




Siedlungswasser-
wirtschaft 20


Fremdwasser in kommunalen Kläranlagen – Erkennen, bewerten und vermeiden –

 Kurzfassung



Baden-Württemberg

Fremdwasser in kommunalen Kläranlagen - Erkennen, bewerten und vermeiden-

 Kurzfassung

The text 'Kurzfassung' is preceded by a small black silhouette of a lion, which is the logo of the Baden-Württemberg state government.

HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe www.lubw.baden-wuerttemberg.de
BEARBEITUNG/REDAKTION	Umweltministerium Baden-Württemberg, Ref. 53 – Gewässerreinigung, Wasserwirtschaftl. Übereinkommen Landesanstalt für Umwelt-schutz Baden-Württemberg (LfU), Referat 41 – Fließgewässer, Integrierter Gewässerschutz Universität Stuttgart - Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte u. Abfallwirtschaft; Dipl.-Ing. A. Weideler; Dipl.-Ing. J. Krampe IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur GmbH Dipl.-Ing. T Birkner; Dr.-Ing. B. Bosseler
TITELBILD	Rainer Steinmetz
BEZUG	Umweltministerium Baden-Württemberg
ISSN	1437-014X (Band 20, 2007)
ISBN	978-3-88251-321-3
STAND	August 2006
LAYOUT	Dipl.-Ing. J. Schmeißer, 76187 Karlsruhe
DRUCK	

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

1	EINLEITUNG	7
2	DEFINITION DES BEGRIFFES „FREMDWASSER“	8
3	FREMDWASSER MESSEN	9
3.1	Fremdwassermessung Auf der Kläranlage	9
3.1.1	Allgemeines	9
3.1.2	Methode des Gleitenden Minimums w	9
3.1.3	Berechnung des Fremdwasseranteils unter Verwendung von CSB-Zulaufwerten	10
3.2	Fremdwassermessung im Kanalnetz	10
4	AKTUELLE SITUATION IN BADEN-WÜRTTEMBERG	14
5	ÖKOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN ERHÖHTEN FREMDWASSERANFALLS	15
5.1	Gewässerbelastung durch Anlagen der Mischwasserbehandlung	15
5.2	Stoffeintrag durch Kläranlagen	15
6	ÖKONOMISCHE AUSWIRKUNGEN ERHÖHTEN FREMDWASSERANFALLS	19
6.1	Abwasserableitung / Mischwasserbehandlung	19
6.1.1	Kapitalkosten	19
6.1.2	Betriebskosten	19
6.2	Kläranlage	20
6.2.2	Betriebskosten Kläranlage	22
6.2.3	Jahreskosten	22
6.3	Abwasserabgabe	22
7	MASSNAHMEN ZUR FREMDWASSERREDUZIERUNG UND FALLBEISPIELE	25
7.1	Maßnahmen im öffentlichen Bereich	25
7.2	Maßnahmen bei Fremdwasser von Privatgrundstücken	26
7.2.1	Kooperation mit dem Bürger	26
7.2.2	Erfassung und Bewertung des Zustandes privater Abwasserleitungen	26
7.2.3	Sanierung privater Entwässerungssysteme	28
7.2.4	Abschätzung des Personal- und Kostenaufwandes	29
7.3	Alternative Ableitung von Fremdwasser	29
8	LITERATURVERZEICHNIS	31

1 Einleitung

Aus historischer Sicht wurde Fremdwasser als zusätzliche „spülende Kraft“ im Mischwasserkanal bis Ende der 60er Jahre gerne gesehen, um die Ausbildung von Ablagerungen während des Trockenwetterabflusses zu vermeiden. Es wurden daher oftmals bewusst Bäche oder Quellen in Anfangshaltungen der Kanalisation eingeleitet. Weiter stellten Hausdrainagen als Fremdwasserquelle lange Zeit die allgemein anerkannten Regeln der Technik zum Schutz von Kellergeschossen vor eindringendem Wasser dar. Insgesamt zielte die damalige Entwässerungsphilosophie darauf ab, durch die Kanalisation möglichst viel Wasser möglichst schnell aus dem Siedlungsgebiet abzuführen.

Mit Beginn der 80er Jahre setzte sich der Gedanke durch, dass insbesondere bei den Nährstoffen die eingeleitete Fracht und nicht die Konzentration für die Gewässerbelastung maßgebend ist. Mit diesen Überlegungen wurde erkannt, dass vor allem das Fremdwasser zu einem Anstieg der eingeleiteten Frachten führt. Aus heutiger Sicht hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass einerseits die Spülwirkung des Fremdwassers gerade in den Anfangshaltungen viel geringer ist als angenommen wurde und andererseits diese geringe Spülwirkung in keinem Verhältnis zu den negativen Auswirkungen der so induzierten Fremdwasserbelastung steht.

2 Definition des Begriffes „Fremdwasser“

In technischen Normen finden sich unterschiedliche Definitionen des Begriffes „Fremdwasser“. Während die DIN 4045 (2003) Fremdwasser nach seiner Herkunft als „in die Kanalisation eindringendes Grundwasser (Undichtigkeiten), unerlaubt über Fehlanschlüsse eingeleitetes Wasser (z.B. Drainagewasser, Regenwasser) sowie einem Schmutzwasserkanal zufließendes Oberflächenwasser (z.B. über Schachtabdeckungen)“ definiert, besagt die europäische Nachfolgenorm DIN EN 752-1 (1997), Fremdwasser sei ein „unerwünschter Abfluss in einem Entwässerungssystem“.

Gesetzlich ist der Begriff des Fremdwassers bisher nicht ausdrücklich geregelt. Allein über ein Verbot der Verdünnung von Abwasser zur Einhaltung zulässiger Schadstoffkonzentrationen sowie die Forderung nach einer Einhaltung der a.a.R.d.T. beim Bau und Betrieb von Abwasseranlagen wird auf die Fremdwasserproblematik Bezug genommen.

Aufgrund der unterschiedlichen Definitionen in verschiedenen Normen und Arbeitsblättern hat die ATV-DVWK-Arbeitsgruppe ES-1.3 „Fremdwasser“ folgende umfassende Fremdwasserdefinition eingeführt (ATV-DVWK 2003):

Fremdwasser ist das in Abwasseranlagen abfließende Wasser, welches weder durch häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch in seinen Eigenschaften verändert ist noch bei Niederschlägen von bebauten oder befestigten Flächen gesammelt und gezielt eingeleitet wurde. Fremdwasser erfordert

aufgrund seiner Qualität keine Abwasserbehandlung, erschwert diese bzw. belastet aufgrund seiner Quantität Abwasseranlagen unnötig und ist unter dem Aspekt des Gewässerschutzes unerwünscht.

Je nach vorliegendem Ableitungssystem (Misch- oder Trennkanalisation) unterscheiden sich die Fremdwasserkomponenten. Einen Überblick gibt nachfolgende Tab. 1.

Die Quantifizierung von Fremdwasser kann absolut (z.B. in l/s), als Fremdwasseranteil (FWA), als Fremdwasserzuschlag (FWZ) oder als Fremdwasserspense bezogen auf die entwässerte Fläche in l/(s·ha) erfolgen. Dabei muss darauf geachtet werden, welche Fläche der Berechnung zugrunde gelegt wird.

FWA bzw. FWZ sind wie folgt definiert:

$$\text{Fremdwasseranteil (FWA)} = \frac{\text{Fremdwasserabfluss}}{\text{Trockenwetterabfluss}} = \frac{Q_f}{Q_t} = \frac{Q_f}{Q_s + Q_f}$$

$$\text{Fremdwasserzuschlag (FWZ)} = \frac{\text{Fremdwasserabfluss}}{\text{Schmutzwasserabfluss}} = \frac{Q_f}{Q_s}$$

Zur Umrechnung zwischen Fremdwasseranteil und -zuschlag werden folgende Beziehungen verwendet:

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

Tab. 1: Fremdwasserursachen bei Mischwasserkanälen (MW) sowie Schmutzwasser- (SW) und Regenwasserkanälen (RW) der Trennkanalisation (ATV-DVWK, 2003)

Fremdwasserkomponente	MW	SW	RW
eindringendes Grundwasser durch undichte Schächte und Kanäle	X	X	X
Drainagewasser	X	X	X*
Quellwasser und Bachwasser	X	X	X*
Oberflächenwasser von Außengebieten, die nicht planmäßig durch die Kanalisation entwässert werden sollen	X	X	X
Kühlwasser	X	X	
Fehleinleitungen von Regenwasser		X	
Zufluss von Regenwasser über Schachtabdeckungen		X	

X: Die Fremdwasserkomponente gilt als Fremdwasser in dieser Kanalart
 *: Die Zulässigkeit der Einleitung von Drainage-, Quell- und Bachwasser in Regenwasserkanäle ist im Einzelfall zu prüfen.

3 Fremdwasser messen

3.1 FREMDWASSERMESSUNG AUF DER KLÄRANLAGE

3.1.1 ALLGEMEINES

Fremdwassermessungen werden routinemäßig auf der Kläranlage durchgeführt, um die Fremdwasserbelastung der Kläranlage und damit des ganzen Kanalnetzes zu erfassen. Sie sind für den Vollzug des AbwAG und im Rahmen des DWA-Leistungsvergleichs erforderlich und dienen zur Einordnung der Fremdwasserbelastung der Kläranlage. Werden bei der Fremdwassermessung auf der Kläranlage hohe Fremdwasserbelastungen festgestellt, ist es zweckmäßig, durch Messungen im Kanalnetz (siehe 3.1.2) die Fremdwasserbelastung der Teileinzugsgebiete zu ermitteln. Weiter werden oft auch an den „Übergabepunkten“ von Abwasserverbänden Messungen durchgeführt um durch Fremdwasser entstehende Betriebskosten verursacherorientiert umlegen zu können.

In Baden-Württemberg ist für die Ermittlung des Fremdwasseranteils im Rahmen der Abwasserabgabeerklärung und des DWA Leistungsvergleichs ab dem Veranlagungsjahr 2004 die Methode des Gleitenden Minimums anzuwenden. Bei Anlagen ohne automatische Durchflussmessung ist der Fremdwasseranteil unter Verwendung von CSBZulaufwerten zu berechnen. Beide Methoden werden nachfolgend näher erläutert.¹

Sowohl für die Methode des Gleitenden Minimums als auch bei der „Berechnung des Fremdwasseranteils für Kläranlagen ohne automatische Durchflussmessung unter Verwendung von CSB-Zulaufwerten“ wird der **Schmutzwasseranfall** benötigt. Hierzu kann

- die gebührenpflichtigen Abwassermenge (1. Priorität) oder
- 90 % der verkauften Trinkwassermenge (2. Priorität)

verwendet werden. Wird der Schmutzwasseranfall aus der verkauften Trinkwassermenge bestimmt (2. Priorität), muss berücksichtigt werden, dass der Schmutzwasseranfall aufgrund von Leitungsverlusten, dem Einsatz von Trinkwasser zur Bewässerung und Viehtränke etc. kleiner ist, als der Schmutzwasseranfall. Für die praktische Anwendung zur Fremdwasserermittlung werden daher nur 90% der verkauften Trinkwassermenge als Schmutzwasseranfall angesetzt.

Generell muss beachtet werden, ob sich die zur Berechnung herangezogenen Einzugsgebiete der Wasserver- und der Abwasserentsorgung decken.

3.1.2 METHODE DES GLEITENDEN MINIMUMS

Die Methode des Gleitenden Minimums wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes im Auftrag des Landes Baden-Württemberg von der Firma Umwelt- und Fluid-Technik Dr. H. Brombach GmbH, Bad Mergentheim, entwickelt (LfU, 2001). Bei dieser Methode werden als Eingangswerte nur die Tagesabflüsse sowie der Schmutzwasseranfall benötigt. Der oft subjektiven Einschätzungen unterliegende Wetterschlüssel wird weiterhin erfasst, aber für die Berechnung des Gleitenden Minimums nicht verwendet. Die Ermittlung des Fremdwasseranteils basiert auf der Annahme, dass Schwankungen des Fremdwasserabflusses aus langsamen Schwankungen des Grundwasserspiegels resultieren und schnelle Veränderungen nur durch den oberflächlichen Regenabfluss verursacht werden. Wird nun für jeden Tag der Trockenwetterzufluss gleich dem minimalen Tagesabfluss aus dem davor liegenden Zeitabschnitt von in der Regel 21 Tagen gesetzt (Gleitendes Minimum), werden die sich schnell ändernden Regenabflüsse „herausgefiltert“. Voraussetzung dabei ist, dass in diesem Zeitraum einmal Trockenwetter herrscht. Als Ergebnis erhält man die Ganglinie des Trockenwet-

¹ Weitere Methoden zur Fremdwasserbestimmung auf Kläranlagen sind beispielsweise die Bestimmung anhand des minimalen Zuflusses bei Nacht (z.B. nach dem Formblatt „Fremdwasserermittlung und Bewertung mit automatischer Durchflussmessenrichtung“ der damaligen ATVLandesgruppe Baden-Württemberg), die Jahresschmutzwasser-methode, die Dreiecksmethode sowie die sehr aufwändige chemische Methode nach Hager et al. (1984). Diese Methoden kommen aufgrund verschiedener Nachteile in Baden-Württemberg nicht mehr zur Anwendung. (Beschreibungen beispielsweise in Weideler et al. (2006)).

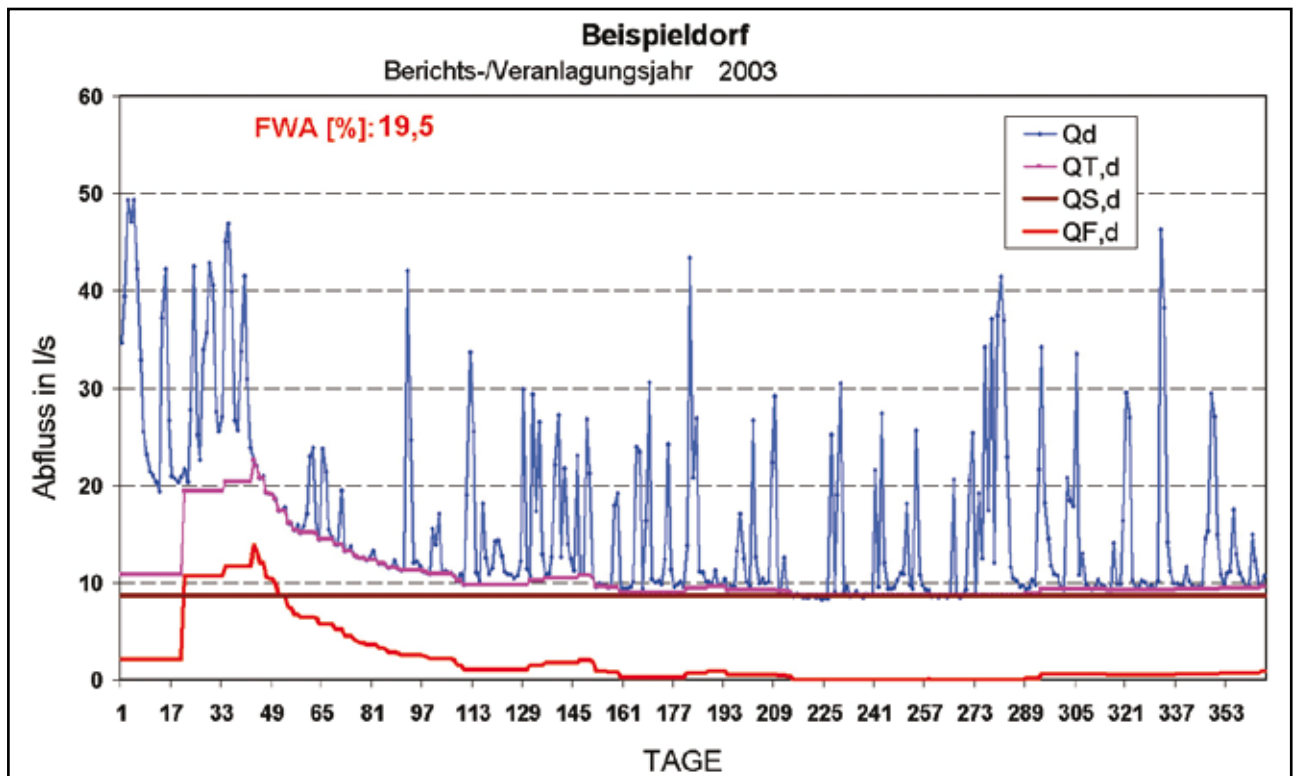


Abb. 1: Fremdwasserermittlung mittels Gleitendem Minimum

terabflusses. Die Festlegung des Zeitraumes von 21 Tagen ist zwar nicht wissenschaftlich hergeleitet, jedoch hat sich dieser Wert bei eingehenden Untersuchungen als praktikabel erwiesen (Fuchs et al., 2001).

Um in Baden-Württemberg eine einheitliche Fremdwasserermittlung durchführen zu können, wurde eine Excel-Datei entwickelt, die für die Berechnung des Fremdwasseranteils im Rahmen des Leistungsvergleichs des DWA-Landesverbandes Baden-Württemberg sowie für den Vollzug des Abwasserabgabengesetzes angewendet wird. Eine exemplarische Fremdwasserauswertung mit dem Gleitenden Minimum zeigt Abb. 1.

Als Ergebnis wird die Ganglinie des Trockenwetterabflusses, der als konstant angenommene Schmutzwasseranfall sowie als deren Differenz die Ganglinie des Fremdwasseranfalls dargestellt. Durch Integration der „Fremdwasserfläche“ erhält man den mittleren Fremdwasserabfluss für den betrachteten Zeitraum.

Die Datei kann auf der Homepage des DWA-Landesverbandes Baden-Württemberg (www.dwa-bw.de) heruntergeladen werden. Weitere Hinweise zum Gleitenden Minimum und zur Anwendung der Excel-Datei finden sich auch unter LfU (2006).

3.1.3 BERECHNUNG DES FREMDWASSERANTEILS UNTER VERWENDUNG VON CSB-ZULAUFWERTEN

Diese Methode findet ausschließlich Anwendung bei Kläranlagen ohne automatische Durchflussmessung. Sie beruht auf der verdünnenden Wirkung von Fremdwasser auf die Abwasserinhaltsstoffe. Durch Messung der CSB-Konzentration im Zulauf bei Trockenwetter wird auf den Fremdwasseranfall rückgerechnet. Bei der in Baden-Württemberg im Rahmen des Vollzugs der Abwasserabgabe angewendeten Methode wird dabei eine einwohnerspezifische CSB-Fracht von $120 \text{ g}/(\text{E} \cdot \text{d})$ und ein einwohnerspezifischer Schmutzwasseranfall von rund $150 \text{ l}/(\text{E} \cdot \text{d})$ zugrunde gelegt. Basierend auf diesen Werten wurde nachfolgende Abb. 2 erstellt. Dabei sind die Fremdwasseranteile und Fremdwasserzuschläge etwas in Richtung „betreiberfreundlich“ verschoben. Eingangswert für die Ermittlung ist das arithmetische Mittel der CSB-Messwerte bei Trockenwetter eines Jahres.

Eine Anleitung kann auf der Homepage des DWA-Landesverbandes Baden-Württemberg (www.dwa-bw.de) heruntergeladen werden. Weitere Hinweise finden sich auch unter LfU (2006).

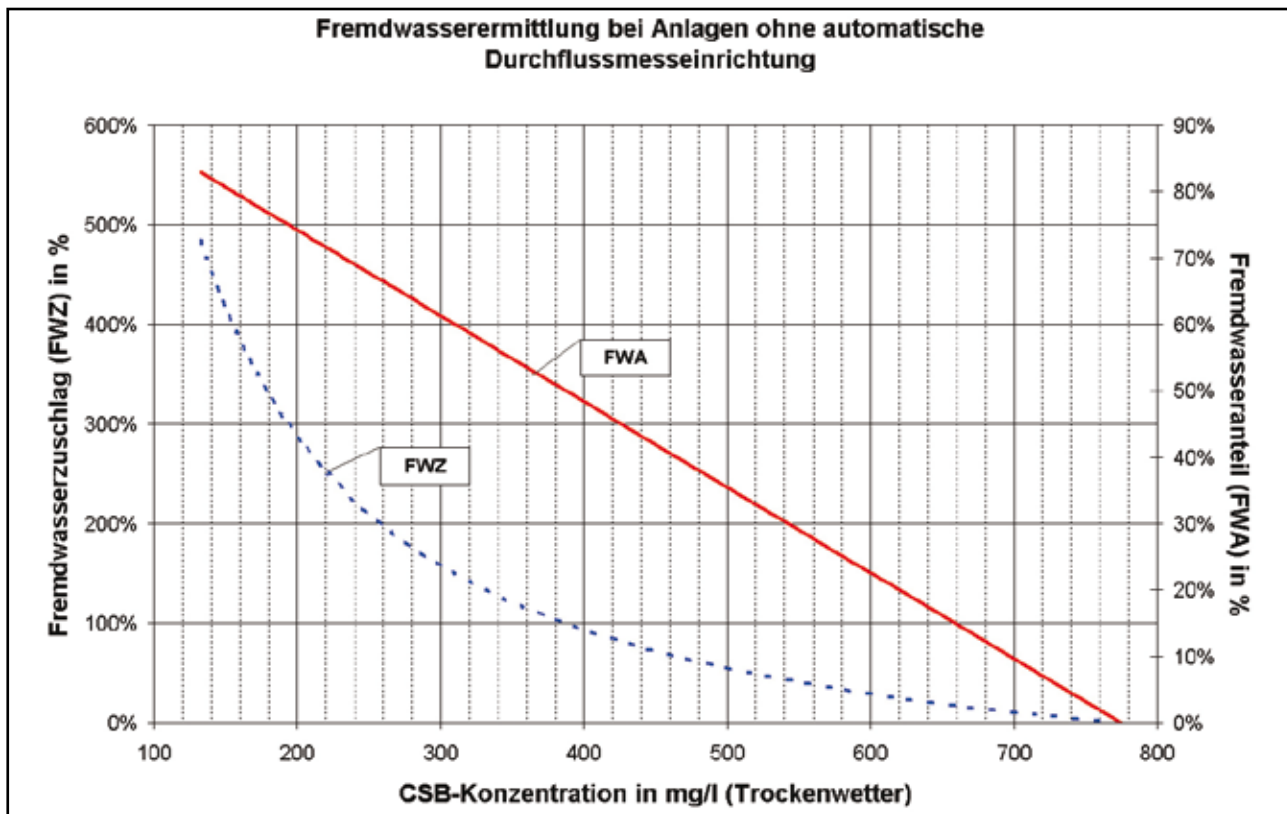


Abb. 2: Diagramm zur Ermittlung des FWA bzw. FWZ bei Kläranlagen ohne automatische Durchflussmeseinrichtung

3.2 FREMDWASSERMESSUNG IM KANALNETZ

Zeigen die Fremdwassermessungen auf der Kläranlage, dass Handlungsbedarf zur Fremdwasserreduzierung besteht, müssen stark mit Fremdwasser belastete Teileinzugsgebiete durch Fremdwassermessungen im Kanalnetz identifiziert werden. Auf dieser Grundlage ist eine gezielte Sanierungsplanung möglich.

Im Kanalnetz lässt sich Fremdwasser am besten nachts messen, da dann im Kanalnetz nur geringe Mengen an Schmutzwasser abfließen. So geben oftmals bereits nächtliche Begehungen des Einzugsgebietes mit Sichtkontrollen in Schächten auf klaren Abfluss erste Eindrücke.

Fremdwassermessungen im Kanalnetz werden i.d.R. als nächtliche Abflussmessungen an Knotenpunkten des Kanalnetzes durchgeführt. Der geringe nächtliche Schmutzwasserabfluss wird dabei meist abhängig von der Anzahl der oberhalb angeschlossenen Einwohnern bzw. Betrieben pauschal in Abzug gebracht. Teilweise werden die Abflussmessungen mit qualitativen Abwasseruntersuchungen kombiniert (siehe z.B. Popp et al., 2002). Obwohl dies sehr aufwändig ist, sind insbesondere dann Vorteile zu erwarten, wenn die Abschätzung des nächtlichen Schmutzwasseranfalls der jeweils oberhalb liegen-

den Einzugsgebiete mit größeren Unsicherheiten verbunden ist, z.B. in stark urbanen Einzugsgebieten.

Einen Überblick über mögliche Messmethoden geben nachfolgende Abbildungen. Die Entscheidung für oder wider ein bestimmtes Messverfahren zur Bestimmung der Fremdwassermenge hängt weitestgehend davon ab, ob eine langfristige Beobachtung der Abflüsse oder eine einmalige Messkampagne durchgeführt werden soll.

Der Vorteil von einmaligen Messkampagnen ist, dass man mit einer geringen Anzahl von Messgeräten verschiedene



Abb. 3: „Mobiles“ Messwehr (für kurzzeitige Messungen)



Abb. 5: Mobile magnetisch induktive Durchflussmessung (MID) mit Absperrblase (für kurz- und langfristige Messungen)² (Quelle: Axel Zangenberg)



Abb. 6: Messschacht mit eingebautem Dreieckswehr und Wasserstandsmessung (für langfristige Messungen) (Quelle: IKT)



Abb. 4: Ultraschall-Doppler-Sensor mit Schnellmontagesystem (für kurz- und langfristige Messungen) (Quelle: Nivus)

² Gerät muss zur Vermeidung von Rückstau bei Regenwetter aus dem Kanal entfernt werden.

Messpunkte im Kanalnetz „abarbeiten“ kann. Man erhält jedoch als Ergebnis nur „Momentaufnahmen“. Dagegen geben längerfristige Messungen einen besseren Überblick über die Abflusssituation, allerdings muss für jede Messstelle ein Messgerät zur Verfügung stehen.

Bei der Planung einer Messkampagne sollte berücksichtigt werden, dass der Fremdwasseranfall meist stark vom lokalen Grundwasserstand abhängig ist. Dieser unterliegt saisonalen aber auch längerfristigen Schwankungen. Fremdwassermessungen sollten nur bei mindestens durchschnittlichen Grundwasserständen durchgeführt werden, was bei der Festlegung von Messperioden berücksichtigt werden muss. Weiter muss zumindest beim Mischsystem an den Messtagen Trockenwetter herrschen.

Die Ergebnisse einer Fremdwassermesskampagne lassen sich auf vielfältige Weise auswerten und übersichtlich darstellen. Abb. 7 zeigt exemplarisch die Darstellung der Messergebnisse anhand des Kanalbestandsplanes einer Kommune. In diesem Plan sind sowohl die Messergebnisse und Messkurven der einzelnen Durchflussmessstellen dargestellt, als auch die diesen Messstellen (in diesem Fall mobile MID) zuzuordnenden Straßenzüge und Teileinzugsgebiete gekennzeichnet.

Im Wesentlichen ist zu unterscheiden zwischen der

- Darstellung der Durchflussmesswerte in l/s, die als unmittelbares Ergebnis aus einer Messkampagne hervorgehen,
- Darstellung von flächenbezogenen Fremdwasserspenden in l/(s·ha), ermittelt unter Berücksichtigung der Fläche eines Teileinzugsgebietes,

Zur Einschätzung der Ergebnisse einer Fremdwasseruntersuchung bietet Sitzmann (2000) einige Anhaltswerte:

Tab. 2: Bewertung von Fremdwasserspenden

Fremdwasserspende [l/(s·ha)]	Bewertung nach Sitzmann (2000)
0,00 – 0,05	niedrig
0,05 – 0,10	mittel
0,10 – 0,15	hoch
> 0,15	sehr hoch

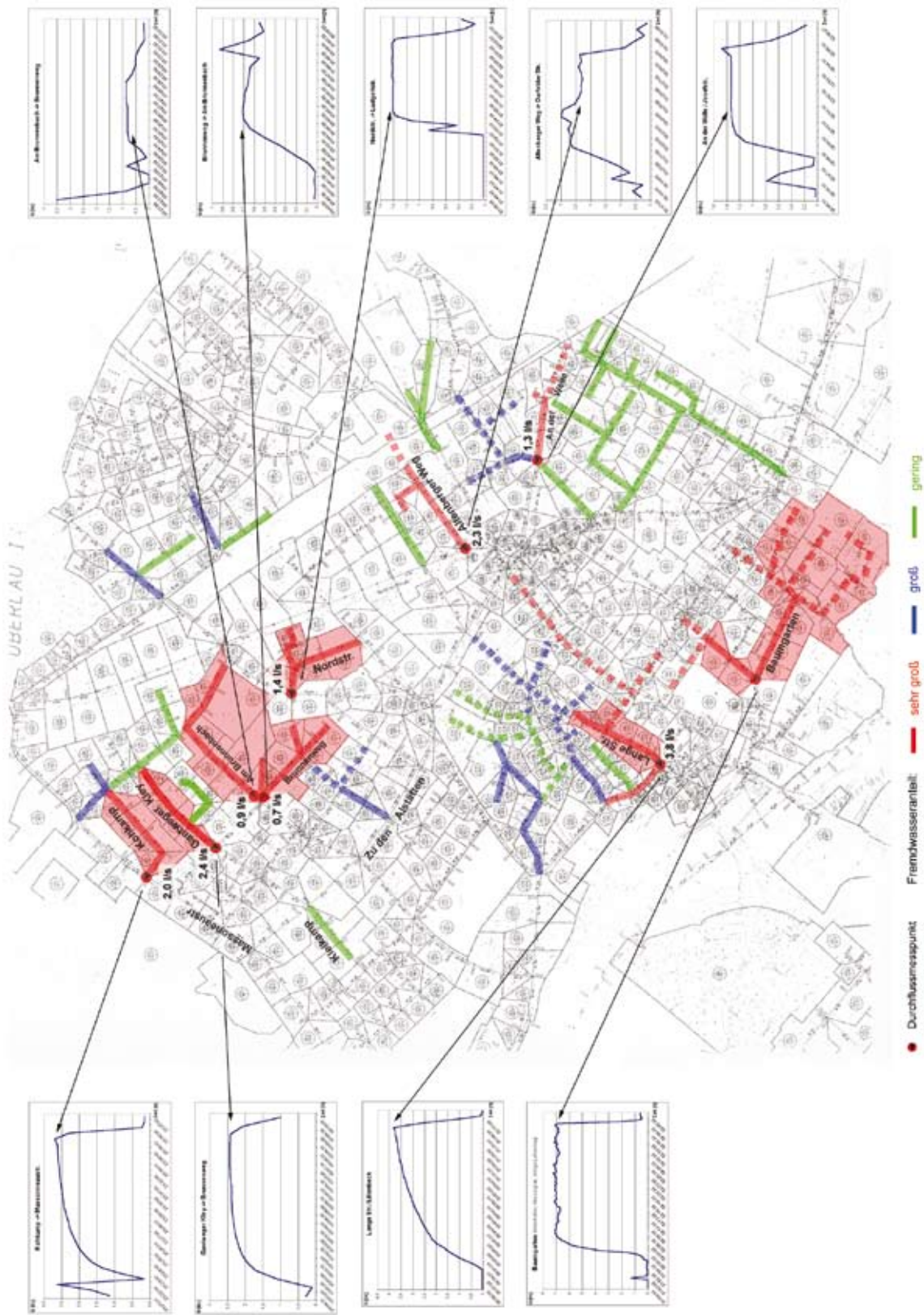


Abb. 7: Darstellung der Ergebnisse einer Fremdwassermesskampagne im Kanalnetzbestandsplan (Quelle: IKT)

4 Aktuelle Situation in Baden-Württemberg

Der vom DWA Landesverband Baden-Württemberg in Zusammenarbeit mit der Wasserwirtschaftsverwaltung des Landes durchgeführte Leistungsvergleich der kommunalen Kläranlagen für das Jahr 2004 (Schwentner et al., 2005) ergibt einen durchschnittlichen Fremdwasseranteil von 35 %. Die zugehörigen Fremdwasserklassen der Landkreise in Baden-Württemberg sind in nachfolgender Abb. 8 dargestellt.

Die dargestellten Werte lassen auf den ersten Blick vermuten, dass es – mit Ausnahme einiger Landkreise im Odenwald, Nordschwarzwald und Oberschwaben - in Baden-Württemberg eigentlich kein ausgeprägtes Fremdwasserproblem geben soll.

Bei der Interpretation der Werte ist zu beachten, dass infolge der Datenverdichtung der erhobenen Einzelwerte zu Fremdwasserklassen auf Landkreisebene bzw. zum Landeswert sehr viel Detailinformationen „verloren“ geht. Beispielsweise gibt es im Bereich der Hochflächen der Schwäbischen Alb (Karstgebiet) Kläranlagen, die kaum

Fremdwasserzufluss haben, da ein Großteil des „potentiellen“ Fremdwassers im Karst versickert. Dieses Wasser tritt in den Tälern, die die Hochfläche durchschneiden, als Schichtenwasser aus und gelangt dann oftmals über Hangdrainagen als Fremdwasser ins Kanalnetz, so dass die angeschlossenen Kläranlagen z.T. erhebliche Fremdwasserzuflüsse haben. Da Kläranlagen mit so unterschiedlichen Fremdwasserzuflüssen oftmals räumlich sehr nahe bei einander liegen, kann sich bei der Datenverdichtung auf Landkreisebene dennoch nur ein niedriger oder moderater Fremdwasseranteil ergeben.

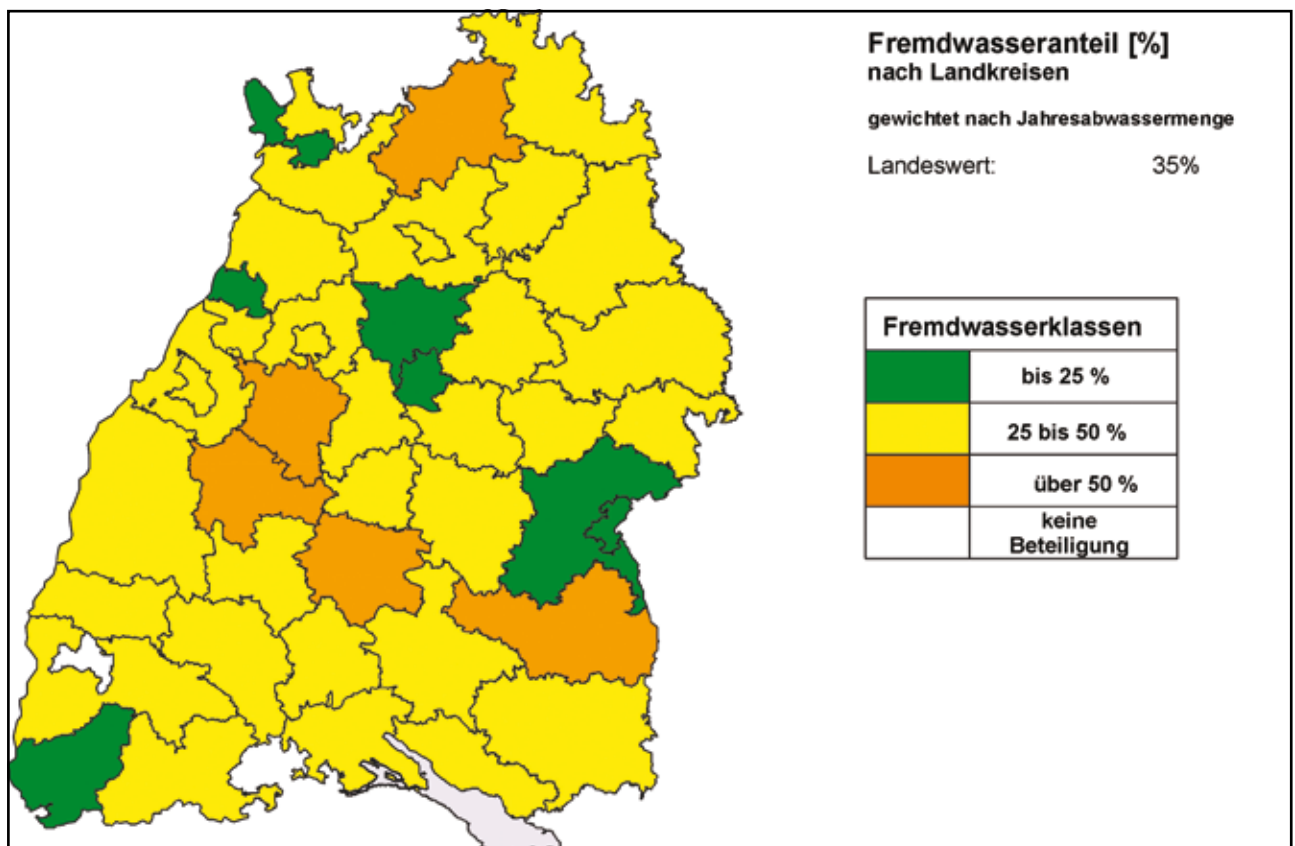


Abb. 8: Fremdwasserklassen der Landkreise in Baden-Württemberg entsprechend dem Leistungsvergleich für das Jahr 2004 (Schwentner et al., 2005)

5 Ökologische Auswirkungen erhöhten Fremdwasseranfalls

5.1 GEWÄSSERBELASTUNG DURCH ANLAGEN DER MISCHWASSERBEHANDLUNG

Bei der Siedlungsentwässerung kommt es durch verschiedene Abflüsse aus dem Kanalnetz zu Gewässerbelastungen. Zum einen durch die Kläranlagen, aber auch durch die Entlastung von Mischwasser über Regenüberläufe oder Regenüberlaufbecken. Auf beide Formen der Gewässerbelastung hat ein erhöhter Fremdwasseranfall Einfluss.

In der nachfolgenden Grafik ist der Stoffaustrag aus einem Regenüberlaufbecken exemplarisch dargestellt. Bei der Bemessung des Beckens wurde ein Fremdwasseranteil von 5% angesetzt. Mittels einer Langzeitsimulation wurden die Effekte ermittelt, die unterschiedliche, tatsächlich auf das Becken wirkende FWA auslösen. Es wird deutlich, dass mit steigendem FWA die aus dem Regenüberlaufbecken entlastete Fracht und somit auch die Gewässerbelastung erheblich ansteigt. Die Steigerung beträgt für einen Anstieg des FWA von 5 auf 20% mehr als 25%.³

Um solche erhöhten Emissionen zu vermeiden, müssen bei der Bemessung zwingend realistische Werte für den FWA angesetzt werden. Durch hohe Fremdwasseranteile ergeben sich erheblich größere erforderliche Volumina und somit auch höhere Kosten. Auf die fremdwasserbedingten Kosten im Bereich der Regenwasserbehandlung wird im Kapitel 6.1 näher eingegangen.

5.2 STOFFEINTRAG DURCH KLÄRANLAGEN

Die Abwassertemperatur im Zulauf von Kläranlagen hängt im hohen Maße vom Fremdwasseranteil ab. Je höher der Fremdwasseranteil, also der Anteil von kaltem Grund- oder Oberflächenwasser am gesamten Abwasser, desto geringer ist die Abwassertemperatur im Zulauf zur Kläranlage. Der Einfluss des Fremdwassers auf die Ablaufqualität einer Kläranlage basiert zum einen auf den Verdünnungs-

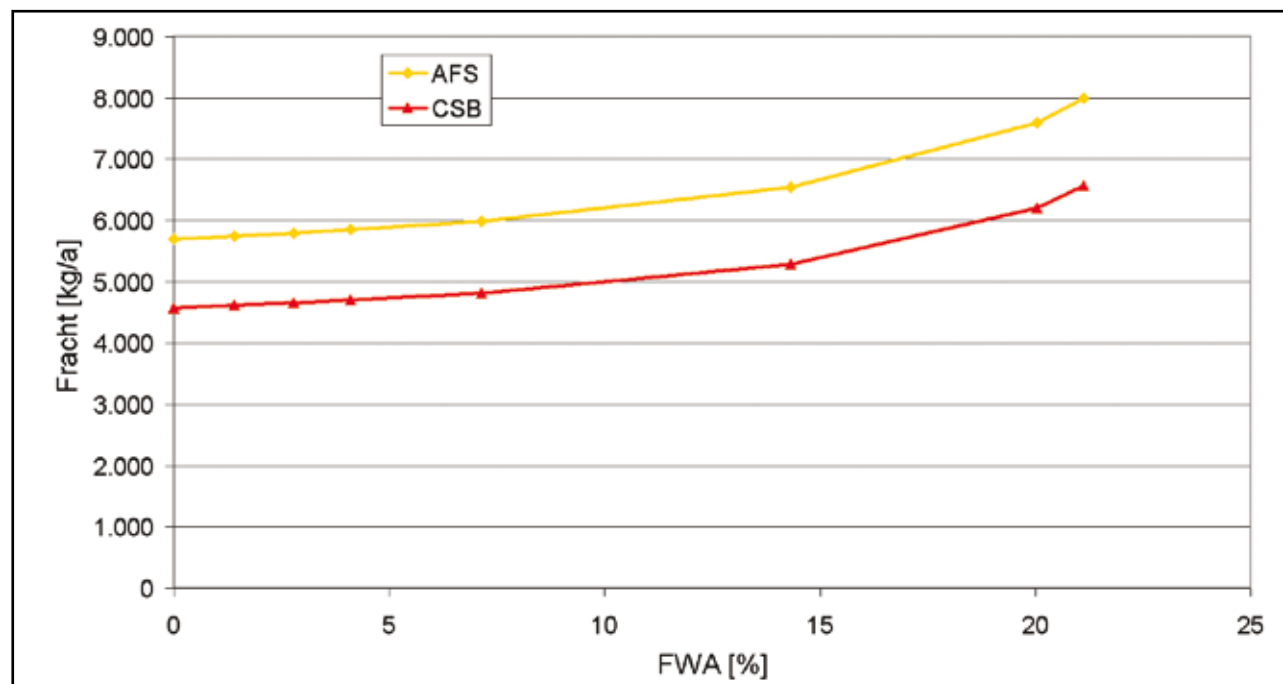


Abb. 9: Entlastete AFS- und CSB-Frachten eines Regenüberlaufbeckens im Hauptschluss bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen

³ Eine Berücksichtigung noch höherer Fremdwasseranteile war an diesem Becken nicht möglich, da in diesem Fall der Fremdwasserzufluss den zulässigen Trockenwetterabfluss überschritten hätte und somit eine unzulässige dauerhafte Entlastung aufgetreten wäre.

effekt, zum anderen auf diesen beschriebenen Temperaturrückgang⁴ bei steigenden Fremdwasseranteilen.

In Abb. 10 sind beispielhaft⁵ die N_{ges} -Ablaufmengen und -konzentrationen bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen dargestellt. Die Abnahme der Stickstoff-Konzentration bei zunehmendem Fremdwasseranteil bis 60 % ist auf Verdünnungseffekte zurückzuführen. Bei Fremdwasseranteilen über 60 % nimmt für das dargestellte Beispiel die Temperatur im biologischen Reaktor jedoch so weit ab, dass keine Nitrifikanten mehr im System gehalten werden können und somit weder Nitrifikation noch Denitrifikation möglich sind. Dies führt zu einem sprunghaften Anstieg der Ablaufkonzentration bei 70 % Fremdwasseranteil.

Die im Hinblick auf das Gewässer in erster Linie relevanten Ablaufmengen steigen mit zunehmendem Fremdwasseranteil an. Dies liegt daran, dass nur die inerten Fraktionen im Kläranlagenablauf durch den Verdünnungseffekt sinken. Die abbaubaren Anteile bleiben nahezu unbeeinflusst, da deren Ablaufkonzentration im Wesentlichen vom Schlammalter abhängen. Somit reduzieren sich die Ablaufkonzentrationen nicht im gleichen Maße wie

das Abwasservolumen durch Fremdwasser erhöht wird. Im Ergebnis steigen die Ablaufmengen und damit die Gewässerbelastung.

Damit einher geht eine Abnahme des Wirkungsgrades der Abwasserreinigung, welcher als Verhältnis von (konstanter, da lediglich von den angeschlossenen Einwohnern vorgegebener) Zulaufmengen zur (mit steigendem Fremdwasseranteil zunehmenden) Ablaufmenge definiert ist (siehe hierzu auch Kroiss und Prendl, 1996).

Der Wirkungsgrad der Stickstoffelimination bei verschiedenen Fremdwasseranteilen ist in nachfolgender Abb. 11 dargestellt. Hier ist im Bereich von 10 bis 40 % Fremdwasseranteil ein fast linearer Rückgang festzustellen. Darüber hinaus nimmt der Wirkungsgrad der Stickstoffelimination überproportional stark ab. Bei 70 % Fremdwasseranteil kann eine vollständige Nitrifikation nicht mehr aufrechterhalten werden und der Wirkungsgrad fällt auf 19 % ab.

Die in Abb. 11 zusätzlich angegebenen Werte von Decker (1998) zeigen einen ähnlichen Verlauf, jedoch mit höheren Wirkungsgraden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass von

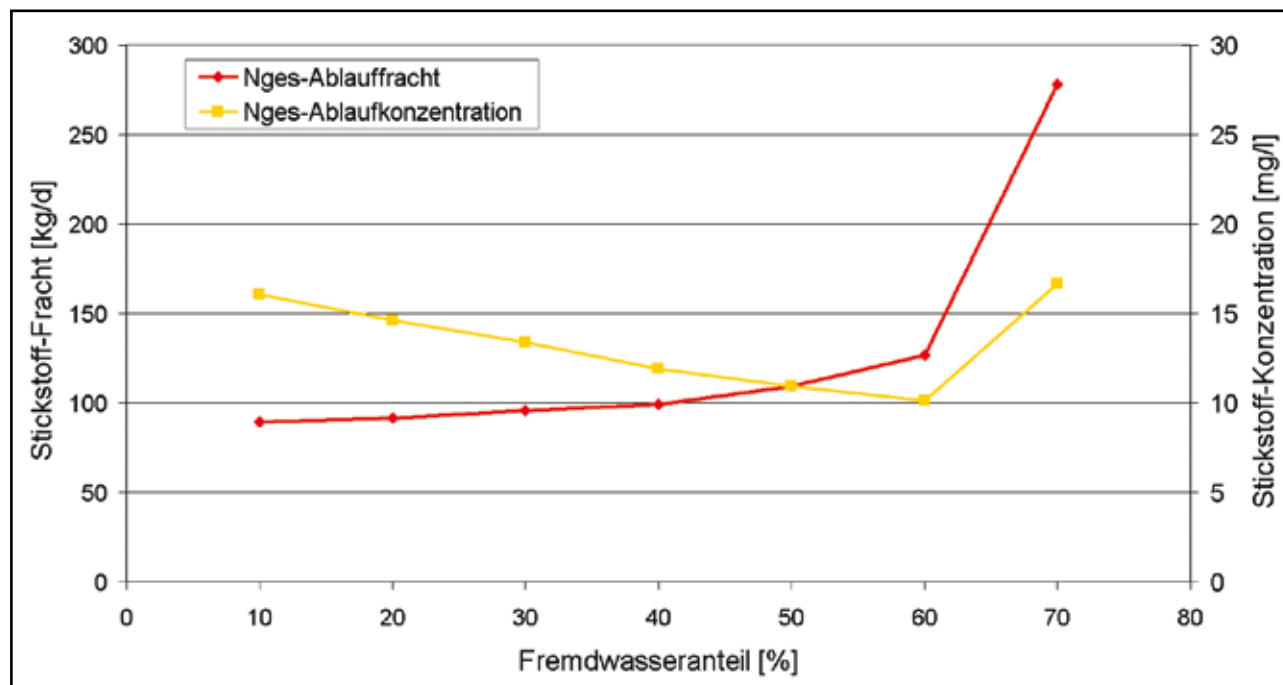


Abb. 10: N_{ges} -Ablaufmengen und -konzentrationen bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen

⁴ Eine niedrige Abwassertemperatur hat auch Auswirkungen auf die im Ablauf der Kläranlage einzuhaltenen Grenzwerte für N_{anorg} und NH_4 , sofern sie unter der Schwelle von 12 °C im Ablauf des biologischen Reaktors liegt (AbwV).

⁵ Simulation einer fiktiven Kläranlage nach dem Belebtschlammverfahren mit vorgeschalteter Denitrifikation für rund 40.000 EW auf Basis des ASM1 mit dem Standard-Parametersatz der verwendeten Simulationssoftware SIMBA.

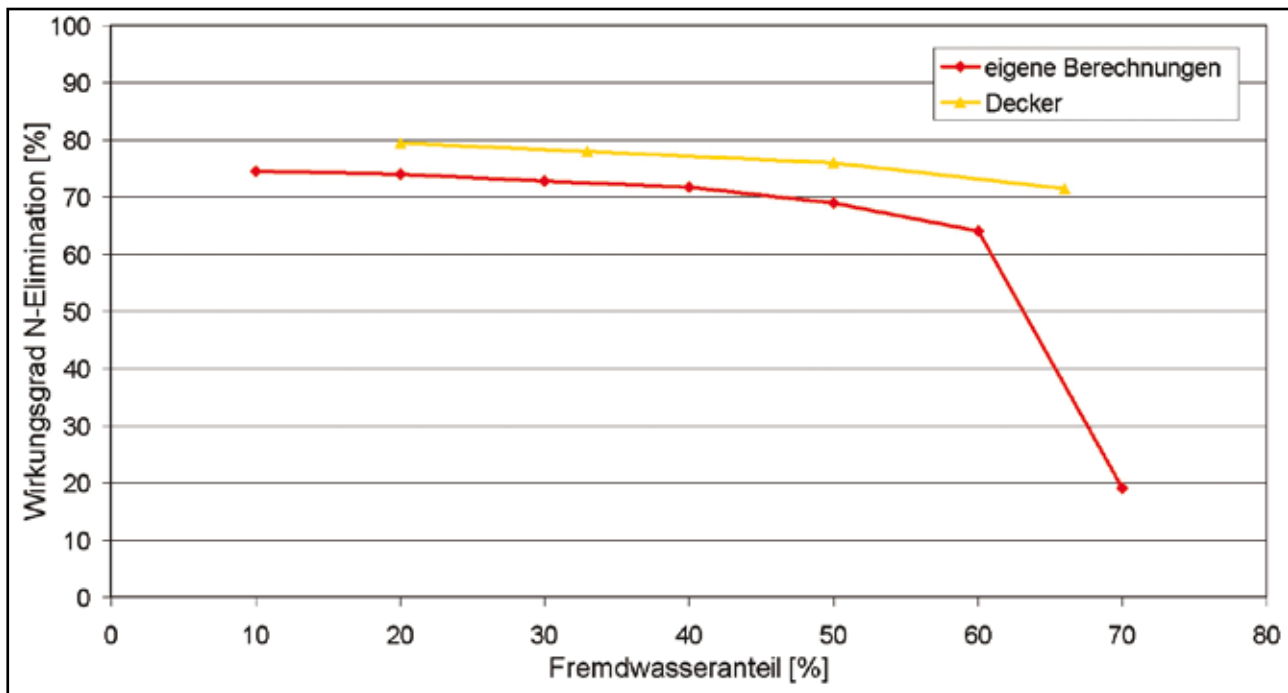


Abb. 11: Wirkungsgrad der Stickstoffelimination bei verschiedenen Fremdwasseranteilen, ergänzt um Werte nach Decker (1998)

Decker keine interne Rückbelastung berücksichtigt wurde und dass die Berechnungen mit abweichenden Randbedingungen erfolgten.

Diese auf der Grundlage von theoretischen Überlegungen und Modellrechnungen vorhergesagten Effekte können durch Messungen auf Kläranlagen bestätigt werden.

Abb. 12 zeigt anhand von vier Praxisbeispielen die durchschnittlichen N_{ges} Zu- und Ablaufkonzentrationen jeweils für den September 2002 mit hohen Fremdwasseranteilen (linke Balkenpaare) und für den sehr trockenen September 2003⁶ mit niedrigen Fremdwasseranteilen (rechte Balkenpaare). Die organische Auslastung der Kläranlagen (bezogen auf die Ausbaugröße) betrug < 50 % für KA 1,

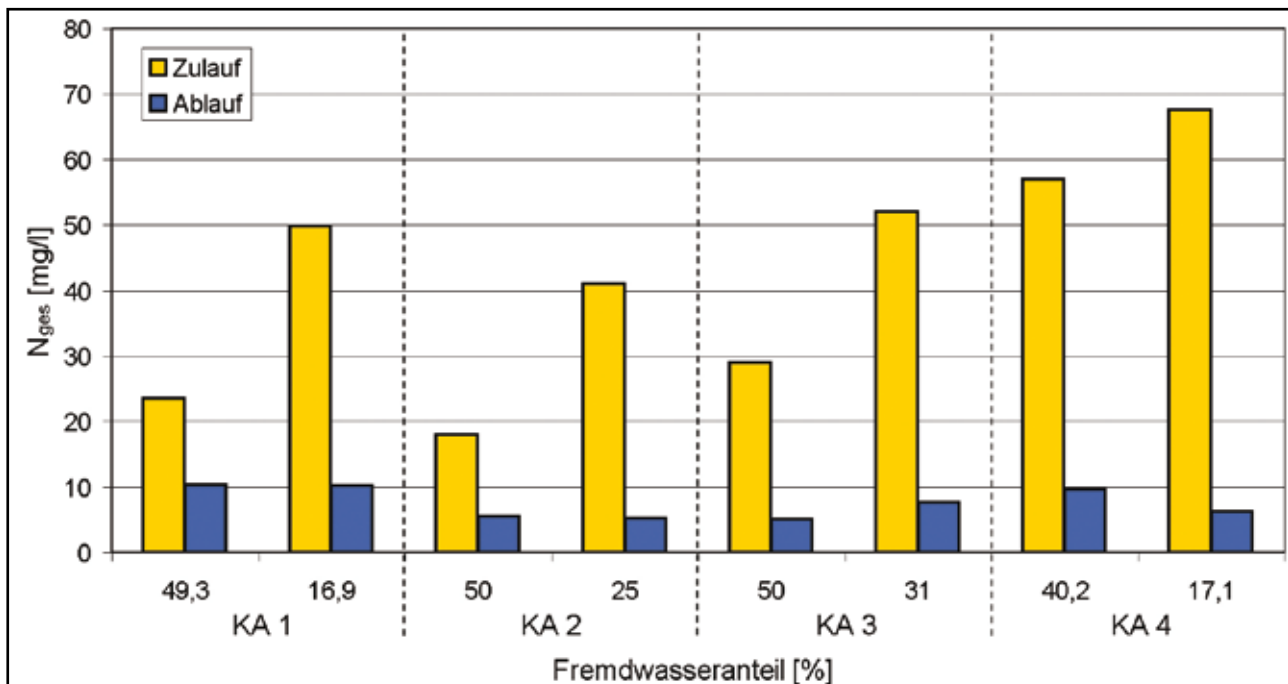


Abb. 12: Durchschnittliche N_{ges} Zu- und Ablaufkonzentrationen bei hohen und niedrigen Fremdwasseranteilen für vier Kläranlagen. Linke Balkenpaare jeweils Werte von September 2002, rechte Balkenpaare Werte von September 2003

⁶ Daten aus dem Leistungsvergleich des DWA Landesverband Baden-Württemberg in Zusammenarbeit mit der Wasserwirtschaftsverwaltung des Landes

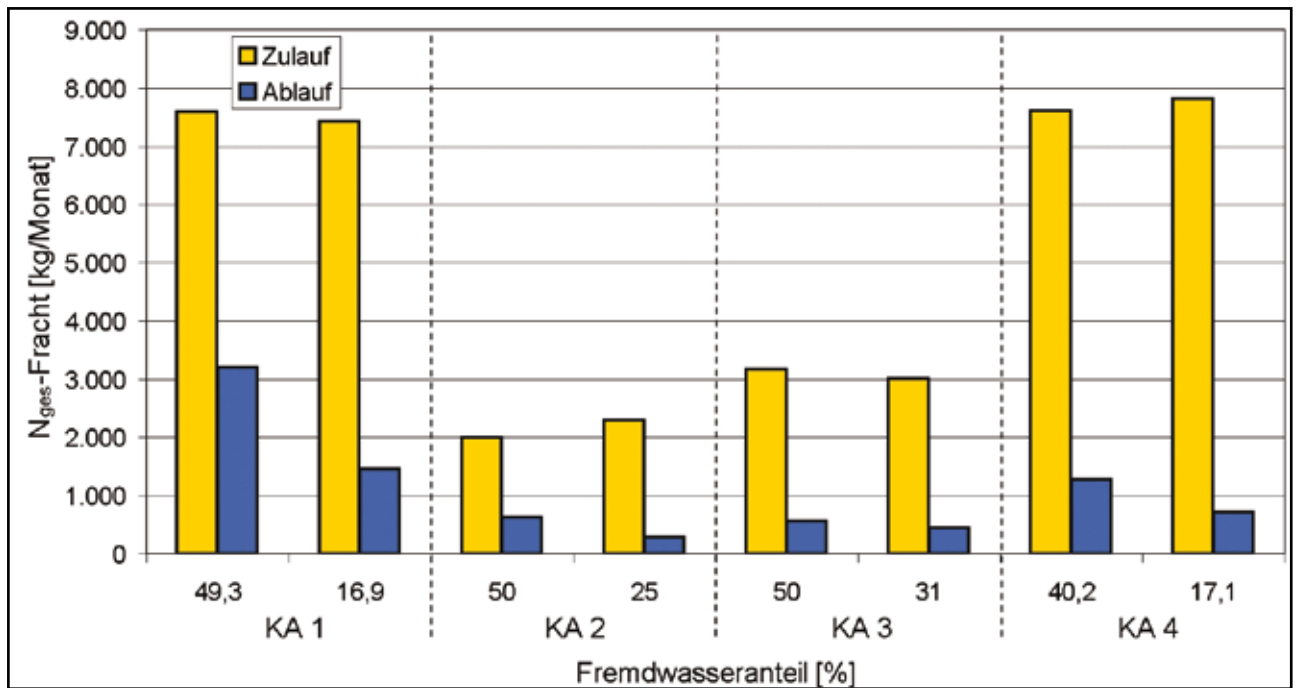


Abb. 13: N_{ges} Zu- und Abflafrachten bei hohen und niedrigen Fremdwasseranteilen für vier Kläranlagen. Linke Balkenpaare jeweils Werte von September 2002, rechte Balkenpaare Werte von September 2003

51-75 % für KA 2, und 76-100 % für KA 3 und 4. Deutlich erkennbar ist bei allen vier Anlagen die Verdünnung der Zuläufe bei höheren Fremdwasseranteilen. Bei den Kläranlagen 1 und 2 zeigt dies jedoch keinen Einfluss auf die Ablaufkonzentrationen, während es bei der Kläranlage 3 zu einer leichten „Verdünnung“ des Ablaufs bei hohen Fremdwasseranteilen kommt. Die bei Kläranlage 4 höheren Ablaufkonzentrationen bei hohen Fremdwasseranteilen können mit dem Temperatureinfluss bei hoher organischer Auslastung oder vermehrtem Schlammabtrieb bei überlastetem Nachklärbecken begründet werden.

Die zugehörigen Frachten sind in nachfolgender Abb. 13 gegeben. Die Zulauffrachten ändern sich jeweils wenig, die Abflafrachten sind bei höheren Fremdwasseranteilen (im Jahr 2002) aber deutlich höher. So beträgt die ins Gewässer abgeleitete Stickstoff-Fracht beispielsweise für KA 2 im September 2002 (viel Fremdwasser) 622 kg/Monat und im September 2003 (wenig Fremdwasser) nur 292 kg/Monat. Dies bedeutet eine durch Fremdwasser bedingte Zunahme der eingeleiteten Fracht um 113 %. Der Wirkungsgrad der Stickstoffelimination nimmt in diesem Fall von 87 auf 69 % ab. Dies gilt für die anderen dargestellten Fälle sinngemäß.

Die oben anhand einzelner Beispiele dargestellten Zusammenhänge zwischen Fremdwasser und Abbauleistung von Kläranlagen, insbesondere für den Parameter Stickstoff, finden sich auch bei einer landesweiten Betrachtung wider. Schwentner et al. (2005) haben für das Jahr 2004 die Abhängigkeit der erzielbaren Abbaugrade vom Fremdwasseranteil für alle Kläranlagen der Größenklasse 4 und 5 in Baden-Württemberg ermittelt. Danach ergeben sich entsprechend den Fremdwasseranteilen folgende mittlere Abbaugrade:

Tab. 3: Stickstoffabbaugrade der Kläranlagen der Größenklasse 4 und 5 in Baden-Württemberg in Abhängigkeit der Fremdwasseranteile für das Jahr 2004 (Schwentner, 2005)

Fremdwasseranteil [%]	0 - 25 %	25 - 50 %	>50 %
Stickstoffabbaugrad [%]	78 %	72 %	60 %

Auch bei dieser Betrachtung zeigen sich deutliche Auswirkungen des Fremdwasseranfalls auf die erzielbaren Abbaugrade. Die oben anhand von Simulationsergebnissen und Fallbeispielen aufgezeigten Abhängigkeiten können also in einer landesweiten Betrachtung bestätigt werden.

6 Ökonomische Auswirkungen erhöhten Fremdwasseranfalls

6.1 ABWASSERABLEITUNG / MISCHWASSERBEHANDLUNG

6.1.1 KAPITALKOSTEN

Im Bereich der Abwasserableitung bzw. der Mischwasserbehandlung führt ein erhöhter Fremdwasseranfall vor allem bei der Bemessung von Regenüberlaufbecken zu größeren Beckenvolumina mit entsprechend höheren Investitionskosten.

Decker (1998) hat beispielhaft das fiktive Zentralbeckenvolumen eines RÜB entsprechend dem ATV-Arbeitsblatt A-128 (1992) für unterschiedliche FWA bemessen, wobei der Drosselabfluss den Fremdwasseranteilen angepasst wurde. Der Berechnung lag ein Einzugsgebiet mit einer Fläche von 66 ha_{red} zugrunde. Das resultierende spezifische Speichervolumen bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen ist in nachfolgender Abb. 14 dargestellt.

Aus den von Decker (1998) berechneten spezifischen Speichervolumina wurden die in Abb. 15 gegebenen, spezifischen fremdwasserbedingten Kapitalkosten berechnet. Dazu wurden folgende Annahmen getroffen:

- Nutzungsdauer für Bauwerke 25 Jahre
- Nutzungsdauer für Maschinentechnik 12 Jahre
- realer Zinssatz 3 %
- Kostenfunktionen nach Günthert und Reicherter (2001)

Die jährlichen fremdwasserbedingten Kapitalkosten betragen in diesem Beispiel ($A_{red} = 66 \text{ ha}$) rund 4.000 € bei 20 % FWA und rund 26.000 € (!) bei 60 % FWA.

6.1.2 BETRIEBSKOSTEN

Fremdwasser verursacht im Bereich des Kanalnetzes (abgesehen von dem unten diskutierten Betriebsaufwand für vermehrte Kanalspülungen) vor allem Betriebskosten in Abwasserpumpwerken. Bei ihrer Ermittlung sind die einzugsgebietspezifischen Randbedingungen, wie z. B. die Förderhöhe und der Abwasseranfall, zu berücksichtigen. Für eine überschlägige Berechnung kann nach ATV (1999) der Energiebedarf für Pumpwerke mit $4,5 \cdot 5 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$ angesetzt werden.

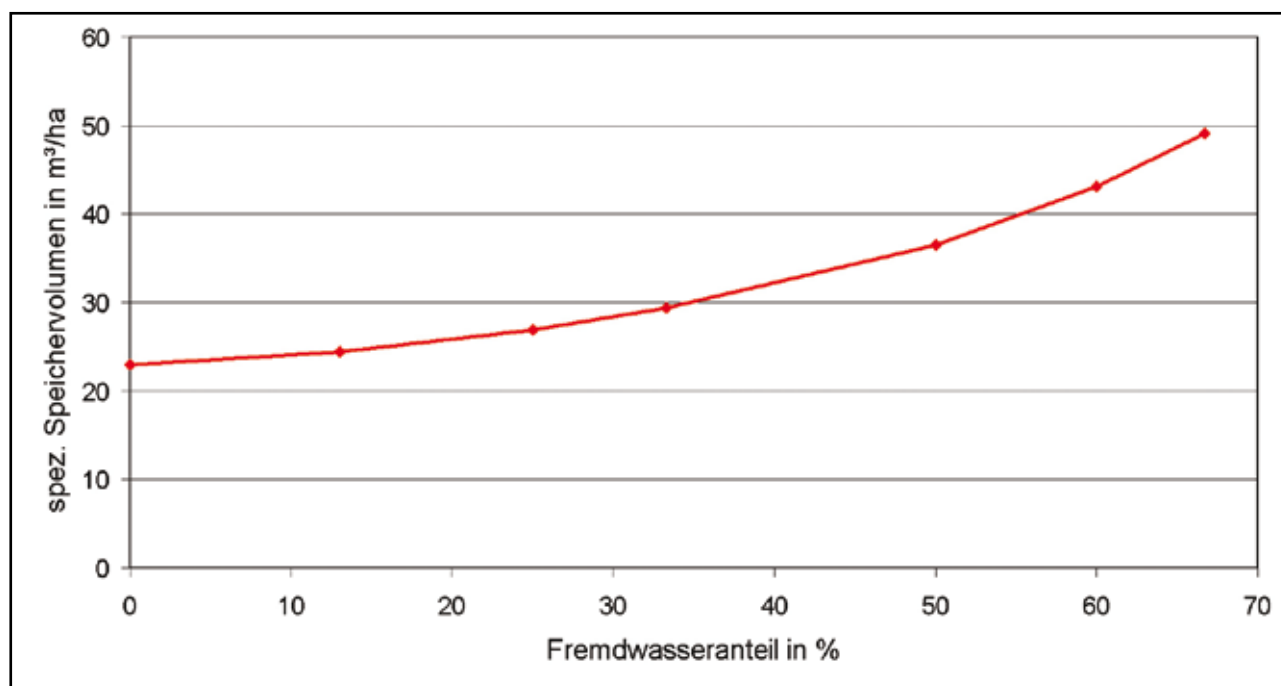


Abb. 14: Spezifisches Speichervolumen eines fiktiven Zentralbeckens bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen nach Decker (1998)

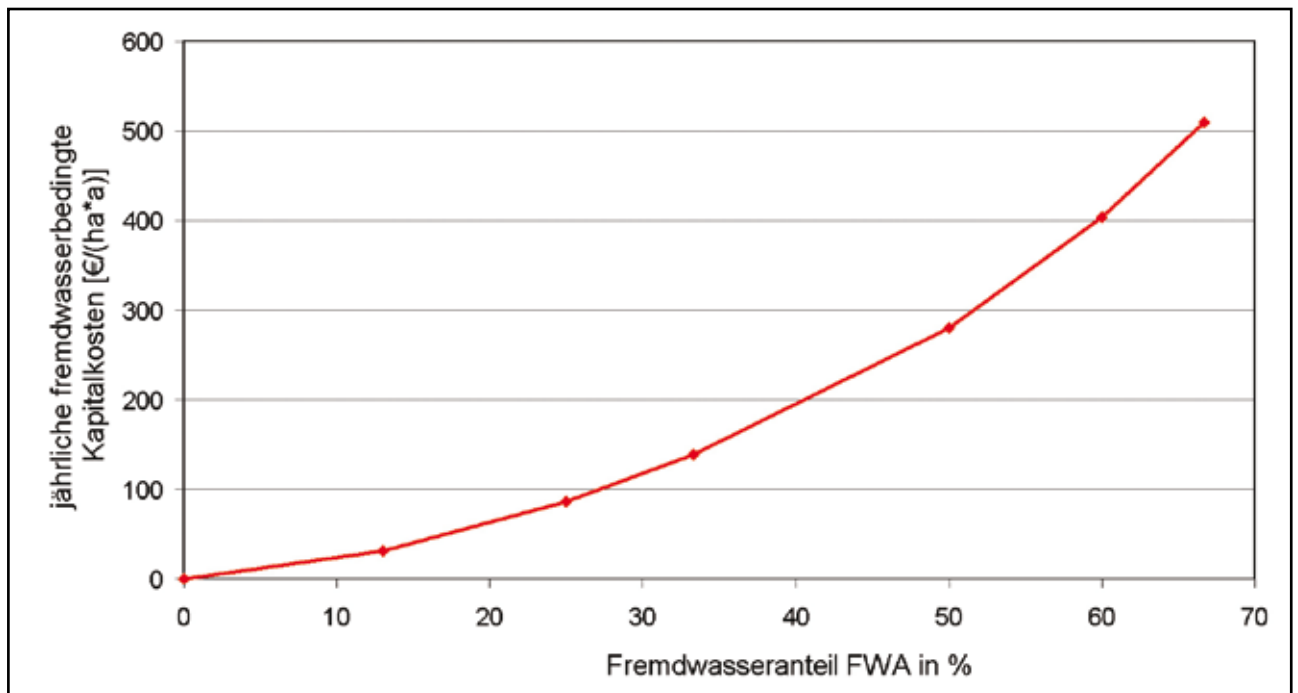


Abb. 15: Jährliche fremdwasserbedingte Kapitalkosten (Bau und Maschinentchnik) für ein typisches Regenüberlaufbecken bei verschiedenen Fremdwasseranteilen (Beispiel aus Abb. 14)

6.2 KLÄRANLAGE

6.2.1 KAPITALKOSTEN KLÄRANLAGE

Bei der Bemessung von Kläranlagen wirkt sich Fremdwasser auf die notwendigen Beckenvolumina aus. Die durch Fremdwasser bedingten Kapitalkosten beim Bau von Kläranlagen werden im Folgenden exemplarisch für die bereits zuvor betrachtete 40.000 EW Kläranlage dargestellt. Dabei wurden zuerst die sich bei der Bemessung auf unterschiedliche Fremdwasseranteile ergebenden Volumina für das Vorklärbecken, das Belebungsbecken und das Nachklärbecken berechnet und anschließend die zugehörigen Kapitalkosten ermittelt. Bei der Ermittlung der Kapitalkosten wurden Rechen und Sandfang nicht berücksichtigt, da Fremdwasser auf deren Dimensionierung nur geringe Auswirkungen hat (Kroiss und Prendl, 1996).

Bei der Bemessung des Belebungsbeckens ergab sich eine Besonderheit, die nachfolgend kurz erläutert werden soll. Die Bemessung des Belebungsbeckens wurde nach dem Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131 (2000) durchgeführt. Für den Bereich von 0 bis 50 % FWA erfolgte die Bemessung für den Parameter Stickstoff entsprechend der gängigen Praxis auf $N_{\text{anorg}} = 10 \text{ mg/l}$ im Ablauf in der 24-h-Mischprobe (entsprechend 17-18 mg/l in der qualifizierten Stichprobe). Bei höheren Fremdwasseranteilen kann jedoch mit dieser Bemessungsvorgabe die in der Reinhalteordnung kommunales Abwasser Baden-Württemberg (ROkA, 1993)

vorgeschriebene Frachtreduzierung um 70 % für Stickstoff nicht erreicht werden. Daher wurden bei Fremdwasseranteilen > 50 % die angesetzten Ablaufkonzentrationen jeweils soweit erniedrigt, dass die Forderung der Stickstoffreduzierung um 70 % erreicht wird.

Bemerkenswert ist, dass die Abwasserverordnung und folgend das Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131 eine fremdwasserbedingte gravierende Zunahme der Ablauffrachten und damit eine entsprechende Zunahme der Gewässerbelastung toleriert, solange die zulässige Ablaufkonzentration eingehalten wird. Die Sinnhaftigkeit dieser Regelung könnte durchaus in Frage gestellt werden.

Die jeweils berechneten Volumina sind kumuliert in nachfolgender Abb. 16 dargestellt. In der Summe ergibt sich ein Minimum von 8.680 m³ Gesamtbeckenvolumen bei 50 % Fremdwasseranteil, während das erforderliche Gesamtvolumen bei 0 % Fremdwasseranteil 9.500 m³ bzw. bei 70 % Fremdwasseranteil 9.710 m³ beträgt. Zu beachten ist, dass im Bereich zwischen 0 und 50 % FWA der Wirkungsgrad der Stickstoffelimination (im Diagramm ebenfalls dargestellt) als Folge der Bemessung auf Ablaufkonzentrationen mit zunehmendem Fremdwasseranteil drastisch abnimmt.

Die Umrechnung auf die Kapitalkosten erfolgte unter den gleichen Annahmen wie schon in Abschnitt 6.1.1

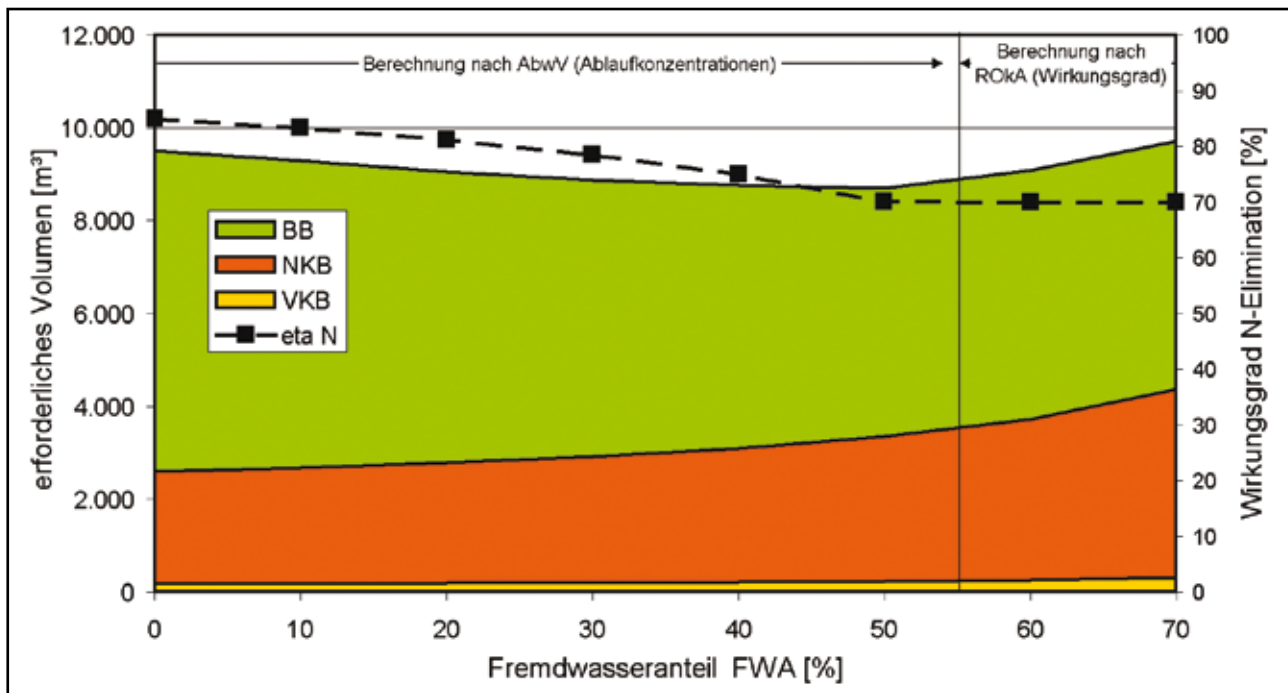


Abb. 16: Erforderliche Volumina für Vorklärbecken, Belebungsbecken und Nachklärbecken sowie Wirkungsgrad der Stickstoffelimination bei Fremdwasseranteilen zwischen 0 und 70 %

angesetzt. Die sich ergebenden jährlichen, fremdwasserbedingten Kapitalkosten sind in nachfolgender Abb. 17 dargestellt.

Entsprechend des in Abb. 16 dargestellten Minimums des erforderlichen Gesamtvolumens der betrachteten Beispielanlage mit 40.000 EW bei 50 % FWA ergibt sich das Minimum der jährlichen, fremdwasserbedingten Kapitalkosten

ebenfalls bei 50 % FWA. Gegenüber dem hypothetischen Fall einer nicht mit Fremdwasser belasteten Kläranlage ergeben sich hier jährlich um 8.000 € geringere Kapitalkosten. Diese theoretische Einsparung von 8.000 €/a wird jedoch mit einer Verschlechterung der Abbauleistung von 85% auf 70% erkaufte. Dies bedeutet eine Verdoppelung der Gewässerbelastung, was die Problematik der derzeit gültigen Bemessungsvorgaben unterstreicht.

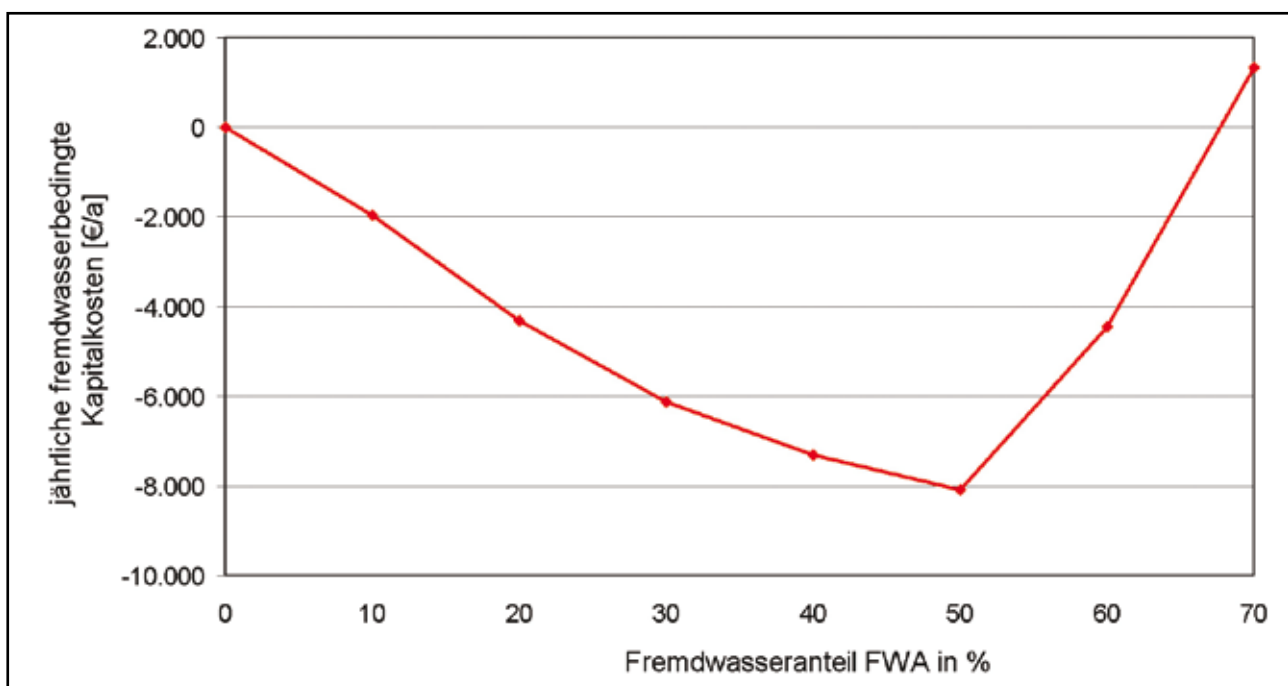


Abb. 17: Jährliche fremdwasserbedingte Kapitalkosten (Bau und Maschinentchnik) für Vorklärbecken, Belebungsbecken und Nachklärbecken bei verschiedenen Fremdwasseranteilen für eine Beispielanlage mit 40.000 EW

6.2.2 BETRIEBSKOSTEN KLÄRANLAGE

Fremdwasser beeinflusst die Betriebskosten einer Kläranlage hauptsächlich durch die Energiekosten für Pumpwerke (Zulauf- bzw. Zwischenhebwerke, Rücklaufschlamm- und Rezirkulationspumpwerke), die Sauerstoffversorgung des Belebungsbeckens und den Fällmittelbedarf zur Phosphat-Fällung. Die Betriebskosten sind dabei jedoch sehr stark vom Einzelfall abhängig. Detaillierte Informationen zu den Betriebskosten der einzelnen Anlagenteile finden sich bei Weideler et al. (2006). Am Beispiel der bereits zuvor verwendeten Kläranlage sind die fremdwasserbedingten Betriebskosten in Abb. 18 dargestellt.⁷

Um die Anforderung für die Phosphatkonzentration im Ablauf gerade noch einzuhalten, kann mit zunehmender Verdünnung durch Fremdwasser weniger Fällmittel eingesetzt werden. Dadurch sinken die Betriebskosten. Auch hier werden Kosteneinsparungen mit erhöhten Gewässerbelastungen erkaufte. Durch einen schlechteren Wirkungsgrad der Phosphatfällung werden höhere Phosphatfrachten in das Gewässer emittiert. Steigende Energiekosten bei zunehmendem Fremdwasseranteil insbesondere für das Zulaufhebwerk führen zu höheren Betriebskosten. Die Kosten für die O₂-Versorgung der Biomasse im Belebungsbecken fallen nicht ins Gewicht.

6.2.3 JAHRESKOSTEN

Die unter 6.2.1 und 6.2.2 in Abhängigkeit vom Fremdwasseranteil berechneten Kapital- und Energie- bzw. Betriebskosten sowie die Summe (Jahreskosten) für eine Beispielkläranlage mit 40.000 EW sind in nachfolgender Abb. 19 gegeben.

Die fremdwasserbedingten Jahreskosten als Summe aus den Betriebs- und Kapitalkosten zeigen ein Minimum bei 40 bzw. 50 % FWA. Die fremdwasserbedingten Jahreskosten liegen hier gegenüber einer nicht mit Fremdwasser belasteten Kläranlage um rund 8.400 € niedriger. Dies ist vor allem auf die abnehmenden Kapitalkosten infolge kleinerer Belebungsbeckenvolumina zurückzuführen. Der Rückgang der fremdwasserbedingten Kosten mit zunehmendem FWA sollte jedoch nicht überbewertet werden, da es sich im Verhältnis zu den absoluten Betriebskosten um relativ geringe Beträge handelt.

6.3 ABWASSERABGABE

Sehr deutlich schlägt sich der Fremdwasseranfall in der Abwasserabgabe nieder. Dies ist Hinblick auf den Gewässerschutz auch dringend erforderlich, weil die Bemessungsvorgaben die erforderliche Schutzwirkung vor fremdwasserbedingten Gewässerbelastungen nicht entfalten.

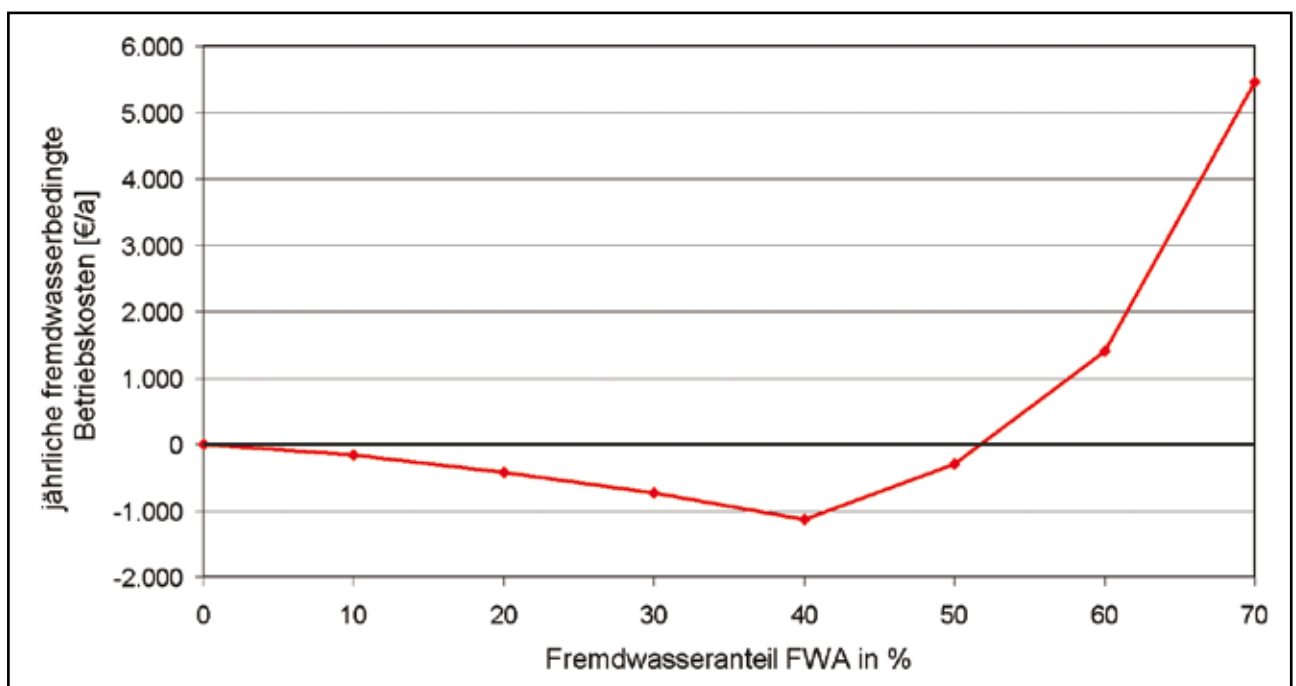


Abb. 18: Jährliche fremdwasserbedingte Betriebskosten bei verschiedenen Fremdwasseranteilen für eine Beispielanlage mit 40.000 EW

⁷ Annahmen: Strompreis: 0,10 €/kWh; Phosphat-Fällung: 2,50 € je kg Al (Natriumaluminat); Zulaufhebwerk mit $\Delta h_{\text{man}} = 5$ m

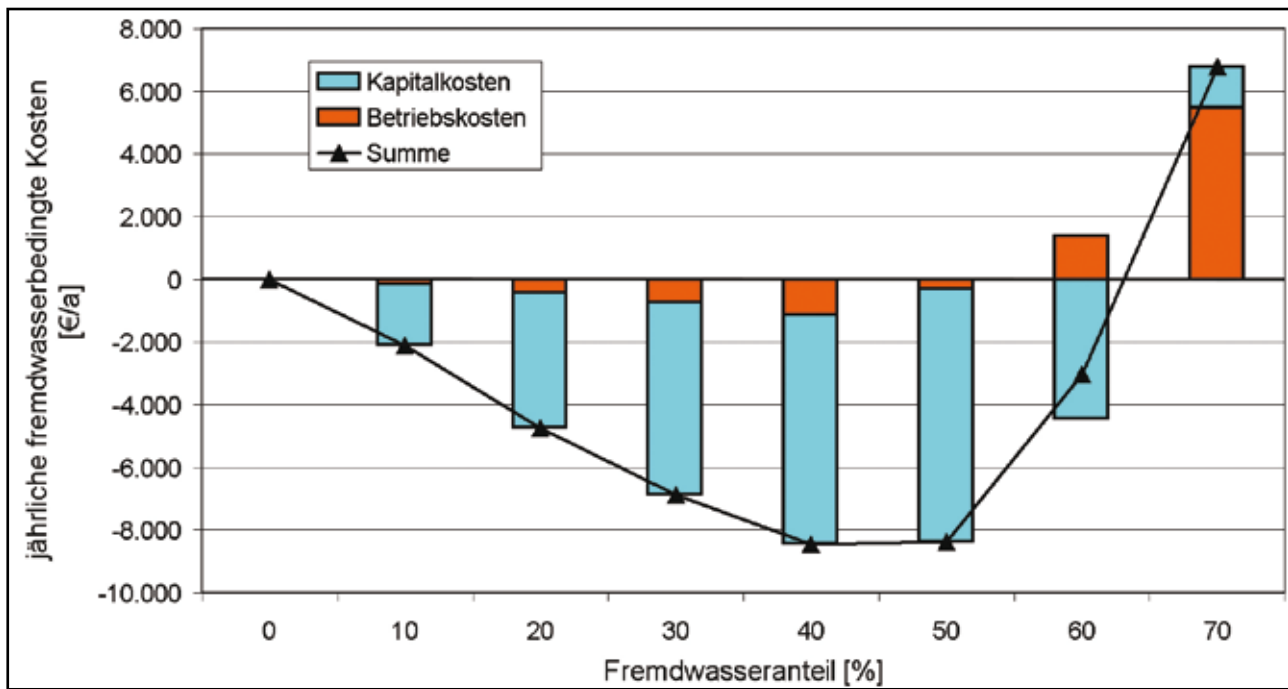


Abb. 19: Fremdwasserbedingte Jahreskosten für eine Beispielanlage mit 40.000 EW bei verschiedenen Fremdwasseranteilen

Eine maßgebliche Größe bei der Berechnung der Abwasserabgabe stellt die Jahresschmutzwassermenge dar, die neben dem eigentlichen Schmutzwasser auch das Fremdwasser beinhaltet. Anhand des Fremdwasseranteils wird zudem geprüft, ob eine Ermäßigung der Abwasserabgabe gewährt werden kann.

Bei der Berechnung der Abwasserabgabe werden die durch die in der Jahresschmutzwassermenge enthaltene Fremdwassermenge verursachten Kosten nicht explizit sichtbar. Um den fremdwasserbedingten Anteil der Kosten herauszuarbeiten, wurde daher in nachfolgendem Beispiel bewusst nur die Abwasserabgabe berechnet, die aus der in der Jahresschmutzwassermenge enthaltenen Fremdwassermenge resultiert. Der exemplarischen Berechnung liegt eine Kläranlage mit 40.000 angeschlossenen Einwohnern zugrunde. Der spezifische Wasserverbrauch wurde zu 125 l/(E·d) angesetzt. Die Überwachungswerte und die höchsten Einzelmessergebnisse der amtlichen Überwachung sind in nachfolgender Tab. 4 gegeben.

Tab. 4: Angenommene Überwachungswerte und höchstes Einzelmessergebnis für eine exemplarische Berechnung der fremdwasserbedingten Abwasserabgabe für Schmutzwassereinleitungen

Parameter	CSB [mg/l]	N _{ges} [mg/l]	P _{ges} [mg/l]
Überwachungswerte	40	15	2,0
höchstes Einzelmessergebnis	35	14	1,9

Die resultierende, ausschließlich fremdwasserbedingte Abwasserabgabe für die beispielhaft betrachtete Anlage ist für verschiedene Fremdwasseranteile in nachfolgender Abb. 20 dargestellt. Für Fremdwasseranteile < 50 % wird auf den Abgabesatz für die Parameter CSB, N und P Ermäßigung gewährt. Für 50 und 60 % FWA können bei den Parametern N und P die Mindestanforderungen mit dem erhöhten Anforderungswert W_h nicht eingehalten werden und es ist der volle Abgabesatz zu entrichten. Bei 70 % FWA trifft dies auch für den Parameter CSB zu. Die schwarzen Balkenanteile im Diagramm entsprechen jeweils der ermäßigten Abwasserabgabe, die grauen Balkenteile stellen den Anteil dar, der aufgrund nicht gewährter Ermäßigung (W_h größer Mindestanforderung) erhoben wird. Dabei ist zusätzlich angegeben, für welche Parameter die Mindestanforderung nicht eingehalten werden konnte.

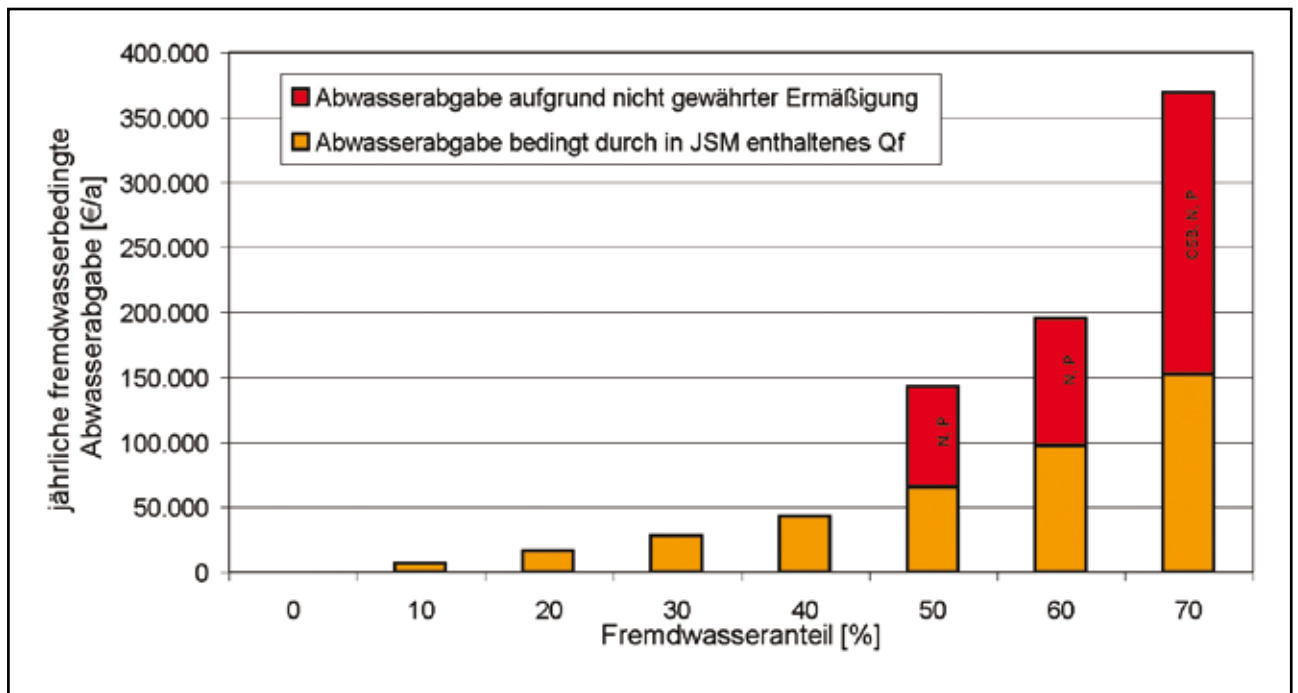


Abb. 20: Fremdwasserbedingte Abwasserabgabe für verschiedene FWA einer KA für 40.000 EW

Als Faustwert kann man für den Bereich < 50 % FWA Sekunde Fremdwasser rund 1.000 € für die Abwasserabgabe für einen konstant über das Jahr auftretenden Liter pro Sekunde angeben.

7 Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung und Fallbeispiele

Das Kanalnetz in einem Einzugsgebiet besteht sowohl aus privaten Entwässerungssystemen (z.B. Grundstücksentwässerungsanlagen, Hausanschlussleitungen) als auch aus den öffentlichen Kanälen. Dabei ist die Länge der privaten Leitungen Schätzungen nach ca. zwei- bis dreimal größer als die Länge der öffentlichen Kanalisationen. Weiter ist die Schadensquote der privaten Leitungen nach heutigen Erfahrungen wesentlich höher als in der öffentlichen Kanalisation (Bosseler et al., 2003a; Bosseler et al., 2003b; Eisner, 2002). Daher müssen bei einer konsequenten Fremdwasserreduzierung auch beide Bereiche betrachtet werden. Jedoch unterscheiden sich sowohl die Inspektions- bzw. Sanierungstechniken als auch die rechtlichen Randbedingungen bei privaten und die öffentlichen Entwässerungssystemen.

7.1 MASSNAHMEN IM ÖFFENTLICHEN BEREICH

Bei den Fremdwasserquellen im Bereich der öffentlichen Kanalisation handelt es sich überwiegend um

- Grundwasserinfiltrationen an schadhaften Rohren und Rohrverbindungen (Abb. 21),
- angeschlossene Oberflächengewässer und Quellen,
- Oberflächenwasser von Außengebieten, die nicht planmäßig durch die Kanalisation entwässert werden sollen (Abb. 22)
- sowie im Trennsystem um den unplanmäßigen Eintritt von Niederschlagswasser beispielsweise über die Lüftungsöffnungen der Schachtabdeckungen.

Durch die Pflicht zur regelmäßigen, systematischen Inspektion und Dichtheitsprüfung des öffentlichen Leitungsbestandes (vgl. auch EKVO, 2001) sollten diese Ursachen den Kommunen in der Regel bereits vollständig bekannt sein.

Für die Behebung baulicher Schäden an Abwasserleitungen steht eine Vielzahl von Verfahren zur Verfügung, welche der einschlägigen Literatur zu entnehmen sind (vgl. z.B. Stein und Niederehe, 1999). Für welches dieser



Abb. 21: Grundwasserinfiltration (Quelle: Gebr. Förster GmbH, Schwanaue)



Abb. 22: Einleitung einer Aussengebietsdrainage aus einem Wegeseitengraben in das Kanalisationsnetz

Verfahren man sich im Einzelfall entscheidet, hängt vorwiegend vom Erscheinungsbild, dem Ausmaß und von der Ursache des zu behebbenden Schadens ab und muss vor einer geplanten Instandsetzung sorgfältig überdacht werden. Grundsätzlich muss das Ziel jeder Schadensbehebung die Wiederherstellung des Sollzustandes sein, der den gleichen Anforderungen genügt, die für neue Kanalisationen gelten.

Die Sanierung der öffentlichen Kanäle hat jedoch in einer Vielzahl von Kommunen keine signifikante Verbesserung der grundwasserbedingten Fremdwasserzuflüsse gebracht. Dies ist darauf zurückzuführen, dass defekte Kanäle durch ihre Drainagewirkung das Grundwasser lokal absenken. Nach deren Sanierung regeln sich die Grundwasserstände

wieder auf ihr natürliches Niveau ein, mit der Folge, dass sich das ansteigende Grundwasser den Weg über Hausdrainagen oder undichte Grundstücksentwässerungsanlagen wieder in die öffentliche Kanalisation sucht. Wenn feststeht, dass große Fremdwassermengen auf Grundwasser zurückzuführen sind, kann eine Fremdwasserreduzierung daher nur mit einer Sanierung sowohl der öffentlichen Kanalisation als auch der privaten Grundstücksentwässerungsanlagen gelingen.

Durch die **Einleitungen von Oberflächengewässern und Quellen sowie Drainagen von Außengebieten** (Abb. 22) werden dem Kanalnetz punktuell oftmals große Mengen an Fremdwasser zugeführt. Somit kann mit punktuellen Maßnahmen eine große Verminderung der Fremdwasserzuflüsse erreicht werden. Allerdings stellt sich die Frage nach der zukünftigen Beseitigung des natürlich vorhandenen Wassers, welches zunächst über die Kanalisation abgeleitet wurde. Möglichkeiten hierzu werden unter 7.3 vorgestellt.

Zur effektiven und wirtschaftlichen Fremdwassersanierung ist es sinnvoll, sich zuerst anhand von Fremdwassermessungen und Begehungen des Einzugsgebietes bzw. mittels Kamerabefahrungen einen Überblick zu verschaffen, an welchen Stellen im Einzugsgebiet wie viel Fremdwasser anfällt. Dann sollten für jede Fremdwasseranfallstelle die Kosten zur Sanierung abgeschätzt werden. Anhand der Informationen, mit welchen finanziellen Aufwendungen wie viel Fremdwasser an den einzelnen Anfallstellen dem Kanalnetz entnommen werden kann, lässt sich eine Prioritätenliste zur Fremdwassersanierung erstellen.

Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung können in Baden-Württemberg mit der Abwasserabgabe verrechnet werden.

7.2 MASSNAHMEN BEI FREMDWASSER VON PRIVATGRUNDSTÜCKEN

7.2.1 KOOPERATION MIT DEM BÜRGER

Im Vergleich zu den bereits vielfach durchgeführten öffentlichen Sanierungsmaßnahmen stehen zahlreiche Kommunen im Hinblick auf die Sanierung privater Abwasserleitungen vor neuen Herausforderungen – nicht

nur technischer, sondern auch rechtlicher und organisatorischer Art. Zwar stehen den Netzbetreibern in den meisten Fällen die entsprechenden Regelungen zur Verfügung, um von den Anschlussnehmern die Sanierung der privaten Leitungen einzufordern. In der Realität aber wird die Sanierung durch die Einlage von Rechtsmitteln durch die betroffenen Bürger erheblich verzögert, wenn nicht sogar verhindert. Außerdem schaden derartige Maßnahmen der Kommunikation zwischen Verwaltung und Bürgern. Um solche Konfrontationen zu vermeiden, sollte über Kostenanreize und Dienstleistungsangebote frühzeitig der Dialog mit Grundstückseigentümern gesucht werden. Für den Bürger stellen Kostenreduzierung sowie die organisatorische Entlastung einen starken Anreiz dar. Für die Kommune steht vor allen Dingen die rasche und konzentrierte Durchführung von Maßnahmen im Vordergrund. Diese Anforderungen treffen sich an dem Punkt, wo die Kommune die Koordination von Dichtheitsprüfungen und anschließenden Sanierungsmaßnahmen im privaten Bereich übernimmt. Zahlreiche Kommunen können bereits auf Erfahrungen mit Kooperationsmodellen zurückblicken. Positive Ergebnisse werden dabei vor allem dann erzielt, wenn sich der kommunale Netzbetreiber als bürgernaher Dienstleister versteht (vgl. Vogel, 2005; Fiedler, 2003; Bosseler und Schlüter, 2004).

7.2.2 ERFASSUNG UND BEWERTUNG DES ZUSTANDES PRIVATER ABWASSERLEITUNGEN

Grundsätzlich sind häusliche Leitungsnetze in ihrer Charakteristik nicht oder nur bedingt mit den öffentlichen Kanalnetzen vergleichbar. Meist sind sie wesentlich komplexer aufgebaut. Das Grundleitungsnetz zwischen Revisionsschacht und Entwässerungsgegenständen im Gebäude ist i.d.R. durch Verzweigungen und Bögen, eingeschränkte oder nicht vorhandene Zugangsmöglichkeiten sowie geringe Rohrdurchmesser gekennzeichnet. Oftmals finden sich in diesem Teil des Abwassernetzes mehrfache Verzweigungen, z.B. eine vom Hauptstrang abzweigende Leitung, die sich dann nochmals gabelt. Mit Abwinkelungen bis hin zu rechtwinkligen Bögen muss gerechnet werden, auch wenn dies gegen geltende Richtlinien (DIN 1986) verstößt. Die Entwässerungspläne für private Netze sind häufig unvollständig oder veraltet. Häufig weichen die tatsächlichen Abwassersysteme von den Angaben in den Planunterlagen ab: dokumentierte Entwässerungsgegen-

stände sind nicht vorhanden, oder es wurden nachträglich Entwässerungsgegenstände angeschlossen, ohne die Pläne zu aktualisieren (Bosseler et al., 2003a).

TV-INSPEKTION

Einzelne Firmen haben sich mit den besonderen Anforderungen an die Zustandserfassung von Hausanschluss- und Grundleitungen auseinandergesetzt und neue, angepasste Gerätetechniken entwickelt (IKT, 2002; ZK, 2003; JT, 2003; IBAK, 2004). Hier sind vor allem die „Lindauer Schere“ der JT-elektronik GmbH (Abb. 23), die Orion L (auch „Kieler Stäbchen“ genannt, Abb. 24) der IBAK GmbH & Co. KG, der „Göttinger Kanalwurm“ der Firma ZK Kanalprüftechnik GmbH sowie eine Satellitenkamera, deren Entwicklung kürzlich in den Niederlanden abgeschlossen wurde (Abb. 25 und Abb. 26), zu nennen.

Alle Geräte wurden speziell für die Zustandserfassung von Grundstücksentwässerungsleitungen entwickelt. Erste Untersuchungen des IKT in Gelsenkirchen (IKT, 2004) zeigen bereits, dass mit dem Kanalwurm weit umfassendere Netzbereiche mit weniger Aufwand untersucht werden können, als es mit herkömmlichen, am Markt verbreiteten Verfahren möglich ist. In der Gemeinde Schwannau konnten bei der Inspektion von Grundstücksentwässerungsanlagen mit dem „Kieler Stäbchen“ der Firma IBAK GmbH & Co. KG ebenfalls sehr gute Resultate erzielt werden.

Vor der Inspektion und Dichtheitsprüfung ist i.d.R. eine Reinigung der häufig stark verschmutzten Leitungen erforderlich. Derzeit werden jedoch auch Systeme entwickelt, die die Reinigung und Inspektion in einem Arbeitsgang bewerkstelligen können.

DICHTHEITSPRÜFUNG MIT WASSER

Wird der bauliche und funktionelle Zustand einer Leitung aufgrund der optischen Inspektion als gut beurteilt und sind ohne weiteres keine Undichtigkeiten zu erkennen, kann das Ex- bzw. Infiltrationspotenzial letztendlich nur auf Basis einer Dichtheitsprüfung mit Luft oder Wasser bewertet werden.

Zur Prüfung Dichtheitsprüfung sollte die Wasserfüllstandsprüfung nach DIN 1986 Teil 30 eingesetzt werden, bei der abhängig von den jeweiligen Randbedin-



Abb. 23: „Lindauer Schere“ der Firma JT-elektronik GmbH



Abb. 24: „Kieler Stäbchen“ der Firma IBAK GmbH & Co. KG



Abb. 25: „Göttinger Kanalwurm“ der Firma ZK Kanalprüftechnik GmbH



Abb. 26: Satellitensystem für Leitungen ab DN 135 der Firma Cues Europa B.V.

gungen der einzelnen Gebäude nur der maximal mögliche Betriebsdruck aufgebracht wird. Jedoch müssen der Leitungsverlauf, -länge und -nennweite bekannt sein. Luftdruckprüfungen können aufgrund der notwendigen Absperrungen i.d.R. in diesen Bereichen nicht oder nur mit hohem Aufwand durchgeführt werden.

FEHLANSCHLÜSSE (TRENNSYSTEM)

In Schmutzwassernetzen im Trennsystem kann mittels **Benebelung** in bewährter Weise festgestellt werden, ob Fehllanschlüsse die Ursache für unplanmäßige Zuflüsse zum öffentlichen Netz sind. Oftmals sind dies an den Schmutzwasserkanal falsch angeschlossene Dach- bzw. Hofentwässerungen, deren Niederschlagswasser planmäßig in den Regenwasserkanal eingeleitet werden soll. In seltenen Fällen kann mit Hilfe einer Benebelung auch der Anschluss von Drainagen nachgewiesen werden, wenn Rauch aus dem das Haus umgebenden Erdreich dringt (Drews, 2002).

7.2.3 SANIERUNG PRIVATER ENTWÄSSERUNGSSYSTEME

Aufgrund der vielfältigen baulichen Randbedingungen und Schadensbilder wurden sehr unterschiedliche Sanierungs- und Reparaturverfahren entwickelt. Neben der klassischen Sanierung in offener Bauweise für die Sanierung von Hausanschlussleitungen stehen z.B. Injektionsverfahren, Roboterverfahren, Kurzlinerverfahren, Rohrstrangverfahren, Schlauchliningverfahren (Abb. 27), Berstverfahren, Flutungsverfahren sowie das Abhängen von Leitungen an der Kellerdecke (Abb. 28) zur Verfügung.

Die Eignung der verschiedenen grabenlosen Verfahren hängt außer von den baulichen Randbedingungen wesentlich von den Schäden im Leitungsnetz ab. Die Auswahl eines geeigneten Sanierungsverfahrens ist grundsätzlich als Einzelfallentscheidung zu treffen. Grundlage für diese Entscheidung ist zunächst eine möglichst detaillierte Aufnahme des zu sanierenden Entwässerungssystems. Erst auf Basis der Ergebnisse von TV-Inspektionen, Ortsbegehungen und der persönlichen Gespräche mit den Grundstückseigentümern kann ein an die jeweilige Situation angepasstes Sanierungskonzept erarbeitet werden.

Jeweils nach Abschluss der Sanierungsarbeiten auf den einzelnen Grundstücken sollten alle sanierten Leitungsab-



Abb. 27: Schlauchlinersanierung über einen Revisionschacht innerhalb eines Hauses: Inversion des Inliners (links), Freischneiden des Liners (rechts)



Abb. 28: Beispiel für ein unter der Kellerdecke abgehängtes Entwässerungssystem

schnitte mit einer TV-Schiebekamera untersucht werden. Diese TV-Untersuchungen bieten dem Ingenieurbüro die Möglichkeit, die Qualität der ausgeführten Arbeiten zu kontrollieren und ggf. Gewährleistungsansprüche gegenüber der ausführenden Firma geltend zu machen. Neben der optischen Inspektion sollte für die sanierten Leitungen auch eine erneute Dichtheitsprüfung durchgeführt werden.

Ist Fremdwasserzufluss auf Hausdrainagen zurückzuführen, so sind diese bei einer Sanierung vom Schmutz- bzw. Mischwasserkanal abzukoppeln. Hierzu liegen bislang jedoch nur vereinzelte Erfahrungen vor. Um eine Vernässung der Gebäude zu verhindern, ist das Drainagewasser jedoch weiterhin abzuführen. Dazu bieten sich die unter 7.3 genannten Möglichkeiten an.

7.2.4 ABSCHÄTZUNG DES PERSONAL- UND KOSTENAUFWANDES

Der Aufwand für die Planung, Vorbereitung und Umsetzung der Maßnahmen richtet sich maßgeblich nach den lokalen Randbedingungen. So ist zu erwarten, dass sich die Kosten für eine Sanierung im Innenstadtbereich deutlich von denen einer Sanierung in locker bebauten Wohngebieten unterscheiden werden. Zumeist setzen sich die Gesamtkosten für eine Sanierung von Grundstücksentwässerungseinrichtungen im Wesentlichen zusammen aus den Einzelkosten für

- die Sanierungsplanung,
- die Durchführung von Inspektions- und Reinigungsarbeiten und
- die Umsetzung der eigentlichen Sanierungsmaßnahmen.

Am Beispiel einer eher locker bebauten Wohnsiedlung mit überwiegend freistehenden Einfamilienhäusern wird im Folgenden aufgezeigt, welche ungefähren Personal- und Investitionskosten für die Bearbeitung der einzelnen Arbeitspositionen ggf. entstehen können (vgl. Bosseler et al., 2003b).

Für die **Sanierungsplanung**, die auch die Begleitung und Abnahme der Inspektions- und Sanierungsmaßnahmen beinhaltet, benötigt ein Ingenieur durchschnittlich 16,5 Stunden. Einem Ingenieur ist demnach die vollständige Bearbeitung von ca. 105 Grundstücken pro Jahr möglich. Dies bestätigen auch die Erfahrungen aus anderen Städten. So kommt die Stadt Göttingen nach mehrjährigen Erfahrungen zu dem Schluss, dass ein Ingenieur, der ausschließlich mit diesen Aufgaben beschäftigt ist, im Jahr etwa 120 bis max. 150 Grundstücke abschließend bearbeiten kann. Besteht bei besonders vielen der bearbeiteten Grundstücke Sanierungsbedarf, so lassen sich nur wesentlich weniger Grundstücke bearbeiten (Eisener, 2003).

Für die **Reinigung und Inspektion** privater Leitungen können von der Kommune bei großer Stückzahl ggf. feste Kostenpauschalen pro Grundstück ausgehandelt werden. Erfahrungen zeigen, dass diese Kostenpauschalen in einer Größenordnung von rund 150 bis 200 € liegen können (vgl. Bosseler et al., 2003b).

Die Kosten für die **Sanierung** hängen stark vom Zustand, der Länge der Leitungen und vom eingesetzten Verfahren ab. Als Anhaltspunkt können durchschnittlich Kosten von rund 3.500 € je Grundstück angegeben werden. Je nach Schadensbild sind jedoch erhebliche Abweichungen nach oben oder unten möglich. So werden von Vogel (2005) für das Pilotprojekt Schwanau-Allmannsweier Werte zwischen weniger als 1.500 € bis maximal ca. 11.000 € je Grundstück genannt.

7.3 ALTERNATIVE ABLEITUNG VON FREMDWASSER

Soll Fremdwasser aus Oberflächengewässern, Quellen, drainierten Außengebieten und Hausdrainagen vom öffentlichen Kanalnetz abgekoppelt werden, so muss für dieses Wasser eine alternative Ableitungsmöglichkeit geschaffen werden. Relativ einfach ist dies in bestehenden Trennsystemen umzusetzen. Hier kann der bestehende Regenwasserkanal genutzt werden, um Fremdwasser in einen Vorfluter bzw. eine zentrale Versickerungsanlage abzuleiten. Für Hausdrainagen wird aufgrund der Höhenlage des Regenwasserkanals in vielen Fällen eine Hebeanlage erforderlich sein. Auch bei bestehenden Mischsystemen sollte mit erster Priorität geprüft werden, ob für das abzuleitende Wasser nicht bereits bestehende Infrastrukturen genutzt werden können. Hier bieten sich vor allem – entsprechende hydraulische Reserven vorausgesetzt – Entlastungskanäle von Regenüberlaufbecken an. Ist dies nicht möglich, kann vormals in den Kanal abgeleitetes Wasser mit einer Oberflächenableitung (siehe Abb. 29) abgeführt werden. Die oberirdischen Ableitungen können zur Orts- bzw. Stadtbildgestaltung genutzt werden und finden bei der Bevölkerung oftmals breite Akzeptanz. Allerdings ist der Betrieb von oberirdischen Ableitungen mit einem nicht zu vernachlässigenden Wartungsaufwand verbunden (Laubentfernung im Herbst, Böschungen mähen, Abfall entfernen, etc.).

Im Rahmen von Fremdwassersanierungen können auch Rohr-in-Rohr-Lösungen zur Ableitung von Fremdwasser angewendet werden (siehe Abb. 30). In den dargestellten Beispielen wird im inneren Rohr Fremdwasser abgeleitet. Sofern es die hydraulischen Randbedingungen zulassen, ist auch die Ableitung von Schmutzwasser im inneren und von Niederschlags- und Fremdwasser im äußeren



Abb. 29: Verschiedene Formen der oberirdischen Ableitung

Rohr denkbar. Rohr-in-Rohr-Lösungen sind derzeit nur in begehbaren Kanälen anwendbar (Montage).

Als weitere Möglichkeit bieten sich neu zu verlegenden Fremd- oder Regenwasserkanal an. Jedoch gestaltet sich die Trassierung eines neuen Kanals insbesondere in dicht besiedelten Einzugsgebieten aufgrund kreuzender Versor-

gungsleitungen etc. oft schwierig. Entsprechende hydrogeologische Randbedingungen vorausgesetzt, bietet sich zum Umgang mit Fremdwasser die Möglichkeit einer Versickerung an. Dabei ist unbedingt zu prüfen, ob das versickerte Wasser auf undurchlässigen Bodenschichten abfließt und auf unterhalb gelegenen Grundstücken erneut als Schichtenwasser anfällt und dortige Drainagen belastet.



Abb. 30: Rohr-in-Rohr-Lösung zur Ableitung von Fremdwasser (links abgehängte Fremdwasserleitung in Göppingen, rechts Sohlleitung zur Ableitung eines Baches im Mischwassersammler in Freiberg/Sachsen (Bild: Kovacic Ingenieure GmbH, Sigmaringen))

8 Literaturverzeichnis

AbwAG (2005): Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserabgabengesetz – AbwAG) vom 18. Januar 2005 (BGBl. I 2005 S. 114)

ATV (1999): Senkung des Stromverbrauchs auf Kläranlagen – Leitfaden für das Betriebspersonal, ATV Landesgruppe Baden-Württemberg, Stuttgart, 1999

ATV-DVWK (2000): Arbeitsblatt ATV-DVWK–A 131 Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen, ATV-DVWK, Hennef, 2000

ATV-DVWK (2003): Fremdwassersituation in Deutschland, Arbeitsbericht der ATV-DVWK-Arbeitsgruppe ES-1.3 „Fremdwasser“, KA – Abwasser, Abfall 2003 (59) Nr. 1, S. 70-81

Bosseler, B. Puhl, R. Harting, K. (2003a): Zustanderfassung und Dichtheitsprüfung von Hausanschluss- und Grundleitungen; Endbericht zum Vorhaben I: Dichtheitsprüfungen an Hausanschluss- und Grundleitungen – Einsatzgrenzen, Verfahren, Prüfkriterien und Vorhaben II: Grundlagen der Sanierungsplanung für Hausanschluss- und Grundleitungen; Gelsenkirchen, April 2003; download unter www.ikt.de

Bosseler, B. Puhl, R. Birkner, T. (2003b): Koordination von Planungs- und Baumaßnahmen zur Fremdwasserverminderung im öffentlichen und privaten Bereich; Endbericht des IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur im Auftrag der Stadt Rheine, gefördert vom Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW; Gelsenkirchen, Dezember 2003

Bosseler, B. Schlüter, M. (2004): Sanierung von Hausanschlussleitungen - Pilotprojekt Stadt Würselen; Abschlussbericht des IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur im Auftrag der Stadt Würselen, gefördert vom MUNLV NRW; Gelsenkirchen, Januar 2004

Decker, J. (1998): Auswirkungen von Fremdwasser auf Abwasseranlagen und Gewässer, Gewässerschutz - Wasser - Abwasser, Band 168, Aachen, 1998

DIN 1986 (1988): Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke; Teil 1: Technische Bestimmungen für den Bau, Juni 1988 (abgelöst durch DIN EN 12056); Teil 3: Regeln für Betrieb und Wartung; Juli 1982; Teil 4: Verwendungsbereiche von Abwasserrohren und -formstücken verschiedener Werkstoffe, November 1994; Teil 30: Instandhaltung, Februar 2003; Teil 100: Zusätzliche Bestimmungen zu DIN EN 752 und DIN EN 12056, Beuth Verlag, März 2000

DIN 4045 (2003): Abwassertechnik – Grundbegriffe, August 2003, Beuth-Verlag

DIN EN 752-1 (1995): Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Teil 1: Allgemeines und Definitionen, Deutsche Fassung, November 1995, Beuth Verlag

Drews, D. (2002): Falscheinleiterfeststellung durch Nebeln im Kanalnetz der Stadt Flensburg; Tagungsband IKT-Forum Fremdwasser, Neumünster, 2002.

Eisener, W. (2003): Sanierungskonzepte für Grundstücksentwässerungen; Vortrag im Rahmen des IKT-Forums „Grundstücksentwässerung 2003“; Gelsenkirchen, Juni 2003.

EKVO (2001): Verordnung des Ministeriums für Umwelt und Verkehr über die Eigenkontrolle von Abwasseranlagen (Eigenkontrollverordnung – EKVO) vom 20. Februar 2001

Fuchs, S. Lucas, H. Brombach, H. Weiß, G. Wittenberg, H. (2001): Quantifizierung der saisonalen und naturräumlichen Bedeutung von Fremdwasserzuflüssen in Mischsystemen, Schlussbericht im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, 2001

- Günthert, F.W. Reicherter, E. (2001):** Investitionskosten der Abwasserreinigung, Oldenbourg Industrieverlag, München, 2001
- Hager, W. Bretscher, U. Raymann, B. (1984):** Methoden zur indirekten Fremdwasserermittlung in Abwassersystemen, Gas-Wasser-Abwasser 7 (64), S. 450-461
- IBAK (2004):** Firmeninformation der IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG, Kiel 2004
- IKT (2002):** IKT-Gesprächsprotokoll, Firma CUES EUROPA BV, 23.09.2002; Maastricht, Niederlande
- IKT (2004):** Forschungsvorhaben „Erfahrungsbericht zum Einsatz eines neuartigen Verfahrens der Zustandserfassung von Hausanschluss- und Grundleitungen bei Netzbetreibern in NRW“; IKT-Institut für Unterirdische Infrastruktur; Abschluss in 2004
- JT (2003):** Firmeninformation der JT-elektronik GmbH, Lindau, 2003
- Kroiss, H. Prendl, L. (1996):** Einfluss von Fremdwasser auf Abwasserreinigungsanlagen, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 140, S. 71-90, 1996
- LfU (2001):** Regenwasserbehandlung und Kläranlage – Leistungsreserven erkennen und nutzen, Reihe Siedlungswasserwirtschaft, Band 16, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, 2001
- LfU (2006):** Leitfaden Abwasserabgabe – Arbeitshilfen für die Festsetzungsbehörden, Teil 2 Beispiele, Reihe Siedlungswasserwirtschaft, Band 19, 4. Auflage, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, 2006 (kostenloser Download unter www.lubw.baden-wuerttemberg.de)
- Popp, M. Feik, G. Baum, R. Stotz, G. (2002):** Bestimmung des Fremdwasseraufkommens im Einzugsgebiet der Kläranlage Erlangen, KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 2002 (49) Nr. 7, S. 946-955
- ROkA (1993):** ROkA - Reinhaltordnung kommunales Abwasser - Baden-Württemberg - GBl. 1993 S. 746, 1997 S. 278
- Schwentner, G. Spens, W. Bundschuh, R. (2005):** 31. Leistungsvergleich der kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg, DWA Landesverband Baden-Württemberg, Stuttgart, 2005
- Sitzmann, D. (2000):** Erfahrungen mit Fremdwassermessungen, Gewässerschutz - Wasser - Abwasser, Band 177, S. 29/1-29/10, Aachen, 2000
- Stein, D. Niederehe, W. (1999):** Instandhaltung von Kanalisationen, 3. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1999
- Vogel, M. (2005):** Fremdwasserreduzierung unter Einbeziehung privater Grundstücksentwässerungsanlagen; Beispiel: Schwanau, Vortrag bei der Dienstbesprechung Kommunales Abwasser und Gewässerschutz des Umweltministerium Baden-Württemberg, 27. und 28. Juni 2005
- ZK (2003):** Firmeninformation der ZK Kanalprüftechnik GmbH, Wettstetten, 2003

