

# **Möglichkeiten der Fremdwasserbestimmung**

Holger Uibrig, Christian Karpf, Mandy Rutsch und Peter Krebs

Institut für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft, TU Dresden

## **1 Einleitung**

Fremdwasser in Kanalisationen und Kläranlagen ist schon seit ca. 100 Jahren Thema in der Siedlungsentwässerung. Bereits um 1900 wurden erste Untersuchungen zur Verminderung des Zutritts von unverschmutztem Grund- und Oberflächenwasser in Kanalisationen durchgeführt. Dies ist auch die Zeit, in der viele große Schwemm- und damit Mischkanalisationen entstanden. Zu Kapazitätsproblemen kam es durch den Zufluss von Fremdwasser jedoch selten, da die Dimensionierung der Kanäle sehr großzügig war. Große Mengen von Fremdwasser erwiesen sich jedoch durch die fortschreitende Entwicklung bei der Abwasserbehandlung als unvorteilhaft, da sie mehr und mehr Kosten verursachte.

Eine Verminderung unerwünschter Zutritte von Fremdwasser ist nur nach einer genauen Analyse der Zutrittsquellen effektiv durchführbar. Zu diesem Zweck wurden Methoden entwickelt, die in Abhängigkeit von der Charakteristik des Entwässerungsgebietes, den verfügbaren Daten und der konkreten Zielstellung differenzierte Aussagen in punkto Fremdwasser ermöglichen.

## **2 Fremdwasser in Entwässerungssystemen**

### **2.1 Definitionen und Begriffe**

#### *Definition*

Nach Definition der ATV (2001) wird Fremdwasser als das in Abwasseranlagen abfließende Wasser bezeichnet, welches weder durch häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch in seinen Eigenschaften verändert noch bei Niederschlägen von bebauten

oder befestigten Flächen gezielt gesammelt und eingeleitet wurde. Ferner erfordert Fremdwasser aufgrund seiner Qualität keine Abwasserbehandlung, sondern erschwert diese durch hydraulische Höherbelastung der Abwasseranlagen unnötig und ist somit unter dem Aspekt des Gewässerschutzes unerwünscht.

Die Definition stützt sich dabei im wesentlichen auf die europäische Norm DIN- EN 752, die neben der EN 1085, der DIN 4045 und dem ATV Arbeitsblatt A118 (1999), die breiteste Interpretation des Fremdwasserbegriffes zulässt.

Diese Definition lässt darauf schließen, dass Niederschlagswasser nicht zum Fremdwasser

### *Begriffe*

Der Fremdwasseranfall wird in der Literatur und in der Praxis oft in unterschiedlicher Weise dargestellt. R.PECHER (1998) gibt für die sehr häufig gebrauchten Begriffe **Fremdwasseranteil** (FWA) und **Fremdwasserzuschlag** (FWZ) folgende Definitionen:

$$FWA = \frac{\text{Fremdwasserzufluss}}{\text{Trockenwetterabfluss}} \cdot 100 \% \quad (1)$$

$$FWZ = \frac{\text{Fremdwasserzufluss}}{\text{Schmutzwasserabfluss}} \cdot 100 \% \quad (2)$$

(*Trockenwetterzufluss = Fremdwasserzufluss + Schmutzwasserabfluss*)

Daraus folgt, dass der Fremdwasseranteil max. 100% betragen kann, der Fremdwasserzuschlag hingegen durchaus weit über 100%.

Für die Auswertung von Fremdwassermengen wird der Gebrauch des Fremdwasserzuschlags empfohlen, da er mit dem Fremdwasserzufluss im Gegensatz zum Fremdwasseranteil proportional ansteigt.

Für die Darstellung des absoluten Fremdwasseranfalls wird die Angabe der **Fremdwasserspende** genutzt. Diese kann auf verschiedene Eigenschaften des Einzugsgebietes, wie z.B. Fläche, Kanallänge oder Einwohnerzahl bezogen sein.

## 2.2 Herkunft von Fremdwasser

Tabelle 1 soll in Anlehnung an KAUCH (1996) und PECHER (1998) einen Überblick über die wesentlichen Herkunftsquellen des Fremdwassers geben. Die in der Tabelle dargestellten Vorkommen können als allgemeingültig betrachtet werden. Welche Zuflüsse im Einzelfall als Fremdwasser bezeichnet werden, legen im Regelfall unter Einbeziehung ökonomischer und ökologischer Aspekte die Anlagenbetreiber und die Wasserbehörden fest.

Tabelle 1: Wesentliche Fremdwasserquellen

Art	Herkunftsquellen	Charakteristik
Fremdwasser aus Grund- und Sickerwasser	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Drainagen</li> <li>- undichte Kanäle und Bauwerke</li> <li>- undichte Hausanschlussleitungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- eventuell erhöhte Nitratgehalte (durch landwirtschaftliche Düngung)</li> </ul>
Fremdwasser aus Bächen und Gräben	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einleitung von Oberflächengewässern (Quellen, Bäche, Brunnenüberläufe)</li> <li>- durch Hochwasser (Strömungsumkehr in Entlastungskanälen, Zulauf über Lüftungsöffnungen)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kurzzeitiges Auftreten von Spitzenabflüssen</li> <li>- Eintrag mineralischer Feststoffe größerer Korndurchmesser möglich</li> </ul>
Fremdwasser aus Niederschlagswasser bei Schmutzwasserkanälen im Trennsystem	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fehlanlüsse der Regenentwässerung</li> <li>- Regenzulauf über Lüftungsöffnungen der Kanäle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kurzzeitige Auftreten von Spitzenabflüssen</li> <li>- Eintrag von Feststoffen möglich</li> </ul>

Eine der hauptsächlichen Ursachen für den Eintritt von Fremdwasser sind undichte Kanäle. Dabei können Kanalschäden sehr vielfältig sein. Nach LÜTZNER (1996) sind die wichtigsten fremdwasserrelevanten Schäden an Kanälen:

- Schäden an Seitenzuläufen (z.B. Hau
- Lageabweichungen
- Risse
- Schäden an Rohrverbindungen
- Korrosion.

Die meisten Schäden entstehen durch unsachgemäße Ausführung beim Bau. Besonders beim Anschluss von Grundstücksentwässerungen wurden in der Vergangenheit und werden noch heute – große Fehler gemacht.

### **2.3 Zeitliche und örtliche Varianz**

Der Anteil von Fremdwasser in Kanälen ist nicht konstant. In Göttingen konnte eine Schwankung der täglichen Fremdwasserspense in Abhängigkeit von Niederschlagsereignissen festgestellt werden. Saisonal ist der Zusammenhang mit dem Leinepegel und damit zum Grundwasserstand nachgewiesen worden (EISENER, 2002). In Dresden ergaben Untersuchungen ebenfalls eine Abhängigkeit des Fremdwasseraufkommens vom Elb- und damit Grundwasserpegel (ZIMMERMANN, 1997).

Grundsätzlich ist im mitteleuropäischen Raum ein erhöhter Fremdwasseranteil im Frühjahr zu erwarten. Im Winterhalbjahr sind im Allgemeinen größere Zuflüsse zu erwarten als im Sommer. Auswertungen von Messungen aus trockenen und nassen Jahren ergaben ebenfalls starke Schwankungen der jährlichen Fremdwasserspense (R. PECHER, 1998).

Die räumliche Varianz des Fremdwasseraufkommens hängt von vielfältigen Faktoren ab. Neben dem bereits beschriebenen Zusammenhang mit Niederschlagsmengen sind beispielsweise Bodenverhältnisse, Morphologie und geohydrologische Besonderheiten maßgebend. Ein Zusammenhang zwischen Größe der Abwasseranlagen und Fremdwasseraufkommen konnte nicht bestätigt werden (ATV, 2001).

#### *Größenordnungen*

Folgende Werte sollen einen Eindruck der Größenordnung von Fremdwasser in Kanalisationen vermitteln:

- Das mittlere Fremdwasseraufkommen in Deutschland wird auf ca.  $2,3\text{l}/(\text{s}\cdot\text{km})$  geschätzt (MICHALSKA et al., 2000). In den USA liegt der Anfall, allerdings bei Trennsystemen im Schmutzwasserkanal, bei ca.  $1\text{l}/(\text{s}\cdot\text{km})$  (DECKER, 1998).
- Nach einer Umfrage der ATV beträgt der Fremdwasseranteil in Deutschland bis 90%. 90% der Kläranlagen ermittelten einen Fremdwasseranteil von unter 50%, 50% der Anlagen erreichen nach eigenen Angaben Fremdwasseranteile unter 25% (ATV, 2001).
- In Baden-Württemberg liegt der Fremdwasseranteil zwischen 32,8% und 77,1%, im Mittel bei 53,9% (MICHALSKA et al., 2000).

## Möglichkeiten der Fremdwasserbestimmung

- Die Betreiber des Göttinger Trennsystems hatten in den 90er Jahren einen Fremdwasserzuschlag von 400 - 500% (Spitzenwerte bis zu 1000%) (JÜTTING, 2000).
- In Bayern lag 1990 der mittlere Fremdwasseranteil bei der Hälfte aller Kläranlagen über 24% (MICHALSKA et al., 2000).

### 2.4 Kosten

Die Kosten, die durch Fremdwasser verursacht werden, setzen sich hauptsächlich aus größerer Kanaldimensionen sowie aus höheren Aufwendungen bei der Abwasserbehandlung zusammen. Des Weiteren kann die Abwasserabgabe, die in einigen Bundesländern in Abhängigkeit vom Fremdwasseranteil erhoben wird, maßgeblich inen Überblick über die Auswirkungen von Fremdwasser auf die Kosten der Bauwerke in der Siedlungswasserwirtschaft gibt Tabelle 2.

Tabelle 2: Einfluss des Fremdwassers auf die Investitions- und Betriebskosten der Ortsentwässerung nach MICHALSKA et al. (2000)

	Investitionskosten		Betriebskosten	
<b>Kanalnetz</b>				
• Schmutzwasserkanal	+	größerer Kanalquerschnitt bei FWZ >100% erforderlich i.d.R. keine Auswirkungen i.d.R. keine Auswirkungen, außer bei starker Drosselung des Mischwasserabflusses	-	Bessere Spülwirkung, bes. in den Anfangshaltungen
• Regenwasserkanal				i.d.R. keine Auswirkungen
• Mischwasserkanal			-	bessere Spülwirkung, bes. bei hohen Fremdwasserabflüssen
<b>Pumpwerke</b>				
• Schmutzwasserpumpwerk	+	größere Förderleistung bei FWZ >100% erforderlich Bei im Vergleich zum Regenabfluss kleinen Fremdwasserzuflüssen während der Trockenwetterzeiten (z.B. Drainageabflüssen) sind eine oder mehrere kleine Fremdwasserpumpen für den Dauerbetrieb vorzusehen.	++	Betriebskosten steigen linear zum FWZ
• Regenwasserpumpwerk	(+)		++	Betriebskosten steigen bes. bei dauerhaften Fremdwasserzuflüssen stark an
• Gedrosseltes (z.B. auf $2 \cdot Q_{sx} + Q_{f24}$ ) Mischwasserpumpwerk	++	erforderliche Förderleistung des Pumpwerkes steigt linear zum FWZ	++	Betriebskosten steigen mit Fremdwasserzufluss stark an
• Ungedrosseltes Mischwasserpumpwerk	+		größere Förderleistung der Trockenwetterpumpen erforderlich	++

<b>Regenwasser- behandlungsanlagen</b> •Regenrückhaltebecken  •Regenüberlaufbecken/ Stauraumkanäle	++	keine Ausweisung bei entsprechender Erhöhung des Drosselabflusses erforderliches Beckenvolumen steigt auch bei Berücksichtigung des Fremdwasserabflusses im Drosselabfluss annähernd linear mit dem FWZ an		i.d.R. keine Auswirkung bei entsprechender Erhöhung des Drosselabflusses i.d.R. keine Auswirkung bei entsprechender Erhöhung des Drosselabflusses
<b>Abwasserreinigungs- anlagen</b> •hydraulischer Teil  •stofflicher Teil	++  --  ++	hydraulisch angelegte Anlagenteile müssen linear zum FWZ vergrößert werden  kleinere Behandlungsvolumina erforderlich bei konzentrationsbezogenen Ablaufanforderungen höhere Behandlungsvolumina erforderlich bei frachtbezogenen Ablaufanforderungen	++  --  ++	Betriebskosten der hydraulisch ausgelegten Anlagenteile (z.B. Pumpwerke) steigen mit Fremdwasserzufluss stark an geringere Betriebskosten (z.B. durch Belüftung bei konzentrationsbezogenen Ablaufanforderungen höhere Betriebskosten bei frachtbezogenen Ablaufanforderungen aufgrund des schlechteren Anlagenwirkungsgrades bei starker Verdünnung durch Fremdwasser
<b>Abwasserabgabe</b>			++	Die Abwasserabgabe steigt mit zunehmendem Fremdwasserabfluss stark an, da das behandelte Abwasservolumen zur Berechnung der Abwasserabgabe herangezogen wird. Teilweise (z.B. in Bayern) erfolgt bei hohen FWA auch eine überproportionale Anhebung der fälligen Abwasserabgabe.

Erklärungen:

FWZ = Fremdwasserzuschlag    ++ starker Kostenanstieg    - leichte Kostensenkung  
 FWA = Fremdwasseranteil    + leichter Kostenanstieg    -- starke Kostensenkung

## 2.5 Umgang mit Fremdwasser

Grundsätzlich sollte der Fremdwasseranfall minimiert werden. Fremdwasser kann an einzelnen Stellen im Kanalnetz eine positive Spülwirkung haben und damit Verstopfungen und durchzuführenden Reinigungen vorbeugen, dies ist jedoch im Allgemeinen die Ausnahme. Ebenfalls haben defekte Kanalisationen eine Drainagewirkung, die an einigen Orten durchaus erwünscht sein kann, um den Grundwasserstand zu senken und damit dem Wasser zu schützen. Von Seiten des Gesetzgebers ist jedoch eine stärkere Reglementierung zu erwarten. So wird in der Abwasserverordnung, die als Nachfolgeregelung der Rahmen-Abwasserverwaltungs vorschrift (AbwVwV) gesehen werden kann, und im AbwAG, die Verdünnung von Schmutzwasser durch Vermischung mit

Fremdwasser zur Erreichung von Konzentrationsgrenzwerten im Kläranlagenüberlauf untersagt (DECKER,1998). Der Übergang von den allgemein anerkannten Regeln der Technik (a.a.R.d.T.) zur Anwendung des Standes der Technik (S.d.T.) stellt eine Verschärfung der Anforderungen dar und unterstreicht den allgemeinen Trend zur Fremdwasserminimierung. Besonders für den Betrieb von Abwasserreinigungsanlagen gewinnt die grundsätzliche Forderung nach einer „Schadstofffrachtbegrenzung statt Konzentrationsminderung“ im WHG immer mehr an Bedeutung (MOCK et al.,1994).

Eine vollständige Ausbindung von Fremdwasser kann allerdings mit sinnvollem Aufwand nicht erreicht werden. SITZMANN et al. (2000) gehen davon aus, dass ein „Grundaufkommen“ bis  $0,11/(s \cdot ha)$  normal ist. Liegt der Fremdwasseranfall höher, so sind quantitative und qualitative Untersuchungen in Teileinzugsgebieten sinnvoll. Werden Fremdwasserspenden von  $0,15 \text{ l}/(s \cdot ha)$  überschritten, so besteht nach ATV A128 (1992) Sanierungsbedarf. Nach dem ATV Arbeitsblatt A131 (2000) sollten ab  $0,18 \text{ l}/(s \cdot ha)$  konkrete Maßnahmen erfolgen. Ein Abwägen der Interessen der letztlich finanzierenden Gebührendzahler und ökologischer Aspekte ist dabei unerlässlich.

### **3 Bestimmung des Fremdwasseranfalls**

Zur Ermittlung des Fremdwassers in Kanalisationen sind im Laufe der Zeit mehrere Methoden entwickelt worden, die je nach Einzugsgebietscharakteristik mehr oder minder gut geeignet sind. Grundlage dafür sind umfangreiche Messungen, die in den verschiedenen Teileinzugsgebieten so detailliert wie möglich durchgeführt werden sollten. Als Basis für eine Fremdwasserbestimmung für das gesamte Einzugsgebiet der Kläranlage kann der meist routinemäßig erstellte Tagesgang im Zulauf der Kläranlage dienen. Dabei kann jedoch keine Aussage über die Herkunft des Fremdwassers im Entwässerungssystem getroffen werden. Durch die Ausbindung kleiner Fließgewässer, die historisch bedingt – noch in viele Mischsysteme geleitet werden, kann nicht in jedem Fall ein prägnanter Rückgang der Fremdwassermengen erreicht werden. In jedem Fall ist eine Kosten – Nutzen – Analyse durchzuführen, die eine Quantifizierung des Fremdwassers und des Reduzierungspotenzials einer Maßnahme unumgänglich macht. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Möglichkeiten, wie Fremdwasser quantifiziert werden kann.

Tabelle 3: Übersicht über die Methoden der Fremdwasseranalyse

<b>quantitative Methoden</b>	statistisch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bilanzierung anhand Daten zur Trinkwasserproduktion und zum Abwasseranfall                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Jahresbilanz Trinkwasserversorgung/ Abwasseranfall</li> </ul> </li> <li>• Bilanzierung anhand Daten zum Trinkwasserverbrauch, Schmutz- und Abwasseranfall                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nachtminimummethode</li> <li>- Tagesmittelmethode</li> <li>- Jahresschmutzwasseranfall</li> <li>- Dreiecksmethode</li> <li>- Methode des gleitenden Minimums</li> </ul> </li> </ul>
	chemisch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ermittlung anhand abwasserspezifischer Konzentrationen, Methode nach HAGER et al. (1985)</li> </ul>
	modell-technisch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modellierung anhand von Niederschlagsereignissen</li> </ul>
<b>qualitative Methoden</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aussagen mit Hilfe visueller Verfahren                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Visuelle Inspektionen</li> <li>- TV- Befahrung</li> <li>- Benebelung</li> </ul> </li> <li>• Aussagen anhand von Datenbanken, Gutachten, usw.                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Auswertung von Pegel-, Grundwasserständen und Regenschreiberdaten in Verbindung mit Abflussganglinien</li> <li>- Gutachten zu Gewässereinleitungen</li> </ul> </li> </ul>

### **3.1 Quantitative Methoden**

#### *3.1.1 Statistische Methoden*

Die nachfolgend beschriebenen Methoden beziehen sich auf Mischsysteme. Damit wird das Regenwasser nicht als Fremdwasser betrachtet. Der Einsatz der Methoden im Trennsystem ist grundsätzlich auch möglich, jedoch ist zusätzlich die Quantifizierung der Fremdwasserzuflüsse im Schmutzwasserkanal durchzuführen.

#### 1. Jahresbilanz Trinkwasserverbrauch/ Abwasseranfall

In einer Veröffentlichung des Schweizer BUNDESAMTES FÜR UMWELTSCHUTZ (1984) wird eine Bilanzierung des Gesamtsystems Wasserversorgung/Abwasseranfall nach folgenden Gleichungen vorgenommen:



ete des Netzes vorliegen, was eine bessere Auflösung bei der Quantifizierung von Fremdwasserzutritten ermöglicht. Eventuell sind auch parallele Messungen im Versorgungs- und Entwässerungsnetz möglich.

Für korrekte Ergebnisse ist die Übereinstimmung von Trinkwasserversorgungs- und Entwässerungsgebiet elementar. Andernfalls müssen die Systemgrenzen angepasst und entsprechende Eingangsdaten ermittelt werden.

Aufgrund der Unsicherheiten der Ausgangsdaten, wie Nutzungsverluste, Verluste im Abwassernetz usw. erscheint diese Methode zur genauen Bestimmung weniger geeignet. Dennoch kann bei Vorliegen entsprechender Daten eine Grobabschätzung des Fremdwasseranfalls erfolgen. Es ist möglich, ohne die Verbrauchsdaten der Einzelabnehmer, Aussagen zum Fremdwasseraufkommen zu treffen.

## 2. Nachtminimummethode

Während der Nachtstunden ist der Schmutzwasserabfluss in der Kanalisation am geringsten. Dieser Minimalabfluss kann nach FISCHER (1990) über spezifische Werte in Abhängigkeit von der Größe des Einzugsgebietes abgeschätzt werden (Tabelle 4).

Tabelle 4: Spezifischer nächtlicher Schmutzwasserabfluss  $q_{s,min}$  in Abhängigkeit von der Einzugsgebietsgröße nach FISCHER (1990)

Einzugsgebiet (EZG)	$q_{s,min}$ [l/(s 1000 E)]
Gleichförmiges Kanalnetz bis 5000 Einwohner ohne Einrichtungen, die zu deutlichen Verlängerungen der tatsächlichen Fließzeiten bei Trockenwetter führen:	0,3
Kanalnetze von 5000 bis 100 000 Einwohner:	0,5
Bei großen Netzen mit mehr als 100 000 Einwohnern oder bei engen mit tatsächlichen Fließzeiten von mehr als 10 h :	1,0

Die Messung der Nachtabflüsse sollte, um industrielle Einleitungen aus trockenen Wochenendtagen, d.h. Sonntag- oder Montagnacht zwischen 2 und 4 Uhr erfolgen (HAGER et al., 1985). Ist dennoch ein erhöhter Anteil gewerblicher bzw. industrieller Abwässer abzusehen, so muss dieser zusätzlich quantifiziert und zum Schmutzwasserabfluss addiert werden.

Mit den Gleichungen (5) und (6) kann der Fremdwasserabfluss ( $Q_f$ ) bestimmt werden.

$$Q_f = Q_{t,min} - Q_{s,min} \quad [l/s] \quad (5)$$

$$\text{mit } Q_{s,min} = q_{s,min} \cdot \frac{E}{1000} \quad (6)$$

$Q_f$ ... Fremdwasserabfluss

$Q_{t,min}$ ... minimaler Nachtabfluss an Trockenwettertagen

$Q_{s,min}$ ... minimaler Schmutzwasserabfluss

$q_{s,min}$ ... spezifischer minimaler Schmutzwasserabfluss

Der Fehler der Schätzwerte liegt bei  $\pm 10 - 20 \%$ . Eine Aussage zum Schwankungsbereich des Fremdwasseraufkommens ist nur bei kontinuierlichen Nachtmessungen möglich. Ferner ist zu beachten, dass es bei großen Einzugsgebieten, d.h. bei langen Fließzeiten sowie bei diskontinuierlich arbeitenden Pumpwerken, zur Überlagerung der Abflussganglinien von Teileinzugsgebieten kommt und so die Methode verfälschte Ergebnisse liefert.

### 3. Jahresschmutzwasseranfall

SCHMIDT (2000) gibt auf Grundlage des ATV-Merkblattes M 260 (2001) nachfolgende Gleichung zur Ermittlung der **Jahresfremdwassermenge** (JFM) mit Hilfe der **Jahresschmutzwassermenge** (JSM) an:

*Jahresfremdwassermenge = Jahresschmutzwassermenge*

- minus:*
- *Wasserbezug der Haushalte*
  - *Wasserbezug Gewerbe, Industrie aus dem öffentlichen Netz*
  - *Eigenförderung*
  - *Brauchwassernutzung*
- plus:*
- *Wasserverluste Haushalte (Gartenbewässerung)*
  - *Wasserverluste (Gewerbe, Industrie)*
  - *Direkteinleitungen*

(7)

Jahresschmutzwassermengen werden über den Abwasseranfall an Trockenwettertagen

Bei der Jahresfremdwassermenge handelt es sich allerdings um einen Durchschnittswert, der nur bedingte Rückschlüsse auf die Schwankungsbreite der Abflüsse zulässt (ATV, 2001).

### 4. Dreiecksmethode

Die Baden-Württembergische Landesanstalt für Umweltschutz hat in einer Studie (LFU, 2001) ein grafisches Verfahren vorgestellt, das für Mischsysteme neben einer mengenmäßigen Ermittlung von Fremdwasserzutritten auch einen Maximalwert für das Fremdwasseraufkommen liefert (siehe Abbildung 1).

Alle Tagesabflüsse einer Messstelle werden nach der Unterschreitungsdauer, d.h. nach der Anzahl der Tage, an denen der Abfluss unterschritten wird, geordnet und anschließend in einem Diagramm dargestellt. Der Schmutzwasseranteil, der z.B. durch Ermittlung des Trinkwasserbezugs bestimmt werden kann, wird als mittlerer Anfall gleichmäßig über den Bilanzierungszeitraum aufgetragen, d.h. es entsteht eine parallele Linie zur Abszisse. Messaussetzer können an der Unterschreitung der Schmutzwasserlinie erkannt werden. An dem Punkt der maximalen Anzahl an Trockenwettertagen, d.h. wo kein Niederschlag bzw. Nachlauf auftritt, befindet sich der maximale Fremdwasserabfluss. Von diesem Punkt wird

eine Gerade zum Endpunkt der Schmutzwasserlinie gezeichnet. Einer derartigen grafischen Lösung liegt die Vorstellung zugrunde, dass während der Zeiten mit verstärktem Regenabfluss erhöhte Wasserstände im Kanal einer Infiltration von Fremdwasser entgegen wirken.

Die Fläche zwischen Schmutzwasserlinie, der Linie der Tagesabflüsse und der erstellten Verbindungslinie repräsentiert den Fremdwasserabfluss. Durch Integration kann der Absolutwert des Fremdwasseraufkommens (z.B. in  $[m^3]$ ) bestimmt werden. Wird der ermittelte absolute Fremdwasserabfluss auf den Betrachtungszeitraum bezogen, so sind Angaben zum mittleren Fremdwasseraufkommen möglich (z.B. in  $[l/s]$  oder  $[m^3/d]$ ).

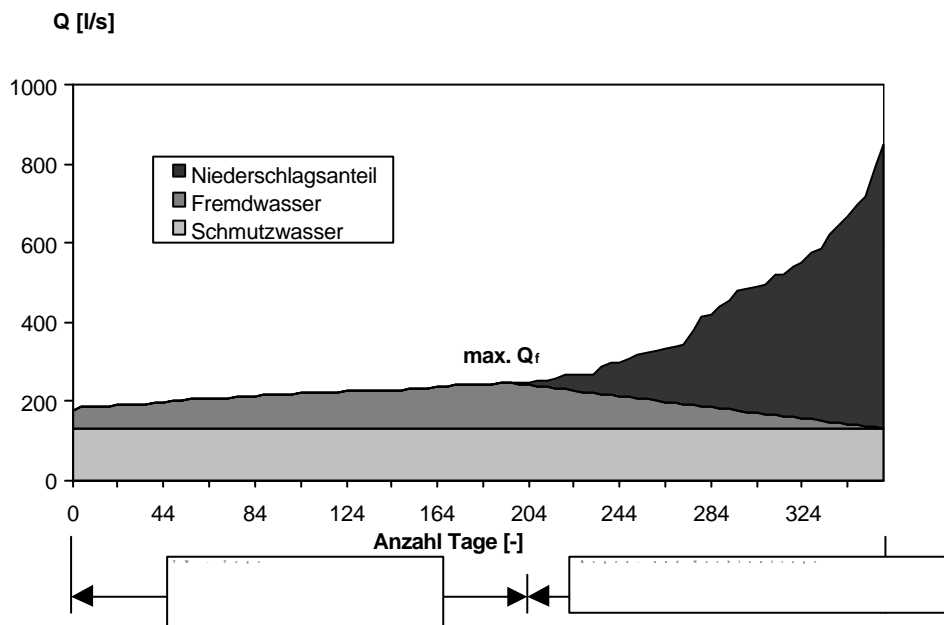


Abbildung 1: Grafische Umsetzung der Dreiecksmethode

Interessant an der Methode ist vor allem, dass sie einen Ansatz für Regen- und Nachlaufzeit beinhaltet. Je nach Sinn und Zweck der Analyse kann dies beispielsweise aus abwasserabgabenrechtlicher Sicht von Vorteil sein.

Gegenüber der Bestimmung des Fremdwasseranfalls mittels der Jahresschmutzwassermenge liefert die Dreiecksmethode nach Untersuchungen des LFU (2001) geringere Werte. Die Methode ermöglicht allerdings keine Aussagen zum jahreszeitlichen Verlauf des Fremdwasseranfalls.

rt (ATV, 2001). Dieser Zeitraum ist ggf. an die jeweilige Charakteristik des Entwässerungssystems anzupassen.

### 3.1.2 Chemische Methode

HAGER et al. (1985) beschreibt ein chemisches Verfahren mittels Konzentrationsmessungen und gibt nachfolgenden Ansatz zur Ermittlung des relativen Fremdwasseranfalls (FWA)

$$FWA = 1/m \cdot [1 - s \cdot (m - 1 + c)] = Q_f / Q_{t,m} \quad [-] \quad (8)$$

mit:

$$m = Q_{t,m} / Q_{t,\min} \quad m... \text{Verhältnis der mittleren und minimalen Abflüsse}$$

$$c = c_{t,\min} / c_{c,m} \quad c... \text{Verhältnis der minimalen und mittleren Konzentrationen}$$

$$s = \frac{c_{t,\min} \cdot Q_{t,\min}}{c_{t,m} \cdot Q_{t,m}} \quad s... \text{Verhältnis der minimalen und mittleren Frachten}$$

Geeignet sind Parameter, die im Fremdwasser nicht enthalten sind und im Schmutzwasser in gleichmäßiger Konzentration – sowohl tagsüber als auch in der Nacht der Messstelle zufließen. Das können z.B. CSB, TOC, NH<sub>4</sub>-N oder diverse Ionen wie z.B. Cl sein. Der gewählte Parameter sollte eine gute Korrelation mit der Abflussganglinie aufweisen. Erfahrungen bei der Fremdwasserermittlung für die Stadt Erlangen zufolge können Bestimmung des CSB gute Ergebnisse erzielt werden (POPP et al., 2002).

Der relative Fremdwasseranfall (FWA) kann für alle Trockenwettertage bestimmt werden. Durch Multiplikation mit dem Trockenwetterabfluss können absolute Fremdwasserabflüsse an Trockenwettertagen berechnet werden. Bei Anwendung der Methode über einen längeren Zeitraum sind somit Schwankungsbreiten der täglichen Fremdwasserabflüsse quantifizierbar. HAGER et al. (1985) kamen nach Untersuchungen zu dem Schluss, dass die Genauigkeit der chemischen Methode größer ist als die der Fremdwasserbestimmung mittels Nachtminimum- oder Tagesmittelwerten.

Durch heutige Online-Messtechnik, die ohne zeitaufwendige Analytik brauchbare Konzentrationsmessungen liefert, scheint die Methode eine interessante Alternative zu den statistischen Verfahren zu sein.

### Modellierung des Fremdwasseranfalls

DECKER (1998) beschreibt ein Modell zur Ermittlung des niederschlagsbezogenen Fremdwasseranfalls. Bestimmende Größen sind dabei Wassergehalt und Wasserleitfähigkeit des Bodens. Aufgrund der zahlreichen Parameter, die zur Beschreibung einer

Übertragungsfunktion von Niederschlag zu Fremdwasserabfluss erforderlich sind, ist eine Verallgemeinerung der bis dato entwickelten Modelle aber schwierig.

Im EU-Forschungsprojekt APUSS (Assessing Infiltration and Exfiltration on the Performance of Urban Sewer Systems) werden Methoden zur Quantifizierung von Ex- und Infiltrationen entwickelt. Ziel der Entwicklung ist ein Modell, welches nach Eingabe einiger weniger Randbedingungen des Kanals (Lage zum/im Grundwasser, Bodenverhältnisse, Alter, Material etc.), Angaben zur Ex- bzw. Infiltration zulässt. Dieses Projekt wird voraussichtlich 2004 abgeschlossen. Sollten die gesteckten Ziele erreicht werden, wird in naher Zukunft anhand dieses Modells eine Aussage zur Lage und Menge von Infiltrationen von Grundwasser in das Entwässerungssystem möglich sein.

Eine bereits erprobte Methode ist die Ermittlung des Fremdwasseraufkommens mittels eines transparenten Wehres, welches in einen abgesperrten Kanal eingebracht wird (siehe Abbildung 2). Über eine Messskala wird der sich durch den Fremdwasserzufluss stetig ändernde Wasserstand über die Zeit abgelesen (RÖSSIGER, 2002). Über verschiedene Berechnungsmethoden ist es anschließend möglich, den Fremdwasserzufluss in den abgesperrten Kanalabschnitt zu berechnen. Bei größeren Fremdwassermengen ist die Bestimmung des Zuflusses auch mittels eines Thompson-Wehres möglich.

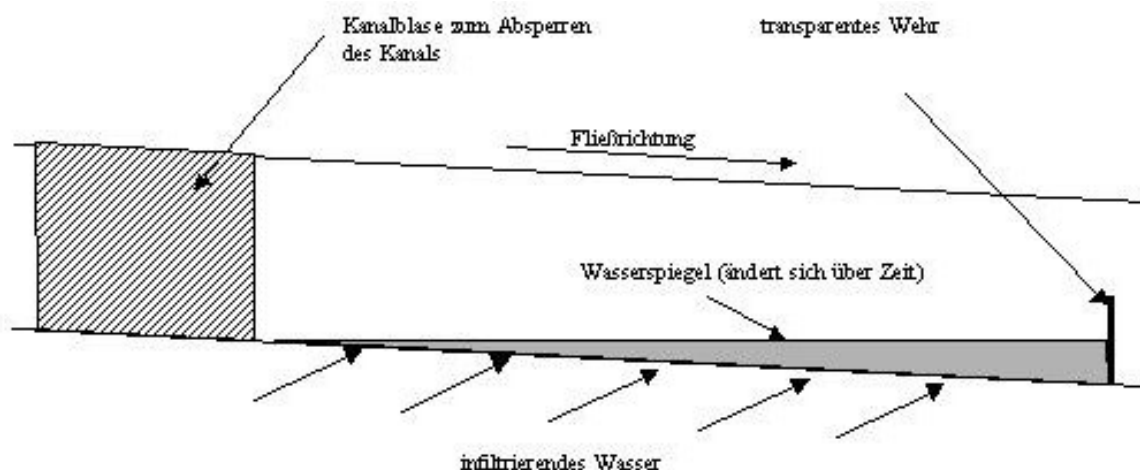


Abbildung 2: Prinzipskizze der Wehrmessungen

Die Untersuchungen zeigten, dass bei steigendem Wasserstand im Kanal die Infiltration geringer wird (Abbildung 3). Damit wird die Annahme, die bei der Dreiecksmethode Anwendung findet, unterstützt, dass steigende Wasserstände im Kanal einer Infiltration entgegenwirken. Diese Methode zur Quantifizierung des Fremdwassers ist allerdings nur bei Kanalabschnitten ohne Zuflüsse anwendbar, da ansonsten das Ergebnis verfälscht wird.

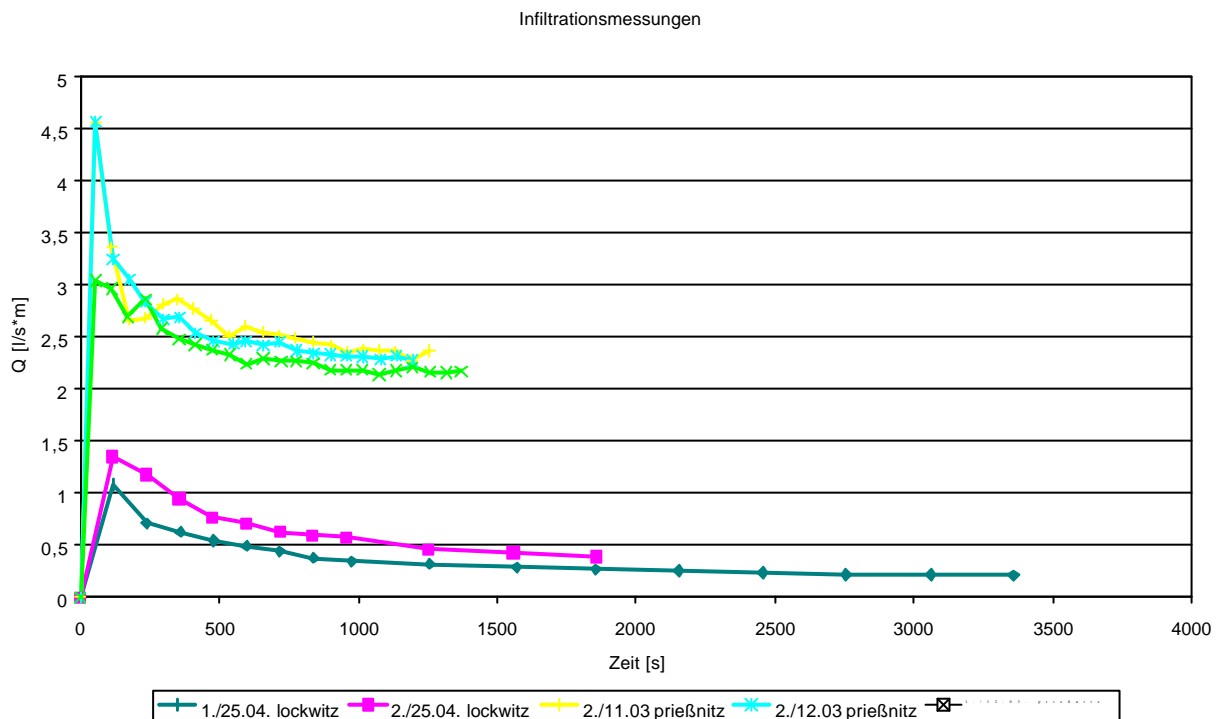


Abbildung 3: Ergebnisse der Infiltrationsmessungen

### 3.2 Qualitative Methoden

Die unter den Punkten 1 bis 5 vorgestellten Methoden dienen im allgemeinen dazu, den Zufluss von Fremdwasser im Einzugsgebiet auf die einzelnen Teileinzugsgebiete zu beziehen. Weitergehend zu den bereits vorgestellten, „theoretischen“ Methoden sind besonders bei konkreten Fragen der Sanierung Untersuchungen an einzelnen Abschnitten des Kanalnetzes unerlässlich.



### 1. Visuelle Verfahren

Unter visuellen Verfahren kann man das einfache „Schauen“ in den Kanal, aber auch wesentlich kompliziertere Methoden wie die Befahrung mit dem Kanal-TV oder auch die Benebelung verstehen.

Nach EISENER (2002) reicht ein ‚**einfacher Blick**‘ in den Kanal aus, um anhand der Färbung des Wassers einen möglichen Fremdwasserzufluss in Größenordnungen zu erkennen. Am besten feststellbar ist dies an Trockenwettertagen zu Nachtzeiten. Ist das Wasser auffallend klar, so kann von einem verstärkten Fremdwasserzutritt ausgegangen werden. Eine weitergehende, direkte optische Inspektion der Kanalhaltungen ist aus Sicherheitsgründen erst ab einer Nennweite von DN 900 möglich (KLEMMER und STEIN., 1991).

**Kanal-TV, Kanalspiegelung und Kanalfotografie** zählen zu den indirekten optischen Inspektionen und können auch bei kleineren Durchmessern durchgeführt werden. Diese Inspektionen sollten während des Frühjahrs stattfinden. Während dieser Jahreszeit ist mit verstärkten Fremdwasserzutritten zu rechnen. Wenn das Fremdwasseraufkommen von Grundwasser- und/oder Pegelständen abhängt, so muss dem bei der Planung von Inspektionen Rechnung getragen werden (EISENER, 2002).

Die bisher vorgestellten Verfahren werden primär zur Zustandsanalyse von Abwasserkanälen eingesetzt. Eine genaue Ortung von Leckagen ist auch möglich, jedoch müssen dazu als Voraussetzung kritische Haltungen bekannt sein. Verfahren zur Leckortung ermöglichen eine direkte Lokalisierung von Leckagen und somit eine Kostenreduzierung bei der Sanierung. Dabei wird neben dem Rohrmaterial auch das umgebende Erdreich in die Betrachtung mit einbezogen.

Nach STEIN (1999) wird bei der Leckortung im allgemeinen zwischen elektrischer Widerstandsmessung, akustischer Leckortung sowie zwischen geophysikalischen Methoden unterschieden. Die **elektrischen Widerstandsmessungen** beruhen auf folgendem physikalischen Effekt: Besteht die Rohrwandung aus nichtleitfähigen Materialien, dann wirkt sie als elektrische Isolierschicht zwischen dem Inneren des Rohres und der umgebenden Erde. Ist der Kanal undicht, kann Wasser durch die defekten Stellen fließen. Infolge der Leitfähigkeit des Wassers werden Lecks zu leitfähigen Verbindungen. Allerdings ist es nicht möglich, zwischen Ex- und Infiltration zu unterscheiden. Die **akustische Leckortung** (Korrelationsmethode) kann bei im Betrieb befindlichen Kanälen bzw. in Kombination mit einer Dichtheitsprüfung mit Luftüberdruck eingesetzt werden. Bei der letztgenannten Möglichkeit wird der zu prüfende, abwasserfreie Abschnitt abgesperrt und mit Druckluft

beaufschlagt. Besitzt der Kanalabschnitt ein Leck, entsteht durch die entweichende Luft ein Geräusch, welches sich nach beiden Richtungen im Kanal gleichmäßig ausbreitet. Durch zwei in den Prüfverschlüssen integrierte Mikrofone wird dieses Geräusch aufgenommen. Aufgrund der differierenden Laufzeiten des Schalls zur Überwindung der unterschiedlichen Entfernungen zu den Mikrofonen ergibt sich eine Laufzeitdifferenz, durch die sich der Ort der Leckagen lokalisieren lässt. Allerdings haben diese Methoden auch einige Nachteile. So können z.B. nicht gleichzeitig mehrere Lecks geortet werden.

Die weiteren Methoden zur Leckortung entsprechen weitgehend den Methoden zur Druck- bzw. Dichtheitsprüfung von Kanalabschnitten. Nebelungen eignen sich zur Überprüfung von Fehlan schlüssen, besonders bei kleinen Kanälen, wie z.B. Hausanschlüssen im Trennsystem (EISENER, 2002).

## 2. Auswertung von Datenbanken, Ganglinien, Gutachten usw.

Zur Ermittlung von Fremdwasserzutritten bietet das Kanalkataster des Entwässerungsgebietes wertvolle Informationen. In der Kanalnetzdatenbank sind je nach Umfang, Daten zu Zustand, Alter und Material zu finden. Ferner können Erkenntnisse zu Fließverhältnissen, Fließwege usw. gewonnen werden. Ebenso ist es notwendig, die Lage der Kanäle zum Grundwasserstand zu kennen. Besonders bei der Vorbereitung und Begleitung einer Messkampagne sind derartige Daten sehr nützlich. Gutachten zu Gewässern und Brunnen, die eine Verbindung mit dem Kanalnetz haben, sind gleichfalls nützlich bei der gezielten Ermittlung von Leckagen, wobei die je nach Qualität der Daten eventuell quantifiziert

## **4 Wertung und Zusammenfassung**

Für alle Methoden mit Ausnahme des chemischen Verfahrens ist ein erheblicher Aufwand zur Ermittlung der Schmutzwasserabflüsse zu betreiben. Es müssen neben dem Wasserbezug Eigenförderungen sowie Produktionsverluste ermittelt werden. Ein hoher industrieller Anteil am Abwasserstrom erfordert auch die Differenzierung zwischen Wochenend- und Werktagen.

Bei verlässlichen Daten zum Schmutzwasseraufkommen können die **Tagesmittel- und die Nachtminimummethode** als genaue Methoden betrachtet werden. Die Tagesmittelmethode erfordert Daten zum mittleren Abfluss und Schmutzwasseraufkommen. Beim

Nachtminimumverfahren müssen minimaler Nachtabfluss und nächtliche industrielle Einleitungen bekannt sein bzw. gemessen werden. Des Weiteren sind Aufzeichnungen über längere Zeiträume, möglichst über Jahre hinweg, nötig, um genaue Aussagen treffen zu können.

Bei fehlenden Informationen zu Trockenwettertagen können mit der **Methode des gleitenden Minimums** gute Ergebnisse erzielt werden. Allerdings erfordert die Methode eine Anpassung an das Entwässerungsgebiet und die Dynamik des Fremdwasserabflusses muss vorab analysiert werden.

Die **Dreiecksmethode** ist lediglich für Einzugsgebiete sinnvoll einsetzbar, deren Fremdwasser im wesentlichen aus Grundwasser besteht. Auch bei diesem Verfahren müssen die Randbedingungen in den Betrachtungsgebieten analysiert werden. Eine exakte Ermittlung der Regen- und Nachlaufzeiten z.B. über den Regenschlüssel auf Kläranlagen ist notwendig. Die Dreiecksmethode ergibt jedoch oft geringere Werte als die anderen Methoden. Bei stark schwankenden Trockenwetterabflüssen wird von der Anwendung der Methode abgeraten, da zu geringe Fremdwasserabflüsse ermittelt werden.

KARPF (2002) ist bei seinem Vergleich verschiedener Methoden zur Fremdwasserbestimmung am Beispiel der Stadt Bamberg zu folgendem Ergebnis gekommen:

- Für Fremdwasserabflüsse größerer Einzugsgebiete sowie für Abflüsse aus Gebieten mit starker gewerblicher Prägung sollte die Tagesmittelmethode angewandt werden
- Für kleine Einzugsgebiete mit vornehmlich Wohn- und Geschäftscharakter sind die Ergebnisse der Nachtminimummethode repräsentativer.

Diese Aussagen können allerdings nicht verallgemeinert werden, da die Genauigkeit der Methoden stark von der Charakteristik der Entwässerungssysteme abhängig ist. Die Baden-Württembergische Landesanstalt für Umweltschutz (LFU, 2001) erzielte z.B. mit der Dreiecksmethode sehr repräsentative Aussagen.

Die **chemische Methode** bietet bei Vorhandensein entsprechender chemischer Parameter die Möglichkeit, ohne Kenntnis der Schmutzwasserabflüsse, Fremdwasserabflüsse zu bestimmen. Der Aufwand dieser Methode ist verhältnismäßig gering und scheint schon aus diesem Grund eine sehr interessante Alternative zu den anderen, hier vorgestellten Methoden zu sein.

Die **qualitativen Betrachtungen** sollen in erster Linie Aufschluss über die Quellen bzw. Orte der Fremdwasserzutritte geben. Im Vorfeld bedarf es meist einer Anwendung der quantitativen Methoden, um den erheblichen Aufwand je Messung – und damit auch die

Kosten – zu minimieren. Die Auswertung und Verschneidung von Daten aus Datenbanken, Ganglinien, Gutachten usw. in verschiedenen Kombinationen liefert gute Erkenntnisse über die Charakteristik des Abflussverhaltens und die zeitliche und örtliche Varianz des Fremdwasseraufkommens.

## Literaturverzeichnis

- ATV-DVWK A 118 (1977). Richtlinien für die hydraulische Bemessung von Schmutz-, Regen- oder Mischwasserkanälen. Arbeitsblatt A118, Abwassertechnische Vereinigung, Hennef
- ATV-DVWK A 128 (1992). Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen. Arbeitsblatt A128, Abwassertechnische Vereinigung, Hennef
- ATV-Arbeitsbericht „Fremdwassersituation in Deutschland“. Entwurf, Stand: 25.01.2001  
Autorenkollektiv (1984). Fremdwasser- Methoden zur Bestimmung der Fremdwassermenge in Kanalisation und Kläranlagen. Bundesamt für Umweltschutz, Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 23, Bern
- Decker, J. (1998). Auswirkungen von Fremdwasser auf Abwasseranlagen und Gewässer. - Wasser- Abwasser 168, Hrsg. M. Dohmann, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Rhein.- Westf. Techn. Hochschule Aachen
- Eisener, W. (2002). Das Fremdwasserproblem. 2. Göttinger Abwassertage, Stadtentwässerung Hannover
- Fischer, M. (1990). Fremdwasser im Kanal – jetzt noch teurer. *Korrespondenz Abwasser* 37 (10), 1196 - 1201
- Hager, W. H.; Raymann, B. und Bretscher, U. (1985). Die Berechnung des Fremdwasseranfalls in Abwassersystemen. *Gwf- Wasser/ Abwasser* 126 (11), 582 - 588
- Karpf, Ch. (2002). Analyse verschiedener Methoden zur Fremdwasserbestimmung am Beispiel der Kanalisation der Stadt Bamberg. Diplomarbeit, Institut für Siedlungs- und Industriewasserwirtschaft der TU Dresden
- Kauch, E. P.(1996). Was macht Fremdwasser in der Kanalisation?. Fremdwasser in Abwasseranlagen, Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft 18, Hrsg. Helmut Renner, TU Graz
- Kroiss, H. und Prendel, L. (1996). Einfluss von Fremdwasser auf Planung und Betrieb von Abwasserreinigungsanlagen. Fremdwasser in Abwasseranlagen, Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft 18, Hrsg. Helmut Renner, TU Graz
- Klemmer, P. und Stein, D. (1999). Inspektion von Kanalisationen. Veranstaltungsberichte zur angewandten Umweltforschung, Band 1; Analytica Verlag, Berlin

- Lützner, K. (1996). Grundlagen der Kanalisation und Abwasserbehandlung. Lehrmaterial, - und Industrierwasserwirtschaft der TU Dresden
- Michalska, A. und Pecher, K. H. (2000). Betriebliche und kostenmäßige Auswirkung des Fremdwassers auf Kanalisation und Kläranlage. Gewässerschutz- Wasser- Abwasser 177, Hrsg. M. Dohmann, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Rhein.- Westf. Techn. Hochschule Aachen
- Mock, B. und Nisipeanu, P. (1994). "Fremdwasser" im Wasserrecht und Abwasserabgabenrecht – Eine rechtliche Bewertung und technische Würdigung. *Korrespondenz Abwasser* **41** (3), 1130- 1138
- Pecher, R.(1998). Fremdwasseranfall im Kanalnetz – ein wasserwirtschaftliches Problem?. *Korrespondenz Abwasser* **45** (12), 2250- 2258
- Popp, M.; Feik, G.; Baum, R. und Stotz, G.(2002). Bestimmung des Fremdwasser- aufkommens im Einzugsgebiet der Kläranlage Erlangen. *Korrespondenz Abwasser* **49** (7), 946- 955
- Rößiger, S. (2002). Entwicklung einer Methode zur Bestimmung von Ex- und Infiltration in defekten Kanälen. Diplomarbeit, Institut für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft der TU Dresden
- Sitzmann, D. (2000). Erfahrungen mit Fremdwassermessungen. Gewässerschutz Wasser – Abwasser 177, Hrsg. M. Dohmann, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Rhein.- Westf. Techn. Hochschule Aachen
- Stein, D. (1999). *Instandhaltung von Kanalisationen*. 3. Auflage, Ernst & Sohn, Berlin
- Zimmermann, U. (1997). Analyse des Fremdwasserabflusses in der Kanalisation der Landeshauptstadt Dresden auf der Basis von Mengen - und Qualitätsmessungen. Diplomarbeit, Institut für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft der TU Dresden