung 3: Im Grundwasser liegender undichter Kanal (Environment Consult in Scaria, 2002).....	16
Abbildung 4: Undichtes Rohr (Environment Consult in Scaria, 2002).....	17
Abbildung 5: Prozentuale Verteilung der Schäden an öffentlichen Kanälen und Schächten (Berger & Falk, 2011).....	18
Abbildung 6: Fehlerhaft angeschlossene Zuleitung (Environment Consult in Scaria, 2002)	18
Abbildung 7: Kombinationsschächte im Trennsystem (DWA-M 182, 2012).....	19
Abbildung 8: Mittelwerte des Fremdwasseranteiles von 2576 Kläranlagen in Bayern (LfU BAY, 2009 in DWA-M 182, 2012)	20
Abbildung 9: Größe und Schwankungsbreite des spezifischen Trockenwetterabflusses von 75 Kläranlagen (Ruhrverband, 2009 in DWA-M 182, 2012)	20
Abbildung 10: Schwankungsbreite der spezifischen täglichen Trockenwetterabflüsse in verschiedenen Teileinzugsgebieten (Pecher, 2001 in DWA-M 182, 2012).....	21
Abbildung 11: Mittlerer monatlicher Fremdwasserzuschlag von 34 Kläranlagen in Baden-Württemberg (Brombach, 2004 in DWA-M 182, 2012).....	22
Abbildung 12: Spanne der monatlichen Fremdwasserabflüsse am Beispiel eines Kanaleinzugsgebietes (Emschergenossenschaft, 2009 in DWA-M 182, 2012)	23
Abbildung 13: Grundwasserflurabstand im Vergleich mit den Fremdwasserabflüssen (Emschergenossenschaft, 2009 in DWA-M 182, 2012)	24
Abbildung 14: Fremdwassereintritt über die Schachtabdeckung (Scaria, 2002)	25
Abbildung 15: Einfluss von Niederschlagsereignissen auf das grund- und niederschlagbedingte Fremdwasser in einer Mittelgebirgsregion (Hennerkes, 2006)	27
Abbildung 16: Jährliche Entlastungsdauer der Niederschlagswasserbehandlungsanlagen im Einzugsgebiet einer fremdwasserbelasteten Kläranlage (Jardin, 2007).....	30
Abbildung 17: Wirkungsgrad der Stickstoffelimination nordrhein-westfälischer Kläranlagen > 10.000 EW aus den Jahren 2004 bis 2005 (MUNLV Nordrhein-Westfalen in DWA-M 182, 2012).....	32

Abbildung 18: Vorgehensweise zur gezielten Fremdwasserreduzierung (DWA-M 182, 2012)	37
Abbildung 19: Beispiel für die Auswertung einer Trockenwetterganglinie (Warnecke, 1996 in Scaria, 2002)	50
Abbildung 20: Ganglinien der mittleren Tagesflüsse und der resultierenden täglichen Fremdwasserzuschläge von zwei Kläranlagen, links mit hoher, rechts mit geringer Fremdwasserbelastung (Brombach, 2004 in DWA-M 182, 2012)	52
Abbildung 21: Beispiel für die Anwendung der Dreiecksmethode (Warnecke, 1996 in Scaria, 2002)	55
Abbildung 22: Ergebnisvergleich der verschiedenen Auswertemethoden für elf beispielhafte Einzugsgebiete und einem Auswertezeitraum von jeweils acht Jahren (Pecher, 2009 in DWA-M 182, 2012)	58
Abbildung 23: Abflussganglinie in einem Schmutzwasserkanal während eines Starkregenereignisses und Vergleich mit der typischen Trockenwetterganglinie (Pecher, 1998 in DWA-M 182, 2012)	60
Abbildung 24: Beispielhafte Korrelation zwischen Niederschlagshöhe und Niederschlagsabflussvolumen in einem Schmutzwasserkanal (Pecher, 1998 in DWA-M 182, 2012)	61
Abbildung 25: Gemessener Abfluss in einem Schmutzwasserkanalnetz ohne nennenswerte Anschlüsse von befestigten Flächen und Gegenüberstellung mit den beobachteten Niederschlägen im Einzugsgebiet (Pecher & Kahrs, 2008 in DWA-M 182, 2012)	63
Abbildung 26: Prinzip des verwendeten hydrologischen Fremdwassermodells (Pecher, 2005 in DWA-M 182, 2012)	64
Abbildung 27: Beispiel eines Einzugsgebietes mit Grundwasserzustrom zum Kanalnetz (DWA-M 182, 2012)	66
Abbildung 28: Beispiel eines Ergebnisses einer Kamerabefahrung (eigene Untersuchungen Gemeinde Stattegg, 2009)	69
Abbildung 29: Rauchaustritt bei Flächeneinläufen (Scaria, 2002)	71
Abbildung 30: Rauchaustritt bei Dacheinläufen (Scaria, 2002)	71
Abbildung 31: Rauchaustritt bei Hausdränage (Scaria, 2002)	72
Abbildung 32: Beweis eines Fehlanschlusses eines Einlaufes durch eine Farbtraceruntersuchung (Scaria, 2002)	72
Abbildung 33: Beispiel der Installation einer DTS-Messung in einem Abwasserkanal (DWA-M 182, 2012)	73
Abbildung 34: Mobilisierung von Altlasten infolge eines Grundwasseranstieges (DWA-M 182, 2012)	77
Abbildung 35: Zukünftige Ansätze für die Siedlungsentwässerung (DWA-M 182, 2012)	79
Abbildung 36: Trockenwetterabfluss (Kraner, 2014)	80
Abbildung 37: Regenwetterabfluss (Kraner, 2014)	81

Abbildung 38: Überlagerte Abflussmessungen in einzelnen Kanalabschnitten im Vergleich zum Niederschlag (Kraner, 2014)	82
Abbildung 39: Übergabeschacht Stattegg	83
Abbildung 40: Venturigerinne an der Übergabestelle	84
Abbildung 41: Baujahre des Schmutzwasserkanalnetzes von Stattegg	85
Abbildung 42: Abfluss 2010	86
Abbildung 43: Abfluss 2011	87
Abbildung 44: Abfluss 2012	87
Abbildung 45: Abfluss 2013	88
Abbildung 46: Trockenwetterauswertung 1. Quartal 2010 – 2013	91
Abbildung 47: Trockenwetterauswertung 2. Quartal 2010 – 2013	91
Abbildung 48: Trockenwetterauswertung 3. Quartal 2010 – 2013	92
Abbildung 49: Trockenwetterauswertung 4. Quartal 2010 – 2013	92
Abbildung 50: Trockenwetterabfluss 27.03.2011 bis 03.04.2011	95
Abbildung 51: Regenwetterabfluss 29.07.2012 bis 02.08.2012	96
Abbildung 52: Trockenwetterabfluss 29.11.2011	96
Abbildung 53: Regenwetterabfluss 11.12.2011	97
Abbildung 54: Anordnung der Pumpwerke	98
Abbildung 55: Pumpwerke Krail, Steingraben, Kalkleiten und Hohenberg	99
Abbildung 56: Anschlussfehler (eigene Untersuchungen Gemeinde Stattegg, 2009).....	103
Abbildung 57: Radial verschobene Verbindung (eigene Untersuchungen Gemeinde Stattegg, 2009).....	104
Abbildung 58: In Längsrichtung verschobene Verbindung (eigene Untersuchungen Gemeinde Stattegg, 2009).....	104
Abbildung 59: Wurzeleinwuchs (eigene Untersuchungen Gemeinde Stattegg, 2009).....	105
Abbildung 60: Risslinien (eigene Untersuchungen Gemeinde Stattegg, 2009)	105
Abbildung 61: Rohrbruch (eigene Untersuchungen Gemeinde Stattegg, 2009)	106
Abbildung 62: Verfärbter, trüber Wasserspiegel (eigene Untersuchungen Gemeinde Stattegg, 2010).....	106
Abbildung 63: Messprogramm mit 10 vorgeschlagenen Messpunkten.....	109
Abbildung 64: Vergleich Abfluss	111
Abbildung 65: Vergleich Abwassereinleitungskosten.....	111
Abbildung 66: Vergleich Abfluss unter Berücksichtigung einer Fremdwasserabflussspende von 1 l/(s·1000 E)	112
Abbildung 67: Vergleich der Ableitungskosten unter Berücksichtigung einer Fremdwasserabflussspende von 1 l/(s·1000 E)	113

Literaturverzeichnis

- 1. AEV für kommunales Abwasser, 1996.** *Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus Abwasserreinigungsanlagen für Siedlungsgebiete..* 1996.
- Barkowski, D. et al. 1993.** *Altlasten - Handbuch zur Ermittlung und Abwehr von Gefahren durch kontaminierte Standorte.* Karlsruhe : Verlag Müller, 1993.
- BAY, LfU. 2009.** *Eigene Ermittlungen des Bayerischen Landesamtes für Umwelt.* 2009.
- Berger, C. und Falk, C. 2011.** *Zusatand der Kanalisation, Ergebnisse der DWA Umfrage 2009.* s.l. : KA - Korrespondenz Abwasser, 2011.
- Borchhardt, D. 2000.** *Bewertung von Regen- und Mischwassereinleitungen in Gewässer .* Kassel : ATV-Fortbildungskurs "Entwässerungskonzepte", 2000.
- Brombach, H. 2004.** *Auswirkungen von Fremdwasser und Hinweise zum Erkennen kritischer Fremdwasserverhältnisse.* Bochum : Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft "Niederschlagsbehandlung", 2004.
- Cezdura, K. A. 1992.** *Deponie und Altlasten - Sickerwasser- und Grundwassersanierung .* Berlin : Verlag EF für Energie und Umwelttechnik, 1992.
- County, King. 2009.** *Regional infiltration and inflow control program.* Washington, USA : Pilot Project Report. King County Department of Natural Ressources and Parks , 2009.
- DIN, 4045. August 2003.** *Abwassertechnik - Grundbegriffe.* s.l. : Beuth-Verlag, August 2003.
- DWA. 2005.** *Konzepte und Maßnahmen zur Lösung von Fremdwasserproblemen.* s.l. : 3. Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe ES-1.3., 2005.
- DWA-A118. Entwurf 2006.** *Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen.* März 200
- DWA, DWA- Regelwerk 181: Merkblatt. 2011.** *Messung von Widerstand und Durchfluss in Entwässerungssystemen.* 2011.
- DWA-Regelwerk: Merkblatt DWA, 182. 2012.** *Fremdwasser in Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden.* 2012.
- Emschnergenossenschaft. 2009.** *Eigene Auswertungen.* 2009.
- ES-1.3, ATV - DWK - Arbeitsgruppe. 2003.** *"Fremdwasser" - Fremdwassersituation in Deutschland.* s.l. : KA - Korrespondenz Abwasser, 2003.
- Fischer, M. 1990.** *Fremdwasser im Kanal - jetzt noch teurer.* s.l. : KA - Korrespondenz Abwasser, 1990.

Frechen, F. B. und Köster, W. 2003. *Geruch - Messung, Bewertung und Abhilfe* . Kassel : ATV-DVWK-Seminar 1018 "Fremdwasser im Kanal / Geruchsbelästigung , 2003.

Fuchs, S., et al. 2003. *Fremdwasserprobleme erkennen - methodische Ansätze* . s.l. : KA - Korrespondenz Abwasser, 2003.

Getta, M, Holte, A. und Pecher, K.H. 2004. *Lösungsansätze zur Vermeidung von Nachteilen bei der Abdichtung von Kanalnetzen* . s.l. : KA - Korrespondenz Abwasser, 2004.

Hennerkes, Jörg Anre. 2006. *Reduzierung von Fremdwasser bei der Abwasserentsorgung* . Aachen : Dissertation. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 2006.

<http://environment-consult.de>. [Online]

Jardin, N. 2007. *Herkunft eines erhöhten Fremdwasseranfalles und Auswirkungen* . s.l. : Becker Druck Arnsberg, 2007. ISBN 978-3-930264-60-5.

Kainz Harald, et al. 2010. *Siedlungswasserbau und Abfallwirtschaft* . Wien : Manz Verlag, 2010. ISBN 978-3-7068-3992-1.

Kauch, P. 1996. *Was macht das Fremdwasser in der Kanalisation?* Graz : Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, 1996.

Klass, M. 1985. *Fremdwasser auf Kläranlagen, Abwasser im Untergrund*. s.l. : KA - Korrespondenz Abwasser, 1985.

Kraner, H. 2014. *Erfahrungen bei der Inspektion und Sanierung von Hauskanälen*. s.l. : ÖWAV - Informationsveranstaltung, 2014.

Krois, H. und Prendl, L. 1996. *Einfluss von Fremdwasser auf Abwasserreinigungsanlagen* . Stuttgart : Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, 1996.

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser LAWA (1998). *Leitlinien zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen*. Bayrisches Staatsministerium, München, 6. Auflage, 1998

LfU BW. 2001. *Regenwasserbehandlung und Kläranlagen - Leistungsreserven erkennen und nutzen*. Karlsruhe : Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Reihe Siedlungswasserwirtschaft, Heft 16, 2001

LfU BW. 2007. *Fremdwasser in kommunalen Kläranlagen - erkennen, bewerten und vermeiden*. Baden-Württemberg : Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, 2007. ISBN 978-3-88251-320-2.

Michelska, A. und Pecher, K.H. 2000. *Betriebliche und kostenmäßige Auswirkungen des Fremdwassers auf die Abwasseranlagen* . Aachen : s.n., 2000.

- MUNLV, NRW. 2010.** *Arbeitshilfe Fremdwassersanierungskonzept* . Düsseldorf : Ministerium für Umwelt, Raumordnung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-westfalen, 2010.
- MUNLV NRW. 2003.** *Retentionsbodenfilter, Handbuch für Planung, Bau und Betrieb*. Düsseldorf : Ministerium für Umwelt, Raumordnung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2003. ISBN 3-9808617-1-6.
- ÖNORM, B2500. 2008.** *Abwassertechnik; Entstehung und Entsorgung von Abwasser*. 2008.
- ÖNORM EN 752. 2008** *Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, 2008*.
- Pecher, K.H. et al. 2013.** *Exakte Lokalisierung von Einleitungen in Entwässerungssysteme mittels verteilter Temperaturmessungen (DTS)* . s.l. : KA - Korrespondenz Abwasser, 2013
- Pecher, K. H. 2009.** *Eigene Auswertungen*. 2009.
- Pecher, K. H. 2005.** *Erfahrungen bei der Umsetzung der Fremdwassersanierung* . Aachen : Schriftenreihe Gewässerschutz - Wasser - Abwasser, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen , 2005.
- Pecher, K. H. 2001.** *Methodik und Ergebnisse einer Analyse des Fremdwasseranfalles* . s.l. : Tagungsband, 2. Saarländische Abwasser- und Abfalltage, 2001.
- Pecher, K.H. und Kahrs, D. 2008.** *Vorschlag für eine Methode zur objektiven Beurteilung der Fremdwassersituation eines Einzugsgebietes* . s.l. : KA - Korrespondenz Abwasser, 2008.
- Pecher, R. 1998.** *Fremdwasseranfall im Kanalnetz - Ein wirtschaftliches Problem?* s.l. : KA - Korrespondenz Abwasser, 1998.
- Pfeiff, S.H. 1989.** *Das Problem Fremdwasser*. s.l. : KA - Korrespondenz Abwasser, 1989.
- Rechel, F. und Getta, M. 2000.** *Hydraulischer Einfluss des Kanalisationssystems auf die Grundwasserverhältnisse im Stadtgebiet* . Aachen : 32. Essener Tagung , 2000.
- Reichel, F. und Getta, M. 2008.** *Grundwassermodelle als Werkzeug zur Fremdwassersanierung* . s.l. : Korrespondenz Wasserwirtschaft, 2008.
- Renner, Helmut. 1979.** *Kleine Kläranlagen*. Graz : Institut für Siedlungswasserwirtschaft, TU Graz, 1979.
- Ruhrverband. 2009.** *Eigene Auswertungen*. 2009.
- Scaria, Thomas. 2002.** *Quantifizierung der Fremdwasseranteile in einem Überlasteten Schmutzwasserkanal*. Graz : Diplomarbeit - TU Graz, 2002.
- Sitzmann, D. 33.** *Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft in Essen . Erfahrungen mit Fremdwassermessungen*. Aachen : Gesellschaft zur Förderung der

Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen, 33. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft in Essen .

Stein, D. 1998. *Instandhaltung von Kanalisationen* . Berlin : Ernst & Sohn Verlag, 1998.

Warnecke, M. 1996. *Fremdwasser - Ein unbekanntes Wesen. Das Problem Fremdwasser und die Ermittlung der Fremdwassermenge* . Graz : Diplomarbeit am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau an der TU Graz, 1996.

Willi, Gujer. 2007. *Siedlungswasserwirtschaft*. Berlin : Springer Verlag, 2007. ISBN-13 978-3-540-34329-5.