




Siedlungswasser-  
wirtschaft 21

# Fremdwasser in kommunalen Kläranlagen – Erkennen, bewerten und vermeiden –


 Langfassung



Baden-Württemberg



# Fremdwasser in kommunalen Kläranlagen - Erkennen, bewerten und vermeiden-

 Langfassung

<b>HERAUSGEBER</b>	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe <a href="http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de">www.lubw.baden-wuerttemberg.de</a>
<b>BEARBEITUNG/REDAKTION</b>	Umweltministerium Baden-Württemberg, Ref. 53 – Gewässerreinigung, Wasserwirtschaftl. Übereinkommen Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU), Referat 41 – Fließgewässer, Integrierter Gewässerschutz Universität Stuttgart - Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte u. Abfallwirtschaft; Dipl.-Ing. A. Weidelener; Dipl.-Ing. J. Krampe IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur GmbH Dipl.-Ing. T Birkner; Dr.-Ing. B. Bosseler
<b>TITELBILD</b>	Rainer Steinmetz
<b>BEZUG</b>	Umweltministerium Baden-Württemberg
<b>ISSN</b>	1437-014X (Band 21, 2007)
<b>ISBN</b>	978-3-88251-321-2
<b>STAND</b>	Februar 2007
<b>LAYOUT</b>	Dipl.-Ing. J. Schmeißer, 76187 Karlsruhe

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



<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>		7
<b>1</b>	<b>EINFÜHRUNG</b>	9
<b>2</b>	<b>GRUNDLAGEN</b>	10
2.1	Definition des Begriffes „Fremdwasser“	10
2.2	Quantifizierung von Fremdwasser	10
2.3	Rechtliche Grundlagen	11
2.3.1	Europäische Gesetzgebung	11
2.3.2	Gesetzgebung des Bundes	11
2.3.3	Landesgesetzgebung Baden-Württemberg	12
2.3.4	Kommunale Entwässerungssatzungen	13
2.4	Fremdwasser messen	16
2.4.1	Fremdwassermessung auf der Kläranlage	16
2.4.1.1	Allgemeines	16
2.4.1.2	Methode des Gleitenden Minimums	17
2.4.1.3	Berechnung des Fremdwasseranteils für Kläranlagen ohne automatische Durchflussmessung unter Verwendung von CSB-Zulaufwerten	18
2.4.1.4	Dreiecksmethode	19
2.4.1.5	Jahresschmutzwassermethode	20
2.4.1.6	Minimaler Zufluss bei Nacht	20
2.4.1.7	Chemische Methode nach Hager et al.	21
2.4.1.8	Vergleich der Methoden	22
2.4.1.9	Messung der Isotopen	24
2.4.2	Fremdwassermessung im Kanalnetz	31
2.4.2.1	Eingrenzung von Fremdwasserquellen im Kanalisationsnetz	31
2.4.2.2	Randbedingungen und Vorgehensweise	32
2.4.2.3	Vorbereitende Maßnahmen	35
2.4.2.4	Fremdwassermengenummessungen	36
2.4.2.5	Darstellung und Bewertung der Ergebnisse einer Fremdwassermengenummessung	39
<b>3</b>	<b>AKTUELLE SITUATION IN BADEN-WÜRTTEMBERG</b>	42
<b>4</b>	<b>ÖKOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN ERHÖHTEN FREMDWASSERANFALLS</b>	43
4.1	Stoffeintrag im Bereich der Mischwasserbehandlung	43
4.2	Stoffeintrag durch Kläranlagen	46
4.2.1	Allgemeines	46
4.2.2	Temperaturabnahme mit zunehmendem Fremdwasseranteil	46
4.2.3	Simulation mit dem ASM 1	47
4.2.4	Auswertung von Messungen auf Kläranlagen	53
<b>5</b>	<b>ÖKONOMISCHE AUSWIRKUNGEN ERHÖHTEN FREMDWASSERANFALLS</b>	57
5.1	Abwasserableitung / Mischwasserbehandlung	57
5.1.1	Kapitalkosten	57

5.1.2	Betriebskosten	57
5.2	Kläranlage	58
5.2.1	Kapitalkosten Kläranlage	58
5.2.2	Betriebskosten Kläranlage	62
5.2.3	Jahreskosten	63
5.3	Abwasserabgabe	64
<b>6</b>	<b>MASSNAHMEN ZUR FREMDWASSERREDUZIERUNG UND FALLBEISPIELE</b>	<b>67</b>
6.1	Maßnahmen im öffentlichen Bereich	67
6.2	Maßnahmen bei Fremdwasser von Privatgrundstücken	68
6.2.1	Eingrenzung der Fremdwasserzuflüsse aus privaten Leitungen	68
6.2.2	Erfassung und Bewertung des Zustandes privater Abwasserleitungen	70
6.2.2.1	Netztypen	71
6.2.2.2	Technische Anforderungen	73
6.2.2.3	TV-Inspektion, elektromagnetische Ortung und Tracer	74
6.2.2.4	Dichtheitsprüfung	75
6.2.2.5	Fehlanschlüsse (Trennsystem)	78
6.2.2.6	Reinigung	78
6.2.3	Planung, Vorbereitung und Durchführung von Sanierungsmaßnahmen	79
6.2.3.1	Kooperation mit dem Bürger	79
6.2.3.2	Sanierung privater Entwässerungssysteme	81
6.2.3.3	Dokumentation und Abnahme der Sanierungsmaßnahmen	86
6.2.3.4	Sanierungsmöglichkeiten bei Einleitungen von Drainagewasser	86
6.2.3.5	Erschließung von Baugebieten	88
6.2.4	Abschätzung des Personal- und Kostenaufwandes	88
6.2.4.1	Personalaufwand für die Sanierungsplanung	88
6.2.4.2	Inspektions- und Reinigungskosten	89
6.2.4.3	Sanierungskosten	89
6.3	Alternative Ableitung von Fremdwasser	90
<b>8</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>94</b>
<b>ANHANG</b>		<b>100</b>
Anhang A:	Formblatt: Fremdwasserermittlung mit „Chemischer Methode“ nach Hager et al. (1984)	101
Anhang B:	Fremdwasserermittlung und Bewertung mit automatischer Durchflussmesseinrichtung (nach der damaligen ATV-Landesgruppe Baden-Württemberg, heute DWA-Landesverband Baden-Württemberg)	103
Anhang C:	Checkliste zur Planung einer Fremdwassermengenmessung mit einem portablen MID-Messsystem	105
Anhang D:	Checkliste zur Durchführung einer Fremdwassermengenmessung mit einem portablen MID-Messsystem	109





# Zusammenfassung

☛ Fremdwasser und seine Auswirkungen sind seit einiger Zeit verstärkt in den Blickpunkt von Behörden, Planern und Betreibern von Abwasseranlagen gerückt. Die Abteilung Abwassertechnik des Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart wurde daher vom Umweltministerium Baden-Württemberg mit der Durchführung eines Untersuchungsvorhabens und der Erstellung eines Leitfadens zum Thema Fremdwasser beauftragt. Da zum Zeitpunkt des Projektbeginns in Baden-Württemberg – im Gegensatz z.B. zu Nordrhein-Westfalen – noch keine praktischen Erfahrungen zur Fremdwassersanierung bei Grundstücksentwässerungsanlagen vorhanden waren, wurde das IKT - Institut für unterirdische Infrastruktur in Gelsenkirchen, welches schon über eine Vielzahl von Erfahrungen zu diesem Thema verfügt, in das Projekt mit einbezogen.

Der vorliegende Abschlussbericht behandelt zuerst wasserwirtschaftliche und gesetzliche Grundlagen zum Thema Fremdwasser. Es werden dann alle derzeit üblichen Methoden zur Fremdwassermessung sowohl auf der Kläranlage als auch im Kanalnetz erläutert und diskutiert. Dabei hat sich gezeigt, dass die bislang weit verbreitete Fremdwasserbestimmung auf Kläranlagen nach der Methode des minimalen Zuflusses bei Nacht mit z.T. erheblichen Unsicherheiten verbunden ist. Aufgrund der durchgeführten Auswertungen wird zukünftig zur Fremdwasserermittlung auf Kläranlagen die Anwendung der Methode des Gleitenden Minimums empfohlen. So wurde z.B. schon der Leistungsvergleich 2004 kommunaler Kläranlagen des DWA-Landesverbandes Baden-Württemberg und die Fremdwasserermittlung im Rahmen der Abwasserabgabeerklärung (UVM, 2004) auf die Methode des Gleitenden Minimums umgestellt. Mit dieser Methode lässt sich der Fremdwasseranfall realistisch einordnen und die Ermittlung ist weitgehend frei von subjektiven Einflüssen. Im Rahmen des durchgeführten Projektes wurde weiter eine aus der Hydrogeologie bekannte Isotopenmethode zur Fremdwasserbestimmung adaptiert. Es zeigte sich jedoch, dass die Fremdwasserbestimmung aufgrund der Messung von Isotopen nicht für eine breite Anwendung geeignet ist. Weiter werden verschiedene Vorgehensweisen zur Fremdwassermessung im Einzugsgebiet einer Kläranlage zur Einordnung der Fremdwasserbelastung der zugehörigen Teileinzugsgebiete detailliert beschrieben.

Zur Sanierung von Fremdwasserzuflüssen werden verschiedenste Maßnahmen aufgezeigt. Dabei werden sowohl Maßnahmen im öffentlichen Bereich als auch für Grundstücksentwässerungsanlagen behandelt, da sich in der Vergangenheit gezeigt hat, dass die alleinige Sanierung im öffentlichen Bereich oftmals nicht zum gewünschten Erfolg geführt hat.


Als „Motivation“ für die Auseinandersetzung mit dem Thema Fremdwasser werden die Auswirkungen erhöhten Fremdwasseranfalls auf das Kanalnetz und die Kläranlage unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten aufgezeigt. Die ökologischen Auswirkungen wurden dabei vor allem mit Hilfe von Simulationsrechnungen untersucht, weiter wurden auch Betriebsdaten von Kläranlagen in Baden-Württemberg ausgewertet. Für Regenüberlaufbecken konnte festgestellt werden, dass einerseits die entlasteten Frachten durch Fremdwasser zum Teil signifikant ansteigen, insbesondere dann, wenn der tatsäch-

liche Fremdwasseranfall den in der Bemessung angenommen übersteigt. Andererseits ergeben sich durch Fremdwasser bedingt größere erforderliche Beckenvolumina und entsprechend höhere Kapitalkosten, wenn der tatsächliche Fremdwasseranfall bei der Bemessung von Regenüberlaufbecken berücksichtigt wird.

Im biologischen Reinigungsprozess von Kläranlagen wirkt sich Fremdwasser auf den erzielbaren Wirkungsgrad insbesondere für den Parameter Stickstoff aus. Hier ist mit zunehmendem Fremdwasseranteil eine Zunahme der Ablaufracht zu verzeichnen, die vor allem auf einen Temperaturrückgang im biologischen Reaktor infolge des kalten Fremdwassers mit entsprechend geringeren Umsatzraten der nitrifizierenden Mikroorganismen zurückzuführen ist. Für alle untersuchten Parameter konnte mit zunehmendem Fremdwasseranteil zwar eine leichte Abnahme der jeweiligen Ablaufkonzentrationen beobachtet werden, aufgrund der größeren Wassermengen geht dies aber trotzdem immer mit einer Zunahme der Ablaufracht und einem Rückgang der Eliminationsleistung einher. In der Praxis sind weiter oftmals überlastete Nachklärbecken mit Schlammabtrieb zu beobachten, wenn bei der Bemessung der tatsächliche Fremdwasseranfall unterschätzt wurde.

Beim Bau von Kläranlagen ergeben sich mit zunehmendem Fremdwasseranteil leicht abnehmende Beckenvolumina und damit geringere Kapitalkosten, wenn die Bemessung der Anlage (wie derzeit üblich) auf einzuhaltenden Ablaufkonzentrationen beruht. Wird der Bemessung jedoch ein einzuhaltender Wirkungsgrad (z.B. 70 % für Stickstoff) zugrunde gelegt, ergeben sich mit zunehmendem Fremdwasseranteil größere erforderliche Beckenvolumina und entsprechend höhere Kapitalkosten.

Sowohl bei der Abwasserableitung als auch bei der Abwasserreinigung bewirkt Fremdwasser vor allem dann höhere Betriebskosten, wenn Abwasser gepumpt werden muss (Pumpwerke, Zulauf- oder Zwischenhebewerke).

Da Fremdwasser in der Jahresschmutzwassermenge enthalten ist (eigentlich müsste der Ausdruck besser Jahrestrockenwettermenge heißen) erhöht sich die Abwasserabgabe mit zunehmendem Fremdwasseranfall. Wird ein Fremdwasseranteil von 50 % überschritten, entfällt unter bestimmten Randbedingungen die Ermäßigung auf die Abgabesätze, was zu einer zusätzlichen Erhöhung der Abwasserabgabe führt. Schon seit einigen Jahren besteht in Baden-Württemberg jedoch die Möglichkeit, Maßnahmen zur Reduzierung des Fremdwasserzuflusses mit der Abwasserabgabe für Schmutzwassereinleitungen zu verrechnen. Da sich ohne diesen finanziellen Anreiz die Fremdwassersanierung oftmals nicht wirtschaftlich darstellen lässt, stellt die Abwasserabgabe eine sehr gute Steuerungsmaßnahme zur Fremdwasserreduzierung dar. 

# 1 Einführung

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.

Nachdem für Kläranlagen, neben der Einhaltung von Ablaufkonzentrationen, auch die Eliminationsleistung für Stickstoff 70 % oder mehr betragen muss, ist das Thema Fremdwasser in Baden-Württemberg in den Blickpunkt der Abwasserfachleute gerückt, da durch hohe Fremdwasseranteile im Zulauf der Kläranlage u. a. der Wirkungsgrad der Stickstoffelimination abnimmt.

Vor allem in Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen wurden schon viele Erfahrungen bei der Fremdwassersanierung – jedoch vorwiegend bei Trennsystemen – gesammelt. Da die dort angewendeten Lösungen aufgrund der lokalen Besonderheiten in Baden-Württemberg jedoch nur bedingt übertragbar sind, wurden auch in Baden-Württemberg vermehrt Entwicklungsvorhaben sowie Forschungs- und Pilotprojekte zum Thema Fremdwasser initiiert. Dabei stehen die in Baden-Württemberg weit verbreiteten Mischsysteme im Vordergrund.

Aufgrund der Aktualität des Themas „Fremdwasser“ und der auch in Baden-Württemberg z. T. großen Probleme mit Fremdwasser und dessen Auswirkungen wurde das Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart im Dezember 2002 mit der Durchführung eines Entwicklungsvorhabens zum Thema Fremdwasser beauftragt. Ziel des Projektes war die Erstellung eines Leitfadens zum Thema „Fremdwasser“ auf der Grundlage des vorliegenden Abschlussberichtes.

Da zum Zeitpunkt des Projektbeginns in Baden-Württemberg noch keine praktischen Erfahrungen zur Fremdwassersanierung bei Grundstücksentwässerungsanlagen vorhanden waren, wurde das IKT - Institut für unterirdische Infrastruktur in Gelsenkirchen in das Projekt mit einbezogen, da dort bereits praktische Erfahrung bei der Umsetzung solcher Sanierungen gemacht wurden. Im vorliegenden Bericht sind daher große Teile, vor allem die Kapitel 2 und 6, durch das IKT erarbeitet worden.

# 2 Grundlagen

## 2.1 DEFINITION DES BEGRIFFES „FREMDWASSER“

In technischen Normen finden sich unterschiedliche Definitionen des Begriffs „Fremdwasser“. Während die DIN 4045 (2003) Fremdwasser nach seiner Herkunft als „in die Kanalisation eindringendes Grundwasser (Undichtigkeiten), unerlaubt über Fehlschlüsse 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.

Die Fremdwasserkomponenten unterscheiden sich im Misch und Trennsystem. Einen Überblick gibt Tab. 1.

## 2.2 QUANTIFIZIERUNG VON FREMDWASSER

Die Angabe 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. So bezieht sich die Fremdwasserspense nach ATV-A 128 (1992) auf die reduzierte Fläche  $A_{e,b}$  (früher  $A_{red}$ ), jedoch wird oftmals als Bezugsfläche auch die gesamte kanalisierte Fläche  $A_{e,k}$  eines Einzugsgebietes verwendet.

FWA bzw. FWZ sind wie folgt definiert:

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

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

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

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

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

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

## 2.3 RECHTLICHE GRUNDLAGEN

### 2.3.1 EUROPÄISCHE GESETZGEBUNG

In der Richtlinie des Europäischen Rates über die Behandlung von kommunalem Abwasser (91/271/EWG) heißt es im Anhang I (Anforderungen an kommunale Abwässer), Abschnitt A (Kanalisation) u. a.: Kanalisationen sollen „... den Anforderungen an die Abwasserbehandlung Rechnung tragen“ und

„Bei Entwurf, Bau und Unterhaltung der Kanalisation sind die optimalen technischen Kenntnisse zugrunde zu legen, die keine unverhältnismäßig hohen Kosten verursachen; dies betrifft insbesondere:

- Menge und Zusammensetzung der kommunalen Abwässer,
- Verhinderung von Leckagen,
- Begrenzung einer Verschmutzung der aufnehmenden Gewässer durch Regenüberläufe.“

Bezogen auf die Diskussion um eine Beseitigung bzw. Reduzierung von Fremdwasserabflüssen, kann dies u. a. bereits als Hinweis zur Vermeidung von grundwasserbürtigem Fremdwasser verstanden werden, so z.B. durch die Verhinderung bzw. Beseitigung von Leckagen.

Weiterhin ist davon auszugehen, dass insbesondere Fremdwasser in Mischsystemen auch verstärkt zu einer Belastung der aufnehmenden Gewässer führt, wenn beispielsweise die Anzahl der Entlastungsereignisse an Regenüberläufen und anderen Entlastungsbauwerken zunimmt. Im Sinne der europäischen Richtlinie sollten diese Verschmutzungen begrenzt werden, z.B. im Zuge der Festlegung „... einer bestimmten tragbaren jährlichen Überlaufhäufigkeit“ (91/271/EWG).

### 2.3.2 GESETZGEBUNG DES BUNDES

Die Gesetzgebung des Bundes hinsichtlich der Abwasserbeseitigung lehnt sich in ihren obersten Grundsätzen unmittelbar an die Vorgaben der Europäischen Richtlinie an. So werden diesbezüglich in § 18b Abs. 2 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) ebenso wie in der o. a. EU-Richtlinie „[...] für Errichtung und Betrieb von Abwasseranlagen die allgemein anerkannten Regeln der Technik“ vorausgesetzt.

Hinsichtlich des Sammelns und der Ableitung von Grundwasser, z.B. in Drainagen zum Zwecke der Dränung von zu Wohnzwecken genutzten Grundstücken, ist davon auszugehen, dass dies eine erlaubnis- bzw. bewilligungspflichtige Gewässerbenutzung im Sinne von § 2 Abs. 1, 3 und § 3 Abs. 1 Nr. 6 WHG darstellt (vgl. Barth, 1994). So ist unter einer Benutzung im Sinne des Gesetzes u. a. das „Entnehmen, Zutagefördern, Zutageleiten und Ableiten von Grundwasser“ zu verstehen sofern kein Ausnahmetatbestand greift. Als Ausnahmetatbestände für die Benutzung des Grundwassers gelten u. a. die Entwässerung von z.B. landwirtschaftlich genutzten Grundstücken sowie das Ableiten von Grundwasser für den Haushalt (vgl. § 33 (1) WHG).

Des Weiteren wird in § 7a Abs. 1 WHG zum Verbot der Einhaltung von Ablaufkonzentrationen durch Vermischen oder Verdünnen Stellung bezogen. Statt einer bestimmten Ablaufkonzentration wird die bestmögliche Reduzierung der Schadstofffracht des eingeleiteten Abwassers nach dem derzeitigen Stand der Technik vorgeschrieben. Als Stand der Technik im Sinne des Absatzes 1 gelten entsprechend § 7a Abs. 5 WHG insbesondere solche „Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, die als beste verfügbare Techniken zur Begrenzung von Emissionen praktisch geeignet sind“.

Bezüglich des Verbots der Einhaltung von Ablaufkonzentrationen durch Verdünnen oder Vermischen bestehen außerdem weitere Vorschriften des Bundes:

- **Abwasserverordnung (AbwV):** entsprechend der in § 3 Abs. 3 beschriebenen „Allgemeinen Anforderungen“ dürfen „als Konzentrationswerte festgelegte Anforderungen [...] nicht entgegen dem Stand der Technik durch Verdünnung erreicht werden“. Andernfalls muss gemäß Abs. 4 „... mindestens die

gleiche Verminderung der Schadstofffracht ... wie bei der getrennten Einhaltung der Anforderungen erreicht werden“.

- **Abwasserabgabengesetz (AbwAG):** hinsichtlich der Abgabepflicht wird unter § 9 Abs. 5 darauf verwiesen, dass eine Ermäßigung des Abgabesatzes um 50 % der nicht vermiedenen Schadeinheiten versagt bleibt, sobald ein Erreichen der zulässigen Ablaufkonzentrationen durch Vermischen oder Verdünnen nachweisbar ist.

Darüber hinaus ist es das Strafrecht, welches angeführt werden kann, um die Konsequenzen unverhältnismäßig hoher Fremdwasserabflüsse zu verdeutlichen. Dabei unterstützen die Regelungen des **Strafgesetzbuches StGB** insbesondere die Forderungen nach einem dichten Kanalisationsnetz sowie einer Begrenzung von Abwassereinleitungen aus Entlastungsbauwerken. Maßgebend sind diesbezüglich laut StGB folgende Tatbestände:

§ 324 StGB, nach dem eine unbefugte Gewässerunreinigung (in diesem Fall des Grundwassers bzw. des auf Grund von unverhältnismäßig häufigen Entlastungsereignissen verschmutzten Fließgewässers) strafrechtlich verfolgt wird,

Im **BBodSchG** wird diese Bodenverunreinigung weiter konkretisiert. Gemäß § 4 besteht demnach die Pflicht zur Gefahrenabwehr, die nicht nur den Betreiber des öffentlichen Kanalisationsnetzes sondern auch Grundstückseigentümer dazu verpflichtet, das Abwasser so abzuleiten, dass keine schädlichen Bodenveränderungen hervorgerufen werden. Bei drohender Bodenverunreinigung sind Gegenmaßnahmen einzuleiten.

### 2.3.3 LANDESGESETZGEBUNG BADEN-WÜRTTEMBERG

Weiter konkretisiert werden die Anforderungen des Bundes in den Gesetzen und Verordnungen der Länder. In Baden-Württemberg ist dies insbesondere das **Wassergesetz (WG)** sowie die **Eigenkontrollverordnung (EKVO)**, in denen weitergehende Anforderungen an den Betrieb von Abwasseranlagen sowie die Verminderung von Fremdwassereinleitungen angeführt werden.

Sowohl § 18b WHG als auch § 45a WG verpflichten die Gemeinden, das auf ihrem Gebiet anfallende Abwasser ohne Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit zu beseitigen und Abwasseranlagen entsprechend der a.a.R.d.T. zu betreiben. Die Abwasserbeseitigungspflicht obliegt laut WG den Gemeinden.

Durch die Einleitung von Fremdwasser kann die Kapazität der Kanalisation und der Anlagen zur Mischwasserbehandlung ggf. nicht ausreichend sein, so dass der Betrieb der Abwasseranlagen nicht den a.a.R.d.T. entspricht.

Das Betreiberinteresse an einer Beseitigung von Fremdwassereinleitungen und damit einer Reduzierung des Gesamtabflusses gründet sich zudem auf einer möglichen **Befreiung von der Niederschlagswasserabgabe** gemäß § 114a Abs. 1 WG in Verbindung mit § 7 AbwAG. Voraussetzung für diese Befreiung ist die Einhaltung der Anforderungen an die Einleitungen aus Regenwasserbehandlungsanlagen. Dies bedeutet u.a. auch eine bestmögliche Reduzierung der Entlastungsmengen z.B. durch Verminderung des Fremdwasserabflusses. Mit dieser Regelung des § 114 WG wird somit für die Betreiber auch hinsichtlich der Abwasserabgabe ein finanzieller Anreiz geschaffen, aktiv zur Beseitigung von Fremdwassereinleitungen beizutragen.

Hervorzuheben sind diesbezüglich auch die besonderen Regelungen des baden-württembergischen Wasserrechts zur **maximal zulässigen Verdünnung** des der Kläranlage zugeführten Abwassers. Mit Bezug auf die o.a. Bestimmungen nach § 9 Abs. 5 AbwAG wird im Landesrecht § 115a Abs. 1 WG ein maximal zulässiger Verdünnungsgrad von 50 % Fremdwasseranteil bezogen auf den im Jahresmittel bestimmten Trockenwetterabfluss festgelegt. Bei einer Überschreitung dieses Wertes sind die zulässigen Ablaufkonzentrationen der Kläranlage zu korrigieren und werden in Form von schärferen Anforderungen neu festgelegt. Das Erreichen der im AbwAG zugesagten Abgabermäßigung (vgl. oben) wird hierdurch merklich erschwert. Eine vergleichbare Regelung wurde auch in Bayern eingeführt. Dort liegt die erlaubte Verdünnung bei 25 % Fremdwasseranteil.

Öffentliche Betreiber werden zudem nach der für Baden-Württemberg gültigen EKVO zur Vermeidung und



Reduzierung des Fremdwassereintrags in die öffentliche Kanalisation angehalten. So enthält auch die vom Land erlassene Verordnung, ähnlich der Eigenkontroll- bzw. Selbstüberwachungsverordnungen anderer Bundesländer, Anforderungen an die Überprüfung von Abwasseranlagen. In Baden-Württemberg sind Betreiber von Abwasseranlagen demnach dazu verpflichtet, regelmäßig die im Anhang der Verordnung aufgeführten Untersuchungen durchzuführen, d.h. u.a. „Kanalisationen regelmäßig daraufhin zu überprüfen, ob sie den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechen“. Wesentlicher Bestandteil dieser Wiederholungsprüfung ist die Erfassung des Zustandes der Leitungen in einem Zeitraum von 10, 15 oder 20 Jahren, abhängig von der Lage der Leitungen (z.B. in Wasserschutz-zonen) bzw. dem Ergebnis der erstmaligen Zustandserfassung.

Dabei gilt diese Verordnung laut § 1 ausdrücklich nicht für „Abwasseranlagen zum Anschluss von häuslichem Abwasser an öffentliche Kanalisationen (Hausanschlüsse)“. Die genannten Anforderungen unterstützen somit insbesondere die Vermeidung bzw. Reduzierung von Fremdwassereintritten über undichte Leitungen im Bereich der öffentlichen Kanalisationsnetze in Baden-Württemberg.

#### 2.3.4 KOMMUNALE ENTWÄSSERUNGSSATZUNGEN

Weitergehende Bestimmungen zur Abwasserbeseitigung, auch auf Privatgrundstücken, werden auf kommunaler Ebene in entsprechenden Abwassersatzungen erlassen. Grundlage für den Beschluss sind u.a. § 45b Abs. 4 WG sowie die Gemeindeordnung und das Kommunalabgabengesetz des Landes Baden-Württemberg.

Neben den weitgehend allgemein gehaltenen rechtlichen Anforderungen des Bundes, z.B. im WHG, und des Landes Baden-Württemberg, z.B. im WG, ist es den Kommunen somit möglich, zusätzliche Anforderungen an die Abwasserbeseitigung zu formulieren. Zahlreiche dieser Anforderungen orientieren sich an einer Muster-Abwassersatzung (AbwS), die in einer überarbeiteten Fassung zuletzt 1997 vom Gemeindetag Baden-Württemberg veröffentlicht wurde. Mit Blick auf satzungsrechtliche Möglichkeiten zur Reduzierung des Fremdwassereintrags von privaten Grundstücken werden im Folgenden ausgewähl-

te Inhalte dieser Mustersatzung näher erläutert. Von zentraler Bedeutung sind dabei:

- Allgemeine Bestimmungen zur kommunalen Beseitigungspflicht, Festlegung der beseitigungspflichtigen Abwässer bzw. Einleitungsbeschränkungen und Zuständigkeitsregelungen,
- Bestimmungen zur Genehmigung, Abnahme und Überprüfung von privaten Entwässerungseinrichtungen,
- Technische Anforderungen an Errichtung, Betrieb, Prüfung und Instandhaltung von privaten Entwässerungseinrichtungen sowie
- Bestimmungen zur Verteilung der Kosten für Bau und Instandsetzung auf den Eigentümer bzw. den Abwasserbeseitigungspflichtigen.

Als Grundlage für die kommunale **Beseitigungspflicht**, d.h. die Pflicht zum Sammeln, Fortleiten, etc. wird zunächst auf den bereits o.a. § 45a Abs. 2 WG verwiesen, so dass satzungsrechtlich keine erneute Definition der Abwasserbeseitigung erforderlich ist.

Ebenso wird in § 2 Abs. 1 AbwS auch der **Abwasserbegriff** nicht neu definiert, sondern auf Landesrecht verwiesen. Demnach ist Abwasser das u.a. durch häuslichen Gebrauch in seinen Eigenschaften veränderte Wasser. An dieser Stelle wird bereits deutlich, dass Grundwasser, welches über undichte Leitungen bzw. Drainagen in die private Grundstücksentwässerung gelangt, von der kommunalen Beseitigungspflicht ausgenommen ist. Derartige Einleitungen sollten gemäß Mustersatzung, da sie auch abwassertechnisch nicht erwünscht sind, von der Kommune ausschließlich in Einzelfällen und auf Antrag zugelassen werden. Ggf. können gemäß § 8 AbwS auch bereits über einen längeren Zeitraum geduldete Einleitungen untersagt werden, sofern für diese keine schriftliche Genehmigung der Kommune vorliegt. Möglich sind diese **Einleitungsbeschränkungen** auch mit Bezug auf § 6 AbwS, indem u.a. auf die Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit der öffentlichen Abwasseranlagen durch Fremdwasser hingewiesen wird (vgl. § 45b Abs. 4 WG).

Darüber hinaus können bereits in § 2 Abs. 2 AbwS Regelungen zur **Zuständigkeit** für die Hausanschlussleitung bzw. den Grundstücksanschluss getroffen werden. In der

Mustersatzung wird vorgeschlagen, dass insbesondere der Grundstücksanschluss, d.h. der Teil der Hausanschlussleitung, welcher außerhalb von Privatgrundstücken verläuft, der öffentlichen Zuständigkeit unterliegt. Alternativ ist eine satzungsrechtliche Regelung denkbar, nach der die gesamte Hausanschlussleitung vom Gebäude bis zum Anschluss an den öffentlichen Kanal dem privaten Eigentümer zugesprochen wird. Dieser wäre damit auch für den Betrieb und die Unterhaltung der Anschlussleitung verantwortlich.

In jedem Fall bedarf die Herstellung bzw. Änderung einer Grundstücksentwässerung der schriftlichen **Genehmigung** durch die Kommune entsprechend § 15 AbwS. Dabei müssen aus dem Antrag u.a. auch die Menge und Zusammensetzung des anfallenden Abwassers hervorgehen, so z.B. die Einleitung von Drainagewasser. Vor Inbetriebnahme der Grundstücksentwässerung behält sich die Kommune zudem vor, eine **Abnahme und Prüfung** der Anlage durchzuführen (vgl. § 21 AbwS). Ziel der Abnahme ist die Überprüfung der fachgerechten Ausführung nach den a.a.R.d.T. und damit auch die Überprüfung auf unzulässige Einleitungen von z.B. Drainagewasser. Eine Überprüfung der Grundstücksentwässerung kann von der Kommune jederzeit verlangt bzw. angeordnet werden. Der Eigentümer ist nach § 21 AbwS dazu verpflichtet, dies zu dulden bzw. auch zu unterstützen. Ggf. festgestellte Mängel sind vom Eigentümer unverzüglich zu beseitigen. Welche Prüfkriterien eine Kommune dabei im Einzelnen ansetzt, wird in der Mustersatzung nicht näher konkretisiert. Mit dem Verweis auf die Einhaltung der a.a.R.d.T. ist z.B. ein Nachweis der Dichtheit nach den Anforderungen der DIN 1986 grundsätzlich denkbar.

Auch in den Erläuterungen zum Satzungsmuster wird hinsichtlich der **technischen Anforderungen** an die Herstellung und den Betrieb von Grundstücksentwässerungseinrichtungen (vgl. § 16 AbwS) auf die Inhalte der DIN 1986 sowie das Regelwerk der DWA verwiesen. Für die Herstellung wird zudem vorgegeben, dass die Grundleitungen des Entwässerungssystems mit einer Nennweite von mindestens 150 mm auszuführen sind und außerdem ein stets zugänglicher Revisionsschacht zu errichten ist.

Die **Kosten** u.a. für die Herstellung und Unterhaltung von Grundstücksentwässerungseinrichtungen sind gemäß

Mustersatzung (vgl. § Abs. 1) vom Grundstückseigentümer selbst zu übernehmen. Ausdrücklich hervorgehoben wird die dem Eigentümer im Rahmen der Unterhaltung auferlegte Reinigungspflicht 17 für die von ihm betriebenen Leitungen. Zu den für die Unterhaltung notwendigen Maßnahmen gehört darüber hinaus auch die Überprüfung der Entwässerungseinrichtungen z.B. auf Dichtheit. Die Kosten hierfür sind ebenfalls vom Eigentümer zu übernehmen, sofern dieser satzungsgemäß für die Unterhaltung dieser Leitungen verantwortlich ist.

Im Einzelfall kann die Kommune Abwasser von der öffentlichen Beseitigung ausschließen, wenn dies z.B. wegen der Art und Menge des Abwasser einen unverhältnismäßig hohen Aufwand darstellt (vgl. § 7 AbwS). Wird die Einleitung von nicht beseitigungspflichtigem Abwasser durch die Kommune genehmigt, so kann sie die für die Beseitigung entstehenden **baulichen oder betrieblichen Mehrkosten** gegenüber dem Anschlussnehmer geltend machen. Dies gilt u.a. auch für die Einleitung von Grundwasser aus Drainageleitungen. In den Erläuterungen zum Satzungsmuster wird darauf hingewiesen, dass sich die Abwassergebühr in diesem Fall nach der eingeleiteten Menge berechnet. Diese kann ggf. gemessen oder von der Kommune geschätzt werden.

#### **BEISPIELE**

Die Umsetzung der wesentlichen Anforderungen dieser Muster-Abwassersatzung an die Errichtung und den Betrieb von Grundstücksentwässerungseinrichtungen (GSE) wird in der folgenden Tab. 2 anhand der Satzungen der Städte Freiburg und Heidelberg beispielhaft verdeutlicht.

Beide Satzungen nehmen damit deutlichen Bezug auf die Errichtung, den Betrieb und die Instandhaltung von Grundstücksentwässerungseinrichtungen. Abweichend von den Empfehlungen der Mustersatzung unterliegen die Anschlusskanäle in beiden Städten der Zuständigkeit des Anschlussnehmers. Damit ist dieser u.a. für den Betrieb und die Überprüfung aller Leitungen bis zum öffentlichen Kanal verantwortlich. Hervorzuheben ist diesbezüglich sowohl die Pflicht zur erstmaligen Abnahme einer neu errichteten Grundstücksentwässerungseinrichtung als auch die Tatsache, dass für bestehende Anlagen jederzeit eine erneute Dichtheitsprüfung verlangt werden kann.



Tab. 2: Wesentliche Anforderungen der Städte Freiburg und Heidelberg an die Errichtung und den Betrieb von Grundstücks-Entwässerungseinrichtungen (GSE)

	Satzung der Stadt Freiburg	Satzung der Stadt Heidelberg
<b>Beseitigungspflicht/ Einleitungsbeschränkungen</b>	<p>§ 1: Öffentliche Beseitigung von Abwasser, das aus GSE eingeleitet wird und das in seinen Eigenschaften z.B. durch häuslichen Gebrauch verunreinigt ist, oder Niederschlagswasser</p> <p>§ 8: Klarwasser u.a. aus Drainagen darf nur mit Genehmigung in die öffentliche Abwasseranlage eingeleitet werden.</p> <p>Die Einleitung kann u.a. dann verweigert werden, wenn die Kapazitäten der vorhandenen öffentlichen Abwasseranlagen zur Aufnahme des Wassers nicht ausreichen.</p> <p>§ 10: Bereits im Genehmigungsantrag für die GSE ist anzugeben, ob u.a. Grundwasser in die öffentliche Kanalisation eingeleitet werden soll.</p>	<p>§ 2: Öffentliche Beseitigung von Abwasser aus GSE</p> <p>§ 3: Abwasser ist Wasser, das u.a. durch häuslichen Gebrauch in seinen Eigenschaften verändert ist</p> <p>§ 5: Die Einleitung von Abwasser kann im Einzelfall verweigert werden, wenn die Beseitigung u.a. auf Grund von Art und Menge einen unverhältnismäßig hohen Aufwand verursachen würde oder das eingeleitete Wasser nach den a.a.R.d.T. nicht mit dem häuslichen Abwasser gesammelt, fortgeleitet oder behandelt werden kann.</p> <p>§ 9: Genehmigung der Einleitung von u.a. Drainagewasser nur, wenn eine Versickerung aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht möglich ist.</p>
<b>Begriffsdefinition/ Zuständigkeitsregelung</b>	<p>§ 6: Als GSE gelten Anlagen auf dem Grundstück sowie die Anschlussleitung zum öffentlichen Kanal</p>	<p>§ 3: GSE und Anschlusskanäle sind keine öffentlichen Abwasseranlagen</p> <p>GSE sind alle Anlagen auf dem angeschlossenen Grundstück sowie die Anschlusskanäle</p>
<b>Genehmigung/ Abnahme v. GSE</b>	<p>§ 9a: Errichtung der GSE ist genehmigungspflichtig. Technische Abnahme der Anschlussleitung einschl. GSE durch die Stadt bzw. Beauftragten vor Inbetriebnahme. Überprüfung der Güte, Dichtheit und Ausführung der offen liegenden Leitungen.</p>	<p>§ 8: Herstellung von GSE ist genehmigungspflichtig. Der Eigentümer ist für die fachgerechte Ausführung verantwortlich.</p> <p>Anschluss an den Hauptkanal sowie Abnahme der sichtbaren Anschlussleitung durch die Stadt. Die Unterhaltung obliegt dem Eigentümer.</p> <p>§ 13: Vor Abnahme durch die Stadt darf die GSE nicht in Betrieb genommen werden. Die Stadt ist berechtigt die GSE zu prüfen. Die Kosten hierfür trägt der Anschlussnehmer.</p>
<b>Techn. Anforderungen an Herstellung/ Unterhaltung von GSE</b>	<p>§ 12: Ausführung und Instandsetzung von GSE nur durch die von der Stadt zugelassenen Fachunternehmen.</p> <p>§ 13: Überprüfung der Dichtheit von GSE nach den Anforderungen der DIN 4033. Festgestellte Mängel sind unverzüglich zu beseitigen.</p> <p>Anhang zu §§ 12, 14: Bau und Betrieb von GSE nach DIN 1986. Rohrleitungen und Dichtungen müssen den Eintritt von Grundwasser zuverlässig verhindern. Anordnung eines stets zugänglichen Kontrollschachtes auf dem Grundstück.</p>	<p>§ 10: Herstellung, Betrieb, Unterhaltung und Erneuerung von GSE nach den a.a.R.d.T.</p> <p>§ 11: Technische Vorschriften für den Bau und Betrieb sind vom Eigentümer einzuhalten. Bei Bedarf sind die GSE zu reinigen und nach DIN 1986-30 auf Dichtheit zu prüfen.</p> <p>Der Anschlussnehmer hat einen Prüfschacht zu errichten, von dem aus die gesamte GSE zu prüfen und zu reinigen ist.</p> <p>§ 13: Die Stadt kann vom Anschlussnehmer einen Nachweis der Dichtheit aller Leitungen der GSE bis 0,5 m über Straßenniveau verlangen.</p>
<b>Kostenaufteilung</b>	<p>§ 14: Kosten für Überwachungsmaßnahmen (z.B. Dichtheitsprüfung nach DIN 4033) werden dem Eigentümer in Rechnung gestellt.</p> <p>In berechtigten Fällen kann die Stadt diese Dichtheitsprüfung auf Kosten des Eigentümers verlangen</p>	<p>§ 11: Herstellung, Betrieb und Unterhaltung auf Kosten des Eigentümers</p>

Beide Entwässerungssatzungen orientieren sich damit in diesem Punkt an § 21 AbwS.

Die Überprüfung bzw. Kontrolle der auf einem Privatgrundstück verlegten Leitungen durch die Kommune ist ggf. verbunden mit dem Betreten dieses Grundstücks. Diesbezüglich kann die Kommune vom **Betretungsrecht** gemäß § 45b Abs. 5 WG Gebrauch machen. Demnach haben die Eigentümer „... das Betreten des Grundstückes zum Zwecke der Prüfung der Einhaltung von Satzungsbestimmungen nach Absatz 4 zu dulden“. Auch in der über-

arbeiteten Musterabwassersatzung (Stand 1998) wird diesbezüglich ausdrücklich hervorgehoben, dass „die mit der Überwachung beauftragten Personen ... Grundstücke zum Zwecke der Prüfung der Einhaltung der Satzungsbestimmungen betreten“ dürfen (vgl. § 20 Abs. 2 AbwS).

Auf Grund dieser Regelung ist davon auszugehen, dass der Kommune ein Betreten des Grundstücks bzw. ein Befahren der Leitungen der Grundstücksentwässerung durch TV-Inspektion, zum Zwecke der Überprüfung gestattet ist. Den Kommunen wird es damit deutlich erleichtert

Satzungsbestimmungen gegenüber dem Anschlussnehmer durchzusetzen. Fremdwassereinträge können auf dieser Grundlage auch im Bereich privater Grundstücksentwässerungsleitungen gezielt ermittelt und die betroffenen Eigentümer zu einer Sanierung der festgestellten Missetände aufgefordert werden.

## 2.4 FREMDWASSER MESSEN

Da sich Fremdwasser nach dem Eintritt in das Kanalisationssystem sofort mit Schmutzwasser vermischt, kann der Fremdwasserabfluss in einem Kanalnetz nicht direkt gemessen werden. Zur Fremdwassermessung stehen verschiedene Methoden zur Verfügung, die auf Abflussmessungen und teilweise zusätzlich auf Messungen der Konzentration von Abwasserinhaltsstoffen beruhen.

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 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 die Fremdwasserbelastung der Teileinzugsgebiete zu ermitteln, so dass stark belastete Gebiete erkannt und saniert werden können. Weiter werden oft auch im Kanalsystem von Verbandskläranlagen an den „Übergabepunkten“ der angeschlossenen Kommunen Messungen durchgeführt, um durch Fremdwasser entstehende Betriebskosten verursacherorientiert umlegen zu können.

Obwohl sich alle Methoden zur Fremdwassermessung auf der Kläranlage prinzipiell auch im Kanalnetz anwenden lassen, haben sich dort andere, leichter anwendbare Methoden durchgesetzt. Diese werden untenstehend im Kapitel 2.4.2 beschrieben. Weiter kommen bei der Messung im Kanalnetz noch qualitative Methoden wie z.B. Sichtprüfungen des Abflusses oder TV-Kamerabefahrung hinzu, die ebenfalls im Kapitel 2.4.2 beschrieben werden.

## 2.4.1 FREMDWASSERMESSUNG AUF DER KLÄRANLAGE

### 2.4.1.1 ALLGEMEINES

Für einige der nachfolgend beschriebenen Bestimmungsmethoden wird als eine Eingangsgröße der Schmutzwasseranfall benötigt. Dieser kann aus

- der gebührenpflichtigen Abwassermenge,
- der verkauften Trinkwassermenge oder
- einwohnerspezifischen Werten

ermittelt werden. Mit erster Priorität sollte der Schmutzwasseranfall aus dem gebührenpflichtigen Abwasseranfall des Veranlagungsjahres ermittelt werden. Ist dies nicht möglich, ist der Schmutzwasseranfall aufgrund der verkauften Trinkwassermenge zu bestimmen. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass der Trinkwasserverbrauch aufgrund von Leitungsverlusten, dem Einsatz von Trinkwasser zur Bewässerung und Viehtränke etc. größer ist, als der Schmutzwasseranfall. Die LfU (2001) ermittelte an sechs Einzugsgebieten den Faktor „verkauftes Frischwasser“ zu „gebührenpflichtiger Abwassermenge“ im Mittel zu 0,87. (Für die praktische Anwendung wird der Faktor oftmals mit 0,9 angenommen). Ist für ein Einzugsgebiet nur die verkaufte Trinkwassermenge bekannt, kann dieser Faktor zur Berechnung des Schmutzwasseranfalls angesetzt werden. Weiter muss beachtet werden, ob sich die zur Berechnung herangezogenen Einzugsgebiete der Wasserver- und der Abwasserentsorgung decken.

Wird der Schmutzwasseranfall über einwohnerspezifische Werte ermittelt, kann hierzu ebenfalls auf die Untersuchungen der LfU (2001) zurückgegriffen werden. Im 34 Einzugsgebiete umfassenden Datenkollektiv dieser Untersuchung lag der spezifische Schmutzwasseranfall zwischen 100 und 150 l/(E·d) mit einem Mittelwert von 121,8 l/(E·d).

Werden die Tageszuflüsse zur Kläranlage durch Ablesung von Zählwerken ermittelt, sind diese nach der Ablesezeit zu korrigieren. Dies ist nicht erforderlich, wenn die Ablesezeit immer zur selben Uhrzeit erfolgt oder bei automatischen Aufzeichnungen.

Nachfolgend werden verschiedene Methoden zur Fremdwasserbestimmung erläutert. Für den Vollzug des

AbwAG dürfen in Baden-Württemberg jedoch nur noch die Methode des Gleitenden Minimums bzw. für Anlagen ohne automatische Durchflussmessung die Methode „Berechnung des Fremdwasseranteils für Kläranlagen ohne automatische Durchflussmessung unter Verwendung von CSB-Zulauferwerten“ angewendet werden. Alle anderen Methoden sind in diesem Bericht nur der Vollständigkeit halber aufgeführt.

#### 2.4.1.2 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 subjektive Wetterschlüssel wird bei der Methode des Gleitenden Minimums nicht verwendet. Die Ermittlung des Fremdwassers 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  $n$  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 Trockenwetterabflusses. Für die Wahl des Zeitraumes  $n$  werden von Fuchs et al. (2001) 21 Tage vorgeschlagen. Die Festlegung von 21 Tagen ist zwar nicht wissenschaftlich hergeleitet, jedoch wird darauf verwiesen, dass sich dieser Wert bei eingehenden Untersuchungen als praktikabel erwiesen hat.

Da zur Fremdwasserermittlung nach der Methode des Gleitenden Minimums der subjektive Wetterschlüssel nicht herangezogen wird, werden Unsicherheiten vermieden. Da die Fremdwasserermittlung mittels Tagesabflüssen erfolgt, ist die Methode auch in großen EZG, bei denen es durch verschieden lange Fließzeiten der Teileinzugsgebiete nicht zu einem ausgeprägten Nachtminimum kommt, anwendbar, ebenso bei EZG mit Pumpwerken. Allerdings wird in Schmutzwasserkanälen des Trennsy-

stems die Fremdwasserkomponente „Regenwasser“ nicht erfasst. Da in Baden-Württemberg jedoch nur ein geringer Anteil der Siedlungsentwässerung im Trennsystem ausgeführt und die Ungenauigkeit „betreiberfreundlich“ ist, ist die Anwendbarkeit der Methode in Baden-Württemberg nicht eingeschränkt. Insgesamt hat sich die Methode als die zuverlässigste herausgestellt.

**Ermittlung:** Die Ermittlung des Fremdwasseranfalls nach der Methode des Gleitenden Minimums erfolgt am zweckmäßigsten mit einer Tabellenkalkulation. Als Eingangsdaten werden die Tagesabflüsse sowie der Schmutzwasseranfall aus der gebührenpflichtigen Abwassermenge, der Trinkwassermenge bzw. aus EW-spezifischen Werten benötigt. Mittels einer Tabellenkalkulation wird nun für jeden Tag der Untersuchungszeit der Trockenwetterabfluss gleich dem kleinsten Tagesabfluss der letzten 21 Tage gesetzt. Dabei werden Werte, die kleiner als der Schmutzwasseranfall sind, als Messaussetzer betrachtet und nicht als Minima berücksichtigt. Man erhält somit eine Ganglinie des Trockenwetterabflusses. Zieht man von dieser den als konstant angenommenen Schmutzwasseranfall ab, ergibt sich die Ganglinie des Fremdwasseranfalls. Durch Integration der „Fremdwasserfläche“ erhält man den mittleren Fremdwasserabfluss für den betrachteten Zeitraum.

Um in Baden-Württemberg eine einheitliche Fremdwasserermittlung durchführen zu können, wurde im Rahmen dieses Projektes eine Excel-Datei entwickelt, die für die Berechnung des Fremdwasseranteils im Rahmen des Leistungsvergleichs des DWA-Landverbandes Baden-Württemberg sowie für den Vollzug des Abwasserabgabengesetzes angewendet wird (UVM, 2004). In dieser Datei wurde die oben beschriebene Rechenroutine praxisgerecht umgesetzt. Bei strikter Anwendung der oben beschriebenen Rechenroutine können sich negative Fremdwasseranteile in den Sommermonaten „trockener“ Jahre ergeben, wenn der (aus dem Trinkwasserverbrauch ermittelte) tägliche Schmutzwasseranfall größer als der tatsächliche tägliche Zufluss zur Kläranlage ist. Da dies vermutlich in den meisten Fällen auf Exfiltration infolge undichter Kanäle zurückzuführen ist, würde sich bei der Fremdwasserermittlung also ein „Bonus“ für Exfiltration aufgrund der negativen Fremdwasseranteile ergeben. Um dies zu vermeiden, wurde die Excel-Datei so ausgelegt, dass Tage mit negativen Fremdwasseranteilen nicht

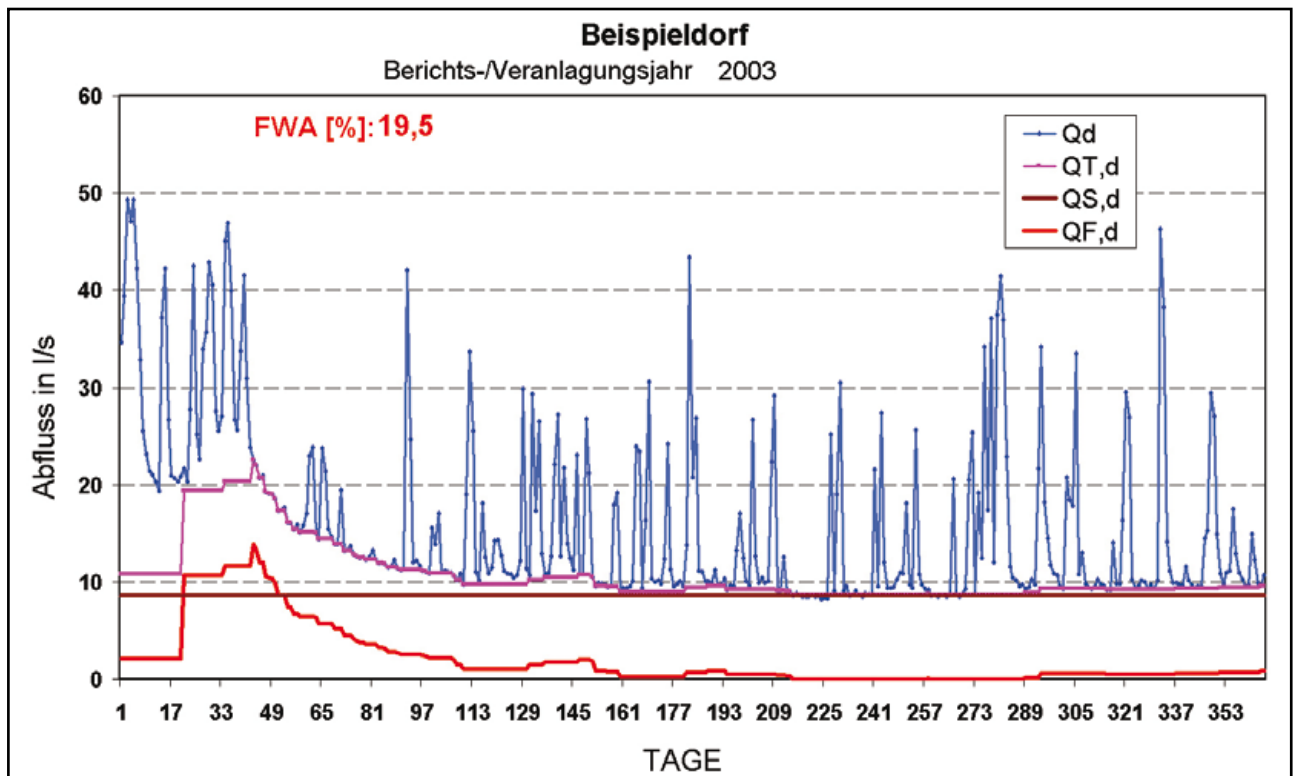


Abb. 1: Fremdwasserermittlung mittels Gleitendem Minimum

berücksichtigt werden, wenn der tatsächliche tägliche Zufluss zur Kläranlage weniger als 90 % des täglichen Schmutzwasseranfalls beträgt. Diese Toleranz wurde eingeführt, da der tägliche Schmutzwasseranfall normalerweise als 365ter Teil der jährlichen gebührenfähigen Abwassermenge angesetzt wird und Schwankungen des Wasserverbrauchs (und damit des Abwasseranfalls) somit nicht berücksichtigt werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die Werte für den Schmutzwasseranfall tagescharf einzugeben. Die Datei kann auf der Homepage des DWA-Landesverbandes Baden-Württemberg ([www.dwa-bw.de](http://www.dwa-bw.de)) herunter geladen werden (-> Nachbarschaften -> Kläranlagennachbarschaften -> Fremdwasserermittlung in Baden-Württemberg). Weitere Hinweise zum Gleitenden Minimum und zur Anwendung der Excel-Datei finden sich auch unter LfU (2006)

Eine exemplarische Fremdwasserauswertung mit dem Gleitenden Minimum zeigt Abb. 1.

#### 2.4.1.3 BERECHNUNG DES FREMDWASSERANTEILS FÜR KLÄRANLAGEN OHNE AUTOMATISCHE DURCHFLUSSMESSUNG UNTER VERWENDUNG VON CSB-ZULAUFWERTEN

Bei Kläranlagen ohne automatische Durchflussmessung kann der Fremdwasseranfall mit nachfolgend dargestellter Methode ermittelt werden. Die Methode 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 g/(E·d) und ein einwohnerspezifischer Schmutzwasseranfall von rund 150 l/(E·d) zugrunde gelegt. Basierend auf diesen Werten wurde nachfolgende Abb. 2 erstellt. Dabei sind die Fremdwasseranteile und Fremdwasserzuschläge etwas in Richtung „betreiberfreundlich“ verschoben.

**Ermittlung:** Von den bei Trockenwetter gemessenen CSB-Zulaufkonzentrationen (eines Jahres) ist der arithmetische Mittelwert zu bilden. Dieser dient als Eingangswert für das oben dargestellte Diagramm. Man erhält dadurch sowohl den FWA als auch den FWZ.

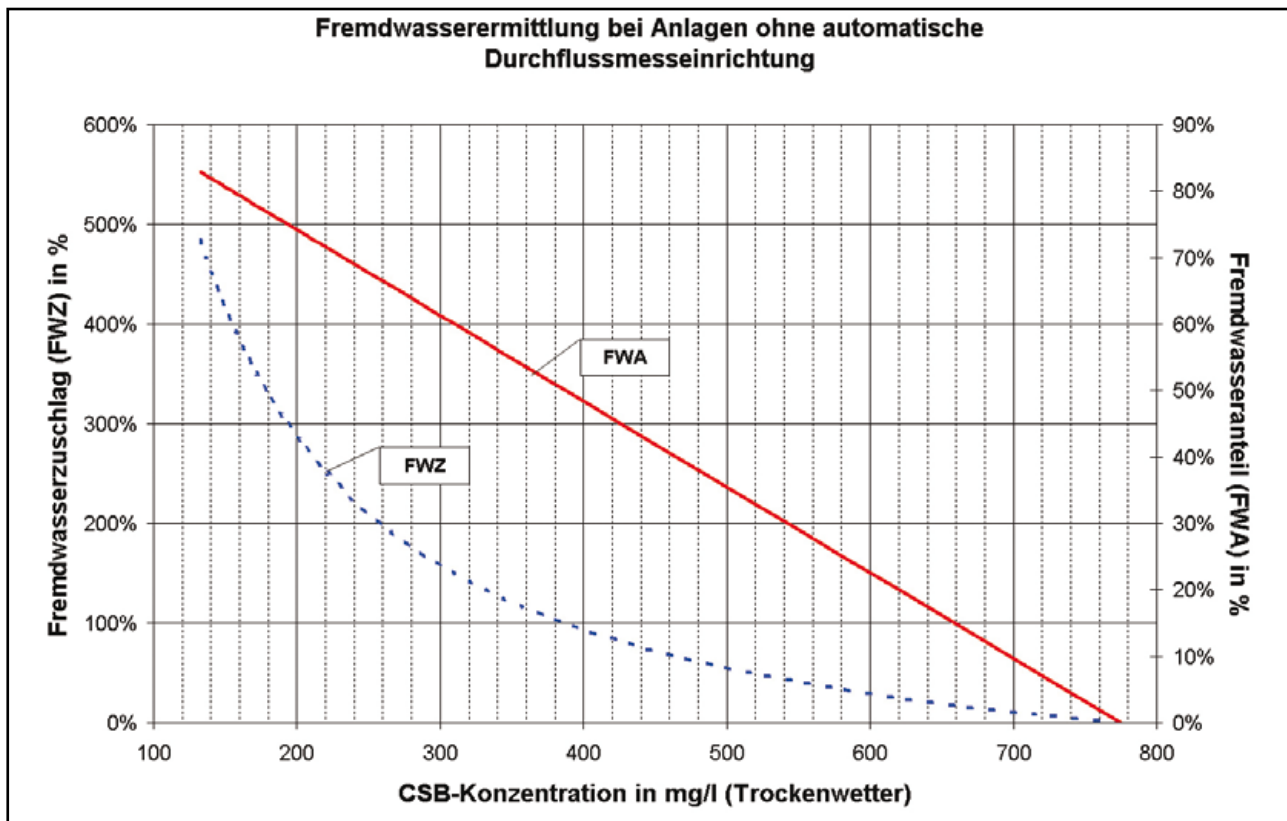


Abb. 2: Diagramm zur Ermittlung des FWA bzw. FWZ bei Kläranlagen ohne automatische Durchflussmeseinrichtung

Ist weiter der jährliche Schmutzwasserabfluss bekannt, kann mit der Formel

$$JSM = QS (1+FWZ)$$

auch die Jahresschmutzwassermenge JSM berechnet werden.

Eine Anleitung kann auf der Homepage des DWA-Landesverbandes Baden-Württemberg ([www.dwa-bw.de](http://www.dwa-bw.de)) herunter geladen werden (-> Nachbarschaften -> Kläranlagennachbarschaften -> Fremdwasserermittlung in Baden-Württemberg). Weitere Hinweise finden sich auch unter LfU (2006).

#### 2.4.1.4 DREIECKSMETHODE

Diese Methode wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes im Auftrag des Landes Baden-Württemberg von der Firma Umwelt- und Fluid-Technik Dr. H. Brombach GmbH, Bad Mergentheim, unter der Maßgabe einer einheitlichen Datengrundlage und der guten Vergleichbarkeit der Ergebnisse entwickelt (LfU, 2001). Bei dieser Methode dienen die Tageszuflüsse zur Kläranlage sowie die Wetterschlüssel als Grundlage.

**Ermittlung:** Als Eingangsgrößen werden die Tageszuflüsse zur Kläranlage, die Wetterschlüssel und der Schmutzwasseranfall benötigt. Die Werte des Tagesabflusses werden der Größe nach sortiert und an der Gesamtzeit bzw. am aufgetretenen Maximalzufluss normiert. Die Fläche unter der sich ergebenden Unterschreitungsdauerlinie stellt das insgesamt von der Kläranlage gereinigte Abwasservolumen dar, also Schmutz-, Fremd-, und Regenwasser. Der Schmutzwaseranfall wird konstant unter der Unterschreitungsdauerlinie angesetzt. Als nächstes werden auf der Abszisse von rechts die Anzahl der Regen- und Regennachlauftage abgetragen. Eine Gerade von diesem Punkt der Unterschreitungsdauerlinie bis zur Höhe des Schmutzwasserabflusses am rechten Ende der Grafik (Tag 365) trennt Fremd- und Regenwasser. Die Trennung zwischen Fremd- und Regenwasser basiert auf dem Gedanken, dass an Tagen mit großen Regenwasserabflüssen die Kanäle gefüllt sind und Wasser eher ex- als infiltriert und daher an diesen Tagen kein Fremdwasserzufluss stattfindet. Durch Integration der „Fremdwasserfläche“ ergibt sich der jährliche Fremdwaseranfall.

Bei der Festlegung des rechten Endpunktes der Trennungsgereaden wird angenommen, dass es bei hohen Regenabflüssen keine Fremdwasserzuflüsse über undich-



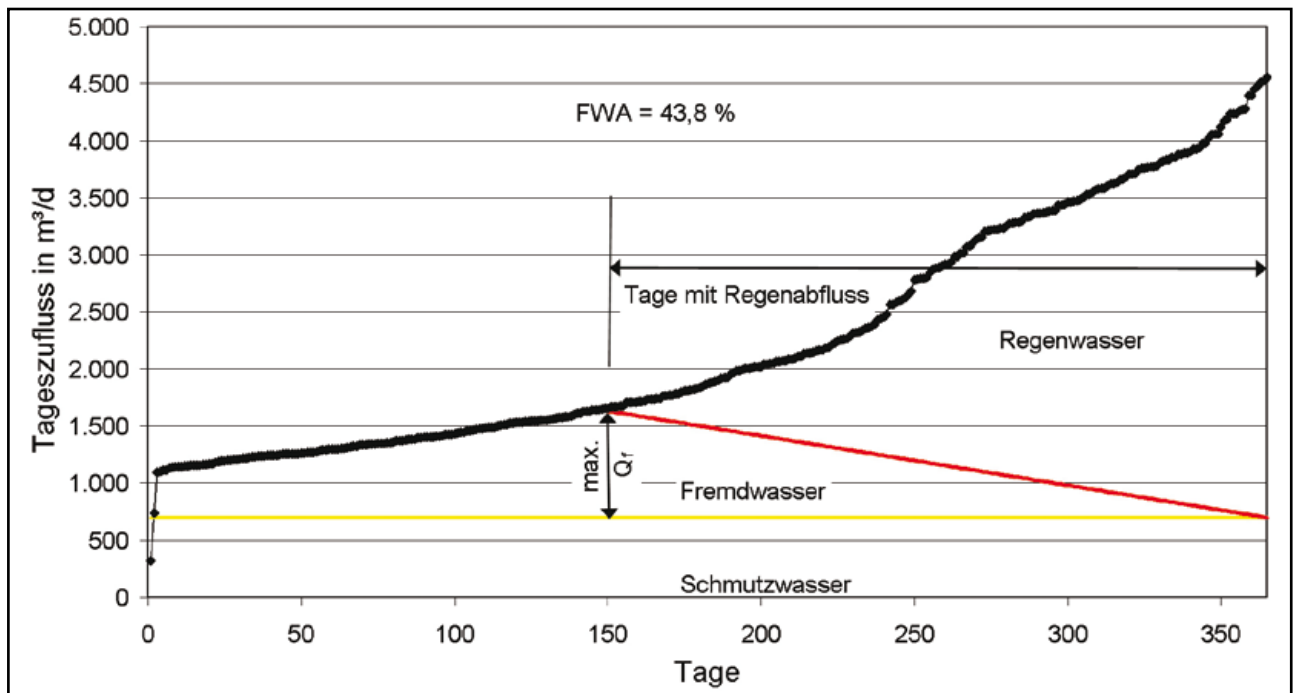


Abb. 3: Fremdwasserermittlung mittels der Dreiecksmethode

te Kanäle gibt. Der Fremdwasserabfluss aus Quell- oder Bacheinleitungen sowie Hausdrainagen ist jedoch auch bei großen Regenwasserabflüssen vorhanden. Der mit dieser Methode ermittelte Fremdwasserabfluss wird somit je nach Ursache des Fremdwassers im Einzugsgebiet mehr oder weniger unterschätzt. Dies wird auch durch die LfU (2001) bestätigt. Eine saisonale Darstellung des Fremdwasseranfalls ist mit der Dreiecksmethode nicht möglich. Zur Anwendung der Dreiecksmethode wurde im Rahmen dieses Projektes ebenfalls eine Excel-Datei erstellt.

Eine exemplarische Fremdwasserauswertung mittels der Dreiecksmethode zeigt Abb. 3

#### 2.4.1.5 JAHRESSCHMUTZWASSERMETHODE

Die so genannte Jahresschmutzwassermethode ist die einfachste Methode zur Fremdwasserbestimmung. Dabei wird das Fremdwasser als Differenz aus der im Rahmen der Abwasserabgabeerklärung ermittelten Jahresschmutzwassermenge (JSM) und dem aus dem Trinkwasserverbrauch ermittelten (jährlichen) Schmutzwasseranfall berechnet.

Diese Methode ist durch die Vergabe des Wetterschlüssels im Betriebstagebuch der Kläranlage subjektiven Beeinflussungen ausgesetzt. Insbesondere bei weitläufigen Einzugsgebieten ist es oftmals schwierig, einen repräsentativen Wetterschlüssels zu wählen. Mit der „Jahresschmutzwassermethode“ kann nur der Jahresmittelwert des Fremdwasseranfalls berechnet werden. Eine monatliche Berechnung ist möglich, jedoch ist die Datenbeschaffung der Wasserversorgung z.T. aufwändig.

Der Fremdwasseranteil nach der Jahresschmutzwassermethode ergibt sich nach folgender Formel:

$$FWA = \frac{\text{Jahresschmutzwassermenge (JSM)} - \text{gebührenfähige Abwassermenge}}{\text{Jahresschmutzwassermenge (JSM)}} \cdot 100$$

#### 2.4.1.6 MINIMALER ZUFLUSS BEI NACHT

Unter der Annahme, dass der minimale Nachtfluss großteils Fremdwasser ist, erfolgt bei dieser Methode die Fremdwasserermittlung durch Messung des minimalen Nachtabflusses bei Trockenwetter. Der Schmutzwasserabfluss zur Nachtzeit der angeschlossenen Einwohner und Industrie wird abgezogen. Dabei wird meist nach dem Formblatt „Fremdwasserermittlung und Bewertung mit automatischer Durchflussmeseinrichtung“ der damaligen ATV-Landesgruppe Baden-Württemberg (heute DWA Landesverband Baden-Württemberg) vorgegangen. Danach ist mindestens eine Messung pro Monat notwendig, wobei der Abstand zwischen zwei Messungen mindestens 14 Tage betragen muss. Der Abzug für den Schmutzwasserabfluss der Einwohner erfolgt gewichtet nach der Anzahl der angeschlossenen Einwohner. Der nächtliche Schmutzwasserzufluss der Industrie darf nicht geschätzt, sondern muss nachgewiesen werden. Ein entsprechendes

Formblatt findet sich in der Anlage. Bei dieser Methode ist der Fremdwasseranteil durch die Wahl möglichst „günstiger“ Messtage beeinflussbar. Als Ergebnis des Formblattes wird zwar der Fremdwasseranteil im Jahresmittel erhalten, jedoch ist eine saisonale Auswertung der Messungen einfach möglich.

Durch Überlagerungen aus Einzugsgebieten mit unterschiedlichen Fließzeiten kann im Nachtminimum noch ein erheblicher Schmutzwasseranteil vorliegen. Inwieweit dieser durch die Gewichtung des anzusetzenden nächtlichen Schmutzwasserabflusses der Einwohner erfasst wird, ist fraglich. Fischer (1990) weist darauf hin, dass bei großen Kläranlagen mit Fließzeiten (im Kanalnetz) von mehr als 10 Stunden diese Methode kaum geeignet ist. Sind im Kanalnetz diskontinuierlich arbeitende Pumpwerke vorhanden, wird die Methode des minimalen Nachtabflusses ungenau, insbesondere bei kleinen Einzugsgebieten kann die Anwendung der Methode unmöglich sein. Die Methode ist kritisch zu hinterfragen, da die Abstufung für den Abzug des nächtlichen Schmutzwasseranfalls sehr grob ist (bis 5.000 EW, 5.000 bis 100.000 EW und größer 100.000 EW) und die Neigung der Einzugsgebiete nicht berücksichtigt wird. So ergibt die Methode vor allem bei Einzugsgebieten die im unteren Bereich der jeweiligen Klasse liegen und bei steilen Einzugsgebieten zu niedrige Fremdwasseranteile. Weiter muss beachtet werden, dass viele Zuflussmessenrichtungen im unteren Messbereich (Nachtminimum) nicht mit der nötigen Genauigkeit arbeiten.

Haller (2001) kommt zu der Meinung, dass bei dieser Methode Qf unterschätzt wird.

**Ermittlung:** entsprechend Formblatt „Fremdwasserermittlung und Bewertung mit automatischer Durchflussmessenrichtung“ der damaligen ATV-Landesgruppe Baden-Württemberg (heute DWA Landesverband Baden-Württemberg).

#### 2.4.1.7 CHEMISCHE METHODE NACH HAGER ET AL.

Die Fremdwasserbestimmung mittels der „Chemischen Methode“ beruht auf der Tatsache, dass Abwasser umso weniger konzentriert ist, je mehr Fremdwasser darin ent-

halten ist. Die Methode wurde von Hager et al. (1984) entwickelt.

Wie die Methode des minimalen Nachtzuflusses, beruht die Fremdwasserermittlung bei der „Chemischen Methode“ auf einer Messung im Nachtminimum, jedoch wird der nächtliche Schmutzwasseranfall anhand der Konzentration geeigneter (chemischer) Schmutzstoffparameter in Verbindung mit der Zuflussmessung berechnet. Es ist daher eine Konzentrationsganglinie (2h-Mischproben) der verwendeten Parameter notwendig.

Von Vorteil ist die Methode, weil weder der subjektive Wetterschlüssel noch der EW-spezifische Schmutzwasseranfall benötigt werden. Allerdings ist die Fremdwasserbestimmung mit der chemischen Methode mit einem hohen analytischen Aufwand verbunden sofern keine Online-Messungen im Zulauf vorhanden sind. Die Fremdwasserbestimmung muss an Trockenwettertagen erfolgen. Als Parameter können  $CSB_{hom}$ ,  $TKN_{hom}$ ,  $P_{ges,hom}$  sowie der TOC/DOC herangezogen werden.

**Ermittlung:** Als Eingangsgrößen werden benötigt:

- mittlerer Trockenwetteranfall  $Q_{T,m}$  ( $m^3/h$ )
- Nachtminimum  $Q_{T,min}$  ( $m^3/h$ )
- Tagesfracht des verwendeten Parameters S (kg/h)
- mittlere Konzentration des verw. Parameters  $C_{T,m}$  (mg/l)
- Konzentration des Nachtminimums  $C_{T,min}$  (mg/l)

Es wird empfohlen, die vorgegebenen Einheiten beizubehalten, da nachfolgende Formeln teilweise nicht dimensionsecht sind. Die Ermittlung des Fremdwasseranteiles erfolgt nach der Formel

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

mit

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

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

$$s = \frac{C_{T,min} \cdot Q_{T,min}}{S} \quad [-]$$

Ein entsprechendes Formblatt für die Ermittlung findet sich im Anhang.

Tab. 3: Vor- und Nachteile verschiedener Methoden zur Fremdwasserbestimmung

<b>Methode des Gleitenden Minimums</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ subjektiver Wetterschlüssel wird nicht verwendet</li> <li>+ einfache Ermittlung mittels Tabellenkalkulation</li> <li>+ Ausgabe einer Fremdwasserganglinie</li> <li>+ auch bei großen EZG anwendbar</li> <li>+ im Rahmen der Abwasserabgabe in BW anzuwenden</li> </ul>	
<b>Dreiecksmethode</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ als Vergleichsmöglichkeit zur Bestimmung mittels Gleitendem Minimum gut geeignet</li> <li>+ einfache Ermittlung mittels Tabellenkalkulation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- subjektiv durch Wetterschlüssel</li> <li>- keine saisonale Auswertung möglich</li> <li>- „empirische“ Trennung zwischen Regen- und Fremdwasser</li> </ul>
<b>Jahresschmutzwasser-methode</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ einfache Ermittlung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- subjektiv durch Wetterschlüssel (insbesondere bei weitläufigen EZG)</li> <li>- keine saisonale Auswertung möglich</li> </ul>
<b>Minimaler Nachtzufluss bei Nacht</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ einfache Ermittlung</li> <li>+ saisonale Auswertung möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bei Pumpwerken im EZG oftmals nicht oder nur erschwert anwendbar</li> <li>- subjektiv durch Auswahl „günstiger“ Messtage</li> <li>- Anwendung bei sehr großen EZG erscheint nicht sinnvoll</li> <li>- sehr grobe Einteilung der Einzugsgebiete in „Größenklassen“</li> <li>- Geländeneigung findet keinen Eingang in nächtlichen Schmutzwasseranfall</li> </ul>
<b>Chemische Methode</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ EW-spezifischer Schmutzwasseranfall wird nicht benötigt</li> <li>+ subjektiver Wetterschlüssel wird nicht verwendet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- aufwändige Analytik erforderlich</li> <li>- tägliche Bestimmung nur beim Einsatz von Analyzern wirtschaftlich durchführbar</li> </ul>

Zur Herleitung der Formel, die auf zwei Iterationsschritten beruht, wird auf die oben genannte Literaturstelle verwiesen.

#### 2.4.1.8 VERGLEICH DER METHODEN

In Tab. 3 sind die in den vorhergehenden Kapiteln besprochenen Methoden zur Fremdwasserbestimmung in tabellarischer Form mit den jeweiligen Vor- und Nachteilen qualitativ dargestellt.

#### EIGENE UNTERSUCHUNGEN ZUM VERGLEICH DER METHODEN

Ein Vergleich der mit der Nachtminimums-Messung, dem Gleitenden Minimum, der Dreiecksmethode sowie der Jahresschmutzwasser-methode erhaltenen Fremdwasseranteile (Jahresmittelwerte) für verschiedene Kläranlagen ist in Abb. 4 gegeben. Dabei sind die Kläranlagen entsprechend der angeschlossenen EW+EWG von links nach rechts aufsteigend geordnet. Für den Vergleich wurden insgesamt 12 Datensätze von 8 Kläranlagen aus den Jahren 2000-2002 herangezogen.

Die Jahresschmutzwasser-methode ergibt mit Ausnahme der Kläranlage mit 6.500 angeschlossenen EW für alle dargestellten Kläranlagen die mit Abstand höchsten Fremdwasseranteile. Die mit dem Gleitenden Minimum und der Dreiecksmethode ermittelten Werte weichen – wiederum mit Ausnahme der Kläranlage mit 6.500 angeschlossenen EW - nur sehr gering von einander ab. Jedoch zeigen die mit den Nachtminimums-Messungen gewonnenen Werte teilweise erhebliche Abweichungen zu den Messungen mittels Gleitendem Minimum und Dreiecksmethode. Die beobachteten Tendenzen decken sich sehr gut mit den Angaben in der Literatur. So stellte Haller (2001) bei einem Vergleich der Fremdwasserermittlung mittels der Messung des Nachtminimums und der Methode der Jahresschmutzwasser-menge an 19 Kläranlagen fest, dass die Methode der Jahresschmutzwasser-menge deutlich höhere Werte als die Methode des Nachtminimums ergibt. Weiter wird in LfU (2001) angegeben, dass die JSM-Methode 30-40 % höhere Fremdwasserabflüsse liefert als der Mittelwert aus den Ergebnissen des Gleitenden Minimums und der Dreiecksmethode (hydraulische Bilanz genannt). Eigene, oben dargestellte Untersuchungen bestätigen diese



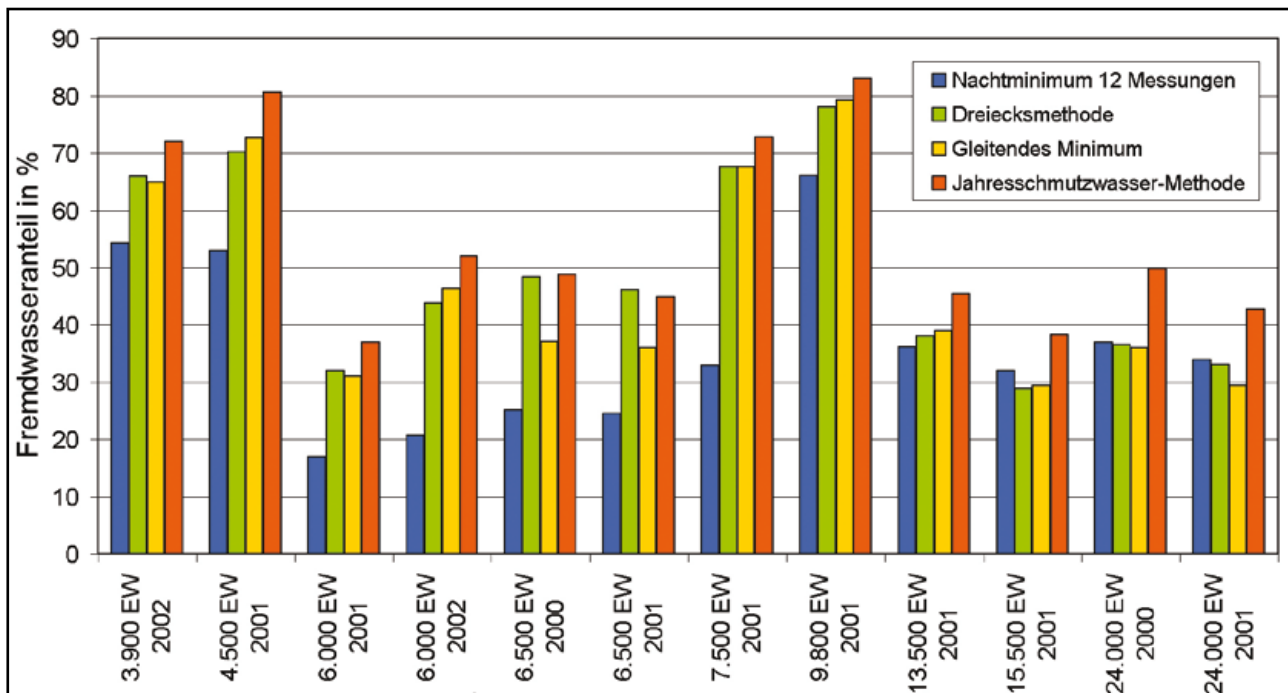


Abb. 4: Gegenüberstellung verschiedener Methoden zur Berechnung des Fremdwasseranteils anhand von Datensätzen aus den Jahren 2000-2002 für 8 Kläranlagen

Tendenz, jedoch konnte nur eine Differenz zwischen 3,8 und 13,6 % ermittelt werden.

Auffallend beim Vergleich der Methoden ist, dass die Größe und Richtung der Abweichung von der Zahl der angeschlossenen Einwohner abhängt. Dieser Zusammenhang ist für 12 Kläranlagen in Abb. 5 dargestellt.

Das Diagramm zeigt die Abweichung zwischen Fremdwasserermittlungen (Jahreswerte) mittels Gleitendem Minimum und 12 Nachtminimums-Messungen in % Fremdwasseranteil. Zu beachten ist, dass der Beginn der Abszisse bei - 5 liegt. Bei Kläranlagen bis ca. 10.000 angeschlossene EW werden mit den Nachtmessungen bis zu 35 % FWA kleinere Werte als mit dem Gleitenden Minimum ermittelt, während für die dargestellten Kläranlagen über

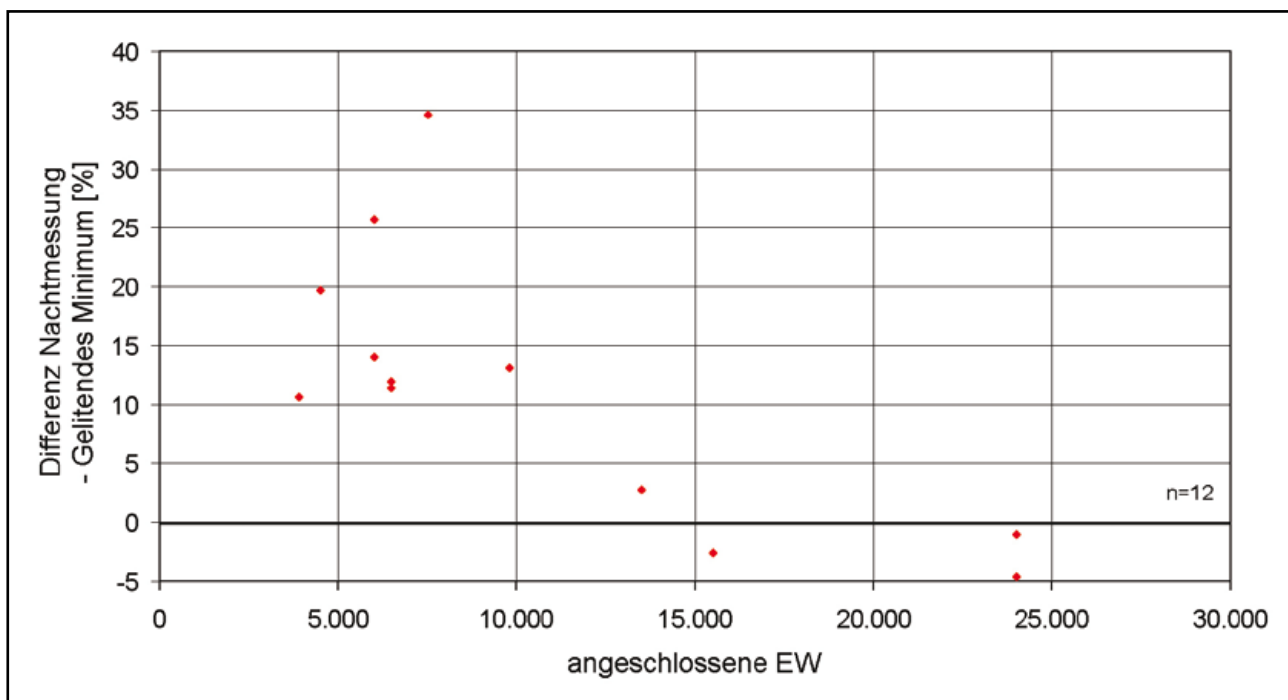


Abb. 5: Differenz der mittels minimalem Zufluss bei Nacht und Gleitendem Minimum ermittelten Fremdwasseranteile für 8 Kläranlagen (12 Datensätze der Jahre 2000-2002)

15.000 EW der umgekehrte Fall eintritt und mit dem Gleitenden Minimum etwas kleinere Werte ermittelt werden.

Wenn man davon ausgeht, dass die mit dem Gleitenden Minimum ermittelten Werte eher dem tatsächlichen Fremdwasseranfall entsprechen (was die gute Übereinstimmung mit der Dreiecksmethode bestätigt) als die mittels Nachtminimums-Messung gewonnenen, bedeutet dies, dass bei der Anwendung der Nachtminimums-Messung vor allem kleinere Kläranlagen einen Vorteil gegenüber größeren haben.

Die in Abb. 5 dargestellte Abhängigkeit zwischen der Differenz der mittels der Methode des minimalen Zuflusses bei Nacht und dem Gleitenden Minimum ermittelten Fremdwasseranteile und den angeschlossenen Einwohnern lässt sich auf den bei der Methode des minimalen Zuflusses bei Nacht angewendeten Abzug für den Nachtzufluss der angeschlossenen Einwohner zurückführen. Dieser berücksichtigt einerseits den tatsächlichen nächtlichen Wasserverbrauch im Einzugsgebiet. Andererseits soll über die Abstufung des einwohnerspezifischen Nachtabflusses (Faktor  $q$  im Formblatt „Fremdwasserermittlung und Bewertung mit automatischer Durchflussmessereinrichtung“ der damaligen ATV-Landesgruppe Baden-Württemberg) entsprechend der angeschlossenen Einwohner das zeitlich versetzte Eintreffen der Nachtminima aus Teileinzugsgebieten mit unterschiedlich langen Fließzeiten berücksichtigt werden. Da der Faktor  $q$  aber nur sehr grob abgestuft ist und z.B. für alle Kläranlagen von 5.000 bis 100.000 angeschlossene EW der selbe einwohnerspezifische Faktor von  $0,5 \text{ l}/(\text{s} \cdot 1000 \cdot \text{EW})$  angewendet wird, wird bei Kläranlagen mit kleineren Einzugsgebieten (nach eigenen Untersuchungen 5.000-15.000 EW) durch einen zu großen Abzug für den nächtlichen Abfluss der Fremdwasseranteile unterbewertet. Weiter wird bei der Abstufung des Faktors  $q$  die sich aus den geographischen Verhältnissen des Einzugsgebietes (flaches oder steiles Einzugsgebiet) ergebende Fließzeit nicht implizit berücksichtigt. So ergeben sich bei steileren Einzugsgebieten ausgeprägtere Nachtminima im Zulauf der Kläranlage als bei flachen Einzugsgebieten, bei denen aufgrund längerer Fließzeiten das Nachtminimum gedämpfter auf der Kläranlage auftritt. Somit kommt es bei steilen Einzugsgebieten tendenziell eher zur Unterschätzung des Fremdwasseranteils bei der Ermittlung mittels des minimalen Zuflusses bei Nacht.

## 2.4.1.9 MESSUNG DER ISOTOPEN

### GRUNDLAGEN

Die direkte Messung des im Kanalsystem befindlichen Fremdwassers ist im Prinzip nur möglich, wenn entweder das Fremdwasser oder das Schmutzwasser eindeutige chemische Charakteristika aufweisen, die idealerweise nicht durch biologische Abbauprozesse verändert werden. So wurde von Hager et al. (1984) zur Fremdwasserbestimmung eine Markierung des Trinkwassers mit im natürlichen Wasser praktisch nicht vorkommenden Ionen wie z.B. Borat oder Bromid vorgeschlagen. Obwohl diese Substanzen physiologisch harmlos sind, scheiterte die Realisierung jedoch wegen Bedenken, dass eine gezielte Veränderung des Trinkwassers von der Bevölkerung nicht toleriert wird.

Im Rahmen des hier beschriebenen Forschungsprojektes wurde daher versucht, natürlich im Wasser vorkommende Isotope als Markierungsstoffe (sog. Tracer) für Schmutzwasser und Fremdwasser zu verwenden. Die Isotopenanalytik wird bisher bei vielen Anwendungen in der Hydrologie erfolgreich eingesetzt z.B. zur Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Fluss-, See- und Grundwasser, so dass hier auf sehr fundierte Grundlagen, insbesondere im Bereich der Analytik zurückgegriffen werden kann. Im Folgenden wird zuerst auf die Isotope von Wasserstoff und Sauerstoff und deren Analytik eingegangen sowie die Verteilung im natürlichen Wasserkreislauf erläutert. Anschließend wird auf die Anwendung der Isotopenmethode in der Abwassertechnik zur Fremdwasserbestimmung eingegangen.

**Isotope von Wasserstoff und Sauerstoff:** Ein Isotop ist ein Atom, das sich von einem anderen Atom des gleichen chemischen Elements nur in seiner Masse unterscheidet. Isotope haben daher mehr oder weniger Neutronen als andere Atome des gleichen chemischen Elements. Für Wasserstoff sind die beiden häufigsten Isotope entsprechend der Neutronenanzahl:

- $^1\text{H}$  kein Neutron
- $^2\text{H}$  1 Neutron („Deuterium“ auch als  $^2\text{D}$  bezeichnet)

Bei Sauerstoff sind die häufigsten Isotope mit der jeweiligen Neutronenanzahl:

- $^{16}\text{O}$  8 Neutronen
- $^{17}\text{O}$  9 Neutronen
- $^{18}\text{O}$  10 Neutronen

Für Wassermoleküle ergeben sich damit vor allem folgende Zusammensetzungen, die im natürlichen Wasserkreislauf in unterschiedlichen und variierenden Anteilen vorkommen:

- $^1\text{H}_2\ ^{16}\text{O}$
- $^1\text{H}_2\ ^{18}\text{O}$
- $^2\text{H}^1\text{H}^{16}\text{O}$

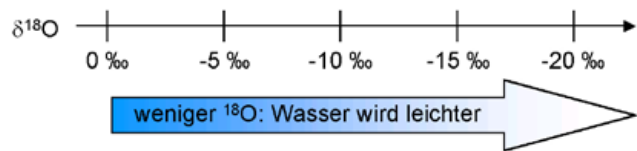
Die Analytik der Isotopen erfolgt mittels Isotopenverhältnis-Massenspektrometrie (IRMS). Dabei wird die Konzentration der Isotopen nicht absolut angegeben, sondern als Abweichung zur Zusammensetzung eines Standards. z.B. exemplarisch für  $^{18}\text{O}$  in Wasser:

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{[\text{H}_2\ ^{18}\text{O}]/[\text{H}_2\ ^{16}\text{O}]_{\text{Probe}}}{[\text{H}_2\ ^{18}\text{O}]/[\text{H}_2\ ^{16}\text{O}]_{\text{Standard}}} - 1$$

Bei Messungen in Wasser wird dabei als Standard „Vienna Standard Mean Ocean Water“, kurz V-SMOW verwendet. Die Konzentration der einzelnen Isotope im V-SMOW wurde von der internationalen Atomenergiebehörde in Wien festgelegt und entspricht in etwa der Isotopenzusammensetzung von Tiefsee-Meerwasser. Dieser Standard wurde gewählt, da die Isotopenzusammensetzung von Tiefsee-Meerwasser überall auf der Welt etwa gleich ist. Das Verhältnis von  $^{18}\text{O}$  zu  $^{16}\text{O}$  bzw.  $^2\text{H}$  zu  $^1\text{H}$  in V-SMOW beträgt:

$$\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} = 2005,2 \cdot 10^{-6} \quad \text{bzw} \quad \frac{^2\text{H}}{^1\text{H}} = 157,76 \cdot 10^{-6}$$

Die nachfolgenden Ausführungen beschränken sich auf  $^{18}\text{O}$ , da dieses Isotop im Vergleich  $^{17}\text{O}$  und  $^2\text{H}$  relativ „häufig“ in der aquatischen Umwelt vorkommt und daher analytisch sehr gut erfasst werden kann. Umso weniger  $^{18}\text{O}$  eine Wasserprobe enthält, desto „leichter“ wird das Wasser. In Bezug auf den Standard V-SMOW lässt sich dieser Sachverhalt folgendermaßen darstellen:



**Verteilung der Isotopen im natürlichen Wasserkreislauf:**  $^1\text{H}_2\ ^{16}\text{O}$ ,  $^1\text{H}_2\ ^{18}\text{O}$  und  $^2\text{H}^1\text{H}^{16}\text{O}$  kommen im natürlichen Wasserkreislauf in unterschiedlichen und variierenden Anteilen vor. Dies ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass Wassermoleküle, die  $^2\text{H}$  oder  $^{18}\text{O}$  enthalten, schwerer sind als ein  $^1\text{H}^1\text{H}^{16}\text{O}$  Molekül. Dadurch ist der Sättigungsdampfdruck von  $^1\text{H}_2\ ^{18}\text{O}$  und  $^2\text{H}^1\text{H}^{16}\text{O}$  etwas geringer als der von  $^1\text{H}^1\text{H}^{16}\text{O}$  und es kommt zu Isotopenfraktionierungen des Wassers bei Phasenübergängen im hydrologischen Kreislauf. Dabei verdunsten die leichten  $^1\text{H}^1\text{H}^{16}\text{O}$  Wassermoleküle schneller, so dass es beim Phasenübergang von flüssig nach gasförmig zu einer Abreicherung des Wasserdampfes mit schweren Molekülen kommt. Beim Phasenübergang von gasförmig nach flüssig kondensieren die schweren Moleküle schneller, so dass Niederschläge mit schweren Molekülen angereichert sind. Diese Isotopenfraktionierungen führen zu zeitlichen und räumlichen Isotopenverteilungen im Niederschlags- und Oberflächenwasser, die sich auf nachfolgend aufgeführte Effekte zurückführen lassen:

**Kontinentalitätseffekt:** Auf dem Weg der Luftmassen von der Küste ins Inland kommt es bei Kondensationsvorgängen zuerst zum Abregnen von schweren Molekülen, so dass die Niederschläge in Küstennähe mit schweren Molekülen angereichert sind während schweren Isotopen in Niederschlägen im Landesinneren abgereichert sind. Dies zeigt sich sehr deutlich in Abb. 6 mit hohen  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten im Westen Europas.

**Höheneffekt:** Wenn Luftmassen Bergketten überwinden, kommt es beim Anstieg der Luftmassen zur Abkühlung und damit zur Kondensation des enthaltenen Wasserdampfes. Dabei kondensieren zuerst die schweren Moleküle, so dass diese bereits in niedrigen Höhenlagen abregnen. Daher kommt es je 100 m geographischer Höhenzunahme zu einer Abnahme von  $^{18}\text{O}$  im Niederschlag um 0,13-0,3 ‰. Dieser Effekt macht sich in Europa insbesondere im Bereich der Alpen bemerkbar, ist jedoch in Abb. 6 nicht ausgeprägt zu erkennen, da er vom oben beschriebenen Kontinentalitätseffekt überlagert wird.

**Saisonalität:** Durch den Jahresgang der Temperatur und damit einhergehend saisonal unterschiedlichen Verdunstungs- und Niederschlagsraten unterliegt die Isotopenzusammensetzung der Wassermoleküle im Niederschlag und in Oberflächengewässern einem Jahresgang. Dabei sind die Niederschläge im Sommer mehr mit schweren Wassermolekülen angereichert als im Winter.

**Einfluss der geographischen Breite:** Neben dem Kontinentalitätseffekt beeinflusst auch die geographische Breite die Isotopenzusammensetzung von Niederschlägen und Oberflächengewässern. Dies ist unter anderem auf unterschiedliche Temperaturen in unterschiedlichen geographischen Breiten zurückzuführen. Weiter wirkt sich auf die Isotopenverteilung die unterschiedliche Verteilung von Land- und Wassermassen in unterschiedlichen geographischen Breiten aus, da diese das Verdunstungs- und Niederschlagsgeschehen beeinflussen. Hinzu kommen polwärts gerichtete Luftmassenströmungen, die ebenfalls das Verdunstungs- und Niederschlagsgeschehen beeinflussen. Insgesamt resultiert auf der Nordhalbkugel der Erde eine

Nord-Süd-Verteilung dahingehend, dass sich in nördlichen Breiten mit schweren Wassermoleküle abgereicherte Niederschläge finden, während die Niederschläge um so mehr mit schweren Wassermolekülen angereichert sind umso weiter südlich der Niederschlag fällt. Auch dieser Effekt ist in nachfolgender Abb. 6 gut zu erkennen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass durch sog. Isotopeneffekte Niederschläge zeitlich und örtlich in charakteristischer Weise markiert werden (Moser und Rauert, 1980), so dass jedes Wasser mit der jeweiligen Verteilung der Isotopenspezies einen „Fingerabdruck“ seiner Herkunft besitzt. Durch Messungen des Gehaltes an Umweltisotopen kann ein Wasser demnach charakterisiert und seine Herkunft bestimmt werden, da die Isotopenzusammensetzung der Wassermoleküle einer Niederschlags- oder Oberflächenwasserprobe von der geographischen Lage des Probenahmeortes beeinflusst wird.

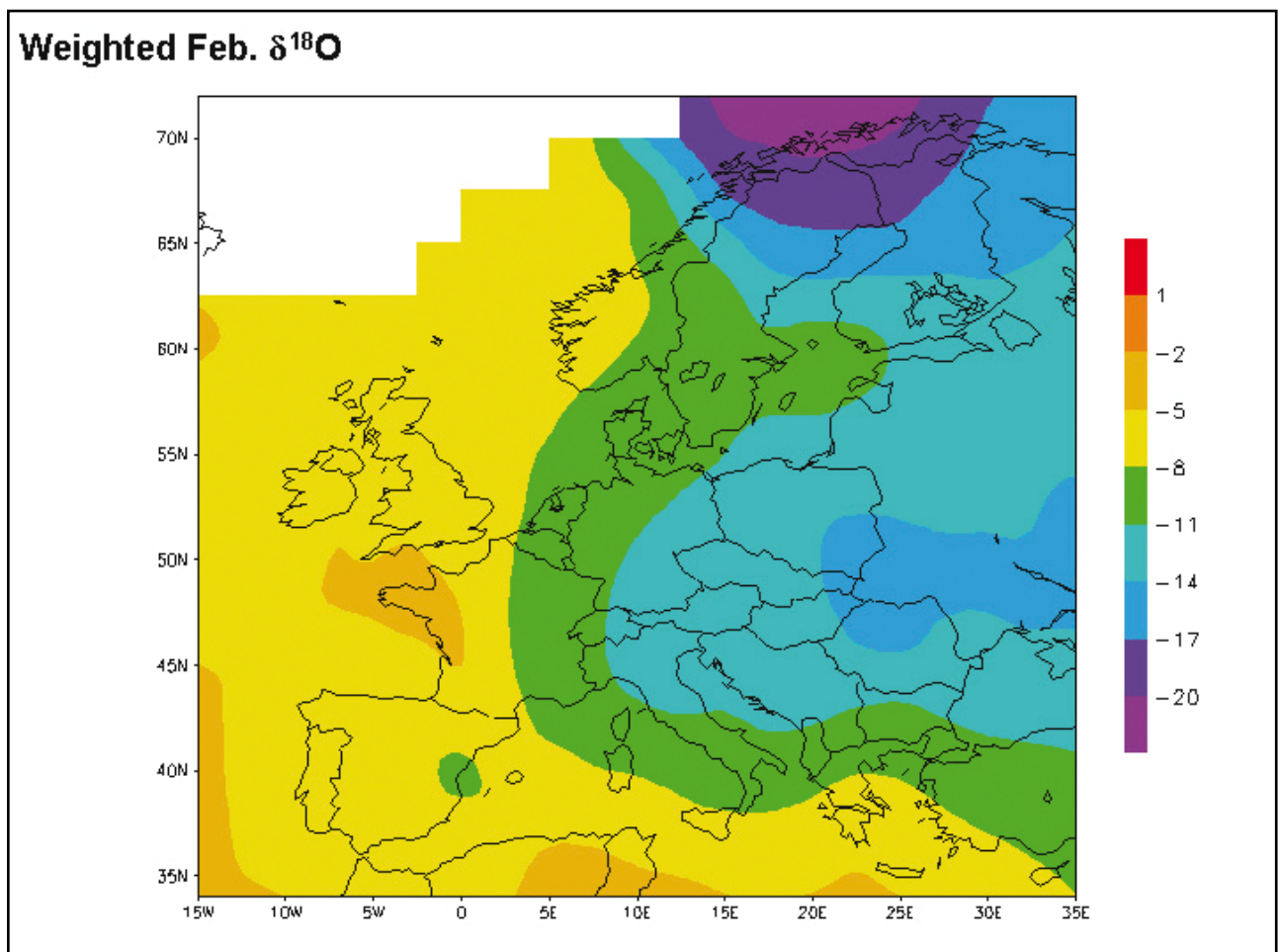


Abb. 6:  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Niederschlag (gewichtet) für den Monat Februar (Quelle: Environmental Isotope Laboratory, University of Waterloo, Kanada)

## ANWENDUNG DER ISOTOPENMETHODEN ZUR FREMDWASSERBESTIMMUNG

Die Idee der Fremdwasserermittlung mittels  $^{18}\text{O}$ -Messungen beruht nun darauf, dass sich in Kommunen, die Trinkwasser über sehr lange Fernwasserversorgungen beziehen, die Isotopenzusammensetzung im lokalen Grund- und Oberflächenwasser (aus welchem Fremdwasser im Mischsystem resultiert) und im Trinkwasser signifikant unterscheiden könnte. Damit wäre bei Kenntnis der Isotopenzusammensetzung im lokalen Grundwasser, im Trinkwasser und im Kläranlagenzulauf über eine einfache Mischungsrechnung eine Bestimmung des Fremdwasseranteils möglich.

Die dazu notwendige Vorgehensweise wird nachfolgend erläutert.

Im Trockenwetterfall berechnet sich der Fremdwasseranteil anhand der Isotopenkonzentration nach folgender Formel für die Mischungsrechnung wobei Proben des Kläranlagenzulaufes (KA), des Trinkwassers (TW) sowie des lokalen Grundwassers (GW) analysiert werden:

$$\text{FWA} = \frac{\delta^{18}\text{O}_{\text{KA}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{TW}}}{\delta^{18}\text{O}_{\text{GW}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{TW}}}$$

Der Fehler des berechneten Fremdwasseranteils aus der Analysengenauigkeit ergibt sich unter Anwendung der Fehlerfortpflanzung nach Gauß zu:

$$\Delta\text{FWA} = \sqrt{\frac{\Delta_{\text{Analytik}}^2}{(\delta^{18}\text{O}_{\text{GW}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{TW}})^2} \left( 1 + \frac{(\delta^{18}\text{O}_{\text{KA}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{GW}})^2}{(\delta^{18}\text{O}_{\text{GW}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{TW}})^2} + \frac{(\delta^{18}\text{O}_{\text{TW}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{KA}})^2}{(\delta^{18}\text{O}_{\text{GW}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{TW}})^2} \right)}$$

Die Analysengenauigkeit  $\Delta_{\text{Analytik}}$  der Analytik für  $^{18}\text{O}$  beträgt dabei  $\pm 0,15\text{‰}$ .

## ANWENDUNG DER METHODE

Baden-Württemberg besitzt neben drei kleineren Fernwasserversorgungssystemen (Nord-Ost-Wasserversorgung, Blau-Lauter-Gruppe, Wasserversorgung Kleine Kinzig) mit der Landeswasserversorgung und der Bodenseewasserversorgung zwei große, überregionale Fernwasserversorgungssysteme, deren Hauptleitungsnetze in Abb. 7 dargestellt sind. Abb. 7 zeigt weiter die Landesgrenze von Baden-Württemberg sowie den Bodensee und dessen Einzugsgebiet.

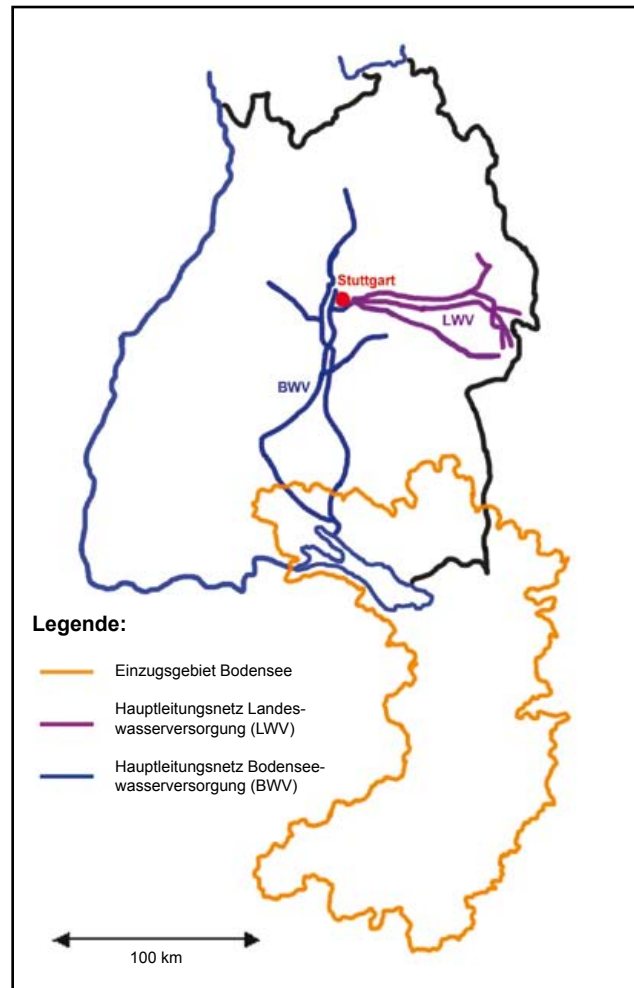


Abb. 7: Hauptleitungsnetz der Landeswasserversorgung und der Bodenseewasserversorgung

Die Wassergewinnung bei der Landeswasserversorgung erfolgt aus Grundwasser aus dem Donauried nördlich von Ulm sowie aus Burgberg und Blaubeuren (rund 45 %). Weiter aus Quellwasser aus der Buchbrunnenquelle bei Dischingen (etwa 17 %) sowie aus Flusswasser aus der Donau (etwa 34 %). Das aufbereitete Wasser wird entlang des Hauptleitungsnetzes hauptsächlich nach Westen in Richtung Stuttgart verteilt.

Der Zweckverband Bodenseewasserversorgung entnimmt dem Bodensee Rohwasser in der Nähe von Sipplingen in 60 Meter Tiefe. Das Einzugsgebiet des Bodensees erstreckt sich vom Oberschwäbischen vor allem in die Schweizer Alpen. Nach der Aufbereitung wird das Wasser hauptsächlich nach Norden über eine Entfernung von ca. 150 km in den Ballungsraum um Stuttgart und darüber hinaus gefördert und verteilt.

Da bei beiden Fernwasserversorgungen die Wassergewinnung räumlich teilweise weit von den Versorgungsgebieten entfernt sind bieten sich hier gute Voraussetzungen,



dass sich die Isotopenzusammensetzung im Trinkwassers von der der lokalen Grundwässer in den versorgten Gebieten, z.B. Stuttgart und Umgebung unterscheidet. Daher wurde die Fremdwasserermittlung mit Hilfe von Isotopenmessungen in zwei Gemeinden im Umland von Stuttgart, die Trinkwasser ausschließlich von den Fernwasserversorgungen beziehen untersucht.

Bei den Untersuchungen wurden jeweils

- 2-3 Grundwasserproben aus dem Einzugsgebiet der Kläranlage
- 1 Trinkwasserprobe
- 6 durchflussproportionale 2 h-Mischproben im Kläranlagenzulauf (jede zweite Probe eine Probenreihe von 12 · 2 h-Mischproben)
- 1 durchflussproportionale 24 h-Mischprobe

auf <sup>18</sup>O untersucht. Die Analytik der Proben auf <sup>2</sup>H wurde nur zu Beginn der Untersuchungen durchgeführt, da die sich aus der analytischen Genauigkeit für <sup>2</sup>H ergebenden Unsicherheit bei der Fremdwasserberechnung relativ groß ist.

#### ERGEBNISSE DER BEPROBUNG IN STEINENBRONN

Die oben beschriebene Methode zur Fremdwasserbestimmung mittels Isotopenmessung wurde in der Gemeinde Steinenbronn angewendet. Die Gemeinde Steinenbronn liegt ca. 15 km südlich von Stuttgart und hat rund 6.000 Einwohner. Die Wasserversorgung von Steinenbronn erfolgt ausschließlich mit Wasser der Bodenseewasserversorgung.

#### ANALYSEN VOM 04./05.11.2004

Am 05.11.2004 wurden in Steinenbronn Proben aus Grundwasserbrunnen am Sportplatz, am Rathaus und auf der Kläranlage sowie eine Trinkwasserprobe (Bodenseewasserversorgung) entnommen und auf <sup>18</sup>O analysiert. Vom 04.11.2003, 7:00 Uhr bis 05.11.2003, 7:00 Uhr wurden im Zulauf der Kläranlage von 12 durchflussproportionalen 2 h-Mischproben jede zweite Probe sowie eine durchfluss-

proportionale 24 h-Mischprobe auf <sup>18</sup>O analysiert. Die <sup>18</sup>O-Analytik wurde von der Fa. Hydroisotop GmbH, Schwenkenkirchen durchgeführt. Die Ergebnisse der <sup>18</sup>O-Analytik sind in Tab. 4 gegeben. Auf die Darstellung der Ergebnisse der 2 h-Mischproben wurde der Übersichtlichkeit wegen verzichtet.

Die Analyseergebnisse zeigen einen signifikanten Unterschied zwischen den  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten im Trinkwasser und im Grundwasser von über 2,5 ‰. Dieser Unterschied ist primär darauf zurückzuführen, dass das Einzugsgebiet des Bodensees zu einem Großteil alpines Gebiet ist und die Isotopenzusammensetzung daher vom oben beschriebenen Höheneffekt geprägt ist. Weiter ist der Bodensee und sein Einzugsgebiet 150 km und mehr von Steinenbronn entfernt, was ebenfalls zu unterschiedlichen <sup>18</sup>O-Gehalten führen kann. Trotz der unterschiedlichen  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der Grundwasserbrunnen „Sportplatz“ und „Rathaus“ in Steinenbronn kann davon ausgegangen werden, dass es sich um Grundwässer aus dem gleichen Aquifer handelt, wohingegen das Grundwasser aus dem Brunnen „Kläranlage“ aus einem anderen Aquifer zugeordnet werden kann. Da Fremdwasserzutritte ins Kanalnetz erfahrungsgemäß vor allem im Einzugsgebiet stattfinden, sich die Kläranlage jedoch außerhalb des eigentlichen Einzugsgebietes befindet, wurden für die Berechnung des Fremdwasseranfalls nur die <sup>18</sup>O-Werte der beiden Brunnen im Einzugsgebiet berücksichtigt und die Berechnungen mit dem Mittelwert der beiden Grundwässer von -9,14 ‰ durchgeführt. Nachfolgende Abb. 8 zeigt den Abwasserzufluss zur Kläranlage während des Untersuchungszeitraumes als 2 h-Mittelwerte. Weiter ist der aus den <sup>18</sup>O-Messungen berechnete Fremdwasserzufluss in l/s einerseits aus der Messung in der 24 h-Mischprobe (gestrichelte Linie) und aus den Messungen in 2 h-Mischproben (rote Linie) dargestellt. Für die 2 h-Mischproben ist weiter der analytische Toleranzbereich unter Berücksichtigung der Fehlerfortpflanzung gegeben (quadratische Punkte).

Bei den aus den 2 h-Mischproben berechneten Fremdwasserzuflüssen ist auffallend, dass der Fremdwasserzu-

Tab. 4: Analysenwerte der Beprobung am 04./05.11.2003

	Trinkwasser	GW Brunnen „Sportplatz“	GW Brunnen „Rathaus“	GW Brunnen „Kläranlage“	Zulauf Kläranlage 24 h-Mischprobe
$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	-11,76	-9,25	-9,02	-8,25	-10,84

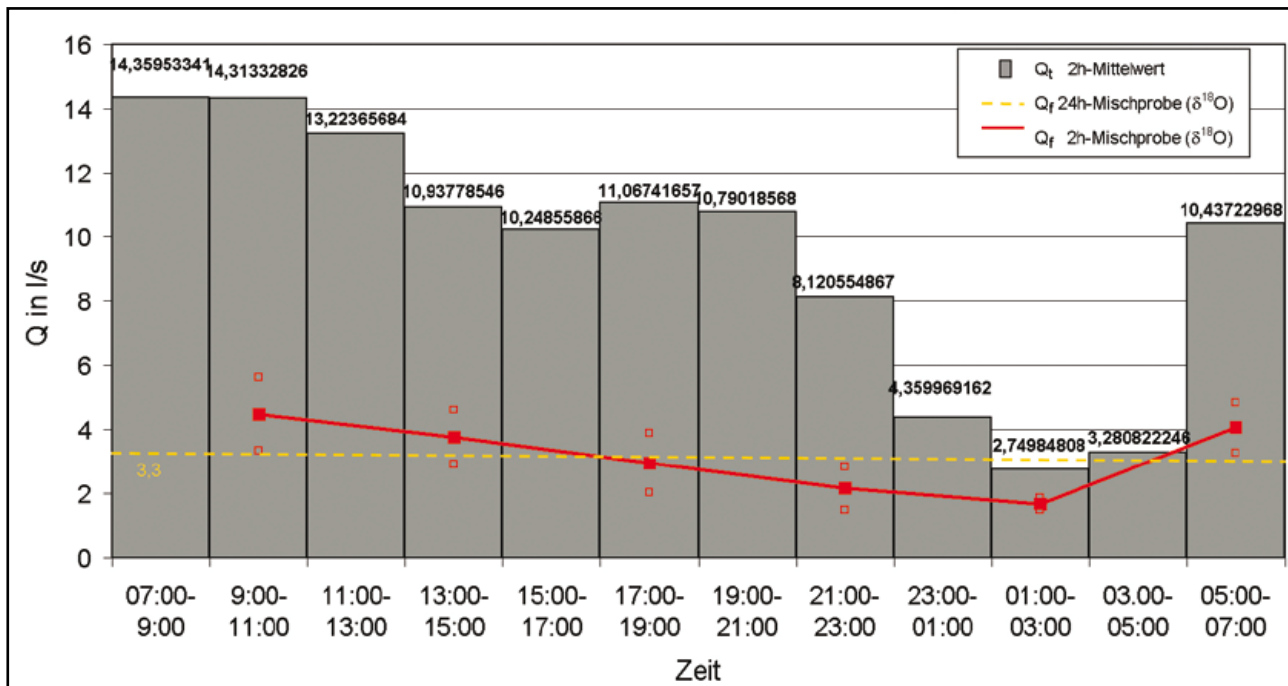


Abb. 8: Abwasserzufluss zur Kläranlage sowie aus <sup>18</sup>O-Messungen berechneter Fremdwasserzufluss am 04./05.11.2003

fluss einen Tagesgang mit Maximum von 4,5 l/s zwischen 9 und 11 Uhr und Minimum von 1,7 l/s zwischen 1 und 3 Uhr besitzt. Dieser Tagesgang verläuft analog dem Tagesgang des Abwasserzuflusses. Da der Fremdwasserzufluss aus technischer Sicht keinem Tagesgang unterliegen kann, wurde nach Ursachen für den Tagesgang gesucht. Dabei stellte sich heraus, dass es in Steinenbronn ca. 70 alte Grundwasserbrunnen gibt, wobei sich davon die meisten auf privaten Grundstücken befinden. Es besteht die Vermutung, dass etliche dieser Brunnen heute noch vor allem zur Toilettenspülung genutzt werden, dies der Gemeinde aber nicht gemeldet wird. Ebenfalls nicht ausgeschlossen werden kann z.B. die Nutzung von Regenwasser aus Zisternen zur Toilettenspülung. Damit ist einerseits der Tagesgang des „Fremdwasserzuflusses“ zu erklären, andererseits wird mit der Methode der <sup>18</sup>O-Messung insbesondere tagsüber ein zu hoher Fremdwasserzufluss berechnet. Es muss daher davon ausgegangen werden, dass der reale Fremdwasserzufluss etwa dem berechneten Wert im Nachtminimum (1,7 l/s) entspricht. Wird über den Tag ein konstanter Fremdwasserzufluss von 1,7 l/s angesetzt, so entspricht dies einem Fremdwasseranteil von 17,9 %.

#### ANALYSEN VOM 16./17.05.2004

Am 16./17.05.2004 wurde eine weitere Berechnung des Fremdwasseranfalls mit Hilfe der <sup>18</sup>O-Messung in der Gemeinde Steinenbronn durchgeführt. Dabei wurde analog der oben beschriebenen Vorgehensweise verfahren. Die <sup>18</sup>O-Analysergebnisse sind in nachfolgender Tab. 5 aufgeführt, wobei die Ergebnisse der 2 h-Mischproben der Übersichtlichkeit wegen nicht dargestellt sind.

Auch hier liegt zwischen der Trinkwasserprobe und den Grundwasserproben ein signifikanter Unterschied in den <sup>18</sup>O-Werten von über 2,1 ‰, so dass eine Fremdwasserberechnung durchgeführt wurde. Dabei wurde für das Grundwasser der Mittelwert der beiden Proben aus den Brunnen „Sportplatz“ und „Rathaus“ verwendet, der Wert der Probe aus dem Brunnen „Kläranlage“ wurde aus den schon oben dargestellten Gründen nicht verwendet. Der Abwasserzufluss zur Kläranlage als 2 h-Mittelwerte (graue Balken) sowie der aus den 2 h-Mischproben mittels <sup>18</sup>O-Analytik berechnete Fremdwasserzufluss (rote Linie) sind in Abb. 9 dargestellt. Weiter zeigen die offenen Quadrate den analytischen Toleranzbereich unter Berücksichtigung der Fehlerfortpflanzung für die Fremdwasserberechnung

Tab. 5: Analysenwerte der Beprobung am 16./17.05.2004

	Trinkwasser	GW Brunnen „Sportplatz“	GW Brunnen „Rathaus“	GW Brunnen „Kläranlage“	Zulauf Kläranlage 24h-Mischprobe
δ <sup>18</sup> O [‰]	-11,67	-9,26	-9,12	-9,50	-10,86

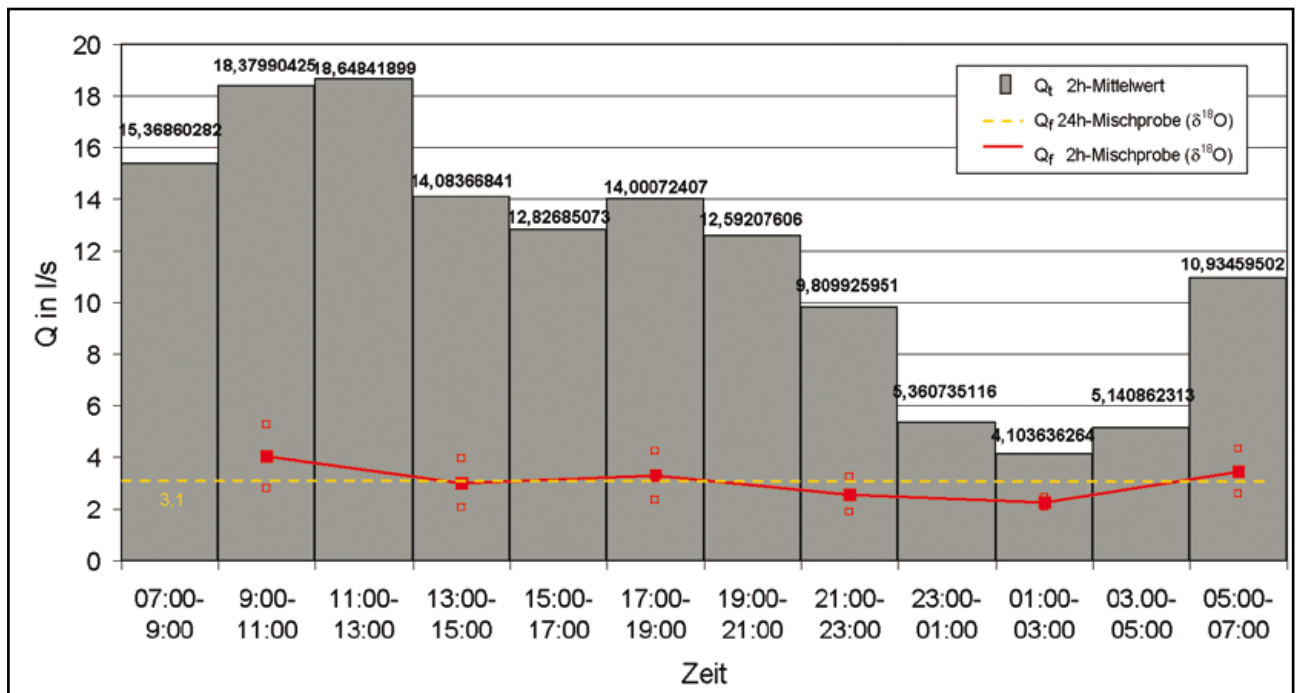


Abb. 9: Abwasserzufluss zur Kläranlage sowie aus  $^{18}\text{O}$ -Messungen berechneter Fremdwasserzufluss am 16./17.5.2004

aus den  $^{18}\text{O}$ -Werten. Die gestrichelte Linie stellt den aus der 24 h-Mischprobe berechneten Fremdwasserzufluss dar.

Wiederum ist auffallend, dass die aus den 2 h-Mischproben mittels  $^{18}\text{O}$ -Analytik berechneten Fremdwasserzuflüsse einen Tagesgang mit Maximum von 4,0 l/s zwischen 9 und 11 Uhr und Minimum von 2,3 l/s zwischen 1 und 3 Uhr besitzt. Dies bestätigt die Annahme, dass in der Gemeinde Grundwasser aus Brunnen bzw. Regenwasser aus Zisternen z.B. zur Toilettenspülung verwendet wird. Wird der Fremdwasserzufluss zu dem mittels  $^{18}\text{O}$ -Analytik berechneten Wert im Nachtminimum von 2,3 l/s angenommen, ergibt sich ein Fremdwasseranteil von 19,5 %.

#### ERGEBNISSE DER BEPROBUNG IN SCHLIERBACH

Die Gemeinde Schlierbach liegt ca. 30 km süd-östlich von Stuttgart und hat rund 4.000 Einwohner. Die Wasserversorgung von Schlierbach erfolgt ausschließlich mit Wasser der Landeswasserversorgung. Am 19.01.2004 wurden in Schlierbach jeweils Grundwasserbrunnen in der Seestraße, in der Hölzerstraße und auf der Kläranlage sowie Trinkwasser beprobt und auf  $^{18}\text{O}$  analysiert. Im Zulauf der

Kläranlage wurden von 12 durchflussproportionalen 2 h-Mischproben jede zweite Probe sowie eine durchflussproportionale 24 h-Mischprobe auf  $^{18}\text{O}$  analysiert. Die  $^{18}\text{O}$ -Analytik wurde von der Fa. Hydroisotop GmbH, Schweitenkirchen durchgeführt.

Die Ergebnisse der  $^{18}\text{O}$ -Analytik sind in Tab. 6 gegeben. Auf die Darstellung der Ergebnisse der 2 h-Mischproben wurde der Übersichtlichkeit wegen verzichtet.

Da sich in diesem Fall die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte des Trinkwassers und der Grundwässer nicht signifikant unterscheiden, war eine Berechnung des Fremdwasserzuflusses zur Kläranlage nicht möglich.

Im Fall der Beprobung in Steinenbronn ist die große Differenz der  $^{18}\text{O}$ -Werte im Trinkwasser (Bodenseewasserversorgung) und im lokalen Grundwasser vor allem auf den Höheneffekt der Isotopenverteilung aufgrund des alpinen Einzugsgebietes des Bodensees zurückzuführen. Alleine eine räumliche Entfernung von wenigen 100 km ohne große Höhendifferenz zwischen Trinkwassergewinnungsort und Beprobungsort für die Fremdwassermessung führt

Tab. 6: Analysenwerte der Beprobung am 18./19.01.2004

	Trinkwasser	GW Brunnen „Seestraße“	GW Brunnen „Hölzerstraße“	GW Brunnen „Kläranlage“	Zulauf Kläranlage 24h-Mischprobe
$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	-9,99	-9,18	-9,73	-9,57	-9,33



zu keiner ausreichenden Differenz in den  $^{18}\text{O}$ -Werten zwischen lokalem Grundwasser und Trinkwasser einer Fernwasserversorgung, wie es die Beprobung in Schlierbach gezeigt hat.

#### VERGLEICH MIT ANDEREN METHODEN

In nachfolgender Tab. 7 sind die mittels  $^{18}\text{O}$ -Messungen berechneten Fremdwasseranteile der oben beschriebenen Beprobung in Steinenbronn den mit anderen Methoden berechneten Werten gegenübergestellt. (Da sowohl mit der Methode des Gleitenden Minimums als auch mit der Dreiecksmethode keine tagesscharfen Werte für den Fremdwasseranteil ermittelt werden können, wurden diese Methoden nicht in den Vergleich aufgenommen).

Tab. 7: Vergleich der mittels verschiedener Methoden ermittelten Fremdwasseranteile

FWA [%]	04./05.11.2003	16./17.5.2004
<b><math>^{18}\text{O}</math>-Methode</b>	17,9	19,5
<b>Nachtminimum (ATV)</b>	15,8	29,7
<b>Chemische Methode (CSB)</b>	29,2	42,2

Aufgrund der vielen Unsicherheiten, die mit der  $^{18}\text{O}$ -Methode verbunden sind, erscheint eine Einordnung bzw. Bewertung der ermittelten Fremdwasseranteile gegenüber anderen Methoden derzeit nicht sinnvoll.

#### BEWERTUNG DER METHODE

Aufgrund der vielen Randbedingungen, die bei der Fremdwasserberechnung mittels der Messung von Isotopen eingehalten werden müssen, ist der Anwendungsbereich der Methode sehr eingeschränkt und nicht für den flächendeckenden Einsatz geeignet. Die Anwendung der Methode beschränkt sich auf wenige Einzugsgebiete und ist demnach vorrangig für Forschungszwecke interessant. Dies zeigen auch Untersuchungen anderer Institutionen.

Im Rahmen des EU-Forschungsprojektes „APUSS“ (Assessing Infiltration and Exfiltration on the Performance of Urban Sewer Systems) wurden in Frankreich, Italien und in der Schweiz ebenfalls Fremdwasserbestimmungen mittels  $^{18}\text{O}$ - und  $^{16}\text{H}$ -Messungen durchgeführt (Kracht et al., 2003; Gresch und Kracht, 2003). Von der EAWAG, Dübendorf, CH wurden dabei Beprobungen in der Gemeinde Rümeling, CH durchgeführt. Die Trinkwasserversorgung in Rümeling erfolgt größtenteils aus

dem Züricher See mit alpinem Einzugsgebiet. Im Trinkwasser wurden  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von rund  $-11,5\text{‰}$  gemessen, während das lokale Grundwasser  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von  $-9,7\text{‰}$  aufwies. Die Differenz war für die Fremdwasserberechnung ausreichend groß, jedoch erfolgt die Trinkwasserversorgung in Rümeling nur zu ca. 70 % mit Fernwasser aus dem Züricher See, die restlichen Anteile wurden aus lokalen Wässern eingespeist. Dies führte zu zu großen Unsicherheiten bei der Fremdwasserbestimmung, so dass die Beprobung bei Versorgung der Gemeinde mit 100 % Fernwasser wiederholt werden soll. Bei Untersuchungen der INSA, Lyon, F, im Zulauf der Kläranlagen von Lyon konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten im Trinkwasser und im Abwasser festgestellt werden. Dies konnte darauf zurückgeführt werden, dass es in Lyon einerseits einen Aquifer mit  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten gibt, die kleiner als die des Trinkwassers ( $-9,5\text{‰}$ ) sind (Rhône-Aquifer mit  $-10,8\text{‰}$ ) und andererseits einen Aquifer, in dem höhere Werte als im Trinkwasser gemessen wurden (Saône-Aquifer mit  $-8,0\text{‰}$ ), so dass sich bei der Mischung von Fremdwasser aus beiden Aquiferen  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte ergeben, die dem des Trinkwassers sehr ähnlich sind. Bei der lokalen Anwendung der Isotopen-Methode im Einflussbereich von nur einem Aquifer konnten mit der Methode jedoch gut Ergebnisse erzielt werden (de Benedittis und Bertrand-Krajewski, 2003). Bei ersten Beprobungen des IRSA-CNR, Rom, I in Toraccia, welches über Fernwasser versorgt wird, konnte eine Differenz der  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Trinkwasser und im lokalen Grundwasser von 2-3 ‰ festgestellt werden. Über Berechnungen des Fremdwasseranteils sind bisher noch keine Veröffentlichungen bekannt.

#### 2.4.2 FREMDWASSERMESSUNG IM KANALNETZ

##### 2.4.2.1 EINGRENZUNG VON FREMDWASSERQUELLEN IM KANALISATIONSNETZ

Mit den bisher vorgestellten Methoden zur Fremdwasserbestimmung lässt sich insbesondere der Fremdwasseranteil am Gesamtabfluss eines Einzugsgebietes ermitteln (Fremdwassermessung im Zulauf der Kläranlage).

Tatsächlich ist das Problem Fremdwasser jedoch weitaus komplexer und umfassender zu betrachten, wenn das Ziel einer umfassenden Sanierung des beeinträchtigten Kanalisationsnetzes angestrebt wird. Die Planung von Maßnah-

men zur Fremdwassersanierung erfordert mehr als nur die ungefähre Angabe des Gesamtfremdwasseraufkommens. Für die Erarbeitung wirksamer Sanierungsstrategien werden vielmehr detaillierte Angaben zu den Fremdwasserschwerpunkten im Einzugsgebiet und den dafür verantwortlichen Fremdwasserquellen benötigt, um Sanierungsmaßnahmen gezielt durchführen zu können.

Das im Folgenden vorgestellte Konzept einer Fremdwasseruntersuchung berücksichtigt deshalb im Hinblick auf die Fremdwassersanierung folgende Punkte:

- Detaillierte Fremdwasserabflussermittlungen in den Teileinzugsgebieten.
- Nachweis und Lokalisierung der Haupt-Fremdwasserquellen.

Erst wenn auf Grund dieser Informationen die verschiedenen Prioritäten und der voraussichtliche Wirkungsgrad geplanter Teilsanierungen bekannt ist, kann vom Betreiber ein Gesamtkonzept zur langfristigen Verminderung des Fremdwassers erarbeitet werden.

#### 2.4.2.2 RANDBEDINGUNGEN UND VORGEHENSWEISE

Bei Fremdwassermengenmessungen muss prinzipiell zwischen einmaligen Messkampagnen, bei denen der Fremdwasserabfluss aus einer einmaligen Abflussmessung bestimmt wird und langfristigen Beobachtungen, bei denen der Abfluss kontinuierlich über einen Zeitraum von einem Tag bis zu mehreren Wochen oder gar dauerhaft gemessen wird, unterschieden werden.

Für einmalige Messkampagnen ist es wichtig, dass während einer Abflussmessung neben dem Fremdwasser möglichst kein Schmutz- oder Regenwasser abfließt (Ausnahme: Messung von Regenabfluss als Fremdwasserkomponente im Schmutzwasserkanal eines Trennsystems). Als Zeitpunkt für die direkte Messung des Fremdwasseraufkommens eignet sich deshalb insbesondere ein Zeitfenster von wenigen Stunden (meist zwischen 0 und 4 Uhr) um das Nachtminimum mit dem geringsten Schmutzwasseranfall.

Abb. 10 zeigt die gemessene Abflussganglinie einer Kläranlage über den Verlauf eines Tages. Neben dem nächtlichen Minimum ist auch der im Laufe des Vormittags und der Abendstunden leicht zunehmende Abwasseranfall erkennbar.

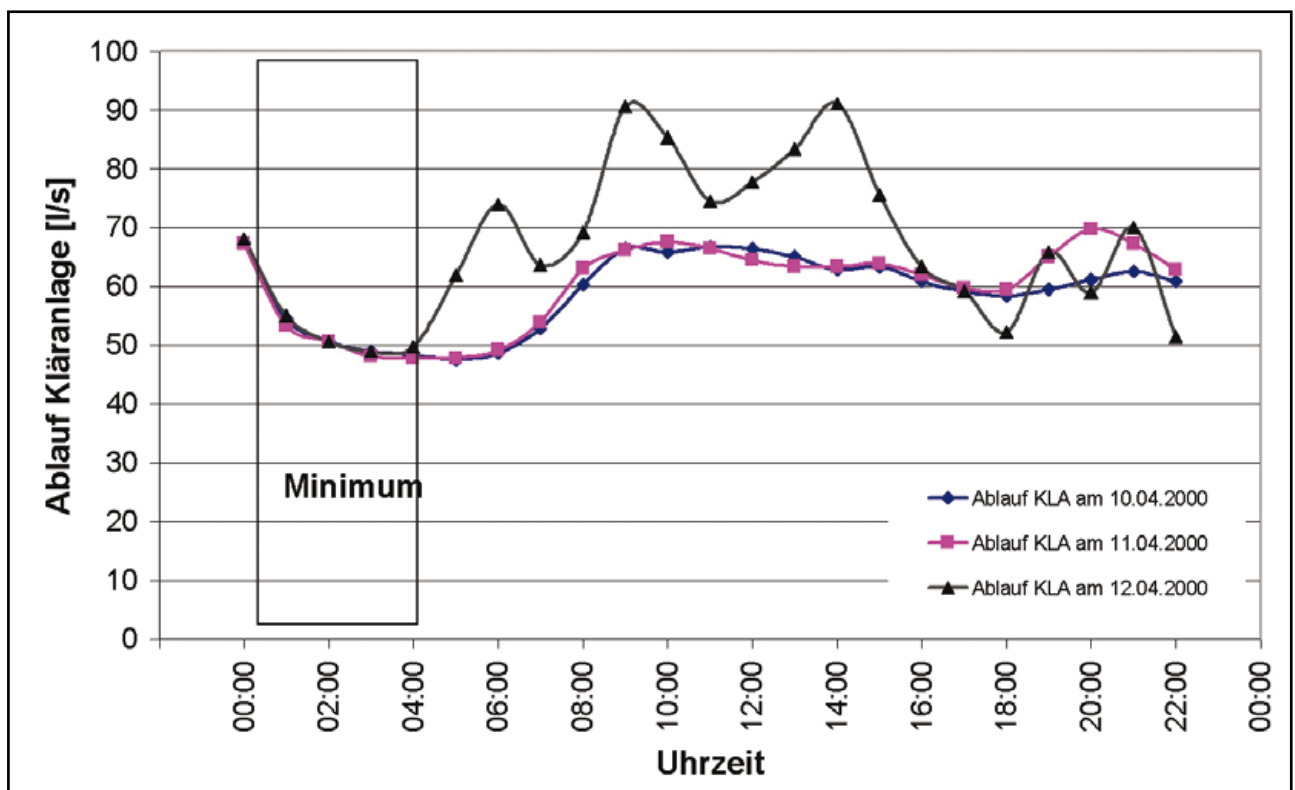


Abb. 10: Durchflussminimum der Kläranlage eines Mischwassernetzes bei Trockenwetter, an einem Tag überlagert durch einsetzende Niederschläge (Bosseler und Cremer, 2001)

Abhängig von der Einwohnerzahl und der Siedlungsstruktur des zu untersuchenden Einzugsgebietes kann das Nachtminimum jedoch mehr oder weniger stark ausgeprägt und das Zeitfenster von unterschiedlicher Länge sein. Aus diesem Grund ist es ratsam, im Vorfeld einer nächtlichen Fremdwasseruntersuchung anhand von zuvor gemessenen Tagesganglinien (z.B. Kläranlagenzufluss) den möglichen Messzeitraum ungefähr abzuschätzen, um die Planung des Messprogramms darauf abzustimmen. Als Alternative zur Auswertung von Abflussganglinien einer Kläranlage können im Vorfeld der Untersuchung Übersichtsmessungen, z.B. Abflussmessungen mit aufzeichnenden Geräten wie Ultraschall-Doppler- bzw. Kreuzkorrelations-Geräte oder Wasserstandsmessungen mit einem Echolot an markanten Punkten im Untersuchungsgebiet angeordnet werden. Wenn an Regenüberlaufbecken Messeinrichtungen zur Abflussmessungen vorhanden sind, können diese ebenfalls zur Ermittlung des Zeitpunkts des Nachtminimums verwendet werden. Zur eigentlichen Fremdwassermengenmessung sind diese Einrichtungen jedoch meist nicht geeignet, da sie relativ große Messbereiche haben und die resultierenden Abweichungen bei den im Vergleich geringen nächtlichen Abflüssen nicht tolerierbar sind.

#### BEURTEILUNG DER GRUNDWASSERSITUATION

Ein erheblicher Anteil des Fremdwassers gelangt in Form von Grundwasser durch undichte Leitungen und Hausdrainagen in die Kanalisation, so dass das Fremdwasser aufkommen häufig in Wechselwirkung zum Grundwasserstand steht. Abhängig davon, ob die defekten Rohrleitungen ober- oder unterhalb des Grundwasserspiegels liegen, kann entweder Abwasser exfiltrieren oder Grundwasser infiltrieren. Nennenswerte Fremdwassermengen aus Drainagen und Undichtigkeiten kann man demnach nur bei ausreichend hohem Grundwasserstand beobachten.

Der Grundwasserstand unterliegt sowohl langfristigen Schwankungen, als auch Veränderungen im Verlauf eines hydrologischen Jahres (vgl. Abb. 11). Trotz der über das Sommer- und Winterhalbjahr gleichmäßig verteilten Niederschlagsmengen, beobachtet man in der Zeit von Mai bis Oktober in der Regel ein Absinken des Grundwasserspiegels. Die fehlende Grundwasseranreicherung im Sommer beruht auf den in dieser Zeit intensiveren Niederschlägen, von denen ein Großteil an der Oberfläche abläuft, statt zu versickern. Erst während des Winters, wenn die Niederschlagsintensitäten abnehmen, versickert mehr Niederschlag im Boden, wodurch der Grundwasserstand ansteigt. Im darauf folgenden Frühjahr ist die

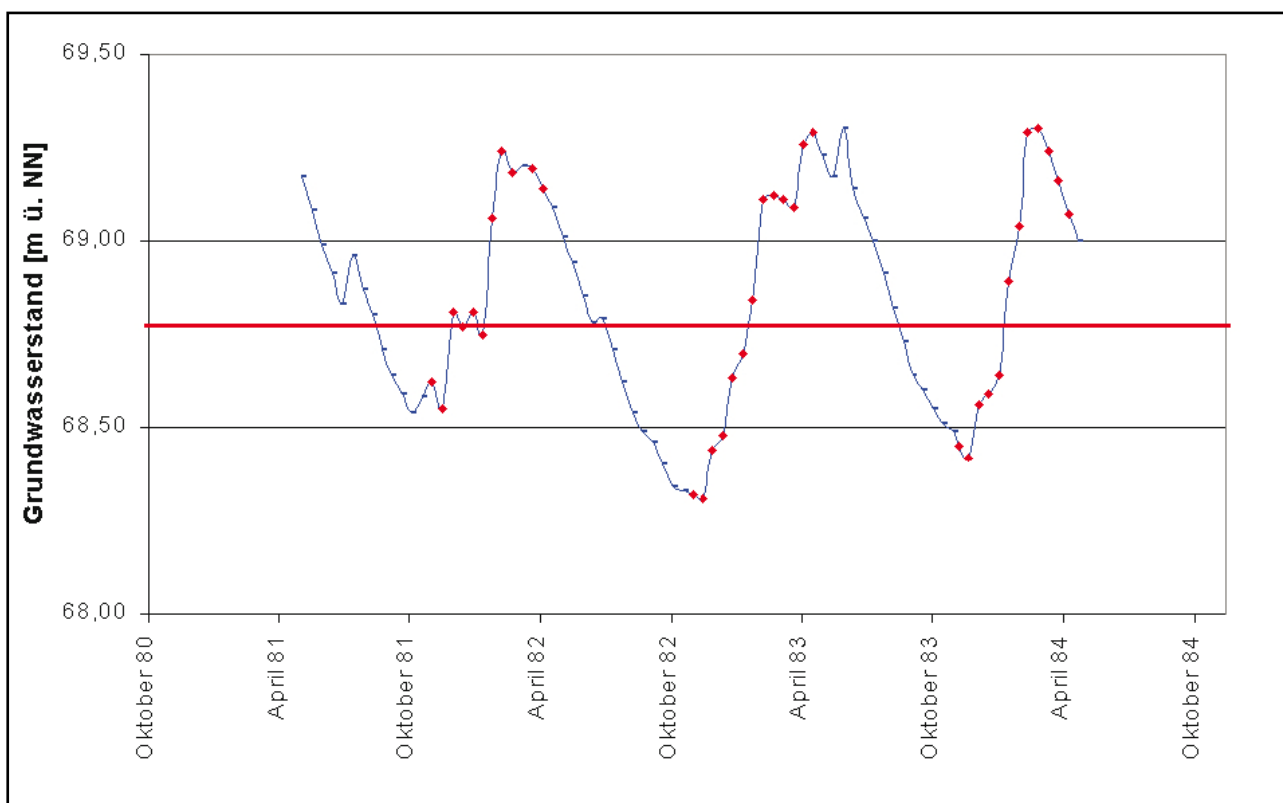


Abb. 11: Beispiel für die jahreszeitliche Veränderung der Grundwassersituation

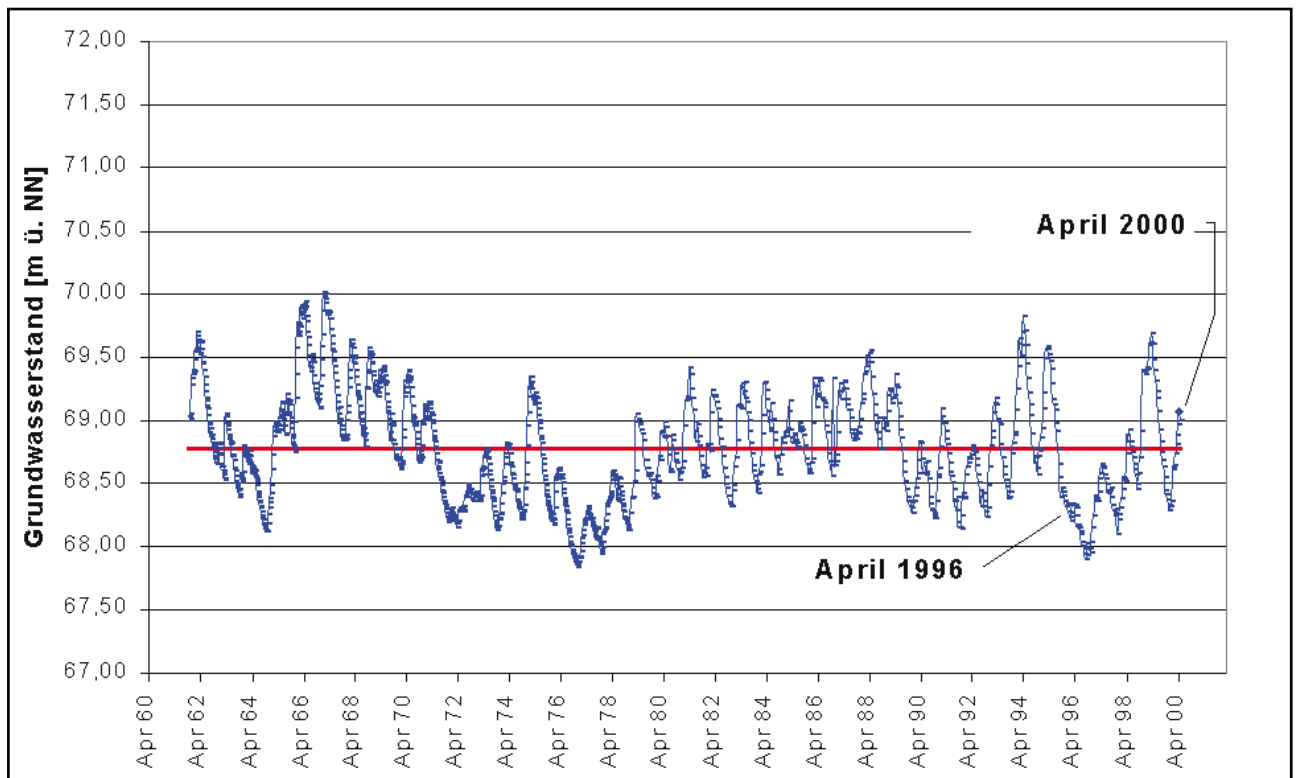


Abb. 12: Beispiele für die langfristige Veränderung des Grundwasserpegels (Bosseler und Cremer, 2001)

Grundwasserneubildung abgeschlossen, so dass man nach einem niederschlagsreichen Winter etwa im April mit dem geringsten Flurabstand des Grundwassers rechnen kann. Daher bieten die vor allem in den Monaten Januar bis April zu erwartenden hohen Grundwasserstände gute Voraussetzungen zur Fremdwasseruntersuchung.

Der Grundwasserstand unterliegt jedoch nicht nur den Schwankungen innerhalb eines Jahres sondern ebenso langfristigen Schwankungen, die insbesondere bei der Auswertung von Ganglinien über mehrere Jahrzehnte deutlich werden (vgl. Abb. 12). Die Abfolge von nassen und trockenen Perioden beeinflussen dabei die Grundwasserneubildung. So waren nach einem trockenen Sommer und Winter im Frühjahr 1996 mancherorts die Grundwasserpegel durch bemerkenswerte Tiefstände gekennzeichnet.

Der Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Messung sollte keinesfalls unterhalb des langjährigen Mittels liegen, welches am besten auf Basis der Grundwasserdaten mehrerer Jahrzehnte ermittelt wurde. Zu kurze Jahresreihen bergen die Gefahr, dass der Grundwasserstand zum Zeitpunkt der Messung weit unterhalb des langjährigen Mittels liegt und daraufhin die Bedeutung der Fremdwassersituation verkannt wird.

Ob ein Fremdwasserproblem vom saisonalen Grundwasserstand abhängt, wird am ehesten beim Betrachten der an der Kläranlage aufgezeichneten Zulaufganglinie deutlich. Steigen in einem Jahr mit hohen Grundwasserständen die gemessenen Zuflussmengen an (vgl. Abb. 13), so muss grundsätzlich von einem saisonabhängigen Fremdwasserproblem ausgegangen werden. Die lokale Fremdwassersituation sollte erst bei Grundwasserständen untersucht werden, für die bereits ein deutlicher Fremdwasserabfluss zu erwarten ist.

Die besondere Situation in mischentwässerten Einzugsgebieten setzt außerdem voraus, dass Fremdwasseruntersuchungen unbedingt bei Trockenwetter durchgeführt werden. Abflüsse von Oberflächenwasser aus Außengebieten werden hierbei am ehesten erfasst, wenn die Messung möglichst zeitnah nach der Entleerung der Regenbecken stattfindet. Im Gegensatz zum Trennsystem wird Niederschlagswasser in der Mischkanalisation planmäßig abgeleitet, so dass während einer Mengenmessung die Summe aus Fremdwasser und dem damit zusammen abfließenden Niederschlagswasser gemessen würde. Im Trennsystem ist eine Messung bei Trockenwetter nur dann sinnvoll, wenn nicht Fehllanschlüsse (z.B. Regenfalleitungen) sondern ausschließlich grundwasserbürtige Zuflüsse erfasst werden sollen.

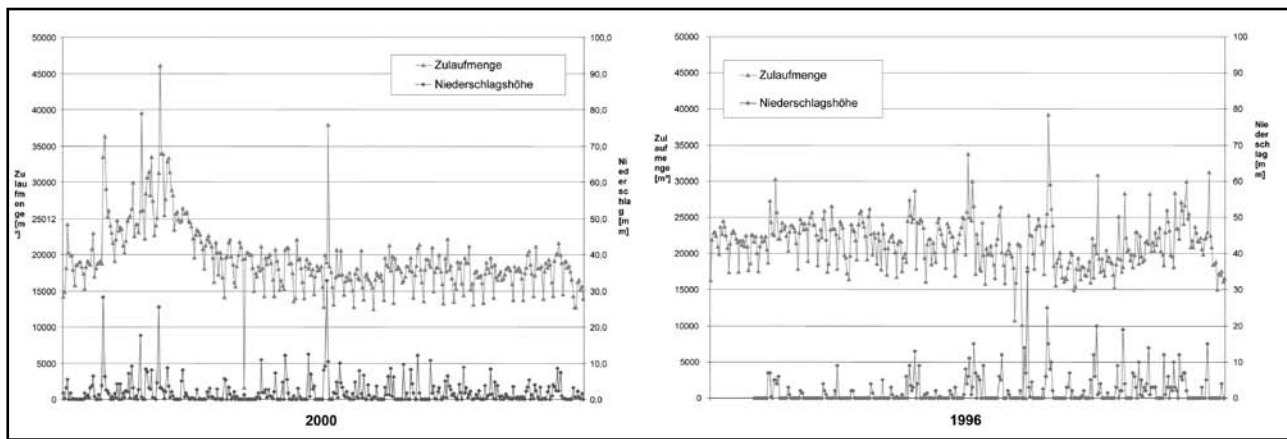


Abb. 13: Zuflussganglinie einer Kläranlage mit zunehmendem Fremdwasserabfluss im Frühjahr (links) und ohne saisonalen schwankenden Fremdwasserabfluss (rechts)

Nach sorgfältiger Planung des Zeitraums, kann eine engere Eingrenzung der Fremdwasserquellen, von der Kläranlage ausgehend, vorgenommen werden. Geeignet sind z.B. **Durchflussmessungen während des minimalen Nachtabflusses**, d.h. die Bestimmung der nächtlichen Abflüsse aus den unterschiedlichen Teileinzugsgebieten des Netzes sowie an der Kläranlage unter Berücksichtigung eines Restschmutzwasserzuflusses. Diese Vorgehensweise kann nach Popp et al. (2002) mit qualitativen Abwasseruntersuchungen zur Bestimmung des Fremdwasserabflusses nach der „Chemischen Methode“ (vgl. 2.4.1.7) kombiniert werden. Diese Vorgehensweise ist sehr aufwändig, da im Kanalnetz sowohl Durchflussmessstellen als auch automatische Probennehmer eingerichtet werden müssen und eine nicht zu vernachlässigende Anzahl Proben analysiert werden müssen. Die Anwendung der Chemischen Methode im Kanalnetz bringt jedoch insbesondere dann Vorteile, wenn die Abschätzung des nächtlichen Schmutzwasseranfalls der jeweils oberhalb liegenden Einzugsgebiete mit großen Unsicherheiten verbunden ist, z.B. in stark urbanen Einzugsgebieten oder in Industriegebieten mit Schichtbetrieben.

Die Abflüsse der Teileinzugsgebiete werden somit über Durchflussmengenmessungen, ggf. ergänzt um die Bestimmung ausgewählter Schadstoffkonzentrationen, verglichen. Schließlich werden diejenigen Teileinzugsgebiete identifiziert, die maßgeblich zum Fremdwasseraufkommen beitragen. Weitergehende Abflussmessungen in den Knotenpunkten der Teileinzugsgebiete führen dann zu den ausschlaggebenden Fremdwasserquellen.

#### 2.4.2.3 VORBEREITENDE MASSNAHMEN

Zur Vorbereitung einer Fremdwassermesskampagne sollte zunächst anhand der Übersichtspläne des Kanalnetzes das komplexe Entwässerungsnetz in übersichtliche Teileinzugsgebiete eingeteilt werden, die jeweils in einen Hauptsammler entwässern. Durch Vergleich der Abflüsse jedes Teileinzugsgebietes können somit mit geringem Aufwand diejenigen Teileinzugsgebiete ausfindig gemacht werden, die maßgeblich zum Fremdwasseraufkommen beitragen. Durch fortschreitende Abflussmessungen in den Knotenpunkten dieser Teileinzugsgebiete lassen sich daraufhin die ausschlaggebenden Fremdwasserquellen noch weiter eingrenzen.

Allerdings sollten die folgenden Vorüberlegungen getroffen werden:

1. Zunächst ist festzustellen, ob bereits **Fremdwasser-schwerpunkte** bekannt sind oder in bestimmten Gebieten ein erhöhter bzw. ein vernachlässigbarer Fremdwasserabfluss vermutet wird.
2. Durch eine im Vorfeld der Messung tagsüber durchgeführte **Ortsbegehung** der ausgewählten Messpunkte können evtl. bereits diejenigen Teileinzugsgebiete aus der weiteren Untersuchung herausgenommen werden, die bereits am Tag keinen bedeutsamen Abfluss erkennen lassen. Demgegenüber zeichnen sich andere Übergabeschächte ggf. durch einen auffällig sauberen und gleich bleibenden Abfluss aus, der auf Fremdwasser hindeuten kann.
3. Während der Ortsbegehung der ausgewählten Messstellen können auch die Zugänglichkeit der ausgewählten Einsteigschächte sowie die **hydrometrischen Randbedingungen** für den Einsatz eines Durchfluss-



messgerätes überprüft werden. Ggf. lassen sich bereits vorbereitende Maßnahmen treffen (z.B. gegen Überparken des ausgewählten Messschachtes).



Abb. 14: Klarer Abfluss - Ein mögliches Indiz für Fremdwasser

Auf Basis aller vorbereitenden Überlegungen sind diejenigen Teileinzugsgebiete zu identifizieren, die für weitere Fremdwasseruntersuchungen in Frage kommen bzw. sinnvoller Weise davon auszuschließen sind. Alle in die Fremdwasserbestimmung einbezogenen Messstellen sollten durch Ortsbegehung bekannt sein und die o.a. Voraussetzungen erfüllen.

#### 2.4.2.4 FREMDWASSERMENGENMESSUNGEN

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.

##### EINMALIGE MESSKAMPAGNE

Das Ziel einer einmaligen Messkampagne ist es, innerhalb kurzer Zeit zahlreiche Messstellen zu erfassen, um damit die Fremdwassersituation eines gesamten Einzugsgebietes möglichst vollständig zu einem gewählten Zeitpunkt abzubilden. In diesem Fall lohnt sich insbesondere der Einsatz mobiler Messgeräte mit kurzen Ein- und Ausbaueiten. In den wenigen Stunden des nächtlichen Durchflussminimums lassen sich somit bei Bedarf gleich mehrere Messstellen nacheinander erfassen. Fremdwasserschwerpunkte werden flächendeckend innerhalb nur weniger Nächte lokalisiert.

Lange Zeit verstand man unter mobilen Durchflussmessgeräten vor allem das Prinzip der kombinierten Messwertaufnehmer (Abb. 15). Dabei wird über ein Messgerät an der Gerinnesohle sowohl die mittlere Fließgeschwindigkeit (z.B. nach dem Ultraschall-Doppler- bzw. Kreuzkorrelationsprinzip) als auch die Fließtiefe gemessen, um daraus eine entsprechende Durchflussmenge zu bestimmen. Die Einsatzgrenzen dieser Geräte werden jedoch vor allem im Fall der Fremdwassermengenmessung in kleinen Einzugsgebieten schnell erreicht: die größtenteils sehr geringen Fließtiefen lassen eine Messung der Fließgeschwindigkeit bei minimalen Nachtabflüssen kaum noch zu, da die Fließtiefe dann für die Überströmung des Messensors nicht ausreichend ist. Dem kann jedoch in gewissen Grenzen begegnet werden, indem der Messwertaufnehmer durch eine im Unterstrom angebrachte Schwelle o.ä. eingestaut wird. Die hydrometrischen Randbedingungen für den Einbau des jeweiligen Messwertaufnehmers müssen dabei beachtet werden.



Abb. 15: Kombierter Messwertaufnehmer nach dem Ultraschall-Doppler-Prinzip

Neuere Entwicklungen ermöglichen den mobilen Einsatz magnetisch-induktiver Messgeräte (MID). Vorteil ist die vergleichsweise genaue Messung auch geringer Abflüsse, bei gleichzeitig einfacher Handhabung des Messgerätes. So kann das Gerät beispielsweise direkt im Zulauf zu einem ausgewählten Messschacht eingebaut werden. Die integrierte Dichtblase dichtet dabei den Rohrquerschnitt soweit ab, dass der Zulauf vollständig durch den reduzierten Querschnitt des MID fließt, dessen Dükerung durch einen Auslaufbogen am Ende der Messrohrleitung sicher gestellt wird.



Abb. 16: Mobiler MID mit Absperriblase

Die eigentliche Messung beginnt nach Abschluss einer kurzen Einstauphase (vgl. Abb. 17 a und b), wenn nahezu der vollständige Abfluss den MID durchfließt (vgl. Abb. 17 c).

Trotz der Einfachheit des Messsystems erfordert auch der mobile Einsatz eines MID-Messsystems die Einhaltung einiger grundlegender hydrometrischer Randbedingungen. Insbesondere ist bereits bei der Auswahl der Messstelle auf die Vermeidung folgender Fehlerquellen zu achten:

- Einbau des MID mit zu steiler Neigung: Die notwendige Vollfüllung des Messquerschnitts ist nicht gewährleistet.
- Eintrag von Luft in den Messquerschnitt (z.B. Absturzbauwerk im Oberstrom): Entstehung eines Luft-Gas-Gemisches und Verfälschung der Messergebnisse. Während der Messung deutet ein stark schwankendes Messsignal sowie ggf. ein ungewöhnlich schäumender Abfluss auf diesen Messfehler hin.
- Undichtigkeiten des Kanals oberhalb der Messstelle: Durch den undichten Kanal exfiltriert ein Teil des hinter der Messeinrichtung aufgestauten Wassers. Die Messergebnisse liegen unterhalb der tatsächlichen Abflussmenge.

Checklisten für die Planung und Durchführung einer Fremdwassermengenmessung mit einem portablen MID-Messsystem sowie ein Formblatt zur übersichtlichen Dokumentation der Ergebnisse wurden vom IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur im Rahmen mehrerer Fremdwassermesskampagnen erarbeitet und sind diesem Bericht im Anhang beigelegt.

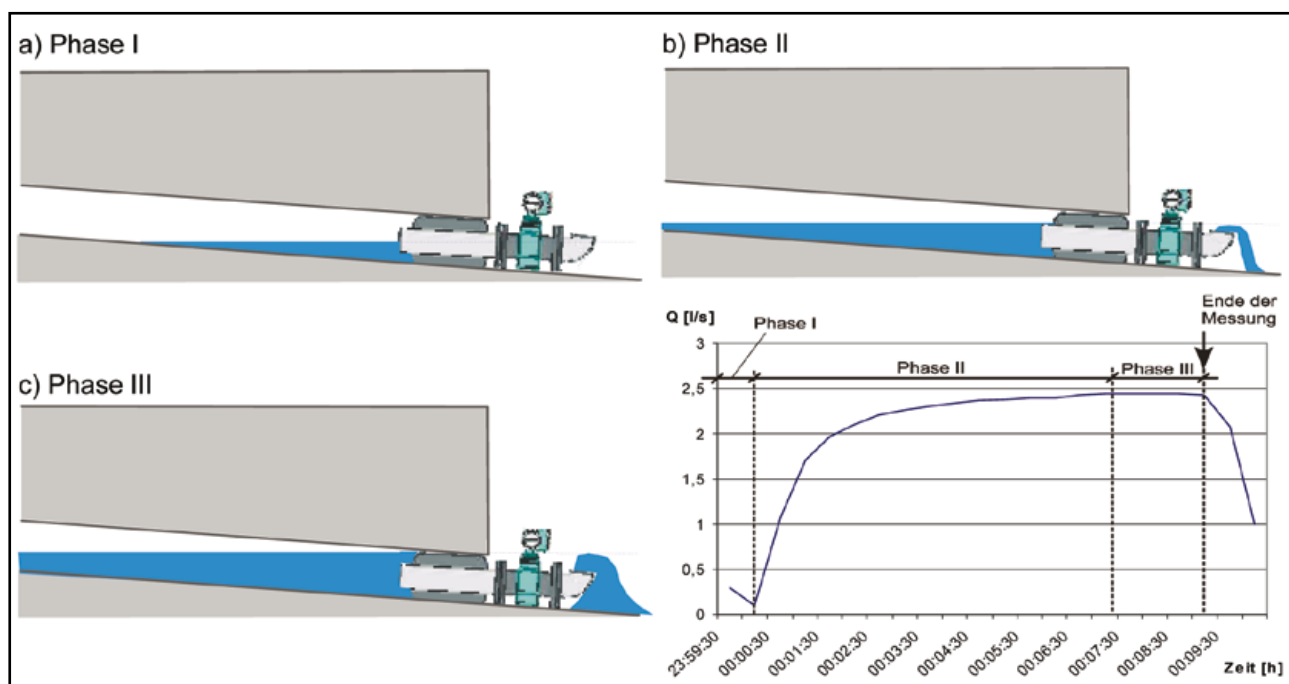


Abb. 17: Verlauf einer mobilen MID-Messung in drei Phasen (rechts unten): (a) Einstauphase, (b) Anstiegsphase, (c) Messphase

In eigenen Untersuchungen haben sich als einfache und preiswerte aber trotzdem genaue Methode zur Abflussmessung Dreiecksmesswehre aus Edelstahlblech in PVC-Messschablonen bewährt (Eigenbau), siehe Abb. 18. Die Überfallhöhe wird manuell als Momentaufnahme abgelesen.



Abb. 18: „Mobiles“ Dreiecksmesswehr in PVC-Messschablone

Die Messschablone besitzt eine umlaufende Gummidichtung und kann während der Messung mittels einer Gewindestange im Kanal verspannt werden. Zu beachten ist, dass vor der Ablesung der Überfallhöhe der Teileinstau des hinter der Messschablone gelegenen Kanalabschnittes erfolgen muss (vgl. Messung mittels mobilem MID).

Eine weitere sehr einfache Möglichkeit der Abflussmessungen besteht aus Fließtiefenmessungen mittels Messlatte oder Meterstab („Abstechen“). Dabei kann bei Kenntnis der Sohlneigung und der Rauigkeit des Kanals der Abfluss mit Hilfe von Teilfüllungstabellen ermittelt werden. Dieser Methode wird jedoch allenfalls zu orientierenden Messungen empfohlen, da die Ergebnisse insbesondere bei geringen Fließtiefen große Unsicherheiten aufweisen können.

Ebenso gibt eine nächtliche Begehung des Einzugsgebietes mit Sichtkontrollen in Schächten auf klaren Abfluss zwar ein erstes qualitatives Bild von der Fremdwasserbelastung einzelner Teileinzugsgebiete, jedoch ist die so gewonnene Datengrundlage für eine fundierte Sanierungsplanung nicht ausreichend.

Bei einmaligen Messkampagnen mit nur kurzfristigen Abflussmessungen ist darauf zu achten, ob sich im Kanal-

netz oberhalb des Messpunktes Pumpwerke mit Intervallbetrieb befinden. Bei der Messung ist dann darauf zu achten, dass die Pumpwerke nicht fördern, ggf. sind die Pumpwerke für die Dauer der Messung abzuschalten. Zusätzlich zur Abflussmessung sollte im Messprotokoll immer die Beschaffenheit des Abflusses (klar, verschmutzt, etc.) sowie die Temperatur des Abwassers notiert werden. Daraus können bei der späteren Auswertung hilfreiche Rückschlüsse, z.B. auf Fehlmessungen infolge von Pumpwerken gezogen werden.

#### LANGFRISTIGE BEOBACHTUNG

Für eine langfristige Beobachtung des Abflussverhaltens, bei der das Messgerät über mehrere Monate in einem Messschacht verbleiben muss, eignen sich u.a. hydraulische Messverfahren wie z.B. ein Messwehr mit Wasserstandsmessung (vgl. Abb. 19). Unumgänglich ist bei diesem Verfahren die zeitaufwendige Kalibrierung der Messrichtung vor Ort, die bei einer Neuerrichtung der Messstelle unweigerlich zu wiederholen ist. Messwehre erfordern zudem einen hohen Wartungsaufwand, da verstärkt mit einer Verlegung der Wehrschwelle zu rechnen ist.



Abb. 19: Messschacht mit eingebautem Dreiecksmesswehr und Wasserstandsmessung

Wenn auch bei minimalem Zufluss bei Nacht noch eine ausreichende Fließtiefe zur Verfügung steht, hat sich der Einsatz von Messgeräten nach dem Ultraschall-Doppler- bzw. Kreuzkorrelationsprinzip bewährt, da hier die Tendenz zu Verlegung des Sensors wesentlich geringer ist als bei Messwehren.



Tab. 8: Vor- und Nachteile verschiedener Methoden zur Abflussmessung im Rahmen von Fremdwassermessungen im Kanalnetz

<b>Mobiler MID</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ sehr genaue Messung</li> <li>+ je nach Randbedingungen kein Einstieg in Schacht notwendig (Arbeitsschutz)</li> <li>+ Aufzeichnung von Ganglinien möglich</li> <li>+ schneller Einbau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kann nicht längere Zeit im Kanal verbleiben (wg. Einengung des Kanalquerschnitts insbes. bei Mischwasserabfluss)</li> <li>- empfindlich gegenüber Luftblasen im Abwasser (z.B. durch Absturzbauwerke im Oberstrom)</li> <li>- Anschaffungskosten</li> </ul>
<b>Kombinierter Messwert-aufnehmer (Ultraschall-Doppler- bzw. Kreuzkorrelationsverfahren)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ sehr genaue Messung (ausreichende Fließtiefe vorausgesetzt)</li> <li>+ Messwertaufnehmer kann beliebig lange im Kanal bleiben</li> <li>+ kaum Verlegung des Messwertaufnehmers</li> <li>+ Aufzeichnung von Ganglinien möglich</li> <li>+ schneller Einbau des Messwertaufnehmers mittels Montagesystemen der Hersteller</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bei geringen Fließtiefen nicht oder nur mit Einstau des Messwertaufnehmers anwendbar</li> <li>- bei sehr kleinen Kanalquerschnitten nicht anwendbar</li> <li>- Anschaffungskosten</li> <li>- zum Einbau Einstieg in den Kanal notwendig</li> </ul>
<b>Messwehr mit kontinuierlicher Wasserstandsauzeichnung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ bei richtiger Auswahl des Messwehres sehr genaue Messung</li> <li>+ Aufzeichnung von Ganglinien möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Installation aufwändig</li> <li>- Kalibrierung notwendig</li> <li>- Verlegung des Messwehres</li> <li>- zum Einbau Einstieg in den Kanal notwendig</li> </ul>
<b>Mobiles Messwehr mit manueller Ablesung des Überfallhöhe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ bei richtiger Auswahl des Messwehres sehr genaue Messung</li> <li>+ schneller Einbau</li> <li>+ kostengünstig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Messung stellt nur Momentaufnahme dar</li> <li>- zum Einbau und zur Messung Einstieg in den Kanal notwendig</li> <li>- keine Aufzeichnung von Ganglinien möglich</li> </ul>
<b>Fließtiefenbestimmung mittels Meterstab</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ sehr kostengünstig</li> <li>+ sehr schnelle Messung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Messung ist relativ ungenau</li> <li>- zur Messung in tieferen Schächten Einstieg in den Kanal notwendig</li> </ul>
<b>Nächtliche Sichtkontrolle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ sehr kostengünstig</li> <li>+ sehr schnelle Messung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nur qualitative Aussagen zum Fremdwasseraufkommen möglich</li> </ul>

MID im Drosselablauf von RÜB sind aufgrund des hohen Messbereiches für Fremdwassermessungen nicht geeignet, da sich bei geringen Abflüssen große Abweichungen ergeben können.

**VERGLEICH VERSCHIEDENER METHODEN ZUR ABFLUSS-MESSUNG IM RAHMEN VON FREMDWASSERMES-SUNGEN IM KANALNETZ**

In Tab. 8 sind die oben besprochenen Methoden mit den jeweiligen Vor- und Nachteilen aufgeführt.

**ZEITBEDARF FÜR DIE EINZELNEN MESSMETHODEN**

Der Zeitbedarf für die einzelnen Messmethoden ist in nachfolgender Tab. 9 gegeben. Die Werte stellen nur Anhaltswerte dar und können je nach Messstelle erheblich abweichen (z.B. wenn aufwändige Verkehrsicherungsmaßnahmen erforderlich sind). Die Angaben geben die pro Messstelle benötigte Zeit beim Einsatz von 2 Arbeitskräften, incl. Gasmessung und Protokoll schreiben, excl. Anfahrt an.

**2.4.2.5 DARSTELLUNG UND BEWERTUNG DER ERGEB-NISSE EINER FREMDWASSERMENGENMESSUNG**

Um die Plausibilität der Messkampagne zu bestätigen, ist neben der Bewertung einzelner Messkurven (vgl. o.g. Fehlerquellen) außerdem eine Betrachtung des Gesamtsystems erforderlich. In der Bilanz sollte die Summe der gemessenen Abflüsse der Teileinzugsgebiete mit dem

Tab. 9: Zeitbedarf für verschiedene Messmethoden

<b>Mobiler MID</b>	ca. 15-30 min pro Messstelle (abhängig von Einstaudauer)
<b>Kombinierter Messwertaufnehmer (Ultraschall-Doppler- bzw. Kreuzkorrelationsverfahren)</b>	ca. 15-30 min pro Messstelle
<b>Messwehr mit kontinuierlicher Wasserstandsauzeichnung</b>	ca. ¼ d pro Messstelle (Einrichtung d. Messstelle)
<b>Autom. Probennehmer (für chemische Methode)</b>	zus. ca. ¼ d pro Messstelle (Einrichtung)
<b>Mobiles Messwehr mit manueller Ablesung des Überfallhöhe</b>	ca. 15-30 min. pro Messstelle (abhängig von Einstaudauer)
<b>Fließtiefenbestimmung mittels Meterstab</b>	10 min. pro Messstelle
<b>Sichtprüfung</b>	5 min. pro Messstelle

gemessenen Gesamtabfluss des Hauptsammlers vergleichbar sein. Besondere Zuflüsse (z.B. Undichtigkeiten oder Anschlusskanäle) im Bereich des Hauptsammlers sind zu berücksichtigen. Als weitere Vergleichsgröße kann je nach Einzugsgebietsgröße auch die Gesamtabflussmenge an der Kläranlage dienen. In großen Einzugsgebieten sind lange Fließzeiten innerhalb des Kanalnetzes in den Ganglinienvergleich einzubeziehen.

Wertvolle Hinweise auf die Plausibilität der Messergebnisse liefern auch die vor Ort ausgefüllten Messprotokolle. Diese sollten neben einer Dokumentation des Messverlaufs auch Angaben zu den baulichen Gegebenheiten an der Messstelle sowie den Witterungsverhältnissen während der Messung enthalten. So sind z.B. im Mischwassernetz bei Regenwetter nur bedingt Rückschlüsse auf das vorhandene Fremdwasseraufkommen möglich. Auch im Trennsystem kann im Regenwetterfall kaum zwischen den grundwasserbürtigen und den niederschlagsbedingten Fremdwasseranteilen unterschieden werden.

Die Ergebnisse einer Fremdwassermesskampagne lassen sich auf vielfältige Weise auswerten und übersichtlich darstellen. Abb. 20 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 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 Fremdwasserspendsen in l/(s·ha)**, ermittelt unter Berücksichtigung der Fläche eines Teileinzugsgebietes,
- Darstellung der **streckenbezogenen Fremdwasserspendsen l/(s·km)**, ermittelt unter Berücksichtigung der Länge des fremdwasserführenden Kanalisationsabschnitts oder Teilnetzes.

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

Demnach entsprechen

- **0,00 – 0,05 l/(s·ha)** einer **niedrigen** Fremdwasserspendsen,
- **0,05 – 0,10 l/(s·ha)** einer **mittleren** Fremdwasserspendsen,
- **0,10 – 0,15 l/(s·ha)** einer **hohen** Fremdwasserspendsen, während
- **mehr als 0,15 l/(s·ha)** als **sehr hohe** Fremdwasserspendsen zu beurteilen sind.

Für die Bewertung streckenbezogener Angaben können 1–2 l/(s·km) als mittlere Fremdwasserspendsen betrachtet werden.

Vereinzelnd findet man außerdem Angaben zur einwohnerbezogenen Fremdwassermenge in l/(s·E), für deren Größenordnung keine Anhaltswerte vorliegen und die in dieser Ausarbeitung nicht berücksichtigt wurden.

Unabhängig davon, welche Art der Darstellung für das Fremdwasseraufkommen gewählt wird, folgt im Anschluss an die Darstellung der Ergebnisse meist die Aufstellung eines Kanalsanierungsplans. Insbesondere die unterschiedlichen Sanierungsprioritäten sollen aus einem solchen Plan möglichst eindeutig hervorgehen. Die Sanierungspriorität ist dabei wesentlich davon abhängig, in welchem Maße ein fremdwasser kritisches Teileinzugsgebiet zum Gesamtfremdwasseraufkommen an der Kläranlage beiträgt.

Jedoch ist in der Regel das Fremdwasseraufkommen nicht der einzige Faktor zur Bestimmung der Sanierungspriorität. Tatsächlich ergeben sich oftmals Überschneidungen mit dem, im öffentlichen Bereich bereits festgestellten, baulichen Sanierungsbedarf, für den gegebenenfalls basierend auf der Kanalzustandserfassung bereits Maßnahmen im Abwasserbeseitigungskonzept (ABK) der Kommune vorgesehen wurden. Hinzu kommen weitere Faktoren, die im Rahmen einer Sanierungsplanung berücksichtigt werden sollten, wie z.B. der hydraulische Auslastungsgrad bzw. die Abstimmung mit geplanten Straßenbaumaßnahmen.



Abb. 20: Darstellung der Ergebnisse einer Fremdwassermesskampagne im Kanalnetzbestandsplan (Quelle: IKT)

### 3 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. 21 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 jedoch 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 Handdrainagen 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.

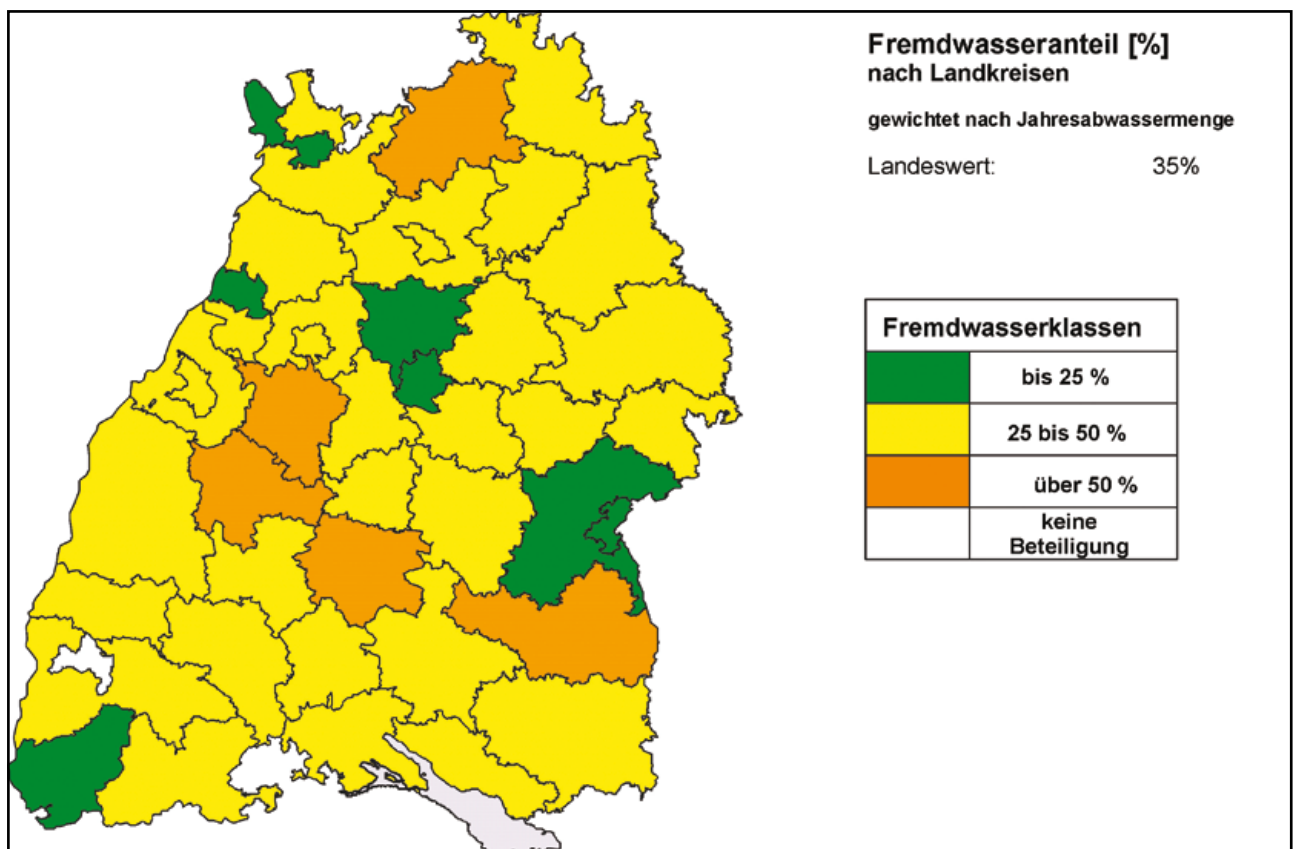


Abb. 21: Fremdwasserklassen der Landkreise in Baden-Württemberg entsprechend dem Leistungsvergleich für das Jahr 2004 (Schwentner et al., 2005)



# 4 Ökologische Auswirkungen erhöhten Fremdwasseranfalls

## 4.1 STOFFEINTRAG IM BEREICH DER MISCHWASSERBEHANDLUNG

Fremdwasser beeinflusst das Entlastungsverhalten von Anlagen zur Mischwasserbehandlung und trägt so zum Stoffeintrag in Gewässer bei. Um diesen Stoffeintrag näher quantifizieren zu können wurden mit dem Programm „MOMENT“ der BGS Wasserwirtschaft GmbH, Darmstadt (hydrologisch-deterministisches Niederschlags-Abfluss- und Stofftransportmodell für die Langzeit-Kontinuumssimulation) Simulationsrechnungen durchgeführt. Als System wurde dabei ein real existierendes Einzugsgebiet verwendet, die Daten wurden freundlicherweise von der Weber-Ingenieure GmbH, Pforzheim zur Verfügung gestellt. Die Auswirkungen von Fremdwasser auf verschiedene Regenüberlaufbecken und Regenüberläufe wurden durch Variation der Fremdwasserspenden in den zugehörigen Einzugsgebieten ermittelt. Dabei wurden bei jedem Simulationslauf in den zugehörigen Teileinzugsgebieten die gleichen Fremdwasserspenden angesetzt. Die verwendete, zugehörige Regenreihe für den Zeitraum vom 1.1.1986 bis 31.12.1995 weist eine jährliche Nieder-

schlagshöhe von 801 mm auf. Alle nachfolgend dargestellten Ergebnisse sind auf einen Zeitraum von 12 Monaten umgerechnet.

Für den Fremdwasserjahresgang wurde jeweils die in Abb. 22 dargestellte Ganglinie verwendet.

Nachfolgend sind die Ergebnisse für ein Fangbecken im Hauptschluss dargestellt. Dieses Becken hat ein Volumen von 270 m<sup>3</sup>, das zugehörige Einzugsgebiet hat eine Fläche von  $A_{E,k} = 36,2$  ha bzw.  $A_{E,b} = 18,6$  ha, so dass sich ein spezifisches Speichervolumen von 14,5 m<sup>3</sup>/ha ergibt. Der Drosselabfluss beträgt 28 l/s. Bei der Bemessung des Bauwerks wurde ein Fremdwasserabfluss von 0,1 l/s angesetzt (entsprechend ca. 5 % FWA). Für dieses Becken waren nur Simulationsläufe bis 21 % FWA möglich, bei größeren Fremdwasserabflüssen übersteigt der Trockenwetterabfluss den Drosselabfluss, so dass die Software die Simulation mit entsprechender Fehlermeldung abbricht.

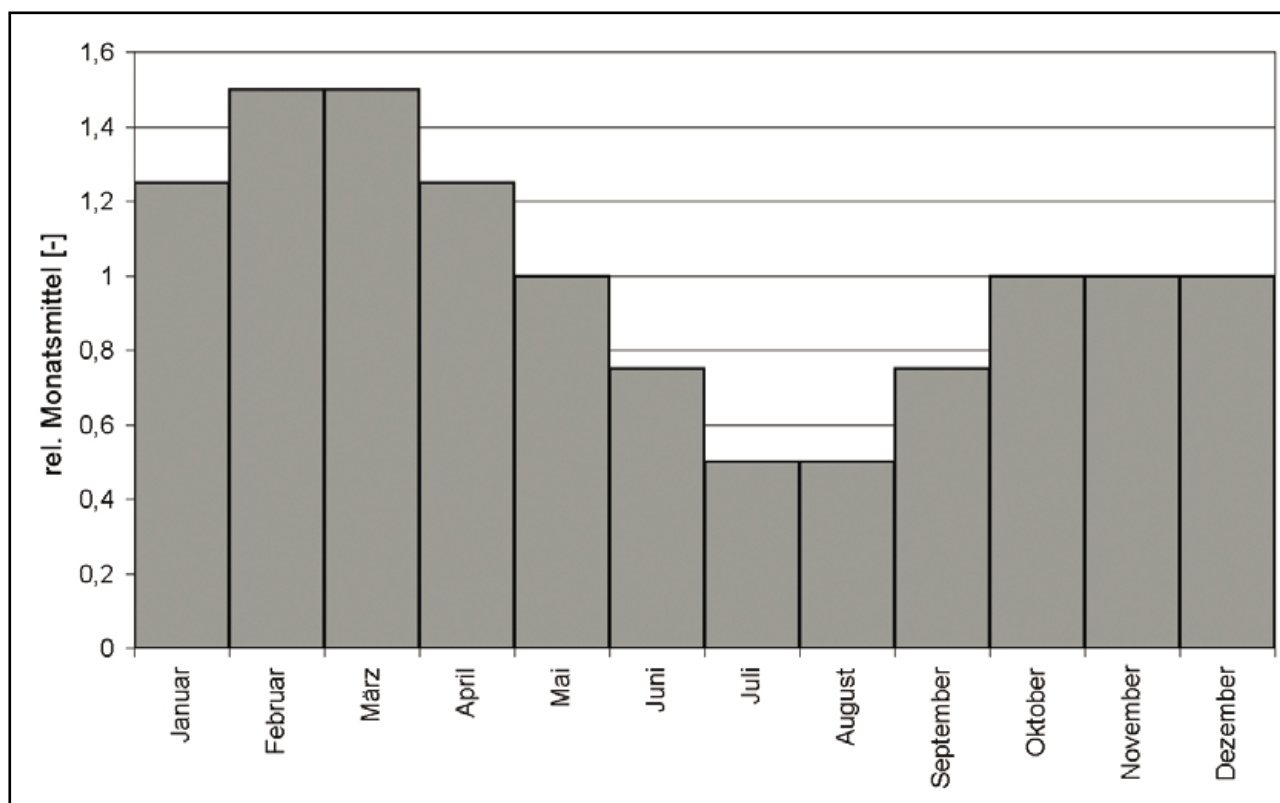


Abb. 22: Bei den Simulationen verwendeter Fremdwasser-Jahresgang

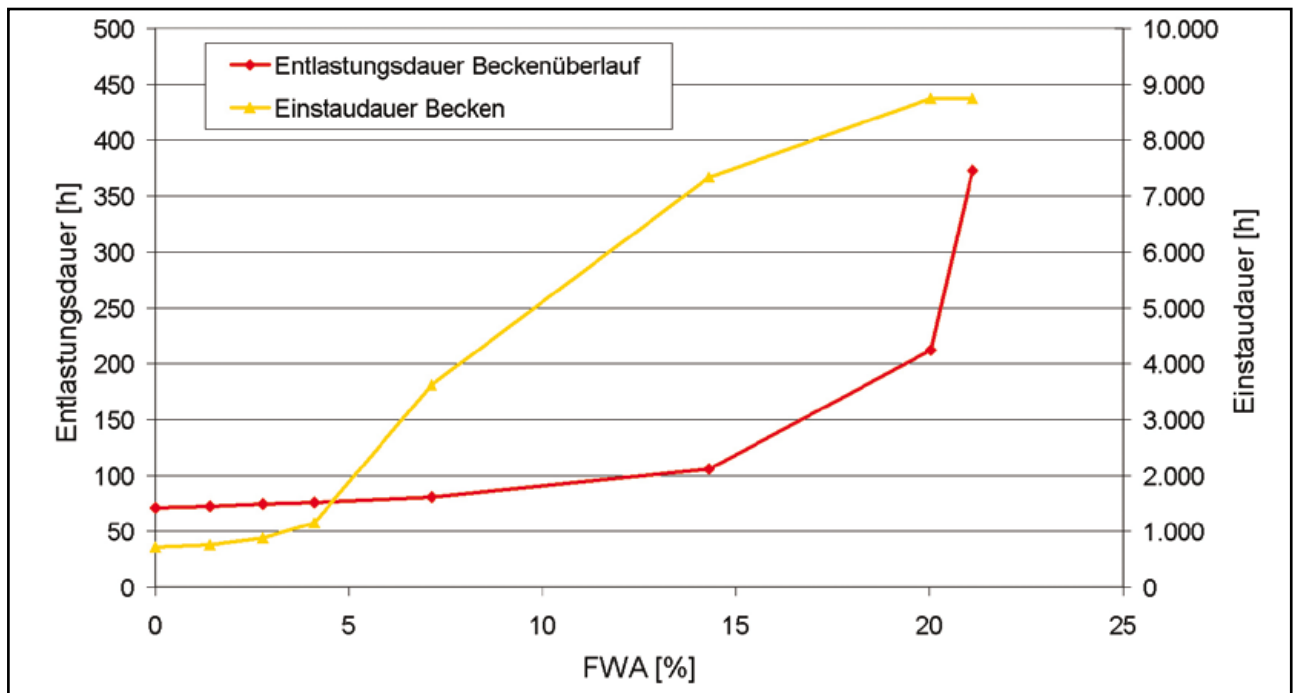


Abb. 23: Entlastungsdauer (Beckenüberlauf) bzw. Einstaudauer (Becken) bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen

Abb. 23 zeigt die Entlastungsdauer (Beckenüberlauf) bzw. Einstaudauer (Becken) bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen für das untersuchte Becken. Dabei ist zu beachten, dass die Entlastungsdauern auf der linken Ordinate, die Einstaudauern des Beckens auf der rechten Ordinate abgetragen sind.

In diesem Fall kommt es schon ab einem Fremdwasseranteil von 4 % zu einem starken Anstieg der Einstaudauer

des Beckens. Fremdwasseranteile > 7 % schlagen sich auch in einem Anstieg der Entlastungsdauer nieder. So beträgt die jährliche Entlastungsdauer bei 7 % FWA noch 81 h und steigt auf 212 h bei 20 % FWA an.

Das entlastete Volumen sowie die zugehörige Entlastungsrate ist mit dem entlasteten Volumen auf der linken Ordinate und der Entlastungsrate auf der rechten Ordinate in Abb. 24 dargestellt.

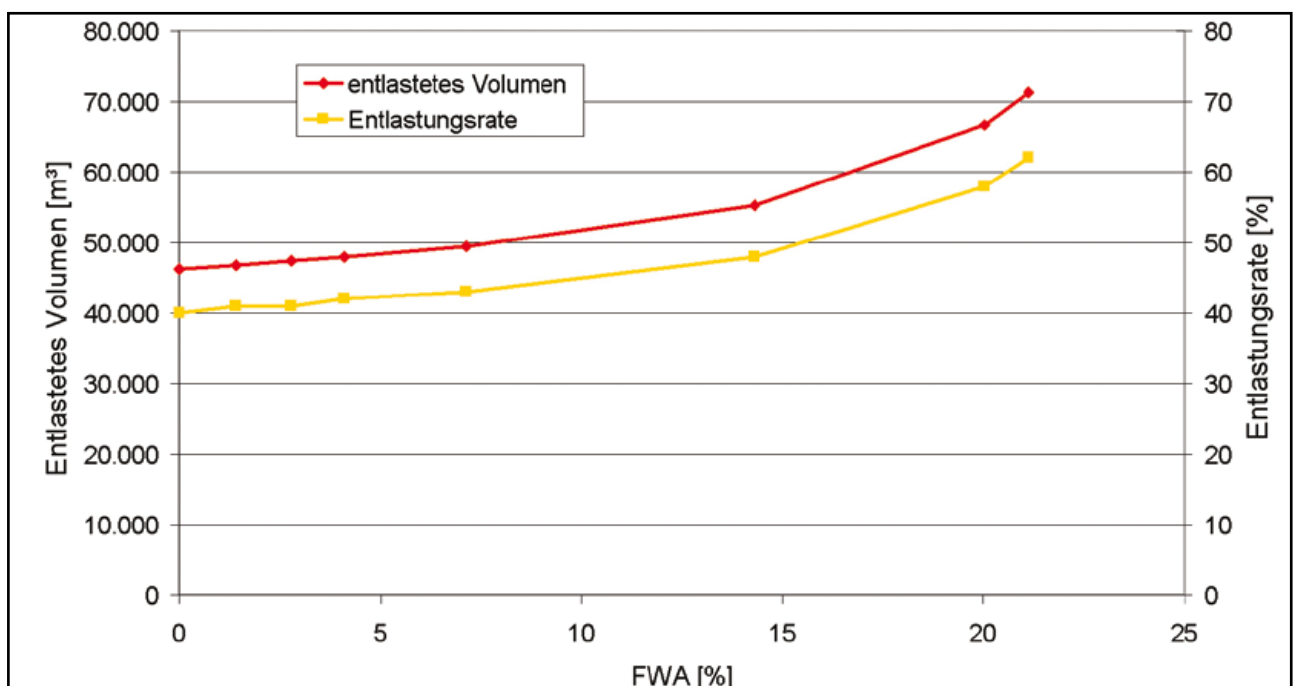


Abb. 24: Entlastetes Volumen bzw. Entlastungsrate bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen

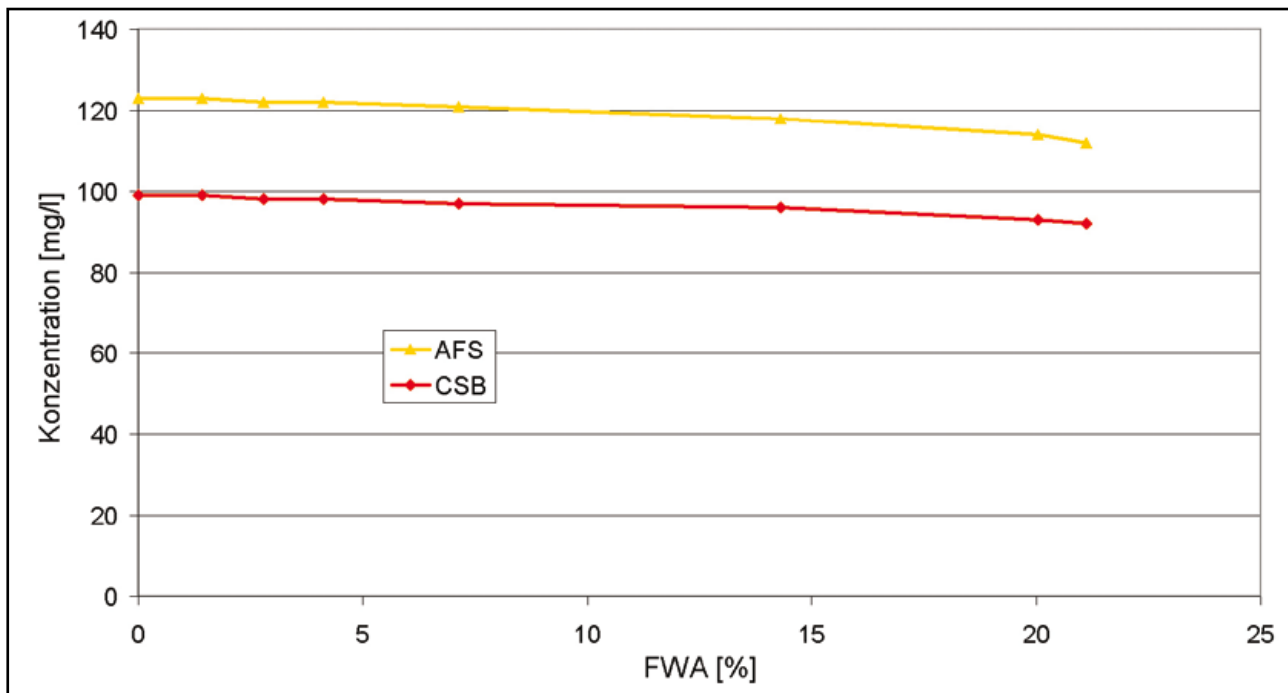


Abb. 25: AFS- und CSB-Werte im abgeschlagenen Mischwasser bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen

Das entlastete Volumen steigt in diesem Fall im Bereich bis 15 % FWA fast linear von 46.000 m<sup>3</sup> bei 0 % FWA auf 55.000 m<sup>3</sup> bei 14 % FWA an. Bei höheren Fremdwasserabflüssen ist eine deutlich stärkere Zunahme des entlasteten Volumens zu verzeichnen.

Für die Konzentrationen an AFS und CSB im abgeschlagenen Mischwasser ist nur eine leichte Verdünnung infolge Fremdwasser festzustellen. So betragen die Konzentra-

tionen bei 0 % FWA 99 mg/l CSB bzw. 123 mg/l AFS und bei 20 % FWA 93 mg/l CSB bzw. 114 mg/l AFS.

Aufgrund der fast konstanten Konzentrationen an CSB und AFS im abgeschlagenen Mischwassers (siehe Abb. 25) weisen die entlasteten Frachten bei unterschiedlichen Fremdwasserabflüssen einen ähnlichen Verlauf auf wie die entlasteten Wassermengen (Abb. 26). Bei den entlasteten Frachten zeigt sich daher im Bereich bis 15 % FWA ebenfalls ein fast linearer Anstieg der jährlich entlasteten

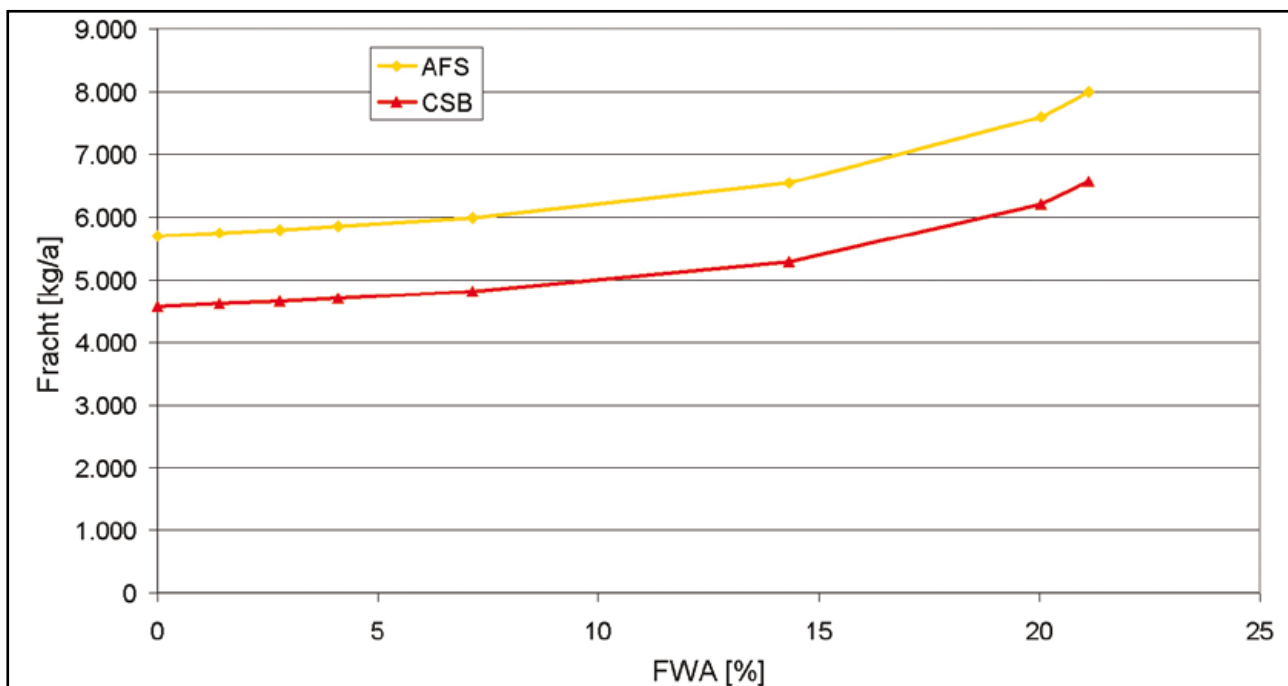


Abb. 26: Entlastete AFS- und CSB-Frachten bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen



Frachten von 4.570 kg CSB bzw. 5.700 kg AFS bei 0 % FWA auf 5.290 kg CSB bzw. 6.550 kg AFS bei 14 % FWA. Eine weitere Erhöhung des Fremdwasserabflusses auf 21 % FWA führt zu einem deutlichen Anstieg der entlasteten Frachten auf 6.570 kg CSB bzw. 7.990 kg AFS.

Bei mehreren untersuchten Regenüberläufen konnte kein Einfluss von Fremdwasser auf die Entlastungsdauer oder -häufigkeit bzw. entlastete Konzentrationen oder Frachten festgestellt werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Bemessung des Drosselabflusses auf  $r_{krit} = 15 \text{ l/(s} \cdot \text{ha)}$  oder höher erfolgt und selbst „hohe“ Fremdwasserspender von  $0,15 \text{ l/(s} \cdot \text{ha)}$  im Vergleich dazu relativ geringe Abflüsse sind, die die Entlastungstätigkeit fast nicht beeinflussen.

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen kann davon ausgegangen werden, dass es bei Regenüberläufen immer dann zu einem erhöhten Frachteintrag in Gewässer durch Mischwasserabschläge kommt, wenn die Anlagen mit mehr Fremdwasser beaufschlagt werden, als bei der Bemessung angesetzt wurde.

## 4.2 STOFFEINTRAG DURCH KLÄRANLAGEN

### 4.2.1 ALLGEMEINES

Die von Kläranlagen emittierten Frachten steigen mit zunehmendem Fremdwasseranteil an. Da die Zulauffrachten zu einer Kläranlage von den angeschlossenen Einwohnern vorgegeben und vom Fremdwasseranteil unabhängig sind, ergibt sich mit zunehmendem Fremdwasseranteil eine Abnahme des Wirkungsgrades der Abwasserreinigung (Kroiss und Prendl, 1996). Der abnehmende Wirkungsgrad hat seine Ursache in zwei Effekten:

- Die Konzentration biologisch abbaubarer Stoffe im Ablauf des biologischen Reaktors ist nicht von der Konzentration im Zulauf der Anlage abhängig. Sie wird nur beeinflusst von der Temperatur und vom Schlammalter. Eine durch das kältere Fremdwasser bedingte Temperaturverminderung kann also sogar zu höheren Ablaufkonzentrationen führen. Nicht abbaubare Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen werden dagegen durch Fremdwasser verdünnt, so dass sich mit steigendem Fremdwasseranteil geringere

Konzentrationen der nicht abbaubaren Verbindungen im Ablauf ergeben.

- Mit steigendem Fremdwasseranteil nimmt auch die abgeleitete Wassermenge zu. Damit ergeben sich in der Praxis selbst bei gering sinkenden Ablaufkonzentrationen (durch Verdünnung nicht abbaubarer Verbindungen) zunehmende Ablaufrachten.

Um diese Zusammenhänge quantifizieren zu können, wurde die im nachfolgenden Kapitel beschriebenen Simulationsrechnungen durchgeführt.

Weiter kann es durch Fremdwasser auch zur hydraulischen Überlastung von Nachklärbecken kommen, wenn der tatsächliche Fremdwasseranfall bei der Bemessung nicht berücksichtigt worden ist. Dadurch hervorgerufener Schlammabtrieb führt zu höheren Ablaufkonzentrationen und vermindert damit zusätzlich den Wirkungsgrad der Kläranlage.

Der Einfluss von Fremdwasser z.B. auf Sandfang oder Vorklärbecken wird hier nicht erläutert, da dies nur untergeordnete Auswirkungen auf den Stoffeintrag der Kläranlage in Vorfluter hat (vgl. Kroiss und Prendl, 1996).

### 4.2.2 TEMPERATURABNAHME MIT ZUNEHMENDEM FREMDWASSERANTEIL

Bei allen biologischen Prozessen, die in der Kläranlage der Abwasserreinigung dienen, spielt die Temperatur eine wesentliche Rolle. Daher wurde der Einfluss von Fremdwasser auf die Abwassertemperatur im Zulauf der Kläranlage anhand von Betriebstagebuchauswertungen untersucht. Insgesamt wurden 12 Datensätze ausgewertet. Der Übersichtlichkeit wegen sind in nachfolgender Abb. 27 jedoch nur drei repräsentative Datensätze des Jahres 2001 dargestellt. Die Auswertung der zugehörigen Fremdwasseranteile erfolgte nach dem Gleitenden Minimum. Die Kläranlagen mit 31,0 bzw. 74,9 % Fremdwasseranteil liegen mit 385 bzw. 450 m ü.N.N. in geographisch vergleichbaren Höhenlagen, die Kläranlage mit 39,0 % Fremdwasseranteil liegt auf 270 m ü.N.N. Der Einfluss der Höhenlage auf die dargestellten Abwassertemperaturen ist damit vernachlässigbar.

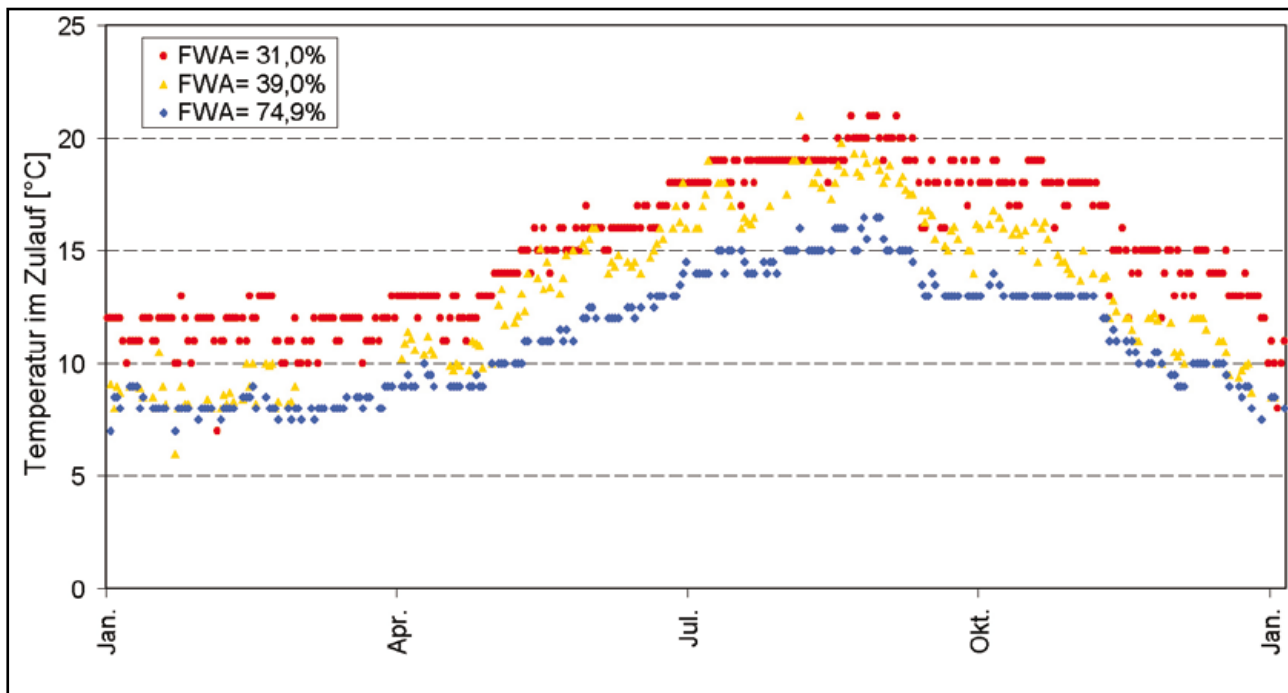


Abb. 27: Jahresgang der Temperatur im Zulauf verschiedenen Kläranlagen mit unterschiedlichen Fremdwasseranteilen

Aus der Abbildung 27 ist eine deutlich ausgeprägte Temperaturabnahme mit zunehmendem Fremdwasseranteil ersichtlich. So beträgt der Temperaturunterschied zwischen den Zuläufen der Kläranlagen mit 31,0 bzw. 74,9 % Fremdwasseranteil über das ganze Jahr hinweg ca. 5,0 °C. Die dargestellte Situation im Zulauf hat auch Auswirkungen auf die im Ablauf der Kläranlage bei Temperaturen im biologischen Reaktor von mehr als 12 °C einzuhaltenen Grenzwerten für  $N_{\text{anorg}}$ . Unter der Annahme, dass die Temperaturen im biologischen Reaktor etwas höher als die im Zulauf gemessenen sind, zeigt die Abbildung deutlich, dass beispielsweise im Ablauf der Kläranlage mit 31,0 % Fremdwasseranteil der Grenzwert für  $N_{\text{anorg}}$  fast ganzjährig eingehalten werden muss. Dadurch, dass die Abwassertemperaturen der Kläranlage mit 74,9 % Fremdwasseranteil wesentlich niedriger sind, muss hier der Grenzwert für  $N_{\text{anorg}}$  nur während einiger Monate im Sommer eingehalten werden.

#### 4.2.3 SIMULATION MIT DEM ASM 1

Zur Abschätzung des durch Fremdwasser verursachten Stoffeintrags durch Kläranlagen wurde eine fiktive Kläranlage nach dem Belebtschlammverfahren mit vorgeschalteter Denitrifikation für rund 40.000 EW mit dem Programm Simba light 2.3 simuliert. Die Simulation erfolgte nach dem ASM1 mit dem Simba-Standard-Parametersatz. Das Volumen des Denitrifikationsbeckens wurde mit  $V_{\text{DN}} = 4.000 \text{ m}^3$ , das des Nitrifikationsbeckens mit  $V_{\text{N}} = 6.000 \text{ m}^3$  angesetzt. Die nachfolgende Tab. 10 gibt einen Überblick über die angesetzten Wassermengen und -temperaturen. Die sich ergebenden Mischungstemperaturen decken sich sehr gut mit den in Abb. 27 dargestellten, gemessenen Temperaturwerten im Frühjahr und Herbst.

Die Zulauffrachten wurden zu 3.327 kg CSB/d und 352 kg TKN/d gewählt. Die interne Stickstoff-Rückbelastung aus Prozesswässern der Schlammbehandlung wurde zu 15 % der Zulauffracht (52,8 kg TKN/d) angesetzt. Da

Tab. 10: Wassermengen und -temperaturen bei verschiedenen Fremdwasseranteilen

Fremdwasseranteil	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %
$Q_s$ [m³/d] (T=20°C)	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
$Q_i$ [m³/d] (T=8°C)	556	1.250	2.143	3.333	5.000	7.500	11.667
$Q_d$ [m³/d]	5.556	6250	7.143	8.333	10.000	12.500	16.667
T [°C]	18,8	17,6	16,4	15,2	14,0	12,8	11,6

die Nachklärung bei der Simulation mit dem ASM 1 als ideale Nachklärung angesetzt wird, wurden zu den mit der Simulation erhaltenen Ablaufkonzentrationen zusätzlich 10 mg/l CSB und 1 mg/l  $N_{org}$  als partikulärer Anteil addiert.

Die Anlage wurde 250 Tage mit einem Fremdwasseranteil von 40 % eingefahren. Danach wurde der Fremdwasseranteil in 10 %-Schritten von 10 % bis 70 % variiert und die Simulation nochmals 200 Tage fortgesetzt, um nach der Veränderung des Fremdwasseranteils wieder stationäre Bedingungen zu erhalten. Dann wurden die im Folgenden abgebildeten Werte ermittelt.

Nachfolgende Abb. 28 zeigt die CSB-Ablaufmengen und -konzentrationen bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen. Deutlich zu erkennen ist eine Abnahme der CSB-Konzentration mit zunehmendem Fremdwasseranteil. Da der CSB im Ablauf einer Belebtschlammanlage vor allem aus inertem CSB besteht, ist die zu beobachtende Konzentrationsabnahme überwiegend auf Verdünnungseffekte zurückzuführen. Trotz der zu beobachtenden Verdünnung hinsichtlich der Ablaufkonzentrationen ergibt sich aber aufgrund der größeren Wassermengen dennoch eine Zunahme der CSB-Ablaufmenge mit zunehmendem Fremdwasseranteil. Diese Zunahme ist besonders überproportional ausgeprägt im Bereich größer 50 % Fremdwasseranteil.

Bei der Berechnung des Wirkungsgrades der CSB-Elimination zeigt sich jedoch trotz der offensichtlichen Zunahme der CSB-Ablaufmenge mit steigendem Fremdwasseranteil kaum eine Abnahme des Wirkungsgrades der Kläranlage. Dies ist in nachfolgender Abb. 29 dargestellt. So beträgt die Eliminationsleistung für den Parameter CSB bei 10 % Fremdwasseranteil 91 % und fällt bei 70 % Fremdwasseranteil geringfügig auf 87 % ab.

Somit lässt sich hinsichtlich des Parameters CSB feststellen, dass emissionsseitig der Wirkungsgrad der Kläranlage kaum beeinflusst wird. Bei einer immissionsseitigen Betrachtung (Gewässer) wirkt sich der Rückgang des Wirkungsgrades der Kläranlage jedoch massiv auf die in das Gewässer abgeleitete Fracht aus. Diese nimmt beispielsweise bei einer Zunahme des Fremdwasseranteils von 10 % auf 70 % um 56 % zu.

Für den Parameter Stickstoff sind in nachfolgender Abb. 30 die  $N_{ges}$ -Ablaufmengen und -konzentrationen bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen dargestellt. Deutlich erkennbar ist die Abnahme der Stickstoff-Konzentration im Ablauf der Anlage mit zunehmendem Fremdwasseranteil bis 60 %. Diese Abnahme wird durch mehrere, sich überlagernde Effekte für die unterschiedlichen Stickstoffparameter verursacht:

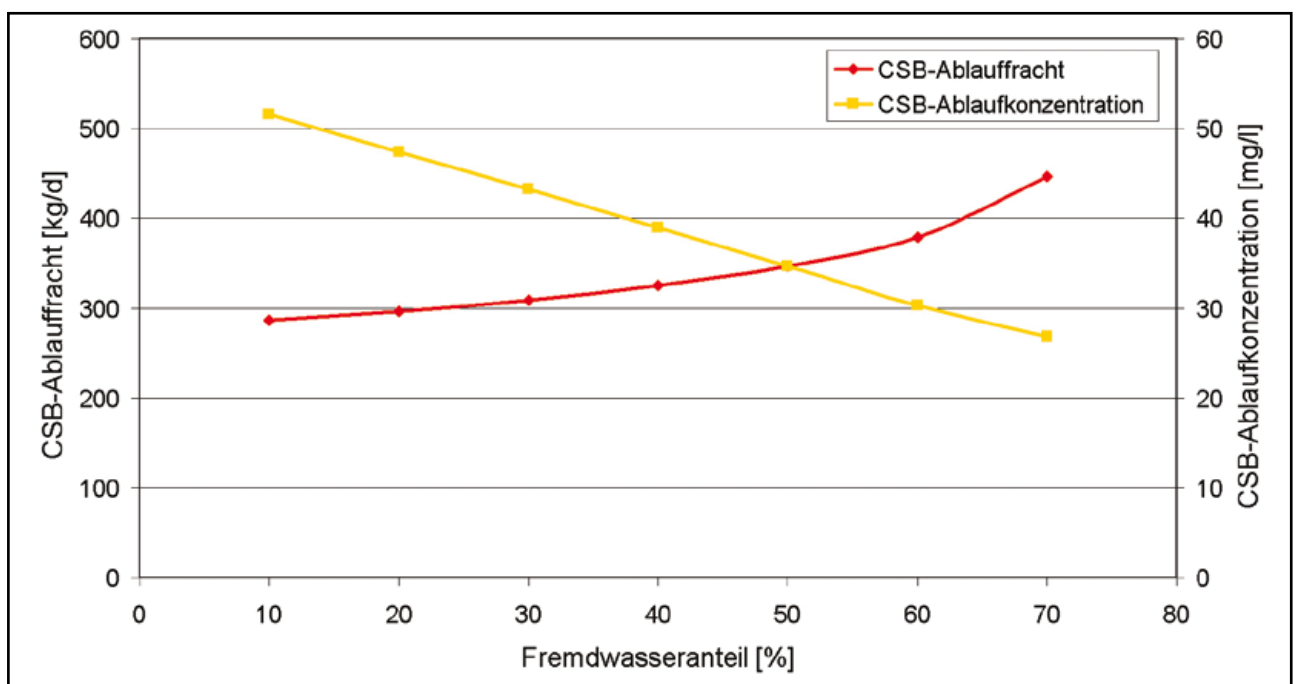


Abb. 28: CSB-Ablaufmengen und -konzentrationen bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen

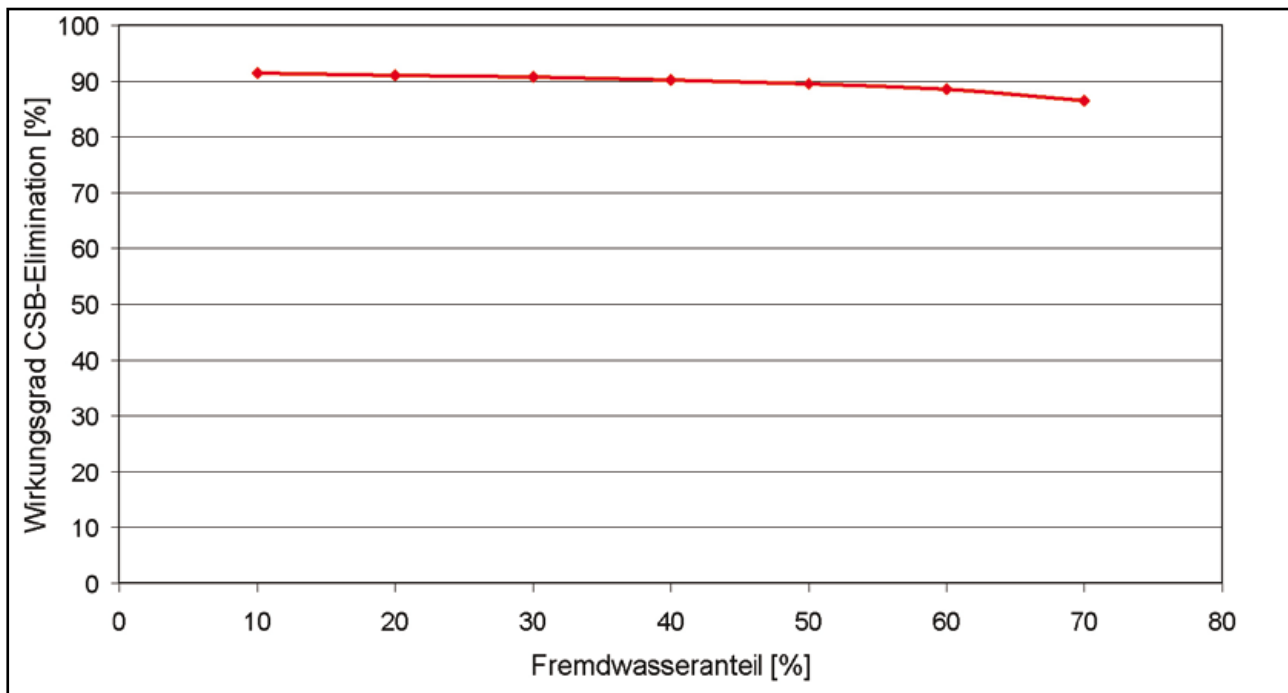


Abb. 29: Wirkungsgrad der CSB-Fracht-Elimination bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen

- Die Ablaufkonzentration für  $\text{NH}_4\text{-N}$  resultiert nur aus dem Schlammalter und der Temperatur im biologischen Reaktor. Dies bedeutet, dass sich mit zunehmendem Fremdwasseranteil aufgrund der Temperaturerniedrigung höhere  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen ergeben.
- Der im Ablauf enthaltene, nicht abbaubare organische Stickstoff wird mit zunehmendem Fremdwasseranteil verdünnt, so dass sich für  $\text{N}_{\text{org}}$  mit zunehmendem Fremdwasseranteil im Ablauf geringere Konzentrationen einstellen.
- Für die Denitrifikation ist die Denitrifikationskapazität der limitierende Faktor. Die Denitrifikationskapazität wird vom Fremdwasseranfall nicht beeinflusst, da sie sich aus dem Verhältnis der Nitrat- zu der  $\text{BSB}_5$ -Konzentration ergibt, welches unabhängig von der Verdünnung durch Fremdwasser ist. Daraus ergibt sich, dass die denitrifizierte Fracht nicht vom Fremdwasser beeinflusst wird. Das verbleibende

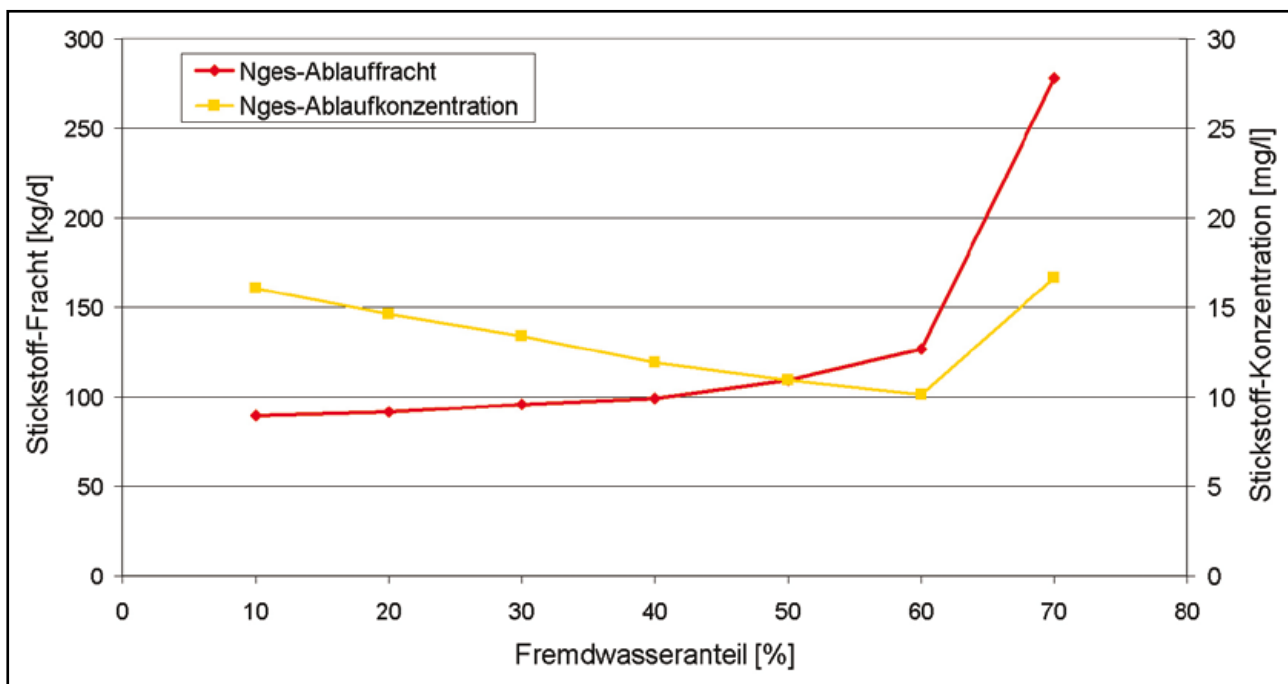


Abb. 30:  $\text{N}_{\text{ges}}$ -Ablauffrachten und -konzentrationen bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen

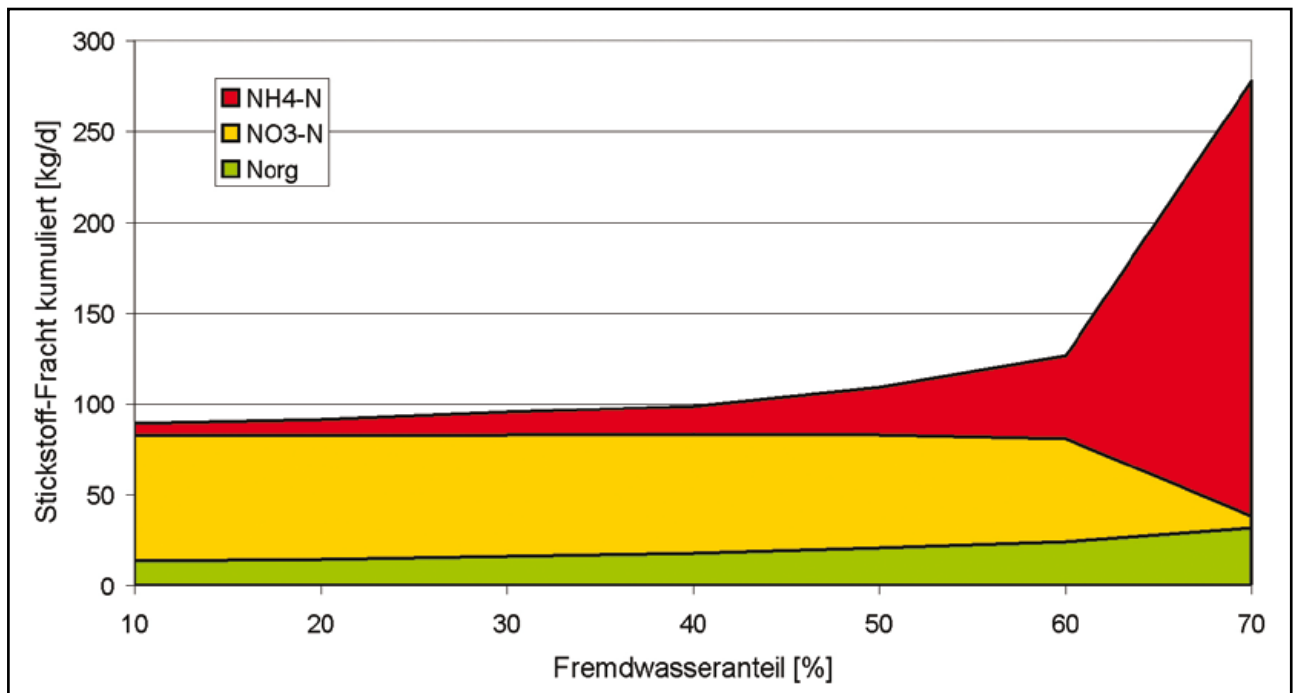


Abb. 31: Kumulierte Anteile der Stickstofffraktionen an der Stickstoff-Ablauffracht bei verschiedenen Fremdwasseranteilen

NO<sub>3</sub>-N wird jedoch durch Fremdwasser verdünnt (analog zum nicht abbaubaren CSB), so dass sich mit zunehmendem Fremdwasseranfall eine abnehmende NO<sub>3</sub>-N-Konzentration ergibt. Diese Aussage gilt jedoch nur, solange eine vollständige Nitrifikation erfolgt, ansonsten ist die Denitrifikation durch fehlendes Nitrat limitiert (im Beispiel ab ca. 60 % Fremdwasseranteil).

Bei Fremdwasseranteilen über 60 % nimmt für das dargestellte Beispiel die Temperatur im biologischen Reaktor 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 Ablauffracht nimmt mit zunehmendem Fremdwasseranteil kontinuierlich zu, wobei diese Zunahme – bedingt durch die Ausschwemmung der Nitrifikanten – in diesem Fall bei 70 % Fremdwasseranteil überproportional stark ausgeprägt ist. Es soll jedoch darauf hingewiesen werden, dass die hier dargestellten Ergebnisse nur für die den Berechnungen zugrunde gelegten Randbedingungen, insbesondere Temperaturannahmen für Fremd- und Schmutzwasser gelten.

In Abb. 31 sind die kumulierten Anteile der Stickstofffraktionen an der Stickstoff-Ablauffracht bei verschiedenen Fremdwasseranteilen gegeben. Sehr gut ersichtlich

ist, dass die Zunahme der Stickstoff-Ablauffracht bis 60 % Fremdwasseranteil hauptsächlich auf eine Zunahme der Ammonium-Fracht und zu geringeren Anteilen auch auf die Zunahme der Fracht an organischem Stickstoff zurückzuführen ist. Die Nitratfracht nimmt im Bereich bis 60 % Fremdwasseranteil mit zunehmendem Fremdwasseranteil leicht ab. Bei 70 % Fremdwasseranteil findet aufgrund der niedrigen Temperatur im biologischen Reaktor keine Nitrifikation und entsprechend auch keine Denitrifikation mehr statt. Dies macht sich in einem sprunghaften Anstieg der Ammonium-Fracht auf 239 kg/d bemerkbar, während die Nitrat-Fracht auf 6,7 kg/d abnimmt.

Der Wirkungsgrad der Stickstoffelimination bei verschiedenen Fremdwasseranteilen ist in nachfolgender Abb. 32 dargestellt. Hier ist im Bereich von 10 bis 40 % Fremdwasseranteil ein fast linearer Rückgang des Wirkungsgrades der Stickstoffelimination von 75 % auf 72 % festzustellen. Bei Fremdwasseranteilen > 40 % nimmt der Wirkungsgrad der Stickstoffelimination überproportional stark ab, so dass bei 60 % Fremdwasseranteil nur noch 64 % Wirkungsgrad der Stickstoffelimination gegeben sind. Bei 70 % Fremdwasseranteil kann eine vollständige Nitrifikation nicht mehr aufrechterhalten werden und der Wirkungsgrad fällt auf 19 % ab. Um eine Einordnung der im Rahmen dieses Projektes mittels dynamischer Simulation ermittelten Werte zu ermöglichen, sind in Abb. 32 zusätzlich Werte angegeben, die von Decker (1998) eben-

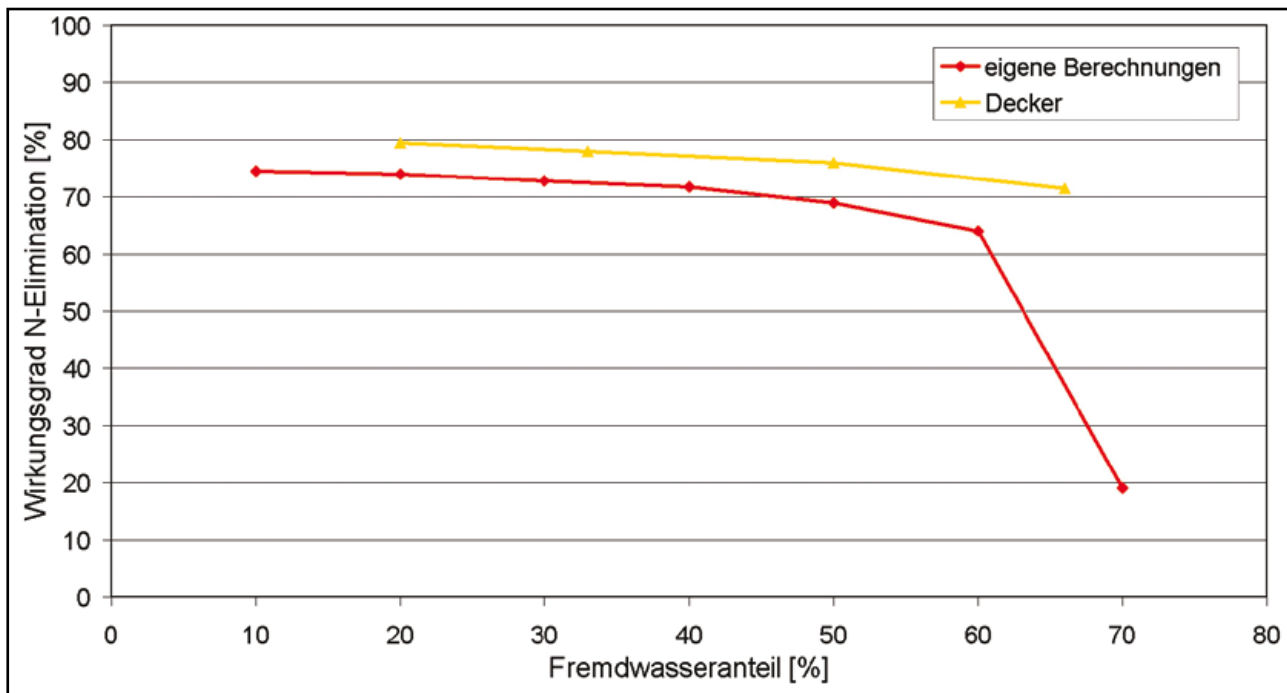


Abb. 32: Wirkungsgrad der Stickstoffelimination bei verschiedenen Fremdwasseranteilen, ergänzt um Werte nach Decker (1998)

falls mittels dynamischer Simulation ermittelt wurden. Beide Kurven zeigen einen ähnlichen Verlauf jedoch mit höheren Wirkungsgraden bei den von Decker ermittelten Werten. Diese höheren Wirkungsgrade der Simulationsrechnungen von Decker sind darauf zurückzuführen, dass keine interne Rückbelastung berücksichtigt wurde. Abweichende Randbedingungen bei den Berechnungen von Decker führen ebenfalls dazu, dass die Nitrifikation bei dem höchsten dargestellten Fremdwasseranteil (66 %) noch nicht zum Erliegen kommt.

Bei einer immissionsseitigen Betrachtung bedeutet beispielsweise eine Änderung des Fremdwasseranteils von 10 % auf 60 % eine Zunahme der in den Vorfluter abgeleiteten Stickstoff-Fracht um 42 %.

In einem weiteren Schritt wurde untersucht, ob die Erhöhung der Ablauffrachten hauptsächlich auf den Temperaturrückgang oder auf die zunehmende Wassermenge bei zunehmenden Fremdwasseranteilen zurückzuführen ist. Um den Einfluss der Faktoren Temperatur und Wassermenge bei zunehmenden Fremdwasseranteilen darzustellen, wurde die Simulation der oben beschriebenen Kläranlage insgesamt viermal durchgeführt. Dabei wurde jeweils die Wassermenge entsprechend dem Fremdwasseranteil schrittweise von 5.556 m<sup>3</sup>/d (10 % FWA) auf 16.667 m<sup>3</sup>/d (70 % FWA) erhöht. Bei der Simulation, die die tatsächlichen Verhältnisse wiedergibt, wurde für

die Abwassertemperatur die sich aus Tab. 10 ergebende Mischtemperatur angesetzt. Die anderen Simulationen wurden mit den gleichen Wassermengen, aber jeweils mit konstanten Abwassertemperaturen von 10 °C, 15 °C und 20 °C durchgeführt.

Hinsichtlich des Parameters CSB ergaben die Berechnungen, dass die Zunahme der abgeleiteten Fracht fast ausschließlich auf die mit zunehmendem Fremdwasseranteil ebenfalls zunehmende Wassermenge zurückgeführt werden kann – der Einfluss der Abwassertemperatur auf die Ablaufkonzentrationen war in diesem Fall vernachlässigbar. Die Ergebnisse für den Parameter Stickstoff sind in nachfolgender Abb. 33 dargestellt.

Bei einer Temperatur von konstant 15 °C bzw. 20 °C nimmt die Stickstoff-Ablauffracht von 90 kg/d bei 10 % Fremdwasseranteil auf 129 kg/d bzw. 123 kg/d bei 70 % Fremdwasseranteil zu. Diese Fracht-Zunahme ergibt sich durch die mit steigendem Fremdwasseranteil zunehmende Wassermenge, wobei die abnehmenden Ablaufkonzentrationen unter dem Gesichtspunkt der Ablauffracht die zunehmende Wassermenge nicht kompensieren können. Weiter ist aus Abb. 33 zu erkennen, dass sich die Ablauffrachten bei 15 °C und 20 °C nur geringfügig unterscheiden. Hierbei werden in der Ablauffracht geringe Unterschiede bei den Ablaufkonzentrationen mit zunehmender Wassermenge (bei zunehmendem Fremdwasseranteil) ver-



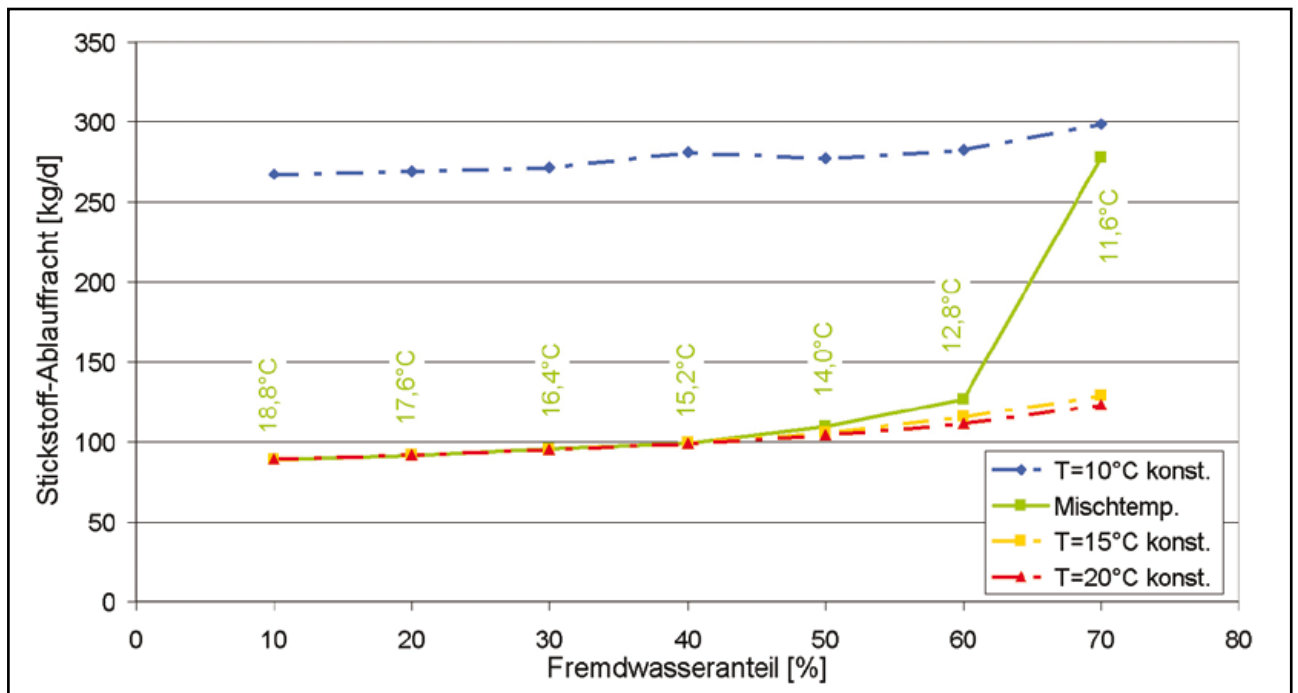


Abb. 33: Stickstoff-Ablaufmengen bei verschiedenen Fremdwasseranteilen für verschiedene Temperaturen sowie Angabe der Mischtemperatur

stärkt, so dass sich bei 70 % Fremdwasseranteil ein Unterschied von ca. 5 kg/d ergibt.

Bei einer konstanten Temperatur von 10 °C treten durchwegs sehr viel größere Stickstoff-Ablaufmengen mit Werten zwischen 267 kg/d (bei 10 % Fremdwasseranteil) und 299 kg/d bei 70 % Fremdwasseranteil auf. Diese hohen Ablaufmengen sind darauf zurückzuführen, dass bei 10 °C keine Nitrifikanten im Belebungsbecken gehalten werden können und somit keine Nitrifikation und Denitrifikation stattfindet. Für die geringfügige Abweichung des Wertes bei 40 % Fremdwasseranteil konnte keine Erklärung gefunden werden. Auch bei einer konstanten Temperatur von 10 °C ist der Einfluss der zunehmenden hydraulischen Belastung mit zunehmendem Fremdwasseranteil auf die Ablaufmengen sichtbar.

Im obigen Diagramm stellt die Kurve für Mischtemperatur den „realen“ Zustand dar, bei dem es mit zunehmendem Fremdwasseranteil zu einer Zunahme der Wassermenge und zu einer Abnahme der Abwassertemperatur kommt. Bei den Datenpunkten für die tägliche Stickstoff-Ablaufmenge ist zusätzlich die (Misch-)temperatur des der Kläranlage zufließenden Abwassers bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen gegeben. Im Vergleich zu den Kurven für konstante Temperaturen zeigt die Kurve für die Stickstoff-Ablaufmengen bei der „realen“ Mischtemperatur sehr deutlich, dass bei Abwassertemperaturen > 14 °C

nur die mit zunehmendem Fremdwasseranteil ebenfalls zunehmende hydraulische Belastung für eine Zunahme der Ablaufmengen ursächlich ist. Sobald die Abwassertemperatur aufgrund eines hohen Anteils an (kaltem) Fremdwasser jedoch den Bemessungswert für Nitrifikation von 12 °C unterschreitet, kommt es zu einem sprunghaften Anstieg der Stickstoff-Ablaufmengen aufgrund der Ausschwemmung von Nitrifikanten (hier bei Fremdwasseranteilen > 60 %). Die zunehmende hydraulische Belastung mit zunehmendem Fremdwasseranteil ist dann nur noch von untergeordneter Bedeutung für den Anstieg der Stickstoff-Ablaufmengen.

Es soll angemerkt werden, dass die Ergebnisse der Simulationsrechnungen nicht quantitativ auf andere Kläranlagen übertragbar sind, da dort andere Randbedingungen wie z.B. Auslastungsgrade etc. herrschen können. Insbesondere treffen die für die Untersuchung des Temperatureinflusses bzw. des Einflusses der hydraulischen Belastung auf die Stickstoff-Ablaufmengen getroffenen Annahmen der Schmutzwasser- und Fremdwassertemperaturen nur für die Frühjahr- bzw. Herbstmonate zu (vgl. Abb. 27). Gleichwohl ist eine qualitative Übertragbarkeit der Aussagen möglich.

Weiter wird darauf hingewiesen, dass sich hohe Fremdwasseranteile bei der Betrachtung des „Systems Kläranlage“ vor allem in einem deutlich sichtbaren Rückgang des

Wirkungsgrades für die Stickstoffelimination widerspiegeln während der Wirkungsgrad für den Kohlenstoffabbau nur geringfügig abnimmt. Bei einer immissionsseitigen Betrachtung wirkt sich der geringe Rückgang des Wirkungsgrades der CSB-Elimination jedoch mit einem gravierenden Anstieg der abgeleiteten Fracht aus da die CSB-Elimination insgesamt mit einem sehr hohen Wirkungsgrad abläuft. Dies führt dazu, dass die prozentuale Zunahme der abgeleiteten Fracht sowohl für den CSB als auch für Stickstoff in der gleichen Größenordnung liegt. Dies soll nochmals an einem Zahlenbeispiel aus obigen Simulationsläufen dargestellt werden. Bei einer Zunahme des Fremdwasseranteils von 10 auf 60 % erhöht sich die abgeleitete CSB-Fracht von 287 kg/d auf 379 kg/d was einer Zunahme von 32 % entspricht. Für den Parameter Stickstoff nimmt die abgeleitete Fracht dabei von 89,3 kg/d auf 126,6 kg/d zu. Dies ist eine Zunahme von 42 %.

#### 4.2.4 AUSWERTUNG VON MESSUNGEN AUF KLÄRANLAGEN

Die im vorherigen Kapitel mittels dynamischer Simulation dargestellten Auswirkungen des Fremdwasseranteils auf den Wirkungsgrad der Stickstoff-Elimination sollen in diesem Kapitel anhand von realen Daten eingeordnet werden. Die Daten wurden dankenswerter Weise vom DWA Landesverband Baden-Württemberg zur Verfügung gestellt.

Die Effekte des Fremdwassers auf die Zu- und Ablaufkonzentration für den Parameter Stickstoff sind anhand von vier Praxisbeispielen in Abb. 34 dargestellt. Die Abbildung zeigt die durchschnittlichen  $N_{ges}$  Zu- und Ablaufkonzentrationen jeweils für den September 2002 mit hohen Fremdwasseranteilen (linke Balkenpaare) und für den sehr trockenen September 2003 mit niedrigen Fremdwasseranteilen (rechte Balkenpaare). Entsprechend dem vom DWA Landesverband Baden-Württemberg in Zusammenarbeit mit der Wasserwirtschaftsverwaltung des Landes durchgeführten Leistungsvergleich ergibt sich die organische Auslastung der Kläranlagen (bezogen auf die Ausbaugröße) zu: < 50 % für KA 1, 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. Dies deckt sich sehr gut mit den Aussagen in Abb. 30. Bei der Kläranlage 4 treten bei hohen Fremdwasseranteilen jedoch höhere Ablaufkonzentrationen auf. Ursächlich hierfür ist entweder, dass sich infolge der hohen organischen Auslastung der Anlage der Temperatureinfluss auswirkt oder vermehrter Schlammabtrieb bei überlastetem Nachklärbecken.

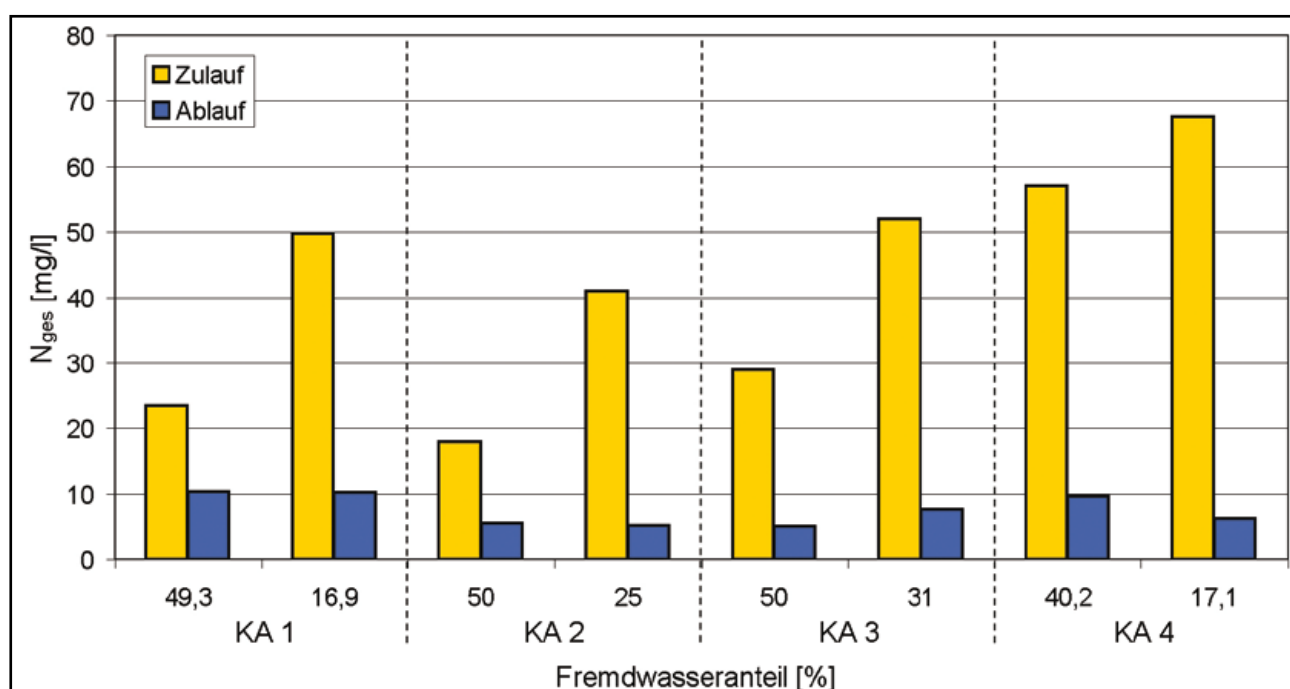


Abb. 34: Durchschnittliche  $N_{ges}$  Zu- und Ablaufkonzentrationen bei hohen und niedrigen Fremdwasseranteilen für vier Kläranlagen. Linke Balkenpaare jeweils Werte von September 2002, rechte Balkenpaare Werte von September 2003

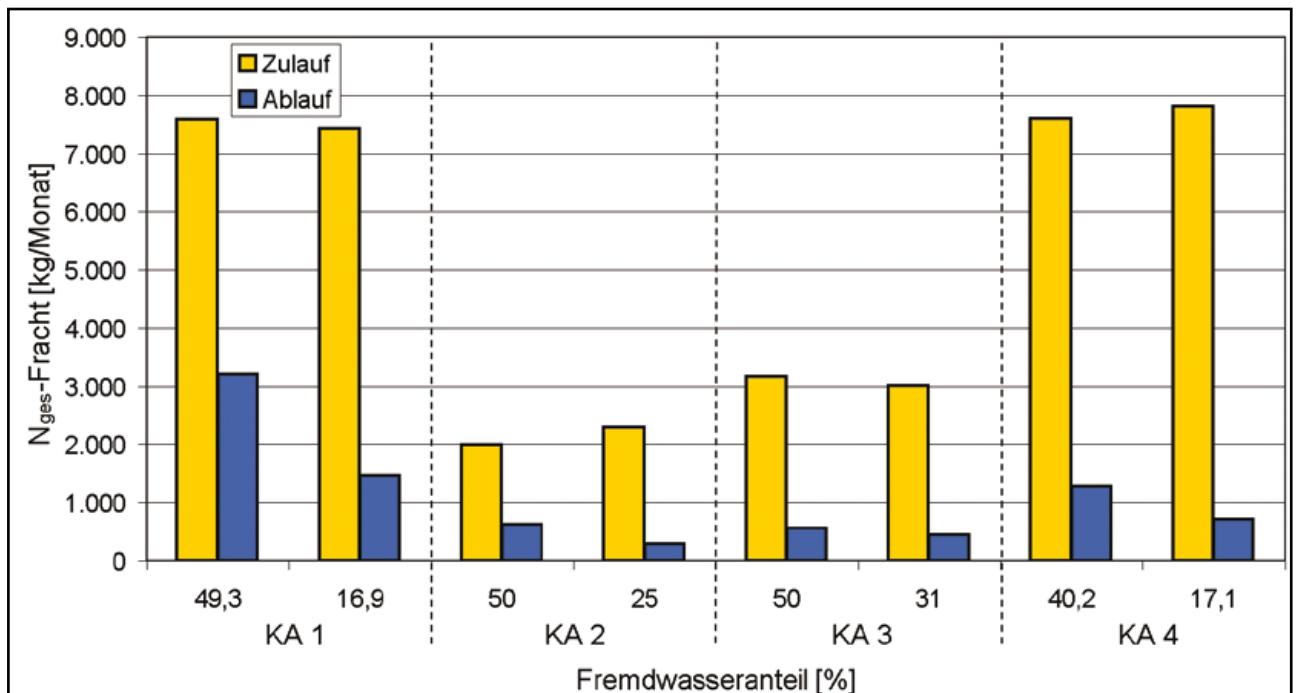


Abb. 35:  $N_{ges}$  Zu- und Abauffrachten bei hohen und niedrigen Fremdwasseranteilen für vier Kläranlagen. Linke Balkenpaare jeweils Werte von September 2002, rechte Balkenpaare Werte von September 2003

Die zugehörigen Frachten sind in Abb. 35 gegeben. Die Zulauffrachten ändern sich jeweils wenig, die Ablauffrachten 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.

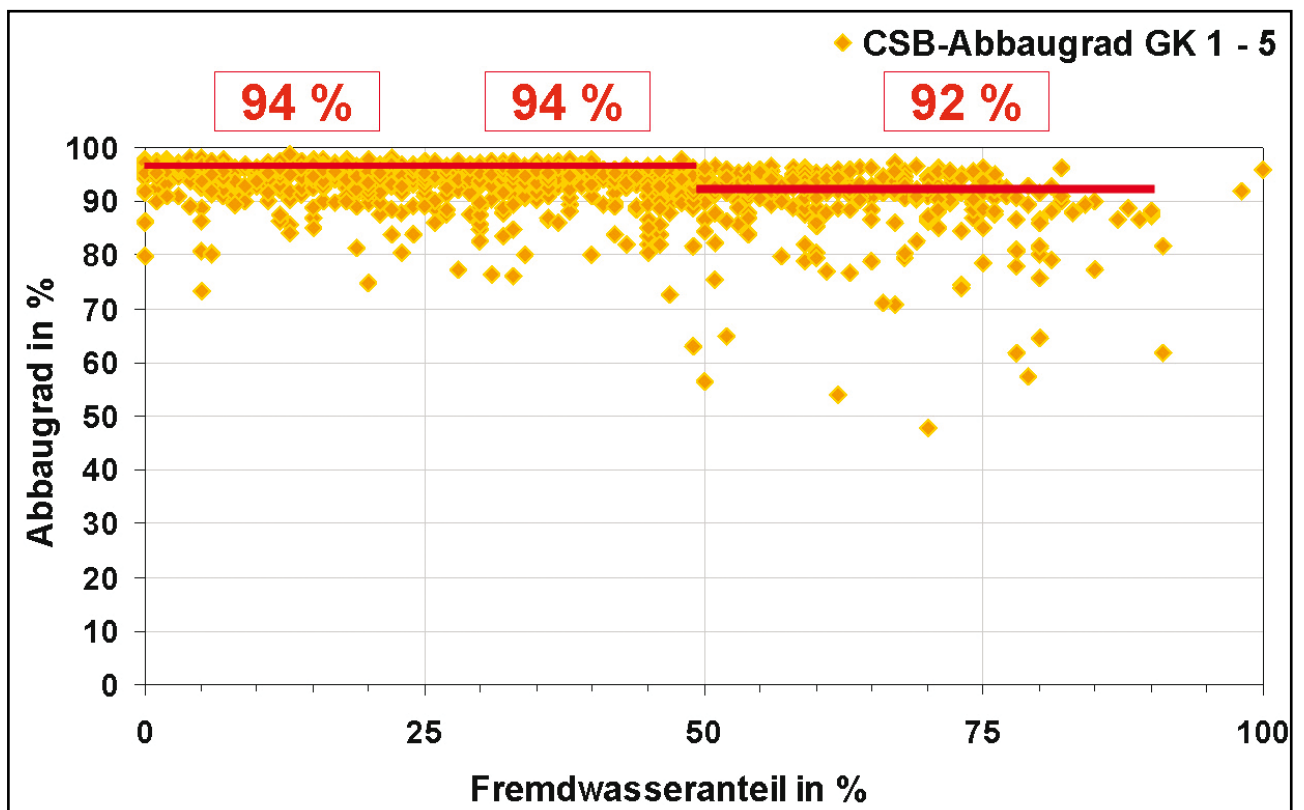


Abb. 36: Erreichte CSB-Abbaugrade bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen (Schwentner et al., 2005)

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. Die Abhängigkeit der erzielbaren Abbaugrade vom Fremdwasseranteil wird anhand nachfolgender Diagramme für das Jahr 2004 deutlich. Die Abbildungen sind dem 31. Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen (Schwentner et al., 2005) entnommen. Es sind jeweils die Abbaugrade für CSB, N und P für alle im Rahmen des Leistungsvergleichs erfassten Kläranlagen in Baden-Württemberg gegeben, wobei für die Parameter N und P eine Unterteilung in die Größenklassen 1-3 sowie 4+5 vorgenommen wurde. Zusätzlich sind die Mittelwerte der erreichten Abbaugrade für die Fremdwasserklassen < 25 %, 25 – 50 % und > 50 % FWA angegeben.

Die Abbaugrade für den Parameter CSB sind in Abb. 36 dargestellt. Dabei zeigt sich, dass der Einfluss von Fremdwasser bei diesem Parameter nur gering ist. Bis 50 % FWA wird im Mittel ein Abbaugrad von 94 % erreicht und im Bereich > 50 % FWA nimmt der Wirkungsgrad nur gering auf 92 % ab.

Sehr deutliche Auswirkungen des Fremdwasseranfalls auf die erzielbaren Abbaugrade sind jedoch für den Parameter Stickstoff festzustellen. Die entsprechende grafische Darstellung gibt nachfolgende Abb. 37. Im Bereich < 25 % FWA wurden im Mittel ein Abbaugrad von 78 % erzielt. Dieser Wert fällt im Bereich zwischen 25 und 50 % FWA auf 72 % ab. Eine weitere drastische Abnahme auf im Mittel nur noch 60 % ist im Bereich > 50 % FWA zu verzeichnen. (Die Auswertung erfolgte gewichtet nach der Jahresabwassermenge; für die Berechnung der Abbaugrade der einzelnen Fremdwasserklassen wurden nur Anlagen der GK 4 + 5 berücksichtigt).

Bei den in Abb. 38 dargestellten Abbaugraden für P in Abhängigkeit vom Fremdwasseranteil ist ebenfalls festzustellen, dass ein vermehrter Fremdwasseranfall zu niedrigeren Abbaugraden führt. So werden bei FWA < 25 im Mittel 93 % Abbaugrad und im Bereich zwischen 25 und 50 % FWA ein mittlerer Abbaugrad von 90 % erreicht. Bei FWA > 50 % fällt der erzielbare Abbaugrad im Mittel auf 82 % ab. (Die Auswertung erfolgte gewichtet nach der Jahresabwassermenge; für die Berechnung der Abbaugrade der einzelnen Fremdwasserklassen wurden nur Anlagen der GK 4 + 5 berücksichtigt).

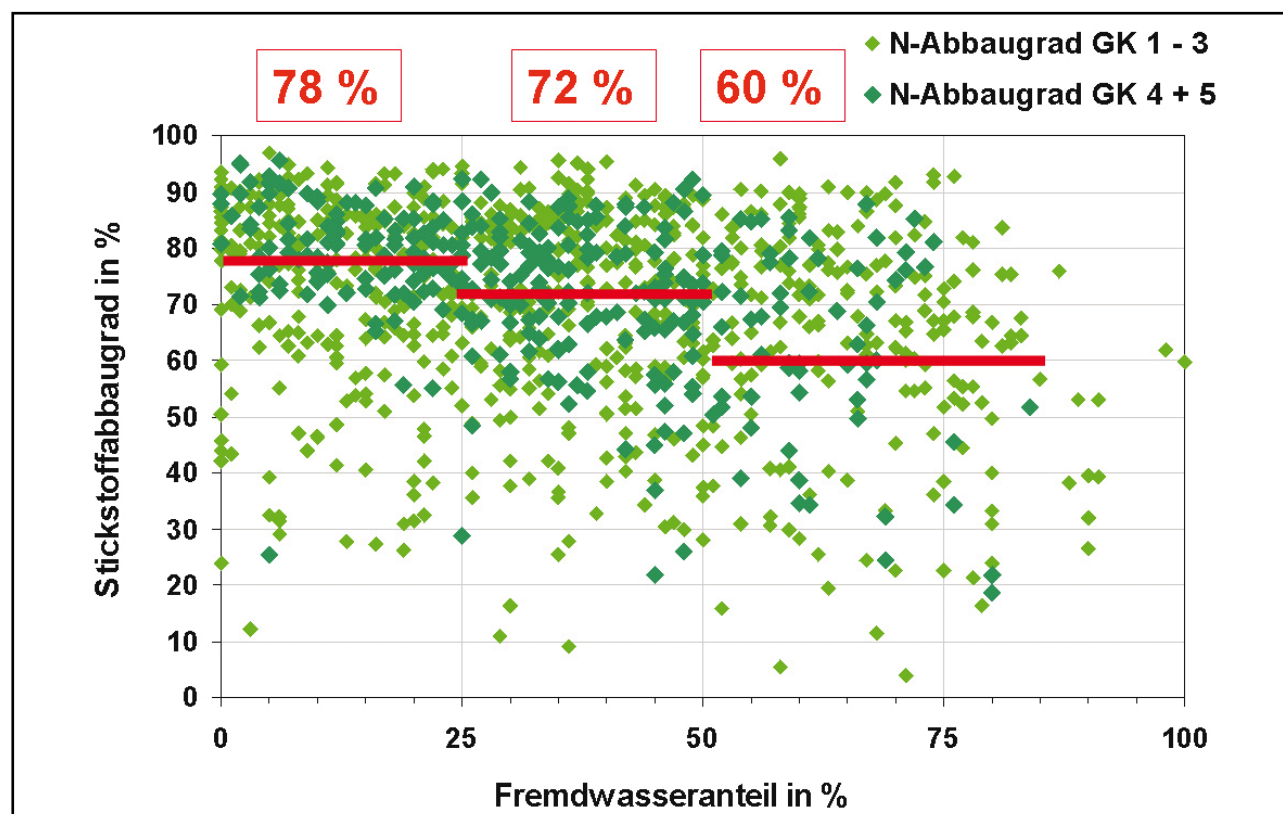


Abb. 37: Erreichte N-Abbaugrade bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen (Schwentner et al., 2005)

Insgesamt bestätigen die ausgewerteten Betriebsdaten die in obigen Kapiteln theoretisch und mittels Simulation hergeleiteten Auswirkungen von Fremdwasser auf den Abwasserreinigungsprozess in Kläranlagen sehr gut.

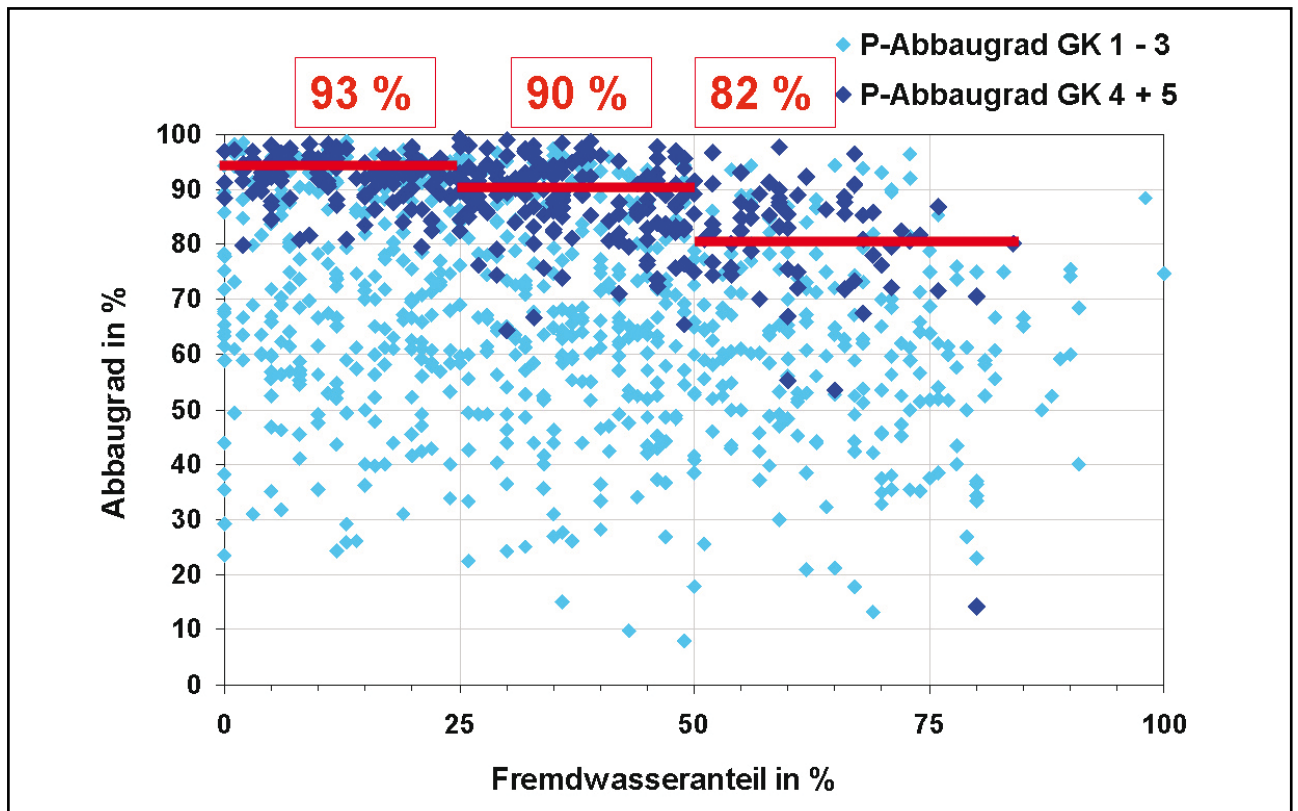


Abb. 38: Erreichte P-Abbaugrade bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen (Schwentner et al., 2005)

# 5 Ökonomische Auswirkungen erhöhten Fremdwasseranfalls

## 5.1 ABWASSERABLEITUNG / MISCHWASSERBEHANDLUNG

### 5.1.1 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. Die soll am nachfolgenden Beispiel verdeutlicht werden. Decker (1998) hat das fiktive Zentralbeckenvolumen eines RÜB entsprechend dem ATV-Arbeitsblatt A-128 (1992) für unterschiedliche FWA bemessen, wobei der Drosselabfluss den Fremdwasseranteilen angepasst wurde. Das zugehörige Einzugsgebiet hat eine Fläche  $A_{E,b}$  von 66 ha. Das resultierende, spezifische Speichervolumen bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen ist in nachfolgender Abb. 39 gegeben.

Das erforderliche Speichervolumen nimmt von 23 m<sup>3</sup>/ha bei 0 % FWA auf 49 m<sup>3</sup>/ha bei 67 % FWA zu.

Um aus den von Decker (1998) berechneten spezifischen Speichervolumina Kapitalkosten berechnen zu

können, wurden zuerst unter der (ebenfalls von Decker getroffenen) Annahme der undurchlässigen Fläche zu  $A_{E,b} = 66$  ha absolute Beckenvolumina berechnet. Zur Berechnung der Kapitalkosten wurden folgende Annahmen getroffen:

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

Die sich ergebenden jährlichen, fremdwasserbedingten Kapitalkosten sind in nachfolgender Abb. 40 dargestellt.

Die jährlichen fremdwasserbedingten Kapitalkosten steigen von rund 4.000 €/a bei 20 % FWA auf rund 26.000 € bei 60 % FWA an.

### 5.1.2 BETRIEBSKOSTEN

Fremdwasser verursacht im Bereich des Kanalnetzes (abgesehen von dem unten diskutierten Betriebsaufwand

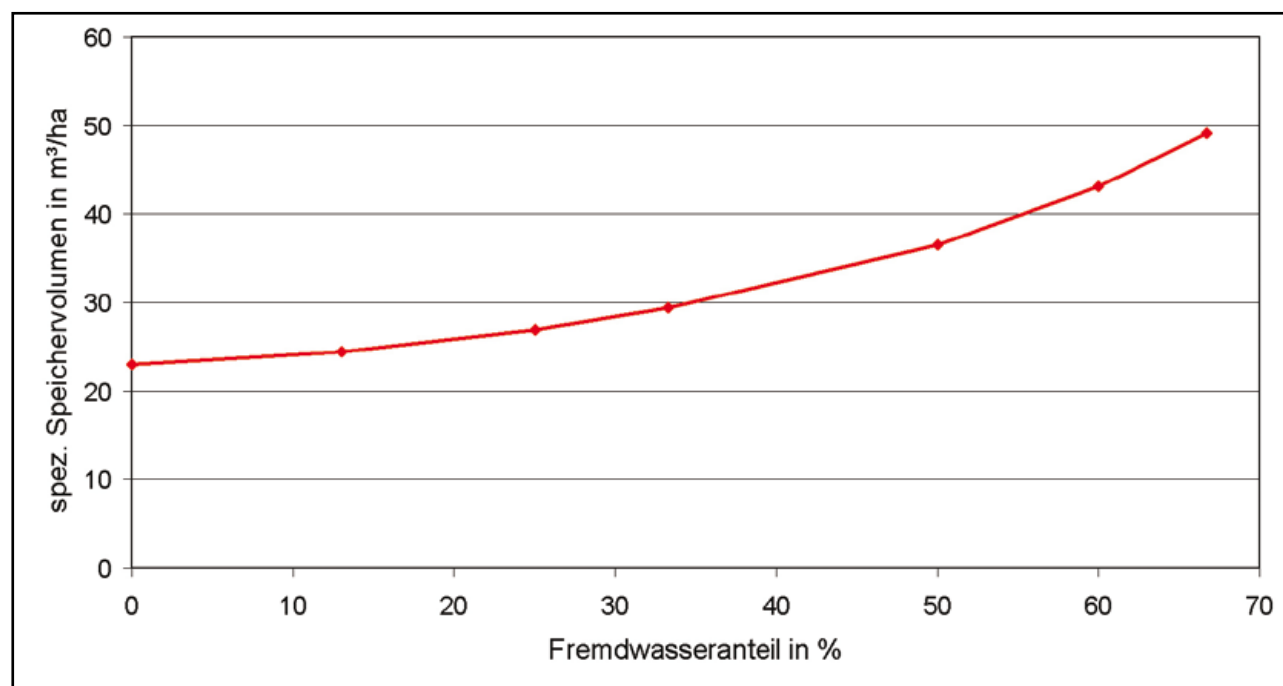


Abb. 39: Spezifisches Speichervolumen eines fiktiven Zentralbeckens bei unterschiedlichen Fremdwasseranteilen nach Decker (1998)



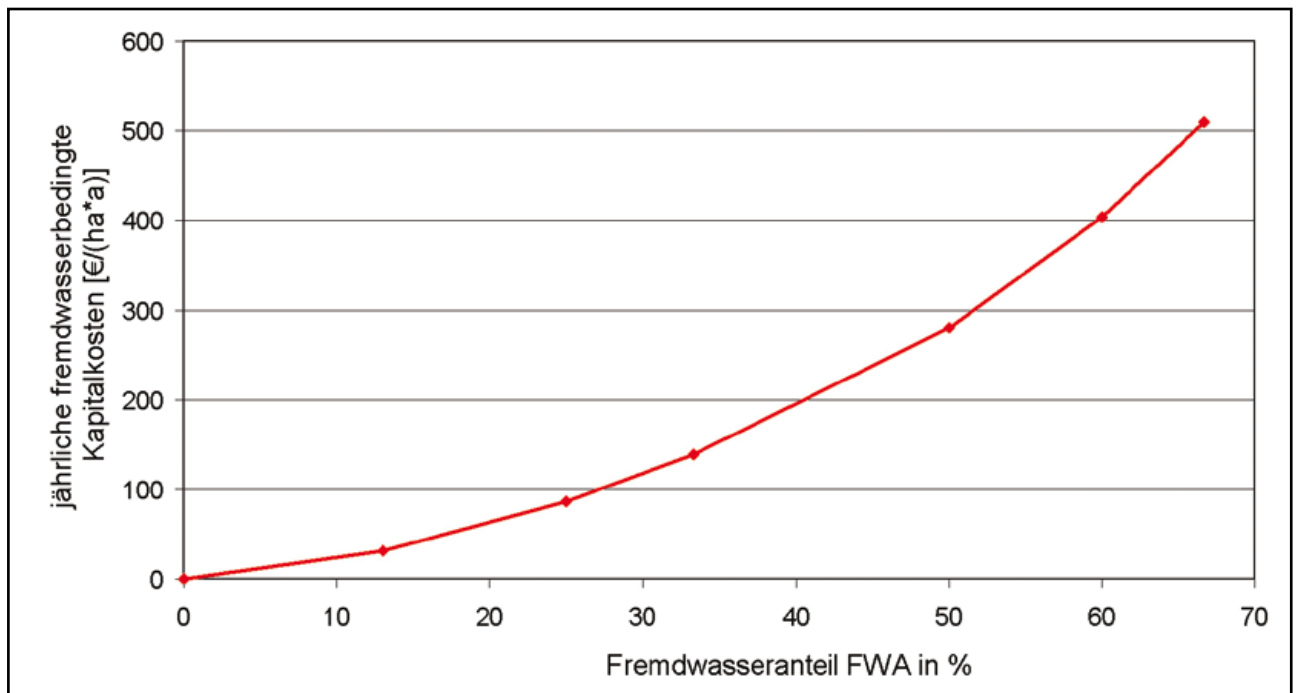


Abb. 40: Jährliche fremdwasserbedingte Kapitalkosten (Bau und Maschinentchnik) für ein typisches Regenüberlaufbecken bei verschiedenen Fremdwasseranteilen

für vermehrte Kanalspülungen) vor allem Betriebskosten in Abwasserpumpwerken. Eine beispielhafte Berechnung der anfallenden Betriebskosten wird hier nicht vorgenommen, da die anzunehmenden Randbedingungen bezüglich Förderhöhe, Abwasseranfall, etc. je nach Einzugsgebiet sehr unterschiedlich sind.

Für eine überschlägige Berechnung kann nach ATV (1999) für Pumpwerke mit  $4,5 - 5 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$  gerechnet werden und der Strompreis zu  $0,10 \text{ €/kWh}$  angenommen werden.

#### SONSTIGE AUSWIRKUNGEN:

Die Spülkraft des Fremdwassers ist umstritten, so dass es dazu sehr unterschiedliche Aussagen gibt. Lautrich (1972) führt aus, dass die erwünschte Spülwirkung meist erst in den Hauptsammlern und noch nicht in den Anfangshaltungen erzielt wird. Hingegen ist die ATV-DVWK-Arbeitsgruppe ES-1.3 „Fremdwasser“ der Meinung, dass Fremdwasser die Schleppspannung im Kanal erhöht, was sich insbesondere in den Anfangshaltungen der Schmutzwasserkanäle und bei Nachtabflüssen positiv bemerkbar machen soll (ATV-DVWK, 2004). Eine allgemeingültige Aussage, inwiefern Fremdwasserreduzierungen zu vermehrten Ablagerungen im Kanal führen, und damit den Betriebsaufwand für Spülungen, etc. erhöhen, ist nicht möglich.

## 5.2 KLÄRANLAGE

### 5.2.1 KAPITALKOSTEN KLÄRANLAGE

#### ALLGEMEINES

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 eine Kläranlage nach dem Belebtschlammverfahren mit vorgeschalteter Denitrifikation für 40.000 EW dargestellt. Dabei werden zuerst die sich bei der Bemessung auf unterschiedliche Fremdwasseranteile ergebenden Volumina für das Vorklärbecken, das Belebungsbecken und das Nachklärbecken berechnet, anschließend werden 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).

Die angenommene organische Belastung wird anhand der im Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131 (2000) angegebenen einwohnerspezifischen Frachten ermittelt. Bei einer angenommenen Durchflusszeit in der Vorklärung bei  $Q_T$  von 0,5 bis 1,0 h ergeben sich die in Tab. 11 dargestellten Frachten im Zulauf zur Biologie.

Tab. 11: Frachten im Zulauf zur Biologie

Parameter	BSB <sub>5</sub>	TKN	P	TS
Fracht [kg/d]	1.800	400	64	1.400

Die angenommenen hydraulischen Belastungen sind für Fremdwasseranteile zwischen 0 und 70 % in nachfolgender Tab. 12 gegeben.

Der einwohnerspezifische Schmutzwasseranfall wurde mit 125 l/(E·d) angenommen, bei der Berechnung von Q<sub>T</sub> wurde als Stundenspitzenfaktor 14 verwendet. Für Q<sub>M</sub> wurde 2 · Q<sub>S,14</sub> + Q<sub>F</sub> angesetzt.

#### VORKLÄRBECKEN

Die Bemessung des Vorklärbeckenvolumens erfolgte für eine Oberflächenbeschickung von q<sub>A</sub> = 6 m/h und eine minimale Aufenthaltszeit bei Mischwasserabfluss von 15 Minuten.

Je nach Fremdwasseranfall variiert das erforderliche Vorklärbeckenvolumen von 180 m<sup>3</sup> bei 0 % Fremdwasseranteil bis zu 300 m<sup>3</sup> bei 70 % Fremdwasseranteil.

#### BELEBUNGSBECKEN

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<sub>anorg</sub> = 10 mg/l 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 Reinhaltordnung 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. (Nach ATV-DVWK-A 131

Tab. 12: Angenommene hydraulische Belastungen für verschiedene Fremdwasseranteile

FWA [%]	0	10	20	30	40	50	60	70
Q <sub>d</sub> [m <sup>3</sup> /d]	5.000	5.556	6.250	7.143	8.333	10.000	12.500	16.666
Q <sub>T,2h,max</sub> [m <sup>3</sup> /h]	357	380	409	446	496	565	770	843
Q <sub>M</sub> [m <sup>3</sup> /h]	714	737	766	804	853	923	1.027	1.200

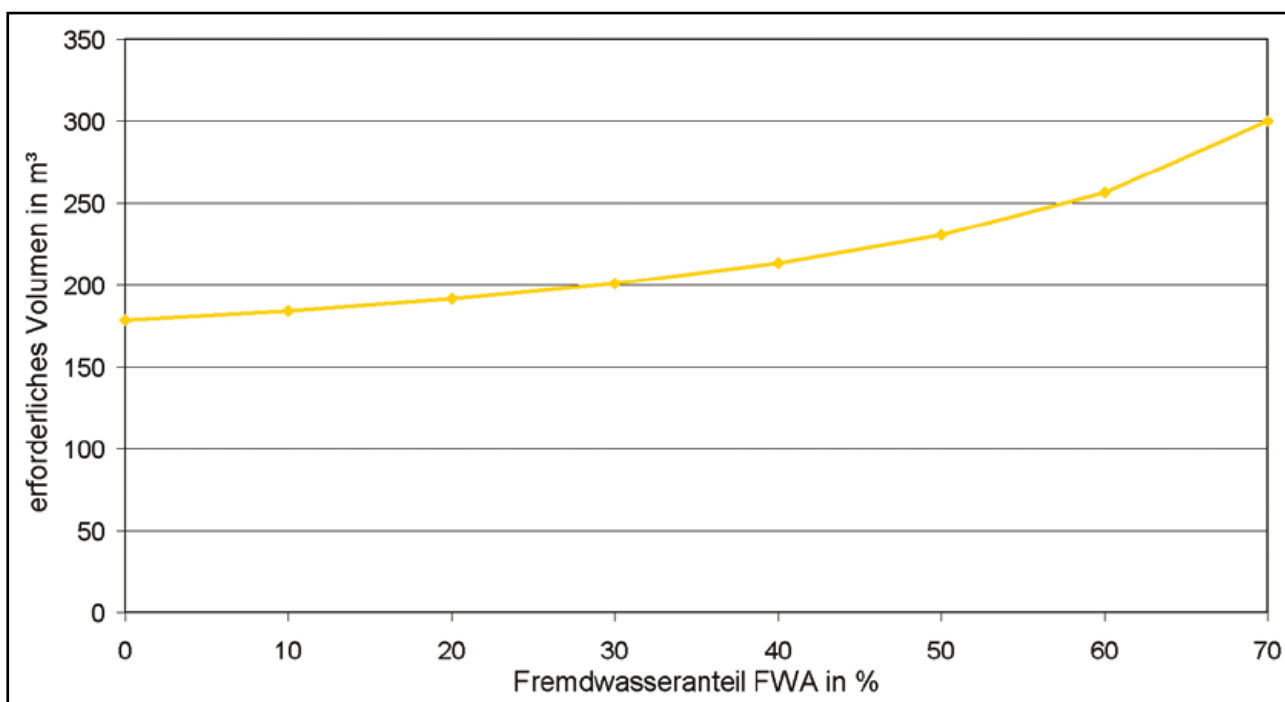


Abb. 41: Erforderliches Vorklärbecken-Volumen bei verschiedenen Fremdwasseranteilen für eine Beispielanlage mit 40.000 EW

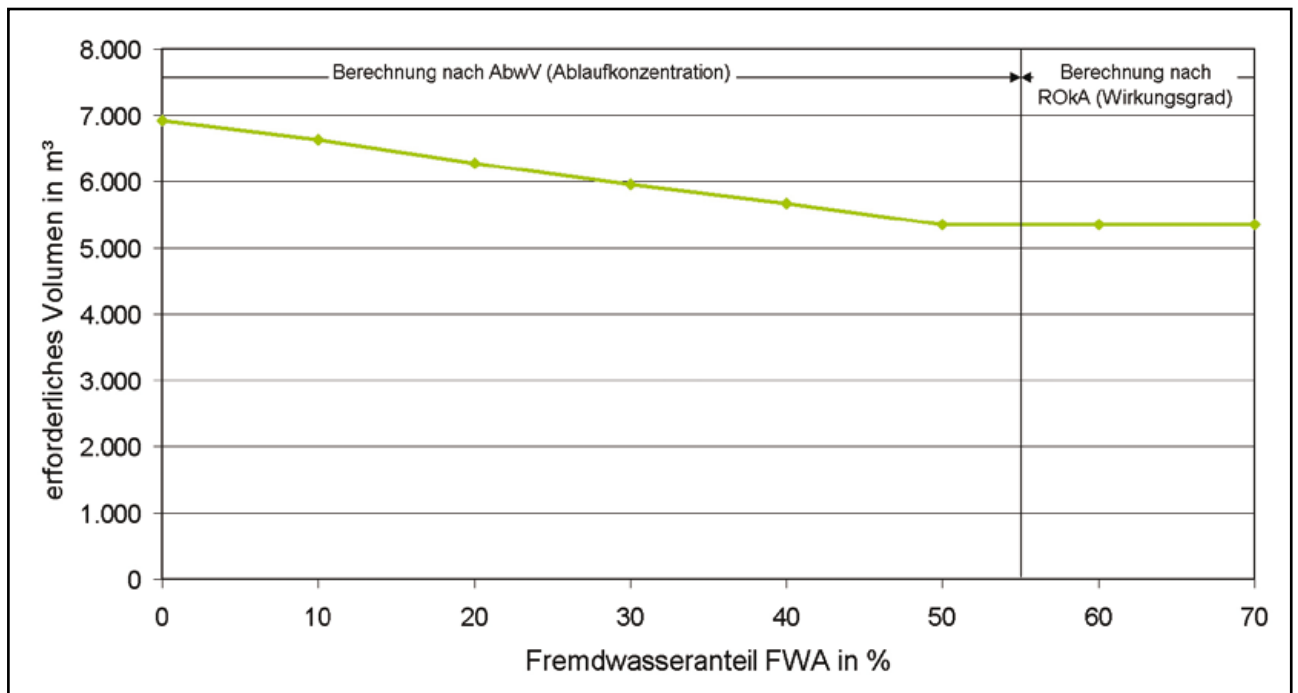


Abb. 42: Erforderliches Belebungsbecken-Volumen bei verschiedenen Fremdwasseranteilen für eine Beispielanlage mit 40.000 EW

(2000) ist eine gezielte Bemessung auf bestimmte CSB-Ablaufkonzentrationen und somit ist auch eine Bemessung auf festgelegte Abbaugrade nicht möglich. Auf den Parameter CSB wird daher im Folgenden nicht näher eingegangen.)

Die sich bei verschiedenen Fremdwasseranteilen ergebenden Volumina für das Belebungsbecken sind in Abb. 42 dargestellt.

Mit zunehmender Fremdwasserbelastung ergibt sich eine Abnahme des erforderlichen Belebungsbeckenvolumens von 6.900 m³ bei 0 % Fremdwasseranteil auf 5.300 m³ bei 50 % FWA. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Bemessung in diesem Bereich auf gleich bleibende Ablaufkonzentrationen erfolgte. Durch die mit steigendem Fremdwasseranteil größere Wassermenge werden also – bei Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen Ablaufkonzentrationen – größere Kohlenstoff- und Stickstofffrachten emittiert. Da die Zulauffracht unabhängig vom Fremdwasseranteil ist, nimmt die zu reinigende Fracht mit zunehmendem Fremdwasseranteil ab und es ergeben sich bei der Bemessung entsprechend kleinere Belebungsbeckenvolumina. Für 60 und 70 % FWA ergibt sich keine weitere Verminderung der zu reinigenden Fracht, da der Bemessung hier ein konstanter Wirkungsgrad für die Stickstoffelimination von 70 % zugrunde gelegt wurde.

Demzufolge verringert sich das erforderliche Belebungsbeckenvolumen nicht weiter.

#### NACHKLÄRBECKEN

Das erforderliche Nachklärbeckenvolumen bei verschiedenen Fremdwasseranteilen wurde ebenfalls nach dem Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131 (2000) ermittelt und ist in nachfolgender Abb. 43 gegeben. Dabei wurde der Schlammindex ISV zu 120 l/kg, die Schlammvolumenbeschickung  $q_{SV}$  zu 500 l/(m²·h) und der Trockensubstanzgehalt im Belebungsbecken  $TS_{BB}$  zu 3,1 g/l angenommen, so dass sich die Flächenbeschickung  $q_A$  zu 1,34 m/h ergibt.

Infolge der mit steigenden Fremdwasseranteilen zunehmenden hydraulischen Belastung nimmt das erforderliche Nachklärbeckenvolumen von 2.400 m³ bei 0 % Fremdwasseranteil auf 4.060 m³ bei 70 % Fremdwasseranteil zu.

#### GESAMTVOLUMINA

Die oben berechneten Volumina sind kumuliert in nachfolgender Abbildung dargestellt. In der Summe ergibt sich somit 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 als Folge der

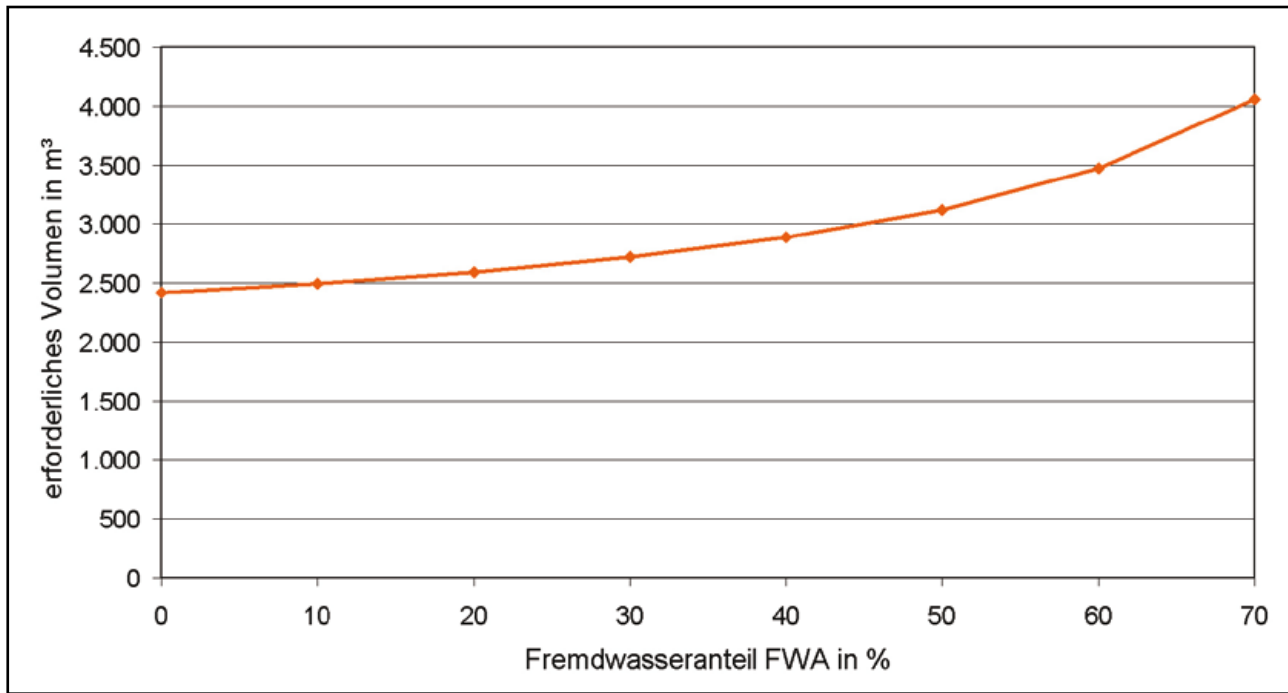


Abb. 43: Erforderliches Nachklärbecken-Volumen bei verschiedenen Fremdwasseranteilen für eine Beispielanlage mit 40.000 EW

Bemessung auf Ablaufkonzentrationen mit zunehmendem Fremdwasseranteil drastisch abnimmt.

- realer Zinssatz 3 %
- Kostenfunktionen nach Günthert und Reicherter (2001)

**KAPITALKOSTEN**

Um aus den oben berechneten Volumina Kapitalkosten berechnen zu können, wurden folgende Annahmen getroffen:

Die sich ergebenden jährlichen, fremdwasserbedingten Kapitalkosten sind in nachfolgender Abb. 45 dargestellt.

- Nutzungsdauer für Bauwerke 25 Jahre
- Nutzungsdauer für Maschinenteknik 12 Jahre

Entsprechend des in Abb. 44 dargestellten Minimums des erforderlichen Gesamtvolumens bei 50 % FWA ergibt sich das Minimum der jährlichen, fremdwasserbedingten Kapi-

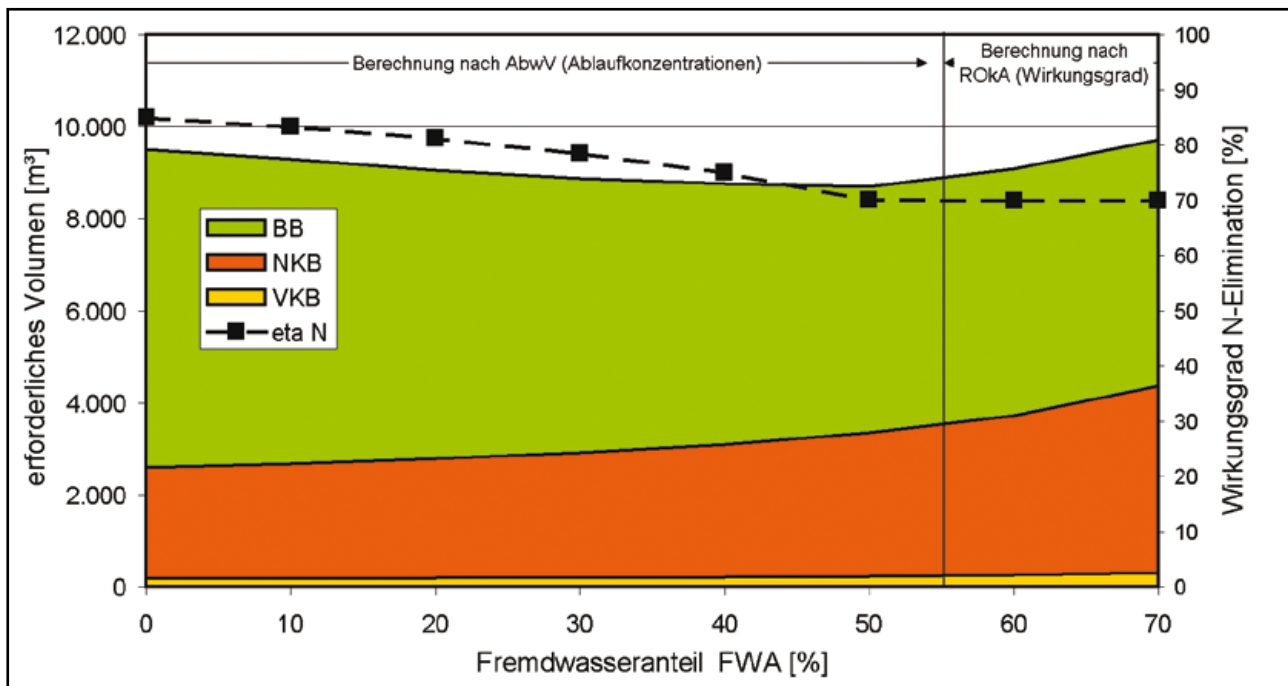


Abb. 44: Erforderliche Volumina für Vorklärbecken, Belebungsbecken und Nachklärbecken sowie Wirkungsgrad der Stickstoffelimination bei Fremdwasseranteilen zwischen 0 und 70 %

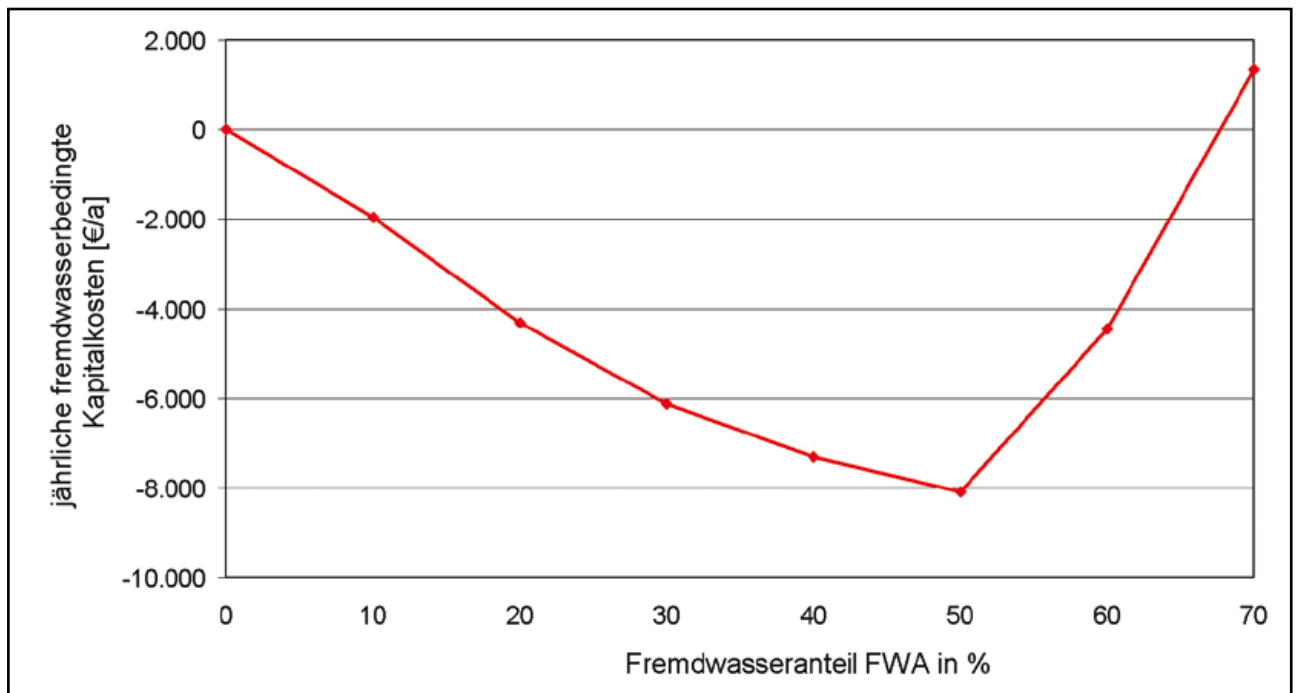


Abb. 45: Jährliche fremdwasserbedingte Kapitalkosten (Bau und Maschinentechnik) für Vorklärbecken, Belebungsbecken und Nachklärbecken bei verschiedenen Fremdwasseranteilen für eine Beispielanlage mit 40.000 EW

talkosten ebenfalls bei 50 % FWA. Gegenüber dem hypothetischen Fall einer nicht mit Fremdwasser belasteten Kläranlage ergeben sich hier jährlich um rund 8.000 € geringere jährliche Kapitalkosten.

### 5.2.2 BETRIEBSKOSTEN KLÄRANLAGE

Fremdwasser beeinflusst die Betriebskosten einer Kläranlage hauptsächlich durch die Energiekosten für Pumpwerke und den Fällmittelbedarf zur Phosphat-Fällung. Die Auswirkungen auf die relevanten Anlagenteile werden nachfolgend dargestellt und anhand einer Berechnung für die bereits zuvor verwendete Beispiel-Kläranlage nach dem Belebtschlammverfahren mit vorgeschalteter Denitrifikation und simultaner Phosphat-Fällung mit Al-Salzen für 40.000 EW dargestellt. Nachfolgend wird zuerst der Einfluss von Fremdwasser auf die einzelnen Anlagenteile dargestellt und dann eine exemplarische Betriebskostenberechnung durchgeführt.

#### ZULAUF- / ZWISCHENHEBEWERK

Fremdwasser beeinflusst die Energiekosten einer Kläranlage vor allem dann, wenn ein Zulaufhebewerk vorhanden ist. Die Kosten steigen linear mit dem zu fördernden Volumenstrom an. Der Elektrizitätsverbrauch beträgt je nach Wirkungsgrad des Hebewerkes pro  $1 \text{ m}^3$  Fördermenge und 1 m Förderhöhe 3-11  $\text{Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$  (MURL, 1999). Für eine überschlägige Berechnung kann nach ATV (1999) für

Einlaufhebewerke mit  $5 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$  und für Zwischenhebewerke mit  $4,5 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$  gerechnet werden.

Für die exemplarische Berechnung der oben genannten Beispielkläranlage für 40.000 EW wurde ein Zulaufhebewerk mit einer manometrischen Förderhöhe von 5 m und der Elektrizitätsverbrauch zu  $5 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$  angenommen.

#### BIOLOGISCHE REINIGUNG

##### SAUERSTOFFVERSORGUNG DES BELEBUNGSBECKENS

Fremdwasser beeinflusst den Elektrizitätsverbrauch für die Sauerstoffversorgung des Belebungsbeckens nur geringfügig. Die jährlichen, fremdwasserbedingten Betriebskosten für die  $\text{O}_2$ -Versorgung der Biomasse im Belebungsbecken sind so gering, dass sie bei den in Abb. 46 dargestellten fremdwasserbedingten Betriebskosten nicht ins Gewicht fallen. Sie wurden rechnerisch jedoch trotzdem berücksichtigt. Dabei wurde für die beispielhafte Berechnung der Betriebskosten der Ertrag der Belüftung zu  $3 \text{ kg O}_2$  je kWh gewählt.

#### RÜCKLAUFSCHLAMMPUMPWERK

Zur Rücklaufschlammförderung werden hauptsächlich Kreisel- teilweise auch Schneckenpumpwerke eingesetzt. Pro  $\text{m}^3$  Fördermenge und m Förderhöhe können  $4,7 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$  Elektrizitätsverbrauch angesetzt werden (MURL, 1999). Die notwendige Rücklaufschlammmenge

nimmt proportional mit dem Zulaufvolumenstrom, also auch mit dem Fremdwasseraufkommen zu.

Für die exemplarische Berechnung der Betriebskosten der Beispielkläranlage für 40.000 EW wurde ein Rücklaufschlammumpwerk mit einer manometrischen Förderhöhe von 1,5 m und der Elektrizitätsverbrauch zu  $5 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$  angesetzt. Für die Berechnung wurde ein konstantes Rücklaufverhältnis von 0,75 angenommen.

#### REZIRKULATIONS-PUMPWERK

Bei Anlagen mit vorgeschalteter Denitrifikation ist zur Nitratrückführung ein Rezirkulationspumpwerk erforderlich. Der Elektrizitätsverbrauch kann mit  $3,8 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$  angenommen werden (MURL, 1999).

Für die exemplarische Berechnung der Betriebskosten der Beispielkläranlage für 40.000 EW wurde ein Rezirkulationspumpwerk mit einer manometrischen Förderhöhe von 0,5 m und der Elektrizitätsverbrauch zu  $4 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$  angesetzt. Das erforderliche Rückführverhältnis wurde entsprechend dem Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131 (2000) berechnet. Das erforderliche Rückführverhältnis nimmt dabei linear von 5,0 bei 0 % Fremdwasseranteil auf 0,7 bei 70 % Fremdwasseranteil ab.

#### PHOSPHAT-FÄLLUNG

Bei zunehmendem Fremdwasseranteil wird bei Einhaltung des in Anhang 1 der Abwasserverordnung vorgegebenen Konzentrations-Grenzwertes aufgrund der zunehmenden Wassermengen eine höhere Phosphorfracht emittiert. Somit muss in der Kläranlage mit zunehmendem FWA ein geringerer Anteil der Phosphor-Zulauffracht gefällt werden. Dies gilt für das dargestellte Beispiel allerdings nur für  $\text{FWA} < 50\%$ . Darüber müssen niedrigere als im Anhang der AbwV geforderte Ablaufkonzentrationen eingehalten werden um den Forderungen der ROkA (1993) gerecht zu werden (Frachtminderung um 80%). Dies bedeutet dann eine Stagnation der zu fällenden Phosphatfracht und entsprechend des Fällmittelbedarfs.

Für die Berechnung der durch Fremdwasser verursachten Betriebskosten bei der Phosphat-Fällung wurde der Fällmittelbedarf zu  $1,3 \text{ kg Al/kg P}_{\text{Fall}}$  angesetzt (ATV-DVWK-A 131, 2000).

#### BETRIEBSKOSTEN

Unter den oben genannten Randbedingungen beeinflusst Fremdwasser die Betriebskosten einer Kläranlage nur über die Energiekosten sowie die Kosten für Fällmittel zur Phosphat-Elimination. Daher werden nachfolgend nur die Kosten für diese Punkte betrachtet und als „fremdwasserbedingte Betriebskosten“ bezeichnet. Um die oben hergeleitete Abhängigkeit des Energieverbrauchs der einzelnen Anlagenteile vom Fremdwasseranteil als Betriebskosten darstellen zu können, wurde der Strompreis zu  $0,10 \text{ €/kWh}$  angenommen. Die durch die Phosphat-Fällung verursachten Betriebskosten wurden unter der Annahme eines Preis von  $2,50 \text{ € je kg Al}$  beim Einsatz von Natriumaluminat berechnet.

Die sich ergebenden jährlichen, fremdwasserbedingten Betriebskosten sind in nachfolgender Abb. 46 dargestellt.

Der Verlauf der Kurve resultiert einerseits aus einer Zunahme der Energiekosten bei zunehmendem Fremdwasseranteil. Im gewählten Beispiel beeinflusst vor allem das Zulaufhebewerk ( $\Delta h_{\text{man}} = 5 \text{ m}$ ) mit zunehmendem Fremdwasseranteil die Energiekosten. Einen weit weniger ausgeprägten Anteil an den Energiekosten hat das Rücklaufschlammumpwerk, wobei auch hier die Energiekosten mit zunehmendem Fremdwasseranteil ansteigen. Die Kosten für die  $\text{O}_2$ -Versorgung der Biomasse im Belebungsbecken fallen in Abb. 46 nicht ins Gewicht. Andererseits nehmen die Kosten für Fällmittel mit zunehmendem Fremdwasseranteil ab bzw. stagnieren.

#### 5.2.3 JAHRESKOSTEN

Die unter 5.2.1 und 5.2.2 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. 47 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  $8.400 \text{ €}$  niedriger. Dies ist vor allem auf die abnehmenden Kapitalkosten infolge kleinerer Belebungsbeckenvolumina zurückzuführen.



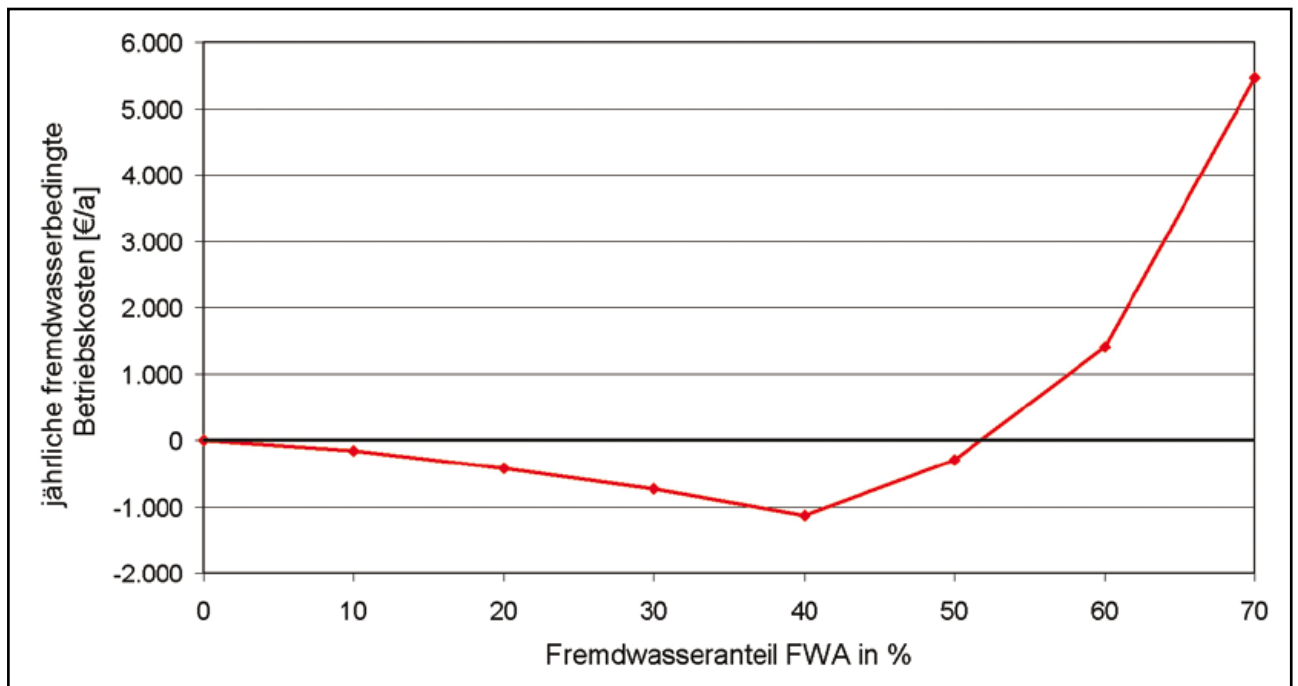


Abb. 46: Jährliche fremdwasserbedingte Betriebskosten bei verschiedenen Fremdwasseranteilen für eine Beispielanlage mit 40.000 EW

Der leichte 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.

### 5.3 ABWASSERABGABE

Sehr deutlich schlägt sich der Fremdwasseranfall in der Abwasserabgabe nieder. Eine maßgebliche Größe bei der Berechnung der Abwasserabgabe stellt die Jahres-

schmutzwassermenge dar. Dieser Begriff ist eigentlich unzutreffend, da die Jahresschmutzwassermenge neben dem eigentlichen Schmutzwasser auch das Fremdwasser beinhaltet. Für die Berechnung der Abwasserabgabe wird (vereinfacht dargestellt) die sich aus der Jahresschmutzwassermenge und den erklärten Überwachungswerten ergebende Fracht zugrunde gelegt. Dabei wird für kommunale Kläranlagen die Berechnung separat für die Parameter CSB, N und P durchgeführt. Eine Ermäßigung der Abgabensätze um 50 % für die einzelnen Parameter wird

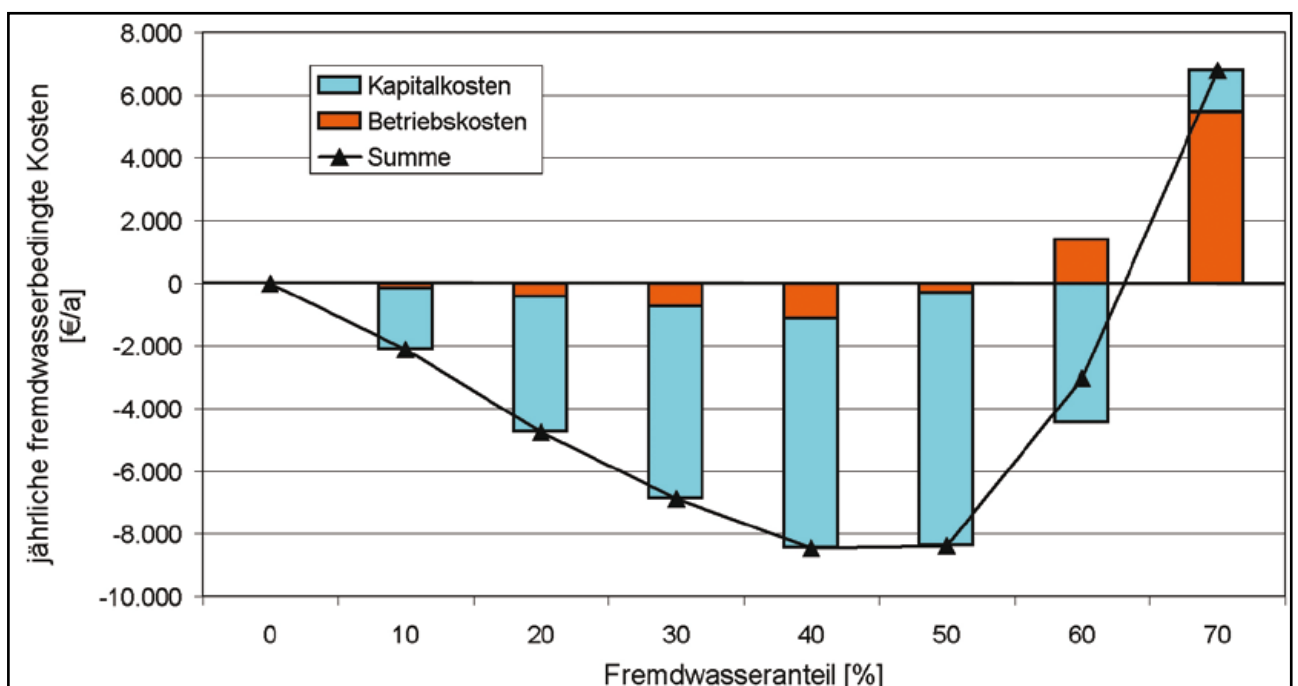


Abb. 47: Fremdwasserbedingte Jahreskosten für eine Beispielanlage mit 40.000 EW bei verschiedenen Fremdwasseranteilen

dann gewährt, wenn die Überwachungswerte nicht über den Mindestanforderungen nach der Abwasserverordnung liegen, die Mindestanforderungen eingehalten werden und die Unterschreitungen der Mindestanforderungen nicht entgegen dem Stand der Technik durch Verdünnung oder Vermischung (Fremdwasser) erreicht werden. In Baden-Württemberg bleibt derzeit die Verdünnung oder Vermischung unberücksichtigt, wenn der Fremdwasseranteil im Jahresmittel 50 % nicht übersteigt. Jedoch kann auch bei Fremdwasseranteilen über 50 % eine Ermäßigung gewährt werden, wenn mit dem höchsten Einzelmessergebnis der amtlichen Überwachung „verdünnungsbereinigt“ die Mindestanforderung eingehalten werden kann. Dabei wird das höchste Einzelmessergebnis mit einem vom Fremdwasseranfall abhängigen Erhöhungsfaktor (EF) multipliziert. Das Ergebnis ist der Wert, der ohne eine Verdünnung oder Vermischung zu erwarten wäre (sog. erhöhter Anforderungswert  $W_h$ ). Liegt dieser unter der Mindestanforderung für den betrachteten Parameter, wird die Ermäßigung des Abgabensatzes um 50 % gewährt.

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. 13 gegeben.

Tab. 13: 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]
<b>Überwachungswerte</b>	40	15	2,0
<b>höchstes Einzelmessergebnis</b>	35	14	1,9

Die resultierende, ausschließlich fremdwasserbedingte Abwasserabgabe für die beispielhaft betrachtete Anlage ist für verschiedene Fremdwasseranteile in nachfolgender Abb. 48 dargestellt. Für Fremdwasseranteile < 50 % wird auf den Abgabensatz 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 Abgabensatz 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 Balkenanteile stellen den Anteil dar, der aufgrund nicht gewährter

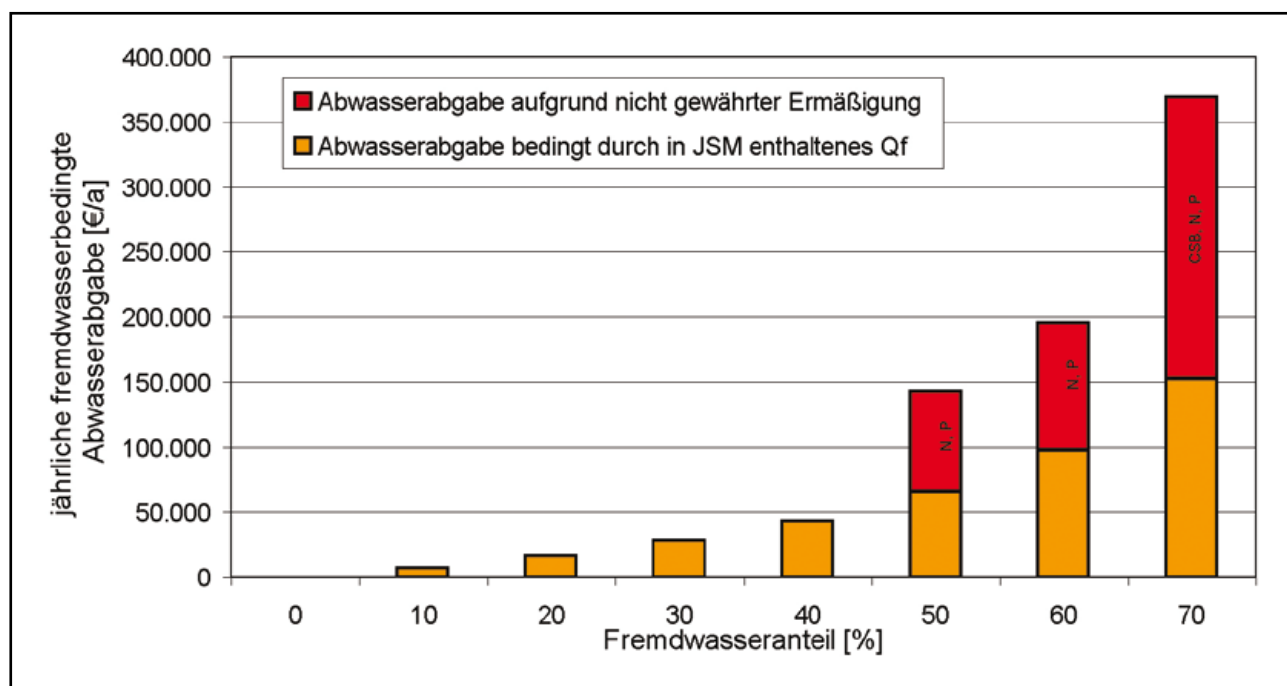


Abb. 48: Fremdwasserbedingte Abwasserabgabe für verschiedene FWA einer KA für 40.000 EW

Ermäßigung ( $W_h$  größer Mindestanforderung) erhoben wird. Dabei ist zusätzlich angegeben, für welche Parameter die Mindestanforderung nicht eingehalten werden konnte.

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

# 6 Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung und Fallbeispiele

## 6.1 MASSNAHMEN IM ÖFFENTLICHEN BEREICH

Bei den Fremdwasserquellen im Bereich der öffentlichen Kanalisation handelt es sich überwiegend um **Grundwasserinfiltrationen** an schadhafte Rohren und Rohrverbindungen, um **angeschlossene Oberflächengewässer und Quellen**, um **Oberflächenwasser von Außengebieten**, die nicht planmäßig durch die Kanalisation entwässert werden sollen 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) sind diese Ursachen den Kommunen in der Regel bereits vollständig bekannt.

Insbesondere die **Behebung baulicher Schäden** wurde in den letzten Jahren auf Grund erstellter Prioritätenlisten zunehmend vorangetrieben, um, wie vom Gesetzgeber vorgeschrieben, jederzeit die ordnungsgemäße Betriebsfähigkeit der Entwässerungsanlage und den Betrieb nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik zu gewährleisten. Motiviert wurde dieses Vorgehen einerseits durch den teils schlechten baulichen Zustand vieler Kanäle und der damit verbundene Gefahr von Einbrüchen und Abwasserexfiltrationen und andererseits durch Fremdwasserprobleme.

Mittlerweile wurden zahlreiche verschiedenartige Verfahren für die Instandsetzung von Abwasserleitungen entwickelt, die wie folgt unterschieden werden (DIN EN 752-5, 1997):

- **Reparaturmaßnahmen** zur Instandsetzung örtlich begrenzter Schäden.
- **Renovierungsmaßnahmen** zur Instandsetzung schadhafter Kanäle durch deren technische Veränderung unter Erhaltung ihrer Substanz.
- **Erneuerungsmaßnahmen** zur Herstellung neuer Kanäle, welche die Funktion der alten, außer Betrieb genommenen übernehmen.

Für jede Kategorie steht eine Vielzahl von Verfahren zur Verfügung, welche der einschlägigen Literatur zu entnehmen sind (vgl. z.B. Stein und Niederehe, 1999). Für welches dieser Verfahren man sich im Einzelfall entscheidet, hängt vorwiegend von Erscheinungsbild, Ausmaß und 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 es durch die Sanierung der öffentlichen Kanalisation infolge der dann fehlenden Drainagewirkung der defekten Kanäle zu einer lokalen Anhebung der Grundwasserstände kommt und sich das 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 ganzheitlichen Sanierung sowohl der öffentlichen Kanalisation als auch der privaten Grundstücksentwässerungsanlagen gelingen.

Durch die **Einleitungen von Oberflächengewässern und Quellen** 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 6.3 vorgestellt. Die **Drainage von Außengebieten** wird oftmals in Wegerandgräben z.B. oberhalb von Wohngebieten zusammengeführt und dann punktuell in das Kanalnetz eingeleitet (siehe Abb. 49). Auch bei der Abkoppelung solcher Drainagen von Mischwasserkanalisationen

muss die Ableitung des anfallenden Wassers gewährleistet bleiben. Hierzu bieten sich ebenfalls die unter 6.3 genannten Möglichkeiten an.



Abb. 49: Einleitung einer Aussengebietsdrainage aus einem Wegeseitengraben in das Kanalisationsnetz

Niederschlagswasser, das als Fremdwasser über die Schachtabdeckungen in den Schmutzwasserkanal gelangt, macht in den meisten Städten und Kommunen nur einen geringen Anteil am Gesamtfremdwasser aus. Wird es dennoch erforderlich, dieses fernzuhalten, stehen auch zu diesem Zweck geeignete Gegenmaßnahmen zur Verfügung. Eine bedeutende Verringerung bewirkt oftmals bereits das Einlegen eines Dichtungsringes zwischen Schachtring und Schachtabdeckung, so dass auf diesem Weg kein Oberflächenabfluss mehr eindringt. Zudem sollten die Schächte, die auf Grund ihrer Lage in Senken besonders überflutungsgefährdet sind, mit möglichst wenigen Lüftungsöffnungen und gegebenenfalls mit wasserrückhaltenden Schachtabdeckungen versehen werden.

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 sollte 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. Dabei sollte nicht davon ausgegangen werden, dass die Sanierung undichter Kanäle und Schächte zu einer Verminderung der Fremdwasserbelastung beiträgt, siehe oben. Eine

Fremdwasserreduzierung sollte daher Entwässerungsanlagen auf Privatgrundstücken mit einbeziehen.

## 6.2 MASSNAHMEN BEI FREMDWASSER VON PRIVATGRUNDSTÜCKEN

Fremdwasserquellen befinden sich nicht nur im Bereich der öffentlichen Kanalisation, sondern auch in privaten Netzen, wie z.B. der Grundstücksentwässerung. Dies wird meist erst deutlich, wenn die öffentlichen Sanierungsmaßnahmen abgeschlossen sind und sich die Fremdwassersituation kaum verbessert. Eine langfristig erfolgreiche Sanierung erfordert deshalb die umfassende Betrachtung der Fremdwassersituation im Einzugsgebiet. So müssen ggf. zur Verminderung des Gesamtfremdwasserabflusses im Rahmen der Sanierung auch private Hausanschluss- und Grundleitungen einbezogen werden. Deren Schadensquote ist nach heutigen Erfahrungen wesentlich höher als in der öffentlichen Kanalisation (Bosseler et al., 2003a; Bosseler et al., 2003b; Eisner, 2002). Weiter ist die Länge dieser Anlagen in einem Einzugsgebiet oftmals größer als die der öffentlichen Kanalisation.

### 6.2.1 EINGRENZUNG DER FREMDWASSERZUFLÜSSE AUS PRIVATEN LEITUNGEN

Ein geeignetes Mittel, um auch private Fremdwasserquellen genauer zu identifizieren, ist die nächtliche TV-Inspektion. Vergleichbar der Durchführung nächtlicher Abflussmessungen sollten auch hierbei u.a. die in 2.4.2.2 genannten Randbedingungen bezüglich des Untersuchungszeitraums eingehalten werden. Um zwischen privaten und öffentlichen Fremdwasseranteilen unterscheiden zu können, reicht bereits der Einsatz eines herkömmlichen Kamerasystems ohne Satellitenkamera aus. Die Kamera wird dafür jeweils wenige Minuten vor einem Hausanschluss platziert, um den von dort kommenden Zufluss zu dokumentieren. Die Lage der Hausanschlüsse (rechts, links, oben), die zufließende Menge sowie die vermutliche Ursache für den Fremdwasserzufluss werden zunächst subjektiv abgeschätzt und ebenso wie die Entfernung zum Startschacht im Protokoll festgehalten. Zu unterscheiden sind Fremdwasserzuflüsse unmittelbar aus der Hausanschlussleitung sowie Infiltrationen auf Grund eines fehlerhaft in den Hauptkanal eingebundenen Hausanschlussstutzens.



Im Rahmen der Auswertung werden die inspizierten Hausanschlüsse den jeweiligen Grundstücken zugeordnet und mit den gewonnenen Fremdwasserinformationen im Bestandsplan dargestellt (siehe Abb. 50). Wird zur Verwaltung der Kanalstammdaten ein Kanalinformationssystem

(KIS) verwendet, können zusätzlich zu den oben genannten noch weitere Informationen, wie z.B. Grundstückseigentümer oder Alter und Material der Hausanschlussleitung, verknüpft werden.

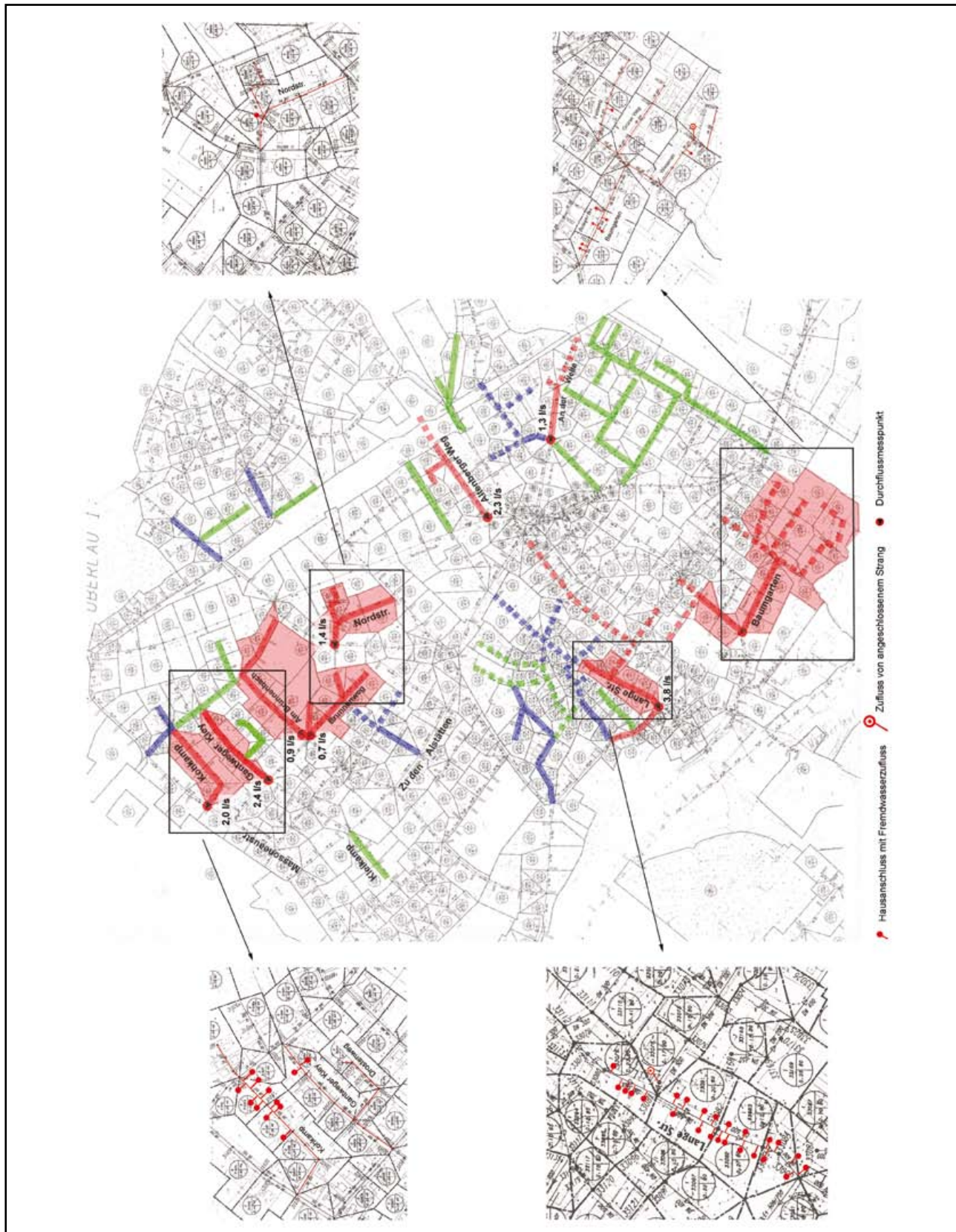


Abb. 50: Darstellung der Ergebnisse einer nächtlichen TV-Inspektion zur grundstücksgenaue Ermittlung von Fremdwasserquellen



Grundsätzlich reicht der Einsatz einer Kamera auf Fahrzeugen aus, um Anschlussleitungen zu identifizieren, über die Fremdwasser eingeleitet wird. Bei Verwendung einer Satellitenkamera können jedoch im selben Arbeitsgang bereits Teile der Anschlussleitungen inspiziert und dabei festgestellte Schäden dokumentiert werden. Zuverlässige Aussagen zu Fehlan schlüssen und Drainagen sind aber auch auf Basis einer Inspektion dieser Leitungsabschnitte kaum zu erwarten. Nicht selten muss die Inspektion auf Grund von Verschmutzung oder wegen eines stark abgewinkelten Leitungsverlaufs bereits nach einigen Metern abgebrochen werden. Weitergehende Untersuchungen zur Bewertung des Zustandes der privaten Abwasserleitungen und zur näheren Eingrenzung von privaten Fremdwasserquellen müssen auf den Grundstücken selbst ansetzen. Erst auf Basis dieser Untersuchungen lassen sich zuverlässige Aussagen zu Undichtigkeiten, Fehlan schlüssen und zur Einleitung von Drainagewasser über private Anschlusskanäle machen.

#### 6.2.2 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. An vielen Orten des Gebäudes sind einzelne Ablaufmöglichkeiten für Entwässerungsgegenstände eingebunden, so z.B. für Duschen, Toiletten oder Wasch- und Spülmaschinen. Hinzu kommen planmäßige Regenwasserableitungen in Mischwassernetzen oder auch Fehlan schlüsse und Hausdrainagen.

Die Entwässerungspläne für private Netze sind häufig unvollständig oder veraltet. In den Datenbeständen der Kanalnetzbetreiber finden sich nur selten Hausakten in EDV-technisch verfügbarer und vollständiger Form (IKT, 2003). Häufig weichen die tatsächlichen Abwassersysteme von den Angaben in den Planunterlagen ab: dokumentierte Entwässerungsgegenstände sind nicht vorhanden, oder es wurden nachträglich Entwässerungsgegenstände angeschlossen, ohne die Pläne zu aktualisieren (Bosseler et al., 2003a). Es empfiehlt sich, die vorhandenen Pläne vor dem Beginn weiterer Untersuchungen zunächst auf Grundlage einer Ortsbegehung zu überprüfen und ggf. zu ergänzen (vgl. Abb. 51). Um die spätere Nachbearbeitung und die Planung von Sanierungsmaßnahmen zu erleichtern, kann es sinnvoll sein, die Pläne EDV-technisch zu bearbeiten und diese ggf. in ein Informationssystem zu übernehmen.

Mit Blick auf die später einzusetzende Inspektions- und Ortungstechnik bietet sich eine Trennung zwischen dem vielfach verzweigten Netz im Grundleitungsbereich und dem reinen Anschlusskanal (auch Hausanschlussleitung genannt) zwischen Revisionschacht und Straßenkanal an. Letzterer leitet das gesammelte Abwasser in der Regel ohne Abzweige zum öffentlichen Kanal und weist meist einen vergleichsweise geradlinigen Verlauf auf. Diese Hausanschlussleitung ist hinsichtlich der Betriebsbedingungen mit dem öffentlichen Kanal vergleichbar, lediglich die geringere Nennweite mit DN 150 bis DN 200 weicht von den üblichen Werten im öffentlichen Bereich ab.



Abb. 51: Aufnahme der Entwässerungssituation vor Ort; gute Zugänglichkeit über einen Revisionschacht (links), neu erstellter und versiegelter Revisionschacht (rechts)

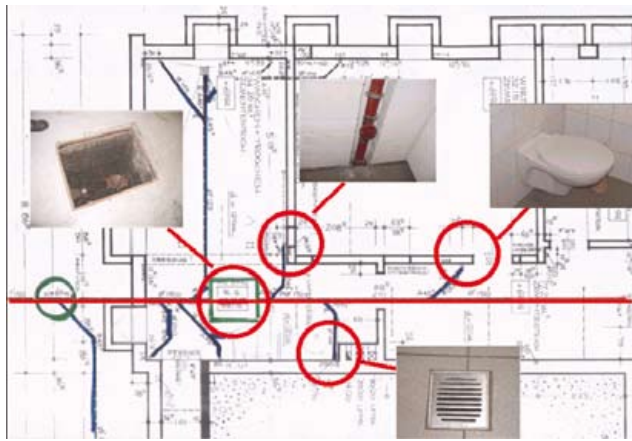


Abb. 52: Beispiel eines Abwassernetzes im Inneren eines Gebäudes

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. Gute Zugangsmöglichkeiten durch Schächte sind innerhalb des Gebäudes nur selten gegeben, normalerweise liegen diese außerhalb des Gebäudes. Der Zugang zu Teilbereichen des Grundleitungsnetzes ist oftmals nur über Revisionsklappen an den Falleleitungen möglich (siehe Abb. 52).

#### 6.2.2.1 NETZTYPEN

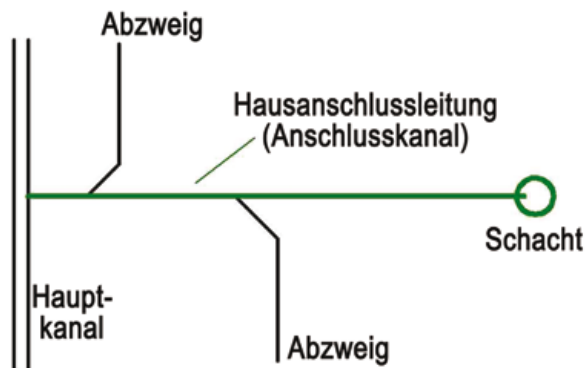
Welche Geräte- bzw. Verfahren zum Einsatz kommen können, richtet sich infolgedessen nach den Zugänglichkeiten und der Komplexität des betrachteten Entwässerungssystems. IKT-Untersuchungen haben gezeigt, dass diesbezüglich eine Definition von fünf unterschiedlichen Netztypen sinnvoll ist (vgl. Abb. 53):

Der reine **Anschlusskanal** (auch HAL - Hausanschlussleitung genannt) zwischen Revisionsschacht und Straßenkanal leitet das gesammelte Abwasser i.d.R. ohne (oder mit wenigen) Abzweige(n) zum öffentlichen Kanal und weist meist einen vergleichsweise geradlinigen Verlauf auf. Er ist hinsichtlich der Betriebsbedingungen grundsätzlich mit dem öffentlichen Kanal vergleichbar, lediglich die geringere Nennweite mit DN 150 bis DN 200 weicht von den üblichen Werten im öffentlichen Bereich ab. Zugänglich

ist er in der Regel über einen Schacht und vom öffentlichen Kanal aus.

- **Netztyp A** definiert eine Leitungsstrecke im Grundleitungsbereich, die beidseitig über Schächte zugänglich ist. Der Verlauf ist in der Regel ebenfalls recht geradlinig, die Nennweiten liegen in der Regel zwischen DN 150 und DN 100.
- **Netztyp B** definiert eine Leitungsstrecke im Grundleitungsbereich, die einseitig über einen Schacht und eventuell zusätzlich über Revisionsöffnungen in Falleleitungen oder Entwässerungsgegenstände zugänglich ist. Der Verlauf der Leitungsstrecke kann auch Bögen enthalten, die Nennweiten liegen zwischen DN 150 und DN 100.
- **Netztyp C** definiert keine einzelne Leitungsstrecke, sondern ein komplettes Teilnetz. Zu diesem Teilnetz ist kein direkter Zugang über einen Schacht möglich, da es von einer Leitung des Netztyps A oder B abzweigt. Somit ist es in der Regel nur über Revisionsöffnungen in Falleleitungen oder Entwässerungsgegenstände zugänglich. Bei diesem Netztyp können viele Bögen vorhanden sein, die Nennweiten liegen zwischen DN 100 und DN 70.
- **Netztyp D** definiert wie Typ C ein Teilnetz, das von einer Leitung des Netztyps A oder B abzweigt. An diesen Netztyp sind viele Entwässerungsgegenstände (z.B. Toiletten, Duschen etc.) angeschlossen, der Verlauf ist sehr komplex und es befinden sich viele Bögen in den Leitungen. Die Nennweiten liegen zwischen DN 100 und DN 70.

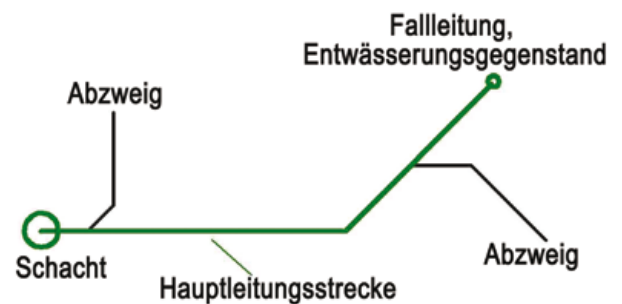
Anschlusskanal (HAL): Hausanschluss, ohne bzw. mit wenigen Abzweigen, Zugang über einen Schacht oder öffentlichen Kanal Nennweite DN 200 bis DN 150



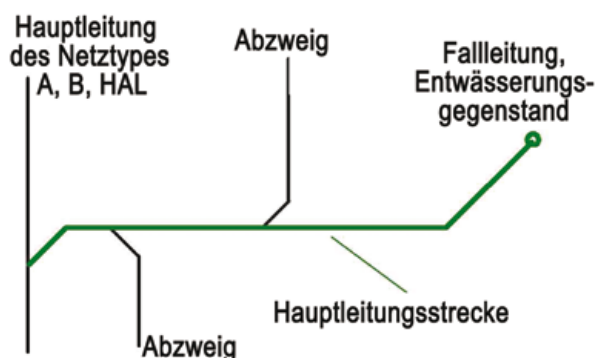
Netztyp A: Leitungsstrecke im Grundleitungsbereich, beidseitiger Zugang über Schächte, Nennweite, geradliniger Verlauf, Nennweite DN 150 bis DN 100



Netztyp B: Leitungsstrecke im Grundleitungsbereich, einseitiger Zugang über einen Schacht möglich, abgewinkelter Verlauf, Nennweite DN 150 bis DN 100



Netztyp C: Abzweig von Netztyp A oder B, kein direkter Zugang über einen Schacht, mehrfach abgewinkelte Leitung, Nennweiten DN 100 bis DN 70



Netztyp D: sehr komplex, zahlreiche Bögen und viele Entwässerungsgegenstände, Nennweiten DN 100 bis DN 70

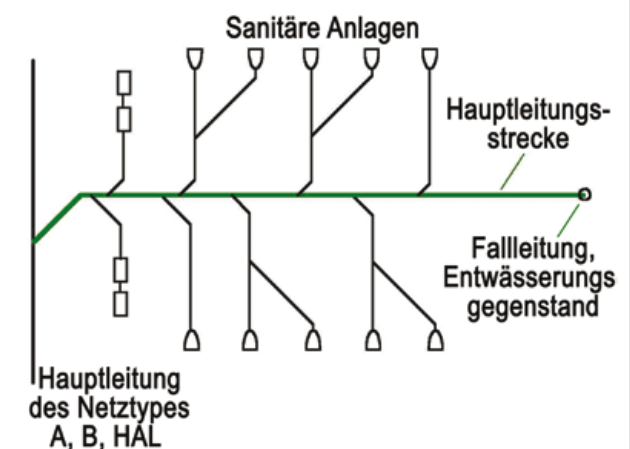


Abb. 53: Unterscheidung von Netztypen nach Zugänglichkeit und Komplexität der Entwässerungssysteme (Bosseler et al., 2003a)



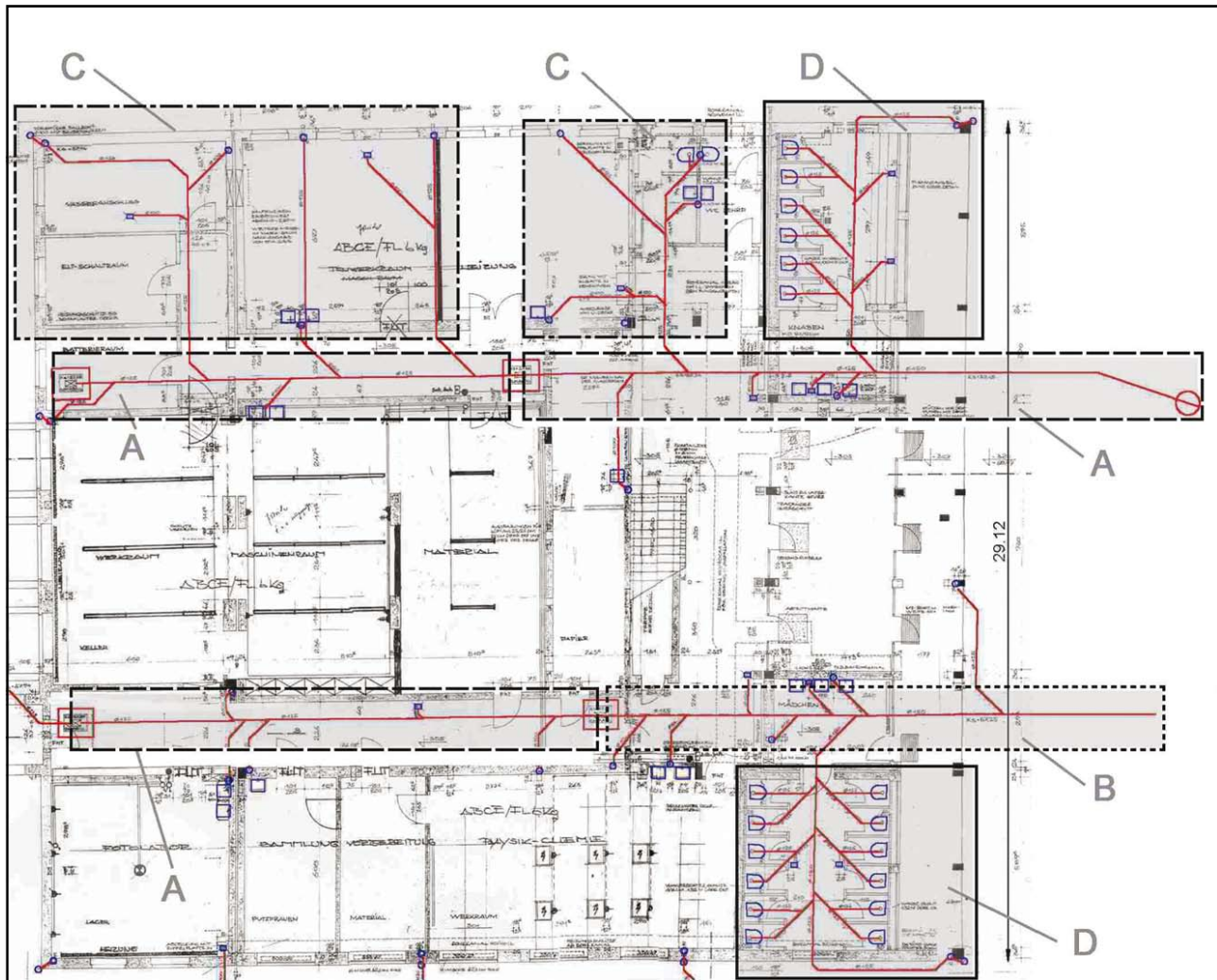


Abb. 54: Beispiel eines in Netztypen unterteilten Entwässerungnetzes eines Gebäudes (Bosseler et al., 2003a)

In Abb. 54 ist ein Entwässerungsnetz eines Gebäudes abgebildet, dass in die zuvor definierten Teilnetze unterteilt ist.

damit abweichend von DIN EN 12056 (2000) nicht an der Gebäudefront, sondern an der Grundstücksgrenze (siehe Abb. 55).

### 6.2.2.2 TECHNISCHE ANFORDERUNGEN

Seit Einführung der europäischen Normung wird auch in den technischen Anforderungen an eine Grundstücksentwässerung zwischen zwei Bereichen unterschieden. Für den Bereich innerhalb des Gebäudes gilt seit Juni 2000 die DIN EN 12056. Die Entwässerungssysteme außerhalb des Gebäudes fallen unter die Anforderungen der DIN EN 752 (1995). In der nationalen Normung des DIN gilt für den privaten Bereich die DIN 1986. In der DIN 1986 - 100 wird die o.a. europäische Normung für die „deutsche Situation“ konkretisiert. Die DIN 1986 - 30 gibt Vorschriften zur Instandhaltung von Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke. Diese Norm orientiert sich weiterhin an der Trennung zwischen privater und öffentlicher Kanalisation. Der Anwendungsbereich endet

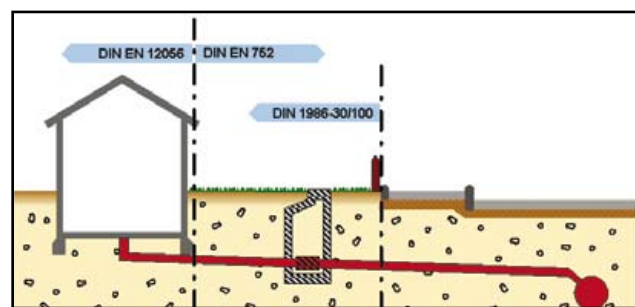


Abb. 55: Anwendungsbereiche der Normen für die Grundstücksentwässerung

In Tab. 14 sind die Bezeichnungen der wesentlichen technischen Normen für die Grundstücksentwässerung zusammengefasst.

Tab. 14: Normen der Grundstücksentwässerung

Technische Norm	Titel
<b>DIN EN 752 - 2</b>	Allgemeine Anforderungen an Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden
<b>DIN EN 12056</b>	Allgemeine und Ausführungsanforderungen für Planung und Bemessung von Schwerkraftanlagen innerhalb von Gebäuden
<b>DIN 1986 - 100</b>	Allgemeine Anforderungen für Entwässerungsanlagen von Gebäuden und Grundstücken
<b>DIN 1986 - 30</b>	Maßnahmen zur Instandhaltung von Entwässerungsanlagen nach DIN 1986 - 100

### 6.2.2.3 TV-INSPEKTION, ELEKTROMAGNETISCHE ORTUNG UND TRACER

Zur weitergehenden Lokalisierung von Fremdwasserquellen im Bereich der Grundstücksentwässerung, empfiehlt sich in einem ersten Schritt die Durchführung einer optischen Inspektion ggf. in Kombination mit einer elektromagnetischen Ortung, z.B. mittels TV-Kameras, in denen Ortungssonden integriert sind.

Um sowohl die Hauptleitungsstrecken der oben beschriebenen Netztypen HAL, A und B als auch deren Zuläufe zu inspizieren, empfiehlt sich idealerweise der Einsatz von Satellitenkamerasystemen in der privaten Hauptleitung. Dies setzt allerdings voraus, dass die Hauptleitung ohne Bögen geradlinig verläuft, der Leitungsdurchmesser mindestens DN 150 beträgt (für die kleinsten am Markt verbreiteten Modelle) und die Leitung keine starken Schäden wie z.B. Muffenversätze, Einbrüche, Scherbenbildung oder Querschnittsdeformationen aufweist. Darüber hinaus muss mindestens ein Schacht als offener Durchlass ausgeführt sein, da die auf dem Markt verfügbaren Modelle aufgrund ihrer Größe nicht über eine Reinigungsöffnung eingesetzt werden können. Mit dem Satellitenkopf können dann auch die seitlichen Abzweige sowie Hauptleitungsstrecken der Netztypen C und D inspiziert werden. Ist der Einsatz einer Satellitenkamera nicht möglich, sollten für die Hauptleitungsstrecken der Netztypen HAL, A und B Kameras auf Fahrwagen mit Dreh-Schwenkopf eingesetzt werden (siehe Abb. 56). Ist auch dies nicht möglich, empfiehlt sich der Einsatz einer Spülkamera. Mit diesen Kameras kann die Leitung auch gleichzeitig gereinigt werden, allerdings ist die Perspektive durch den starren Axialkopf stark eingeschränkt. Ein Abschwenken der Leitungsinnenwand, z.B. zur Muffenprüfung, ist nicht möglich.

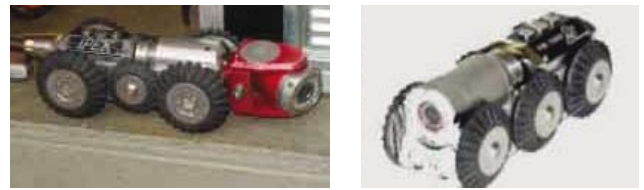


Abb. 56: Fahrwagen mit Schwenkkopfkamera (links) und Axialkopfkamera (rechts)

Die Orientierung im Abwassernetz kann zusätzlich durch die Zugabe von Farbtracern an den Entwässerungsstellen erleichtert werden. So lassen sich bei Kamerabeobachtung der Abzweige auch die im Rahmen einer Inspektion nicht vollständig erfassten Entwässerungsstellen zuordnen. Auf diese Weise ist neben der Lagefeststellung und Zustandserfassung zugleich die Zuordnung der Einleitungsstellen und Abzweige in einem Arbeitsgang möglich.



Abb. 57: Einsatz von Tracern zur Zuordnung von Einleitungsstellen in privaten Entwässerungsnetzen

Die Zustandserfassung der kompletten Netze der Typen C und D ist nur unter großem technischem und zeitlichem Aufwand durchführbar. Ggf. können die Leitungen dieser Netztypen aber stichpunktartig mittels Schiebekameras, z.T. auch mit Dreh-Schwenkopf, von Revisionsöffnungen in Falleitungen oder über die Ablaufstellen der Entwässerungsgegenstände nach Demontage dieser inspiziert werden. Ist allein die Schaffung von Zugänglichkeiten bereits mit sehr großem Aufwand verbunden, kann auch der Einsatz eines Endoskops durch Entwässerungsgegenstände sinnvoll sein. Gleiches gilt für seitliche Abzweige der Netztypen HAL, A und B.

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. 58), die Orion L (auch „Kieler Stäbchen“ genannt, Abb. 59) 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. 60 und Abb. 61), 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.

#### 6.2.2.4 DICHTHEITSPRÜFUNG

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.

Für Entwässerungsanlagen von Gebäuden und Grundstücken gelten diesbezüglich die Anforderungen der DIN 1986, Teil 30: 2003-02. Neben technischen Empfehlungen werden in dieser Norm auch Fristen und Intervalle für durchzuführende Inspektions- und Dichtheitsprüfungsmaßnahmen vorgegeben. Dabei wird unterschieden zwischen häuslichem Abwasser (siehe Tab. 15) und industriellem oder gewerblichem Abwasser (siehe Tab. 16).

In der DIN 1986, Teil 30: 2003-02 sind Prüfmethode zur Überprüfung der Dichtheit von Leitungen der Grundstücksentwässerung aufgeführt bzw. werden Verweise auf weitere Regelwerke gegeben. Folgende Methoden sind demnach, abhängig von der Art des Abwassers bzw. der Lage der Leitungen innerhalb oder außerhalb von Wasserschutzgebieten, für die Überprüfung der Dichtheit von privaten Entwässerungsleitungen möglich:



Abb. 58: „Lindauer Schere“ der Firma JT-elektronik GmbH



Abb. 59: „Kieler Stäbchen“ der Firma IBAK GmbH & Co. KG



Abb. 60: „Göttinger Kanalwurm“ der Firma ZK Kanalprüftechnik GmbH



Abb. 61: Satellitensystem für Leitungen ab DN 135 der Firma Cues Europa B.V.



Tab. 15: Anforderungen an Dichtheitsprüfungen von Grundleitungen, die häusliches Abwasser ableiten (nach DIN 1986)

Prüfung durch:	Anlass	Prüfzeitraum
<b>TV- Inspektion</b>	Umbauarbeiten, die weniger als 50 % der Entwässerungsanlage betreffen	im Zuge der Baumaßnahme
	Erstprüfung	bis Ende 2015
	Wiederkehrende Prüfung	alle 20 Jahre
	Wiederkehrende Prüfung in Wasserschutzgebieten der Schutzzone II	Jährlich
	Wiederkehrende Prüfung in Wasserschutzgebieten der Schutzzone III	alle 5 Jahre
<b>Druckprüfung</b>	Wesentliche bauliche Veränderungen und Erweiterungen	im Zuge der Baumaßnahme
	Umbauten, die mehr als 50 % der Entwässerungsanlage betreffen	im Zuge der Baumaßnahme
	Wiederkehrende Prüfung in Wasserschutzgebieten der Schutzzone II	alle 5 Jahre

Tab. 16: Anforderungen an Dichtheitsprüfungen von Grundleitungen, die industrielles oder gewerbliches Abwasser ableiten (nach DIN 1986)

Prüfung durch:	Anlass	Prüfzeitraum
<b>TV- Inspektion</b>	Wiederkehrende Prüfung in Wasserschutzgebieten der Schutzzone II	jährlich
	Wiederkehrende Prüfung in Wasserschutzgebieten der Schutzzone III	alle 5 Jahre
<b>Druck- prüfung</b>	Bauliche Veränderungen und Erweiterungen, auch wenn nur Teilstrecken betroffen sind	im Zuge der Baumaßnahme
	Erstprüfung von Leitungen vor Abwasserbehandlungsanlagen	umgehend
	Erstprüfung von Leitungen nach Abwasserbehandlungsanlagen	bis 2004
	Wiederkehrende Prüfung von Leitungen vor Abwasserbehandlungsanlagen	alle 5 Jahre
	Wiederkehrende Prüfung von Leitungen nach Abwasserbehandlungsanlagen	alle 15 Jahre
	Wiederkehrende Prüfung in Wasserschutzgebieten der Schutzzone II	alle 5 Jahre
	Wiederkehrende Prüfung in Wasserschutzgebieten der Schutzzone III für Leitungen vor Abwasserbehandlungsanlagen	alle 5 Jahre
	Wiederkehrende Prüfung in Wasserschutzgebieten der Schutzzone III für Leitungen vor Abwasserbehandlungsanlagen	Abstimmung mit Überwachungsbehörde

- Prüfung durch TV-Inspektion (nach DIN 1986, Teil 30)
- Wasser- und Luftprüfungen (Druckprüfungen)
  - Wasserfüllstandsprüfung (nach DIN 1986, Teil 30)
  - Wasserdruckprüfung (nach DIN EN 1610 (1997) und ATV-M143, Teil 6 (ATV-DVWK, 1998))
  - Luftdruckprüfung (nach DIN EN 1610 und ATV M143, Teil 6)

**PRÜFUNG DURCH TV-INSPEKTION (NACH DIN 1986, TEIL 30)**

Gemäß dem Kommentar zur DIN 1986, Teil 30 (Heinrichs et al., 2002) ist eine Leitung nach Auswertung der TV- Inspektion als dicht zu bewerten, wenn

- kein Grundwassereintritt vorliegt und
- keine statischen Mängel nach der Schadensbewertung vorliegen (Riss- und Scherbenbildungen, Einbrüche

und relevante Muffenversätze dürfen nicht vorhanden sein) und

- keine hydraulischen Mängel nach der Schadensbewertung vorliegen (Rohrleitungen müssen frei von Abflusshindernissen, Wurzeleinwüchsen und Verformungen sein).

**WASSER- UND LUFTPRÜFUNGEN (DRUCKPRÜFUNGEN)**

Sowohl bei der Dichtheitsprüfung mit Wasser als auch mit Luft werden verschiedene Verfahren zur Auswahl gestellt (Wasser 3x/Luft 2x). Unterschieden werden kann hier zwischen Prüfungen, bei denen ein bestimmter Druck aufzubauen und zu halten ist (Druckprüfungen), und der Wasserfüllstandsprüfung nach DIN 1986 Teil 30, bei der abhängig von den jeweiligen Randbedingungen der einzelnen Gebäude nur der maximal mögliche Betriebsdruck aufgebracht wird.

In Tab. 17 und Tab. 18 wird ein Überblick über die verschiedenen Prüfverfahren mit den jeweiligen Prüfkriterien gegeben.

Um die Leitungen bei der Dichtheitsprüfung mit Luft oder Wasser abzusperrern, werden Absperrerelemente wie Blasen und Scheiben oder Stopfen verwendet.

Blasen sind ballartige oder zylindrische Gummielemente, die mit Luft befüllt werden können. Durchgangsblasen

besitzen einen oder mehrere Durchlässe zum Prüfraum. Es wird eine unterschiedliche Zahl von Durchlässen für verschiedene Anwendungsfälle, z.B. für die Befüllung oder Entlüftung des Prüfraumes, benötigt.

Scheiben und Stopfen sind relativ flache kreisförmige Scheiben aus einem Metall- oder Kunststoffkörper mit gummiartigen Dichtungselementen. Die Gummidichtungen werden pneumatisch aufgepumpt oder durch Zusammenschrauben des Gehäuses nach außen ans Rohr

Tab. 17: Dichtheitsprüfung mit Wasser, Vergleich der Prüfkriterien nach DIN EN 1610, DIN 1986 und ATV M143, Teil 6

	DIN EN 1610	DIN 1986 Teil 30	ATV M143 Teil 6
<b>Vorgehen</b>	Der Prüfabschnitt wird bis zum Geländeneiveau gefüllt. Während der Prüfzeit ist der Wasserstand mit einer maximalen Abweichung von 0,01 bar durch Wasserzugabe aufrecht zu halten. Die Menge des nachgefüllten Wassers und der Prüfdruck sind zu messen und aufzuzeichnen.	Wie <b>DIN EN 1610</b> , der Prüfabschnitt wird jedoch bis 0,50 m über Rohrscheitel befüllt. Falls dies nicht möglich ist, kann die Leitung bis zur Oberkante des tiefsten Entwässerungsgegenstandes bzw. bis zur Unterkante der Reinigungsöffnung in der Falleitung befüllt werden.	Der Prüfabschnitt wird gereinigt, vor allem an Stellen, an denen Absperrerelemente platziert werden. Der Prüfabschnitt wird vom Tiefpunkt aus befüllt, die Wasserbefüllung und das Aufbringen des Prüfdruckes erfolgt über einen Freispiegelbehälter. Die Positionierung der Absperrerelemente wird bei abschnittsweiser Prüfung durch eine TV-Kamera überwacht.
<b>Prüfzeit</b>	<b>30 min</b> (+/- 1 min), <b>1 h Vorfüllzeit</b> (falls erforderlich)	<b>15 min</b> <b>keine Vorfüllzeit</b> gefordert	<b>15 min</b> <b>keine Vorfüllzeit</b> gefordert
<b>Prüfdruck</b>	Ergibt sich aus der <b>Füllung</b> des Prüfabschnittes bis zum Geländeneiveau <b>Minimum 0,1 bar</b> <b>Maximum 0,5 bar</b>	Wenn möglich <b>0,05 bar über Rohrscheitel, ansonsten</b> einfacher, tatsächlich <b>möglicher Betriebsdruck</b> (siehe alte Fassung)	<b>Minimum 0,05 bar</b> <b>Maximum 0,5 bar</b> (Bei anstehendem GW Erhöhung des Prüfdruckes um 0,1 bar pro Meter GW über dem Rohrscheitel, maximale Erhöhung um 0,2 bar)
<b>Zul. Wasserzugabe</b>	<b>0,15 l/m<sup>2</sup></b> für Rohrleitungen <b>0,20 l/m<sup>2</sup></b> für Rohrleitungen einschl. Schächte <b>0,40 l/m<sup>2</sup></b> für Schächte und Inspektionsöffnungen	<b>0,20 l/m<sup>2</sup></b>	<b>0,2 l/m<sup>2</sup></b>

Tab. 18: Dichtheitsprüfung mit Luft, Vergleich der Prüfkriterien nach DIN EN 1610 und ATV M143, Teil 6

	DIN EN 1610				ATV M143 Teil 6		
<b>Ausführung</b>	Leitungen sind mit geeigneten luftdichten Verschlüssen abzudichten. Ein Anfangsdruck (Prüfdruck + 10 %) ist auf die Leitung zu bringen und die Beruhigungszeit abzuwarten. Während der Prüfzeit darf der Druck um einen bestimmten Wert, abh. vom gewählten Verfahren abnehmen.				Wie <b>DIN EN 1610</b> .		
	<i>Verfahren</i>				<i>Durchmesser der Leitung</i>		
	LA	LB	LC	LD	DN 100	DN 200	DN 300
<b>Beruhigungszeit</b>	5 min	5 min	5 min	5 min	1 min	2 min	3 min
<b>Prüfzeit</b>	5 min	4 min	3 min	1,5 min	1 min	2 min	3 min
<b>Prüfdruck</b>	10 mbar	50 mbar	100 mbar	200 mbar	100 mbar (bzw. -100 mbar)		
<b>Zul. Druckabfall</b>	2,5 mbar	10 mbar	15 mbar	15 mbar	15 mbar (Überdruck) 12 mbar (Unterdruck)		



Abb. 62: Zylindrische Absper- und Durchgangsbblasen

gedrückt. Gegenüber den Blasen besitzen sie eine geringe Abdichtungsfläche. Sie sind ebenso wie Blasen als reine Absperrelemente oder mit Durchgang erhältlich. Bei Dichtheitsprüfungen an Hausanschluss- oder Grundleitungen werden sie kaum eingesetzt.



Abb. 63: Mechanischer Absperrestopfen (links), pneumatische Absperzscheiben (rechts) (Härke, 2002)

Zur Prüfung eines kompletten Entwässerungszweiges oder der Netztypen C und D sollte die Wasserfüllstandsprüfung nach DIN 1986 eingesetzt werden. Druckprüfungen können i.d.R. in diesen Bereichen nicht oder nur mit hohem Aufwand durchgeführt werden. Die Kriterien der Wasserfüllstandsprüfung zeigen wiederum Unzulänglichkeiten, da nach den bestehenden Regelungen für die Kalkulation des Wasserzugabewertes Leitungsverlauf, -länge und -nennweite bekannt sein müssen. Die exakte Aufnahme des Leitungsverlaufes und der Leitungslänge ist jedoch in seitlichen Abzweigen und den Teilnetzen C und D, wie vorher dargestellt, nur unter sehr hohem Aufwand oder gar nicht möglich.

Eine Druckprüfung mit Luft oder Wasser nach den Kriterien der DIN EN 1610 oder ATV M-143 ist im häuslichen

Abwasserbereich mit vertretbarem Aufwand nur an den Hauptleitungsstrecken der Netztypen HAL, A und B sinnvoll. Hier kann im ersten Schritt eine Luftdruckprüfung gewählt werden, die meist schneller durchzuführen ist als eine Wasserdruckprüfung. Bei Zweifeln an dem Prüfergebnis sollte zur Kontrolle eine Wasserdruckprüfung durchgeführt werden.



Abb. 64: Wasserfüllstandsprüfung nach DIN 1986, Teil 30; Abspernung der seitlichen Leitung unter Kamerabeobachtung (links), Messung des Wasserstandes im Bodenablauf (rechts)

#### 6.2.2.5 FEHLANSCHLÜSSE (TRENNSYSTEM)

In Schmutzwassernetzen im Trennsystem kann mittels **Benebelung** in bewährter Weise festgestellt werden, ob Fehlan schlüsse 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). Der Erfolg der Untersuchung richtet sich dabei jedoch sehr stark nach der Durchlässigkeit der überdeckenden Bodenschichten, so dass ein Aufspüren von Drainagen mit dieser Methode eher zufällig ist.

#### 6.2.2.6 REINIGUNG

Vor der Inspektion und Dichtheitsprüfung ist i.d.R. eine Reinigung der häufig stark verschmutzten Leitungen erforderlich. Die Reinigung der Hauptleitungsstrecken der Netztypen HAL, A und B sollte mittels Wasserhochdruck vorgenommen werden. Liegen starke Verschmutzungen vor, die durch eine Hochdruckreinigung nicht zu beseitigen sind, kann eine Spiralmaschine eingesetzt werden. Bei seitlichen Abzweigen und den Netztypen C und D sollte eine Hochdruckreinigung nur vorgenommen werden, wenn ein Zugang über Abläufe von WCs gegeben ist und schwere Schäden (z.B. an der Inneneinrichtung) durch



Abb. 65: Reinigung der Abwasserleitungen über den Revisionschacht innerhalb eines Hauses

einen Wasserrückstau ausgeschlossen sind. Als Alternative kann eine Spiralmaschine mit zusätzlicher Wasserspülung eingesetzt werden.

Die zur Vorbereitung der Inspektion notwendigen Reinigungen sind i.d.R. intensiver als sie für die Aufrechterhaltung der reinen Funktionsfähigkeit der Leitungen erforderlich wären. Speziell der Einsatz einer Spiralmaschine sollte kritisch gesehen werden. Durch die Schlagwirkung der Spirale bzw. der Ketten ist es denkbar, dass Schäden und somit Undichtigkeiten an zuvor intakten Leitungen durch die Reinigung verursacht oder bestehende Schäden vergrößert werden. Manche Teilbereiche sind unter Umständen gar nicht zu reinigen. Grundsätzlich ist mit stärkeren Fettablagerungen als im öffentlichen Kanal zu rechnen. Selbst bei der Anwendung von Hochdruckdüsen sind dann mehrere Reinigungsdurchgänge notwendig.

### 6.2.3 PLANUNG, VORBEREITUNG UND DURCHFÜHRUNG VON SANIERUNGSMASSNAHMEN

#### 6.2.3.1 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. Im Vordergrund steht auch die Verminderung volkswirtschaftlicher Kosten, die nicht nur durch die Konzentration der Maßnahmen erreicht wird, sondern auch durch die nachhaltige Verminderung der Fremdwasserbelastung, die an allen Kostenstellen (Betrieb des Kanalnetzes, der Pumpwerke und Kläranlagen) wirksam wird.

Insbesondere die Erfassung von Netzen der Grundstücksentwässerung setzt immer auch eine sorgfältige Vorbereitung und eine enge Abstimmung des Vorgehens mit den betroffenen Bürgern voraus. Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser und öffentliche Gebäude unterscheiden sich hinsichtlich Vorbereitung und Gesamtaufwand grundsätzlich (Bosseler et al., 2003). So kann z.B. an kleineren Leitungsnetzen in Einfamilienhäusern die Wasserdichtheitsprüfung des Gesamtnetzes zielführender und kostengünstiger sein als eine umfangreiche TV-Inspektion. Bei Mehrfamilienhäusern müssen Absprachen mit den betroffenen Parteien vorgenommen werden. Bei öffentlichen Gebäuden finden sich im Bereich der öffentlichen Toiletten oftmals zahlreiche verzweigte Leitungsabschnitte des Typs D (Abb. 54).

Auch das Alter der Leitungsnetze ist von erheblichem Einfluss für die zu erwartende Dichtheit und kann damit das Vorgehen bei der Inspektion und Dichtheitsprüfung

maßgeblich bestimmen. Bei relativ neuen Leitungsnetzen kann sogar der erhöhte Aufwand für eine abschnittsweise Dichtheitsprüfung vertretbar sein, wenn einzelne dichte Leitungsabschnitte den Sanierungsaufwand bedeutsam reduzieren würden. Im Gegensatz dazu ist bei Gebäuden mit Baujahren vor 1965, insbesondere wenn zwischenzeitlich keine Erneuerungs- oder Sanierungsmaßnahmen zu verzeichnen waren, der Sinn einer Dichtheitsprüfung kritisch zu hinterfragen. Aufgrund der damals verbauten Verbindungssysteme (Teerstrickdichtung) ist grundsätzlich von Undichtigkeiten auszugehen, so dass eine Sanierung auch unmittelbar vorbereitet werden kann. Dies gilt vor allem dann, wenn bereits bei der TV-Inspektion im Hauptkanal bedeutsame Fremdwasserzuflüsse aus dem betrachteten privaten Netz nachgewiesen werden konnten.

Eine Einbeziehung des Grundstücksbesitzers ist bei Untersuchungen der privaten Leitungen stets notwendig und anzustreben. Zahlreiche Kommunen können bereits auf Erfahrungen mit Kooperationsmodellen zurückbli-

cken. Positive Ergebnisse werden dabei vor allem dann erzielt, wenn sich der kommunale Netzbetreiber als bürgernaher Dienstleister versteht (vgl. Fiedler, 2003; Bosseler und Schlüter, 2004). In Abb. 66 ist beispielhaft der Ablauf für ein solches Vorgehen für den Fall der Einbeziehung der öffentlichen Hausanschlussleitung und der privaten Grundleitungen in ein Gesamtsanierungskonzept dargestellt.

Insgesamt profitieren im Rahmen eines solchen Kooperationsmodells sowohl die einzelnen von einer Sanierung betroffenen Bürger als auch die Kommune, die insbesondere an einer deutlichen Verminderung des Gesamtfremdwasseraufkommens interessiert ist.

So liegen die Vorteile für den **Bürger** u.a. darin, dass

- die große Stückzahl und öffentliche Ausschreibung der Untersuchungs- und Sanierungsmaßnahmen eine deutliche Kostenreduzierung mit sich bringt,

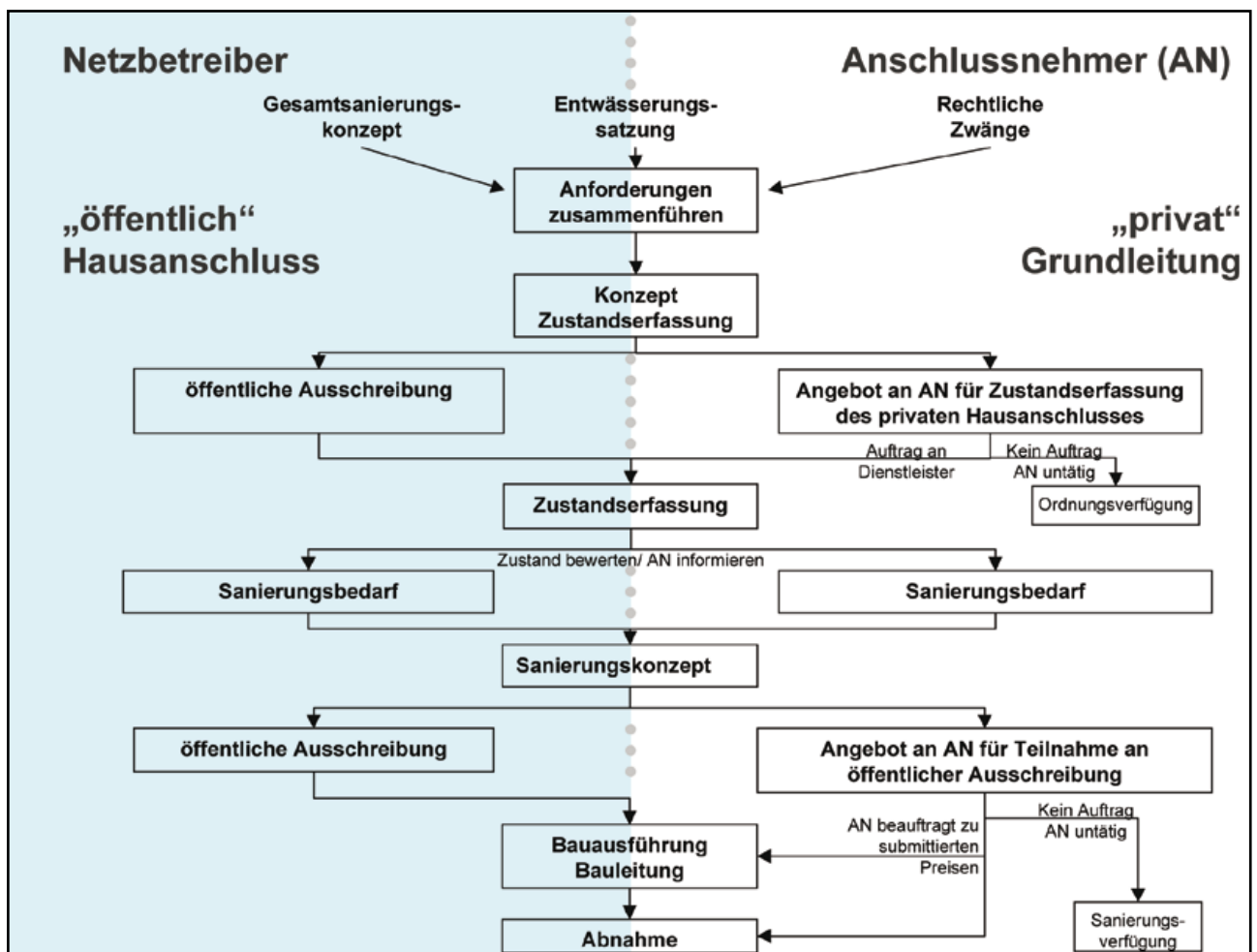


Abb. 66: Ablauforganisation für die Bündelung von Hausanschluss-sanierungen, Beispiel (Bosseler und Schlüter, 2004)



- durch die Fachleute des Tiefbauamtes bzw. der Stadtentwässerung ein professionelles Maßnahmenmanagement sicher gestellt wird und
- die Qualitätsprüfung und Abnahmeuntersuchungen durch fach- und sachkundige Ingenieure durchgeführt werden.

Für die **Kommune** liegen die entscheidenden Vorteile vor allem in der Bündelung zahlreicher Einzelmaßnahmen, so dass

- insgesamt weniger Aufgrabungen notwendig sind – die Straße wird kein „Flickenteppich“,
- ein einheitlich hoher Qualitätsstandard im „Gesamtbauwerk Kanalnetz“ eingehalten wird, da öffentliche und private Sanierung aufeinander abgestimmt werden und
- die Gewährleistung auf eine oder zumindest wenige Firmen beschränkt ist.

#### **6.2.3.2 SANIERUNG PRIVATER ENTWÄSSERUNGSSYSTEME**

Aufgrund der vielfältigen baulichen Randbedingungen und Schadensbilder wie undichte Muffen, Wurzeleinwuchs, Lageabweichungen, Inkrustationen, Risse und Scherbenbildung wurden sehr unterschiedliche Sanierungs- und Reparaturverfahren entwickelt. Im Wesentlichen stehen neben der klassischen Sanierung in offener Bauweise für die Sanierung von Hausanschlussleitungen folgende Verfahrensgruppen zur Auswahl:

- Injektionsverfahren
- Roboterverfahren
- Kurzlinerverfahren
- Rohrstrangverfahren
- Schlauchliningverfahren
- Berstverfahren
- Flutungsverfahren
- Abhängen der Leitungen

#### **INJEKTIONSVERFAHREN**

Dieses Verfahren kombiniert die Dichtheitsprüfung einer Einzelmuffe (mindestens DN 150) oder eines Rohres (DN 100) mit der im Schadensfall anstehenden Sanierung. Dazu wird ein Injektionspacker, welcher aus zwei pneumatischen Absperrelementen mit dazwischen liegender Injektionskammer besteht, unter Beobachtung durch

eine TV-Kamera so an der Schadstelle positioniert, dass der abgesperrte Raum die Rohrverbindung bzw. die Schadensstelle umfasst. Wird durch eine Dichtheitsprüfung ein Schaden bestätigt, wird das Injektionsgut über einen Druckschlauch in die Hohlräume der Schadstelle verpresst und härtet darin aus. Die Sanierungsqualität kann wiederum mit Hilfe einer Dichtheitsprüfung überprüft werden.

#### **ROBOTERVERFAHREN**

Ab einem Durchmesser von DN 100 sind diese Verfahren grundsätzlich einsetzbar. Ihr Leistungsspektrum ist jedoch gegenüber dem Einsatz im Hauptkanal begrenzt. Die Hauptaufgabe stellt das Abfräsen von Ablagerungen und Hindernissen dar, als Voraussetzung für den Einsatz weiterführender Sanierungsverfahren. Auch dienen sie den Nacharbeiten beim Schlauchlining, z.B. zum nachträglichen Öffnen von Abzweigen. Der Einsatzbereich bei der Sanierung von Hausanschlussstutzen ist ungleich größer, da hier unterschiedliche Leistungen eines Roboters wie Injektionsabdichtungen und Ausfräsungen mit dem gleichem Gerät angeboten werden können.

#### **KURZLINERVERFAHREN**

Der Grundgedanke dieses Verfahren beruht darauf, einen mit Kunstharz getränkten Gewebe- oder Laminatträger durch pneumatischen Druck formschlüssig an der Schadstelle zu installieren und dort aushärten zu lassen. Der pneumatische Druck wird durch einen Packer, um den die härtbare Formmasse gewickelt ist, aufgebaut. Die Aushärtung im Kanal erfolgt entweder kaltchemisch oder mit thermischer Unterstützung. Aus technischer Sicht ist die Anwendung ab DN 100 möglich.

#### **ROHRSTRANGVERFAHREN**

Beim Rohrstranglining wird ein PE-HD-Rohrstrang oberirdisch hergestellt oder in der erforderlichen Länge geliefert und in den Kanal eingezogen. Die Rohre weisen i.d.R. eine glatte Innenoberfläche und z.T. eine gerippte Außenwand auf. Die statischen Anforderungen werden durch die Querrippen unterstützt und die Bogengängigkeit durch die hohe Längs-Flexibilität des Rohres gewährleistet. Der Ringraum wird nach dem Einziehen in die Leitung verdämmt. Dieses Verfahren wird erst ab einem Durchmesser von DN 125 eingesetzt, da eine deutliche Reduzierung des Querschnitts entsteht.



### SCHLAUCHLININGVERFAHREN

Beim Schlauchlining (DIN EN 13566-4, 2003) wird ein passend konfektionierter Schlauch (Gewebeträger) mit Kunstharz getränkt und über einen geöffneten Schacht in den Kanal eingezogen.

Die Aushärtung erfolgt kalt, mit warmem Wasser, mit Heißdampf oder mittels UV-Licht. Das Ergebnis dieser Technik soll ein weitgehend formschlüssiger Liner sein, der je nach Material besondere chemische und physikalische Eigenschaften aufweist. Je nach Beschaffenheit lassen sich auch Bögen bis zu 90° im Hausanschlussbereich sanieren. Die Mindestnennweite liegt je nach System bei DN 80 bis DN 150.

### BERSTVERFAHREN

Die Berstmaschine zertrümmert die defekte spröde Altleitung (z.B. Grauguss, Beton, Steinzeug) und verdrängt die Scherben radial in das umliegende Erdreich. Dabei kann das Profil auch für das neue Rohr aufgeweitet werden. Eine gute Verdrängbarkeit des Bodens um das Altröhr erlaubt es bei Bedarf, das neue Rohr um eine oder evtl. zwei Nennweiten größer zu dimensionieren. Das größere Neurohr aus PE oder PVC kann ein Kurzrohr oder Langrohr sein und wird von der Maschine in einem oder zwei Arbeitsgängen mit eingezogen.

### FLUTUNGSVERFAHREN

Beim Flutungsverfahren werden nacheinander zwei Reagenzien auf Wasserglasbasis in den zu sanierenden Kanal eingefüllt. Diese fluten die gesamte Kanaltrasse, treten nacheinander durch Leckagen ins Erdreich und härten beim Aufeinandertreffen im Erdreich zu einem Silikatgel aus. Die nötige Materialmenge und der damit verbundene Kostenaufwand lässt sich bisher jedoch i.d.R. nur selten zuverlässig abschätzen.

### ABHÄNGEN DER LEITUNGEN

Im Bereich der Grundleitungen ist die Neuverlegung der Leitungen i.d.R. die dauerhafteste und kostengünstigste Lösung. Im Idealfall werden alle Leitungen, die in oder unterhalb der Bodenplatte liegen, aufgegeben und im Keller an den Wänden bzw. unter der Decke neu verlegt (vgl. Abb. 67).



Abb. 67: Beispiel für ein unter der Kellerdecke abgehängtes Entwässerungssystem

### VERFAHRENSAUSWAHL

Die Eignung der verschiedenen grabenlosen Verfahren hängt außer von den baulichen Randbedingungen wesentlich von den Schäden im Leitungsnetz ab. In Tabelle 6 sind Verfahrensempfehlungen des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung in Abhängigkeit der Schadenssituation dargestellt (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, 2001).

Tabelle 19 gilt nur für den Einzelschaden. Häufungen und Kombinationen bleiben hierbei unberücksichtigt.

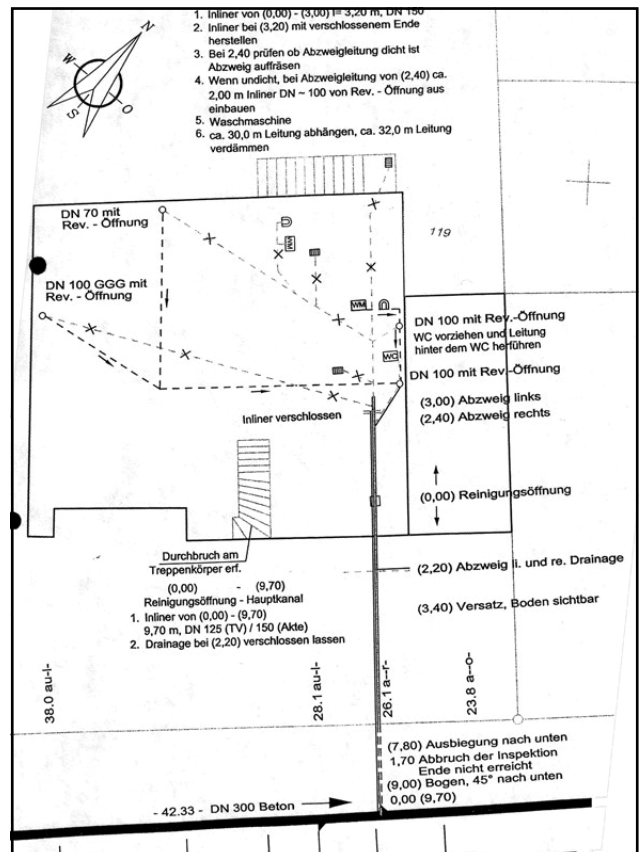


Abb. 68: Beispiel für eine Sanierungsplanung: Grundstück mit komplexem Leitungsverlauf im Bereich der Grundleitungen

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. Abb. 68 zeigt beispielhaft eine solche Sanierungsplanung. Dabei wurden die erforderlichen Maßnahmen vom beauftragten Ingenieurbüro direkt in die bei der Ortsbegehung aktualisierten Entwässerungspläne eingearbeitet.

Zu den erfahrungsgemäß am häufigsten im Bereich der privaten Grundstücksentwässerung eingesetzten Sanierungsverfahren gehört u.a. die Schlauchliniersanierung. Häufig kann ein Großteil der privaten Leitungen – insbesondere im Bereich der Anschlussleitung - mit diesen Verfahren saniert werden. Auf Grund der besonderen Bedeutung dieses Sanierungsverfahrens wird der grundsätzliche Arbeitsablauf im Folgenden näher beschrieben (vgl. Bosseler et al., 2003b).

#### ANWENDUNG DES SCHLAUCHLINIERVERFAHRENS

Abb. 69 zeigt exemplarisch, welche Arbeitsschritte zur Vorbereitung einer Sanierung mittels Schlauchliner erforderlich sind.

Tab. 19: Eignung grabenloser Sanierungsverfahren für Defekte in Hausanschluss- und Grundleitungen

Lösung Problem	Injektionsverfahren (Gel)	Injektionsverfahren (Mörtel)	Roboterverfahren	Partielle Auskleidung	Spiralrohrrelining	Schlauchlining	Flutungsverfahren
<b>Wurzel- einwuchs</b>	ungeeignet	geeignet	begrenzt geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	ungeeignet
<b>Exfiltration</b>	geeignet	geeignet	im Stutzenbereich geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet
<b>Infiltration</b>	geeignet	geeignet	im Stutzenbereich geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet
<b>Statik reduziert</b>	ungeeignet	je nach Defekt begr. geeignet	ungeeignet <sup>2</sup>	geeignet	geeignet	begrenzt geeignet	ungeeignet
<b>Undichte Muffe</b>	begrenzt geeignet <sup>3</sup>	ungeeignet	ungeeignet <sup>2</sup>	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet
<b>Muffenversatz</b>	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet <sup>2</sup>	begrenzt geeignet <sup>1</sup>	begrenzt geeignet <sup>1</sup>	begrenzt geeignet <sup>1</sup>	begrenzt geeignet <sup>1</sup>
<b>Lage- abweichung</b>	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet <sup>2</sup>	begrenzt geeignet <sup>1</sup>	begrenzt geeignet <sup>1</sup>	begrenzt geeignet <sup>1</sup>	begrenzt geeignet <sup>1</sup>
<b>Korrosion</b>	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet <sup>2</sup>	geeignet	geeignet	geeignet	ungeeignet
<b>Rundumriss</b>	teilw. geeignet	einzelne Verf. geeignet	ungeeignet <sup>2</sup>	geeignet	geeignet	geeignet	begrenzt geeignet
<b>Längsriss</b>	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	geeignet	geeignet	begrenzt geeignet
<b>Scherben</b>	ungeeignet	einzelne Verf. geeignet	ungeeignet <sup>2</sup>	geeignet	geeignet	geeignet	ungeeignet
<b>Deformation</b>	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	begrenzt geeignet <sup>1</sup>	begrenzt geeignet <sup>1</sup>	begrenzt geeignet <sup>1</sup>	begrenzt geeignet <sup>1</sup>
<b>Einsturz</b>	ungeeignet: Erneuerung!	ungeeignet: Erneuerung!	ungeeignet: Erneuerung!	ungeeignet: Erneuerung!	ungeeignet: Erneuerung!	ungeeignet: Erneuerung!	ungeeignet: Erneuerung!
<b>Stutzen undicht</b>	begrenzt geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	ungeeignet	Einzelne Verf. geeignet	geeignet
<b>Stutzen hinterläufig</b>	ungeeignet	geeignet	geeignet	begrenzt geeignet	ungeeignet	Einzelne Verf. begr. geeignet	begrenzt geeignet

<sup>1</sup> der eigentliche Schaden wird nicht behoben, Sanierung zielt allein auf Dichtheit  
<sup>2</sup> weil derzeit keine bogengängigen Systeme für Hausanschlussnennweiten verfügbar  
<sup>3</sup> nur ein bogengängiges Packersystem auf dem Markt verfügbar, Gelinjektion wird im Hausanschluss deshalb nur selten eingesetzt



Abb. 69: Vorbereitung eines Schlauchliners; Mischung des Harzes (links), Herstellung des Vakuums in einem Gewebeschauch (Mitte), Verteilung des Harzes und Tränkung des Gewebeschauches mittels Kalibrierwalze (rechts)

derlich sein können. Im Beispiel wird zunächst Epoxidharz vor Ort angerührt und anschließend in die vorbereiteten Gewebesläuche gefüllt, aus denen zuvor mit einer Unterdruckpumpe die Luft abgesaugt wurde. Mit einer so genannten Kalibrierwalze kann das Harz anschließend in den Gewebesläuchen verteilt und der Gewebeslauch somit mit dem Harz getränkt werden.

Die mit Harz getränkten Schlauchliner können wahlweise über Revisionschächte, Revisionsöffnungen in Fallleitungen und Abläufe von Entwässerungsgegenständen in die Leitungen eingezogen werden. In den Abb. 70 und Abb. 71 ist die Schlauchlinersanierung einer Leitung über den Revisionschacht im Inneren eines Hauses dargestellt. Die Schlauchliner wurden mit einer so genannten Inversionskanne invertiert und mit Druckluft in die Leitungen eingedrückt. Anschließend wurde nach dem gleichen Verfahren ein Stützschlauch in die Leitung eingebracht und dessen Anfang und Ende verschlossen. Mit einer Luftdruckbefüllung von ca. 0,5 bar über einen Zeitraum von mehreren Stunden wurde sichergestellt, dass der Stützschlauch den Schlauchliner gegen die gesamte Rohrrinnen-

wandung drückt. Bei anstehendem kaltem Grundwasser kann es ggf. erforderlich sein, heißes Wasser als Füllmedium zu verwenden.

Bei der Schlauchlinersanierung von Leitungen über Revisionsöffnungen in Fallleitungen bzw. über die Abläufe von Entwässerungsgegenständen ist die Vorgehensweise ähnlich wie bei der Sanierung über den Revisionschacht. Aufgrund der i.d.R. geringeren Leitungsquerschnitte und kleineren Zugangsöffnungen gestaltet sich die Sanierung hier allerdings häufig schwieriger. In Abb. 72 ist die Schlauchlinersanierung über eine Revisionsöffnung in einer Fallleitung und die Sanierung über den Ablauf eines demontierten Fallrohres abgebildet.

Zum Auffräsen der seitlichen Zuläufe in den schlauchlinersanierten Leitungen werden zumeist Roboter eingesetzt (vgl. Abb. 73). Wird ein Schlauchliner in die Hausanschlussleitung bis zum öffentlichen Hauptkanal eingezogen, so muss auch das in den Hauptkanal einragende Ende des Schlauchliners mit einem Fräseboter entfernt werden.



Abb. 70: Schlauchlinersanierung über einen Revisionschacht innerhalb eines Hauses: Inversion des Inliners (links), Freischneiden des Liners (rechts)





Abb. 71: Schlauchlinersanierung über einen Revisionschacht innerhalb eines Hauses: Einbringen des Stützschlauches (links), Stützschlauch an Inversionskanne angeschlossen (rechts)



Abb. 72: Inlinersanierung über Revisionsöffnungen in Falleitung (links); Inlinersanierung über Ablauf eines demontierten Fallrohrs (rechts)



Abb. 73: Auffräsen eines seitlichen Zulaufes (links); Einsetzen des Fräsroboters über die Schachtöffnung (rechts)

### 6.2.3.3 DOKUMENTATION UND ABNAHME DER SANIERUNGSMASSNAHMEN

Jeweils nach Abschluss der Sanierungsarbeiten auf den einzelnen Grundstücken sollten alle sanierten Leitungsschnitte 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. In den Abb. 74 bis Abb. 77 sind beispielhaft die Ergebnisse einer TV-Inspektion dargestellt, die nach Abschluss einer Schlauchlinersanierung durchgeführt wurde.

Faltenbildungen, z.B. in starken Bögen, können toleriert werden, solange sie kein wesentliches Abflusshindernis darstellen und keine besonderen statischen Anforderungen gestellt werden. Dies betrifft insbesondere solche Sanierungsfälle mit schwierigen Randbedingungen, wie z.B. schlechte Zugangsmöglichkeiten, mehrere aufeinander

der folgende Bögen und nicht zu beseitigende Ablagerungen im Altrohr.

Neben der optischen Inspektion sollte für die sanierten Leitungen auch eine erneute Dichtheitsprüfung durchgeführt werden. Nur so lässt sich die Wirksamkeit der Sanierungsmaßnahmen zuverlässig überprüfen, nämlich die Abdichtung der Leitungen gegenüber einer zuvor beobachteten Fremdwasserinfiltration.

### 6.2.3.4 SANIERUNGSMÖGLICHKEITEN BEI EINLEITUNGEN VON DRAINAGEWASSER

Die Art und Menge des in einer Drainageeinrichtung aufgefangenen und abgeleiteten Wassers, richtet sich insbesondere nach den lokalen Randbedingungen im Einzugsbereich der Drainage. Ein entscheidender Einfluss geht dabei von der Beschaffenheit der Geländeoberfläche aus. Diesbezüglich unterscheiden sich



Abb. 74: Mit Schlauchliner sanierter Hauptleitungsstrang



Abb. 75: Eingeschlossene Ablagerung



Abb. 76: Faltenbildung im Bogenbereich

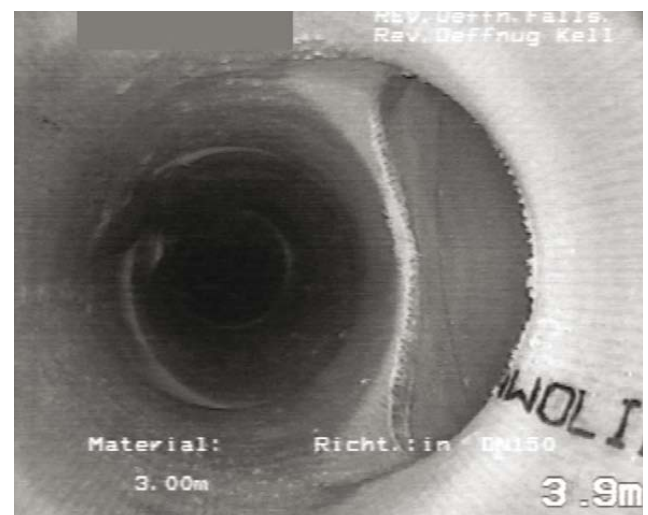


Abb. 77: Aufgefräster seitlicher Zulauf



die im Wesentlichen für die Absenkung des Grundwasserspiegels im Flachland angeordneten Drainageeinrichtungen deutlich von Drainagen in Hanglage. Letztere dienen in erster Linie der Ableitung von Oberflächenwasser bzw. der Aufnahme des vor allem in Hanglagen auftretenden Schichtenwassers (vgl. Stein et al., 1995).

#### DRAINAGEN IM FLACHLAND

Im einfachsten Fall (Drainagen im Flachland) besteht eine Drainageeinrichtung nach DIN 4095 (1990) aus einem umlaufenden Graben, der mit einem nichtbindigen Bodenmaterial verfüllt ist und Kontakt zu einer Flächen-drainage unterhalb des Gebäudes hat. Das sich in diesem Graben ansammelnde Wasser (vgl. Abb. 78) wird über Drainrohre abgeleitet.

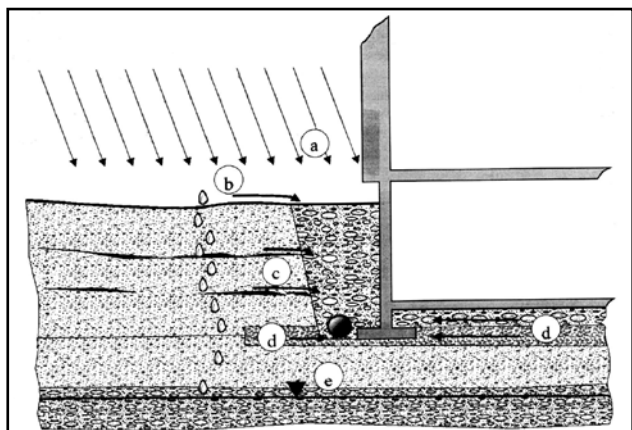


Abb. 78: Zuflüsse zu einer Hausdrainage im Flachland: (a) direkte Präzipitation auf die Drainage, (b) Oberflächenzufluss, (c) hypodermischer Zufluss, (d) Zuflüsse über gut wasserwegsame Horizonte, (e) Grundwasserzufluss bei steigendem Grundwasserspiegel (Stein et al., 1995)

In Gebieten mit sehr geringem Grundwasserflurabstand wie z.B. Niederungen findet ein dauernder Zufluss zur Drainage statt, wenn die Drainage permanent unterhalb des Grundwasserspiegels liegt. Der Fremdwasseranfall wird dann kaum von hydrologischen Zyklen beeinflusst. Liegt die Drainage im Grundwasserschwankungsbereich, hängt der Fremdwasseranfall entsprechend vom hydrologischen Zyklus ab. Je höher der Grundwasserstand entsprechend der Grundwasserneubildungsrate ist, umso mehr Fremdwasser fällt an.

Insbesondere bei älteren Gebäuden ist die Drainagewasserleitung mit anderen Anlagen der Grundstücksentwässerung im Bereich der Grundleitungen zusammengefasst. Die Abtrennung des Drainagewasserstroms von den anderen Teilen der Hausentwässerung ist somit in der Regel

mit einer grundsätzlichen baulichen Änderung der Grundstücksentwässerung verbunden. (siehe Abb. 81)

Ist die Abtrennung technisch nicht durchführbar, kann alternativ auch mittels einer neu verlegten Drainage Wasser vom Gebäude ferngehalten werden. Die vorhandene Drainage wäre somit trockengelegt und das Drainagewasser könnte von der neu errichteten Drainage abgeleitet werden. Bei allen Sanierungsvarianten muss das anfallende Drainagewasser weiterhin abgeleitet werden. Entsprechende Möglichkeiten werden in 6.3 dargestellt.

#### DRAINAGEN IN HANGLAGE

Drainageeinrichtungen in Hanglage nehmen außer dem vom Hang abfließenden Niederschlagswasser (Oberflächenzufluss) auch Schichtenwasser auf, welches oberflächennah (hypodermisch) sowie in einer ggf. mehrere Meter mächtigen Verwitterungsschicht (Hangschutt) abfließt (vgl. Abb. 79). Drainagen in Hanglage haben aufgrund der Neigung des oberhalb liegenden Geländes große Einzugsgebiete und eine verringerte Versickerungsrate. Bei Trockenwetter ist dieser Porengrundwasserstrom in der Auflockerungszone auf Grund einer geringen Wasserführung zunächst wenig ergiebig. Bei Niederschlagsereignissen nimmt dieser Grundwasserstrom jedoch mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung deutlich zu und trägt damit ggf. erheblich zum Abfluss aus Drainageeinrichtungen bei.

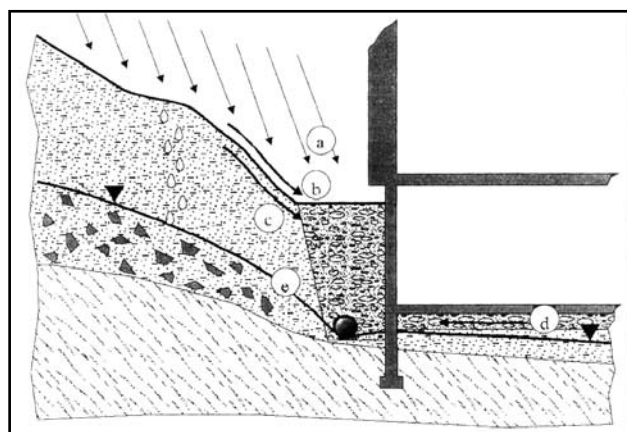


Abb. 79: Zuflüsse zu einer Hausdrainage in Hanglage: (a) direkte Präzipitation auf die Drainage, (b) Oberflächenzufluss, (c) hypodermischer Zufluss (Schichtenwasser), (d) Zuflüsse über gut wasserwegsame Horizonte, (e) Grundwasserzufluss aus dem Hangschuttbereich (Stein et al., 1995)

Zur Sanierung von Fremdwasserzuflüssen aus Drainagen in Hanglage ist ebenfalls die Abtrennung der Drainageleitungen von der restlichen Grundstücksentwässerungs-



anlage möglich (siehe Abb. 81). Alternativ die Errichtung von Abfang-/ Drainagegräben oberhalb der betroffenen Grundstücke denkbar. Diese Möglichkeit wird derzeit in einem Pilotprojekt in der Stadt Monschau (NRW) untersucht (Hennerkes und Schröder, 2003). Möglichkeiten zur Ableitung des so gefassten Wassers sind in 6.3 dargestellt.

#### 6.2.3.5 ERSCHLIESSUNG VON BAUGEBIETEN

Bei der Erschließung von Baugebieten mit niedrigem Grundwasserflurabstand oder in Hanglagen sollte darauf geachtet werden, dass das in vielen Entwässerungssatzungen enthaltene Verbot der Einleitung von Drainagewasser in Misch- bzw. Schmutzwasserkanäle (siehe 2.3.4) eingehalten wird. Hierzu bieten sich mehrere Möglichkeiten an:

- Bauausführung von Kellern als sog. „weiße“ oder „schwarze Wanne“. Bei sachgerechter Bauausführung sind so erstellte Keller wasserundurchlässig und eine Drainage ist nicht notwendig. Trotzdem wird aus Wissen um die Probleme der guten und sachgerechten Ausführung immer wieder eine Drainage angelegt. Während der Bauausführung ist daher darauf zu achten, dass keine Drainage gelegt wird.
- Entwässerung des Baugebietes im Trennsystem. Durch den Regenwasserkanal besteht die Infrastruktur zur Ableitung von Drainagewasser.
- Erschließung des Baugebietes als „kellerloses“ Baugebiet. Obwohl die Aushubarbeiten einen nicht unbeträchtlichen Teil der Baukosten ausmachen, ist die Akzeptanz von kellerlosen Wohnhäusern in Deutschland nicht sehr hoch. Baugebiete mit Kellerverzicht sind daher meist nur für Gewerbegebiete durchzusetzen.

#### 6.2.4 ABSCHÄTZUNG DES PERSONAL- UND KOSTENAUFWANDES

Der überwiegende Teil der Kosten für die Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen, entfällt i.d.R. auf die von der Sanierung betroffenen Grundstückseigentümer. Vor allem im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit ist es deshalb besonders wichtig, bereits frühzeitig möglichst konkrete Kostenschätzungen aufzustellen. 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).

#### 6.2.4.1 PERSONALAUFWAND FÜR DIE SANIERUNGSPLANUNG

Die Vorbereitung und Planung des Sanierungskonzeptes erfordert bereits im Vorfeld der eigentlichen Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen einen intensiven Personaleinsatz. Schwerpunkte sind u.a. die Auswertung der Benebelung, die Beauftragung und Auswertung von TV-Inspektionen im Bereich der privaten Leitungen, der Schriftverkehr mit den Grundstückseigentümern, die Information der Bürger in persönlichen Gesprächen vor Ort sowie die Ortsbegehungen zur Aufnahme der tatsächlichen Entwässerungssituation in Ergänzung zu ggf. vorhandenen Bestandsunterlagen. Hinzu kommen die Sanierungsplanung sowie die Überwachung und Abnahme der Sanierungsarbeiten. Der für diese Tätigkeiten zu erwartende Personalbedarf kann in der Regel kaum allein durch kommunale Mitarbeiter gedeckt werden. Als sinnvoll hat es sich deshalb erwiesen, Teilaufgaben an ein oder mehrere lokale Ingenieurbüros zu vergeben. In Tab. 20 ist dargestellt, welche Zeitansätze für die Untersuchung, Sanierungsplanung und -durchführung bei einer optimierten Vorgehensweise im zugrunde liegenden Fall realistisch erscheinen.

Tab. 20: Ungefährer Zeitbedarf für die Bearbeitung eines Grundstückes durch den ausführenden Ingenieur. Erfahrungswerte der Sanierung von Einfamilienhäusern bei lockerer Bebauung (Bosseler et al., 2003b)

Maßnahme	Ungefährer Zeitbedarf pro Grundstück für ausführenden Ingenieur
<b>Einsatz von Signalnebel</b> Auswertung der Ergebnisse	1,5 h
<b>TV – Inspektion der Hausanschlüsse aus dem öffentlichen Kanal heraus</b> Beauftragung Auswertung der TV-Inspektionen	1,0 h
<b>TV – Inspektion vom Revisionsschacht mit Spülen der Grundleitungen</b> Terminabsprachen Auswertung der TV-Inspektionen	1,0 h
<b>Vor-Ort-Termine</b> Terminabsprachen Termin I: Erläuterung der Sanierungsnotwendigkeit und Klärung der Entwässerungssituation Termin II: Information über konkret geplante Sanierungsmaßnahmen und Kosten, Ausstellung der Kostenübernahmeerklärungen	3,0 h
<b>Sanierungsplanung</b> Planung der Sanierungen	4,0 h
<b>Bauleitung</b> Überwachung der Sanierungsmaßnahmen	2,0 h
<b>Abnahme der Leistungen</b> Auswertung der Kamerabefahrungen Teilnahme an Dichtheitsprüfungen Überprüfung der Abschlussrechnung	3,0 h
<b>Schriftverkehr</b> Bearbeitung des Schriftverkehrs während des gesamten Vorgangs	1,0 h
<b>Zeitbedarf pro Grundstück insgesamt:</b>	16,5 h

Für die komplette Abwicklung eines Grundstückes benötigt ein Ingenieur demnach ca. 16,5 Stunden. Bei angenommenen 220 Arbeitstagen pro Jahr wäre demnach einem Ingenieur jährlich die vollständige Bearbeitung von ca. 105 Grundstücken möglich.

Dies bestätigen auch die Erfahrungen aus anderen Städten. So kommt die Stadt Göttingen nach mehrjährigen Erfahrungen bei der Dichtheitsprüfung an privaten Entwässerungssystemen 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).

#### 6.2.4.2 INSPEKTIONS- UND REINIGUNGSKOSTEN

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 anzusetzenden Kosten richten sich u.a. danach, ob eine Inspektion aus dem öffentlichen Kanal oder von einem Revisionsschacht ausgehend vorgenommen wird.

Als Ergebnis der Inspektion sollte sowohl eine aussagekräftige Zustandsbeschreibung als auch eine genaue Metrierung und Aufnahme des Grundleitungsnetzes unterhalb des Hauses erstellt werden. Eine sorgfältige Darstellung dieser Ergebnisse erleichtert die spätere Planung der ggf. erforderlichen Sanierungsmaßnahmen.

#### 6.2.4.3 SANIERUNGSKOSTEN

Die für ein Grundstück zu erwartenden Sanierungskosten lassen sich in der Regel bereits unter Verwendung der Ergebnisse der TV-Inspektion sowie einer ersten Aufnahme der Vor-Ort-Situation abschätzen. Die geplanten Sanierungsmaßnahmen sollten jedoch zuvor mit dem betroffenen Eigentümer abgestimmt werden, um ggf. auch dessen besondere Wünsche zu berücksichtigen. Erfahrungen zeigen beispielsweise, dass insbesondere das Abhängen der Leitungen nicht immer auch die Zustimmung des Eigentümers findet.

Unterliegt ein Teil der Hausanschlussleitung gemäß Entwässerungssatzung der kommunalen Zuständigkeit, so ist ggf. eine Aufteilung der Sanierungskosten erforderlich. Diese Aufteilung kann für den öffentlichen Teil der Hausanschlussleitung z.B. meterbezogen ermittelt werden, so dass eine einfache und nachvollziehbare Differenzierung der Kosten sichergestellt ist.

Unter Verwendung von Erfahrungswerten (vgl. Bosseler et al., 2003b) können durchschnittliche Kosten für die Sanierung verschiedener Entwässerungstypen als Orientierungshilfe für die zukünftige Umsetzung vergleichbarer Sanierungsmaßnahmen abgeschätzt werden. In Tab. 21 sind die ungefähren Kosten für unterschiedliche Netztypen dargestellt. Ausgehend von diesen Pauschalen können die Preise bei Ortsbegehungen und Aufnahme der individuellen Wünsche der Grundstückseigentümer präzisiert werden.

### 6.3 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. Für die Beseitigung des Fremdwassers bieten sich im Zuge der Sanierung grundsätzlich zwei Möglichkeiten. So kann das anfallende Wasser wahlweise

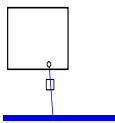
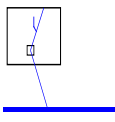
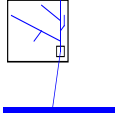
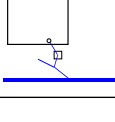
- in einen möglichst nahe gelegenen Vorfluter eingeleitet oder
- zentral oder dezentral versickert werden

Abhängig davon, ob im Planungsgebiet Trenn- oder Mischsysteme vorherrschen, bieten sich unterschiedliche Möglichkeiten für die Beseitigung von Fremdwasser.

#### TRENNSYSTEM

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. Soll in Hausdrainagen anfallendes Wasser über den Regenwasserkanal abgeleitet werden, muss auf Grund der oftmals geringeren Tiefenlage des Regenwasserkanals das Drainagewasser über entsprechende Hebeanlagen in den Regenwasserkanal eingeleitet werden, welche beispielsweise in einem Revisionsschacht auf dem Grundstück installiert werden. Darüber hinaus ist für den bestehenden Regenwasserkanal unter Berücksichtigung des zusätzlich abzuleitenden

Tab. 21: Abschätzung der maximalen Kosten für die Sanierung verschiedener Netztypen (Erfahrungswerte nach Bosseler et al. (2003b), ohne Ingenieurplanung und Beratung)

Netztyp	Beschreibung	Skizze	Kostenpauschale (inkl. Voruntersuchungen, Reinigung; bei Sanierungskombination Schlauchlinersanierung, Sanierung mit partieller Gewebeauskleidung und Neuverlegung von Leitungen oberhalb der Bodenplatte und in offener Bauweise*)
I	gerade Hauptleitung, alle Leitungen im Keller sind oberhalb der Bodenplatte verlegt und werden an einem zentralen Punkt eingeleitet		1.000 – 1.800 €
II	gerade Hauptleitung, wenige Abzweige und angeschlossene Entwässerungsgegenstände		1.800 – 3.000 €
III	gerade Hauptleitung, viele Abzweige und angeschlossene Entwässerungsgegenstände		3.000 – 5.000 €
IV	Hauptleitungsverlauf mit vielen Bögen, Sanierung nur in offener Bauweise möglich, inklusive Neubau eines Revisionsschachtes		zusätzlich ca. 500 € zu I, II, III

\* nur Netztyp IV

Fremdwassers erneut ein Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit zu führen.

#### MISCHSYSTEM

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. In eigenen Untersuchungen konnten in einer Gemeinde zwei punktuelle Fremdwassereinleitungen in einen Schmutzwasserkanal, der mit ca. 2m Abstand parallel zu einem Regenwasserentlastungskanal verläuft, festgestellt werden.

Grundsätzlich bietet sich zum Umgang mit Fremdwasser die Möglichkeit einer **Versickerung** an. Dies ist aber oftmals auf Grund der örtlichen Gegebenheiten (z.B. hohe Grundwasserstände, Beschaffenheit der Böden) und der zum Teil großen Wassermenge nicht ohne weiteres möglich. Bei der Versickerung ist unbedingt zu prüfen, ob das versickerte Wasser auf Aquitarden abfließt und auf unterhalb gelegenen Grundstücken erneut als Schichtenwasser anfällt und dortige Drainagen belastet. Als Grundlage für die Planung und Bemessung kann beispielsweise das DWA Arbeitsblatt A 138 (2005) herangezogen werden. Gerade innerhalb eines dicht bebauten Stadtgebietes, bei dauerhaft hohen Grundwasserständen oder wasserundurchlässigen Bodenschichten sind die Möglichkeiten zur Versickerung von Fremdwasser jedoch begrenzt. Auf ungünstige Randbedingungen für Versickerungseinrich-

tungen, wie z.B. geringe Flurabstände des Grundwasserspiegels, trifft man besonders häufig im Bereich von Drainagen im Flachland.

Sofern die umliegende Bebauung es zulässt, kann vormals in den Kanal abgeleitetes Wasser mit einer **Oberflächenableitung** 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.). Beispiele zur Fremdwasserreduzierung und oberirdischen Ableitung eines ehemals an den Kanal angeschlossenen Gewässers finden sich in nachfolgenden Bildern.

Ist eine oberirdische Ableitung z.B. auf Grund von enger Bebauung nicht möglich, bleibt als Alternative, das Wasser über einen **neu zu verlegenden Fremd- oder Regenwasserkanal** abzuleiten. Auf diesem Weg kann das Wasser wieder in den natürlichen Wasserkreislauf zurückgeführt werden. In mischkanalisierten Einzugsgebieten besteht neben dem Mischwasserkanal in der Regel keine Alternative zur Ableitung des Fremdwassers. In diesem Fall kann es erforderlich sein, das bestehende Entwässerungssystem durch den Bau einer zusätzlichen Leitung grundsätzlich zu ändern.

Dabei stehen prinzipiell zwei Möglichkeiten zur getrennten Ableitung des Drainagewassers zur Verfügung:



Abb. 80: Verschiedene Formen der oberirdischen Ableitung

- Zusammenfassung von Niederschlags- und Fremdwasser im vorhandenen Mischwasserkanal neben einem neu verlegten Schmutzwasserkanal.
- Anlage eines separaten Fremdwasserkanals in Ergänzung zu dem bestehenden Mischwasserkanal.

Durch Prüfung der individuellen Situation muss in einzelnen Abschnitten eines Entwässerungsnetzes festgestellt werden, welche Lösungsmöglichkeit sowohl aus technischer als auch aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoller ist.

Der Bau eines neuen Schmutzwasserkanals erfordert im Bereich der Grundstücksentwässerung stets eine strikte Trennung zwischen Schmutzwasser sowie unbelastetem Niederschlagswasser und Drainagewasser. Bei der Anlage eines separaten Schmutzwasserkanals wird das Schmutzwasser getrennt von den anderen Teilströmen in den neu verlegten Schmutzwassersammler abgeleitet (vgl. Abb. 81). Dachflächenwasser, Wasser von befestigten Flächen (soweit es unter den Begriff unbelastetes Niederschlagswasser gefasst werden kann) und Drainagewasser werden beispielsweise in einem Revisionsschacht auf dem Grundstück zusammengeführt und von dort aus in den öffentlichen Regen-/Fremdwasserkanal abgeleitet. Ein Vorteil dieser Sanierungslösung ist, dass alte Mischwasserkanäle die zur Fremdwasserableitung genutzt werden, nicht mehr saniert werden müssen.

Hinzu kommt, dass sich die Trassierung des neuen Schmutzwasserkanals insbesondere in dicht besiedelten

Einzugsgebieten schwierig gestaltet. Nicht selten erschweren zahlreiche kreuzende Versorgungsleitungen sowie die vorhandene Bebauung den Bau der neuen Abwasserleitung, für die zudem die erforderlichen Mindest- und Maximalgefälle einzuhalten sind.

Auch die alternative Sanierungsvariante – der Bau eines Fremdwasserkanals – erfordert die Planung einer neuen Leitungstrasse. Der vorhandene Mischwasserkanal bleibt für die Ableitung des anfallenden Schmutzwassers erhalten, während das Fremdwasser getrennt davon in dem neu errichteten Kanal gesammelt wird. Im Gegensatz zur ersten Variante wird jedoch keine vollständige Trennung des „sauberen“ Wasser vorgenommen, d.h. Niederschlagswasser wird weiterhin gemeinsam mit dem Schmutzwasser der Kläranlage zugeführt.

Im Rahmen von Fremdwassersanierungen können auch **Rohr-in-Rohr-Lösungen** zur Ableitung von Fremdwasser angewendet werden (siehe Abb. 82). 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 Rohr denkbar. Der größte Vorteil des Verfahrens liegt in den niedrigen Kosten. Rohr-in-Rohr-Lösungen sind derzeit nur in begehbaren Kanälen anwendbar (Montage).

In der Regel ist davon auszugehen, dass insbesondere die Planung und der Bau einer zusätzlichen Ableitungsmög-

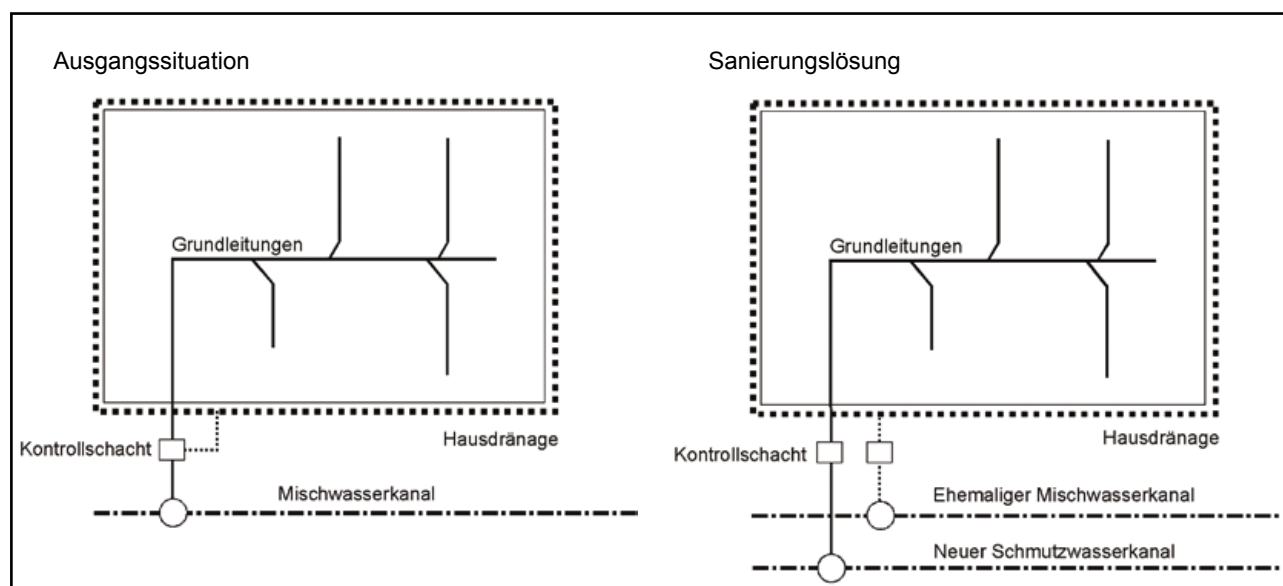


Abb. 81: Trennung von Schmutz- und Drainagewasser im bestehenden Mischsystem (Stein et al., 1995)





Abb. 82: 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)

lichkeit für Fremdwasser mit erheblichen Kosten und ggf. technischen Schwierigkeiten verbunden ist. Deshalb sollte frühzeitig geprüft werden, ob und welche Einzelstränge des betroffenen Einzugsgebietes mit welchen Mitteln saniert werden können. Letztendlich entscheiden insbesondere wirtschaftliche Gründe über die Machbarkeit derartiger Projekte. So wird die Drainagewasserentsorgung durch Ableitung in einem separaten Kanal maßgeblich davon abhängen, ob in einer akzeptablen Entfernung vom Ort des Drainagewasseranfalls eine Möglichkeit für die Versickerung oder Einleitung gegeben ist.

#### KOSTEN

Um die Kosten für alternative Verfahren zur Ableitung von Fremdwasser abschätzen zu können, sind in nachfol-

gender Tab. 22 Kosten aus bereits durchgeführten Maßnahmen dargestellt. Auf die Kosten für „klassische“ Möglichkeiten zur Fremdwasserableitung wie z.B. der Neubau eines Regen-/Fremdwasserkanals oder Versickerungsanlagen wird hier nicht näher eingegangen, da Angaben zu Kosten solcher Maßnahmen in der Literatur (z.B. Günthert und Reicherter, 2001) ausführlich behandelt werden.

Da bisher nur wenig alternative Ableitungsmöglichkeiten für Fremdwasser (Rohr-in-Rohr-Lösungen, Oberflächenableitungen, etc.) ausgeführt wurden, sind die in nachfolgender Tab. 22 angegebenen Kosten nur als Anhaltswerte zu betrachten.

Tab. 22: Kosten für Systeme zur alternativen Ableitung von Fremdwasser

System	Kosten	ausgeführt in
Rohr-in-Rohr (Abb. 82 links)	150 €/m abgehängte Leitung PE - DN 250	Göppingen
Rohr-in-Rohr (Abb. 82 rechts)	550 €/m Sohlleitung Polymerbeton - DN 700	Freiberg / Sachsen
offene Gerinne (Abb. 80 links)	240 €/m	Göppingen
Kandelgerinne (Abb. 80 mitte)	300 €/m	Göppingen
Birco Rinne (Abb. 80 rechts)	650 €/m NW 400	Göppingen

# 8 Literaturverzeichnis

91/271/EWG (1991): Richtlinie des Rates der Europäischen Gemeinschaft vom 21. Mai 1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser

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

**Abwasserberatung NRW (2003):** Rechtsgutachten der Abwasserberatung NRW e.V.; Anhang zum Bericht „Koordination von Planungs- und Baumaßnahmen zur Fremdwasserverminderung im öffentlichen und privaten Bereich“ (vgl. Bosseler et al., 2003b); Dezember 2003

**AbwS (1997):** Neues Muster für eine Abwassersatzung, Muster des Gemeindetages Baden-Württemberg, Kommunalzeitschrift des Gemeindetages Baden-Württemberg, BWGZ 9/97, S. 247 ff; Stuttgart, Mai 1997

**AbwS (1998):** Neues Muster einer Abwassersatzung; Muster des Gemeindetages Baden-Württemberg, Kommunalzeitschrift des Gemeindetages Baden-Württemberg, BWGZ 21/98, S. 734 ff; Stuttgart, November 1998

**AbwV (2004):** Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung – AbwV) vom 17. Juni 2004 (BGBl. I 2004 S. 1108, ber. 2004 S. 2625)

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

**ATV-DVWK (1998):** Arbeitsblatt ATV-M 143, Teil 6: Dichtheitsprüfungen bestehender, erdüberschütteter Abwasserleitungen und -kanäle und Schächte mit Wasser, Luftüber- und Unterdruck ATV-DVWK, Hennef, 1998

**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

**ATV-DVWK (2004):** Auswirkungen von Fremdwasser und Hinweise zum Erkennen kritischer Fremdwasserhältnisse, Arbeitsbericht der ATV-DVWK-Arbeitsgruppe ES-1.3 „Fremdwasser“, Hennef, 2004

**Barth, S. (1994):** Fremdwasserzutritt zur Kanalisation durch Drainageleitungen; Rechtsgutachten im Auftrag der Gesellschaft zur Erforschung der Kanalisationstechnik mbH – GEK, unveröffentlicht, Gelsenkirchen, Oktober 1994

**Bosseler, B. Cremer, S. (2001):** Ermittlung und Eliminierung von Fremdwasserquellen aus Kanalisationsnetzen, IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Juni 2001, download unter [www.ikt.de](http://www.ikt.de).

**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](http://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
- Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (2001):** Grabenlose Sanierung von Hausanschluss- und Grundleitungen, Teil 2: Basisdaten, Recht und Technik, 2001
- de Bénédittis, J. Bertrand-Krajewski, J.-L. (2003):** Measurement of infiltration rates in sewer systems: use of natural water isotopes, International Seminar on In-sewer Processes, Delft, NL, April 2003
- 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 4095 (1990):** Baugrund; Dränung zum Schutz baulicher Anlagen; Planung, Bemessung und Ausführung; Juni 1990, Beuth-Verlag
- DIN EN 752-1 (1995):** Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Teil 1: Allgemeines und Definitionen, Deutsche Fassung, November 1995, Beuth Verlag
- DIN EN 752-1 (1996):** Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden - Teil 2: Anforderungen; Deutsche Fassung, September 1996, Beuth Verlag
- DIN EN 752-5 (1997):** DIN EN 752-5: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Teil 5: Sanierung; November 1997, Beuth Verlag
- DIN EN 1610 (1997):** Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen, Oktober 1997, Beuth Verlag
- DIN EN 12056 (2000):** Schwerkraftentwässerung innerhalb von Gebäuden, Teil 1: Allgemeine und Ausführungsanforderungen, Juni 2000, Beuth Verlag
- DIN EN 13566-4 (2003):** Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen); Teil 4: Vor Ort härtendes Schlauchlining, April 2003, Beuth Verlag
- Drews, D. (2002):** Falscheinleiterfeststellung durch Nebeln im Kanalnetz der Stadt Flensburg; Tagungsband IKT-Forum Fremdwasser, Neumünster, 2002.
- DWA (2005):** DWA Arbeitsblatt A 138, Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, DWA, Hennef, 2005
- Eisener, W. (2002):** Erfolgreiche Fremdwasserbeseitigung durch Kanalsanierung, in „Umgang mit Fremdwasser – Erkennen, Bewerten, Lösen“, Tagungsband der Technischen Akademie Hannover, Dezember 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
- Fahrni, H.-P. (1984):** Die Bedeutung des Fremdwassers für die Kläranlage und den Vorfluter, Verbandsbericht des Verbandes Schweizerischer Abwasserfachleute (VSA) Nr. 253, Zürich, 1984

- Fiederl, M. (2003):** Aktueller Stand des Göttinger Modells im öffentlichen und privaten Bereich, Vortrag im Rahmen der 3. Göttinger Abwassertage, Göttingen, Februar 2003
- 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 LfU Baden-Württemberg, Karlsruhe, 2001
- Günthert, F.W. Reicherter, E. (2001):** Investitionskosten der Abwasserreinigung, Oldenbourg Industrieverlag, München, 2001
- Härke (2002):** Firmeninformation der Firma Georg Härke GmbH, Remscheid, 2002 Hager, W. Bretscher, U. Raymann, B. (1984): Methoden zur indirekten Fremdwasserermittlung in Abwassersystemen, Gas-Wasser-Abwasser 7 (64), S. 450-461
- Haller, B. (2001):** Fremdwasserprobleme – Erkennen – Bewerten – Lösen Tagungsband zur ATV-DVWK-Bundes- und Landesverbandstagung 2001 in Freiburg i.B., S. 328-346, ATV-DVWK, 2001
- Heinrichs, F.-J. Rickmann, B. Sondergeld, K.-D. Störrlein, K.-H. (2002):** Gebäude und Grundstücksentwässerung, Kommentar zu DIN EN 12056, DIN 1986 und DIN EN 1610, DIN-Normen und Technische Regeln, 2002, Herausgeber: DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag
- Hennerkes, J. Schröder, M. (2003):** Maßnahmenplan der Stadt Monschau zur Verringerung des Fremdwasseraufkommens, Gewässerschutz-Wasser-Abwasser, Band 190, Aachen, 2003
- 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 (2003):** Erfahrungen aus dem Projekt „Ermittlung und Eliminierung von Fremdwasser aus Grundstücks- und Hausanschlussleitungen im Einzugsbereich einer Trinkwassertalsperre (Wiehltalsperre)“; IKT- Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen 2003
- 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
- Kracht, O. Gresch, M. de Bénédittis, J Prigiobbe, V Gujer, W. (2003):** Stable isotopes of water as a natural tracer for infiltration into urban sewer systems, Geophysical Research Abstracts, Vol5, 07852, 2003
- Kroiss, H. Prendl, L. (1996):** Einfluss von Fremdwasser auf Abwasserreinigungsanlagen, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 140, S. 71-90, 1996
- Lautrich, R. (1972):** Der Abwasserkanal, 3. Auflage, Verlag Wasser und Boden, Hamburg, 1972 zitiert in: Fuchs, S.; Lucas, H.; Brombach, H.; Weiß, G.; Wittenberg, H.: Quantifizierung der saisonalen und naturräumlichen Bedeutung von Fremdwasserzuflüssen in Mischsystemen, Schlußbericht im Auftrag der LfU Baden-Württemberg, Karlsruhe, 2001
- LfU (2001):** Regenwasserbehandlung und Kläranlage – Leistungsreserven erkennen und nutzen Reihe Siedlungswasserwirtschaft, Band 16, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, 2001
- LfU (2002):** Leitfaden Abwasserabgabe – Arbeitshilfe für die Festsetzungsbehörden Reihe Siedlungswasserwirtschaft, Band 19, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, 2002

- 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](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de))
- Lucas, H. (2004):** Einflüsse der Fremdwasserbelastung auf die Entlastungstätigkeit von Regenbecken innerhalb eines Entwässerungsnetzes, KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 2004 (51) Nr. 10, S. 1121-1127
- Moser, H. Rauert, W. (1980):** Lehrbuch der Hydrogeologie, Band 8, Isotopenmethoden in der Hydrogeologie, Bornträger, 1980
- MURL (1999):** Handbuch Energie in Kläranlagen, Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), Düsseldorf, 1999
- Popp, M. Feik, G. Baum, R. Stotz, G. (2002):** Bestimmung des Fremdwasseraufkommens im Einzugsgebiet der Kläranlage Elangen, KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 2002 (49) Nr. 7, S. 946-955
- ROkA (1993):** ROkA - Reinhalteordnung 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, 1998
- Stein, D. Cremer, S. Falk, C. (1995):** Fremdwasser durch Drainageanschlüsse; Abschlussbericht des IKT im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft NRW; Gelsenkirchen, März 1995
- Stein, D. Niederehe, W. (1999):** Instandhaltung von Kanalisationen, 3. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1999
- StGB (2000):** Strafgesetzbuch (StGB) vom 15. Mai 1871 (RGBl. S.127) in der Fassung der Bekanntmachung vom 13. November 1998 (BGBl. I, S.3322), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Strafverfahrensänderungsgesetzes 1999 (StVÄG 1999) vom 2. August 2000 (BGBl. I. S.1253)
- UVM (2004):** Erlass des Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Stuttgart, 10.8.2004
- Weiß, G. (2000):** Fremdwasser und urbaner Wasserkreislauf, in „Fremdwasser und gering verschmutztes Wasser in Abwasseranlagen“, Tagungsband der Bauakademie Biberach, Oktober 2000
- WG (2005):** Wassergesetz für Baden-Württemberg (WG) in der Fassung vom 20. Januar 2005 GBl. 2005 S. 219
- WHG (2002):** Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG) vom 19. August 2002 (BGBl. I 2002 S. 3245, BGBl. I 2005 S. 1666)
- ZK (2003):** Firmeninformation der ZK Kanalprüftechnik GmbH, Wettstetten, 2003







# Anhang

- Anhang A:** Formblatt: Fremdwasserermittlung mit „Chemischer Methode“ nach Hager et al. (1984)
- Anhang B:** Fremdwasserermittlung und Bewertung mit automatischer Durchflussmessenrichtung (nach der damaligen ATV-Landesgruppe Baden-Württemberg, heute DWA-Landesverband Baden-Württemberg)
- Anhang C:** Checkliste zur Planung einer Fremdwassermengenmessung mit einem portablen MID-Messsystem
- Anhang D:** Checkliste zur Durchführung einer Fremdwassermengenmessung mit einem portablen MID-Messsystem
- Anhang E:** MID-Durchflussmessung zur Ermittlung von Fremdwassermengen

# Formblatt: Fremdwasserermittlung mit „Chemischer Methode“ nach Hager et al. (1984)

Betreiber: \_\_\_\_\_

Kläranlage: \_\_\_\_\_

Ausbaugröße (EW): \_\_\_\_\_

Derzeit angeschlossene Einwohner: \_\_\_\_\_

Untersuchung nur bei Trockenwetter, kein Regennachlauf !

Untersuchungstag: \_\_\_\_\_

Probennahme als \_\_\_ h-Mischprobe von \_\_\_\_\_ Uhr bis \_\_\_\_\_ Uhr

Verwendeter Parameter: \_\_\_\_\_

## Zufluss-Ganglinie:

mittlerer Trockenwetterzufluss  $Q_{T,m} =$  \_\_\_\_\_ [m<sup>3</sup>/h]

minimaler Trockenwetterzufluss  $Q_{T,min} =$  \_\_\_\_\_ [m<sup>3</sup>/h] um \_\_\_\_\_ Uhr

Verhältnis  $Q_{T,m}/Q_{T,min}$   $m =$  \_\_\_\_\_ [-]

## Schmutzfracht:

mittlere Tagesschmutzfracht  $S =$  \_\_\_\_\_ [kg/h]

Verhältnis  $C_{T,min} \cdot Q_{T,min}/S$   $s =$  \_\_\_\_\_ [-]

## Konzentrations-Ganglinie:

mittlere Konzentration  $C_{T,m} =$  \_\_\_\_\_ [g/l]

minimale Konzentration  $C_{T,min} =$  \_\_\_\_\_ [g/l] um \_\_\_\_\_ Uhr

Verhältnis  $C_{T,min}/C_{T,m}$   $c =$  \_\_\_\_\_ [-]

## Fremdwasseranfall:

prozentual:  $\frac{100}{m} [1 - s (m - 1 + c)]$  FWA = \_\_\_\_\_ [%]

absolut:  $\frac{FWA}{360} \cdot Q_{T,m}$   $Q_f =$  \_\_\_\_\_ [l/s]



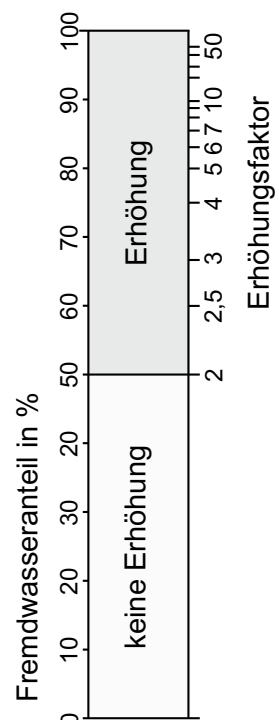


# Fremdwasserermittlung und Bewertung mit automatischer Durchflussmesseinrichtung

Spitzenzufluss bei Trockenwetter nach Planung: \_\_\_\_\_ l/s  
 Betreiber: \_\_\_\_\_  
 Durchflussmesseinrichtung (Messverfahren): \_\_\_\_\_  
 Kläranlage: \_\_\_\_\_  
 Oberer Messbereich des Gerätes bis \_\_\_\_\_ l/s; Messanlage überprüft am: \_\_\_\_\_  
 Abgabenummer: \_\_\_\_\_  
 Landkreis: \_\_\_\_\_  
 Derzeit angeschlossene (natürliche) Einwohner etwa: \_\_\_\_\_ für das Jahr \_\_\_\_\_  
 Ausbaugröße (EW): \_\_\_\_\_

## Messprotokoll zur Abwasserabgabenerklärung

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahresmittel
a) gemessener geringster Nachtzufluss l/s													
b) abzügl. geschätzter Nachtzufluss der angeschlossenen Einwohner ( $q \times E / 1000$ ) l/s													
c) abzüglich Nachtzufluss der Industrie l/s													
d) Fremdwasserzufluss = (a - b - c) l/s													
e) Tagesfremdwasserzufluss = (d x 86,4) m <sup>3</sup> /d													= g
f) gemessener Tagesabwasserzufluss einschl. Fremdwasser m <sup>3</sup> /d													= h
Summe der Ergebnisse ..													
													Anzahl der Messungen



$$\text{Fremdwasseranteil [FW]} = \frac{g}{h} \times 100 = \text{[ ] \%}$$

(Verdünnungsanteil nach LAbwAG)

$$\text{Erhöhungsfaktor [EF]} = \frac{100 \%}{100 \% - \text{FW [ \%]}} = \text{[ ]}$$

(wenn FW größer als 50 %)

aufgestellt:

Hinweise und Erläuterungen zur Ermittlung siehe Rückseite

(Ort, Datum, Unterschrift)

## Hinweise und Erläuterungen:

### 1. Ermittlung

- Die Ermittlung erfolgt bei Trockenwetter (Weiterschlüssel 1 oder 2) anhand des geringsten Durchflusses (in der Regel Nachtmessungen zwischen 2 und 4 Uhr) und Messungen des Tagesabwässerdurchflusses über 24 Stunden (Zählwerkablesung).
- Um den repräsentativen Fremdwasserzufluss innerhalb eines Jahres abschätzen zu können, ist mindestens monatlich eine Messung notwendig, der Abstand der Messungen muss dabei mindestens 14 Tage betragen.
- Bei der Ermittlung der angeschlossenen (natürlichen und zusätzlichen) Einwohner (E) sind nennenswerte Übernachtungszahlen des Fremdenverkehrs (z. B. Hotels, Gaststätten, Campingplätze) zu berücksichtigen.
- Die Berechnung des abzüglichen Wertes für den Nachtzufluss der angeschlossenen Einwohner in der Zeile b) ergibt sich aus  $\frac{q \times E}{1.000}$ , wobei der Faktor q abhängig ist von der Größe des Kanalnetzes und der Fließzeit des Abwassers.

Faktor q je 1.000 (angeschl. Einwohner)	Anwendungsbereich
0,3 l/s	gleichförmiges Kanalnetz bis 5.000 Einwohner ohne Einrichtungen (z. B. große Pumpwerke von Außengebieten), die zu einer deutlichen Verlängerung der tatsächlichen Fließzeiten bei Trockenwetter führen.
0,5 l/s	Kanalnetze von 5.000 bis 100.000 Einwohner
1,0 l/s	nur bei großen Kanalnetzen mit mehr als 100.000 Einwohner oder bei Fließwegen mit tatsächlichen Fließzeiten bei Trockenwetter von mehr als 10 Stunden.

Zwischenwerte dürfen nicht geradlinig interpoliert werden, dies ist nur in begründeten Härtefällen zulässig.

Im Regelfall ist der Faktor des zutreffenden Bereichs, entsprechend den angeschlossenen Einwohnern, anzuwenden. Nur bei den beschriebenen langen Fließzeiten kann der Faktor des nächsten Bereichs angewendet werden. Diese Bedingung muß aber für mindestens die Hälfte der angeschlossenen Einwohner erfüllt sein.

- Der Nachtzufluss aus der Industrie muss nachgewiesen werden (**Schätzungen sind nicht zulässig**).

### 2. Auswertung

- Die Berechnung des Fremdwasseranteils im Jahresmittel (FW %) erfolgt aus der Division der Summe der Tagesfremdwasserzuflüsse der Zeile e) durch die Summe der gemessenen Tagesabwässerzuflüsse der Zeile f) multipliziert mit 100 %.
- Beträgt der errechnete Fremdwasseranteil mehr als 50 %, so ist im Zusammenhang mit der Abwasserabgabeerklärung die Berechnung des Erhöhungsfaktors (EF) zur Ermittlung des Anforderungswertes ( $W_{\text{erh}}$ ) durchzuführen.

# Checkliste zur Planung einer Fremdwassermengenmessung mit einem portablen MID-Messsystem

## Bedingungen im Oberstrom der Messstelle

### Absturzbauwerk

- Befindet sich ein Absturzbauwerk im Messstrang?
  - ☞ Verlegen Sie die Messstelle oberhalb des Absturzbauwerks.
- Wenn Sie die Messstelle nicht stromauf verlegen können:
  - ☞ Richten Sie Ihr Messnetz so ein, dass die Plausibilität dieses Messwerts überprüft werden kann.
  - ☞ Prüfen Sie vor Ort, ob sich die Strömung in den Haltungen zwischen dem Absturz und der Messstelle sichtbar beruhigt (strömender Abfluss, keine mitgerissene Luft erkennbar).
  - ☞ Kontrollieren Sie das kontinuierlich aufgezeichnete Messsignal: Unstetigkeiten weisen auf unzulässige Lufteinschlüsse hin.
  - ☞ Prüfen Sie den Messwert nach Abschluss der Messkampagne auf Plausibilität.

### Pumpstation

- Befindet sich mehrere Haltungen oberhalb der Messstelle eine Pumpstation?
  - ☞ Zeichnen Sie die Förderleistung im Messzeitraum auf.
- Wenn keine Möglichkeit zur Aufzeichnung in der Einrichtung selbst möglich ist:
  - ☞ Richten Sie eine zusätzliche Messstelle direkt unterstrom der Pumpstation ein, um die Aktivität der Pumpen aufzuzeichnen, speziell, wenn Sie den Fremdwasserzufluss auf der Strecke zwischen der Pumpstation und der eigentlichen Messstelle ermitteln wollen.

## Bedingungen am Messort

### Zulässiges Kanalgefälle an der Messstelle

- ❑ Stellen Sie bei dem von Ihnen verwendeten MID-Messsystem den zulässigen Grenzwinkel (Grenzgefälle) fest:
  - ☞ Messen Sie den Winkel, den die Verbindungslinie zwischen dem Scheitelpunkt des Rohrs im Einlauf in den MID-Messaufnehmer und dem äußersten Punkt der hochgezogenen Auslauföffnung mit der Rohrachse bildet. Tiefer kann das MID-Messsystem während der Messung nicht geneigt werden, weil sonst nicht mehr gewährleistet ist, dass der Messaufnehmer vollständig wassererfüllt ist.
  - ☞ Grenzgefälle =  $\tan(\text{Grenzwinkel}) \cdot 1000$  [‰]
  - ☞ Anhaltswert für den Grenzwinkel: **2,5°** (44 ‰ Grenzgefälle)
- ❑ Das Kanalgefälle an der Messstelle muss kleiner/gleich dem Grenzgefälle sein.

### Zustand des Kanals an der Messstelle

- ❑ Weisen die Bestandspläne aus, dass der Kanal im Aufstaubereich der Messstelle bei effluenten Verhältnissen stark schadhaft (Schadensklasse  $\geq 3$ ) ist?
  - ☞ Verlegen Sie die Messstelle in einen weniger schadhaften Bereich.
- ❑ Wenn Sie die Messstelle nicht verlegen können:
  - ☞ Rechnen Sie damit, dass der gemessene Wert kleiner als der tatsächliche Abfluss ist, weil durch den Aufstau Anteile des Abflusses durch die Schadstellen verloren gehen.
  - ☞ Richten Sie Ihr Messnetz so ein, dass die Plausibilität dieses Messwerts überprüft werden kann.

## **Vorbereitung der Messung**

- Messorte im Bereich von Parkflächen vor der Messung absperren lassen
- Verkehrssicherungsgenehmigungen einholen
- Langfristigen Wetterbericht für den Messzeitraum einholen
- Funktion aller Messgeräte (auch von Gaswarngeräten und anderen Arbeitsschutzhilfsmitteln) prüfen und sicherstellen
- Dokumente (Arbeitsanweisungen, Betriebsanleitungen, Genehmigungen) auf Vollständigkeit prüfen

## **Inhalt von Arbeitsanweisungen (Prüfablaufplänen) für die Messung**

- Hinweise zu Verkehrssicherungsmaßnahmen
- Genehmigungsunterlagen
- Unfallverhütungsvorschriften für Arbeiten im Straßenraum und am Kanal
- Betriebsanleitungen
- Zuständiger Sachbearbeiter mit Telefonnummer
- Angaben zu den Messorten und Reihenfolge der Bearbeitung
- Angabe von Ausweichmessorten
- Beschreibung der einzusetzenden Messeinrichtung inklusive Sonderzubehör für jeden Messort
- Angabe zum Speicherintervall des Datenloggers: bei einer nächtlichen Messung im Minimum auf 1-minütliche, bei der Aufnahme von Ganglinien auf 5-minütliche Mittelwerte einstellen
- Angabe von Überstausicherungsmaßnahmen (gerätetechnisch)
- Anweisungen für das Verhalten bei einsetzendem starken Niederschlag
- Einteilung des Bereitschaftsdienstes für die Überstausicherung während der Messung



## Checkliste zur Festlegung der Messpunkte im Kanalisationsnetz

- Photo- oder Filmdokumentation der Messstellen
- Rückstauerebenen anhand von Bestandsplänen und tatsächlichen Gegebenheiten vor Ort prüfen
- Möglicherweise nötigen Stromanschluss klären
- Zugänglichkeit der Messstelle für das Messfahrzeug und die Geräte klären
- Prüfen, ob es sich an der Messstelle tatsächlich um einen Standard-ein-Meter-Schacht handelt

# Checkliste zur Durchführung einer Fremdwassermengenmessung mit einem portablen MID-Messsystem

## Einbau des Messsystems

- Messstelle nach vorliegendem Arbeitsanweisungen (Prüfablaufplan) und Markierung auf der Schachtabdeckung anfahren
- Verkehrssicherungsmaßnahmen nach Arbeitsanweisung (Prüfablaufplan) ausführen
- Genehmigungsunterlagen für Kontrollen zur Verfügung halten
- Schachtabdeckung öffnen, Arbeitsraum belüften
- Einstieg sichern: Messung auf toxische und explosive Gase
- Rettungsgeschirr, Dreibein und Winde für Einstieg in den Schacht vorbereiten
- Scharfkantiges Sediment im Einbaubereich des Messgeräts entfernen
- Messgerät mit Hilfe der angebrachten Trag- und Steuerseile (Dreibein, Winde) in die in den Arbeitsanweisungen (Prüfablaufplan) markierte Haltung einsetzen
- Wenn sich das Messgerät auf diese Weise nicht einsetzen lässt:
  - ☞ Lassen Sie das Messgerät mit Hilfe des Trageisels (Dreibein, Winde) in den Schacht ab
  - ☞ Steigen sie in den Einsteigschacht ein und setzen Sie das Gerät von Hand ein
- Dichtkissen auf den in der Arbeitsanweisung (Prüfablaufplan) genannten Druck aufblasen
  - ☞ Anweisungen des Herstellers beachten
  - ☞ Druckluftschlauch nicht knicken
  - ☞ Dichtkissen nur über den Druckminderer des Steuerorgans befüllen
- Trag- und Steuerseile an den Steigeisen so befestigen, dass das Messgerät bei Überstau frei aus der Haltung herausschwingen kann
- Datenlogger mit Energieversorgung verbinden
- Plausibilität der Messwertanzeige gemäß Arbeitsanweisung (Prüfablaufplan) prüfen
- Datenlogger und Energieversorgung an geeigneter Stelle im Schacht befestigen
- Schachtabdeckung schließen
- Verkehrssicherungsmaßnahmen unter Sicherung des Verkehrs zurückbauen

## Ausbau des Messsystems

- Messstelle nach vorliegendem Arbeitsanweisungen (Prüfablaufplan) und Markierung auf der Schachtabdeckung anfahren
- Verkehrssicherungsmaßnahmen nach Arbeitsanweisung (Prüfablaufplan) ausführen
- Genehmigungsunterlagen für Kontrollen zur Verfügung halten
- Schachtabdeckung öffnen, Arbeitsraum belüften
- Einstieg sichern: Messung auf toxische und explosive Gase
- Rettungsgeschirr, Dreibein und Winde für Einstieg in den Schacht vorbereiten
- Datenlogger und Energieversorgung lösen und entnehmen
- Datenlogger von der Energieversorgung trennen
- Druck im Dichtkissen reduzieren
  - Anweisungen des Herstellers beachten
  - Druckluftschlauch nicht knicken
  - Dichtkissen nur über den Druckminderer des Steuerorgans entlasten
- Messgerät mit Hilfe der angebrachten Trag- und Steuerseile (Dreibein, Winde) aus der Haltung lösen und anheben
- Wenn sich das Messgerät auf diese Weise nicht demontieren lässt:
  - ☞ Vergewissern Sie sich, dass der Druck im Dichtkissen vollständig abgebaut ist (Unfallgefahr!)
  - ☞ Warten Sie, bis sich der Aufstau hinter dem Messgerät abgebaut hat (Unfallgefahr!)
  - ☞ Steigen sie in den Einsteigschacht ein und lösen Sie das Gerät von Hand
  - ☞ Verlassen Sie den Schacht
  - ☞ Ziehen Sie das Gerät an den Trag- und Steuerseilen (Dreibein, Winde) hoch
- Schachtabdeckung schließen
- Verkehrssicherungsmaßnahmen unter Sicherung des Verkehrs zurückbauen

# MID-Durchflussmessung zur Ermittlung von Fremdwassermengen

Ort \_\_\_\_\_

Kennung \_\_\_\_\_

Datum \_\_\_\_\_

## Anleitung zum Führen des Messprotokolls:

1. Zu- und Abläufe durch Pfeile in der Skizze kennzeichnen
2. Zu- und ablaufende Stränge durchnummerieren
3. Messprotokoll für jeden der Stränge ausfüllen
4. Durchflussmenge wird geschätzt, falls die Menge zu gering für eine Messung erscheint

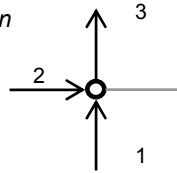
Bearbeiter \_\_\_\_\_

Wetter: trocken

Zeitweise Regen

Leichter Regen

Starker Regen



Blatt:

<b>Skizze der Messstelle</b>  	<b>Bemerkungen</b>  <i>(z.B. Hausanschluss am Schacht oder Zu- / Ablauf blockiert =&gt; keine Messung möglich)</i>
--------------------------------------	--

<b>Strang Nr.</b>	Zulauf <input type="checkbox"/>	<b>Strang / Straße:</b>		
	Ablauf <input type="checkbox"/>			
	angegebene Menge wurde gemessen <input type="checkbox"/>	<b>Messzeit</b>		<b>Menge [l/s]</b>
	geschätzt <input type="checkbox"/>	<b>Beginn</b>		<b>Messwert (am MID)</b>
		<b>Ende</b>		konstant <input type="checkbox"/>
				sinkt wieder <input type="checkbox"/>
				stark schwankend <input type="checkbox"/>
<b>Strang Nr.</b>	Zulauf <input type="checkbox"/>	<b>Strang / Straße:</b>		
	Ablauf <input type="checkbox"/>			
	angegebene Menge wurde gemessen <input type="checkbox"/>	<b>Messzeit</b>		<b>Menge [l/s]</b>
	geschätzt <input type="checkbox"/>	<b>Beginn</b>		<b>Messwert</b>
		<b>Ende</b>		konstant <input type="checkbox"/>
				sinkt wieder <input type="checkbox"/>
				stark schwankend <input type="checkbox"/>
<b>Strang Nr.</b>	Zulauf <input type="checkbox"/>	<b>Strang / Straße:</b>		
	Ablauf <input type="checkbox"/>			
	angegebene Menge wurde gemessen <input type="checkbox"/>	<b>Messzeit</b>		<b>Menge [l/s]</b>
	geschätzt <input type="checkbox"/>	<b>Beginn</b>		<b>Messwert</b>
		<b>Ende</b>		konstant <input type="checkbox"/>
				sinkt wieder <input type="checkbox"/>
				stark schwankend <input type="checkbox"/>
<b>Strang Nr.</b>	Zulauf <input type="checkbox"/>	<b>Strang / Straße:</b>		
	Ablauf <input type="checkbox"/>			
	angegebene Menge wurde gemessen <input type="checkbox"/>	<b>Messzeit</b>		<b>Menge [l/s]</b>
	geschätzt <input type="checkbox"/>	<b>Beginn</b>		<b>Messwert</b>
		<b>Ende</b>		konstant <input type="checkbox"/>
				sinkt wieder <input type="checkbox"/>
				stark schwankend <input type="checkbox"/>







