

Institut für Siedlungswasserwirtschaft (ISWW) - Universität Karlsruhe (TH)

Steffen Lucas

**Auftreten, Ursachen und Auswirkungen hoher Fremdwasserabflüsse –
eine zeitliche und räumliche Analyse**

Universität Karlsruhe (TH)
Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft, Karlsruhe
Schriftenreihe des ISWW - Band 115 - Karlsruhe 2003

Dissertation genehmigt von der
Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften

Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH)
2003

Hauptreferent: Prof. Dr.-Ing. E.h. Hermann H. Hahn, Ph.D., Karlsruhe
Korreferent: Prof. Dr. Ing. Theo G. Schmitt, Kaiserslautern

Lucas Steffen

Auftreten, Ursachen und Auswirkungen hoher Fremdwasserabflüsse –
eine zeitliche und räumliche Analyse

Karlsruhe: Universität Karlsruhe – Institutsverlag

Siedlungswasserwirtschaft, 2003

(Schriftenreihe des ISWW Karlsruhe - Band 115)

Zugl.: Karlsruhe, Univ., Diss., 2003

ISBN 3-9807882-8-8

ISBN 3-9807882-8-8

Alle Rechte vorbehalten

Satz: Institut für Siedlungswasserwirtschaft
Universität Karlsruhe (TH)

Druck: Ernst Grässer, Humboldtstr. 1, 76131 Karlsruhe

Printed in Germany

Vorwort

Fremdwasser ist seit Anbeginn der systematischen siedlungswasserwirtschaftlichen Lehre, Forschung und Praxis als Phänomen und als Begriff weithin bekannt. In den letzten Jahren entstanden zunehmend Anstrengungen wenig oder unverschmutztes Wasser weitgehend zu vermeiden, das heißt möglichst nicht in Abwasseranlagen eintreten zu lassen. Damit verbunden stellen sich zahlreiche Fragen, die im künftigen Umgang mit Fremdwasser und dessen Reduzierung relevant sind. Bislang ist beispielsweise weder einheitlich definiert, ab welcher Menge „viel“ Fremdwasser vorliegt, noch mit welcher Methode dieses zu ermitteln ist. Darüber hinaus ist nicht unzweifelhaft geklärt, welche maßgebenden Ursachen zur Entstehung hoher Fremdwasserabflüsse führen.

Die Auswirkungen „zu hoher“ Fremdwasserabflüsse sind in der Regel offenkundig. Häufig wird die Reinigungsfunktion siedlungswasserwirtschaftlicher Anlagen drastisch herabgesetzt, beispielsweise erkennbar am Wirkungsgrad einer Kläranlage oder an der Entlastungsdauer eines Regenüberlaufbeckens. In der Folge entstehen teilweise sehr hohe hydraulische und stoffliche Gewässerbelastungen, die insbesondere die Qualität kleiner, sensibler Vorfluter entscheidend beeinflussen können.

Vor diesem Hintergrund gibt es dringenden Forschungs- und Untersuchungsbedarf zu den Fragen

- Wie und wodurch entstehen „hohe“ Fremdwasserabflüsse?
- Wie sind sie quantitativ zu ermitteln und zu beschreiben?
- Gibt es geeignete Instrumente, um ihr Auftreten vorherzusagen?

Diesen Fragenkomplexen widmet sich der Autor der vorliegenden Schrift, indem er zunächst umfassende Daten des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg analysiert. Zusätzlich wertet er tägliche Messwerte aus den Betriebstagebüchern von 128 Kläranlagen über mehrere Jahre mit dem „Verfahren des gleitenden Minimums“ aus. Das Resultat besteht in Ganglinien monatlicher Fremdwasserzuschläge.

Mit diesem umfangreichen Datenmaterial werden zahlreiche Untersuchungen durchgeführt, die unter anderem auf Schwachpunkte der etablierten Ermittlungsverfahren, insbesondere im Hinblick auf die realitätsnahe Darstellung jahreszeitlicher Schwankungen, hinweisen. Die maßgebenden Einflussfaktoren für das Auftreten von „viel“ Fremdwasser werden (jeweils durch Plausibilitätsbetrachtungen) in der Kläranlagengröße, der Kanalnetzlänge und der Art des Entwässerungssystems gesucht. Durch GIS-Verschneidungen finden sich Hinweise, dass die hydrogeologischen Umge-

bungsbedingungen eines Einzugsgebietes entscheidend auf die Fremdwasserbelastung kommunaler Kläranlagen in einer Region einwirken.

Die Fremdwasserbelastung innerhalb von Kanalnetzen wird mittels der Entlastungsverhalten sämtlicher Regenbecken innerhalb eines ausgewählten Einzugsgebietes exemplarisch aufgezeigt. Im Gegensatz zur landesweiten Fremdwassersituation kommunaler Kläranlagen gelingt hier keine großflächige Regionalisierung. Die entscheidenden Ursachen für das Auftreten außergewöhnlich hoher Fremdwasserzuflüsse innerhalb eines Entwässerungsnetzes liegen offenbar in lokalen, kleinräumigen Faktoren.

Die Ergebnisse der zahlreichen Untersuchungen bringen insgesamt mehr Licht in die bislang unterbelichtete Situation des Fremdwassers in Kanalisationsanlagen, werfen aber auch zahlreiche neue Fragen auf. Für den in der Praxis Tätigen ergeben sich, wenn nicht klare Zahlenangaben, so doch zumindest „Handlungsanweisungen“ zu einem systematischen Vorgehen.

Die Fachwelt wird dem Autoren Lucas dankbar sein, dass er die seit langem benötigte Diskussion um das „Fremdwasser“ wieder angestoßen hat. Die Ergebnisse sind nicht nur wichtig für das weitere Verständnis der wie eingangs dargestellt vernachlässigten Aufgabenkomplexe in der Siedlungswasserwirtschaft sondern stoßen hoffentlich auch weiterführende Untersuchungen an.

Karlsruhe, im Dezember 2003

H. H. Hahn

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Karlsruhe.

Mein Dank richtet sich an all jene, die bewusst oder unbewusst zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Besonderer Dank gilt

Herrn Prof. Dr. Ing. E.h. Hermann H. Hahn, Ph.D. für das mir entgegengebrachte Vertrauen und die Freiheit, die mir während meiner Arbeit gewährt wurde sowie für die sehr angenehmen Arbeitsbedingungen am Institut.

Herrn Prof. Dr. Ing. Theo G. Schmitt für die bereitwillige Übernahme des Korreferates sowie für zahlreiche konstruktive Anregungen.

Herrn Dr. Ing. Stephan Fuchs, der die Arbeit stets kritisch begleitete und eine Vielzahl wertvoller Denkanstöße lieferte.

der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, die im Jahr 2000 mit der Finanzierung des Forschungsprojektes „Quantifizierung der saisonalen, naturräumlichen und lokalen Abhängigkeit der Fremdwasserzuflüsse in Mischwasserkanalisationen“ den Grundstein für die vorliegende Dissertationsschrift legte und darüber hinaus wiederholt großzügig Zugriff auf ihren umfassenden Datenpool gewährte.

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Hansjörg Brombach und Herrn Dr. Ing. Gebhard Weiß von der Firma UFT für die hervorragende Zusammenarbeit im Rahmen des genannten Forschungsprojektes.

den KollegInnen und MitarbeiterInnen am Institut für die Aufmunterung, die guten Ratschläge und die schöne Zeit, die ich mit ihnen verbringen durfte.

Steffen Lucas

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	9
2	DEFINITION, URSACHEN, AUSWIRKUNGEN VON FREMDWASSER	13
2.1	Der Begriff Fremdwasser	13
2.2	Herkunft von Fremdwasser	16
2.3	Auswirkungen von Fremdwasser	18
2.3.1	Kanalstränge	19
2.3.2	Pumpwerke	20
2.3.3	Bauwerke zur Regenwasserbehandlung	20
2.3.4	Retentionsbodenfilter zur Regenwasserbehandlung	22
2.3.5	Kommunale Kläranlagen	23
2.4	Bisherige Berücksichtigung des Fremdwassers in der Planungspraxis	25
2.5	Fremdwasser und Abwasserabgabe	26
3	METHODEN ZUR ERMITTLUNG VON FREMDWASSER	28
3.1	Jahresschmutzwasser-Methode	29
3.2	Nachmessungsmethode	30
3.3	Chemische Methode	30
3.4	Methode des gleitenden Minimums	31
3.5	Bewertung der Verfahren	32
4	DIE FREMDWASSERBELASTUNG DER KLÄRANLAGEN	35
4.1	Auswertung von Daten des Statistischen Landesamtes	35
4.1.1	Die Datenbasis	36
4.1.2	Wie viel und wie verbreitet ist „viel“ Fremdwasser?	37
4.1.3	Auswertung nach Kläranlagen-Größenklassen	40
4.1.4	Zusammenfassende Bewertung	42
4.2	Auswertung mit der Methode des gleitenden Minimums	43
4.2.1	Die Datenbasis	43
4.2.2	Höhe und zeitliche Variabilität des Fremdwasserzuschlages	47
4.2.3	Auswertung nach Kläranlagen-Größenklassen	51
4.3	Vergleich beider Auswertungen	53
5	POTENTIELLE URSACHEN FÜR „ZU VIEL“ FREMDWASSER	62
5.1	Auswertung von Daten des Statistischen Landesamtes	64
5.1.1	Einfluss der Kanalnetzlänge	64
5.1.2	Einfluss des Entwässerungssystems (Misch-/Trennsystem)	69
5.1.3	Gemeinsamer Einfluss von Kanalnetzlänge und Kanalisationsart	73
5.2	Auswertung nach der Methode des gleitenden Minimums	75

6	REGIONALISIERUNG VON FREMDWASSER	79
6.1	Die Naturräume Baden-Württembergs.....	80
6.2	Wasserhaushalt und Abflussvorgänge in Böden	84
6.3	Regionale Verteilung von Fremdwasser	87
6.3.1	Bodenwasserregimes	89
6.3.2	Grundwassereinheiten und Naturräume	92
6.3.2.1	Odenwald	92
6.3.2.2	Schwarzwald	93
6.3.2.3	Gäulandschaften	94
6.3.2.4	Keuperbergland.....	94
6.3.2.5	Alpenvorland	94
6.3.2.6	Schwäbische Alb mit Vorland.....	94
6.3.2.7	Obererrheinebene	95
6.3.2.8	Zusammenfassung.....	95
6.3.3	Weitere potentielle Fremdwasserursachen.....	97
6.3.3.1	Grundwasserbedingtes Fremdwasser.....	97
6.3.3.2	Verteilung und Intensität der Niederschläge	102
6.3.3.3	Potentielle Verdunstung	105
6.3.3.4	Relief und Geländehöhe.....	106
6.4	Grenzen von großräumigen Interpretationen	109
6.5	Zusammenfassung.....	114
7	FREMDWASSER INNERHALB VON KANALNETZEN	117
7.1	Auswirkungen in Trennkanalisationen	117
7.2	Auswirkungen in Mischkanalisationen	118
7.3	Fremdwasser in Regentlastungsanlagen.....	120
7.3.1	Messungen an Regentlastungsanlagen.....	120
7.3.2	Auswirkungen von Mischwasserentlastungen	123
7.4	Exemplarische Fremdwasseranalyse eines Einzugsgebietes	125
7.4.1	Entlastungsverhalten der Regenüberlaufbecken	128
7.4.2	Bewertung der Entlastungsdauern.....	130
7.4.3	Regionalisierung der Entlastungsdauern	135
7.4.3.1	Spezifische Volumina der Regenüberlaufbecken.....	138
7.4.3.2	Spezifische Drosselabflüsse der Regenüberlaufbecken.....	140
7.4.3.3	Hydrogeologische Randbedingungen	142
7.4.3.4	Kleinräumige Ursachen	144
7.5	Folgen für Abflussmodelle und -simulationen	145
7.6	Ergebnisse und Konsequenzen	146
8	ZUSAMMENFASSUNG	149

LITERATURVERZEICHNIS	154
ANHANG: Formblatt zur Fremdwasserermittlung der ATV-DVWK Landesgruppe Baden-Württemberg	163
Quantitative Verteilung der Fremdwasserzuschläge in den acht Natur- räumen Baden-Württembergs	164
SCHRIFTENREIHE des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft	

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Beispiel für die Fremdwasserermittlung nach der Methode des gleitenden Minimums, aus Fuchs et al. (2001)	32
Abbildung 2: Mittlere Jahres-Fremdwasserzuschläge, errechnet aus gemeldeten Fremdwasseranteilen von 1.158 Kläranlagen in Baden-Württemberg (1998), sortiert nach tatsächlich angeschlossenen Einwohnerwerten der Kläranlagen.....	37
Abbildung 3: Summenhäufigkeitslinie der Jahres-Fremdwasserzuschläge von 1.158 Kläranlagen mit 17,6 Millionen EW in Baden-Württemberg (1998)	39
Abbildung 4: Mittlere Jahres-Fremdwasserzuschläge von 1.158 Kläranlagen in Baden-Württemberg im Jahr 1998, sortiert nach Kläranlagengrößenklassen der Abwasserverordnung (2002)	41
Abbildung 5: Jährliche Niederschlagshöhen in Baden-Württemberg von 1951-2001 (Quelle: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg)	45
Abbildung 6: Mittlere Jahreswerte des Fremdwasserzuschlages nach der Methode des gleitenden Minimums für 34 Kläranlagen in den Jahren 1992-1995 bzw. für 94 Kläranlagen in den Jahren 1997-2000	46
Abbildung 7: Mittlere monatliche Fremdwasserzuschläge nach der Methode des gleitenden Minimums für 128 Kläranlagen (1992-1995 bzw. 1997-2000).....	48
Abbildung 8: Obere und untere Umhüllende sowie arithmetische Mittelwerte der mittleren monatlichen Fremdwasserzuschläge von 128 Kläranlagen (1992-1995 bzw. 1997-2000) nach dem Verfahren des gleitenden Minimums	49
Abbildung 9: Maximale und mittlere monatliche Fremdwasserzuschläge von 128 Kläranlagen (1992-1995 bzw. 1997-2000) nach dem Verfahren des gleitenden Minimums	50
Abbildung 10: Mittlere Monats-Fremdwasserzuschläge von 128 Kläranlagen in Baden-Württemberg (1992-1995 bzw. 1997-2000), sortiert nach Kläranlagengrößenklassen der Abwasserverordnung (2002)	51
Abbildung 11: Maximale Monats-Fremdwasserzuschläge von 128 Kläranlagen in Baden-Württemberg (1992-1995 bzw. 1997-2000), sortiert nach Kläranlagengrößenklassen der Abwasserverordnung (2002)	53
Abbildung 12: Dem Statistischen Landesamt gemeldete Jahresfremdwasserwerte 1995 und 1998 von 1.158 Kläranlagen sowie mittlere jährliche Fremdwasserzuschläge nach der Methode des gleitenden Minimums für 34 Kläranlagen im Jahr 1995 bzw. für 85 Kläranlagen im Jahr 1998.....	54
Abbildung 13: Summenhäufigkeitslinie der mittleren jährlichen Fremdwasserzuschläge von 85 Kläranlagen nach der Methode des gleitenden Minimums (1998)	55

Abbildung 14: Summenhäufigkeitslinie der langfristigen mittleren jährlichen Fremdwasserzuschläge nach der Methode des gleitenden Minimums (128 Kläranlagen, 1992-1995 bzw. 1997-2000)	56
Abbildung 15: Vergleich zwischen mittlerem monatlichem Fremdwasserzuschlag nach der Methode des gleitenden Minimums und dem in dieser Zeit höchsten gemeldeten Jahres-Fremdwasserzuschlag (128 Kläranlagen, 1992-1995 bzw. 1997-2000)	57
Abbildung 16: Vergleich zwischen maximalem monatlichem Fremdwasserzuschlag nach der Methode des gleitenden Minimums und dem in dieser Zeit höchsten gemeldeten Jahres-Fremdwasserzuschlag (128 Kläranlagen, 1992-1995 bzw. 1997-2000)	58
Abbildung 17: Prozentuale Verteilung der monatlichen Fremdwasserzuschläge von 128 Kläranlagen (5.574 gemessene Monate von 1992-1995 bzw. 1997-2000).....	59
Abbildung 18: Multiplikationsfaktor zwischen dem mittleren bzw. maximalen monatlichen Fremdwasserzuschlag nach der Methode des gleitenden Minimums und dem in dieser Zeit höchsten gemeldeten Jahres-Fremdwasserzuschlag (128 Kläranlagen, 1992-1995 bzw. 1997-2000).....	60
Abbildung 19: Zusammenhang zwischen der Gesamtlänge des Kanalnetzes und den 1998 gemeldeten Fremdwasserzuschlägen sowie Klassenhäufigkeiten	66
Abbildung 20: Zusammenhang zwischen den Einwohnerwerten pro Kilometer Kanalisation und den 1998 gemeldeten Fremdwasserzuschlägen sowie Klassenhäufigkeiten	68
Abbildung 21: Zusammenhang zwischen der Gesamtlänge der Kanalisation und dem 1998 gemeldeten Fremdwasserzuschlag sowie an die Kläranlage angeschlossenen Einwohnerwerten.....	69
Abbildung 22: Gemeldete jährliche Fremdwasserzuschläge von 1.158 Kläranlagen aus dem Jahr 1998 in Abhängigkeit des Kanalsystems (überwiegend Misch- bzw. Trennsystem)	71
Abbildung 23: Kläranlagen mit kurzen Kanalnetzen < 15 km und 1998 gemeldete Fremdwasserzuschläge sowie prozentuale Anteile im Misch- bzw. Trennsystem	73
Abbildung 24: Kläranlagen mit langen Kanalnetzen > 130 km und 1998 gemeldete Fremdwasserzuschläge sowie prozentuale Anteile im Misch- bzw. Trennsystem	74
Abbildung 25: Mittlere (oben) und maximale (unten) Monats-Fremdwasserzuschläge von 128 Kläranlagen in Baden-Württemberg (1992-1995 bzw. 1997-2000), in Abhängigkeit des Kanalsystems (überwiegend Misch- bzw. Trennsystem)	76
Abbildung 26: Naturräume und geologische Schichtungen in Baden-Württemberg, aus Geyer und Gwinner (1991).....	82
Abbildung 27: Bodenwasserregimetypen nach dem Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg WaBoA (2001)	86

Abbildung 28: Regionale Verteilung der maximalen monatlichen Fremdwasser-zuschläge von 128 Kläranlagen nach der Methode des gleitenden Minimums sowie Bodenwasserregimetypen Baden-Württembergs.....	90
Abbildung 29: Regionale Verteilung der maximalen monatlichen Fremdwasser-zuschläge von 128 Kläranlagen nach der Methode des gleitenden Minimums sowie 17 Grundwassereinheiten Baden-Württembergs	93
Abbildung 30: Prozentuale Verteilung der maximalen monatlichen Fremdwasserzuschläge auf die 6 Belastungsklassen innerhalb der Naturräume Baden-Württembergs.....	96
Abbildung 31: Grundwasserstände im Oberrheingraben Baden-Württembergs sowie maximale monatliche Fremdwasserzuschläge von Kläranlagen.....	98
Abbildung 32: Unmittelbarer Zusammenhang zwischen dem Fremdwasserabfluss im Schmutzwasserkanal eines Teileinzugsgebietes einer Kläranlage und dem dortigen Grundwasserpegel	99
Abbildung 33: Regionen mit teilweise bzw. vorherrschend stauwasserbeeinflussten Böden sowie maximale monatliche Fremdwasserzuschläge von 128 Kläranlagen nach der Methode des gleitenden Minimums.....	101
Abbildung 34: Isolinien der Niederschlagshöhe in Baden-Württemberg, langjähriges Mittel 1961-1990, aus Mühr (2003).....	103
Abbildung 35: Isolinien des prozentualen Anteiles vom Niederschlag im Winterhalbjahr (Oktober – März) am Gesamtniederschlag im Jahr 1994, aus Rapp et al. (1995).....	104
Abbildung 36: Jahresgang der potentiellen Verdunstung nach Brandt (1979).....	105
Abbildung 37: Regionale Verteilung der maximalen monatlichen Fremdwasserzuschläge von 128 Kläranlagen in Baden-Württemberg sowie Reliefkarte.....	107
Abbildung 38: Regionale Verteilung der maximalen monatlichen Fremdwasserzuschläge von 128 Kläranlagen in Baden-Württemberg sowie Geländehöhen nach dem Digitalen Höhenmodell DHM 30	108
Abbildung 39: Mittlere monatliche Fremdwasserzuschläge einer Kläranlage über einen Zeitraum von drei Jahren.....	110
Abbildung 40: Vergleich der langjährigen Ganglinie des Bodensee-Wasserpegels Konstanz und dem Verlauf im Hochwasserjahr 1999 (Seespiegel, 2003)	111
Abbildung 41: Ganglinien der monatlichen Fremdwasserzuschläge zweier Kläranlagen in unmittelbarer Nachbarschaft	113
Abbildung 42: Monatliche Netto-Entlastungsdauern eines Regenüberlaufbeckens.....	123
Abbildung 43: Schematischer Entwässerungsplan des Untersuchungsgebietes mit 21 Regenüberlaufbecken und Kläranlage	126
Abbildung 44: Einzugsgebiet mit 21 Regenüberlaufbecken, deren Volumina, den Vorflutern und der kommunalen Kläranlage.....	127

Abbildung 45: Monatliche Entlastungsdauern der 21 Regenüberlaufbecken im Untersuchungszeitraum 2001-2002	129
Abbildung 46: Untere und obere Umhüllende sowie arithmetisches Mittel der monatlichen Entlastungsdauern von 21 Regenüberlaufbecken im Untersuchungszeitraum 2001-2002	130
Abbildung 47: Mittlere monatliche Entlastungsdauern der 21 Regenüberlaufbecken in den Jahren 2001, 2002 sowie im gesamten Zeitraum 2001–2002.....	132
Abbildung 48: Maximale monatliche Entlastungsdauern der 21 Regenüberlaufbecken in den Jahren 2001 und 2002	134
Abbildung 49: Monatliche Fremdwasserzuschläge der Kläranlage am Ende des Entwässerungsnetzes nach der Methode des gleitenden Minimums.....	135
Abbildung 50: Vorfluter und mittlere monatliche Entlastungsdauern der Regenüberlaufbecken im Untersuchungsgebiet, Zeitraum 2001–2002.....	137
Abbildung 51: Vorfluter und spezifische Volumina der Regenüberlaufbecken im Untersuchungsgebiet.....	139
Abbildung 52: Vorfluter und spezifische Drosselabflüsse der Regenüberlaufbecken im Untersuchungsgebiet.....	141
Abbildung 53: Digitales Höhenmodell DHM 30, Vorfluter und mittlere monatliche Entlastungsdauern der Regenüberlaufbecken (2001 – 2002) im Untersuchungsgebiet	143

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Definitionen des Begriffs Fremdwasser in verschiedenen Normen und im Regelwerk der ATV (nach Decker 1998).....	14
Tabelle 2: Herkunftsbereiche von Fremdwasser nach ATV A 118 (1999)	17
Tabelle 3: Empfohlene Pauschalwerte für Fremdwasserspendsen nach verschiedenen ATV-Arbeitsblättern	26
Tabelle 4: Vergleich verschiedener Methoden zur Fremdwasserbestimmung.....	33
Tabelle 5: Statistische Auswertung der Jahres-Fremdwasserzuschläge (1998) für überwiegend misch- beziehungsweise trennkanalisierte Entwässerungsnetze	72
Tabelle 6: Auswertung der mittleren und maximalen monatlichen Fremdwasserzuschläge nach der Methode des gleitenden Minimums für überwiegend misch- beziehungsweise trennkanalisierte Entwässerungsnetze.....	78
Tabelle 7: Beurteilungskriterien für die Entlastungstätigkeit von Regenüberlaufbecken nach Fuchs und Hahn (1999).....	131
Tabelle 8: Prozentuale Verteilung der maximalen monatlichen Fremdwasserzuschläge von 128 Kläranlagen nach der Methode des gleitenden Minimums in den acht Naturräumen Baden-Württembergs	164

1 Einleitung

Fremdwasser ist neben dem Schmutz- und Regenwasser einer von drei Bestandteilen des Abwassers. Der „fremde“ Aspekt ergibt sich aus dem unerwünschten Auftreten und der meist unbekanntem Herkunft. Bekannt ist dagegen, dass Fremdwasser für Entwässerungssysteme eine erhebliche hydraulische Belastung darstellen kann. Diese Belastung betrifft grundsätzlich alle baulichen Anlagen zur Ableitung von Abwasser, insbesondere aber auch diejenigen mit Reinigungsaufgaben, z. B. Regenüberlaufbecken und Kläranlagen. Lang anhaltende Fremdwasserzuflüsse bewirken bei entsprechender Intensität, dass einzelne Komponenten eines Entwässerungssystems der ihnen zugedachten Funktion nur noch zeitweise oder eingeschränkt nachkommen können. In der Folge lässt die Effizienz von Anlagen zur Abwasserreinigung nach, was wiederum unmittelbar die Qualität der Vorfluter beeinflusst. Insofern können erhöhte Fremdwasserabflüsse indirekt dazu führen, dass sich angestrebte Gewässerschutzziele erheblich schwerer oder gar nicht erreichen lassen.

Über die qualitativen Auswirkungen auf den Gewässerschutz hinausgehend weist der Themenkomplex Fremdwasser auch wirtschaftliche Aspekte auf. Beispielsweise entstehen zusätzliche Kosten für den Transport. In Hebe- und Pumpwerken steigt der Energieverbrauch, um die größeren Wassermengen zu bewältigen. Zudem können sich in Abhängigkeit der Rechtsgrundlagen in einzelnen Ländern Deutschlands spürbar nachteilige Konsequenzen im Hinblick auf die zu entrichtende Abwasserabgabe ergeben. Vor dem geschilderten Hintergrund wird Fremdwasserproblemen in der Siedlungswasserwirtschaft zunehmend mehr Bedeutung beigemessen.

Fremdwasser ist insgesamt kein neues Thema in der Siedlungsentwässerung. Es ist allerdings erst seit einigen Jahren in den Blickpunkt der Betreiber von Kanalisationsnetzen gerückt. Woran liegt das? Im Lauf der Jahrzehnte haben sich die wasserwirtschaftlichen sowie die politischen Zielsetzungen gewandelt. Das Interesse an ökologischen Zusammenhängen ist gewachsen. Mit dem Auftreten von Seuchen entwickelte sich historisch die Kenntnis um Hygiene- und Gesundheitsaspekte von Abwasser. Das Bestreben bestand zu dieser Zeit folgerichtig in der sicheren Sammlung und Ableitung des gefährlichen Fluides aus Siedlungsgebieten (Hahn, 1997). Differenzierungen nach der Herkunft oder dem Verschmutzungsgrad gab es nicht. Die damalige Zielsetzung bedingte, dass auch Abflüsse die aus heutiger Sicht dem Fremdwasserbegriff zuzuordnen sind, bewusst und planmäßig in die Kanalisation eingeleitet wurden.

Erst mit der Einführung von Abwassergebühren und den damit verbundenen monetären Aspekten wurden Maßnahmen zur Reduktion von Abflüssen in Kanalnetzen att-

raktiv. Seit 1976 fordert das Abwasserabgabengesetz (2001) eine Umweltabgabe für das Einleiten schädlichen Abwassers, die an die Länder zu entrichten ist. Die Abgabe soll für den Einleiter ein wirtschaftlicher Anreiz sein, Abwasser zu vermeiden, den Verschmutzungsgrad des Abwassers zu verringern oder eine eigene Abwasserreinigung zu schaffen (ADI, 2001). Seit diesem Zeitpunkt wird Fremdwasser von den Betreibern als eine unerwünschte Abflusskomponente wahrgenommen, die nicht nur betriebliche Probleme, sondern darüber hinaus auch erhebliche Kosten verursachen kann. Parallel zu dem neuen Kostenbewusstsein verstärkten sich die Bestrebungen, Fremdwasserabflüsse zu verringern.

Das Wissen um die Existenz von Fremdwasser - im Sinne von unerwünschten Abflüssen in der Kanalisation, deren exakte Menge und Herkunft in der Regel nicht bekannt ist - reicht schon einige Jahrzehnte zurück. Allerdings beschränkte es sich lange Zeit auf die Tatsache, dass solche Abflüsse in nahezu jedem Abwasserkanal auftreten. Für die Dimensionierung genügte traditionell ein pauschaler Zuschlag zum Schmutzwasserabfluss, um gemäß den allgemein anerkannten Regeln der Technik das Problem Fremdwasser zu berücksichtigen. Erst in den letzten Jahren wurden – bedingt durch neue Erkenntnisse über die Auswirkungen von Mischwassereinleitungen auf Gewässer, durch Forderungen zur Ausweisung von Frachtwirkungsgraden auf Kläranlagen sowie durch finanzielle Anreize von Seiten der Abwasserabgabe – weitergehende Untersuchungen in Angriff genommen. Dabei sind insbesondere die langjährigen und saisonalen Schwankungen des Fremdwasseranfalls in den Blickpunkt des Interesses gerückt.

Die in diesem Kontext durchgeführten Forschungsstudien stützen sich meist auf einzelne, bewusst ausgewählte Bauwerke der Siedlungswasserwirtschaft. In der Regel werden in konkreten Fallbeispielen die dortigen Fremdwasserabflüsse quantitativ ausgewertet und beurteilt. Seltener wird über qualitative Auswirkungen wie beispielsweise Verdünnungseffekte und deren Konsequenzen berichtet. Die gewählten Fallbeispiele zeigen häufig außerordentlich extreme Situationen auf. Sie vermitteln Eindrücke von Fremdwasserproblemen an hydraulisch unerwartet hoch belasteten Bauwerken. Wie ist jedoch die Repräsentativität dieser Einzelergebnisse einzustufen? Welche Bedeutung kommt dem Fremdwasserproblem in der Fläche zu? Handelt es sich bei den dargestellten Beispielen um außergewöhnliche Einzelfälle oder hat eine nennenswerte Anzahl der bestehenden Entwässerungsnetze mit „zu viel“ Fremdwasser zu kämpfen?

In der vorliegenden Arbeit wird der Frage nachgegangen, wie häufig in der Praxis zu hohe Abflüsse infolge Fremdwasser auftreten. Dazu wird anhand von jährlich gemeldeten, mittleren Fremdwasseranteilen (Daten des Statistischen Landesamtes) eine flächendeckende Untersuchung für das gesamte Land Baden-Württemberg durchge-

führt. Ergänzend zu den Daten des Statistischen Landesamtes wird eine umfangreiche, repräsentative Grundgesamtheit von 128 Kläranlagen in Baden-Württemberg mit dem „Verfahren des gleitenden Minimums“ (Umwelt und Fluidtechnik GmbH UFT, 1998 und Fuchs et al., 2001) ausgewertet. Die Methode erlaubt neben der Interpretation von Jahresmittelwerten auch Aussagen über saisonale Schwankungen des Fremdwasseranfalls. Als Ergebnis entsteht ein detailliertes Bild der Fremdwassersituation in Baden-Württemberg, das sich unter verschiedensten Aspekten analysieren lässt.

Hinausgehend über rein quantitative Darstellungen der Fremdwasserbelastung gestatten die statistischen, sowie die selbst erhobenen Daten die Verifizierung der tatsächlichen Einflüsse potentieller Ursachen auf die Fremdwasserabflüsse kommunaler Kläranlagen. Unter anderem wird in diesem Zusammenhang geprüft, ob sich statistisch Abhängigkeiten der ermittelten Fremdwassermengen von der Kläranlagengröße, der Kanalnetzlänge oder der Art des Entwässerungsnetzes nachweisen lassen. Die Suche nach den entscheidenden Faktoren für „viel“ oder „wenig“ Fremdwasser in einem Entwässerungsnetz führt zur These, dass regionale Unterschiede bei der Belastung der Kläranlagen mit Fremdwasser bestehen könnten. Dahinter steht die Vermutung, dass sich die Umgebung von Entwässerungsnetzen signifikant auf das Fremdwasseraufkommen auswirkt. Die in diesem Kontext durchgeführten Untersuchungen werden durch Verschneidungen der Fremdwasserdaten in einem Geographischen Informationssystem GIS visualisiert.

Abschließend befasst sich die vorliegende Arbeit mit der Fremdwasseranalyse innerhalb von Kanalnetzen. Eine solche ist von Interesse, weil unerwünschte Zuflüsse in ein Entwässerungsnetz nicht unmittelbar vor der Kläranlage, sondern an unbekanntem Orten und in unbekannter Anzahl erfolgen. Die grundsätzlichen Auswirkungen von „viel“ Fremdwasser in Kanalnetzen sind dabei deutlich von denen auf Kläranlagen zu unterscheiden. Insbesondere können hohe Fremdwasserabflüsse starke Entlastungstätigkeiten siedlungswasserwirtschaftlicher Anlagen hervorrufen. Die damit einhergehenden hydraulischen und stofflichen Belastungen können für sensible Vorfluter erhebliche gewässerrelevante Bedeutung erlangen. Im Fokus steht deshalb einerseits die Frage, ob sich die Ergebnisse von auf Kläranlagendaten basierenden, leicht verfügbaren Fremdwasseranalysen ohne beträchtliche Fehler auf gesamte Entwässerungsnetze übertragen lassen. Andererseits sollen die Größenordnungen sowie die Auswirkungen von „viel“ Fremdwasser in Kanalnetzen verdeutlicht werden. Aufgrund der geringen Verfügbarkeit von geeigneten Messdaten erfolgt dies exemplarisch anhand der Auswertung eines einzigen, vorbildlich überwachten Entwässerungsnetzes in Baden-Württemberg. Die Fremdwassersituation wird dabei durch monatliche Entlastungsdauern der Regenbecken im Einzugsgebiet dargestellt. Die Su-

che und Diskussion von Gründen für „viel“ oder „wenig“ Fremdwasser und deren lokales Auftreten innerhalb von Entwässerungsnetzen rundet das Kapitel - analog zur Analyse der Kläranlagendaten - ab.

Das übergeordnete Ziel der vorliegenden Arbeit ist in der Gewinnung neuer Erkenntnisse über die großräumige Dimension „des Fremdwasserproblems“ zu sehen. Dabei sollen typische, charakteristische Merkmale sowie die Auswirkungen von „zu viel“ Fremdwasser in der Siedlungswasserwirtschaft herausgearbeitet werden. Die präsentierten Ergebnisse und daraus abgeleitete Schlussfolgerungen basieren überwiegend auf realen Messwerten von Kläranlagen respektive von Regenüberlaufbecken. Die Rohdaten werden jeweils mit ausgewählten, besonders geeigneten Methoden zur Fremdwasserermittlung ausgewertet. Aus den vorgelegten Resultaten sollten sich insgesamt hilfreiche Hinweise zur Erarbeitung neuer, geeigneter Strategien zum Umgang mit beziehungsweise zur Reduzierung von Fremdwasserproblemen gewinnen lassen.

2 Definition, Ursachen, Auswirkungen von Fremdwasser

Fremdwasser tritt in der Praxis grundsätzlich als ein Bestandteil von Abwasser auf, weil nach dem Eintritt ins Kanalnetz unmittelbar eine Vermischung mit Schmutz- und/oder Regenwasser erfolgt. Dabei ist unklar, was exakt unter *Fremdwasser* zu verstehen ist. In der Fachliteratur, vor allem in den einschlägigen Normen und Regelwerken, finden sich vielfältige, teilweise voneinander abweichende Definitionen des Begriffes.

2.1 Der Begriff Fremdwasser

Eine gute Übersicht zu den verschiedenen Auslegungen des Fremdwasserbegriffes liefert Decker (1998). Er vergleicht mehrere Definitionen, vor allem aus den Normen DIN 4045 „Abwassertechnik – Begriffe/Grundbegriffe“ (1985 und 1999), EN 1085 „Abwasserbehandlung – Wörterbuch“ (1995), EN 752-1 „Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden“ (1995) und aus dem Arbeitsblatt ATV A 118 „Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen“ (1999). In der Regel wird dabei die Herkunft des Fremdwassers als Unterscheidungskriterium herangezogen.

In der DIN EN 752-1 (1995) wird Fremdwasser lediglich verbal als „unerwünschter Abfluss im Entwässerungssystem“ beschrieben. In den darüber hinaus genannten Normen wird detaillierter auf den Ursprung des Fremdwassers eingegangen. So schlägt beispielsweise die DIN 4045, sowohl in der Fassung aus dem Jahr 1985, wie auch in der aktuellen Version von 1999 „in die Kanalisation eindringendes Grundwasser (Undichtigkeiten), unerlaubt über Fehllanschlüsse eingeleitetes Wasser (z. B. Dränagewasser, Regenwasser) sowie einem Schmutzwasserkanal zufließendes Oberflächenwasser (z. B. über Schachtabdeckungen)“ dem Fremdwasser zu. Tabelle 1 verdeutlicht jedoch, dass auch innerhalb der einschlägigen Normen und Vorschriften keine einheitliche Definition verwendet wird. Darüber hinaus bleibt grundsätzlich unklar, wie die in der Tabelle genannten „Fehllanschlüsse“ zu identifizieren sind. Nach dem Institut für unterirdische Kanalisationstechnik IKT (1995) sind beispielsweise in der Vergangenheit genehmigte Hausdrainageanschlüsse rechtlich anders als bei Neubauten zu behandeln.

Tabelle 1: Definitionen des Begriffs Fremdwasser in verschiedenen Normen und im Regelwerk der ATV (nach Decker 1998)

Definition von Fremdwasser in Norm...	DIN 4045 (1985; 1999)	EN 1085 (1995)	EN 752-1 (1995)	ATV A 118 (1999)
Grundwasser	X	X	pauschale verbale Festlegung	X
Fehlanschlüsse (Drän- und Quellwasser)	X			X ¹⁾
Oberflächenwasser	X (nur im SW-Kanal)	X (nicht Regenwasser im MW-Kanal)		X ¹⁾

¹⁾ Die Zulässigkeit der Einleitung von Drän-, Quell- und Bachwasser in Regenwasserkanäle ist im Einzelfall zu prüfen. Zufließendes Schmutzwasser in RW-Kanäle sowie zufließendes Regenwasser in SW-Kanäle wird als Fremdwasser definiert.

Nicht explizit erwähnt sind in den genannten Normen Oberflächenabflüsse aus Außengebieten, die nach den zugrunde liegenden Planungsgrundlagen in der Regel nicht über das Kanalsystem entwässert werden sollen. In der Praxis finden sich jedoch häufig Straßengräben oder kleine Bäche, die in Ermangelung sonstiger Vorflut an Mischwasserkanäle angeschlossen sind (Fuchs et al., 2001). Solches Wasser muss gleichfalls dem Fremdwasser zugerechnet werden.

Eine völlig andere Art der Definition des Fremdwasserbegriffes ergibt sich, wenn die Qualität des in die Kanalisation eindringenden Wassers zugrunde gelegt wird. So beschreiben Fischer (1990) und Pfeiff (1989) Fremdwasser als Wasser, dessen Qualität durch eine Kläranlage nicht weiter verbessert werden kann bzw. das nicht gereinigt werden muss. Solches Wasser belastet deshalb nur unnötig das Kanalsystem und die Abwasserreinigung. Auf Grund dieser Auslegung würde in einer Mischkanalisation allerdings auch gering und unverschmutztes Regenwasser unter den Begriff Fremdwasser fallen.

In der Wassergesetzgebung des Bundes und der Länder ist der Fremdwasserbegriff nicht unmittelbar enthalten. Jedoch fordert § 7a Wasserhaushaltsgesetz WHG (2002) bezüglich der Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer, die Schadstofffracht des Abwassers entsprechend dem Stand der Technik so gering wie möglich zu halten. Eine Vermischung oder Verdünnung mit Fremdwasser entspricht in diesem Zusammenhang nicht dem Stand der Technik. Nach § 9 des Abwasserabgabengesetzes (2001) ist eine Ermäßigung des Abgabesatzes nur möglich, wenn die

festgelegten Anforderungen nach § 7a WHG eingehalten werden. Ab welcher Fremdwassermenge jedoch konkret von einer unzulässigen Verdünnung und Vermischung auszugehen ist, bleibt in der Regel offen. Lediglich in einigen Ländern sind hierzu konkrete Anforderungen festgelegt, die allerdings voneinander abweichen. In Baden-Württemberg wird beispielsweise ab gemeldeten jährlichen Fremdwasseranteilen von 50 % eine unzulässige Verdünnung und Vermischung gesehen. Weiterführende Informationen enthält in diesem Kontext Kapitel 2.5 und insbesondere der Zwischenbericht der ATV-DVWK Arbeitsgruppe „Fremdwasser“ ES 1.3 (2003).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass mit dem Begriff Fremdwasser häufig sehr unterschiedliche Abflusskomponenten beschrieben werden. Insgesamt wäre es wünschenswert, eine einheitliche und verbindliche Definition einzuführen. Nicht zuletzt aus diesem Grund wurde von der ATV-DVWK eine Arbeitsgruppe zum Thema Fremdwasser gegründet.

Um Unklarheiten zu vermeiden soll für die vorliegende Arbeit ausschließlich die aktuelle Definition der ATV-DVWK Arbeitsgruppe „Fremdwasser“ ES-1.3 (2003) gelten, wie sie in deren Zwischenbericht veröffentlicht wurde:

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

Um Fremdwasser quantitativ zu beschreiben werden zwei Begriffe, der *Fremdwasseranteil* und der *Fremdwasserzuschlag*, herangezogen. Damit sind gemeint:

$$\text{Fremdwasseranteil: } \text{FWA} = \frac{Q_F}{Q_S + Q_F}$$

$$\text{Fremdwasserzuschlag: } \text{FWZ} = \frac{Q_F}{Q_S}$$

mit: Q_F = Fremdwasserabfluss

Q_S = Schmutzwasserabfluss

Die Umrechnung der beiden Größen ist nach den folgenden Formeln möglich.

$$\text{FWZ} = \frac{\text{FWA}}{1 - \text{FWA}} \qquad \text{FWA} = \frac{\text{FWZ}}{1 + \text{FWZ}}$$

Die quantitative Darstellung von Fremdwasser mit den angegebenen Begriffen setzt stets das Vorhandensein eines Schmutzwasserabflusses voraus, auf den Bezug genommen wird. In Regenwasserkanälen sind damit keine Mengenangaben möglich. Aufgrund der um ein Vielfaches höheren Regenwasserabflüsse ist eine solche Bestimmung allerdings auch nicht von Interesse.

Zu beachten ist, dass sich der Fremdwasserzuschlag direkt proportional zum Fremdwasserabfluss verhält. Eine Verdoppelung des unerwünschten Abflusses bewirkt eine Verdoppelung des -zuschlages. Beim Fremdwasseranteil ist das so nicht gegeben. Obwohl die geltenden Vorschriften die Kläranlagenbetreiber bislang zur jährlichen Meldung des Fremdwasseranteiles FWA verpflichten, erscheint aufgrund der direkten Proportionalität zur Abflussmenge der Fremdwasserzuschlag FWZ grundsätzlich besser geeignet, um quantitative Beschreibungen vorzunehmen (Lucas, 2003). In der vorliegenden Arbeit wird für entsprechende Angaben deshalb ausschließlich der Fremdwasserzuschlag verwendet.

2.2 Herkunft von Fremdwasser

Fremdwasser in Entwässerungsnetzen ist definitionsgemäß stets ein unerwünschter Abfluss. Um in der Praxis sinnvoll anzuwendende Sanierungsstrategien für fremdwasserinduzierte Probleme erarbeiten zu können, sind Kenntnisse über die Herkunft und die maßgeblichen Ursachen solcher Abwasserströme erforderlich. Sobald die entscheidenden Gründe für das Auftreten von Fremdwasser in Kanalisationssystemen bekannt sind, lassen sich gezielt Strategien entwickeln, um dem unerwünschten Eindringen entgegenzuwirken. Fremdwasserabflüsse können reduziert und in Einzelfällen sogar vollständig verhindert werden, indem geeignete Sanierungsmaßnahmen ergriffen werden. Insofern liegt die Ermittlung der Herkunft und der Ursachen vorhandener Fremdwasserabflüsse im unmittelbaren Interesse von Planern und Betreibern in der Siedlungswasserwirtschaft.

Ein Fremdwasserstrom, welcher selbst bereits aus mehreren unterschiedlichen Bestandteilen zusammengesetzt sein kann, lässt sich in der Praxis meist nur nach der Vermischung mit Schmutz- und Regenwasserkomponenten als Gesamtabfluss messen. Die Identifikation und quantitative Bestimmung einzelner Fremdwasserabflüsse unterschiedlicher Herkunft aus dem Gesamtabfluss ist in der Regel nicht möglich. Außerdem sind je nach Art des betrachteten Kanalsystems verschiedenartige Wasserströme planmäßig abzuleiten. Dies führt dazu, dass in den Kanalsträngen teilweise voneinander abweichende Ursachen für Fremdwasser bestehen.

Die wichtigsten Ursachen sind, unterteilt nach Schmutz-, Regen- und Mischwasserkanälen, in Anlehnung an das Arbeitsblatt ATV A 118 (1999) in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2: Herkunftsbereiche von Fremdwasser nach ATV A 118 (1999)

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

MW: Mischwasserkanal, SW: Schmutzwasserkanal, RW: Regenwasserkanal

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.

Einen alternativen Ansatz für die Einteilung potentieller Fremdwasserursachen wählt Renner (1999). Er unterscheidet Fremdwasser nach seiner Herkunft in zwei Hauptkategorien, das grundwasserbedingte und das niederschlagsbedingte Fremdwasser.

- Grundwasserbedingtes Fremdwasser in Mischwasserkanälen und in Schmutzwasserkanälen von Trennsystemen umfasst sowohl das durch Undichtigkeiten in den Kanal eindringende Wasser, als auch Drainagewasser. Es fließt nahezu kontinuierlich über längere Zeiträume und wird durch die Höhe des Grundwasserstandes beeinflusst sowie durch Fließvorgänge im Boden bestimmt. Insbesondere dauerhaft unter dem Grundwasserpegel liegende Drainagen können einen erheblichen Fremdwasseranfall zur Folge haben (Barth und Griem, 1998). Den privaten Hausanschlussleitungen kommt dabei eine besondere Rolle zu: Erstens sind sie, anders als das öffentliche Kanalnetz, kaum überwacht und werden oft in Eigenleistung erstellt, so dass in der Praxis relativ häufig mangelhafte Bauausführungen anzutreffen sind (vgl. Institut für unterirdische Infrastruktur, 2001c; Berger und Wittner, 2002). Zweitens sind daran in vielen Fällen Gebäudedrainagen angeschlossen, was teilweise

sogar durch die Entwässerungssatzung geboten wurde und gelegentlich noch immer wird. Schmutzwasserkanäle in Trennsystemen liegen in der Regel tiefer als Regenwasserkanäle und verlocken dadurch zu Fehlanschlüssen. Dies geschieht bewusst oder in Unkenntnis. In der Folge ist auch hier Drainagewasser anzutreffen.

- Niederschlagsbedingtes Fremdwasser ist solches, das unmittelbar nach Regenereignissen auftritt, dann aber häufig mit großen Abflüssen. Hierzu gehört Wasser, das über Fehlanschlüsse von Dachflächen und Straßenentwässerungen in Schmutzwasserkanäle im Trennsystem gelangt. Auch über Schachtdächer können erhebliche Wassermengen eindringen, zum Beispiel wenn die Schächte an Geländetiefpunkten liegen und so unerwünscht der umliegenden Fläche als Entwässerung dienen, vgl. Nebauer (2000) und Kölsch (2002). In Mischkanalisationen sowie in Regenkanälen von Trennsystemen wird Niederschlagswasser planmäßig abgeleitet, deshalb zählt es dort nicht zum Fremdwasser. Auch hier können jedoch unerwünscht Oberflächenabflüsse von Außengebieten, beispielsweise über Straßeneinläufe, eindringen. Außerdem gibt es eine „Grauzone“ zum grundwasserbedingten Fremdwasser, etwa in Form von Anschlüssen oberflächennaher Quellen, deren Abflüsse sehr schnell auf Regenereignisse reagieren.

2.3 Auswirkungen von Fremdwasser

Sobald Fremdwasser in ein Entwässerungsnetz eingedrungen ist und den Gesamtabfluss erhöht, führen die zusätzlichen, unerwünschten Abflüsse zu Konsequenzen für den Betrieb und die Funktionsfähigkeit von siedlungswasserwirtschaftlichen Anlagen. Während die Auswirkungen bei Regenwetter aufgrund der ungleich höheren Niederschlagsabflüsse teilweise vernachlässigt werden können, ergeben sich bei Trockenwetter prinzipiell Effekte, die zu berücksichtigen sind.

In Mischwasserkanälen beziehungsweise in Schmutzwasserkanälen von Trennsystemen kann starker Fremdwasserandrang den Trockenwetterabfluss beträchtlich erhöhen. Die Erhöhung kann für längere Zeiträume von beispielsweise mehreren Wochen anhalten (Fränkische Nachrichten, 2003). Kurzzeitige Spitzenabflüsse bei Regen liegen quantitativ eine Größenordnung darüber.

Fremdwasser „verdünnt“ den Trockenwetterabfluss. Wie Kamerabefahrungen belegen, erscheint das in den Abwasserkanal eintretende Fremdwasser häufig „glasklar“. Unter ungünstigen Umständen können aber auch Bodenfraktionen ausgewaschen und in den Kanal eingetragen werden (Decker, 1997).

Das in einen Kanalstrang eintretende Fremdwasser besitzt häufig eine niedrigere Temperatur als der restliche Schmutzwasserstrom, das Abwasser wird durch die Vermischung tendenziell kühler (Kroiß und Prendl, 1996). Innerhalb der in der Siedlungswasserwirtschaft üblichen Temperaturbereiche steigt die Reaktionsgeschwindigkeit mikrobiologischer Prozesse jedoch mit höheren Temperaturen (Schmitt, 1994). Die Effektivität biologischer Abwasserreinigungsprozesse wird somit durch Fremdwasser in der Regel vermindert.

Ergänzend zu diesen grundsätzlichen Auswirkungen sind nachfolgend die potentiellen Effekte großer Fremdwasserabflüsse auf verschiedene Bauwerke der Siedlungswasserwirtschaft beschrieben.

2.3.1 Kanalstränge

Ein historisches Argument pro Fremdwasser ist die Spülwirkung in Kanälen. Dieser Effekt ist insbesondere in den Anfangshaltungen von Schmutz- und Mischwasserkanalisationen begehrt, weil dort sehr kleine Schmutzwasserabflüsse in Rohren zum Abfluss kommen, deren konstruktiv notwendiger Mindestdurchmesser im Vergleich zum Abfluss relativ groß ist. Zudem fallen die kleinen Abflüsse diskontinuierlich an, was die Gefahr von Ablagerungen tendenziell erhöht. Lautrich (1972) führt jedoch bereits im Jahre 1972 aus, dass die erwünschte Spülwirkung meist erst in den Hauptsammlern und noch nicht in den Anfangshaltungen erzielt wird. Insofern darf aus heutiger Sicht der positive Effekt „Spülwirkung“ im Regelfall nicht angesetzt werden.

Unter ungünstigen Randbedingungen besteht die Gefahr, dass durch starken Fremdwasserzutritt Bodenpartikel ausgewaschen und in den Kanal eingetragen werden. Die Partikel können mit organischen Abwasserkomponenten Stoffgemische mit starker Kohäsion bilden und anschließend im Kanal sedimentieren. Diese Tendenz wird nicht immer durch die Spülwirkung in Folge erhöhten Abflusses kompensiert. Nach Decker (1997) bewirken Bodeneinspülungen außerhalb des Kanals eine Veränderung des Korngefüges, was eine Verschlechterung der Bettungsbedingungen hervorrufen und sogar zu Hohlraumbildungen führen kann. Die Standsicherheit von Kanälen ist gegebenenfalls gefährdet.

Schmutzwasserkanäle in Trennsystemen werden auf maximal abzuleitende Trockenwetterabflüsse dimensioniert. Unerwartet starker Fremdwasserandrang kann zu hydraulischen Überlastungen führen. Entsprechende Berichte finden sich bei Michalska und Pecher (2000) und insbesondere zahlreich in den vorwiegend trennentwässerten USA, beispielsweise bei Hegwald (2001) und Wade (2000). Falls sich das

Abwasser rückt, sind Auswirkungen bis zu den angeschlossenen Gebäuden möglich.

Der Betrieb von Misch- und Regenwasserkanälen wird durch Fremdwasser normalerweise nicht tangiert. Die Kanalstränge werden auf maximal zu erwartende Abflüsse während starker Niederschlagsereignisse dimensioniert. Diese liegen um einige Größenordnungen über den Trockenwetterabflüssen (in RW-Kanälen sollte bei Trockenwetter gar kein Abfluss auftreten), selbst wenn darin große Fremdwassermengen enthalten sind. Bei Trockenwetter stehen deshalb in Misch- und Regenwasserkanälen hinsichtlich der Transportkapazität stets genügend Reserven zur Verfügung.

2.3.2 Pumpwerke

Im Zulauf von Pumpwerken ist bei starkem Fremdwasserandrang signifikant mehr Abwasser zu transportieren. Daraus ergibt sich unmittelbar ein steigender Energiebedarf. Der Anstieg von Betriebskosten ist insbesondere bei Hebewerken spürbar, die kontinuierlich große Trockenwetterabflüsse fördern. Darüber hinaus nehmen die Schalthäufigkeiten der Pumpen zu. Die Folgen werden in einem beschleunigten Verschleiß der Anlagen sowie in kürzeren Wartungs- und Reparaturintervallen sichtbar (Fuchs et al., 2001).

In Trennsystemen werden häufig Schmutzwasserpumpwerke angeordnet, um Höhendifferenzen zu überwinden. Dabei ist stets der gesamte Abfluss zu heben. Weil sich die maximale Pumpkapazität grundsätzlich am zu erwartenden Trockenwetterabfluss orientiert, kann „zu viel“ Fremdwasser hydraulische Überlastungen hervorrufen. Solche Überlastungen sind tendenziell auch in Mischsystemen zu befürchten, wenn Pumpwerke als Abflussbegrenzer eingesetzt werden. Pumpwerke an Regenüberlaufbecken werden beispielsweise mit Notüberläufen versehen, so dass im Falle einer hydraulischen Überlastung oder eines Pumpenausfalls mit Fremdwasser verdünntes Schmutzwasser direkt in das Gewässer gelangen kann (Nebauer, 2000). Insbesondere für kleinere, sensible Vorfluter bedeuten derartige Einleitungen unter Umständen erhebliche hydraulische und stoffliche Belastungen (vgl. Kapitel 7.3.2).

2.3.3 Bauwerke zur Regenwasserbehandlung

In Anlagen zur Regenwasserbehandlung entstehen durch „zu viel“ Fremdwasser meist Auswirkungen, die im Hinblick auf einen wirksamen Gewässerschutz nicht vernachlässigt werden dürfen. In Abhängigkeit der Wetterbedingungen sind unterschiedliche Effekte zu beobachten.

Die Drosselleistungen von Regenüberlaufbecken RÜB im Mischsystem werden gemäß den einschlägigen Regelwerken ATV A 128 (1992), ATV-DVWK-M 177 (2001)

und ATV-DVWK A 131 (2000) auf die zweifache Schmutzwasserspitze plus Fremdwasserabfluss, $2 Q_{sx} + Q_{f24}$, dimensioniert. Falls der tatsächliche Abfluss infolge Fremdwasser erheblich über der rechnerisch angesetzten Menge liegt, besteht die Gefahr, dass sich einzelne Becken auch bei Trockenwetter einstauen. In besonders ungünstigen Fällen können Vorfluter trotz Trockenwetterbedingungen durch lang anhaltende Entlastungen des Fremdwasser-Schmutzwasser-Gemisches belastet werden (Idar Oberstein, 2002).

Bei Regenwetter gelangt aufgrund hoher Fremdwasserabflüsse im Kanal wesentlich weniger Niederschlagswasser zur Kläranlage. Vor dem Hintergrund einer Emissionsbetrachtung erscheint jedoch bedeutsamer, dass sich stark fremdwasserbehaftete Becken nach Regenende deutlich langsamer entleeren, als sie es bei korrektem Ansatz des Fremdwassers – und damit größeren Drosselabflüssen – tun würden. Nachfolgende Regen treffen häufig auf noch teilweise gefüllte Becken. Das verfügbare Retentionsvolumen der Bauwerke ist geringer als geplant, die Reinigungsleistung entsprechend reduziert. Insgesamt erhöht sich durch starken Fremdwasserandrang die Dauer, während der Mischwasser in die Vorfluter abgeschlagen wird. In Extremfällen werden Regenbecken in Perioden mit hohem Fremdwasseranfall über Zeitspannen von einigen Wochen nicht mehr vollständig leer (Fränkische Nachrichten, 2003).

Verhalten sich Bauwerke zur Regenwasserbehandlung wie beschrieben, dann können sie ihren Retentions- und Reinigungsaufgaben nur noch unzureichend oder gar nicht mehr nachkommen. Die angestrebte Wirkung im Hinblick auf den Gewässerschutz wird nicht erzielt. Insbesondere kleine, sensible Vorfluter mit geringen Abflüssen und empfindlicher Biozönose können durch lang anhaltende, kontinuierliche Einleitungen stark fremdwasserbehafteter Becken nachhaltig belastet werden (vgl. Kapitel 7.3.2). Dabei sind nicht nur hydraulische Aspekte, sondern auch der stoffliche Eintrag in Vorfluter zu berücksichtigen (z. B. Fuchs et al., 2003).

Regenüberläufe im Mischsystem werden wegen der großen Drosselabflüsse gewöhnlich nicht in ihrer Funktionsfähigkeit beeinträchtigt (Decker 1998). Wegen der vergleichsweise hohen Regenwasserabflüsse lässt sich in der Regel auch der Einfluss von Fremdwasser auf Regenrückhaltebecken vernachlässigen. Bei Regenklärbecken in Trennsystemen ist zu unterscheiden, ob die Becken im Dauerstau betrieben werden. Gemäß dem aktuellen Entwurf des Handbuchs zur Ableitung und Behandlung von Straßenoberflächenwasser (2002) werden Regenklärbecken mit Dauerstau bisher bevorzugt eingesetzt, obwohl sie mehrere Nachteile besitzen. Beispielsweise bleibt bei dieser Betriebsart der sedimentierte Schlamm bis zur gelegentlichen Reinigung auf der Sohle liegen. Anaerobe Verhältnisse können dort zu Rücklösungsprozessen der an die abgesetzten Partikel gebundenen Stoffe (z. B. Metalle)

führen. Die gelösten Schadstoffe können anschließend bei einem erneuten Regenereignis nicht zurückgehalten werden. Die Autoren des Handbuches raten deshalb zu Regenklärbecken ohne Dauerstau, die nach jedem Niederschlagsereignis entleert werden. Das Handbuch empfiehlt, die Entleerung innerhalb von 24 Stunden nach Regenende einzuleiten, wenn sich ein konstanter Wasserstand eingestellt hat. Dann werden die sedimentierten Stoffe durch Rührwerke gezielt aufgewirbelt und der Kläranlage zugeführt. Dieses Vorgehen setzt allerdings voraus, dass sich nach jedem Ereignis ein konstanter Wasserstand einstellt. Lang anhaltende Fremdwasserzuflüsse verändern jedoch permanent den Wasserstand im Becken. Sie verhindern somit die regelgerechte Entleerung und können den Betrieb von Regenklärbecken ohne Dauerstau empfindlich stören.

2.3.4 Retentionsbodenfilter zur Regenwasserbehandlung

Unabdingbare Voraussetzung für den reibungslosen Betrieb eines Retentionsbodenfilters zur Regen- beziehungsweise Mischwasserbehandlung ist die Vorschaltung einer mechanischen Reinigungsstufe, beispielsweise eines Regenüberlaufbeckens RÜB oder eines Stauraumkanals. Das grundsätzliche Wirkungsprinzip von Retentionsbodenfiltern ist in einer Broschüre der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2002) ausführlich beschrieben. Es besteht im Wesentlichen darin, dass von der Vorstufe, in der Regel einem Regenüberlaufbecken, entlastetes Mischwasser in den Zulauf der Bodenfilteranlage gelangt und dort eine weitergehende, mechanische und biologische Reinigung erfährt. Aus Sicht des Filters reguliert beziehungsweise limitiert die mechanische Vorstufe die hydraulische sowie die stoffliche Beaufschlagung auf ein sinnvolles Maß.

Bei lang anhaltenden, unerwartet hohen Fremdwasserabflüssen im Kanal verhält sich die Vorstufe wie in Kapitel 2.3.3 beschrieben. Das Bauwerk entlastet weitaus häufiger und über längere Zeiträume als geplant. Das wirkt sich unmittelbar auf die Zuflusscharakteristik des nachgeschalteten Bodenfilters aus. Anstelle der vorgesehenen stoßweisen, regenereignisbezogenen Beschickung, stellt sich über längere Phasen ein quasi-kontinuierlicher Zulauf ein. Der Filter bleibt während dieser Zeitspanne stets mit Mischwasser eingestaut. Das führt zwangsläufig zu erheblichen betrieblichen Problemen, weil Retentionsbodenfilter obligat intermittierend beschickt werden müssen (Uhl, 2001). Geraten die Abstände zwischen dem notwendigen Trockenfallen und damit einhergehend den Belüftungsphasen mit Sauerstoff zu lange, vermindert sich zunächst die Reinigungsleistung der Anlage. Ein Dauereinstau ist in Abhängigkeit der Zulaufbelastung mit erheblichen Leistungseinbußen verbunden (Ministerium für Umwelt- und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2003). Bei besonders lang anhaltendem Einstau besteht darüber hinaus das Risiko einer Kolmation des Filterkörpers. Die Selbstabdichtung durch fortschreitende Ver-

engung der Poren erschwert die Flächenfiltration. Die Bauwerke können ihren Retentions- und Reinigungsaufgaben nur noch unzureichend nachkommen. Nach dem Handbuch „Bodenfilter“ des Ministeriums für Umwelt- und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2003) können sehr lange Einstaudauern zum vollständigen Versagen des Filters führen. Kostenintensive Sanierungsmaßnahmen sind dann meist unumgänglich.

2.3.5 Kommunale Kläranlagen

Auf einer kommunalen Kläranlage bewirkt Fremdwasser grundsätzlich eine Erhöhung des Zuflusses. Diese Erhöhung kann bei Regenwetter im Mischsystem vernachlässigt werden, weil dann ohnehin die über eine Drossel festgelegte maximale Zulaufmenge zur Kläranlage gelangt. Darin ist gegebenenfalls prozentual etwas weniger Niederschlagswasser und etwas mehr Fremdwasser enthalten. Das Betriebsverhalten der Kläranlage wird dadurch in der Regel nicht wesentlich beeinträchtigt.

In Trennsystemen und bei Trockenwetter in Mischsystemen steigt die auf Kläranlagen zu behandelnde Abwassermenge proportional zum Fremdwasserabfluss. Gleichzeitig vermindern sich die Schmutzkonzentrationen im Zulauf und meist auch die Abwassertemperatur (Kroiß und Prendl, 1996). Fremdwasser ist aufgrund seiner Herkunft meist kälter als Schmutzwasser. Dies wirkt sich ungünstig auf die Reinigungsleistung aus, weil die Wachstumsraten der Mikroorganismen sich mit sinkender Temperatur verringern. Ohne den Einfluss der Konzentrationsverringerung zu berücksichtigen steigt die Ablaufkonzentration eines biologisch abbaubaren Stoffes nach Kroiß und Prendl (1996) allein durch eine Temperaturminderung von 15°C auf 10°C um den Faktor 2,75.

Ein starker Fremdwasserandrang verändert die täglich zur Kläranlage gelangende Schmutzfracht im Regelfall nicht. Die intensive Verdünnung des Schmutzwassers mit gering verschmutztem Fremdwasser zieht allerdings unter Umständen ein beträchtliches Absinken des Frachtwirkungsgrades nach sich. Zeitweise weisen stark fremdwasserbehaftete Trockenwetterabflüsse derart geringe Schmutzkonzentrationen auf, dass die Reinigung in einer Kläranlage für einige Abwasserparameter gar nicht notwendig wäre (Haller, 2002).

Im Ablauf von Kläranlagen mit „viel“ Fremdwasser erhöht sich die emittierte Stofffracht, weil die erreichbaren Ablaufkonzentrationen im Vergleich zu unverdünntem Abwasser nahezu konstant bleiben, die Gesamtabflussmenge aber ansteigt. Im Rahmen der Eigenkontrolle fallen derartige Kläranlagen bislang selten auf, weil ausschließlich die erzielten Ablaufkonzentrationen beurteilt werden. Die erforderlichen

Ablaufwerte werden jedoch im Wesentlichen durch (unzulässige) Verdünnungs- und Vermischungseffekte erreicht (vgl. Kapitel 2.5).

Die Richtlinie der Europäischen Union über die Behandlung von kommunalem Abwasser 91/271/EWG (1998) bewertet die Qualität der Reinigungsleistung einer Kläranlage nicht anhand von Ablaufkonzentrationen. Stattdessen erfolgt die qualitative Einstufung über realisierte Frachtwirkungsgrade. Dieses Bewertungskriterium führt dazu, dass Fremdwasserabflüsse für die Betreiber von Kläranlagen sehr bedeutsam werden. Anlagen mit viel Fremdwasser erreichen durch Verdünnungseffekte problemlos niedrige Ablaufkonzentrationen, können geforderte Frachtwirkungsgrade, für den CSB liegt ein solcher nach der genannten Richtlinie z. B. bei 75 %, jedoch nur selten einhalten. Die Frachtreduktion ist somit ein geeigneter Indikator, um die tatsächliche Reinigungsleistung von Kläranlagen - insbesondere unter Berücksichtigung der Fremdwassersituation - zu beurteilen.

Bei intensiver Fremdwasserbelastung einer Kläranlage ist darüber hinaus zu vermuten, dass die Bauwerke zur Regenwasserbehandlung im zugehörigen Kanalnetz ebenso starke unerwünschte Zuflüsse aufweisen. Daraus resultieren potentiell ausgeprägte hydraulische und stoffliche Beeinträchtigungen der Vorflutqualität. Somit erscheinen einzuhaltende Grenzwerte für Frachtwirkungsgrade als Alternative zu Ablaufkonzentrationen auch im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung von Einzugsgebieten (Europäische Gemeinschaft, 2000) und der aus ihnen emittierten Schmutzfracht sinnvoll. Von Seiten der Gesetzgebung zeichnen sich zunehmend Tendenzen ab, künftig die qualitative Bewertung siedlungswasserwirtschaftlicher Anlagen über tatsächlich erreichte Reinigungsgrade vorzunehmen. Beispielsweise basiert der Kläranlagen-Leistungsvergleich in Baden-Württemberg neuerdings auf prozentualen Abbaugraden von Verschmutzungsparametern (ATV-DVWK-Leistungsvergleich, 2003). Auch in Österreich arbeitet ein aktueller Entwurf zur Begrenzung von Emissionen aus Mischwasserentlastungen (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, 2000) mit Mindestwirkungsgraden.

Die detaillierte Darstellung der vielfältigen Einflüsse und Auswirkungen hoher Fremdwasserabflüsse auf die mechanischen und biologischen Reinigungsvorgänge innerhalb kommunaler Abwasserreinigungsanlagen kann nicht Bestandteil der vorliegenden Arbeit sein. Grundsätzlich ist der Effekt von Fremdwasser auf mechanische Reinigungsvorgänge vergleichsweise gering. Es kann sogar zu positiven Auswirkungen kommen, weil Fremdwasser den Tagesgang des Zulaufes vergleichmäßig und Schmutzstöße dämpft (Dittmer et al., 2001). Bei der biologischen Reinigung sind die erzielbaren Ablaufkonzentrationen im Wesentlichen von den Wachstumsraten (reziprokes Schlammalter) abhängig. Veränderungen der Zulaufkonzentration wirken sich nur geringfügig auf die erreichbaren Ablaufwerte aus. In ähnlicher Weise verhält es

sich mit der chemischen Phosphorfällung, bei der über die Fällmittelzugabe unmittelbar die erreichbaren Ablaufkonzentrationen gesteuert werden. Umfassende Ausführungen sowie Simulationsrechnungen zu den Auswirkungen von Fremdwasserabflüssen auf die Reinigungsleistungen der verschiedenen Stufen einer mechanisch-biologischen Kläranlage finden sich bei Decker (1998).

2.4 Bisherige Berücksichtigung des Fremdwassers in der Planungspraxis

Nach ATV A 128 (1992) ist bei Planungen für bestehende Entwässerungssysteme der Fremdwasseranfall ebenso wie der Schmutzwasseranfall in realistischer Größenordnung und unter Berücksichtigung der zukünftigen Entwicklung zu ermitteln. Weiterhin empfiehlt die Richtlinie „alle Möglichkeiten zur Minderung des Fremdwassers auszuschöpfen“. Diese Forderung erscheint sinnvoll, weil die Bestimmungsmethode für das erforderliche Regenbeckenvolumen nach ATV A 128 (1992) sehr empfindlich auf Fremdwasser reagiert und hohe Fremdwasseranteile mit größeren Volumina „bestraft“, vgl. Umwelt- und Fluid-Technik GmbH UFT (1998) und Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2001). Auch ATV A 118 (1999) verlangt für Kanalnetzrechnungen „ortsspezifisch“ anzusetzende Fremdwasserspendsen. Das Arbeitsblatt empfiehlt, Abflussmessungen über ausreichend lange Zeiträume und zu unterschiedlichen Jahreszeiten durchzuführen. Weiterführende Hinweise, wie die anzusetzenden Fremdwasserspendsen exakt zu ermitteln sind, finden sich nicht.

Die sorgfältige Ermittlung des Fremdwassers im Zuge siedlungswasserwirtschaftlicher Planungsvorhaben war in der Vergangenheit eher die Ausnahme als die Regel (Fuchs et al., 2001). Bestenfalls wurden die aus der Abwasserabgabeerklärung ermittelten Fremdwassermengen zur Kenntnis genommen. In den meisten Fällen dürften Pauschalwerte für die Fremdwasserspense q_f angesetzt worden sein, wie sie auch heute noch in verschiedenen ATV-Arbeitsblättern erwähnt sind (Tabelle 3). Der Vollständigkeit halber sind in der Tabelle nicht nur die Zahlenwerte aus den aktuell gültigen Richtlinien, sondern auch diejenigen aus älteren Ausgaben der Arbeitsblätter angegeben. Nach ihnen ist eine Vielzahl der heute bestehenden Kanalnetze dimensioniert.

Das aktuelle ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 198 (2003) weist darauf hin, dass der Fremdwasserabfluss infolge der Beeinflussung durch das Jahresniederschlagsgeschehen einem Jahresgang (Schwankungen) unterworfen ist. Bei ausgeprägtem Jahresgang des Fremdwasserabflusses wird die Empfehlung ausgesprochen, den maximalen Fremdwasserabfluss als Monatsmittel $Q_{F,mM,max}$ zu ermitteln. Zudem sei ein ATV-DVWK-Merkblatt, welches sich mit der Ermittlung des Fremdwasserabflusses

ses befasst, in Bearbeitung. Laut einem aktuellen Bericht der ATV-DVWK Arbeitsgruppe „Leitideen und Grundsätze für den Umgang mit Regenwasser“ ES-4.5 (2003) wird dem Fehlen von Lösungsansätzen zur Fremdwasserproblematik zwischenzeitlich Rechnung getragen, die Arbeitsgruppe ES-1.3 „Fremdwasser“ erarbeite derzeit ein entsprechendes Arbeitsblatt.

Tabelle 3: Empfohlene Pauschalwerte für Fremdwasserspenden nach verschiedenen ATV-Arbeitsblättern

Arbeitsblatt	Kanalart	empfohlener Fremdwasser-ansatz	bezogen auf die Fläche
Aktuelle Richtlinien:			
ATV A 118 (1999)	Mischwasserkanal	$q_f = 0,05 \text{ bis } 0,15 \text{ } \ell / (\text{s} \cdot \text{ha})$	Gesamtfläche $A_{E,K}$
	Schmutzwasserkanal	q_f wie oben, zusätzlich 0,2 bis 0,7 $\ell / (\text{s} \cdot \text{ha})$ (unvermeidbarer Regenabfluss)	Gesamtfläche $A_{E,K}$
	Schmutzwasserkanal (alternativ)	$Q_f = (0,1 \dots 1,0) \cdot Q_{sx}$	Vielfaches des Schmutzwasserabflusses
ATV A 128 (1992)	Mischwasserkanal	falls keine Messungen vorliegen, bis zu $q_f = 0,15 \text{ } \ell / (\text{s} \cdot \text{ha})$	undurchlässige Fläche A_U
Ältere Richtlinien:			
ATV A 118 (1977)	Schmutzwasserkanal	$Q_f = 1,0 \cdot Q_{sx}$	Vielfaches des Schmutzwasserabflusses
ATV A 128 (1977)	Mischwasserkanal	$q_f = 0,05 \text{ bis } 0,15 \text{ } \ell / (\text{s} \cdot \text{ha})$	Gesamtfläche $A_{E,K}$

2.5 Fremdwasser und Abwasserabgabe

Sämtliche Kläranlagen sind nach dem Abwasserabgabengesetz (2001) in Deutschland zur Ermittlung und Meldung eines mittleren jährlichen Fremdwasseranteiles verpflichtet. Die dazu üblicherweise eingesetzten Verfahren sind die Jahresschmutzwasser-Methode (Kapitel 3.1) und die Nachtmessungsmethode (Kapitel 3.2). Zur Berechnung der Abwasserabgabe ziehen beide ausschließlich den Jahresmittelwert heran.

Grundsätzlich erhöht Fremdwasser das jährliche Abwasservolumen einer Kläranlage und damit auch die zu entrichtende -abgabe. Im Rahmen der Selbstüberwachung von Kläranlagen wird die Quantität des Fremdwassers über den durchschnittlichen Fremdwasseranteil FWA angegeben. Dabei sind in den Richtlinien nur selten konkrete Hinweise zu finden, ab welcher Fremdwassermenge eine Reduzierung anzustreben ist. Eine Ermäßigung der Abwasserabgabe entfällt grundsätzlich nach § 9 Abs. 5 Satz 1 Nr. 2 Abwasserabgabengesetz (2001), wenn die einzuhaltenden Anforderungen nur entgegen dem Stand der Technik durch Verdünnung und Vermischung erreicht werden. Wann ein solcher Tatbestand vorliegt, ist in den 16 Ländern der Bundesrepublik Deutschland allerdings sehr unterschiedlich geregelt. Nach dem zuletzt veröffentlichten Zwischenbericht der ATV-DVWK Arbeitsgruppe „Fremdwasser“ ES 1.3 (2003) verfügen in diesem Zusammenhang acht Länder über explizite Regelungen. Die einzelnen Landesvorschriften sind im genannten Zwischenbericht aufgeführt.

Im baden-württembergischen Landeswassergesetz ist festgeschrieben, dass eine Verdünnung und Vermischung nach § 9 Abs. 5 Satz 1 Nr. 2 AbwAG nur dann vernachlässigt werden kann, wenn der Fremdwasseranteil im Jahresmittel unter 50 % (das entspricht 100 % Fremdwasserzuschlag) bleibt. Melden die Betreiber von Kläranlagen höhere Werte, dann verlieren sie den Anspruch auf eine Reduzierung der Abwasserabgabe und müssen somit erhebliche finanzielle Mehrbelastungen hinnehmen, vgl. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2002b). Erwähnenswert erscheint, dass sämtliche in den Ländergesetzen genannten Grenzwerte auf dem Jahresmittel des Fremdwasseranteils basieren. Jahreszeitliche Schwankungen werden nicht berücksichtigt, obwohl beispielsweise die Richtlinien zur „Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen“ ATV-DVWK A 198 (2003) deren Bedeutung für die ordnungsgemäße Funktion von Abwasseranlagen und die Belastung der Gewässer hervorheben.

Die Abwasserabgabe für Schmutzwasser lässt sich nach dem „Leitfaden Abwasserabgabe“ der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2002b) vollständig mit Aufwendungen zur Reduzierung des Verdünnungs- und Vermischungsanteils, also des Fremdwassers, verrechnen. In diesem Sinne ist es beispielsweise zulässig, Kosten für Maßnahmen zur Fernhaltung von Grund- und Oberflächenwasser (Quellen, Drainagewasser) oder zur Sanierung von undichten Schmutz- und Mischwasserkanälen geltend zu machen. Dabei ist im Gegensatz zur Verrechnung mit Investitionen in der Schmutzwasserbehandlung kein Erfolgsnachweis vorgesehen. Eine Kontrolle, inwiefern durchgeführte Maßnahmen zu einer Verbesserung der Fremdwassersituation führen, wird nicht verlangt.

3 Methoden zur Ermittlung von Fremdwasser

Die Ermittlung von Fremdwasserabflüssen in der Siedlungsentwässerung ist grundsätzlich schwierig. Überdies sind die Ergebnisse mit vergleichsweise hohen Unsicherheiten hinsichtlich der Genauigkeit behaftet. Woran liegt das? Fremdwasserkomponenten vermischen sich im Kanal unmittelbar mit dem restlichen Abfluss und können deshalb nur gemeinsam mit diesem gemessen werden. Der Fremdwasserabfluss lässt sich deshalb in der Regel ausschließlich über eine Subtraktionsrechnung bestimmen. Bei Abwesenheit von Niederschlagskomponenten wird der Gesamtabfluss an einer beliebigen Messstelle um die an diesem Ort zu erwartende Schmutzwassermenge reduziert. Der rechnerisch verbleibende Abfluss besteht definitionsgemäß aus Fremdwasser.

Der zu erwartende Schmutzwasserabfluss lässt sich verhältnismäßig einfach und mit guter Genauigkeit ermitteln. Das Produkt aus angeschlossener Einwohnerzahl und spezifischem Schmutzwasseranfall ergibt den häuslichen Schmutzwasserabfluss. Gegebenenfalls vorhandene gewerbliche und industrielle Abflüsse müssen hinzu addiert werden. Dabei sind starke Schwankungen innerhalb einer Woche (Arbeitstage – Wochenende) zu beachten. Außerdem können in touristisch geprägten Regionen oder in kleinen Gemeinden während der Urlaubszeiten zeitweise signifikante Änderungen der täglich zu erwartenden Schmutzwassermenge auftreten. Diese sind ebenfalls zu berücksichtigen.

Die quantitative Bestimmung von Regenwasser in Kanalisationssystemen ist zwangsläufig sehr ungenau, weil viele unbekannte Faktoren bei der Abflussbildung von Niederschlag beteiligt sind (Bezirksregierung Braunschweig, 2003). Bei entsprechenden Wetterbedingungen müsste neben dem Schmutzwasser auch Niederschlagswasser vom Gesamtabfluss abgezogen werden. Da dieser Anteil jedoch nicht mit ausreichender Genauigkeit quantifizierbar ist, sind die Verfahren zur Fremdwasserbestimmung in ihrer Anwendung grundsätzlich auf Trockenwettertage beschränkt.

Die Methoden zur Ermittlung der Fremdwassermenge sind weder genormt noch im Regelwerk der ATV exakt beschrieben. Die Wahl der Methode hat jedoch grundsätzlich erheblichen Einfluss auf die erzielbaren Ergebnisse. Einerseits bestimmt das gewählte Verfahren die erreichbare Genauigkeit, andererseits liefern die einzelnen Verfahren grundlegend unterschiedliche Arten von Resultaten. Teilweise werden aus einigen wenigen Messwerten Monats- oder Jahresmittelwerte errechnet, teilweise werden tägliche Abflusswerte ausgewertet und zur Bestimmung von Fremdwasserangablinien benutzt. Insofern lassen sich in Abhängigkeit der Verfahren verschiedenartige Erkenntnisse gewinnen.

Die jährliche Meldung des mittleren Fremdwasseranteiles in der Abwasserabgabeklärung muss in Baden-Württemberg mit der Jahresschmutzwasser- oder mit der Nachmessungsmethode erfolgen. Das Formblatt der ATV-DVWK Landesgruppe Baden-Württemberg zur Fremdwasserermittlung und Bewertung für Kläranlagen mit automatischer Durchflussmeseinrichtung findet sich im Anhang 1. Darüber hinaus werden in der Praxis weitere Methoden angewandt, die im Folgenden kurz vorgestellt und unter verschiedenen Aspekten bewertet werden.

3.1 Jahresschmutzwasser-Methode

Die einfachste Methode zur Fremdwasserbestimmung ermittelt das Fremdwasser aus der Differenz der so genannten Jahresschmutzwassermenge JSM und dem aus dem Trinkwasserverbrauch ermittelten Schmutzwasserabfluss. Die JSM ist in Mischsystemen die bei Trockenwetter zum Abfluss kommende Wassermenge. Die Bezeichnung „Jahresschmutzwassermenge“ ist irreführend, weil neben dem Schmutzwasser auch das Fremdwasser enthalten ist. Das Verfahren benötigt die Tagesabflussmengen und den zugehörigen Wetterschlüssel aus dem Betriebstagebuch der Kläranlage, um Trockenwettertage zu identifizieren. Die Addition der entsprechenden Abflüsse ergibt die Jahresschmutzwassermenge. Der Fremdwasserzuschlag für ein Jahr errechnet sich aus der JSM, dem spezifischen Schmutzwasseranfall w_s und der Einwohnerzahl EZ zu

$$FWZ = \frac{JSM - (EZ \cdot w_s \cdot 365)}{EZ \cdot w_s \cdot 365}.$$

Die Jahresschmutzwasser-Methode funktioniert ausschließlich bei Trockenwetter. Grundsätzlich ließe sich mit ihr eine die Saisonalität widerspiegelnde Ganglinie erzeugen, wenn jeder Trockenwettertag ausgewertet würde. Dies ist in der Praxis nicht üblich. An Nicht-Trockenwettertagen würde die Ganglinie Fehlstellen aufweisen, wäre also mathematisch eine nicht stetige Funktion.

Die Hauptfehlerquelle der Jahresschmutzwasser-Methode liegt in der Abhängigkeit vom subjektiv auf der Kläranlage einzutragenden Wetterschlüssel. Zwar sind „Regen“ oder „Gewitter“ relativ einfach festzustellen, ob ein erhöhter Zufluss im Frühjahr als Ursache „Schneesmelze“, „Regennachlauf“ oder Fremdwasser hat, ist allerdings schwer zu entscheiden. Außerdem ist nicht festgelegt, über welche Zeitspannen regenbedingter Nachlauf anhalten kann. Insbesondere zur Frage der zulässigen Anzahl von Regennachlaufftagen hat das Land Baden-Württemberg in seinem Leitfa-den zur Abwasserabgabe (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 2002b) unmissverständliche Regeln erlassen. Die Festsetzungsbehörden erlauben

demnach nicht mehr als einen Tag Regennachlauf, „großen Netzen“ werden zwei Tage zugebilligt. Trotz dieser Festlegung suchen die Betreiber im Rahmen der legalen Möglichkeiten nach für sie „günstigen“ Messtagen (Fuchs et al., 2001). Im Ergebnis führt das Verfahren deshalb tendenziell zu einer Unterschätzung der tatsächlich vorliegenden Fremdwasserbelastung.

3.2 Nachtmessungsmethode

Die gebräuchlichste Methode zur Fremdwasserbestimmung ist die Messung des minimalen Nachtabflusses. Oft wird dieser direkt als Fremdwasser ausgewiesen, der Großteil der Ansätze sieht jedoch den Abzug eines Schmutzwasseranteils vor (Schweizer Bundesamt für Umweltschutz BUS, 1984; Hager et al., 1984). In Baden-Württemberg ist nach der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2002b) für die Abwasserabgabenerklärung mindestens eine Messung im Monat notwendig. Der Abstand einzelner Messungen muss mindestens 14 Tage betragen. Bis 1997 genügten vier Messungen pro Jahr mit einem Mindestabstand von zwei Monaten. Es ist erlaubt, mehr Messungen als notwendig durchzuführen. Werden tägliche Messungen vorgenommen - was dank automatischer Durchflussmessgeräte auf den meisten Kläranlagen heute üblich ist - lassen sich für die Berechnung der Jahresfremdwassermenge diejenigen Tage mit den geringsten Zuflüssen im Monat auswählen. Der Betreiber erhält so das für ihn günstigste Ergebnis, das heißt den niedrigsten Fremdwasseranteil im jeweiligen Monat. Im Anhang 1 ist das Formblatt abgedruckt, nach dem die Betreiber baden-württembergischer Kläranlagen mit automatischer Durchflussmeseinrichtung die jährlichen Fremdwasseranteile ermitteln.

Die Nachtmessungsmethode funktioniert wie die Jahresschmutzwasser-Methode ausschließlich an Trockenwettertagen, wird aber nicht direkt vom Wetterschlüssel beeinflusst. In jedem Monat geht nur ein einzelner Tag mit einem sehr geringen Nachtminimum in die Berechnung ein. Dies ist mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Trockenwettertag. Die im vorangegangenen Kapitel 3.1 bei der JSM-Methode genannten Einschränkungen im Hinblick auf die Darstellung der Saisonalität mittels Ganglinien gelten uneingeschränkt auch für die Nachtmessungsmethode.

3.3 Chemische Methode

Das Bundesamt für Umweltschutz der Schweiz ließ vor einigen Jahren die so genannte Chemische Methode entwickeln (Schweizer Bundesamt für Umweltschutz BUS, 1984). Das Verfahren basiert auf der Verringerung von gelösten Schmutzstoffkonzentrationen im Abwasser, die durch Verdünnungseffekte mit Fremdwasser hervorgerufen werden. Wichtig ist die Wahl eines geeigneten Abwasserparameters.

Damit der Verdünnungsgrad und damit die Fremdwasserbelastung messbar ist, darf sich die Konzentration während des Fließvorganges nicht oder nur vernachlässigbar gering verändern. Der Fremdwasseranfall lässt sich über das Verhältnis der mittleren Tageskonzentration und der Konzentration zur Zeit des Nachtminimums bestimmen.

Durch die erforderliche Analytik ist die Chemische Methode vergleichsweise sehr aufwändig. Sie kann deshalb nicht für den täglichen Einsatz in der Praxis empfohlen werden. In Einzelfällen kann sie als Ergänzung zu anderen Verfahren jedoch sinnvoll sein (Fuchs et al., 2001).

3.4 Methode des gleitenden Minimums

Die von der Firma Umwelt und Fluidtechnik GmbH UFT (1998) entwickelte Methode des gleitenden Minimums ermittelt das Fremdwasser, indem für jeden Tag des Untersuchungszeitraumes der Trockenwetterabfluss gleich dem kleinsten mittleren Tagesabfluss aus den letzten 21 Tagen gesetzt wird. Davon subtrahiert man die in der Regel als Konstante angesetzte Schmutzwassermenge. Durch Aneinanderreihung der ermittelten täglichen Abflüsse ergibt sich eine stetige Ganglinie des Fremdwassers. Um mittlere Fremdwasserabflüsse zu erhalten, können Integrale über die Messzeit gebildet werden. Die Ganglinie erlaubt außerdem Auswertungen unter saisonalen Aspekten.

Das Verfahren des gleitenden Minimums arbeitet mit jeder Tabellenkalkulation auf einem handelsüblichen PC, beispielsweise mit Microsoft Excel. Abbildung 1 zeigt exemplarisch die Ganglinie der Tagesabflüsse einer Kläranlage mit der darunter gezeichneten Ganglinie des Fremdwassers. Eine grundlegende Annahme für die Methode ist, dass Schwankungen beim Fremdwasserabfluss um eine Größenordnung langsamer ablaufen als Abflussspitzen, die sich unmittelbar nach Niederschlagsereignissen einstellen. Weiterhin wird vorausgesetzt, dass während der letzten 21 Tage mindestens einmal Trockenwetter herrschte, so dass sich der Tageszufluss an diesem Tag nur aus Schmutz- und Fremdwasser zusammensetzt.

Mit der Methode des gleitenden Minimums können jahreszeitliche Schwankungen des Fremdwasserabflusses im Zulauf einer Kläranlage lückenlos abgebildet werden. Die Ganglinie in Abbildung 1 lässt beispielsweise erkennen, dass der Kläranlage im Winterhalbjahr wiederkehrend mehr als doppelt so viel Fremdwasser wie in den Sommermonaten zufließen. Überlagert werden diese saisonalen Schwankungen innerhalb eines Jahres von der jährlichen Niederschlagshöhe. Die trockeneren Jahre 1992 und 1993 rufen im Vergleich zu den feuchteren Jahren 1994 und 1995 deutlich niedrigere Fremdwasserbelastungen hervor.

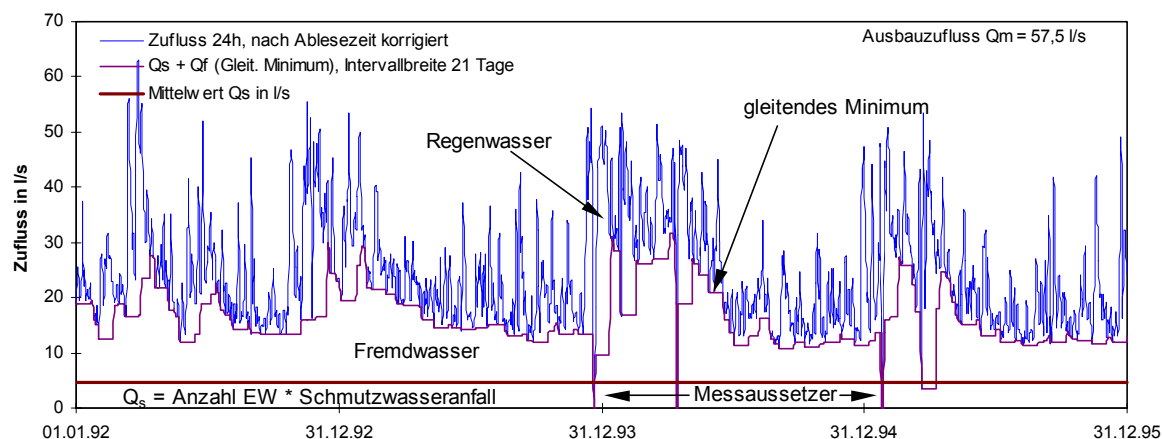


Abbildung 1: Beispiel für die Fremdwasserermittlung nach der Methode des gleitenden Minimums, aus Fuchs et al. (2001)

Die Methode des gleitenden Minimums basiert – von der notwendigen Festlegung des Schmutzwasserabflusses abgesehen – ausschließlich auf den Tageszuflusswerten des Kläranlagen-Tagebuches. Sie ist dadurch frei von willkürlichen Einflüssen. Zur Empfindlichkeit des Verfahrens machte Hüffmeier (2000) eingehende Untersuchungen. Er variierte den Zeitraum des gleitenden Minimums in einer Bandbreite von 1 bis 35 Tagen. Dieser Parameter soll den Zeitabschnitt widerspiegeln, in dem mindestens ein Trockenwettertag enthalten ist, so dass sich der Gesamtabfluss an diesem Tag ungestört von Regenwasser einstellt. Die Dauer wurde vorab zu „wenigen Wochen“ geschätzt. „Einige Tage“ wäre zu kurz und würde zeitweise Regenabflüsse als Fremdwasser werten. Bei „mehreren Monaten“ würden keine saisonalen Schwankungen mehr erkennbar sein, die Ergebnisse wären zu stark aggregiert. In Ermangelung eines physikalischen Modells – das Verfahren ist rein phänomenologisch entstanden – wurden die Auswirkungen verschieden angesetzter Zeitdauern getestet. Es zeigte sich wie vermutet, dass sehr kurze Zeiträume unter zwei Wochen den ermittelten Fremdwasserabfluss stark ansteigen lassen. Ab 21 Tagen lieferten größere Zeitdauern nur noch geringfügig veränderte Resultate, so dass dieser Standardwert beibehalten wurde.

3.5 Bewertung der Verfahren

Tabelle 4 enthält die Zusammenstellung der wichtigsten Merkmale der erwähnten Methoden zur Fremdwasserermittlung. Die Inhalte der Tabelle sind Fuchs et al. (2001) entnommen. Dort werden darüber hinaus weitere Ermittlungsmethoden beschrieben und verglichen. Außerdem finden sich bei Hüffmeier (2000) die Schwachpunkte der etablierten Verfahren gegenüber der Methode des gleitenden Minimums ausführlich an Beispielen erläutert.

Tabelle 4: Vergleich verschiedener Methoden zur Fremdwasserbestimmung

„Jahres- schmutzwasser“-Methode	Benötigte Daten	Tagesabflussmengen, Wetterschlüssel, Ansatz für Schmutzwasserabfluss
	Aussagen über Saisonalität möglich?	tägliche Fremdwasserabflüsse nur, wenn die Methode für jeden Trockenwettertag einzeln angewandt wird; Lücken an Regentagen
	Vorteile	einfache Standardmethode für Abwasserabgabeerklärung
	Nachteile	nur Trockenwettertage gehen in Ermittlung ein, willkürlicher Wetterschlüssel. Wenn nur wenige Trockenwettertage vorhanden sind, sehr fehlerbehaftete Ergebnisse, latente Unterschätzung von Q_f
Nachtmessungsmethode	Benötigte Daten	Minimaler Nachtzufluss an mindestens einem Trockenwettertag pro Monat, Ansatz für nächtlichen Schmutzwasserzufluss
	Aussagen über Saisonalität möglich?	tägliche Fremdwasserabflüsse nur, wenn die Methode für jeden Trockenwettertag einzeln angewandt wird; Lücken an Regentagen
	Vorteile	einfache Standardmethode für Abwasserabgabeerklärung
	Nachteile	Nachtminimum muss aufgezeichnet werden; nur einzelne Trockenwettertage gehen in Ermittlung ein, willkürliche Auswahl der Messtage, unsichere Abschätzung des nächtlichen Schmutzwasserzuflusses, latente Unterschätzung von Q_f
„Chemische“ Methode	Benötigte Daten	mittlere und minimale Trockenwetterabflüsse und zugehörige Schmutzkonzentrationen
	Aussagen über Saisonalität möglich?	theoretisch tägliche Fremdwasserabflüsse bestimmbar, wenn die Methode für jeden Trockenwettertag einzeln angewandt würde; dazu ist jedoch der Aufwand zu groß
	Vorteile	ergänzendes Verfahren zur Plausibilitätskontrolle der vorgenannten Methoden
	Nachteile	sehr aufwändig (Probenahme und -analyse notwendig), nicht für tägliche Untersuchungen geeignet
Methode des gleitenden Minimums	Benötigte Daten	Tagesabflussmengen, Ansatz für Schmutzwasserabfluss
	Aussagen über Saisonalität möglich?	ja, liefert Tageswerte für Fremdwasser und Regenwasser
	Vorteile	einfaches, rechnergestütztes Verfahren. Keine Datenlücken in der Ergebnisanalyse. Wetterschlüssel wird nicht benötigt. Auch Regentage gehen ein. Liefert auch Aussagen über Regenwassermenge.
	Nachteile	rein phänomenologisches Verfahren

Die ermittelten Fremdwassermengen in der Abwasserabgabeerklärung weisen nach der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2001) tendenziell geringere Fremdwasseranteile aus, als sie sich nach der Methode des gleitenden Minimums ergeben. Die Begründung könnte in der Subjektivität der Verfahren liegen. Möglicherweise ist dafür allerdings auch das erfolgreiche Bestreben einiger Kläranlagenbetreiber verantwortlich, Ergebnisse unterhalb von 100 % Fremdwasserzuschlag zu erhalten, um so eine Erhöhung der Abwasserabgabe zu vermeiden (Fuchs et al., 2001). Insgesamt zeichnen die gemeldeten Werte ein für die Betreiber von Abwasseranlagen vergleichsweise günstiges Bild der vorherrschenden Fremdwassersituation.

Im Hinblick auf die häufig deutlich ausgeprägten saisonalen Schwankungen der Fremdwasserzuflüsse erscheinen ausschließlich Bestimmungsverfahren sinnvoll, die eine auf „vielen“ Messwerten basierende, stetige Fremdwasserganglinie erzeugen können. Vor diesem Hintergrund zeichnet sich insbesondere die Methode des gleitenden Minimums aus. Sie ist frei von willkürlichen Einflüssen, lässt sich leicht anwenden und erlaubt aus allgemein verfügbaren Daten aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. Das Verfahren ermöglicht aufgrund der flächendeckend vorliegenden Betriebstagebücher von Kläranlagen zudem die Bewertung vergangener Fremdwasser-situationen. Innerhalb der vorliegenden Arbeit werden die Fremdwasserbelastungen von Kläranlagen, deren Daten selbst erhoben und ausgewertet werden, mit dem Verfahren des gleitenden Minimums ermittelt.

4 Die Fremdwasserbelastung der Kläranlagen

Große Fremdwassermengen in Entwässerungsnetzen haben ungeachtet der Örtlichkeit und der Art des betroffenen Bauwerkes nachteilige Konsequenzen für den Betrieb der Abwasserableitung und –reinigung. In Extremfällen kann die Funktionsfähigkeit der Anlagen für eine gewisse Zeit stark gemindert oder sogar nahezu vollständig außer Kraft gesetzt sein. Zudem verursachen hohe Fremdwasserzuflüsse zusätzliche Kosten für die Betreiber von Kanalisationen und Kläranlagen. Nicht zuletzt ziehen sie häufig erhebliche hydraulische und stoffliche Belastungen für die Gewässer nach sich.

Wie viele Bauwerke der Siedlungswasserwirtschaft haben aber mit solch großen Fremdwassermengen zu kämpfen? Sind nur einzelne Anlagen davon betroffen oder klagen zahlreiche Betreiber von Entwässerungsnetzen über „zu viel“ Fremdwasser? Handelt es sich möglicherweise um ein Phänomen, das großräumig in der Fläche anzutreffen ist? In entsprechenden Fachveröffentlichungen wird meist von einzelnen, stark mit Fremdwasser behafteten Anlagen berichtet, vgl. zum Beispiel Pecher (2000) oder Popp et al. (2002). Sind dies möglicherweise nur extreme Einzelfälle, die zweifellos dringender Sanierung bedürfen, hingegen keine Rückschlüsse auf die Fremdwassersituation in Deutschland insgesamt zulassen?

4.1 Auswertung von Daten des Statistischen Landesamtes

Um typische Größenordnungen von Fremdwasserabflüssen mit geringem Aufwand zu quantifizieren, bietet sich der Zugriff auf allgemein zugängliche, statistische Daten neueren Ursprungs an. Brombach (2002) stellt die Verteilung der mittleren Fremdwasserzuschläge in den 16 Ländern Deutschlands anhand einer Landkarte, basierend auf Daten des Statistischen Bundesamtes aus dem Jahr 1998 dar. Demzufolge lag der mittlere Fremdwasserzuschlag aller Kläranlagen im Bundesmittel bei 40 %. In den südlichen Ländern finden sich im Mittel größere Fremdwasserzuflüsse als im Norden. Allerdings weist der Autor ausdrücklich auf bestehende Unsicherheiten im Hinblick auf Vergleiche hin. Zu berücksichtigen sei, dass verschiedene Methoden der Fremdwasserermittlung zu unterschiedlichen Ergebnissen führen, Schwankungen der Fremdwasserzuflüsse beachtet werden müssten und die einzelnen Länder in ihren Abwasserabgabegesetzen voneinander differierende Vorschriften definiert haben, die zu Abweichungen bei den ermittelten Fremdwasserwerten führen können.

Um einige dieser Nachteile zu eliminieren, werden im Folgenden nicht Fremdwasserabflüsse für Gesamtdeutschland, sondern für ein ausgewähltes Land betrachtet. Die Verkleinerung des Untersuchungsgebietes erlaubt - nicht zuletzt aufgrund der besseren Verfügbarkeit von Rohdaten - detailliertere Analysen zur Fremdwassersituation, als sie auf Bundesebene möglich wären.

4.1.1 Die Datenbasis

Anschließend werden die Ergebnisse von selbst durchgeführten Auswertungen statistischer Daten bezüglich der Fremdwassersituation in Baden-Württemberg präsentiert. Die Wahl fällt nicht zufällig auf Baden-Württemberg. Einerseits stützen sich in späteren Kapiteln vorgestellte Untersuchungen ebenfalls auf Daten dieses Landes. Somit besteht die Möglichkeit, an geeigneten Schnittstellen entsprechende Rückschlüsse und Vergleiche zu ziehen. Andererseits weist Baden-Württemberg - bezogen auf seine Fläche, seine Landschaft und seine Einwohnerzahl - Größenordnungen und Charakteristika auf, die beispielsweise hinsichtlich einer gesamtdeutschen Betrachtung vielfältige Extrapolationen zulassen.

In der statistischen Fremdwasser-Karte des gesamten Bundesgebietes nach Brombach (2002) weist Baden-Württemberg mittlere Jahres-Fremdwasserzuschläge zwischen 50 % und 60 % auf. Dieser Wertebereich ist insbesondere für die vorherrschend mischkanalisierten Regionen Deutschlands als typisch einzustufen. Darunter fallen alle Länder südlich des „Mischwasseräquators“, einer fiktiven horizontalen Linie, die etwa auf Höhe der Stadt Bielefeld verläuft. Allerdings werden auch im überwiegend trennkanalisierten Niedersachsen, in Hamburg und in Sachsen-Anhalt nicht deutlich niedrigere Fremdwasserbelastungen gemeldet. Die nachfolgend präsentierten Ausführungen und Ergebnisse zur Fremdwassersituation sollten deshalb grundsätzlich für große Teile Deutschlands repräsentativ sein und tendenziell auf Regionen in anderen Ländern der Bundesrepublik übertragbar sein.

Das Statistische Landesamt Baden-Württemberg (1998 und 1998b) erfragt von sämtlichen Betreibern wiederkehrend im Abstand weniger Jahre Informationen über die Kanalnetze und die kommunalen Kläranlagen. Unter anderem sind in diesem Zusammenhang die Fremdwasseranteile FWA als Jahresmittelwerte, wie sie sich gemäß des ATV-Formblattes im Anhang 1 ergeben, zu melden. Darüber hinaus werden Auskünfte über die Anzahl der an eine Kläranlage angeschlossenen Einwohnerwerte sowie über die Längen der Misch- und Trennkanalnetze eingeholt. Die Daten aus dem Jahr 1998 wurden auf Gemeindeebene dankenswerterweise für die vorliegende Arbeit zur Verfügung gestellt. Insgesamt meldeten 1.164 Betreiber Datensätze an das Statistische Landesamt, wovon sechs nicht vollständig auszuwerten waren. Es stehen somit 1.158 Entwässerungsnetze für eine flächendeckende Analyse der

Fremdwassersituation in Baden-Württemberg zur Verfügung. Das entspricht über 99 % aller Netze. Dieser umfangreiche Datenpool bildet die Grundlage für die nachfolgend präsentierten Auswertungen.

4.1.2 Wie viel und wie verbreitet ist „viel“ Fremdwasser?

Wie viele Anlagen leiden unter „zu viel“ Fremdwasser und was bedeutet in diesem Zusammenhang „viel“? Einen ersten Ansatz zur Beantwortung dieser Fragen liefert die Übersicht der jährlich gemeldeten mittleren Fremdwasserwerte aller Kläranlagen in Baden-Württemberg in Abbildung 2. An der Darstellung lässt sich erkennen, welche durchschnittlichen Jahres-Fremdwasserzuschläge konkret mit einer solchen Beschreibung verknüpft sein können. Das Diagramm verdeutlicht, in welchem Bereich sich die 1998 gemeldeten jährlichen Fremdwasserzuschläge von 1.158 ausgewerteten Kläranlagen (errechnet aus den tatsächlich gemeldeten -anteilen) bewegen.

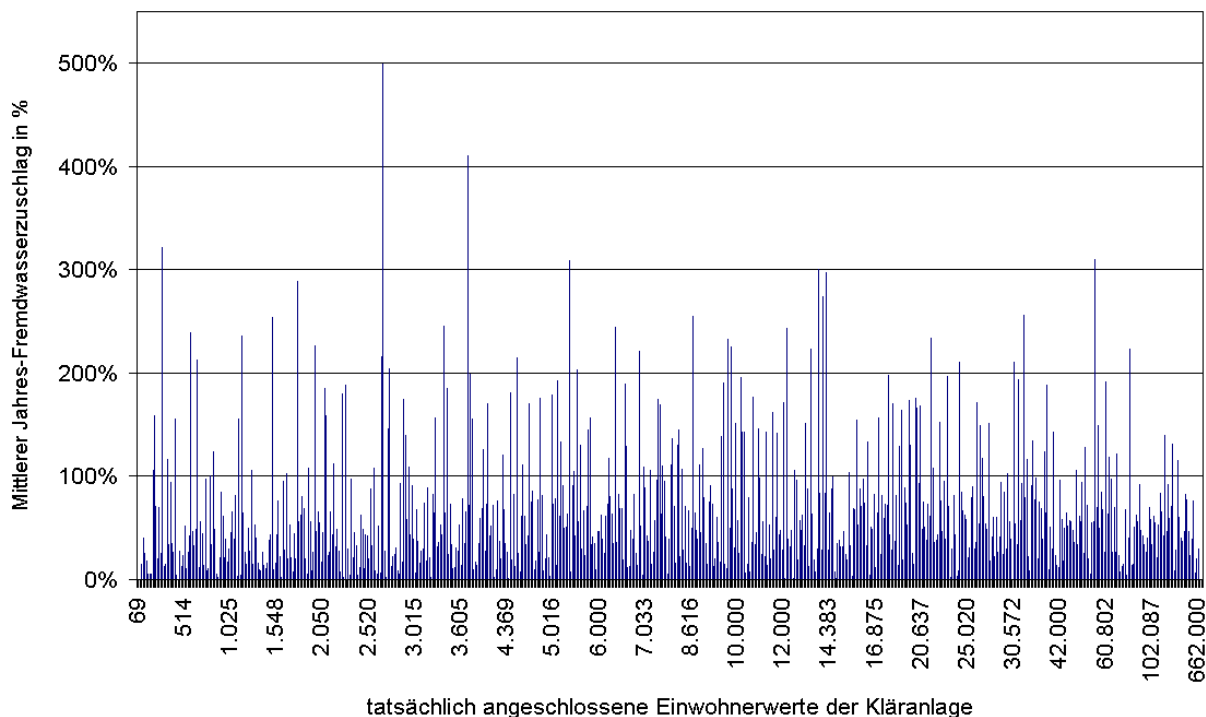


Abbildung 2: Mittlere Jahres-Fremdwasserzuschläge, errechnet aus gemeldeten Fremdwasseranteilen von 1.158 Kläranlagen in Baden-Württemberg (1998), sortiert nach tatsächlich angeschlossenen Einwohnerwerten der Kläranlagen

Auf der Abszisse sind die tatsächlich an die Abwasserreinigungsanlagen angeschlossenen Einwohnerwerte EW aufgetragen. Die Anlagen wurden nach ihrer „Größe“ sortiert. Die Skala reicht von 43 EW bis 1,3 Millionen EW. Die Ordinate zeigt korrespondierende Fremdwasserzuschläge zwischen 0 % und 499 %.

In Kapitel 2 wurde unter anderem ausgeführt, dass in Deutschland keine allgemeingültige Definition für „viel“ Fremdwasser existiert. Allerdings finden sich in einem aktuellen nordrhein-westfälischen Erlassentwurf (Mertsch et al., 2002) „zulässige einwohnerspezifische Abwassermengen“. Danach liegen unerwünschte Fremdwassermengen ab $300 \text{ l}/(\text{E} \cdot \text{d})$ vor, was bei einem durchschnittlichen täglichen Trinkwasserverbrauch von $129 \text{ l}/(\text{E} \cdot \text{d})$ (Statistisches Bundesamt, 2001) umgerechnet etwa 130 % Fremdwasserzuschlag entspricht. Dieser Wert bestätigt in seiner Größenordnung die baden-württembergischen Grenze von 100 % FWZ, ab der eine unzulässige Verdünnung und Vermischung angenommen wird (vgl. Kapitel 2.5). Als Kriterium für „viel“ Fremdwasser wird deshalb im Folgenden die 100 %-Marke des Fremdwasserzuschlages benutzt. Damit ist jedoch keine siedlungswasserwirtschaftliche Wertung der vorliegenden Fremdwassersituation verbunden. Mit dem für Darstellungszwecke gewählten, verwaltungstechnisch abgeleiteten 100 %-Kriterium für den Fremdwasserzuschlag kann und soll ausdrücklich nicht festgelegt werden, ab welcher hydraulischen Belastung in der Praxis „zu viel“ Fremdwasser vorliegt.

Trotz der Tatsache, dass die gemeldeten Jahreswerte in Abbildung 2 mit Verfahren ermittelt wurden, die tendenziell niedrige Fremdwasserbelastungen ergeben (vgl. Kapitel 3), weisen offenbar zahlreiche Kläranlagen hydraulische Belastungen auf, die Ergebnisse unterhalb der 100 %-Marke nicht zulassen. Gemeldete mittlere jährliche Fremdwasserzuschläge von teilweise weit über 200 % sind keine Seltenheit. In dieser Größenordnung weisen sie auf sehr ausgeprägte Probleme infolge Fremdwasser hin. Der arithmetische Mittelwert für alle 1.158 Kläranlagen beträgt 52 % FWZ.

Wie lässt sich die gezeigte Verteilung der gemeldeten Jahresfremdwasserzuschläge zusammenfassen und bewerten? Die Summenlinie von 1.158 im Jahre 1998 gemeldeten Fremdwasserzuschlägen in Abbildung 3 verdeutlicht, dass 13 % aller Betreiber, das entspricht etwa 150 Kläranlagen, Fremdwassermengen erklären, die eine Reduzierung der Abwasserabgabe nach baden-württembergischem Recht ausschließen. Entsprechend befinden sich 87 % aller Werte links der strichlinierten vertikalen Linie, welche die Grenze zu einer möglichen Reduktion der Abwasserabgabe markiert.

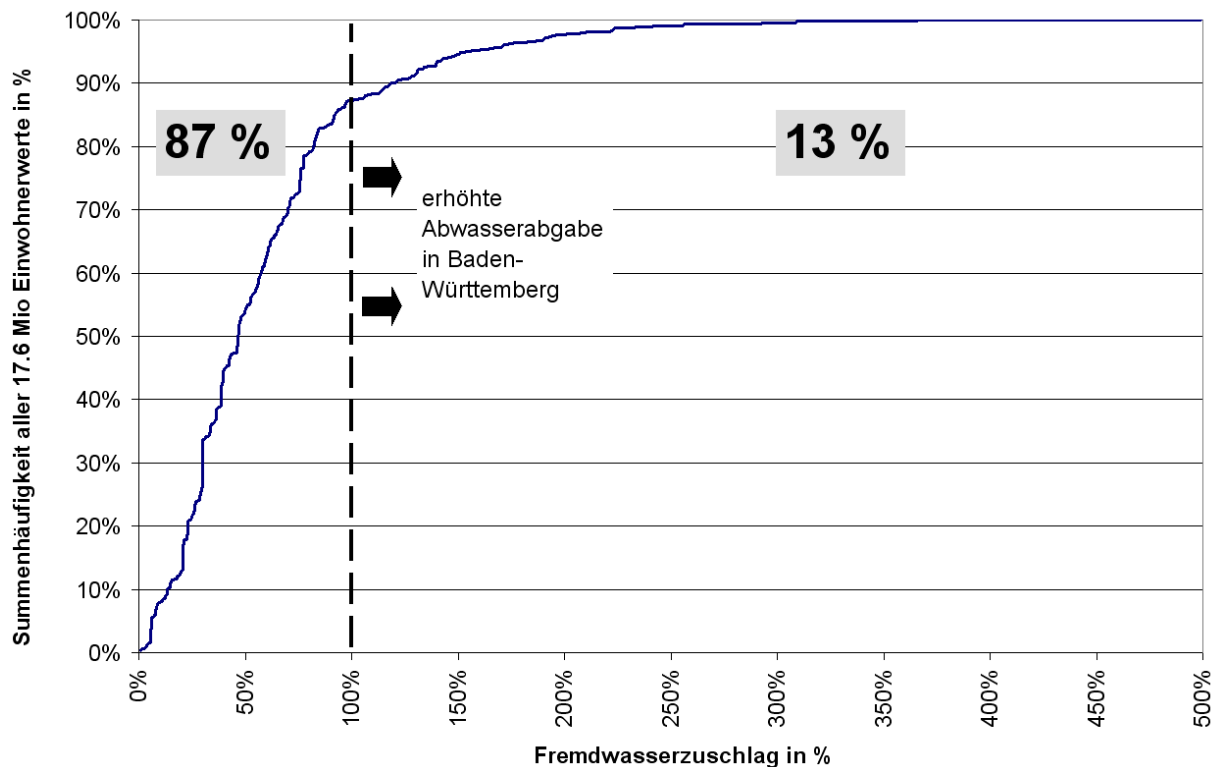


Abbildung 3: Summenhäufigkeitslinie der Jahres-Fremdwasserzuschläge von 1.158 Kläranlagen mit 17,6 Millionen EW in Baden-Württemberg (1998)

Vereinfacht könnte aus Abbildung 3 die Schlussfolgerung gezogen werden, dass mit 87 % der großen Mehrheit aller Entwässerungsnetze in Baden-Württemberg Fremdwasser in planmäßigen Größenordnungen zufließt. Dabei darf allerdings nicht übersehen werden, dass die Zahlen auf gemeldeten Jahres-Mittelwerten basieren. Saisonale Schwankungen bleiben vollkommen unberücksichtigt. In einzelnen Monaten kann die Fremdwasserbelastung weitaus höher sein, als es die gezeigten Daten vermuten lassen. Unter Berücksichtigung des typischen Jahresverlaufes lässt sich prognostizieren, dass die Kläranlagen zeitweise weitaus höhere Belastungen zu verkraften haben, vgl. Fuchs et al. (2003). Außerdem wurden zur Bestimmung der Jahres-Mittelwerte Verfahren eingesetzt, die nicht vollkommen frei von subjektiven Einflüssen sind. Den Betreibern bieten sich somit einige Möglichkeiten in ihrem Sinne günstige, das heißt besonders niedrige Ergebnisse zu erzielen. Vor diesem Hintergrund ist zu erwarten, dass in der Realität weitaus mehr als 13 % der baden-württembergischen Kläranlagen „zu viel“ Fremdwasser aufweisen.

4.1.3 Auswertung nach Kläranlagen-Größenklassen

Nachdem die Abbildungen 2 und 3 erste konkrete Einblicke in übliche Größenordnungen der gemeldeten Fremdwasserbelastungen von Kläranlagen in Baden-Württemberg gewährten, werden nachfolgend die 1998 gemeldeten Fremdwasserzuschläge eingehender analysiert. Scheinbar – und diese Aussage wird durch Untersuchungen von Hüffmeier (2000) an 34 willkürlich ausgewählten Entwässerungsnetzen in Baden-Württemberg bestätigt – existiert kein statistisch nachweisbarer Zusammenhang zwischen der Größe einer Kläranlage und ihrem mittleren Jahres-Fremdwasseranfall. Mit Ausnahme zweier einzelner Anlagen mit Fremdwasserzuschlägen deutlich über 300 % weist Abbildung 2 in diesem Zusammenhang auf eine recht ausgewogene Verteilung hin. Sowohl sehr kleine Kläranlagen mit weniger als 1.000 EW wie auch Anlagen mit mehr als 100.000 EW melden niedrige Fremdwasserzuschläge unter 10 %. Allerdings finden sich auch in beiden Gruppen Anlagen mit deutlich über 100 % FWZ. Bestehen demzufolge keine Unterschiede zwischen großen und kleinen Kläranlagen?

Abbildung 4 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen den mittleren jährlichen Fremdwasserzuflüssen und der Kläranlagengröße. Sie zeigt erneut die 1998 gemeldeten 1.158 Fremdwasserzuschläge. Die Abwasserverordnung (2002) definiert fünf Größenklassen für kommunale Kläranlagen. Die Fremdwasserzuschläge erscheinen in der Abbildung in entsprechende Gruppen eingeteilt und für jede Größenklasse aufsteigend sortiert. Zusätzlich ist für jede Klasse der arithmetische Mittelwert als gestrichelte horizontale Linie eingezeichnet. Die korrespondierenden Zahlenwerte lassen sich innerhalb der schwarzen Flächen ablesen.

Gemäß Abbildung 4 tritt die maximale Fremdwasserbelastung innerhalb der Größenklasse 2 auf. Wertet man die beiden Kläranlagen mit knapp 500 % beziehungsweise 420 % FWZ allerdings als statistische „Ausreißer“, lassen sich zwischen den Größenklassen 1 bis 4 kaum Unterschiede erkennen. Der Wertebereich umfasst jeweils 0 % bis etwa 300 % FWZ. Die Kurven verlaufen innerhalb der Klassen nahezu kongruent. Im Kontrast dazu meldet keine einzige der 32 sehr großen Kläranlagen (Größenklasse 5) extrem hohe Fremdwasserzuschläge. Der maximale Wert für Anlagen mit mehr als 100.000 EW beträgt vergleichsweise geringe 133 % FWZ. Allerdings liegt der Mittelwert mit 51 % FWZ leicht über denen der Größenklassen 1 und 2, so dass sich keine klare Tendenz im Sinne einer abnehmenden Fremdwasserbelastung mit steigender Kläranlagengröße abzeichnet. Den insgesamt höchsten Mittelwert weist mit 60 % Fremdwasserzuschlag die Größenklasse 3 auf. Die arithmetischen Mittelwerte weichen allerdings im Ganzen nur geringfügig voneinander ab. Sie schwanken innerhalb enger Grenzen zwischen 41 % und 60 % FWZ.

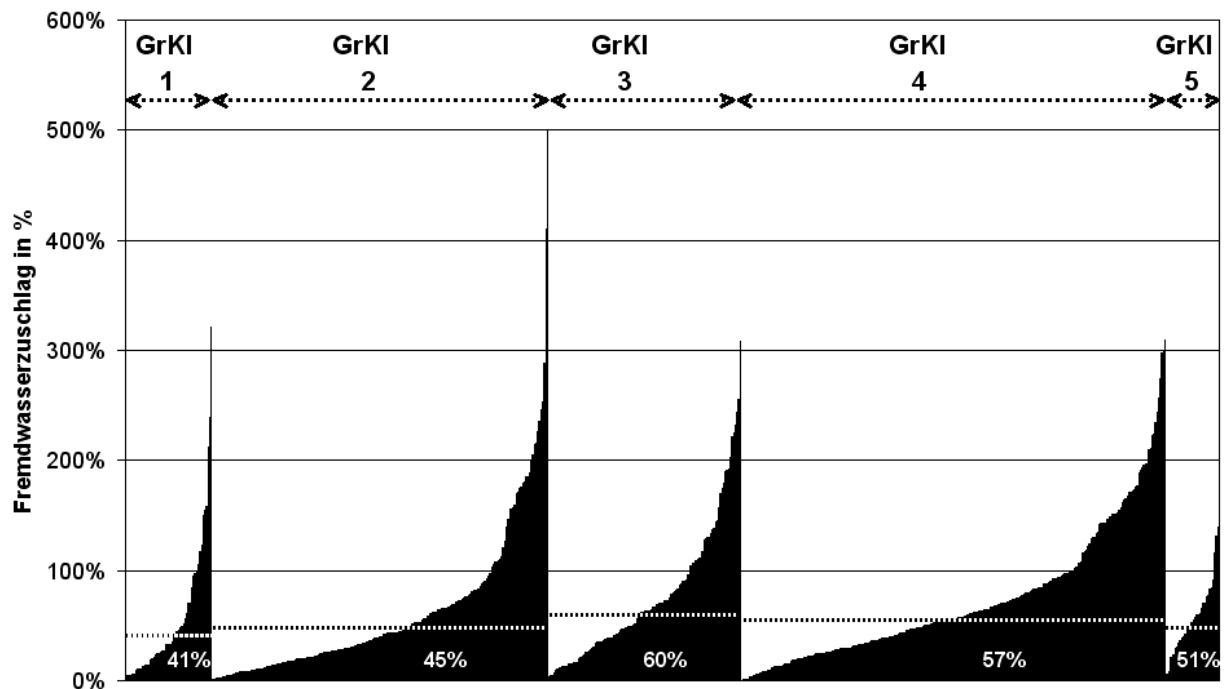


Abbildung 4: Mittlere Jahres-Fremdwasserzuschläge von 1.158 Kläranlagen in Baden-Württemberg im Jahr 1998, sortiert nach Kläranlagengrößenklassen der Abwasserverordnung (2002)

Aufgrund der ähnlichen Mittelwerte, Verlaufskurven und der – mit Ausnahme zweier Ausreißer in der Größenklasse 2 sowie der angesprochenen Ausnahme von Größenklasse 5 - vergleichbaren Wertebereiche lässt sich folgern, dass die Anzahl der angeschlossenen Einwohnerwerte die mittlere Jahres-Fremdwasserbelastung einer Kläranlage nicht maßgebend beeinflusst. Ein allgemeingültiger Trend im Sinne eines Zusammenhanges zwischen Größenklasse und Fremdwasserzuschlag ist nicht erkennbar.

Die Tatsache, dass extrem hohe Fremdwasserzuschläge von über 200 % in der Größenklasse 5 nicht auftreten hat ihre Ursache möglicherweise darin, dass diese Gruppe mit 32 Kläranlagen den geringsten Stichprobenumfang aufweist. Allerdings lässt sich auch aus ökonomischen Überlegungen eine plausible Begründung herleiten. Um im Jahresmittel Fremdwasserzuschläge von deutlich über 100 % durch eine Abwasserreinigungsanlage hindurchleiten zu können, muss diese Spitzenzuflüsse oberhalb der üblichen Bemessungswassermenge von $2 Q_{SX} + Q_F$ nach ATV-DVWK A 131 (2000) verkraften. Anlagen mit gemeldeten Werten von mehreren Hundert Prozent FWZ weisen entsprechende Kapazitäten offenbar in hohem Maße auf. Bei der Dimensionierung kommunaler Kläranlagen arbeiten Planer gerne mit hydraulischen Reserven, insbesondere im Hinblick auf zukünftige Bevölkerungsentwicklungen im Einzugsgebiet. Es erscheint nachvollziehbar, dass Kläranlagen mit mehr als 100.000

Einwohnerwerten vergleichsweise weniger großzügig bemessen werden (dürfen). Mit zunehmender Größe einer Kläranlage wachsen die erforderlichen Beckenvolumina, Rohrdurchmesser sowie Pumpenleistungen signifikant an. Die Baukosten nehmen in ähnlichem Umfang zu (Reicherter, 2003). Hinzu kommt, dass sich Vorhersagen über Bevölkerungsentwicklungen und künftig zu reinigende Abwassermengen für Großstädte in der Regel exakter als für zersiedelte ländliche Räume treffen lassen. Bei der Planung von Kläranlagen werden hydraulische Überkapazitäten gerne als „Reserve“ für die Zukunft vorgesehen. Wirtschaftlichkeitsaspekte erfordern für Anlagen der Größenklasse 5 vermutlich „engere“ Ansätze bei der Dimensionierung.

4.1.4 Zusammenfassende Bewertung

Die Auswertung der im Jahr 1998 dem Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg gemeldeten Fremdwasserzuschläge belegen, dass zahlreichen Kläranlagen „zu viel“ Fremdwasser zufließt. Etwa 150 von 1.158 Betreibern melden trotz der für sie günstigen Ermittlungsverfahren und der Bestimmung eines durchschnittlichen Jahreswertes Fremdwasserzuschläge über 100 %. In Baden-Württemberg verhindert dies eine Reduzierung der Abwasserabgabe wegen unzulässiger Verdünnung und Vermischung.

Mit 87 % kommt die Mehrheit der baden-württembergischen Betreiber von Kläranlagen in den Genuss einer ermäßigten Abwasserabgabe. Daraus folgt jedoch nicht, dass dort grundsätzlich „wenig“ Fremdwasser vorhanden ist. Saisonale Schwankungen, die mit den aktuellen Ermittlungsverfahren nicht darstellbar sind, können die Fremdwasserzuschläge in einzelnen Monaten signifikant über die gemeldeten mittleren Jahreswerte ansteigen lassen. Die tatsächliche Anzahl von Kläranlagen mit „zu viel“ Fremdwasser in Baden-Württemberg dürfte demzufolge weit über 13 % liegen.

Unter Berücksichtigung der genannten Faktoren lässt sich zusammenfassend die Hypothese aufstellen, dass die tatsächliche Fremdwassersituation durch die statistischen Daten nur unvollständig und tendenziell zu positiv wiedergegeben wird. Realitätsnähere Ergebnisse verspricht die Auswertung von Kläranlagen mit dem Verfahren des gleitenden Minimums.

4.2 Auswertung mit der Methode des gleitenden Minimums

Im Unterschied zur Interpretation von statistischen Daten ermöglicht die Methode des gleitenden Minimums weitergehende Untersuchungen zur Fremdwasserproblematik. Insbesondere sind Darstellungen saisonaler Schwankungen beim Fremdwasserzufluss für jede einzelne Kläranlage möglich. Außerdem ist das Verfahren weitgehend frei von willkürlichen Einflüssen. Beispielsweise bleiben die Ergebnisse vom täglich größtenteils subjektiv festzulegenden Wetterschlüssel unbeeinflusst. Die Methode des gleitenden Minimums liefert einerseits objektive und realitätsnahe Ergebnisse bezüglich der mittleren jährlichen Fremdwasserbelastung einer Kläranlage (vgl. Kapitel 3). Andererseits erlaubt sie über die Bestimmung täglicher beziehungsweise mittlerer monatlicher Fremdwasserzuschläge detailliertere Auswertungen, als sie mit den in Kapitel 4.1 präsentierten durchschnittlichen Jahreswerten möglich wären.

Für die Anwendung der Methode des gleitenden Minimums sind verschiedene Rohdaten als Eingangsparameter erforderlich. Hauptsächlich werden Abflussmessungen (Tageswerte) über einen längeren Zeitraum benötigt. Solche Messwerte sind nur in seltenen Einzelfällen von Bauwerken zur Regenwasserbehandlung (z. B. Regenüberlaufbecken, Stauraumkanal) verfügbar. Flächendeckend sind sie in Deutschland derzeit ausschließlich von Kläranlagen vorhanden, weil deren Betreiber zur Führung eines Betriebstagebuches und darin zur Protokollierung der täglichen Zuflussmengen verpflichtet sind. Die Protokolle werden allerdings nicht von einer zentralen Stelle gesammelt und aufbewahrt. Sie liegen dezentral bei den einzelnen Betreibern von Abwasserreinigungsanlagen. Die Beschaffung geeigneter Rohdaten für eine *flächendeckende* Bewertung der Fremdwassersituation von Baden-Württemberg mit dem Verfahren des gleitenden Minimums ist deshalb verhältnismäßig aufwändig.

4.2.1 Die Datenbasis

Als Basis für eine Bewertung der Fremdwassersituation von Gesamt-Baden-Württemberg ist eine hinreichende Anzahl von Kläranlagen erforderlich. Die Aussagekraft statistischer Untersuchungen erhöht sich gemäß dem „Gesetz der großen Zahlen“ grundsätzlich mit zunehmendem Stichprobenumfang und einer entsprechenden Datendichte (Bosch, 1993). Bei der Auswahl für die „Stichprobe“ werden Kläranlagen unterschiedlicher Größenklassen, mit kurzen und langen Kanalnetzen sowie solche mit überwiegend Misch- beziehungsweise Trennsystem berücksichtigt. Darüber hinaus wird eine gleichmäßige räumliche Verteilung über die Landesfläche angestrebt, damit sich für Gesamt-Baden-Württemberg charakteristische und vertrauenswürdige Aussagen ableiten lassen.

Beim Aufbau des Datenpools erfolgt zunächst der Rückgriff auf Ergebnisse eines 2001 am Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Karlsruhe abgeschlossenen Forschungsprojektes. In der Studie „Quantifizierung der saisonalen und naturräumlichen Bedeutung von Fremdwasserzuflüssen in Mischsystemen“ wurden die Kläranlagendaten von 34 willkürlich ausgewählten Entwässerungsnetzen mit dem Verfahren des gleitenden Minimums ausgewertet. Die Rohdaten für die damalige Auswertung wurden von der Firma Umwelt- und Fluidtechnik Dr. Brombach GmbH UFT, Bad Mergentheim, einem der damaligen Projektpartner, zur Verfügung gestellt. Sie stammen aus den Jahren 1992-1995. Die Auswertung dieser Datenbasis ist im Endbericht des Forschungsprojektes ausführlich dokumentiert (Fuchs et al., 2001).

Ein entscheidendes Manko der damaligen Untersuchung war, dass mit den untersuchten 34 Kläranlagen nur ein Teil der gesamten Landesfläche abgedeckt werden konnte (Lucas und Fuchs, 2003). Der Stichprobenumfang war so gering, dass für weite Bereiche keine Informationen oder nur diejenigen einer einzigen Kläranlage vorlagen. Rückschlüsse auf die Situation in Gesamt-Baden-Württemberg waren entsprechend schwer möglich und mit verhältnismäßig hohen Unsicherheiten behaftet. Eine Verdichtung der Datenbasis wurde deshalb im Jahr 2001 im Abschlussbericht des Forschungsprojektes als Voraussetzung für die erfolgreiche Darstellung der landesweiten Dimension des Fremdwasserproblems angesehen.

Um die gesteckten Ziele einer umfassenden Präsentation der Fremdwassersituation Baden-Württembergs unter Nutzung der Methode des gleitenden Minimums realisieren zu können, mussten demzufolge weitere, ergänzende Kläranlagendaten erhoben werden. Die in diesem Zusammenhang erforderlichen Auskünfte, unter anderem die Zuflussmesswerte von Kläranlagen über mehrere Jahre, lassen sich wegen der dezentralen Datenhaltung nur einzeln, bei den jeweiligen Betreibern der Anlagen einholen. Dies geschieht in der Praxis durch ankündigende Telefonate mit Angestellten unmittelbar auf der Kläranlage sowie mit Verantwortlichen für die Genehmigung zur Herausgabe der gewünschten Informationen und Messwerte. Falls eine solche Genehmigung erteilt wird, schließt sich üblicherweise ein persönlicher Besuch auf der Abwasserreinigungsanlage an. Dort lassen sich in Gesprächen mit dem Betriebspersonal häufig wertvolle Hinweise über temporäre oder lokale Besonderheiten sowie außergewöhnliche Betriebszustände erfragen. Darüber hinaus werden Kopien aus dem Kläranlagentagebuch erstellt, bevorzugt in digitaler Form, alternativ auf Papier. Die Zahlenwerte sind später am PC in ein Tabellenkalkulationsprogramm zu übertragen und geeignet zu formatieren. Auf diesem Wege wurden für die vorliegende Arbeit Rohdaten von 94 Abwasserreinigungsanlagen in Baden-Württemberg beschafft.

Die Auswahl der einzelnen Kläranlagen orientierte sich hauptsächlich an der Zielsetzung, mit dem Untersuchungsgebiet die *gesamte* Fläche Baden-Württembergs repräsentativ abzudecken. Außerdem wurde darauf geachtet, Kläranlagen aus allen Größenklassen in das Datenkollektiv mit aufzunehmen. Lediglich auf die Auswertung besonders kleiner Kläranlagen der Größenklasse 1 (AbwVO, 2002) wurde bewusst verzichtet. Dort können beispielsweise infolge Tourismus oder während der Urlaubszeiten überproportional starke Schwankungen im Schmutzwasserzufluss auftreten und die ermittelten Fremdwasserzuschläge signifikant verfälschen.

Während die 34 Kläranlagen im erwähnten Forschungsprojekt aus 2001 für den Zeitraum 1992-1995 ausgewertet wurden, stammen die 94 ergänzenden Datenerhebungen aus den Jahren 1997-2000. Die Wahl von unterschiedlichen Untersuchungszeiträumen und deren Vermischung mag zunächst ungünstig erscheinen und große Fehler bei der Auswertung implizieren. Allerdings verdeutlicht die Reihe der mittleren jährlichen Niederschlagshöhen in Baden-Württemberg von 1951-2001 in Abbildung 5 (die Daten wurden dankenswerterweise von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg zur Verfügung gestellt), dass die beiden 4-Jahresperioden jeweils „trockene“ und „feuchte“ Jahre beinhalten. Die langfristigen Schwankungen der jährlichen Niederschläge werden somit durch die gewählten Abschnitte charakteristisch wiedergegeben.

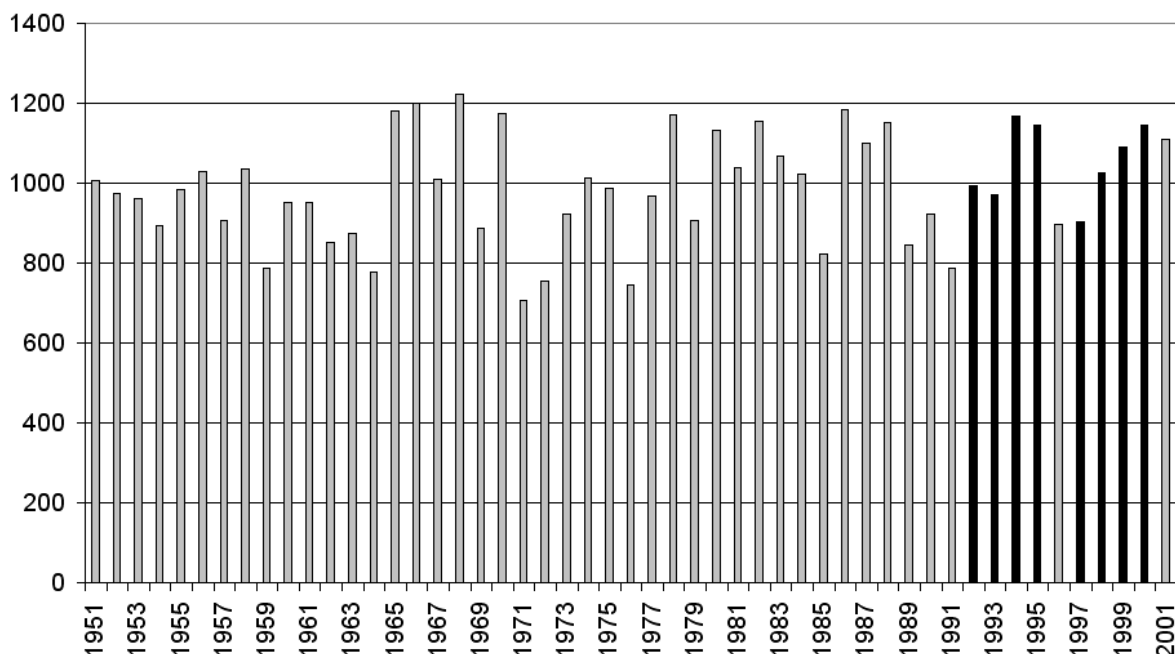


Abbildung 5: Jährliche Niederschlagshöhen in Baden-Württemberg von 1951-2001 (Quelle: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg)

Abbildung 6 zeigt die beiden Untersuchungszeiträume im Detail. Die Darstellung illustriert, dass während der beiden vierjährigen Untersuchungsperioden im Jahresmittel zufällig ähnliche Fremdwasserbelastungen auftraten. Auf zwei Jahre mit vergleichsweise weniger intensiven Zuflüssen und Werten zwischen 109 % und 121 % FWZ folgten jeweils zwei Jahre mit höheren Fremdwasserzuschlägen zwischen 163 % und 188 %. Da die späteren Auswertungen und Analysen in der Regel für die gesamte Beobachtungsdauer von 4 Jahren erfolgen und die Schwankungen von statistischen Durchschnittswerten (bspw. arithmetischer Mittelwert und Median) mit längeren Untersuchungszeiträumen generell abnehmen, lassen sich die beiden Untersuchungszeiträume gut miteinander vergleichen und die Ergebnisse teilweise gemeinsam interpretieren.

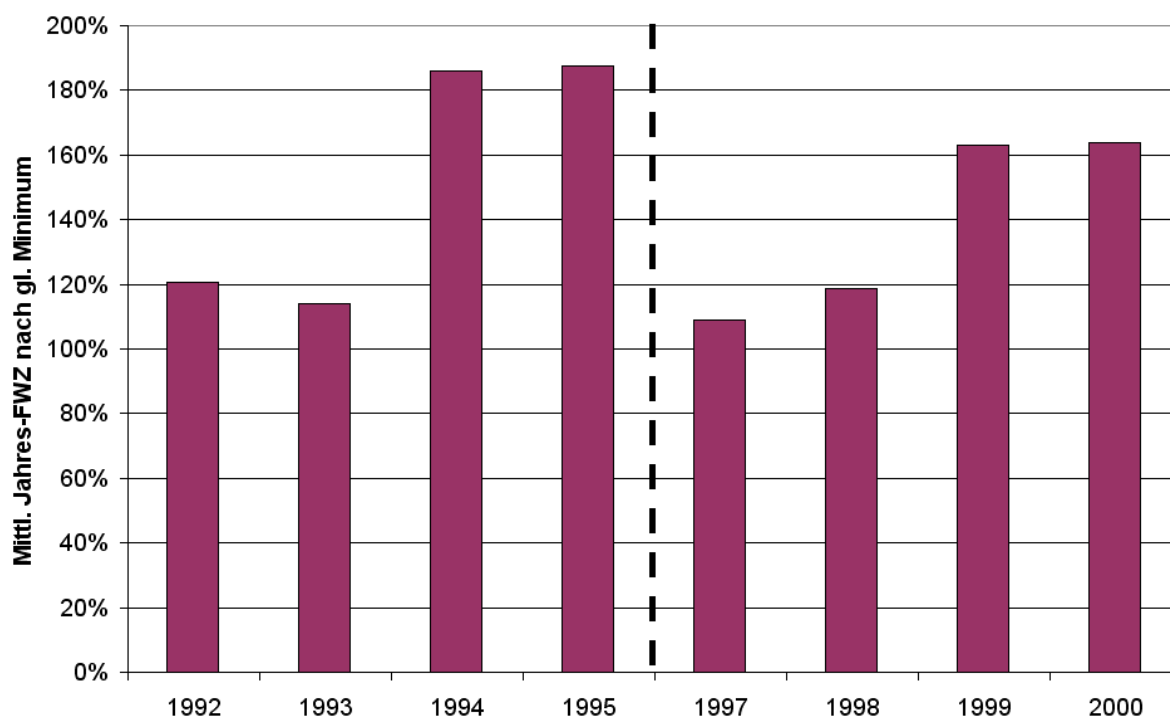


Abbildung 6: Mittlere Jahreswerte des Fremdwasserzuschlages nach der Methode des gleitenden Minimums für 34 Kläranlagen in den Jahren 1992-1995 bzw. für 94 Kläranlagen in den Jahren 1997-2000

Zusammenfassend stehen für die Beurteilung der Fremdwassersituation mit dem Verfahren des gleitenden Minimums die Daten von 128 Kläranlagen zur Verfügung. Das entspricht etwa 11 % aller Anlagen in Baden-Württemberg. Rund 25 % der Werte stammen aus dem 4-Jahreszeitraum 1992-1995. Die restlichen 94 Datensätze wurden während der Jahre 1997-2000 erhoben. Somit werden die täglichen Kläranlagenzuflüsse von 5.574 tatsächlich gemessenen Monaten ausgewertet.

4.2.2 Höhe und zeitliche Variabilität des Fremdwasserzuschlages

Bereits Abbildung 6 weist darauf hin, dass sich die mittlere Jahres-Fremdwasserbelastung nach dem gleitenden Minimum weitaus höher darstellt, als sie aufgrund der Daten des Statistischen Landesamtes erschien (vgl. Abbildung 2). Im Jahr 1998 – dies war das Bezugsjahr für die Datenerhebung des Statistischen Landesamtes und die präsentierten Auswertungen in Kapitel 4.1 – ergibt das Verfahren des gleitenden Minimums für 94 Kläranlagen einen mittleren Jahres-Fremdwasserzuschlag von 119 %. Im Vergleich zum entsprechenden Wert der gemeldeten Fremdwasserzuschläge von 52 % bedeutet dies mehr als eine Verdoppelung.

Nach Abbildung 6 war das Jahr 1998 mit einem durchschnittlichen Fremdwasserzuschlag von 119 % eines mit vergleichsweise niedriger Belastung. In den untersuchten acht Jahren ergeben sich nach der Methode des gleitenden Minimums mittlere Fremdwasserzuschläge zwischen 109 % und 188 %. Ruft man sich in Erinnerung, dass zwar einerseits kein anerkannter Grenzwert für „zu viel“ Fremdwasser in deutschen Regelwerken besteht, andererseits jedoch in Baden-Württemberg ab einem Fremdwasserzuschlag von 100 % keine Reduzierung der Abwasserabgabe infolge unzulässiger Verdünnung und Vermischung mehr möglich ist, so erscheinen 119 % FWZ als mittlerer Jahreswert für 128 Kläranlagen außergewöhnlich hoch. Hätten die Betreiber von Kläranlagen flächendeckend mit dem Verfahren des gleitenden Minimums gearbeitet, dann würde in jedem der acht untersuchten Jahre die Mehrheit eine unzulässige Verdünnung und Vermischung ausweisen. Obwohl die Länder zusätzliche Einnahmen infolge höherer Abwasserabgaben sicherlich begrüßen würden, ist dieses Ergebnis im Hinblick auf einen wirksamen Gewässerschutz und ein ordnungsgemäßes Funktionieren von siedlungswasserwirtschaftlichen Anlagen alarmierend zu werten.

Nach Lucas (2002) verschleiert die Darstellung von Mittelwerten über mehrere Jahre und für größere Untersuchungsgebiete die Größenordnung von Fremdwasserproblemen, indem vorhandene räumliche und zeitliche Schwankungen stark nivelliert werden. Mit Abbildung 7 wird deshalb die zeitliche Ebene von mittleren Jahreswerten verlassen. Gezeigt sind die übereinander geplotteten Ganglinien der mittleren monatlichen Fremdwasserzuschläge von den 128 Kläranlagen. Dabei lässt sich in jedem Jahr eine ausgeprägte, für Fremdwasserzuflüsse typische Saisonalität erkennen. Im Winterhalbjahr zwischen Dezember und April fließt den Anlagen vergleichsweise viel Fremdwasser zu, in den Sommermonaten werden dagegen geringere Mengen registriert. Der Wertebereich umfasst insgesamt Monatsmittelwerte der Fremdwasserzuschläge von 0 % bis 1.040 %.

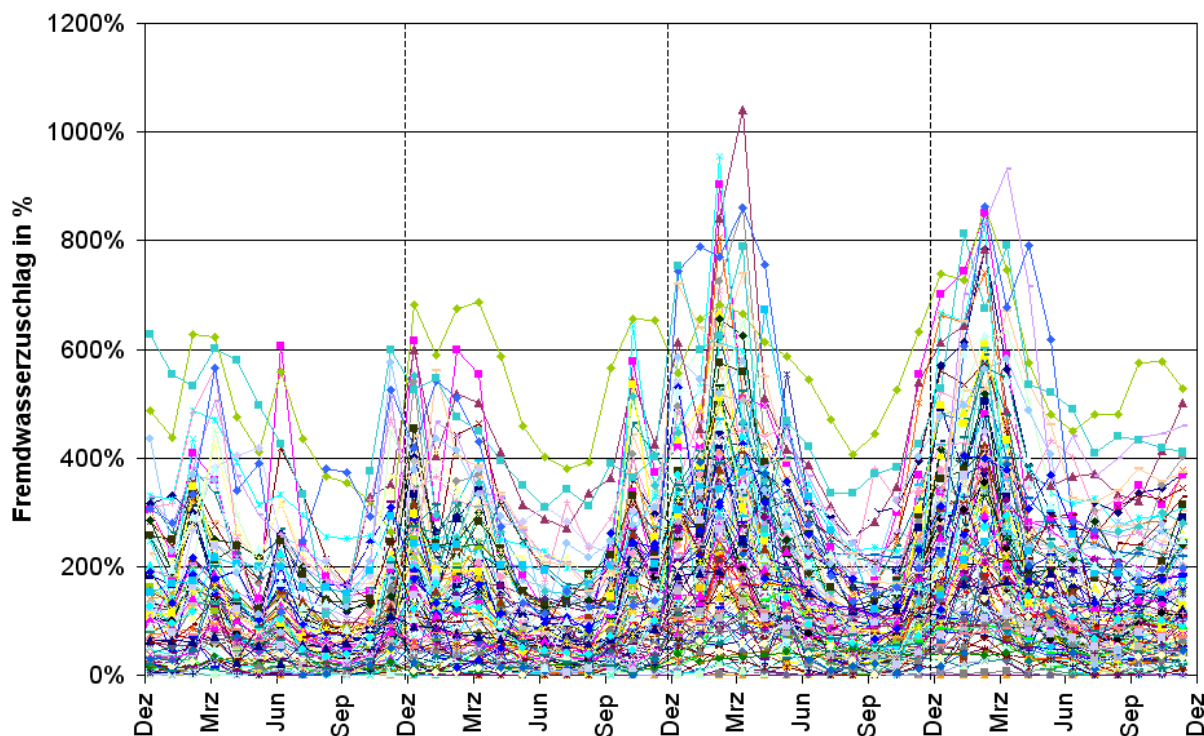


Abbildung 7: Mittlere monatliche Fremdwasserzuschläge nach der Methode des gleitenden Minimums für 128 Kläranlagen (1992-1995 bzw. 1997-2000)

Werden die 128 Einzelkurven zu „Umhüllenden“ zusammengefasst, erhält man die übersichtlichere Darstellungsform in Abbildung 8. Während die untere Umhüllende eine konstante „Nulllinie“ darstellt - in jedem Monat ergibt sich für mindestens eine Kläranlage ein mittlerer Fremdwasserzuschlag von 0 % - zeigt der Verlauf der mittleren und insbesondere der oberen Umhüllenden den bereits angesprochenen typischen jahreszeitlichen Verlauf.

Die Darstellung untermauert anschaulich, wie beschränkt die Aussagekraft eines einzigen Jahreswertes für die Beurteilung der Fremdwassersituation in der Siedlungswasserwirtschaft bleiben muss. Angesichts der drastischen Differenzen zwischen mittleren Werten und Monaten mit maximaler Fremdwasserbelastung erscheint grundsätzlich diskussionswürdig, welche Parameter für die charakteristische Beschreibung der Fremdwassersituation einer Kläranlage geeignet sind. Für eine Abschätzung von jährlichen Emissionen genügen sicherlich arithmetische Mittelwerte. Mittlere Monatliche Fremdwasserzuschläge von mehreren 100 % im Zulauf einer Kläranlage beeinträchtigen jedoch aller Voraussicht nach die ordnungsgemäße Funktion verschiedener siedlungswasserwirtschaftlicher Anlagen (vgl. Kapitel 2.3). Insofern sollten bei Fremdwasseranalysen in Abhängigkeit der Aufgabenstellung neben durchschnittlichen Jahresangaben zusätzlich unbedingt mittlere und/oder maximale monatliche Fremdwasserwerte berücksichtigt werden.

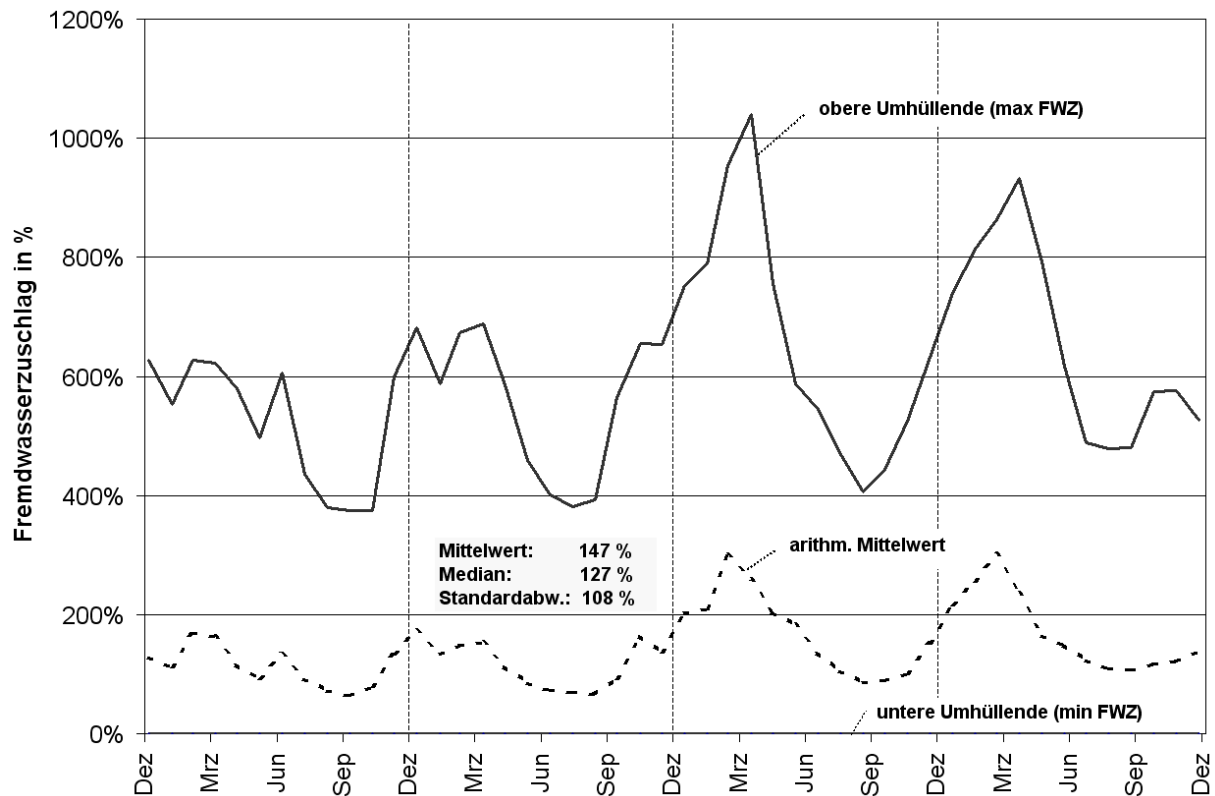


Abbildung 8: Obere und untere Umhüllende sowie arithmetische Mittelwerte der mittleren monatlichen Fremdwasserzuschläge von 128 Kläranlagen (1992-1995 bzw. 1997-2000) nach dem Verfahren des gleitenden Minimums

Die landesweite Dimension des Phänomens „viel“ Fremdwasser in Baden-Württemberg zeigt sich am Verlauf der Ganglinie des arithmetischen Mittelwertes in Abbildung 8. Sie erreicht insbesondere im Winterhalbjahr bedenkliche Werte. Ebenso signalisieren der arithmetische Mittelwert mit 147 % FWZ und der Median mit 127 % FWZ für alle Messmonate eine im Durchschnitt sehr hohe Fremdwasserbelastung.

Die obere Umhüllende spiegelt insgesamt ein noch besorgniserregenderes Bild der Fremdwassersituation wider. In jedem Winterhalbjahr finden sich über mehrere Monate Kläranlagen mit deutlich über 500 % Fremdwasserzuschlag. Die Werte lassen vermuten, dass die betroffenen Anlagen während dieser Monate hydraulisch vollständig überlastet sind und der ihnen zugedachten Funktion gar nicht mehr oder nur noch sehr eingeschränkt nachkommen können.

In Abbildung 9 wird die Frage aufgegriffen, ob die Beurteilung der hydraulischen Situation einer Kläranlage anhand von Spitzenzuflüssen oder durch über längere Zeiträume gemittelte Werte erfolgen sollte. Das Diagramm verdeutlicht, wie eklatant die Diagnosen einzelner Anlagen bei Verwendung von mittleren bzw. maximalen Monatswerten des Fremdwasserzuschlages voneinander abweichen. Auf der Ordinate

sind der mittlere und der maximal aufgetretene monatliche Fremdwasserzuschlag jeder einzelnen Kläranlage im jeweiligen Untersuchungszeitraum abzulesen. Die Daten wurden nach den monatlichen Spitzenwerten sortiert.

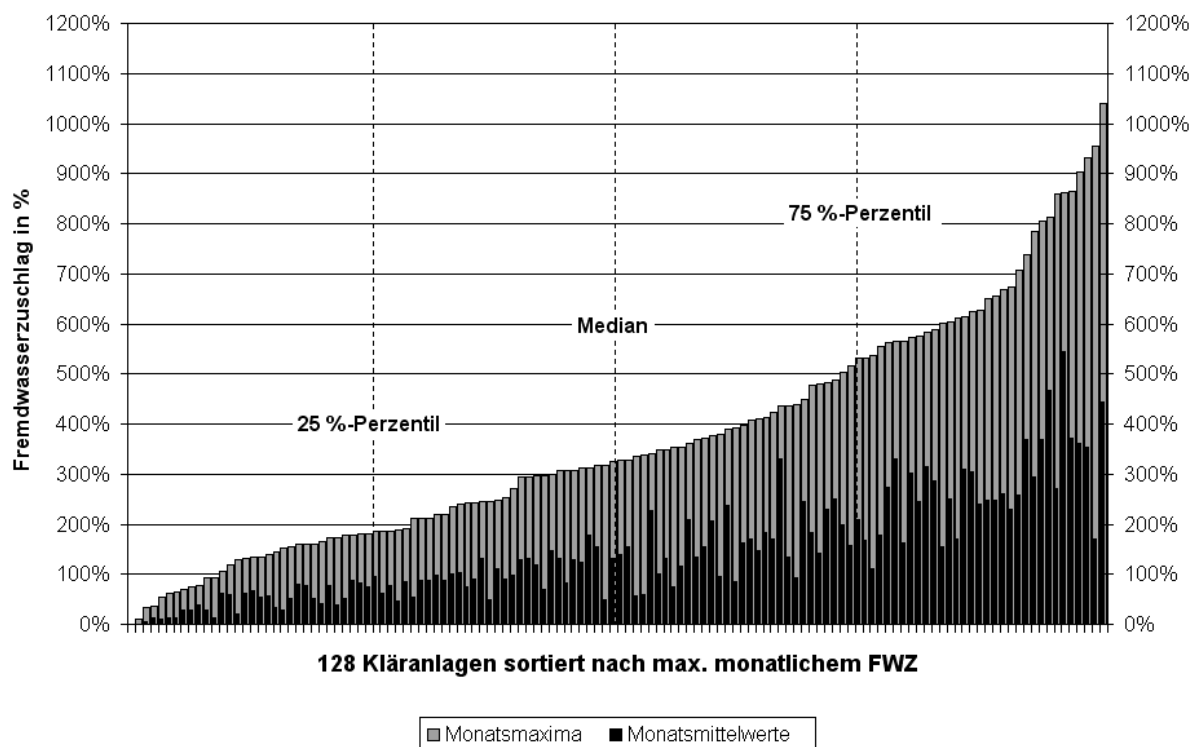


Abbildung 9: Maximale und mittlere monatliche Fremdwasserzuschläge von 128 Kläranlagen (1992-1995 bzw. 1997-2000) nach dem Verfahren des gleitenden Minimums

Während die „obere“ Kurve infolge der Sortierung stetig ansteigt, schwanken die zugehörigen mittleren Monatswerte deutlich erkennbar. Dies belegt, dass hohe Spitzenbelastungen nicht zwingend zu proportional ähnlich hohen Mittelwerten führen müssen. Geringe Unterschiede zwischen Mittel- und Spitzenwerten weisen grundsätzlich auf eine gleichmäßige Jahresbelastung beim Fremdwasserzufluss hin. Driften der Fremdwasserzuschlag im ungünstigsten Monat und der Mittelwert weit auseinander, bei einigen Kläranlagen bis zum sechs- bis achtfachen, liegen vermutlich stärker ausgeprägte saisonale Schwankungen vor. Grundsätzlich sind allerdings auch Zustände denkbar, die kurzfristig, mindestens jedoch für die Dauer eines Monats, hohe Abflussspitzen hervorrufen.

Die Schwankungsbreiten von monatlichen Fremdwasserzuschlägen können nach den gezeigten Abbildungen für einzelne Kläranlagen in der Praxis sehr hoch sein. Das gilt insbesondere für Anlagen mit ausgeprägten Spitzenbelastungen, also für diejenigen mit besonders hohem Gefährdungspotential für den Gewässerschutz. Der

Fremdwasserzuschlag einer kommunalen Kläranlage kann in ungünstigen Monaten den Jahresmittelwert um mehrere 100 % übersteigen. Derzeit basieren die hydraulischen Bemessungsansätze in der Siedlungswasserwirtschaft überwiegend auf pauschalen, mittleren Fremdwasserspenden (vgl. Tabelle 3). Da eine Mehrbelastung von 100 % FWZ für die regelgerechte Funktion einer siedlungswasserwirtschaftlichen Anlage von entscheidender Bedeutung sein kann, sollten sich insbesondere Neuplanungen nicht ausschließlich auf Jahresmittelwerte stützen. Empfehlenswert erscheint unbedingt auch eine möglichst realistische Ermittlung der zu erwartenden maximalen monatlichen Fremdwasserabflüsse.

4.2.3 Auswertung nach Kläranlagen-Größenklassen

Analog zur Auswertung der Daten des Statistischen Landesamtes in Kapitel 4.1 werden im Folgenden die nach dem Verfahren des gleitenden Minimums ermittelten Fremdwasserzuschläge analysiert. In Abbildung 10 sind vergleichbar zu Abbildung 4 die mittleren Monats-Fremdwasserzuschläge aller untersuchten 128 Kläranlagen nach den fünf Größenklassen der Abwasserverordnung (2002) sortiert dargestellt. Weil der Datenpool keine Kläranlagen mit weniger als 1.000 EW beinhaltet, entfällt die Größenklasse 1 in der Abbildung. Wie in Kapitel 4.2.1 erläutert, wurde auf die Auswertung besonders kleiner Kläranlagen bewusst verzichtet.

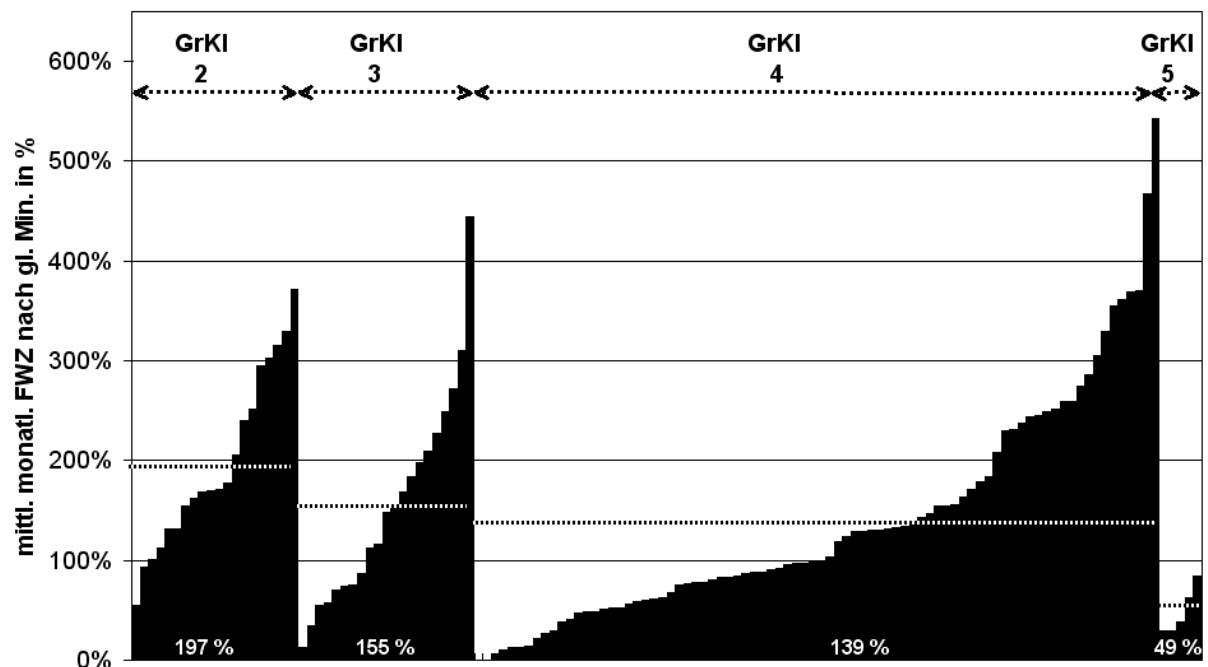


Abbildung 10: Mittlere Monats-Fremdwasserzuschläge von 128 Kläranlagen in Baden-Württemberg (1992-1995 bzw. 1997-2000), sortiert nach Kläranlagen-Größenklassen der Abwasserverordnung (2002)

Grundsätzlich sehen die Verläufe der mittleren Fremdwasserzuschläge in den Größenklassen 2, 3 und 4 (wie bei der Interpretation der statistischen Daten in Kapitel 4.1) sehr ähnlich aus. Die „besten“ Kläranlagen liegen meist nahe 0 % FWZ, während sich für die „schlechtesten“ Fremdwasserzuschläge von mehreren 100 % ergeben. Die arithmetischen Mittelwerte sind in Abbildung 10 wiederum mit punktierten horizontalen Linien hervorgehoben, sowie als konkrete Zahlenwerte in den schwarzen Flächen abzulesen. Sie bewegen sich für die Größenklassen zwei bis vier zwischen 139 % und 197 % FWZ. Ob die abnehmende Tendenz der Mittelwerte mit steigender Zahl angeschlossener Einwohnerwerte als Zufall zu werten ist oder einen tatsächlich vorhandenen Trend andeutet, bleibt aufgrund der verhältnismäßig geringen Abweichungen fraglich. Die Spitzenwerte jeder Größenklasse laufen dieser Beobachtung jedenfalls entgegen; sie nehmen in Richtung größerer Anlagen bis zur Klasse 4 zu.

Obwohl nur wenige Kläranlagendaten der Größenklasse 5 vorliegen zeichnet sich deutlich ab, dass sehr große Anlagen im Durchschnitt geringere Fremdwasserzuflüsse aufweisen. Sowohl der arithmetische Mittelwert mit 49 % FWZ wie auch der Höchstwert mit 85 % FWZ liegen klar unter denen der anderen Gruppen. Dieser Trend bestätigt insbesondere hinsichtlich der maximalen Werte die Beobachtungen und die Schlussfolgerungen, die anhand der Auswertung von Daten des Statistischen Landesamtes in Kapitel 4.1.3 gewonnen wurden.

Abschließend wird die Fremdwassersituation in den jeweils ungünstigsten Monaten der Untersuchungsperiode aufgezeigt. Abbildung 11 enthält die höchsten Monatswerte des Fremdwasserzuschlages aller ausgewerteten 128 Kläranlagen, wiederum sortiert nach den fünf Größenklassen der Abwasserverordnung (2002).

Die „Kurven“ verlaufen innerhalb der Größenklassen im Vergleich zu den mittleren Werten aus Abbildung 10 qualitativ ähnlich. Zwischen den Größenklassen 2, 3 und 4 lassen sich nur geringe Unterschiede diagnostizieren. Die auffallend niedrigen Fremdwasserzuschläge in der Größenklasse 5 stützen unverändert die These, dass Kläranlagen mit mehr als 100.000 angeschlossenen Einwohnerwerten in der Praxis nur selten die erforderlichen hydraulischen Voraussetzungen aufweisen, um monatliche Fremdwasserzuschläge von mehreren 100 % aufzunehmen.

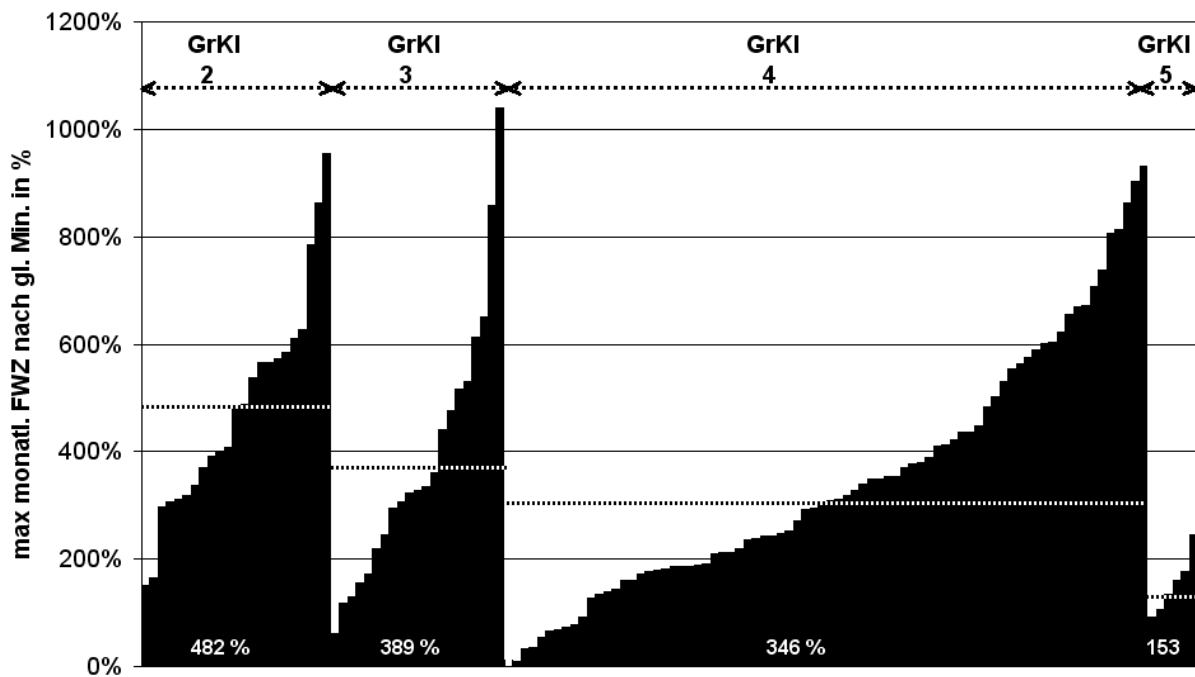


Abbildung 11: Maximale Monats-Fremdwasserzuschläge von 128 Kläranlagen in Baden-Württemberg (1992-1995 bzw. 1997-2000), sortiert nach Kläranlagengrößenklassen der Abwasserverordnung (2002)

Darüber hinaus illustriert Abbildung 11, dass nur für eine sehr geringe Anzahl von Kläranlagen ganzjährig kleine Fremdwasserzuschläge ermittelt werden. Innerhalb der gewählten Untersuchungsperiode unterschreiten lediglich neun von 128 untersuchten Kläranlagen jeden Monat die Grenze von 100 % FWZ. Immerhin 28 Anlagen bleiben für den analysierten Zeitraum permanent unter 200 % FWZ. In prozentualen Anteilen ausgedrückt liegen 7 % aller Kläranlagen beziehungsweise 22 % aller Kläranlagen dauerhaft unter den beiden angegebenen Grenzwerten.

4.3 Vergleich beider Auswertungen

Das Ziel der vorangegangenen Kapitel lag in der anschaulichen Darstellung der Fremdwassersituation Baden-Württembergs. Dazu wurde einerseits auf von Kläranlagenbetreibern gemeldete Daten des Statistischen Landesamtes zurückgegriffen, andererseits erfolgte eine Auswertung von 128 ausgewählten Kläranlagen nach der Methode des gleitenden Minimums. Trotz unterschiedlicher Datengrundlagen, nicht kongruenter Untersuchungszeiträume und abweichender Ermittlungsmethoden lassen sich die Ergebnisse aus Kapitel 4.1 und 4.2 im Hinblick auf durchschnittliche Jahreswerte der jeweiligen Datenpools vergleichen.

Im Folgenden wird dargelegt, wie stark die ermittelten Fremdwassermengen in Baden-Württemberg in Abhängigkeit der erläuterten Verfahren divergieren. Abbildung 12 stellt vor diesem Hintergrund die mittleren Jahreswerte des Fremdwasserzuschlages gegenüber.

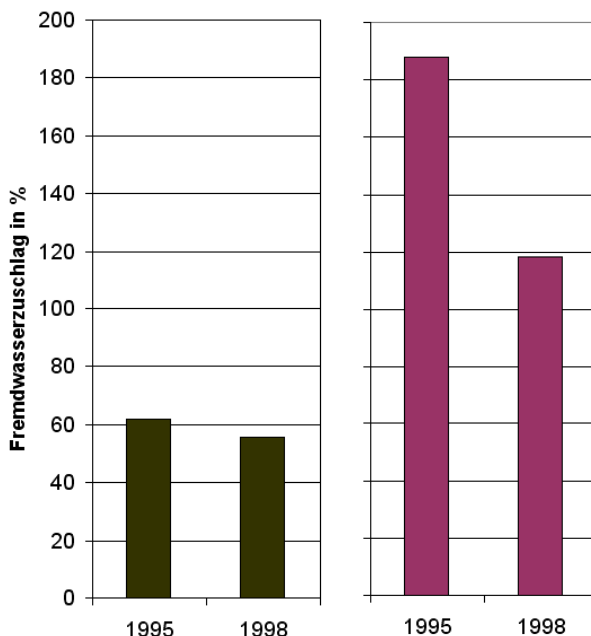


Abbildung 12: Dem Statistischen Landesamt gemeldete Jahresfremdwasserwerte 1995 und 1998 von 1.158 Kläranlagen sowie mittlere jährliche Fremdwasserzuschläge nach der Methode des gleitenden Minimums für 34 Kläranlagen im Jahr 1995 bzw. für 85 Kläranlagen im Jahr 1998

Für 1995 und 1998 meldeten die Betreiber der 1.158 Kläranlagen durchschnittlich 62 % beziehungsweise 56 % FWZ. In den gleichen Jahren ergibt die Auswertung von 128 Kläranlagen mit dem Verfahren des gleitenden Minimums mittlere Jahreswerte von 188 % und 119 % FWZ. Die Differenz ist signifikant, der Multiplikator beträgt 3,0 beziehungsweise 2,1.

Abbildung 13 stellt die mittleren jährlichen Fremdwasserzuschläge von 85 untersuchten Kläranlagen aus dem Jahr 1998 dar, wie sie sich nach dem Verfahren des gleitenden Minimums aus den Monatswerten errechnen lassen. Die Illustration bildet das Pendant zu Abbildung 3, allerdings liegt eine andere Ermittlungsmethode zugrunde. Gemäß der Summenhäufigkeitslinie unterschreiten nur 53 % aller Kläranlagen die 100 %-Grenze zur „unzulässigen Verdünnung und Vermischung“. Annähernd jede zweite untersuchte Anlage in Baden-Württemberg liegt „zu hoch“. Der Anteil von Kläranlagen mit „zu viel“ Fremdwasser hat sich, ausgehend von den Daten des Statistischen Landesamtes (Abbildung 3) von 13 % auf 47 % mehr als verdreifacht.

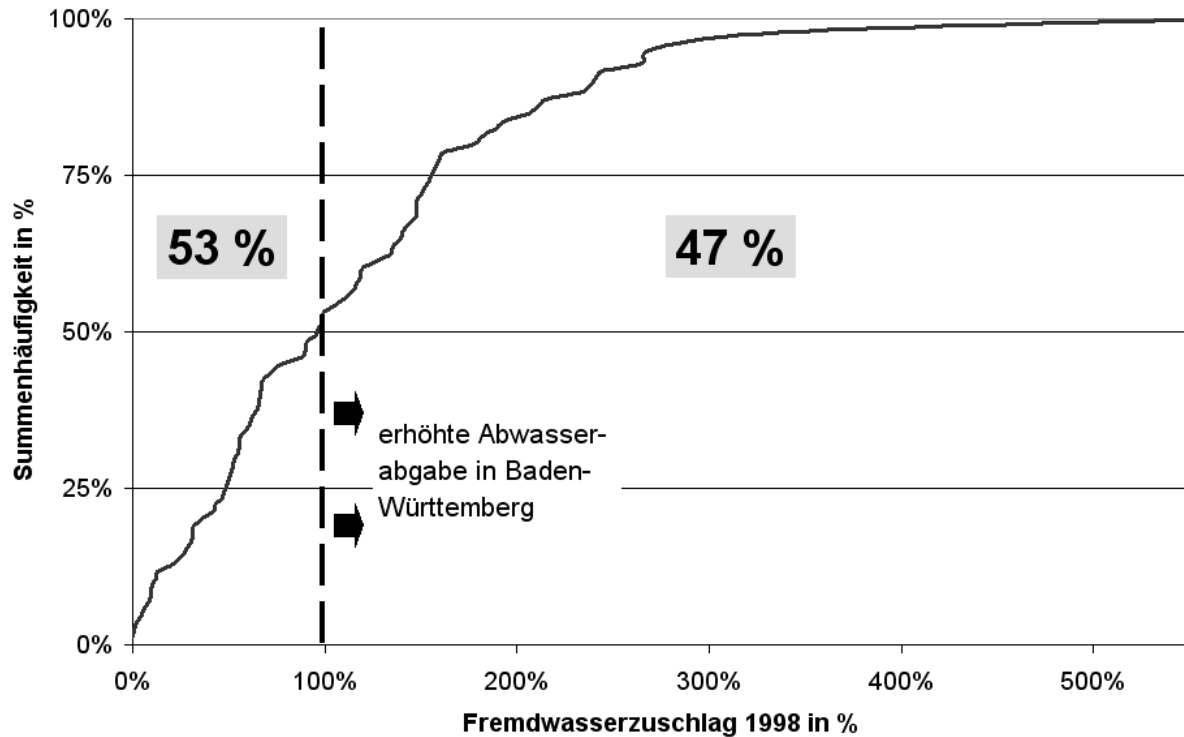


Abbildung 13: Summenhäufigkeitslinie der mittleren jährlichen Fremdwasserzuschläge von 85 Kläranlagen nach der Methode des gleitenden Minimums (1998)

Weil das Jahr 1998 gemäß Abbildung 6 innerhalb der gesamten Untersuchungsperiode eines mit vergleichsweise geringer Fremdwasserbelastung war, erhöht sich bei längerfristiger Betrachtung die Anzahl von Kläranlagen mit durchschnittlich mehr als 100 % Fremdwasserzuschlag. Nach Abbildung 14 beläuft sich der prozentuale Anteil aller 128 untersuchten Abwasserreinigungsanlagen mit in diesem Sinne „zu viel“ Fremdwasser auf 56 %. Als Basis für den Mittelwert dient jeweils der gesamte zur Verfügung stehende Untersuchungszeitraum, im Regelfall vier Jahre. Gemäß Abbildung 14 müsste im langfristigen Durchschnitt die Mehrheit der Kläranlagenbetreiber nach baden-württembergischen Recht auf eine Reduzierung der Abwasserabgabe verzichten.

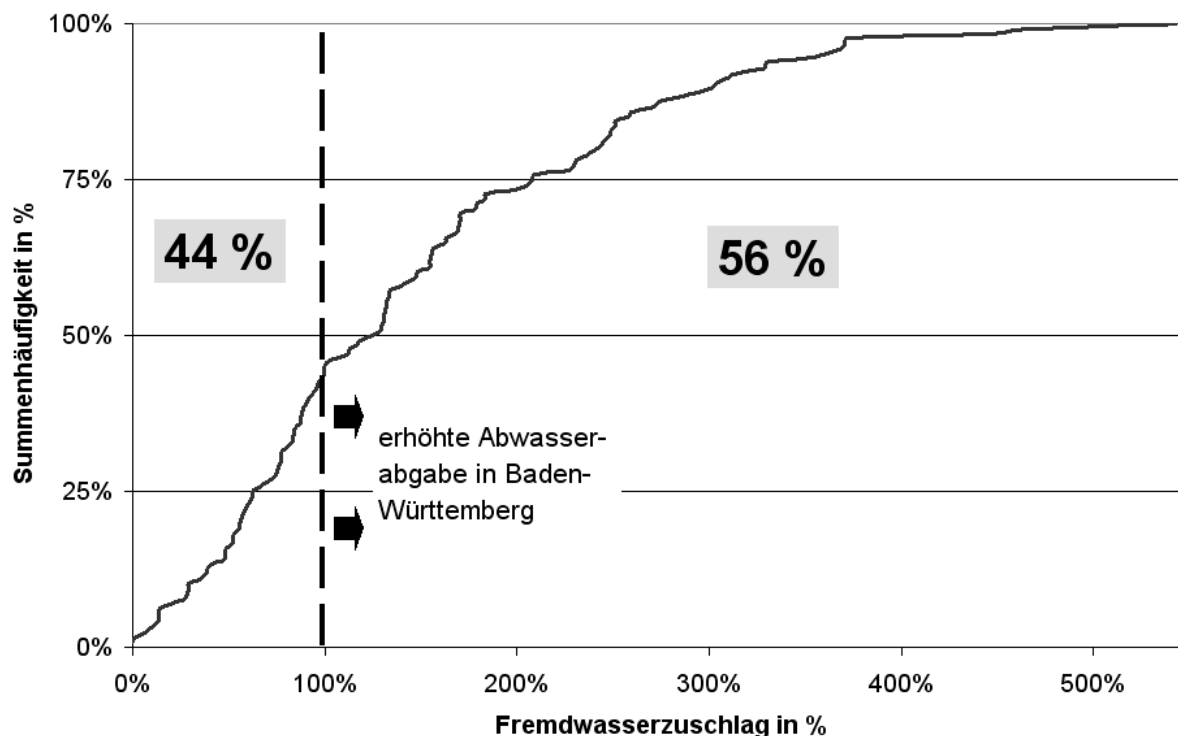


Abbildung 14: Summenhäufigkeitslinie der langfristigen mittleren jährlichen Fremdwasserzuschläge nach der Methode des gleitenden Minimums (128 Kläranlagen, 1992-1995 bzw. 1997-2000)

Nachfolgend werden die Fremdwasserwerte für die untersuchten 128 Kläranlagen nach den beiden angewandten Verfahren unmittelbar gegenübergestellt. Abbildung 15 enthält zwei horizontale Achsen. Die untere Achse zeigt für jede Anlage den mittleren monatlichen Fremdwasserzuschlag nach der Methode des gleitenden Minimums. Die Daten sind aufsteigend sortiert eingetragen. Die obere Achse zeigt die zugehörigen Jahreswerte der Fremdwasserzuschläge, wie sie sich aus den offiziell gemeldeten -anteilen errechnen lassen. Dabei ist stets der höchste gemeldete Wert aus der Untersuchungsperiode dargestellt.

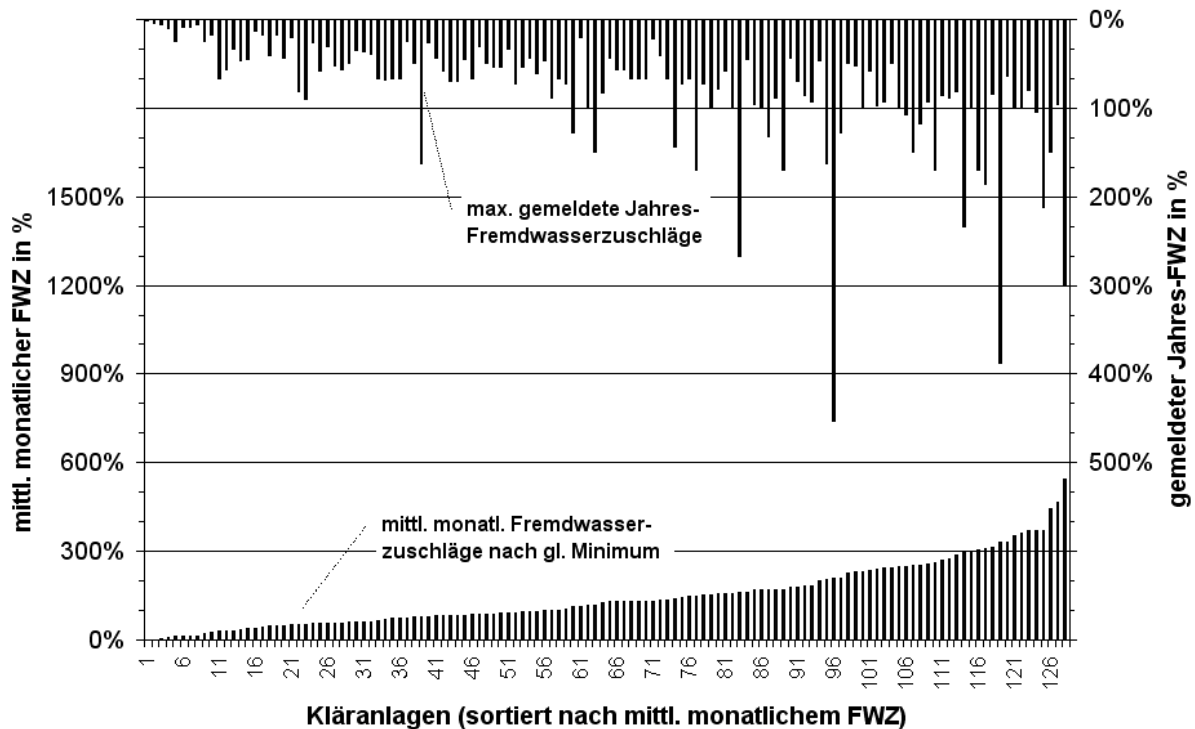


Abbildung 15: Vergleich zwischen mittlerem monatlichem Fremdwasserzuschlag nach der Methode des gleitenden Minimums und dem in dieser Zeit höchsten gemeldeten Jahres-Fremdwasserzuschlag (128 Kläranlagen, 1992-1995 bzw. 1997-2000)

Aus dem Diagramm ergeben sich keinerlei Hinweise auf einen signifikanten Zusammenhang zwischen den dargestellten Größen. Dies widerspricht jeglichen Erwartungen, da in beiden Fällen mittlere Fremdwasserbelastungen von Kläranlagen über ein beziehungsweise mehrere Jahre abgebildet sind. Während die Wertebereiche der Ordinaten zumindest in ähnlicher Größenordnung liegen, erscheinen die Größen nahezu statistisch unabhängig. Besonderes Augenmerk verdient dabei die Tatsache, dass einige Kläranlagen mit gemeldeten Fremdwasserzuschlägen oberhalb von 100 % - das sind diejenigen, die aufgrund unzulässiger Verdünnung und Vermischung keine Reduzierung der Abwasserabgabe mehr erhalten - nach der Methode des gleitenden Minimums verhältnismäßig geringe Werte aufweisen. Beispielsweise liegt die Kläranlage mit dem höchsten gemeldeten Fremdwasserzuschlag von 499 % nach dem Ranking des gleitenden Minimums zwar im oberen Drittel, keinesfalls jedoch in der absoluten „Spitzengruppe“. Umgekehrt kommen einige Kläranlagen mit nach der Methode des gleitenden Minimums außergewöhnlich hohen Fremdwasserzuschlägen in den Genuss einer reduzierten Abwasserabgabe, weil sie Fremdwasserzuschläge unterhalb von 100 % melden.

Abbildung 16 stellt die höchsten gemeldeten Jahreswerte den maximalen monatlichen Fremdwasserzuschlägen nach gleitendem Minimum, jeweils im Untersuchungszeitraum 1992-1995 beziehungsweise 1997-2000, gegenüber. Erwartungsgemäß nehmen die quantitativen Abweichungen im Vergleich zu den Mittelwerten aus der vorigen Abbildung deutlich zu. Bemerkenswert erscheint, wie deutlich die Unterschiede zwischen gemeldetem Jahresmittelwert und ungünstigstem Monat nach der Methode des gleitenden Minimums in der Regel ausfallen. Vielfache im Bereich von 10 sind keine Seltenheit.

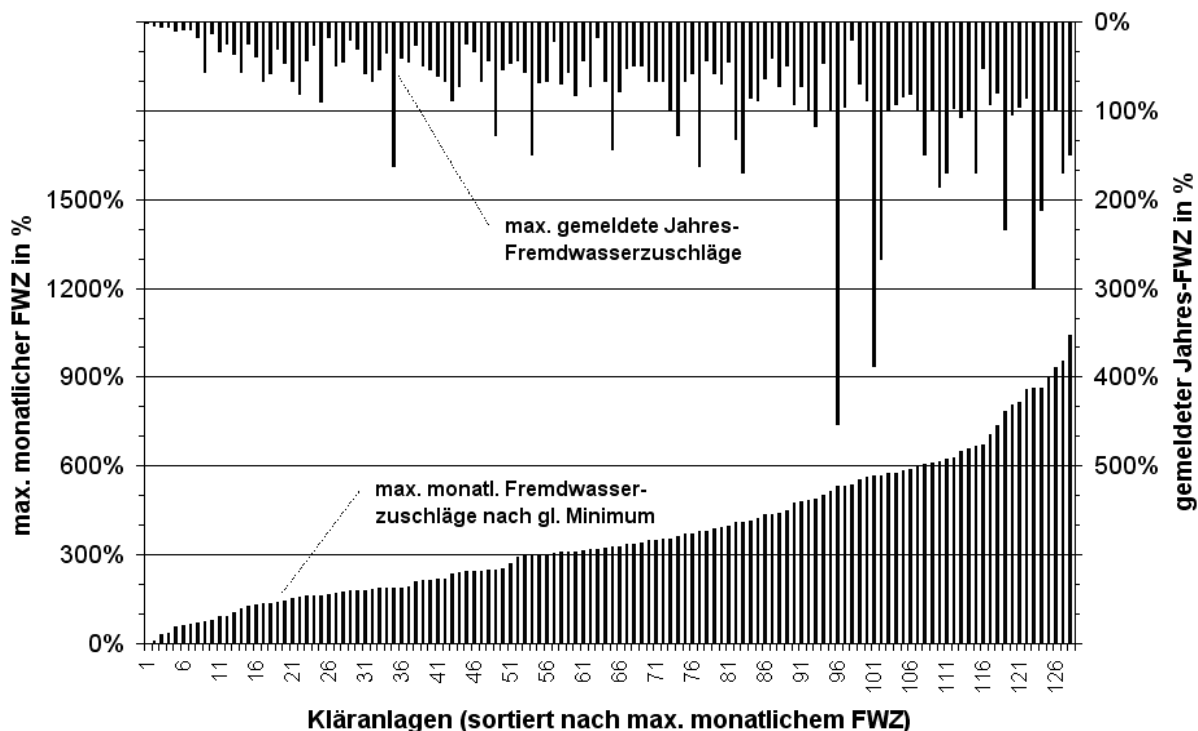


Abbildung 16: Vergleich zwischen maximalem monatlichem Fremdwasserzuschlag nach der Methode des gleitenden Minimums und dem in dieser Zeit höchsten gemeldeten Jahres-Fremdwasserzuschlag (128 Kläranlagen, 1992-1995 bzw. 1997-2000)

Abbildung 17 zeigt die Fremdwassersituation in einem anderen Kontext. Wiedergegeben ist die zeitliche Verteilung der monatlichen Fremdwasserzuschläge aller untersuchten Kläranlagen. Das Balkendiagramm beinhaltet 5.574 Messmonate von 128 Kläranlagen. Das Ergebnis ergänzt und bestätigt die Auswertung für die 34 Entwässerungsnetze im 2001 abgeschlossenen Forschungsprojekt „Quantifizierung der saisonalen und naturräumlichen Bedeutung von Fremdwasserzuflüssen in Mischsystemen“ (Fuchs et al., 2001). In etwa 50 % aller Messmonate beträgt der monatliche Fremdwasserzuschlag nach der Methode des gleitenden Minimums weniger als 100 %. Im Umkehrschluss ergibt sich, dass für die verbleibende Zeit, dass heißt für annähernd vier von acht Untersuchungsjahren, im Hinblick auf den baden-

württembergischen Grenzwert für eine unzulässige Verdünnung und Vermischung „zu hohe“ monatliche Fremdwasserzuschläge vorliegen. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass der Grenzwert auf mittlere Jahreswerte bezogen ist und eine abweichende Ermittlungsmethode zugrunde legt. Nichtsdestotrotz stellt Abbildung 17 die Fremdwassersituation baden-württembergischer Kläranlagen deutlich ungünstiger dar, als es beispielsweise Abbildung 3 zu entnehmen ist. Die Verteilung der monatlichen Fremdwasserzuschläge vermittelt einen realitätsnahen Eindruck der tatsächlichen Fremdwasserbelastung von den ausgewerteten Kläranlagen. Nach der Methode des gleitenden Minimums tritt während der Hälfte der gesamten Untersuchungsdauer „zu viel“ Fremdwasser auf, obwohl lediglich 13 % aller baden-württembergischen Kläranlagen im Jahresmittel mehr als 100 % Fremdwasserzuschlag melden.

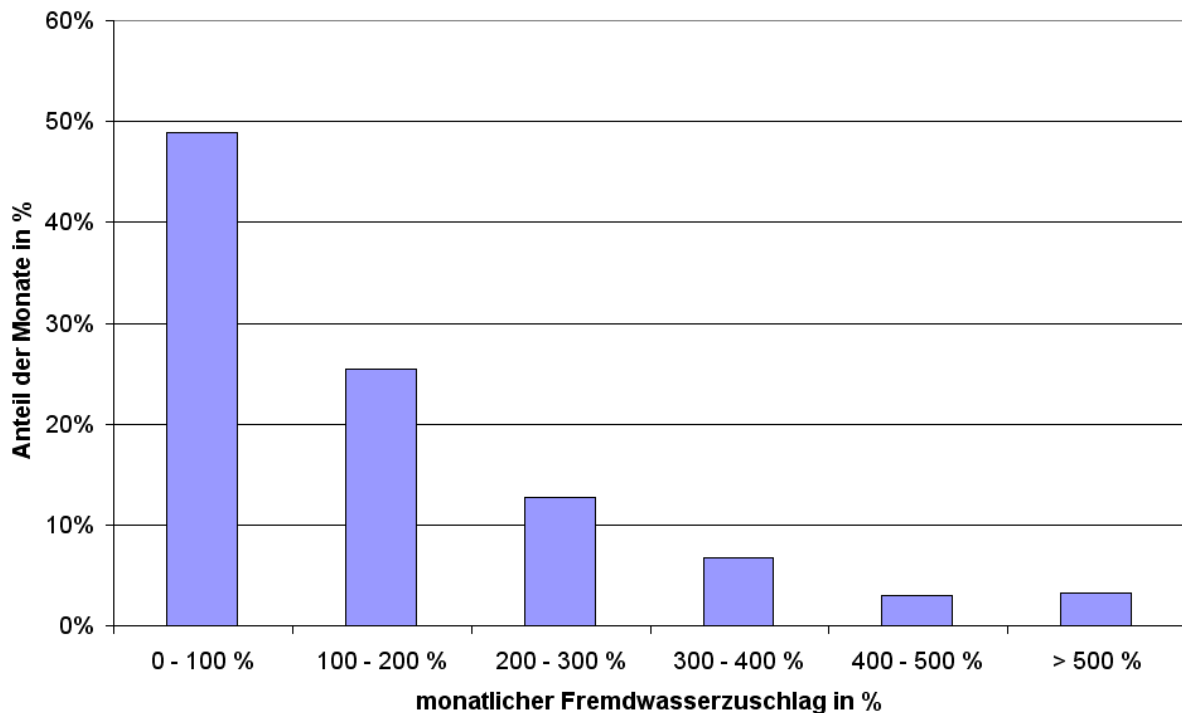


Abbildung 17: Prozentuale Verteilung der monatlichen Fremdwasserzuschläge von 128 Kläranlagen (5.574 gemessene Monate von 1992-1995 bzw. 1997-2000)

Das Bild der Fremdwassersituation auf baden-württembergischen Kläranlagen erscheint nach dem Verfahren des gleitenden Minimums aussagekräftiger und in weiten Teilen realistischer als das, welches durch die etablierten Verfahren suggeriert wird. Insofern wäre es wünschenswert, einen allgemeingültigen „Umrechnungsfaktor“ von flächendeckend vorliegenden Jahres-Fremdwasserzuschlägen in zu erwartende mittlere oder maximale Monatsfremdwassermengen, wie sie sich nach dem Verfahren des gleitenden Minimums ergeben, zu besitzen.

Die Kurven in Abbildung 18 rufen jedoch den Eindruck hervor, dass dies aufgrund der großen Unterschiede bei den ermittelten Fremdwasserbelastungen nur eingeschränkt gelingt. Die mittleren Fremdwasserzuschläge nach gleitendem Minimum übersteigen die gemeldeten Jahreswerte im arithmetischen Mittel um den Faktor 2,0 sowie beim Median um den Faktor 1,8 (untere Kurve in der Abbildung). Dabei treten Schwankungen in nicht zu vernachlässigender Größenordnung auf. Der Wertebereich umfasst Umrechnungsfaktoren zwischen 0,4 und 6,2. Die Standardabweichung beträgt 1,2. Die Korrelation der gemeldeten Fremdwasserzuschläge mit den maximalen monatlichen Fremdwasserzuschlägen nach dem Verfahren des gleitenden Minimums (obere Kurve in der Abbildung) führt zu noch schlechteren Übereinstimmungen.

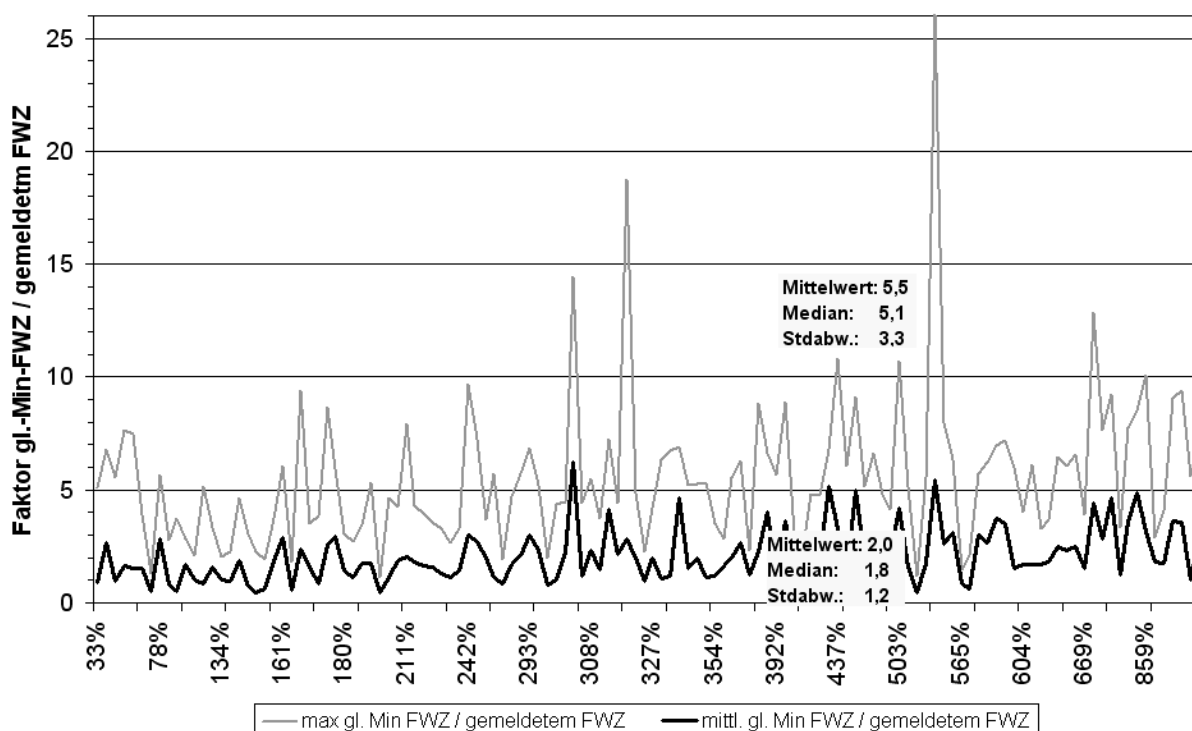


Abbildung 18: Multiplikationsfaktor zwischen dem mittleren bzw. maximalen monatlichen Fremdwasserzuschlag nach der Methode des gleitenden Minimums und dem in dieser Zeit höchsten gemeldeten Jahres-Fremdwasserzuschlag (128 Kläranlagen, 1992-1995 bzw. 1997-2000)

Aus Abbildung 18 muss die Schlussfolgerung gezogen werden, dass in der Praxis keine Vorhersage des zu erwartenden Fremdwasserzuflusses nach der Methode des gleitenden Minimums aus den gemeldeten Jahreswerten möglich ist. Die wahrscheinlichen Fehler sind in ihrer Größenordnung inakzeptabel. Falls Aussagen über zu erwartende Fremdwasserzuschläge oder saisonale Schwankungen nach gleitendem Minimum erwünscht sind, ist eine tatsächliche Anwendung des Verfahrens unumgänglich.

Zusammenfassend lassen sich im Hinblick auf die Fremdwassersituation in Baden-Württemberg die folgenden Punkte festhalten:

- Die dem Statistischen Landesamt gemeldeten mittleren Jahreswerte der Fremdwasserbelastung liegen für 1.158 Kläranlagen im Mittel um 60 % FWZ. Nach der Methode des gleitenden Minimums ergeben sich für 128 ausgewählte Kläranlagen innerhalb eines achtjährigen Untersuchungsintervalls durchschnittliche Fremdwasserzuschläge zwischen 109 % und 188 %.
- Laut den 1998 gemeldeten Daten liegen 13 % aller Kläranlagen im Jahresmittel über 100 % FWZ und verlieren damit wegen unzulässiger Verdünnung und Vermischung ihren Anspruch auf eine Reduzierung der Abwasserabgabe. Nach der Methode des gleitenden Minimums weisen im gleichen Jahr 47 %, im mehrjährigen Mittel sogar 56 % der untersuchten Anlagen in diesem Sinne „zu hohe“ Fremdwasserzuschläge auf.
- Die Mehrheit der Kläranlagen erscheint aufgrund der mit etablierten Verfahren ermittelten, offiziell gemeldeten Jahreswerte in einem deutlich besseren Licht, als es die Methode des gleitenden Minimums widerspiegelt. Die mittleren monatlichen Fremdwasserzuschläge übersteigen die jährlichen Werte in der Regel signifikant.
- Gemäß der zeitlichen Verteilung der Fremdwasserzuschläge von 5.574 Monaten (128 Kläranlagen, 1992-1995 bzw. 1997-2000) treten statistisch in jedem zweiten Monat Werte über 100 % auf.
- Allen Kläranlagen gemeinsam sind die mehr oder minder stark ausgeprägten saisonalen Schwankungen. Im Jahresverlauf betragen die Fremdwasserzuschläge in den „ungünstigen“ Wintermonaten häufig ein Vielfaches der Werte im Sommer.
- Die Analyse nach Größenklassen führt bei beiden angewandten Ermittlungsverfahren zur Beobachtung, dass extrem hohe Fremdwasserzuschläge von mehreren 100 % bei sehr großen Kläranlagen über 100.000 EW typischerweise nicht vorkommen.
- Wegen zu großer Schwankungsbreiten lässt sich kein allgemeingültiger „Umrechnungsfaktor“ von flächendeckend vorliegenden gemeldeten Jahres-Fremdwasserzuschlägen in zu erwartende mittlere oder maximale Monats-fremdwassermengen, wie sie sich nach dem Verfahren des gleitenden Minimums ergeben, bestimmen.

5 Potentielle Ursachen für „zu viel“ Fremdwasser

Die Ergebnisse aus Kapitel 4 verdeutlichen, dass sich die tatsächliche Fremdwassersituation in Baden-Württemberg teilweise weitaus ungünstiger darstellt, als es die jährlich gemeldeten Daten der Betreiber von Abwasserreinigungsanlagen vermuten lassen. Die Anwendung der Methode des gleitenden Minimums offenbart Monatsmittelwerte von Fremdwasserzuflüssen, deren Größenordnung als besorgniserregend eingestuft werden muss. Aufbauend auf diesen Resultaten wird im Folgenden nach der Herkunft und den entscheidenden Gründen für das Auftreten von „zu viel“ Fremdwasser gesucht.

Wie bereits in den einleitenden Kapiteln erwähnt, mangelt es in der Fachliteratur nicht an Hypothesen über wahrscheinliche Ursachen für Fremdwasserprobleme in der Siedlungswasserwirtschaft. Allerdings liegen selten objektive Bestätigungen der Hypothesen vor. Konkrete Nachweise der Wirkung einzelner Einflussfaktoren auf real gemessene Fremdwasserabflüsse werden in der Regel nicht erbracht. Die Gründe sind vornehmlich in der Tatsache zu sehen, dass sich in einen Kanalstrang eintretendes Fremdwasser unmittelbar mit dem restlichen Abfluss, also mit Schmutz- und gegebenenfalls vorhandenen Regenwasseranteilen, vermischt. Messungen im Kanalnetz oder an ausgewählten Bauwerken können zwangsläufig nur den Gesamtabfluss bestimmen. Zur Beurteilung der Wirksamkeit einzelner Einflussfaktoren auf die Fremdwasserproblematik wäre statt dessen eine exakte Aufteilung in separate Fremdwasserströme notwendig. Nur so ließe sich jeder vermuteten Ursache ein korrespondierender Abfluss zuweisen.

Die bislang präsentierten Fremdwasseranalysen basieren auf den Abflussmessungen von Kläranlagen. Dort werden die Fremdwassereintritte aus dem gesamten zugehörigen Kanalnetz erfasst und ausgewertet. Die Messung am Endpunkt eines Entwässerungsnetzes stellt einen integrierenden Indikator für dessen Fremdwasserbelastung dar. Dieser Indikator ist im weiteren Sinne mit aus der Analytik bekannten Summenparametern vergleichbar. Dargestellt wird eine durchschnittliche Gesamtbelastung. Dabei bleibt unklar, wie sich die Menge aus beliebig vielen einzelnen Teilen zusammensetzt. Übertragen auf die Problematik der Fremdwasseranalyse bedeutet dies: Aus einem ermittelten Gesamt-Fremdwasserabfluss am Endpunkt des Entwässerungsnetzes lässt sich nicht abschätzen, an wie vielen einzelnen Stellen und in welchen Größenordnungen dort Fremdwasser eintritt. Eine Zuordnung des Fremdwasserzuschlages einer Kläranlage auf potentielle einzelne Ursachen ist deshalb nicht möglich.

Die Anzahl separater Fremdwassereintritte in ein Kanalnetz lässt sich praktisch ausschließlich durch aufwendige Messkampagnen „vor Ort“ ermitteln. In solchen Kampagnen werden zunächst stark fremdwasserbehaftete Hauptsammler gesucht. Anschließend lassen sich die Eintrittsstellen durch Messungen entgegen der Fließrichtung weiter eingrenzen, schließlich lokalisieren und einzelnen Ursachen zuweisen. Eine geeignete Strategie für Messkampagnen in der Kanalisation ist bei Sitzmann (2001) ausführlich beschrieben.

Die skizzierte Vorgehensweise führt - wenn Fremdwasserzuflüsse während der Messperiode nicht teilweise oder temporär versiegen - mit großer Sicherheit zur Identifikation der maßgebenden Fremdwasserursachen in einem Einzugsgebiet. Die entstehenden Kosten und der zeitliche Aufwand sind allerdings erheblich. Bei Sitzmann (2001) finden sich überschlägige Angaben zu den durchschnittlich entstehenden finanziellen Belastungen und dem zu erwartenden Nutzen – auch wenn dieser nach Auskunft des Autors „monetär nur schwer beziffert werden kann“. Nicht zuletzt deshalb werden entsprechende Fremdwasser-Untersuchungen von Betreibern nur ungern durchgeführt. In der Regel bleiben sie auf ausgewählte Bauwerke oder Einzelfälle mit besonderer Problemstellung beschränkt.

Weil sich punktuell verfügbare, gemessene Fremdwasserabflüsse in der Praxis nicht nach ihrer Herkunft in einzelne Anteile aufschlüsseln lassen und die verfügbare Datendichte von Messungen in Kanalnetzen grundsätzlich sehr gering ist, müssen andere Wege der Ursachenforschung beschritten werden. Als Alternative bietet sich die Auswertung umfangreicher Fremdwasser-Messungen auf Kläranlagen in Verbindung mit verschiedenen charakteristischen Kennwerten der Einzugsgebiete an. Dabei lässt sich das „Gesetz der großen Zahlen“ nutzen. Viele Wiederholungen eines Experiments liefern nach gewissen Zeitspannen die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Ereignis - das Resultat des Experiments - eintritt (Tiemann, 1999). Vor diesem Hintergrund wird wiederum auf die bereits aus Kapitel 4 bekannten Datenquellen zurückgegriffen. Einerseits erfolgt die Identifikation maßgebender Ursachen anhand der flächendeckend verfügbaren Angaben des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg. Zur Verifizierung wird anschließend die Auswertung der 128 selbst erhobenen Kläranlagendaten mit dem Verfahren des gleitenden Minimums präsentiert. Von besonderem Interesse ist dabei, ob sich ähnlich wie bei der Quantifizierung der Fremdwasserbelastung auch bei der Ursachenforschung signifikante Abweichungen zwischen den Ermittlungsmethoden ergeben.

Grundsätzlich müssen bei statistischen Untersuchungen, die auf einer großen Anzahl einzelner Messwerte basieren, gewisse Einschränkungen hinsichtlich der Interpretation beachtet werden. Das gilt insbesondere, wenn Auswertungen sich nicht mit der Identifikation grundsätzlicher Tendenzen begnügen, sondern zusätzlich auf die Ent-

deckung allgemeingültiger Regeln abzielen. Trotz der generellen Zuverlässigkeit mit hoher statistischer Wahrscheinlichkeit ermittelter Aussagen können flächendeckend vorhandene Beobachtungsmerkmale im Einzelfall durch lokale Ursachen signifikant überlagert werden. Solche lokalen Ursachen sind in der Lage, an einzelnen Standorten vorhandene großräumige Trends vollständig zu überdecken. Die folgenden Ausführungen erscheinen demzufolge durchaus geeignet, um übergeordnete Wirkungszusammenhänge zwischen der Fremdwasserbelastung und isolierten, potentiellen Einflussfaktoren aufzuzeigen. Im Umkehrschluss kann jedoch nicht auf konkret zu erwartende Fremdwasserbelastungen einer willkürlich ausgewählten Kläranlage geschlossen werden. Abgebildet wird das mehrheitliche Verhalten aller untersuchten Entwässerungsnetze. Daraus werden Schlussfolgerungen im Hinblick auf die tatsächliche Wirksamkeit einiger potentieller Ursachen für „zu viel“ Fremdwasser abgeleitet.

5.1 Auswertung von Daten des Statistischen Landesamtes

Anhand der Daten des Statistischen Landesamtes aus dem Jahr 1998 lässt sich überprüfen, ob und gegebenenfalls wie stark einzelne potentielle Ursachen die Fremdwasserabflüsse beeinflussen. Dabei sind zwei Einschränkungen zu beachten. Einerseits stützen sich alle Aussagen dieses Kapitels auf gemeldete, mittlere Jahreswerte. Andererseits können einzelne Ursachen, auch wenn ihnen mehrheitlich nur eine untergeordnete Bedeutung zukommt, lokal sehr wirksam sein. Die genannten Einschränkungen sind bei der anschließenden Interpretation der Fremdwassersituation und ihrer potentieller Ursachen zu berücksichtigen.

5.1.1 Einfluss der Kanalnetzlänge

Traditionell wird in zahlreichen Lehrbüchern und -manuskripten zum Thema „Ursachen von Fremdwasser“ primär auf die Gefahr von Infiltrationen aus dem Untergrund verwiesen, z. B. in Institut für unterirdische Infrastruktur IKT (2001c), Heinrichs-Stalitza (2002) und Christ (2003). Aus Untersuchungen, die unter anderem von der ATV-DVWK durchgeführt wurden (Berger, 2001) ist bekannt, dass weder öffentliche noch private Kanalsysteme vollständig dicht sind. Vielmehr weisen beide in der Praxis zahlreiche Defekte auf, die als potentielle Leckagestellen anzusehen sind.

Ungeachtet der Problematik von exfiltrierendem Abwasser und den daraus resultierenden Folgen für die Umwelt – entsprechende Forschungsvorhaben werden vielerorts (Dohmann, 1999; Ullmann, 2001; DFG Forschergruppe „Kanalleckagen“, 2003) aktuell bearbeitet – besteht bei Trockenwetter mit typischerweise teilgefüllten Kanälen grundsätzlich die Gefahr von Infiltrationen. Dabei ist die Art der Leckage, beispielsweise Scherbenbildung oder ein fehlender beziehungsweise beschädigter

Dichtring am Rohrflansch, vollkommen unerheblich. Liegt eine durchlässige Leckagestelle vor, dann dringt bei entsprechenden hydraulischen Verhältnissen Grundwasser aus dem Bodenkörper in den Kanalstrang ein.

Nach persönlich erhaltenen Auskünften von Kanalnetzbetreibern sind insbesondere in früheren Jahren vermehrt Quellen und Drainagen an das öffentliche Entwässerungsnetz angeschlossen worden. Auch in neueren Forschungsberichten, z. B. bei Pecher (2000), Dieck (2001) oder Heinrichs-Stalitz (2002) werden Quellen, Außengebiete und Drainagen als wichtige potentielle Fremdwasserursachen genannt. Resultieren daraus massive, punktförmige Einleitungen, dann sind diese durch Messkampagnen in der Regel verhältnismäßig einfach zu lokalisieren. Sie lassen sich meist durch geeignete Maßnahmen mit verhältnismäßig geringem Aufwand abstellen.

Mit zunehmender Kanalnetzlänge steigt die Wahrscheinlichkeit, dass einige oder sogar alle der erwähnten potentiellen Ursachen in einem Einzugsgebiet vorliegen. In sehr kurzen Kanalnetzen sollten tendenziell weniger oder keine solcher Fremdwassereintrittsstellen zu finden sein. Bei Auswertungen sehr großer Datenmengen lässt sich deshalb eine statistische Abhängigkeit zwischen dem Fremdwasserzuschlag einer Kläranlage und der Anzahl von Infiltrationen, Quellen und angeschlossenen Außengebieten im zugehörigen Einzugsgebiet erwarten. Ein entsprechender Nachweis sollte gelingen, falls die genannten Faktoren in ihrer Gesamtheit generell eine nicht zu vernachlässigende Wirkung auf die Gesamtgröße des Fremdwasserabflusses ausüben.

In Abbildung 19 sind die Kanalnetzlängen von Einzugsgebieten den Fremdwasserbelastungen der zugehörigen Kläranlagen gegenüber gestellt. Das Diagramm illustriert die mittleren jährlichen Fremdwasserzuschläge von 1.158 ausgewerteten Kläranlagen aus der Befragung des Statistischen Landesamtes 1998 und die Gesamtlängen der Kanalnetze in den Einzugsgebieten. Um die Anschaulichkeit zu erhöhen, wird eine logarithmische Skala für die Abszisse gewählt. Außerdem sind die Werte in Klassen eingeteilt, deren Grenzen sich jeweils um den Faktor 10 verschieben. Der prozentuale Anteil jeder einzelnen Klasse an der Gesamtmenge lässt mit sich Hilfe der gestrichelten Linien an der rechten Ordinate ablesen.

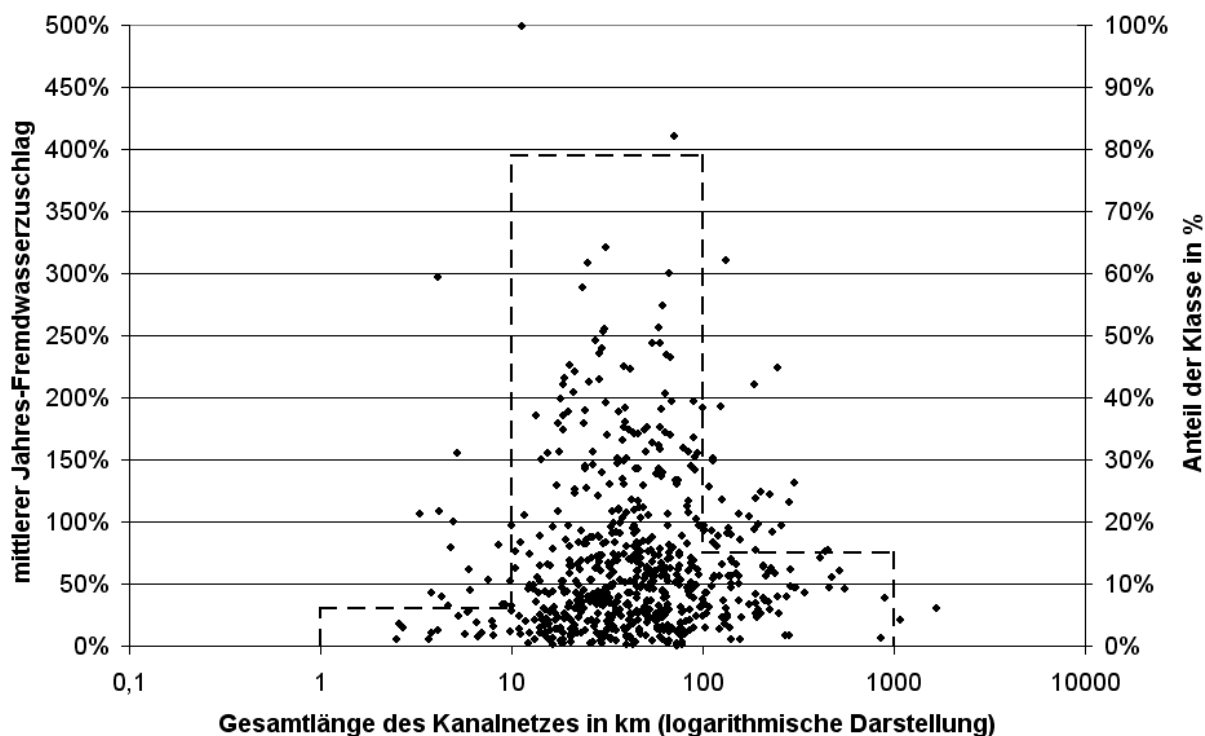


Abbildung 19: Zusammenhang zwischen der Gesamtlänge des Kanalnetzes und den 1998 gemeldeten Fremdwasserzuschlägen sowie Klassenhäufigkeiten

Abbildung 19 lässt insgesamt keinen Zusammenhang zwischen der Gesamtlänge eines Kanalnetzes und dem mittleren jährlichen Fremdwasserzuschlag der zugehörigen Kläranlage erkennen. Das Schaubild gleicht einer „Punktwolke“. In Baden-Württemberg besitzen knapp 80 % aller Entwässerungsnetze Längen zwischen 10 km und 100 km. In dieser Gruppe finden sich Fremdwasserzuschläge nahe 0 % sowie der absolute Spitzenwert von 499 % FWZ. Kläranlagen mit ausgedehnten Kanalnetzen über 100 km Länge (das sind 15 % aller Netze) sowie solche mit sehr kleinen Einzugsgebieten und weniger als 10 km Kanalstrang (6 % aller Netze) melden jährliche Fremdwasserwerte in ähnlicher Größenordnung. In beiden Gruppen treten sehr geringe, in Einzelfällen aber auch sehr hohe Fremdwasserzuschläge auf. Einzelne extreme Maxima sind gemäß der Abbildung als „Ausreißer“ zu werten. Bei Netzen über 1.000 km Länge reicht die verfügbare Datendichte nicht aus, um statistisch zuverlässige Aussagen abzuleiten.

Die arithmetischen Mittelwerte der Fremdwasserzuschläge für die drei Klassen 0-10 km, 10-100 km und 100-1.000 km betragen 48 %, 70 % und 66 %. Dass die kürzeren Netze im Mittel geringfügig weniger Fremdwasser melden mag allgemeingültige Gründe haben, es kann allerdings ebenso an der mäßigeren Datendichte liegen. Belege für die eine oder andere These lassen sich mit den vorliegenden Anga-

ben nicht erbringen. Die Werte liegen jedenfalls in ähnlichen Bereichen wie bei längeren Netzen.

Insgesamt lässt sich die prognostizierte Tendenz von grundsätzlich höheren Fremdwasserbelastungen mit steigenden Kanalnetzlängen nicht bestätigen. Einschränkend ist dabei zu erwähnen, dass die zugrunde liegenden Jahresmittelwerte des Fremdwasserzuschlages den saisonalen Verlauf erheblich nivellieren. Falls Fremdwasserzutritte nur kurzzeitig, beispielsweise für die Dauer von zwei Monaten vorliegen, würden die gezeigten mittleren jährlichen –zuschläge trotzdem keine Korrelation erkennen lassen.

Über die reine Länge eines Kanalisationsnetzes hinausgehend ist denkbar, dass sich Einzugsgebiete mit geringen Bebauungsgraden und entsprechend höheren Anteilen an reinen Transportkanälen im Vergleich zu Großstädten mit beträchtlichen Versiegelungsgraden und hohen Einwohnerdichten signifikant andersartig verhalten. In städtisch geprägten Regionen kann sich außerdem der prozentuale Anteil privater Entwässerungsleitungen (Hausanschlüsse) im Vergleich zu ländlichen Gebieten stark unterscheiden. Der Zustand privater Grundleitungen wird im ATV-DVWK-Bericht zum Zustand der Kanalisation in Deutschland im Jahr 2001 (Berger und Wittner, 2001) „...als deutlich schlechter als die öffentliche Kanalisation eingeschätzt“. Hinzu kommt, dass die privaten Grundleitungen in der Summe fast doppelt so lang wie die öffentlichen Netze sind. Die Schadenshäufigkeiten der jeweiligen Netze innerhalb eines vollständig trennentwässerten Einzugsgebietes sind exemplarisch, aber ausführlich bei Jütting (2000) am Beispiel der Stadt Göttingen beschrieben. In Abbildung 20 wird die mittlere jährliche Fremdwasserbelastung den Einwohnerwerten pro Kilometer Kanalnetz gegenüber gestellt. Die Häufigkeitsverteilung der einzelnen Klassen ist sinngemäß wie in Abbildung 19 zu lesen.

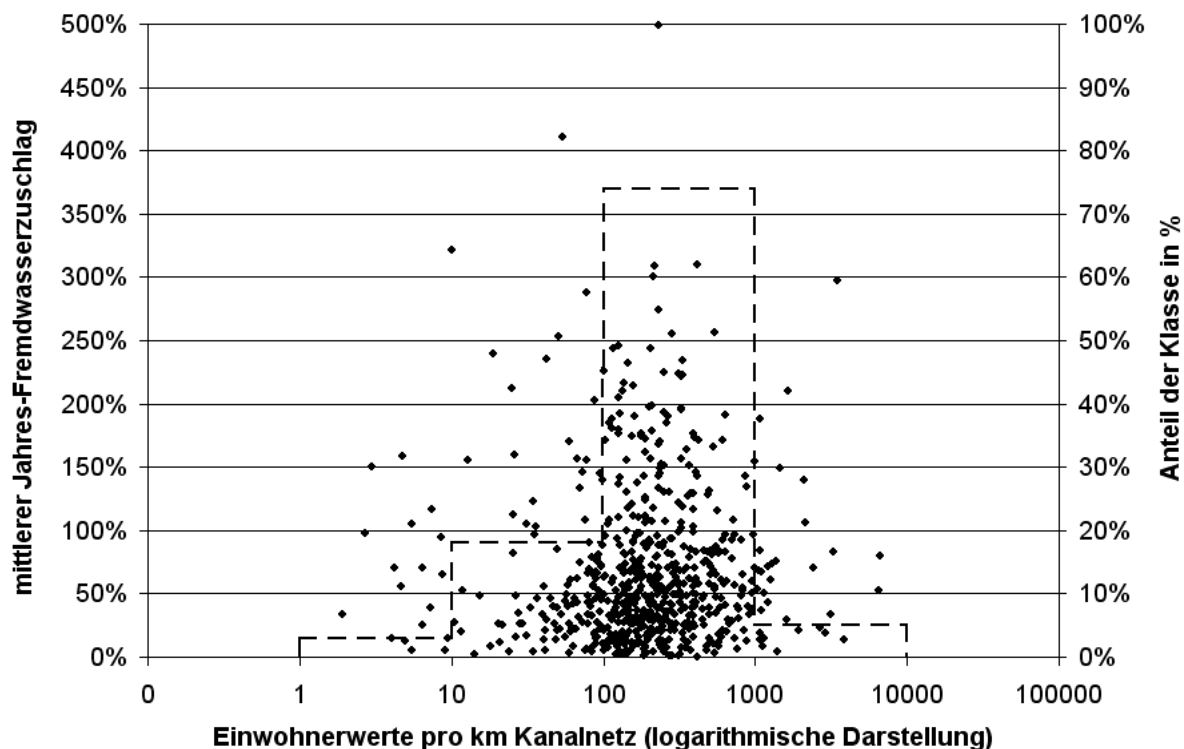


Abbildung 20: Zusammenhang zwischen den Einwohnerwerten pro Kilometer Kanalisation und den 1998 gemeldeten Fremdwasserzuschlägen sowie Klassenhäufigkeiten

Das Diagramm zeigt wiederum eine „Punktwolke“. Insofern entspricht die Interpretation von Abbildung 20 derjenigen von Abbildung 19. Ein Nachweis, dass die Fremdwasserbelastung einer Kläranlage von der Einwohnerdichte entlang des Kanalnetzes abhängig sei, lässt sich nicht erbringen. Eine solche Abhängigkeit wird, falls sie denn vorhanden ist, von anderen, wirksameren Einflussfaktoren überlagert.

Abschließend zeigt Abbildung 21 auf der Abszisse die ihrer Größe nach sortierten Gesamtlängen aller untersuchten Kanalnetze. Von der oberen horizontalen Achse lassen sich die zugehörigen Größen der Einzugsgebiete, symbolisiert durch die Anzahl der an die Kläranlage angeschlossenen Einwohnerwerte, ablesen. Es wird deutlich, dass sich auch aus der Kombination zweier charakteristischer Informationen, der Größe einer Kläranlage und der Länge des sie speisenden Kanalnetzes, kein grundsätzlicher Zusammenhang zum gemeldeten mittleren jährlichen Fremdwasserzuschlag konstatieren lässt.

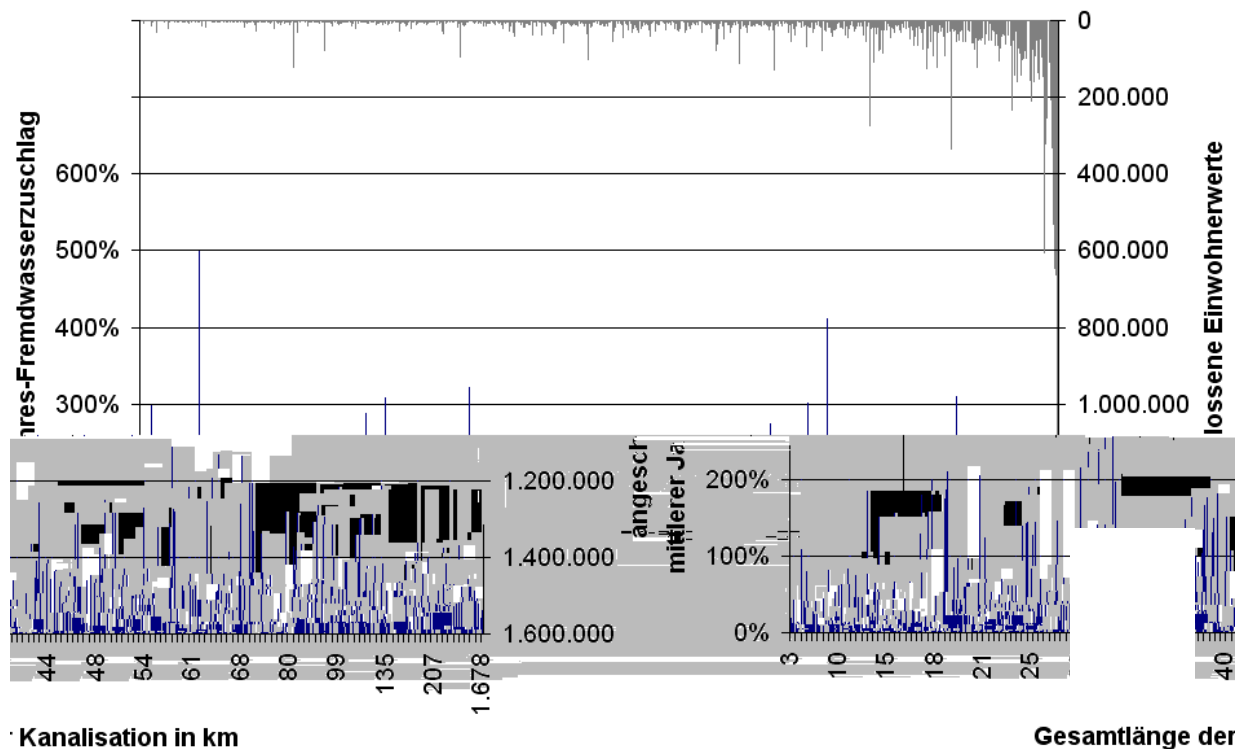


Abbildung 21: Zusammenhang zwischen der Gesamtlänge der Kanalisation und dem 1998 gemeldeten Fremdwasserzuschlag sowie an die Kläranlage angeschlossenen Einwohnerwerten

5.1.2 Einfluss des Entwässerungssystems (Misch-/Trennsystem)

Baden-Württemberg liegt im Süden Deutschlands und dort – darauf hat unter anderem Brombach (2002) hingewiesen – überwiegt im Gegensatz zu den nördlichen Ländern die Mischkanalisation. Der prozentuale Anteil der Bevölkerung die im Mischsystem entwässert wird, betrug 1998 in Baden-Württemberg über 90 %. Bundesweit betrug der Anteil mischentwässerter Kanalnetze im gleichen Jahr 62,8 %.

Die Ableitung von Schmutz- und Regenwasser in getrennten Kanalisationssystemen birgt in der Theorie unter anderem den Vorteil, dass im Schmutzwasserkanal hochkonzentriertes Abwasser zur Kläranlage transportiert wird. Da die Fassung des Regenwassers getrennt erfolgt, sollten sich geringere Mengen- und Konzentrationschwankungen im Zulauf von Kläranlagen ergeben. Dies wirkt sich im Hinblick auf mechanische und biologische Reinigungsprozesse betrieblich günstig aus (Decker, 1997 und 1998). In Schmutzwasserkanälen sollte planmäßig ausschließlich häusliches, gewerbliches und industrielles Abwasser fließen. Erwartungsgemäß sollten Kläranlagen am Ende von Trennsystemen im Jahresmittel geringere Fremdwassermengen als in Mischsystemen aufweisen, weil beispielsweise Regennachlaufzeiten von 10 bis 20 Tagen (Pecher, 1998) häufig starke Außengebietszuflüsse hervorrufen,

die den Abfluss in Schmutzwasserkanälen kaum, den in Mischwasserkanälen jedoch erheblich beeinflussen können. Darüber hinaus sind insbesondere an ältere Mischsysteme teilweise noch heute Quellen angeschlossen, die nach intensiven Regenperioden langanhaltende Zuflüsse verursachen können. In Trennsystemen entwässern solche Quellgebiete in den Regenwasserkanal. Die zugehörigen Abflüsse sollten sich demzufolge nicht im Zulauf der Kläranlage nachweisen lassen. Falls dort trotzdem starke Abflusserhöhungen registriert werden, lassen sich die zugehörigen Fehlschlüsse häufig zeitnah lokalisieren und abstellen. Nach Pecher (2003) ist ein Trennsystem immer ein Mischsystem mit vergleichsweise deutlich reduzierter angeschlossener Fläche. Die in der Praxis stets vorhandenen Fehlschlüsse in trennkanalisierten Einzugsgebieten ändern jedoch nichts an der Erwartungshaltung, dass in Trennkanalisationen tendenziell geringere Fremdwasserabflüsse auftreten sollten.

Obwohl Baden-Württemberg überwiegend mischkanalisiert ist, finden sich ebenso zahlreiche Entwässerungsnetze, die vollständig oder teilweise im Trennsystem erbaut wurden. Lässt sich an ihnen die Vermutung bestätigen, dass die Betreiber dieser Netze dem Statistischen Landesamt im Mittel geringere Fremdwasseranteile melden?

Abbildung 22 fasst die Auswertung von 1.158 Kläranlagen- und Kanalnetzdaten aus Baden-Württemberg hinsichtlich der Kanalisationsart zusammen. Auf der Abszisse sind die prozentualen Anteile der Entwässerungsnetze angegeben, die im Mischsystem bestehen. Die Werte sind der Größe nach aufsteigend sortiert. Entsprechend finden sich bei 0 % am linken Rand des Schaubildes die reinen Trennkanalisationen, während 100 % am rechten Ende der Skala für reine Mischsysteme stehen. Die gestrichelte vertikale Linie trennt die überwiegend (mehr als 50 %) misch- von den überwiegend trennkanalisierten Einzugsgebieten. Um die Lesbarkeit zu erhöhen, sind die Fremdwasserzuschläge für diskrete Zahlenwerte auf der Abszisse absteigend sortiert dargestellt. So ergeben sich insbesondere die beiden langen, abfallenden Äste bei 0 % und bei 100 % Mischsystemanteil. Insgesamt verdeutlicht die Abbildung nochmals anschaulich, dass Baden-Württemberg vorwiegend im Mischsystem entwässert wird. Dennoch lässt die große Datenbasis auch verwertbare Aussagen über typische quantitative Fremdwasserbelastungen von mehrheitlich trennkanalisierten Einzugsgebieten zu.

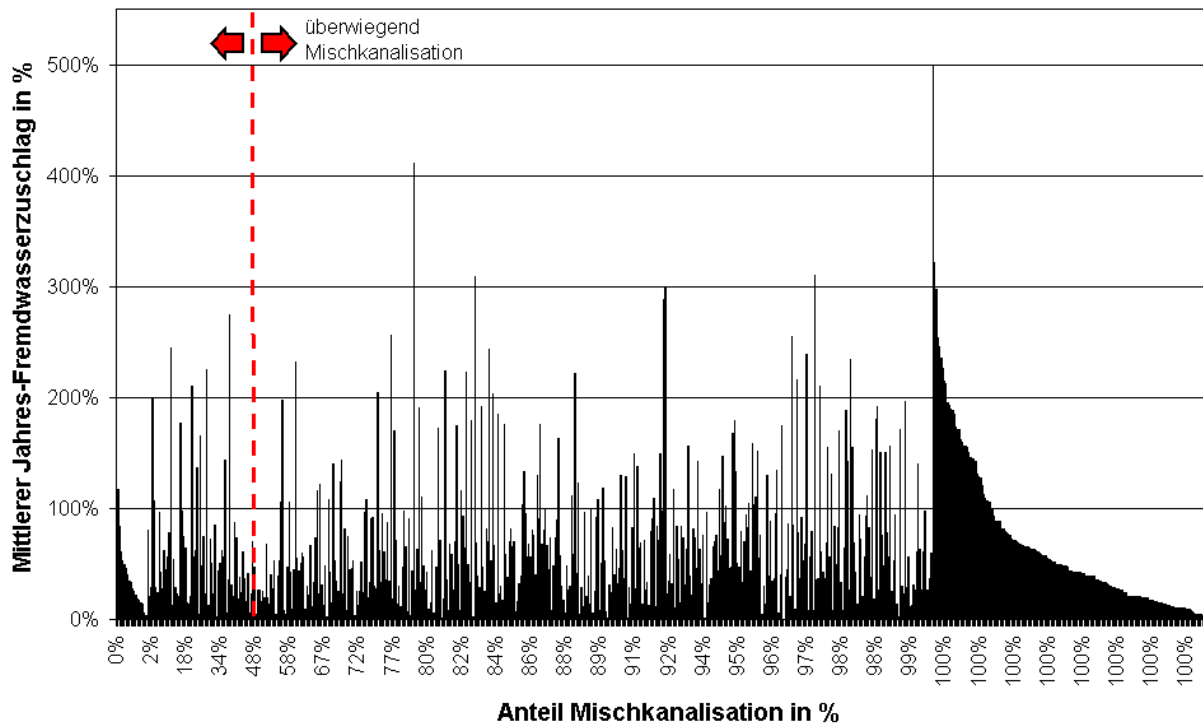


Abbildung 22: Gemeldete jährliche Fremdwasserzuschläge von 1.158 Kläranlagen aus dem Jahr 1998 in Abhängigkeit des Kanalsystems (überwiegend Misch- bzw. Trennsystem)

In der Abbildung lassen sich entlang der horizontalen Achse vier große Bereiche voneinander abgrenzen. Zahlreiche Kläranlagen in Baden-Württemberg besitzen ein ausschließlich im Mischsystem erbautes Kanalsystem. Diese Gruppe findet sich am rechten Rand der Abszisse und weist erwartungsgemäß die höchsten Fremdwasserzuschläge bis zum absoluten Spitzenwert von 499 % auf. Allerdings finden sich unter den reinen Mischsystemen neben diesem Extremwert auch Kläranlagen mit sehr geringen Fremdwasserzuschlägen. Die gemeldeten Werte sinken bis auf 1 % FWZ ab. Das arithmetische Mittel für die Gruppe beträgt 67 % FWZ.

Die Gesamtheit der überwiegend mischkanalisierten Einzugsgebiete - das sind alle Kanalnetze rechts der gestrichelten Trennlinie in Abbildung 22 - bietet ein ähnliches Bild. Der Wertebereich wird durch die reinen Mischsysteme bestimmt und umfasst unverändert 1 % bis 499 % FWZ. Der arithmetische Mittelwert des Fremdwasserzuschlages erhöht sich leicht auf 70 %, obwohl erwartungsgemäß die durchschnittlichen jährlichen Fremdwasserzuflüsse der Kläranlagen mit zunehmendem Trennkanalisierungsgrad sinken sollten. Insofern widerspricht die beobachtete Zunahme dem theoretisch vorhergesagten Trend. Die Änderung ist allerdings zu gering, um daraus eine Tendenz abzuleiten. In der Summe verhalten sich die Entwässerungsnetze mit

bis zu 50 % Mischsystemanteil statistisch nicht signifikant anders als diejenigen, welche ihre Einzugsgebiete ausschließlich über Mischwasserkanäle entwässern.

Links der gestrichelten vertikalen Trennlinie befinden sich Kläranlagen mit mindestens 50-prozentigem Trennsystemanteil. Diese melden insgesamt erstaunlich hohe Fremdwasserbelastungen zwischen 2 % und 274 % FWZ. Der Mittelwert beträgt 58 % und weist damit einen bemerkenswert geringen Abstand zu den Mischsystemen auf. Abbildung 22 bestätigt diese Zahlen auch optisch. Hinsichtlich der mittleren jährlichen Fremdwasserbelastung lassen sich innerhalb der großen Gruppe der Netze mit Mischsystemanteilen zwischen 1 % und 99 % keine signifikanten Unterschiede erkennen.

Die Fraktion der reinen Trennsysteme meldet im Maximum vergleichsweise niedrige 126 % Fremdwasserzuschlag und einen arithmetischen Mittelwert von 42 %. Wie prognostiziert fließt Kläranlagen mit durchweg trennkanalisiertem Einzugsgebiet im Durchschnitt weniger Fremdwasser zu. Trotzdem müssen auch in dieser Gruppe einige Betreiber aufgrund überhöhter Fremdwasserzuschläge auf eine Reduzierung der Abwasserabgabe (vgl. Kapitel 2.5) verzichten.

Die präsentierte Auswertung fußt auf mittleren Jahreswerten. Den Kläranlagen im Trennsystem fließt somit insgesamt weitaus mehr Fremdwasser zu, als zu erwarten wäre. Die prognostizierten hydraulischen Vorteile lassen sich nur bedingt erkennen. In Tabelle 5 sind die minimalen, mittleren und maximalen Jahres-Fremdwasserzuschläge der 1.158 Entwässerungsnetze in Abhängigkeit des Kanalsystems übersichtlich zusammengestellt. Die Daten sind in die bereits erläuterten Gruppen mit unterschiedlichen Anteilen an Misch- beziehungsweise Trennkanalisation eingeteilt.

Tabelle 5: Statistische Auswertung der Jahres-Fremdwasserzuschläge (1998) für überwiegend misch- beziehungsweise trennkanalisierte Entwässerungsnetze

Entwässerungsnetz besteht aus	Minimalwert	Arithm. Mittel	Median	Maximalwert
100 % Trennsystem	4 %	42 %	33 %	126 %
überwiegend (> 50 %) Trennsystem	2 %	58 %	41 %	274 %
überwiegend (> 50 %) Mischsystem	1 %	70 %	52 %	499 %
100 % Mischsystem	1 %	67 %	43 %	499 %

Als Fazit lässt sich festhalten, dass der erwartete positive Einfluss von zunehmend trennkanalisierten Einzugsgebieten auf die gemeldeten Fremdwasserzuflüsse nach der flächendeckenden Auswertung statistischer Daten quantitativ deutlich geringer ausfällt, als es nach der Theorie zu erwarten wäre.

5.1.3 Gemeinsamer Einfluss von Kanalnetzlänge und Kanalisationsart

Abschließend soll die Hypothese geprüft werden, ob sich für die Kombination der beiden Faktoren „Länge“ und „Art des Entwässerungsnetzes“ ein Einfluss auf die Fremdwasserbelastung einer Kläranlage nachweisen lässt. Es ist zu vermuten, dass sich sehr lange, vollständig mischkanalisierte Netze besonders ungünstig verhalten. Abbildung 23 zeigt die 71 „kurzen“ der 1.158 untersuchten Kanalnetze. Als „kurz“ wurden willkürlich Gesamtlängen unter 15 km definiert. Innerhalb der Gruppe bestehen 77 % der Abwasserkanäle im Mischsystem. Der arithmetische Mittelwert für die im Jahre 1998 gemeldeten Fremdwasserzuschläge beträgt 54 %. Von den dargestellten 71 Anlagen liegen acht über der 100 % Marke, sie weisen damit eine unzulässige Verdünnung und Vermischung auf.

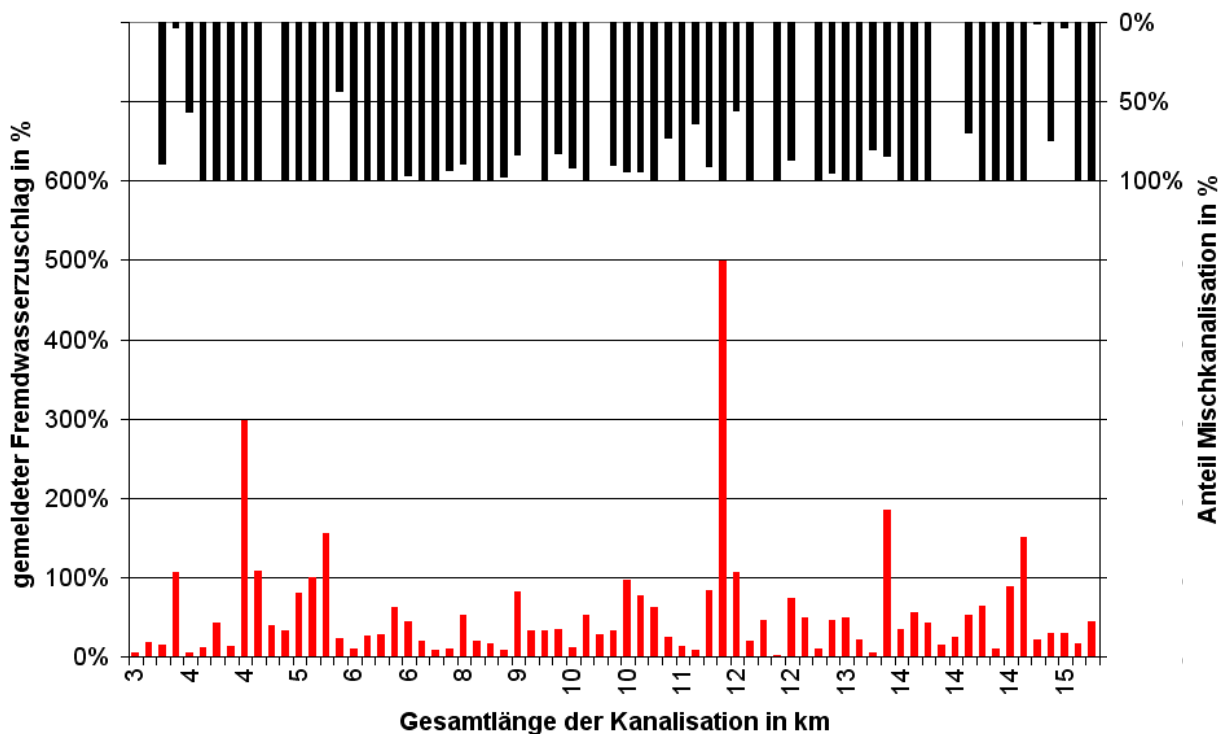


Abbildung 23: Kläranlagen mit kurzen Kanalnetzen < 15 km und 1998 gemeldete Fremdwasserzuschläge sowie prozentuale Anteile im Misch- bzw. Trennsystem

In Abbildung 24 sind dagegen die „langen“ Netze zusammengefasst. Um eine vergleichbare, ähnlich umfangreiche Stichprobe wie für die „kurze“ Gruppe zu erhalten, wurde das Filterkriterium „lang“ auf mindestens 130 km festgelegt. Die verbleibenden 75 Einzugsgebiete werden durchschnittlich zu 82 % im Mischsystem entwässert. Der arithmetische Mittelwert der gemeldeten Fremdwasserzuschläge beläuft sich auf 63 %. Zehn der 75 Anlagen überschreiten im Jahresmittel die badenwürttembergische 100 %-Grenze für eine unzulässige Verdünnung und Vermischung.

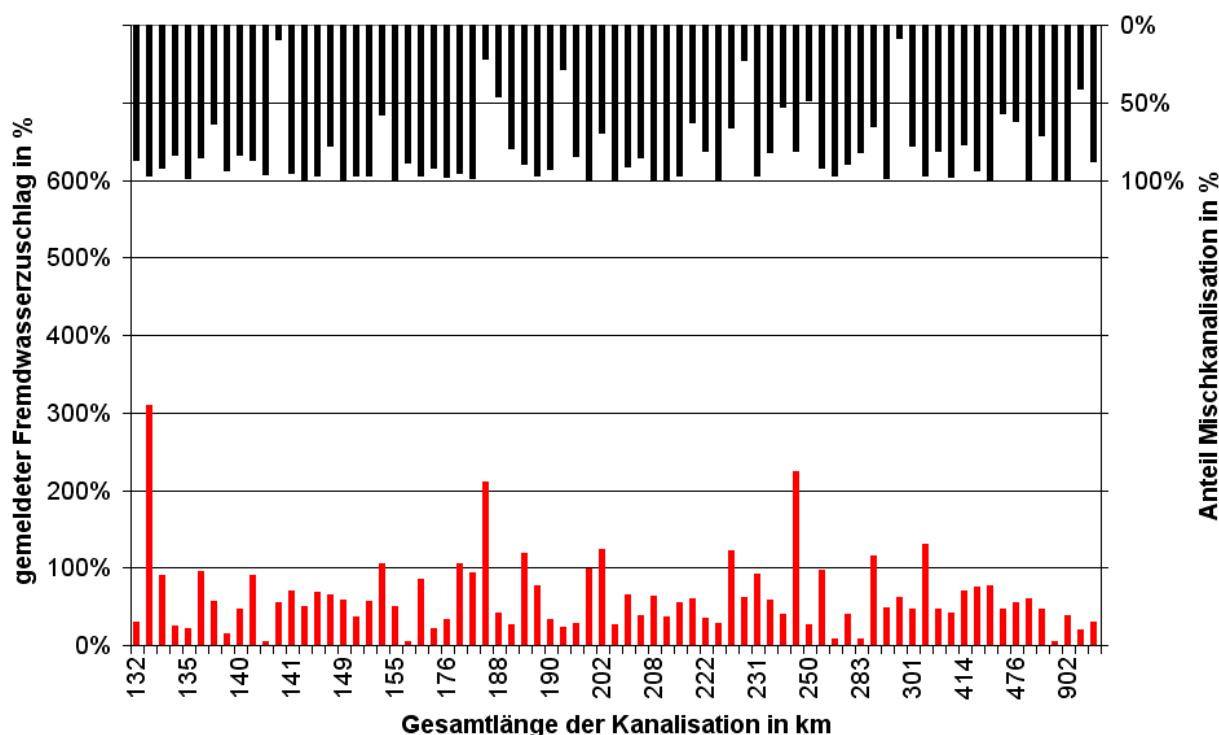


Abbildung 24: Kläranlagen mit langen Kanalnetzen > 130 km und 1998 gemeldete Fremdwasserzuschläge sowie prozentuale Anteile im Misch- bzw. Trennsystem

Weder hinsichtlich des Wertebereiches der Fremdwasserzuschläge, noch bezüglich der Mittelwerte sind signifikante Unterschiede zwischen den Abbildungen zu erkennen. In der Summe weist dies darauf hin, dass sich lange mischkanalisierte Entwässerungsnetze hinsichtlich der durchschnittlichen Kläranlagen-Fremdwasserbelastung nicht zwingend andersartig als kurze und überwiegend trennkanalisierte Gebiete verhalten.

5.2 Auswertung nach der Methode des gleitenden Minimums

Für die Auswertung der 128 baden-württembergischen Kläranlagen nach der Methode des gleitenden Minimums wurden die Kanalnetzlängen der untersuchten Entwässerungsnetze nicht vollständig erhoben. Der Vergleich mit den Ergebnissen aus Kapitel 5.1.1 muss deshalb entfallen. Die umfangreichen Auswertungen der Daten des Statistischen Landesamtes ergaben allerdings keinerlei Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen dem mittleren jährlichen Fremdwasserzuschlag einer Kläranlage und der Gesamtlänge des zugehörigen Kanalnetzes. Vor diesem Hintergrund ist nicht zu erwarten, dass die Methode des gleitenden Minimums diesbezüglich wesentlich andere Erkenntnisse hervorbringen würde.

Die statistischen Daten aus dem Jahr 1998 weisen darauf hin, dass Misch- beziehungsweise Trennsysteme im Mittel abweichende, mittlere Fremdwasserbelastungen pro Jahr aufweisen. Zwar fallen die ermittelten Unterschiede geringer als erwartet aus, nichtsdestotrotz sind sie nachweislich vorhanden. Im Rahmen der eigenen Datenerhebung für die Auswertung nach der Methode des gleitenden Minimums wurden von 128 Kläranlagenbetreibern in Baden-Württemberg unter anderem Informationen über die vorhandenen prozentualen Anteile im Misch- beziehungsweise Trennsystem erfragt. Mit diesen Angaben lässt sich verifizieren, ob durch Anwendung des gleitenden Minimums im Vergleich zur Auswertung in Kapitel 5.1.2 ein anderes Bild der Fremdwassersituation von überwiegend trenn- beziehungsweise mischkanalisierten Kanalnetzen entsteht.

Abbildung 25 zeigt im oberen Diagramm die mittleren monatlichen Fremdwasserzuschläge der 128 Kläranlagen in der jeweiligen Untersuchungsperiode 1992-1995 bzw. 1997-2000, im unteren Diagramm die zugehörigen maximalen Monatswerte. Die Abszisse markiert für beide Diagramme analog zu Abbildung 22 den prozentualen Anteil vom Kanalnetz, der im Mischsystem entwässert wird. Die Werte sind aufsteigend nach der Größe sortiert. Für diskrete Zahlenwerte auf der Abszisse erscheinen die Fremdwasserzuschläge dagegen absteigend angeordnet. So entstehen insbesondere bei den Gruppen mit 98 % beziehungsweise mit 100 % Mischsystem die von links nach rechts monoton fallenden Äste.

Die Kurven der mittleren beziehungsweise maximalen monatlichen Fremdwasserzuschläge verlaufen in beiden Diagrammen nahezu deckungsgleich. Sie können deshalb gemeinsam analysiert werden. Lediglich die Wertebereiche variieren in Abhängigkeit der jeweiligen Monatswerte. Dieser Zusammenhang wurde bereits in Kapitel 4 ausführlich erläutert.

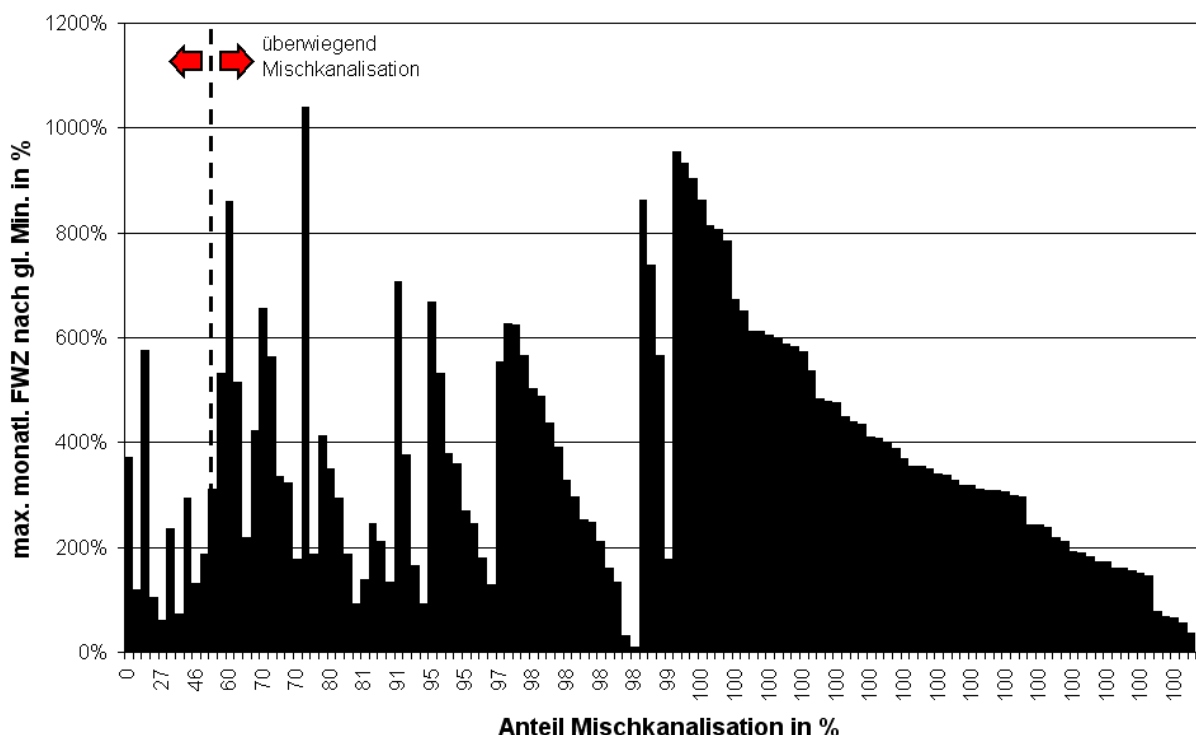
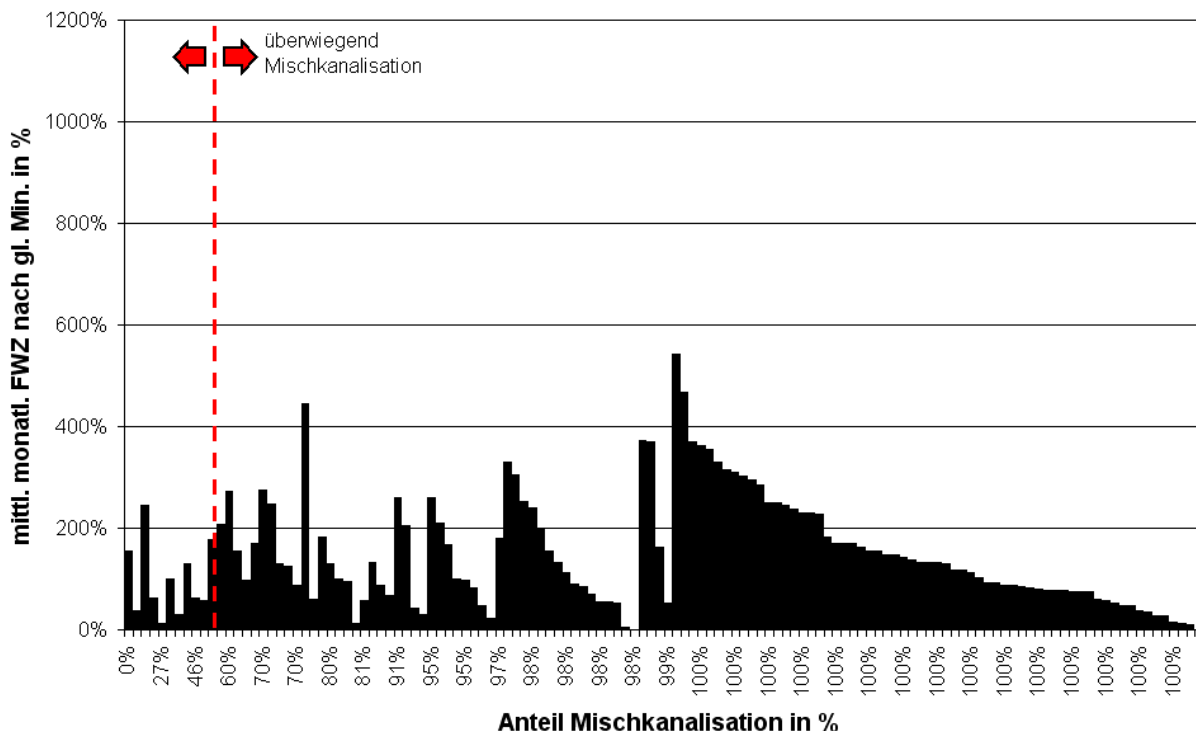


Abbildung 25: Mittlere (oben) und maximale (unten) Monats-Fremdwasserzuschläge von 128 Kläranlagen in Baden-Württemberg (1992-1995 bzw. 1997-2000), in Abhängigkeit des Kanalsystems (überwiegend Misch- bzw. Trennsystem)

Aus Abbildung 25 entsteht der Eindruck, dass sich die quantitativen Differenzen zwischen vornehmlich trenn- und mischkanalisierten Kanalsystemen im Vergleich zu Abbildung 22 verstärkt haben. Aufgrund der geringeren Datendichte erscheint für die Analyse der 128 Werte eine Unterscheidung in vier Untergruppen wenig sinnvoll. Verglichen werden stattdessen die überwiegend im Trenn- beziehungsweise im Mischsystem erbauten Kanalnetze. Die beiden Gruppen sind wiederum optisch durch eine vertikale gestrichelte Linie getrennt.

Die Methode des gleitenden Minimums ergibt für mehrheitlich trennkanalisierte Einzugsgebiete mittlere Monatsfremdwasserzuschläge zwischen 13 % und 244 %. Das arithmetische Mittel befindet sich mit 97 % FWZ unmittelbar an der Grenze, ab der in Baden-Württemberg eine unzulässige Verdünnung und Vermischung anzunehmen ist. Den Kläranlagen von überwiegend mischkanalisierten Einzugsgebieten rechts der Trennlinie fließt erwartungsgemäß im Durchschnitt mehr Fremdwasser zu. Der arithmetische Mittelwert der mittleren monatlichen –zuschläge beläuft sich auf 152 %, der Wertebereich umfasst 0 % bis 543 % FWZ.

Die absoluten Fremdwasserzuschläge erhöhen sich durch das Verfahren des gleitenden Minimums im Vergleich zur Auswertung der gemeldeten Jahreswerte deutlich. Trotzdem bleiben die mathematischen Verhältnisse zwischen überwiegend trenn- und mischkanalisierten Kanalnetzen (mit Ausnahme der Medianwerte) nahezu unverändert bestehen. Für überwiegend mischkanalisierte Netze übersteigen die durchschnittlichen Fremdwasserbelastungen diejenigen von mehrheitlich trennkanalisierten Einzugsgebieten etwa um den Faktor 1,5. Für maximale monatliche Zuschläge beträgt der Multiplikator ca. 2,0 (vgl. Tabelle 5 und Tabelle 6). Im Hinblick auf die Bewertung des Einflusses unterschiedlicher Kanalsysteme auf Fremdwasserzuschläge bestätigen die Werte nach dem gleitenden Minimum somit die Erkenntnisse, die aus den Daten des Statistischen Landesamtes gewonnen wurden.

Die maximalen Monatswerte im unteren Teil der Abbildung verdeutlichen neben den erwarteten höheren Fremdwasserzuschlägen insbesondere, dass auch in überwiegend trennkanalisierten Einzugsgebieten erhebliche Schwankungen im Jahresverlauf auftreten. Das arithmetische Mittel für die Gruppe links der Trennlinie beträgt 214 % FWZ, im ungünstigsten Monat wird ein Spitzenwert von 576 % FWZ erreicht. Der erwartete Vorteil einer gleichmäßigen Zuflusscharakteristik zur Kläranlage stellt sich in der Praxis offensichtlich nur sehr bedingt ein. Auch bei Trennkanalisationen treten erhebliche Schwankungen der hydraulischen Belastung auf. Nach der Methode des gleitenden Minimums liegen vier von zehn überwiegend trennkanalisierten Netzen in mindestens einem Monat oberhalb von 200 % FWZ. Das sind Belastungswerte, die in ihrer Größenordnung auf dringenden Handlungsbedarf hinweisen.

Zusammenfassend sind die wichtigsten statistischen Parameter der Fremdwasser-Auswertung von 128 überwiegend misch- beziehungsweise trennkanalisierten Entwässerungsnetzen in Baden-Württemberg in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Auswertung der mittleren und maximalen monatlichen Fremdwasserzuschläge nach der Methode des gleitenden Minimums für überwiegend misch- beziehungsweise trennkanalisierte Entwässerungsnetze

Entwässerungsnetz besteht aus	überwiegend (> 50 %) Trennsystem	überwiegend (> 50 %) Mischsystem
Minimum der mittl. monatl. FWZ	13 %	0 %
arithm. Mittel der mittl. monatl. FWZ	97 %	152 %
Median der mittl. monatl. FWZ	62 %	131 %
Maximum der mittl. monatl. FWZ	244 %	543 %
Minimum der max. monatl. FWZ	61 %	0 %
arithm. Mittel der max. monatl. FWZ	214 %	383 %
Median der max. monatl. FWZ	130 %	337 %
Maximum der max. monatl. FWZ	576 %	1040 %

Ein übergeordnetes siedlungswasserwirtschaftliches Ziel besteht im Bestreben, möglichst geringe Gesamtemissionen in die Umwelt zu entlassen. Vor diesem Hintergrund enttäuschen die unerwartet hohen Fremdwasserbelastungen von trennkanalisierten Einzugsgebieten. Mit nachlassenden Frachtwirkungsgraden erhöhen sich die durch Kläranlagenabläufe in Gewässer eingeleiteten Frachten. Dabei tröstet es wenig, dass die untersuchten Mischsysteme bezüglich der Fremdwasserbelastung noch schlechter dastehen. Weder das eine noch das andere Kanalsystem ist in der Lage, zeitweise hydraulische Überlastungen infolge Fremdwasser mit hoher Wahrscheinlichkeit zu verhindern und damit das ordnungsgemäße Arbeiten siedlungswasserwirtschaftlicher Anlagen ganzjährig zu garantieren. Anders formuliert sind zumindest für einzelne Monate Funktionseinschränkungen oder -ausfälle einzelner Bauwerke durch „zu viel“ Fremdwasser sowohl im Trenn- wie auch im Mischsystem grundsätzlich nicht sicher auszuschließen.

6 Regionalisierung von Fremdwasser

In den letzten Kapiteln wurde aufgezeigt, dass die Belastung von Kläranlagen mit Fremdwasserzuflüssen im Mittel weitaus höher einzuschätzen ist, als es die offiziellen Statistiken, basierend auf den jährlich gemeldeten Fremdwassermengen, widerspiegeln. Dabei gelang es bislang weder durch die Auswertung von flächendeckenden statistischen Daten, noch durch diejenige von 128 mit dem Verfahren des gleitenden Minimums untersuchten Kläranlagen, gravierende Zusammenhänge zwischen einzelnen Einflussfaktoren und dem tatsächlichen Auftreten von „viel“ oder „wenig“ Fremdwasser nachzuweisen. Somit liegt die Vermutung nahe, dass andere als die bislang geprüften Ursachen die Höhe der Fremdwasserzuflüsse in ein Kanalsystem maßgebend bestimmen.

Auf der Suche nach Begründungen für das Auftreten von „viel“ oder „wenig“ Fremdwasser wird in diesem Kapitel eine weitere, neue These vorgestellt. Der Kernpunkt ist die Abkehr von der bislang verfolgten kleinräumigen Betrachtungsweise. Die Suche nach Ursachen für „viel“ Fremdwasser soll nicht mehr auf die Analyse einzelner Kanalnetze beschränkt sein. Statt dessen wird ein Standpunkt eingenommen, der eine grobskaligere Sicht auf die Fremdwassersituation Baden-Württembergs erlaubt. Die Hauptursachen für starke Fremdwasserabflüsse werden dabei nicht mehr in lokalen Standortbedingungen (Kläranlagengröße, Länge des Kanalnetzes etc.) vermutet. Im folgenden Kapitel wird verifiziert, ob sich Belege für einen grundsätzlichen Zusammenhang zwischen großräumig zusammengefassten regionalen Einheiten und der Fremdwasserproblematik finden lassen.

Die Abflussvorgänge in einem Einzugsgebiet und damit indirekt die zu erwartenden Fremdwassermengen in einem Entwässerungsnetz werden prinzipiell durch die Umgebung beeinflusst. Beispielsweise besteht keine Gefahr von dauerhaften Infiltrationen in Abwasserrohre, wenn der Grundwasserspiegel niemals über die Kanalsohle ansteigt. Lang anhaltende Direktabflüsse auf Oberflächen stellen sich nur dann ein, wenn Böden entsprechend geringe Durchlässigkeiten aufweisen. Welche Abflussvorgänge und damit einhergehend welche Fremdwassereintritte in ein Kanalnetz sich in der Praxis einstellen hängt unmittelbar mit der umgebenden Landschaft, dem Relief, den anstehenden Böden und dem Wasserhaushalt im Einzugsgebiet zusammen.

Ob sich die makroskaligen, äußeren Randbedingungen stark auf die Größe der Fremdwasserbelastung auswirken, sollte sich an der regionalen Verteilung von hoch- bzw. niedrigbelasteten Kläranlagen ablesen lassen. Eine willkürliche Verteilung über die Fläche Baden-Württemberg würde keinen signifikanten Zusammenhang zwischen den naturräumlichen Randbedingungen und dem Fremdwasser signalisieren.

Zeigt sich dagegen, dass einzelne Regionen typischerweise Kläranlagen mit „viel“ oder „wenig“ Fremdwasser beherbergen, wäre dies ein deutlicher Hinweis auf die allgemein starke Prägung der Fremdwasserproblematik durch den ein Entwässerungsnetz umgebenden Naturraum.

Um einzelne Regionen mit vor diesem Hintergrund vergleichbaren Randbedingungen gegeneinander abzugrenzen, muss die gesamte Fläche Baden-Württembergs in geeignete Einheiten aufgegliedert werden. Ursprünglich aus der Geologie stammt eine verhältnismäßig grobskalige Unterteilung in die so genannten *Naturräume*.

6.1 Die Naturräume Baden-Württembergs

Die heutigen Grenzen zwischen den Naturräumen Baden-Württembergs haben sich aus der Entstehung des Landes aus geologischer Sicht entwickelt. Das Grundgebirge Süddeutschlands liegt auf einer flächigen Scholle, der so genannten *Süddeutschen Großscholle*. Diese ist verkippt, wobei die Neigung gen Süden weist. Im Laufe der Jahrtausende wurden die heutigen Hochflächen des Schwarzwaldes und des Odenwaldes durch Abtragungen entblößt. Gleichzeitig nahm die Anzahl von Schichten auf dem Grundgebirge nach Osten hin zu (Geyer und Gwinner, 1991).

Infolge der einseitigen Schiefstellung der Scholle und den mehr oder minder der Abtragung widerstehenden Gesteinen entstand die heutige *Schichtstufenlandschaft*. Die geologischen Schichtungen in Baden-Württemberg und die Lage der acht Naturräume sind Abbildung 26 zu entnehmen. Die einzelnen Naturräume werden nachfolgend mit ihren typischen hydrogeologischen Eigenschaften vorgestellt.

Der Oberrheingraben

Der Oberrheingraben erstreckt sich über eine Länge von rund 300 km in Nord-Süd-Richtung. Der baden-württembergische Teil beginnt kurz hinter der Grenze zur Schweiz bei Basel und reicht bis Mannheim. Die durchschnittliche Breite beträgt 40 km, wovon etwa die Hälfte auf die linksrheinische, französische Seite entfallen.

Der durch Bruch- und Zerrungsvorgänge entstandene Graben ist auf der gesamten Länge seitlich von Gebirgszügen begrenzt. Auf französischer Seite erheben sich die Vogesen, in Baden-Württemberg der Schwarzwald und weiter nördlich der Odenwald.

Die oberrheinische Tiefebene weist trotz ihrer erheblichen Nord-Süd-Erstreckung nur geringe Höhenunterschiede auf. Zwischen der Grenze zur Schweiz (etwa 270 m.ü. NN) und Mannheim im Norden (ca. 100 m.ü. NN) befindet sich ein stetiges Gefälle mit geringer Steigung. Die Böden der oberrheinischen Tiefebene sind von Kie-

sen, Sanden und Schotteransammlungen geprägt. Im Süden steigt der Anteil alpiner Gerölle, weiter nördlich stammen die Lockergesteine überwiegend von den seitlichen Gebirgen (WaBoA, 2001).

Der Schwarzwald

In der Zeit des Tertiär und Quartär vor etwa zwei Millionen Jahren beulte sich die kontinentale Erdkruste beidseits des Oberrheins auf. Dabei entstanden auf französischer Seite die Vogesen, auf deutscher Seite der Schwarzwald. Der im südlichen Schwarzwald gelegene „Feldberg“ stellt mit 1493 m.ü. NN die höchste Erhebung dar.

Unter geologischen Aspekten lässt sich der Schwarzwald großräumig in zwei Bereiche untergliedern. In den Hochlagen liegt ausschließlich kristallines Grundgebirge. Charakteristisch für dieses aus Gneisen und Graniten bestehende Festgestein ist der homogene Aufbau. An den Nord- und Ostabdachungen des Schwarzwaldes finden sich Schichtungen von Buntsandsteinen, die auf dem Deckgebirge lagern. Diese Region ist als *Buntsandstein-Schwarzwald* bekannt.

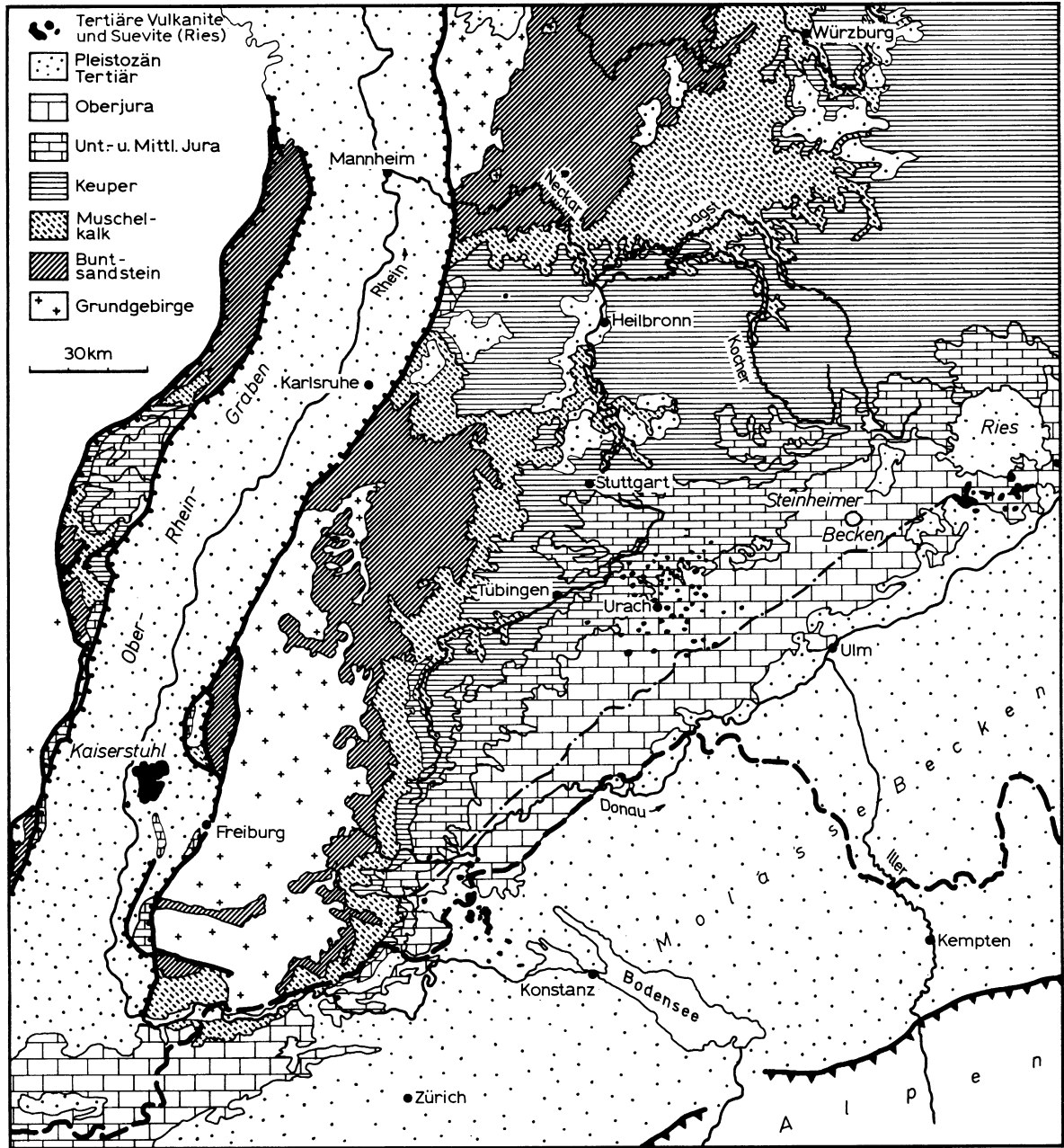
Der Odenwald

Im Nordwesten Baden-Württembergs liegt der südliche Teil des Odenwaldes. Dieser weist, ebenso wie der Schwarzwald, einen Bereich mit zutage tretendem Grundgebirge auf. Der so genannte *Kristallin-Odenwald* erstreckt sich von der Stadt Weinheim an der Grenze zum Oberrheingraben bis Wald-Michelbach in östlicher Richtung.

Der weiter östlich gelegene Teil des Odenwaldes ist mit Buntsandstein-Schichten bedeckt. Diese können sehr große Mächtigkeiten aufweisen (Geyer und Gwinner, 1991). Der *Buntsandstein-Odenwald* erhebt sich eine Schichtstufe über dem Kristallin. Von ebenen Hochflächen dacht die Landschaft nach Süden und Osten ab. Die höchste Erhebung bildet der „Katzenbuckel“ mit 626 m.ü. NN.

Die Gäulandschaften

Die Gäulandschaften werden im Norden vom Odenwald sowie im Süden vom Schwarzwald begrenzt. Im Westen stellen der Oberrheingraben und im Osten der Neckar die natürlichen Begrenzungslinien dar. Landschaftlich charakteristisch ist ein sanft welliges Hügelland, welches vorwiegend aus Muschelkalk besteht. In den Tälern, insbesondere in der Umgebung der Fließgewässer, treten teilweise auch Buntsandsteinschichten zutage.



— — — — — Weiteste Ausdehnung der alpinen Vereisung - - - - - Kliff-Linie der Ob. Meeresmolasse (Ob. Miozän)

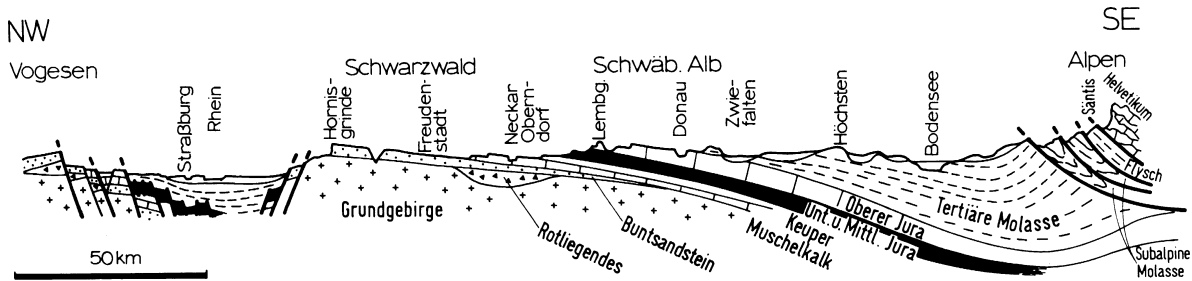


Abbildung 26: Naturräume und geologische Schichtungen in Baden-Württemberg, aus Geyer und Gwinner (1991)

Lange Jahre wehte der in dieser Region üblicherweise vorherrschende Westwind Gesteinsstaub über die Gäulandschaften. Dieser Staub lagerte sich – in der Mächtigkeit abnehmend von West nach Ost – auf den Hängen des Kraichgaus an und führte dort zu den heute vorliegenden Löß-Deckschichten. Die Schichten sind stellenweise mehrere Meter stark.

Unmittelbar am südöstlichen Schwarzwaldrand steht der Muschelkalk in den Gäulandschaften direkt an. Das Niederschlagswasser fließt dort hauptsächlich in einem unterirdischen Karstsystem ab. Die Gewässernetzdichte ist entsprechend gering (Behmel, 2003).

Das Keuperbergland

Das Keuperbergland überragt die Gäuplatten und bedeckt insgesamt einen großen Flächenanteil Baden-Württembergs. Charakteristisch ist ein ständiger Wechsel von widerstandsfähigen Sandsteinen aus dem Keuper und Schichten von leicht ausräumbarem Mergel (Bachmann und Gwinner, 1971). Der Mergel findet sich vorwiegend in den Tälern und an Steilhängen. Die Hochflächen bestehen aus Sandsteinhorizonten, deren Mächtigkeit im Nordosten von Baden-Württemberg besonders stark ist und nach Süden hin stetig abnimmt. Die eigentlichen *Keuperhöhen* beginnen nördlich des Mittleren Neckars.

Die Schwäbische Alb mit Vorland

Die Schwäbische Alb bezeichnet eine Hochfläche zwischen Hochrhein und Nördlinger Ries. An der Westseite trennt eine scharfe Kante, der so genannte Albtrauf, das Albvorland von der eigentlichen Hochfläche. Im Süd-Osten bildet die Donau die natürliche Grenze. Die Hochfläche besitzt ihre herausragenden Erhebungen unmittelbar hinter dem Trauf. Hier werden etwa 1000 m.ü. NN erreicht. Nach Osten fällt das Gelände auf 700 - 800 m.ü. NN ab. Der Höhensprung am Albtrauf beträgt 250 - 400 m, um den die Hochfläche das Albvorland überragt (WaBoA, 2001).

Die Schwäbische Alb ist ein Karstgebirge. Es finden sich eine große Anzahl von Versickerungsstellen sowie von Karstquellen. Die Gewässerdichte ist aufgrund der hohen Durchlässigkeit des Untergrundes sehr gering. Vereinzelt sind Trockentalzüge anzutreffen. Hydrogeologisch lässt sich der *Tiefe Karst* abgrenzen, in welchem geringdurchlässige, wasserstauende Schichten unterhalb der Vorflut liegen. Insbesondere am Südrand der Schwäbischen Alb entstanden so die bekannten, teilweise sehr ergiebigen Karstquellen (z. B. der *Blautopf* in Blaubeuren). Im *Seichten Karst* befinden sich die stauenden Schichten oberhalb der Vorflut. Hier treten Schicht- und Überlaufquellen zutage.

Das etwa 5 – 10 km breite Albvorland schließt sich westlich an den Albtrauf an und ist durch schwere, schlecht durchlässige Böden, vor allem tonige Schichten und Mergel, gekennzeichnet. Innerhalb des Vorlandes haben sich Schichtstufen ausgebildet. Aufgrund der geringen Durchlässigkeit der Böden findet sich eine hohe Gewässernetzdichte (Behmel, 2003).

Das Alpenvorland

Im äußersten Südosten von Baden-Württemberg liegt das Alpenvorland, welches geologisch als *Molassetrog* beschrieben wird. In der jüngeren Erdgeschichte führten tektonische Bewegungen in der Erdkruste zur Entstehung eines tiefen Beckens nördlich der Alpen. Die größten Tiefen entstanden im Süden unmittelbar vor den Gebirgserhebungen (Henning und Katzung, 1992).

Das Becken ist heute mit tertiären Sedimenten gefüllt, so dass sich eine ebene Oberfläche im Alpenvorland ausbildete. Die Füllung besteht aus so genannter Molasse. Gemeint sind Schotteransammlungen, die ursprünglich vom angrenzenden Alpengebirge stammen. Die Mächtigkeit der Schotteransammlungen nimmt entsprechend der Tiefe des Troges gen Norden ab.

6.2 Wasserhaushalt und Abflussvorgänge in Böden

Der Wasserhaushalt von Landflächen wird im Rahmen der klimatischen Gegebenheiten in starkem Maße durch die Böden gesteuert. Im natürlichen Wasserkreislauf fallen Niederschläge zunächst auf die obersten Bodenschichten. Einen Teil dieses Niederschlagswassers speichern die Böden. Er wird teilweise über Pflanzenverdunstung zu späteren Zeitpunkten wieder an die Atmosphäre abgegeben. Weisen die Böden ausreichende Durchlässigkeiten auf, so gelangen nicht im Boden gespeicherte Überschüsse durch vertikale Versickerung oder laterale Abflussvorgänge (Zwischenabflüsse) in tiefere Bodenschichten. Dort speisen sie das Grundwasser, Quellen und oberirdische Gewässer. Bei wassergesättigten Böden oder sehr geringen Wasserleitfähigkeiten der oberen Schichten fließen nennenswerte Anteile des Niederschlages unmittelbar an der Bodenoberfläche ab. Diese Anteile werden als „Direktabfluss“ bezeichnet.

Grundsätzlich stellen sich in Abhängigkeit der Naturräume verschiedene Abflussvorgänge ein. Diese beeinflussen mittelbar oder unmittelbar die Menge an Fremdwasser, die in ein Kanalsystem eindringen kann. Einen umfassenden Überblick über die verschiedenen Abflussarten in Baden-Württemberg vermittelt der Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg WaBoA (2001). Danach verteilt sich die Gesamtniederschlagsmenge auf die folgenden vier Elemente des Wasserhaushaltes:

1. Verdunstung
2. vertikale Versickerung
3. Zwischenabfluss
4. Oberflächenabfluss.

Wie hoch die prozentualen Anteile der einzelnen Elemente am gesamten Wasserhaushalt sind, hängt bei gleichen klimatischen Bedingungen vom Relief, der Vegetation sowie vom anstehenden Boden (Durchlässigkeiten, Schichtungen etc.) ab. Einige dieser Einflussfaktoren lassen sich in typisierten, so genannten *Bodenwasserregimes* zusammenfassen.

Die in Kapitel 6.1 beschriebenen Naturräume Baden-Württembergs sind unter überwiegend geologischen Kriterien abgegrenzt. Ein *Bodenwasserregime* beschreibt dagegen den für einen Standort typischen Bodenwasserhaushalt, wie er sich durch das Zusammenwirken von Verdunstung, vertikaler Versickerung, Zwischen- und Oberflächenabfluss ergibt. Als Kriterien zur Abgrenzung einzelner Bodenwasserregimes sind nach dem Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg WaBoA (2001) die Reliefverhältnisse, die Wasserdurchlässigkeit der Böden sowie das Auftreten von Grund- und Stauwasser definiert. Die Wasserdurchlässigkeit wird über den k_f -Wert beschrieben. Dieser gilt prinzipiell nur für den gesättigten Zustand, liefert jedoch nach Ansicht der Ersteller des Wasser- und Bodenatlas auch im Hinblick auf die Durchlässigkeit ungesättigter Böden brauchbare Resultate. Die Speicherkapazitäten der Böden bleiben generell unberücksichtigt. Abbildung 27 veranschaulicht die unterschiedlichen Arten von Bodenwasserregimes nach dem baden-württembergischen Wasser- und Bodenatlas.

Die Bodenwasserregimetypen eins und zwei sind jeweils von nahezu ausschließlich vertikalen Wasserbewegungen geprägt. Der Untergrund weist bei Typ eins eine gute, bei Typ zwei eine mittlere Wasserdurchlässigkeit auf.

Der Bodenwasserregimetyp drei kennzeichnet verkarstete Gebiete mit vorherrschend vertikaler Sickerwasserbewegung und wechselnden Anteilen von Oberflächenabfluss. Typ vier weist das gleiche Abflussverhalten auf, allerdings bei nicht verkarstem Untergrund.

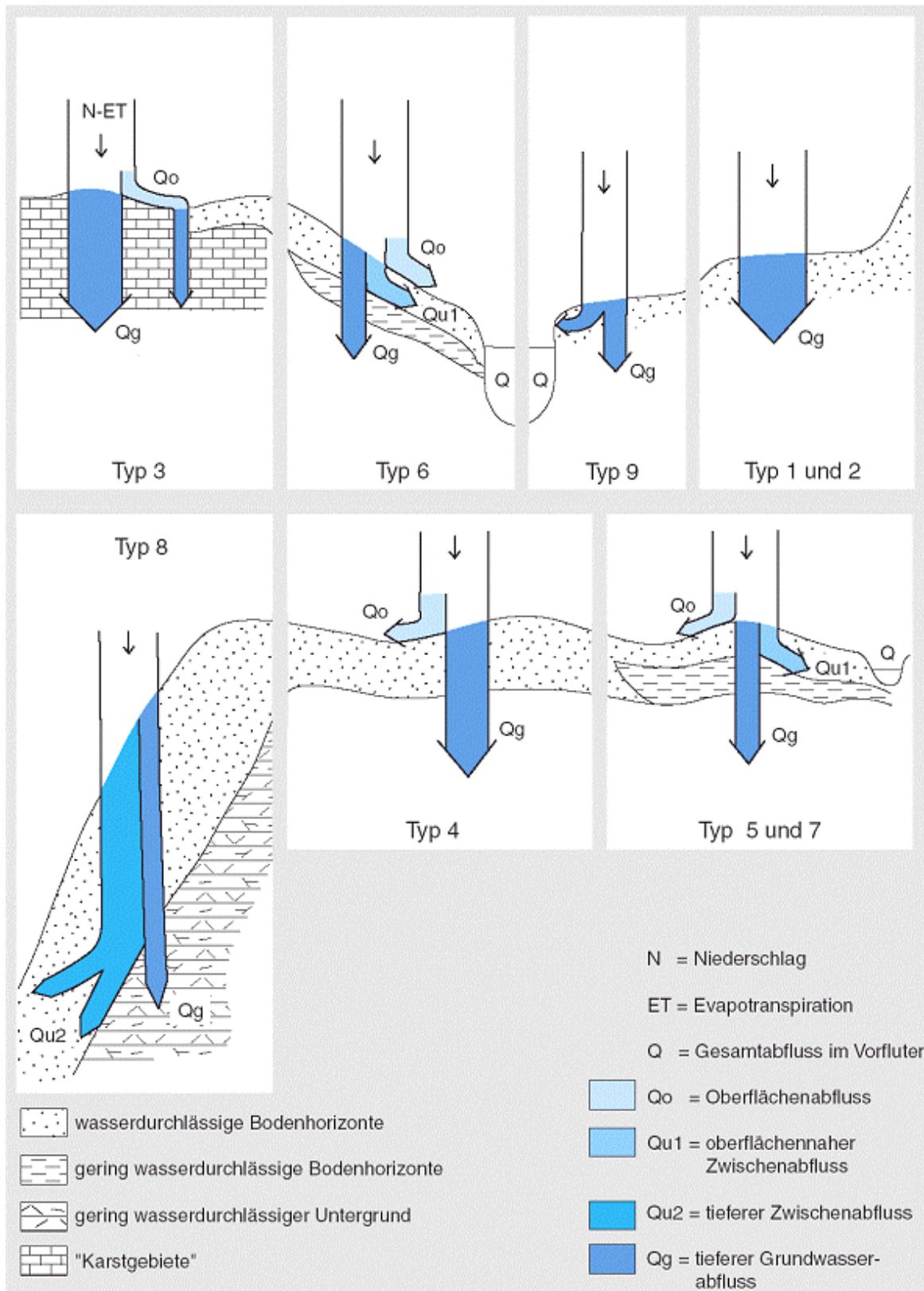


Abbildung 27: Bodenwasserregimetypen nach dem Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg WaBoA (2001)

Eingeschränkt vertikale Sickerwasserbewegungen kennzeichnen die Typen fünf, sechs und sieben. Während Stauwasser für Typ fünf nur eine untergeordnete Bedeutung besitzt, zählt Typ sieben zu den stark stauwassergeprägten Böden. Bei Typ sechs wird überschüssiges Bodenwasser aufgrund des Reliefs vorwiegend lateral abgeführt. Im zugehörigen Bodenprofil sind kaum Stauwassermerkmale zu finden.

Böden mit Hangzugwasser im Untergrund (Typ acht) treten meist bei gut wasser-durchlässigen Bodenschichten über gering durchlässigem Untergrund auf. Insbesondere in Verbindung mit starker Geländeneigung ist Hangzugwasser im Untergrund häufig anzutreffen. In Phasen mit intensiven Niederschlägen stellen sich quantitativ stark ausgeprägte Zwischenhorizontabflüsse ein.

Der Bodenwasserregimetyp neun symbolisiert so genannte Grundwasserböden. In gut durchlässigen Schichten herrschen bei niedrigen Grundwasserpegeln vertikale Sickerwasserbewegungen im Untergrund vor. Bei ansteigendem Grundwasserhorizont verstärkt sich auf zunehmend gesättigten Oberflächen die Tendenz zu Direktabflüssen.

6.3 Regionale Verteilung von Fremdwasser

Um die regionale Verteilung von Fremdwasserbelastungen abzubilden und zu analysieren, werden in einem Geografischen Informationssystem GIS georeferenzierte Daten von Naturräumen und Bodenwasserregimes mit Fremdwasserabflüssen verschnitten. Als Basis für die Analyse des vermuteten Zusammenhanges zwischen den in einer Region vorherrschenden Abflussvorgängen und den dortigen Fremdwasserzuschlägen dient der bereits bekannte Datenpool von 128 Kläranlagen in Baden-Württemberg. Als Unterscheidungsmerkmal für die Darstellung verschiedener Fremdwasserbelastungen wird der maximale monatliche Fremdwasserzuschlag im Untersuchungszeitraum verwendet, wie er sich nach dem Verfahren des gleitenden Minimums ergibt. Grundsätzlich wären an dieser Stelle auch Jahresmittelwerte als Bewertungsgrundlage denkbar.

In der Regel treten im Winterhalbjahr gemäß dem typischen saisonalen Verlauf von Fremdwasserzuschlägen (vgl. Abbildung 7) mehrere aufeinander folgende Monate mit hohen Zuflüssen auf. Während dieser Perioden mit stark überhöhten Zuflüssen kann die Funktionsfähigkeit siedlungswasserwirtschaftlicher Anlagen gestört sein. Daraus ergeben sich gegebenenfalls Konsequenzen für die hydraulische und stoffliche Belastung der Gewässer (vgl. Kapitel 7.3.2). Im Interesse eines wirksamen Gewässerschutzes ist es daher sinnvoll, die räumliche Darstellung der Fremdwassersituation nicht auf extrem stark aggregierende Mittelwerte, sondern auf die Perioden

mit den ungünstigsten hydraulischen Abflussbedingungen zu stützen. Insofern erscheint der Monat mit dem maximalen Fremdwasserzuschlag ein geeigneter Indikator, um regionale Unterschiede bezüglich der quantitativen Fremdwasserbelastung von Kläranlagen aufzuzeigen.

Um die verschiedenen Fremdwassermengen der 128 untersuchten Kläranlagen in einem Geografischen Informationssystem GIS anschaulich zu präsentieren, werden die maximalen monatlichen Fremdwasserzuschläge in sechs Belastungsklassen eingeteilt. Die Klassengrenzen erhöhen sich ausgehend von 0 % um jeweils 100 % Fremdwasserzuschlag. Nach diesem Schema ergeben sich fünf Gruppen etwa gleicher Stärke. Die besonders hochbelasteten Anlagen mit mehr als 500 % FWZ werden in einer sechsten Klasse zusammengefasst. Auch ohne gesetzlich definierte Grenzwerte für noch zulässige Fremdwassermengen erscheinen mehr als 500 % Fremdwasserzuschlag im Monatsmittel aus siedlungswasserwirtschaftlicher Sicht „zu viel“. Aus diesem Grund und um die Übersichtlichkeit in den Abbildungen zu erhöhen, wird auf eine weitere quantitative Unterteilung der „sehr hoch“ belasteten Kläranlagen verzichtet.

Wenngleich sich in Kapitel 4 grundsätzlich nur ein sehr geringer Einfluss der Kläranlagengröße auf die korrespondierenden Fremdwasserzuschläge nachweisen ließ, ist diese Information in den folgenden Abbildungen mit enthalten. Möglicherweise wirkt sich eine veränderte Kläranlagengröße zwar nicht generell, jedoch innerhalb eines Naturraumes auf den Fremdwasserzufluss aus? Zudem gibt die Größenklasse der Kläranlage Hinweise auf die wahrscheinliche Länge des zugehörigen Kanalnetzes und den Charakter (städtisch/ländlich geprägt) des Einzugsgebietes.

Die 128 Kläranlagen werden in sechs Fremdwasser-Belastungsklassen eingeteilt. Die Zugehörigkeit zu einer Klasse wird durch den höchsten monatlichen Fremdwasserzuschlag im vorliegenden Untersuchungszeitraum bestimmt. In den anschließenden Abbildungen gibt jeweils ein Punkt den Standort der Kläranlagen an. Die in der Abwasserverordnung (2002) definierten fünf Größenklassen sind durch entsprechend abgestufte Größen der Punktsymbole kenntlich gemacht. Die Farbgebung charakterisiert die Ausprägung der Fremdwasserbelastung. Weiße Punkte stehen für Anlagen mit ganzjährig niedrigen Zuflüssen, die auch in den ungünstigsten Monaten niemals 100 % FWZ überschreiten. Vier weitere Klassen mit zunehmend dunklerer Farbgebung schließen sich bis zu derjenigen mit Werten zwischen 400 % und 500 % FWZ an. Die Kläranlagen mit außergewöhnlich hohen Fremdwasserzuschlägen über 500 % sind in der Gruppe mit den schwarzen Punktsymbolen vereinigt.

6.3.1 Bodenwasserregimes

Ein Bodenwasserregime beschreibt den für eine Region typischen Bodenwasserhaushalt, insbesondere die dort vorherrschenden Abflussvorgänge von Niederschlagswasser auf der Geländeoberfläche und im Boden (vgl. Kapitel 6.2). Hinsichtlich der Darstellung in einer Abbildung lassen sich mehrere Gebiete Baden-Württembergs sinnvoll zusammenfassen. Eine solche Zusammenfassung zeigt Abbildung 28, in der Böden mit Hangzugwasser im Untergrund, Grundwasserböden sowie Böden mit vorherrschend vertikaler Sickerwasserbewegung unterschiedlicher Ausprägung voneinander abgegrenzt sind. Die Bodenwasserregimetypen aus Abbildung 27 sind teilweise aggregiert in den genannten Gruppen enthalten.

Die Grenzen der Bodenwasserregimes lassen vielfach die Umrisslinie der in Kapitel 6.1 beschriebenen Naturräume (vgl. Abbildung 26) hervortreten. Die in einem Bodenwasserregime vorherrschenden Abflussarten werden offenbar hauptsächlich durch die hydrogeologischen Randbedingungen vorgegeben. Beispielsweise führt der karstige Untergrund auf der Schwäbischen Alb dazu, dass Niederschläge in der Regel vertikal versickern und unterirdisch abgeleitet werden. Für die Gebirgsregionen des Schwarz- und Odenwaldes ist dagegen Hangzugwasser auf undurchlässigen Festgesteinen charakteristisch.

Die Verteilung der Fremdwasserbelastungen von den 128 untersuchten Kläranlagen in Abbildung 28 bestätigt die zu Beginn des Kapitels 6 aufgestellte These. Die quantitativ typische Ausprägung der Fremdwasserproblematik verändert sich großräumig deutlich erkennbar in Abhängigkeit von grobskalig zusammengefassten regionalen Einheiten. Einzelne Landschaftsräume treten signifikant mit außerordentlich hohen Fremdwasserzuschlägen hervor, während sich in anderen Landstrichen durchgängig niedrige Belastungen abzeichnen. Die Größe des tendenziell an einem Standort zu erwartenden Fremdwasserabflusses wird offenbar maßgebend durch den umgebenden Naturraum bestimmt.

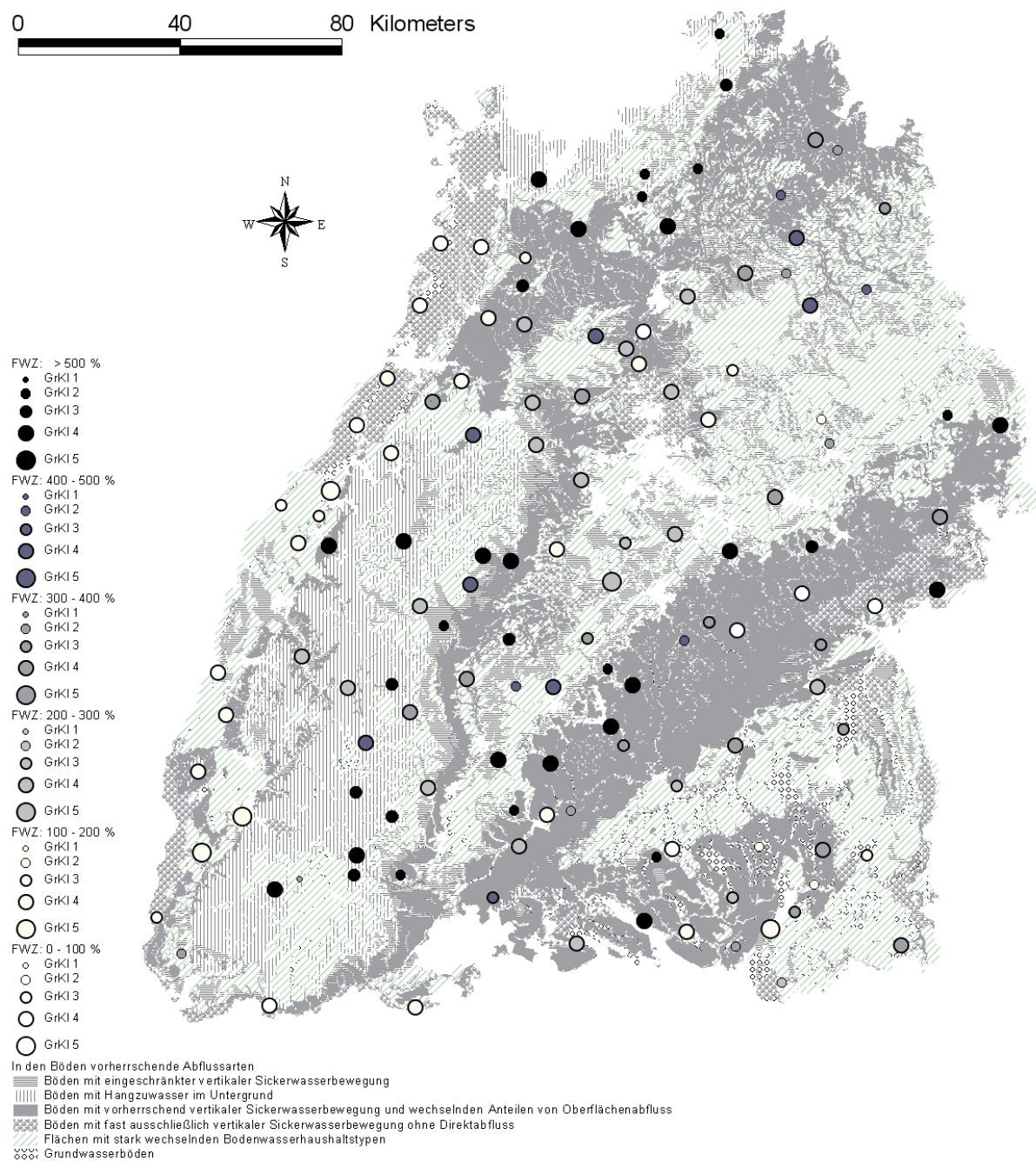


Abbildung 28: Regionale Verteilung der maximalen monatlichen Fremdwasserzuschläge von 128 Kläranlagen nach der Methode des gleitenden Minimums sowie Bodenwasserregimetypen Baden-Württembergs

Die regionale Verteilung der maximalen monatlichen Fremdwasserzuschläge von 128 Kläranlagen führt vor dem Hintergrund der Bodenwasserregimes in Abbildung 28 zu den folgenden Ergebnissen:

1. In Gebieten mit Grundwasserböden, z. B. im Oberrheingraben und im südlichen Alpenvorland, finden sich überwiegend niedrige Fremdwasserbelastungen. Dies gilt ebenso für die angrenzenden Böden mit vorwiegend vertikaler Sickerwasserbewegung ohne Direktabfluss. Die niedrigen Fremdwasserzuschläge in diesen Naturräumen sind insofern erstaunlich, als dort starke Infiltrationsraten infolge vergleichsweise hoher Grundwasserstände zu erwarten sind. Offenbar rufen - wie es sich bereits in Kapitel 5 andeutete - die auf diesem Wege in ein Kanalnetz eintretenden Fremdwassermengen in der Praxis mehrheitlich nur geringfügige Erhöhungen der Fremdwasserzuschläge auf Kläranlagen hervor.
2. Zusammenhängende Zonen mit ausgeprägtem Hangzugwasser finden sich vorwiegend in den baden-württembergischen Gebirgsregionen aus Festgestein, vor allem im Schwarzwald und im Odenwald. In beiden Gebieten treten häufig außerordentlich hohe Fremdwasserzuflüsse mit monatlichen -zuschlägen über 500 % auf.
3. Uneinheitlich zeigt sich das Bild für Böden mit eingeschränkter vertikaler Wasserbewegung. Dies gilt erwartungsgemäß insbesondere für Regionen mit stark wechselnden Bodenwasserhaushaltstypen wie beispielsweise dem Keuperbergland.

Die räumliche Verteilung der monatlichen Fremdwasserzuschläge innerhalb der Bodenwasserregimes lässt somit eindeutige Trends für grundwassergeprägte Böden inklusive der angrenzenden Gebiete mit vorherrschend vertikalen Sickerwasserbewegungen ohne Direktabfluss einerseits und Gebirgslagen mit Hangzugwasser andererseits erkennen. Dagegen können keine typischerweise zu erwartenden Fremdwasserbelastungen für Gebiete mit häufig wechselnden Bodenwasserregimes oder solche mit eingeschränkter vertikaler Wasserbewegung abgeleitet werden.

Für diese Flächen sollten anstelle der Bodenwasserregimes andere großräumig verfügbare Daten für Verschneidungen mit der Fremdwassersituation eingesetzt werden. Die Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg stellte für die vorliegende Arbeit in diesem Zusammenhang dankenswerterweise eine digitale Karte der so genannten *Grundwassereinheiten* zur Verfügung.

6.3.2 Grundwassereinheiten und Naturräume

Bislang existiert in der Fachwelt ähnlich wie für „Fremdwasser“ noch keine allgemein anerkannte Definition des Begriffes „Grundwassereinheit“. Die im Folgenden gezeigten Grundwassereinheiten basieren auf dem Forschungsprojekt „Beitrag zur Abgrenzung von Grundwassereinheiten in Baden-Württemberg“, welches vom Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Stuttgart beauftragt und vom Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau LGRB in Freiburg (Plum et al., 1999) bearbeitet wurde. Innerhalb dieses Projektes wurden die vorherrschenden Grundwasserstände, die Einzugsgebiete, die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung und die Grundwasserbeschaffenheit als maßgebende Kriterien für die Abgrenzung von Grundwassereinheiten festgelegt. Die sich gemäß dieser Definition ergebenden Einheiten sind folgerichtig sehr gut geeignet, um den aus Abbildung 28 entstandenen Verdacht eines allgemeingültigen Zusammenhanges zwischen Hydrogeologie und Fremdwasserphänomen im Detail zu erhärten.

Im oben genannten Forschungsprojekt wurden 17 Grundwassereinheiten in Baden-Württemberg gegeneinander abgegrenzt. Die in der vorliegenden Arbeit verfügbare Datendichte sowie die Maßstabebene lassen eine Diskussion aller 17 Einheiten jedoch nicht sinnvoll erscheinen. Deshalb wird, obwohl in Abbildung 29 alle Grundwassereinheiten mit verschiedenartigen Schraffuren eingezeichnet sind, für die Diskussion und Analyse der räumlichen Verteilung von Fremdwasserbelastungen auf die in Kapitel 6.1 erläuterten acht Naturräume des Landes zurückgegriffen. Die Umriss der acht Naturräume lassen sich in der Abbildung deutlich erkennen, weil mehrere Grundwassereinheiten zusammengefasst häufig die Grenzen eines Naturraumes nachbilden.

In den anschließenden Kapiteln wird die räumliche Verteilung der maximalen monatlichen Fremdwasserzuschläge von 128 Kläranlagen nach Naturräumen gegliedert vorgestellt. Für jeden Naturraum werden die hydrogeologischen Rahmenbedingungen, insbesondere im Hinblick auf sich daraus ergebende Konsequenzen für quantitativ typische Fremdwasserbelastungen, erörtert.

6.3.2.1 Odenwald

Die Analyse von typischen Abflussvorgängen wies bereits in Kapitel 6.3.1 darauf hin, dass die im Odenwald anstehenden Festgesteine nur geringe Durchlässigkeiten gegenüber Wasser aufweisen. Die Buntsandsteine, Gneise und Granite führen zu erhöhtem Oberflächen- und/oder Zwischenhorizontabfluss. Dieser findet anschließend offenbar häufig einen Weg ins Kanalnetz. Alle untersuchten Kläranlagen im Odenwald weisen außergewöhnlich hohe Fremdwasserzuschläge über 500 % auf.

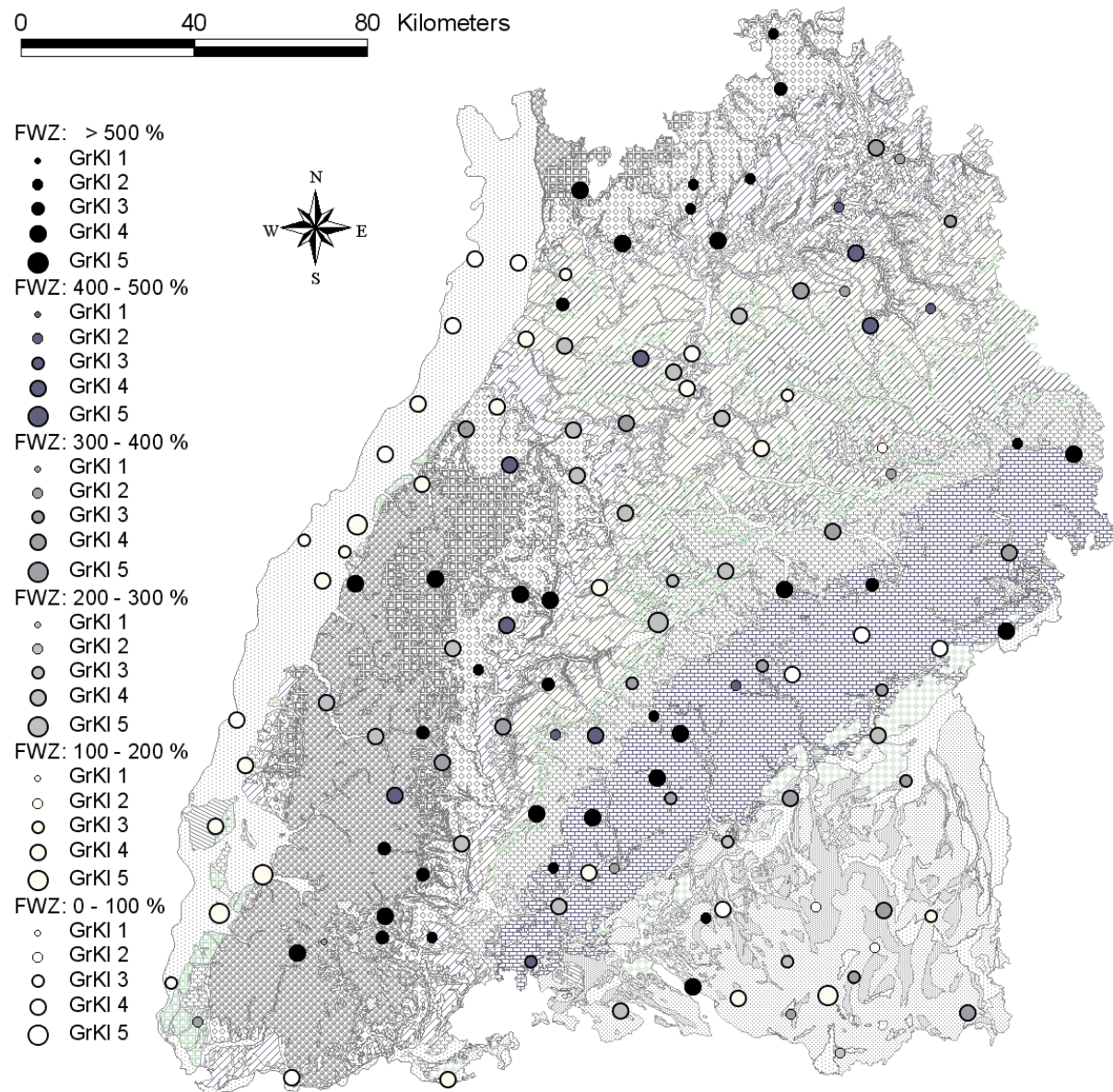


Abbildung 29: Regionale Verteilung der maximalen monatlichen Fremdwasserzuschläge von 128 Kläranlagen nach der Methode des gleitenden Minimums sowie 17 Grundwassereinheiten Baden-Württembergs

6.3.2.2 Schwarzwald

Auch die Umriss der zweiten Gebirgsregion Baden-Württembergs zeichnen sich deutlich in Abbildung 29 ab. Signifikante Unterschiede zwischen dem kristallinen Süd- und dem von Buntsandsteinen dominierten Nordschwarzwald lassen sich nicht erkennen. In beiden Regionen weist die Methode des gleitenden Minimums auf sehr hohe Fremdwassermengen - vermutlich durch Oberflächen- und/oder Zwischenhorizontabflüsse - hin. Die maximalen Monatsmittelwerte betragen häufig über 400 % FWZ, überwiegend werden Werte über 500 % FWZ ermittelt.

6.3.2.3 Gäulandschaften

Die sich östlich an den Schwarzwald anschließenden Gäulandschaften beherbergen mehrheitlich Kläranlagen mit grauen Punkten, die entsprechenden Fremdwasserzuschläge liegen zwischen 100 % und 300 %. Geologisch ist die Region von Muschelkalk geprägt, einem Festgestein, welches teilweise in karstiger Struktur vorliegt. Hierdurch ergibt sich ein Karstgrundwasserleiter. In Verbindung mit zutage tretenden Gesteinen des oberen Buntsandsteines (enthält tonige Einschaltungen) in den Tälern der Gäulandschaften liegt insgesamt eine mäßige Wasserleitfähigkeit im Untergrund vor.

6.3.2.4 Keuperbergland

Erwartungsgemäß stellt sich innerhalb der weiträumigen Region des Keuperberglandes mit ihren stark wechselnden Bodenwasserhaushaltstypen keine einheitliche, typische Fremdwasserbelastung ein (vgl. Kapitel 6.3.1). Die Fremdwasserzuschläge der Kläranlagen schwanken insgesamt zwischen 0 % und mehr als 500 %. Überwiegend werden Werte im Bereich von 200 % bis 500 % FWZ ermittelt. Tendenziell sind an den Grenzen zu den höher belasteten Naturräumen Odenwald und Schwarzwald ansteigende Werte zu beobachten.

6.3.2.5 Alpenvorland

Im Molassebecken des Alpenvorlandes trifft man mit Ausnahme zweier Kläranlagen mit schwarzen Punkten auf eine vergleichsweise geringe bis mittlere Fremdwasserbelastung. Die Fremdwasserzuschläge liegen mehrheitlich zwischen 100 % und 400 %. Nachvollziehbare Gründe für die zwei „Ausreißer“ aus dem typischen Wertebereich werden in Kapitel 6.4 genannt.

Geologisch ist die Region von historisch gebildeten Schotteransammlungen geprägt. Die Lockergesteine wurden im Lauf der Jahrhunderte von den Alpen erodiert. Sie weisen eine hohe Durchlässigkeit auf und stellen dem vertikalen Versickern der Niederschläge in den Untergrund und der anschließenden Ableitung in tiefer gelegene Grundwasserleiter keinen nennenswerten Widerstand entgegen.

6.3.2.6 Schwäbische Alb mit Vorland

Die Karsthochfläche der Schwäbischen Alb weist als einziger Naturraum ein vollkommen indifferentes Bild auf. Einerseits liegen einige der dortigen Kläranlagen ganzjährig nahe bei 0 % Fremdwasserzuschlag. Einige Kilometer entfernt ergeben sich außergewöhnlich hohe Werte bis über 500 % FWZ. Übergangsbereiche mit mittleren Belastungen sind nicht erkennbar.

Das scheinbar willkürliche Nebeneinander von hoch und gering mit Fremdwasser belasteten Kläranlagen lässt sich mit den hydrogeologischen Besonderheiten des Naturraumes *Schwäbische Alb* begründen. Einerseits befinden sich Kläranlagen in Trockentälern auf der Karsthochfläche. In diesen Einzugsgebieten versickern Niederschläge - und teilweise die Vorfluter selbst - vollständig im extrem durchlässigen Untergrund. Den Kanalnetzen fließen in der Folge keine nennenswerten Fremdwasserströme zu.

Vollständig andere hydrogeologische Randbedingungen liegen vor, wo die im Untergrund gesammelten Wässer wieder an die Oberfläche gelangen. Dies kann beispielsweise in Form von Schicht- oder Überlaufquellen geschehen (Geyer und Gwinner, 1984; Richter, 1997). In diesen Gegenden werden sehr hohe Fremdwasserzuschläge ermittelt, weil die Wässer aus den Versickerungszonen punktförmig konzentriert wieder austreten. Es findet eine räumliche Verlagerung von Abflüssen in die Quellbereiche statt. Deshalb stellen sich auf der Hochfläche der Schwäbischen Alb in Abhängigkeit der kleinräumig stark schwankenden Durchlässigkeiten des Untergrundes die zwei typischen, in Abbildung 29 erkennbaren Extremzustände ein: entweder ganzjährig nahezu 0 % FWZ auf der Kläranlage, weil es keine nennenswerten Zuflüsse in das Kanalnetz gibt. Oder sehr ergiebige Fremdwasserzuflüsse in den Quellgebieten, die in der Karte häufig zu schwarzen Punkten führen.

Das Albvorland mit seinen schweren, schlecht durchlässigen Böden ist durch vergleichsweise mittlere bis hohe Fremdwasserzuschläge geprägt.

6.3.2.7 Oberrheinebene

Die regionale Verteilung der Fremdwasserzuschläge von Kläranlagen in der Oberrheinebene zeigt ein einheitliches Bild. Sämtliche Werte signalisieren niedrige Fremdwasserbelastungen. In der Spitze erreichen die Anlagen Werte bis 191 %, viele unterschreiten selbst im ungünstigsten Monat 100 % FWZ. Die vornehmlich anstehenden Grundwasserböden führen zu vergleichsweise geringen Fremdwasserbelastungen.

6.3.2.8 Zusammenfassung

Um die regionale Verteilung der Fremdwasserproblematik in Baden-Württemberg anschaulich zusammenzufassen, ist in Abbildung 30 für jeden Naturraum ein Balkendiagramm eingezeichnet. Die acht Diagramme geben die prozentuale Verteilung der maximalen monatlichen Fremdwasserzuschläge der Kläranlagen auf die sechs Belastungsklassen im jeweiligen Naturraum wieder. Wenngleich die Ränder der Naturräume nicht immer „scharf“ abzugrenzen sind und einzelne Kläranlagen in Übergangsbereichen liegen, verdeutlicht die Darstellung nochmals die grundsätzliche

Charakteristik der Fremdwasserbelastung innerhalb Baden-Württembergs. Die konkreten Zahlenwerte zu den Balkendiagrammen können in Tabelle 8 im Anhang nachgeschlagen werden.

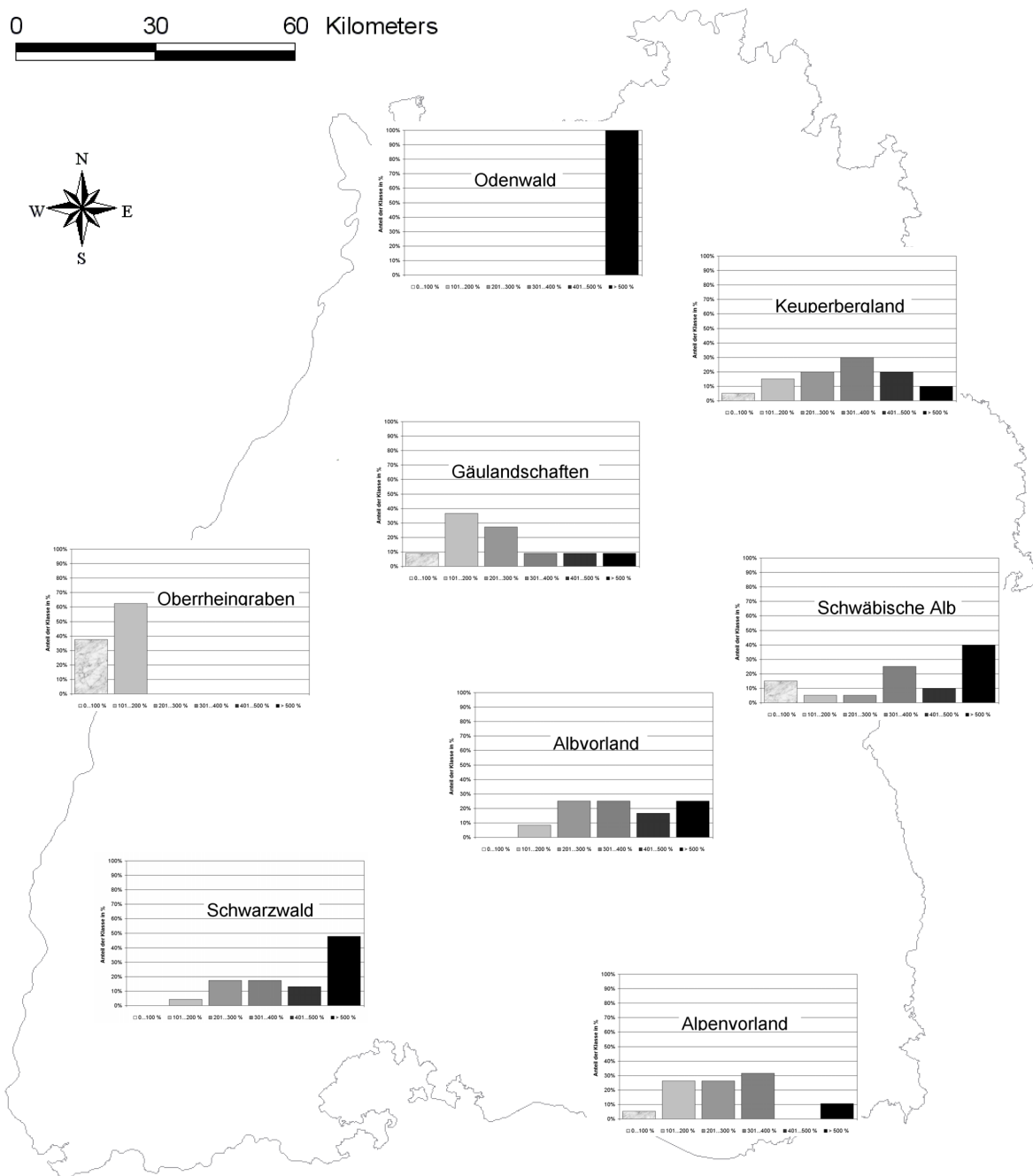


Abbildung 30: Prozentuale Verteilung der maximalen monatlichen Fremdwasserzuschläge auf die 6 Belastungsklassen innerhalb der Naturräume Baden-Württembergs

6.3.3 Weitere potentielle Fremdwasserursachen

Die bisherigen Auswertungen lassen erkennen, dass sich in einzelnen, großräumig zusammengefassten Regionen typische beziehungsweise vorherrschende Fremdwasserbelastungen einstellen. Offenkundig besteht dabei eine Abhängigkeit von der Gesamtheit der hydrogeologischen Randbedingungen. Im Folgenden wird untersucht, ob sich die Wirksamkeiten einiger der bislang in Bodenwasserregimes beziehungsweise Grundwassereinheiten zusammengefassten Einflussfaktoren isoliert nachweisen lassen. Dazu wurden von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg verschiedene digitale Datensätze zur Verfügung gestellt. Diese werden in aufbereiteter Form in einem Geografischen Informationssystem GIS mit den monatlichen Fremdwasserzuschlägen der 128 ausgewerteten Kläranlagen verschnitten.

6.3.3.1 Grundwasserbedingtes Fremdwasser

Infiltrationen in Abwasserkanäle infolge hoher Grundwasserpegel werden in der Fachliteratur häufig als ein bedeutsamer Eintragspfad im Zusammenhang mit Fremdwasserproblemen genannt (Institut für unterirdische Infrastruktur IKT, 2001; Heinrichs-Stalitz, 2002; Kapitel 2.2). Für die Region des Oberrheingrabens liegen nahezu flächendeckend langjährige Messreihen der dortigen Grundwasserstände vor. Insofern ist dieses Untersuchungsgebiet prädestiniert um kritisch zu prüfen, wie die Fremdwasserzuflüsse in Kanalnetze großräumig vom Grundwasserhorizont beeinflusst werden.

In Abbildung 31 sind die so genannten *stark grundwasserbeeinflussten* Gebiete im baden-württembergischen Oberrheingraben mit schwarzer Farbe hervorgehoben. Charakteristisch für diese Zonen sind mittlere Grundwasser-Höchststände von 0 - 20 cm unter der Geländeoberkante GOK sowie mittlere Tiefstände zwischen 20 cm und 60 cm. Dagegen abgegrenzt sind die dunkelgrauen *grundwasserbeeinflussten* Regionen mit mittleren Höchstständen von 0 – 50 cm. Die mittleren Tiefständen betragen dort 50 - 150 cm unter GOK.

Zusätzlich sind mit hellgrauer Farbe Bereiche markiert, in denen früher Grundwasserbeeinflussungen vorlagen. Heute sind die Pegel dort jedoch so stark abgesunken, dass aufgrund der üblichen Verlegetiefen von Abwasserrohren keine unmittelbaren Wechselwirkungen mit Infiltrationen mehr zu vermuten sind.

Die regionale Verteilung der maximalen monatlichen Fremdwasserbelastungen von Kläranlagen im Oberrheingraben zeigt keinen erkennbaren Zusammenhang zu den verschiedenen Grundwasserständen der Umgebung. Dies bedeutet allerdings nicht, dass die monatlichen Fremdwasserzuschläge vollständig unbeeinflusst vom Grund-

wasserhorizont wären. Bei lokaler, kleinräumiger Betrachtung einzelner Einzugsgebiete von Kläranlagen sind Fälle dokumentiert, in denen die Fremdwasserabflüsse unmittelbar auf steigende Grundwasserpegel reagieren (Institut für unterirdische Infrastruktur IKT, 1995; Schäfer und Trauth, 1996; Gustafsson, 2000).

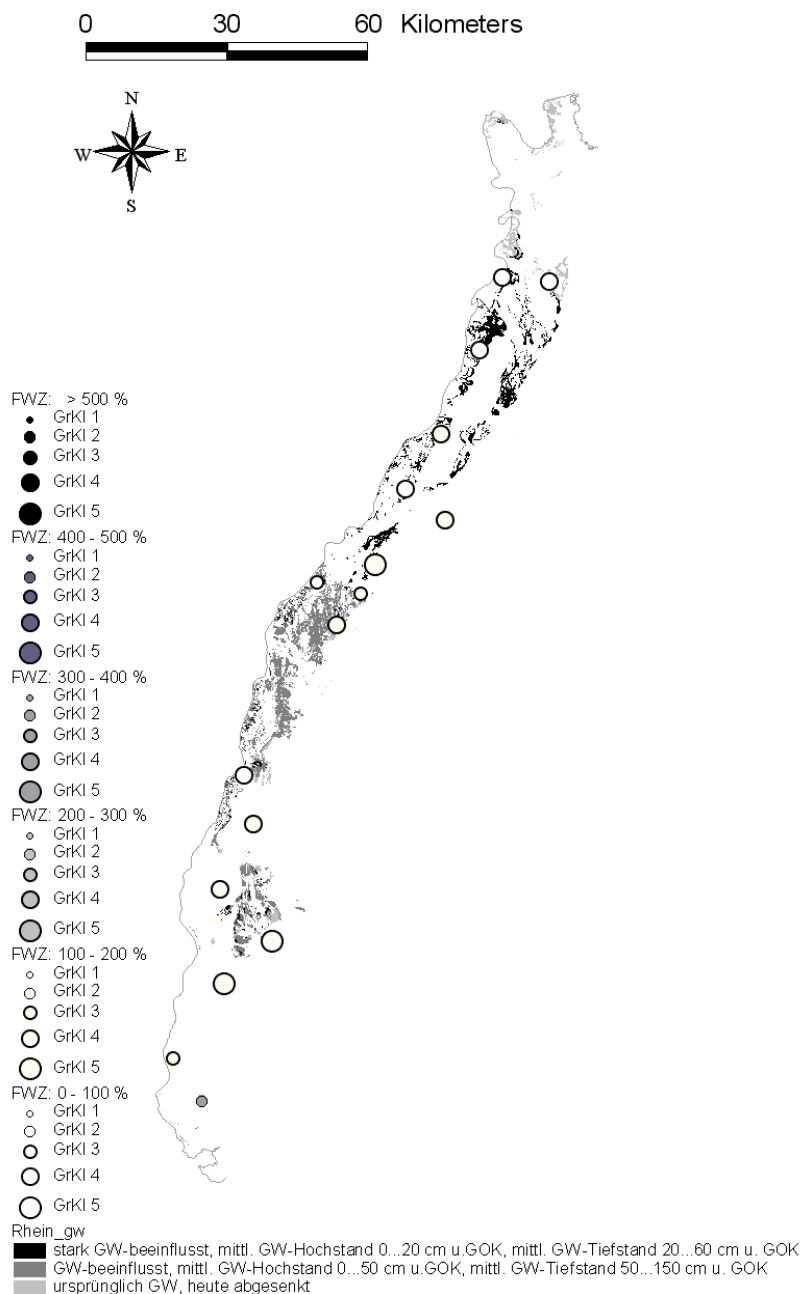


Abbildung 31: Grundwasserstände im Oberrheingraben Baden-Württembergs sowie maximale monatliche Fremdwasserzuschläge von Kläranlagen

Abbildung 32 zeigt ein solches Beispiel. Dargestellt ist der Verlauf des Grundwasserpegels im Teileinzugsgebiet einer Kläranlage im Oberrheingraben über einen Zeitraum von 6 Monaten. Das Teileinzugsgebiet wird vollständig im Trennsystem entwässert und enthält keine industriellen oder gewerblichen Einleiter. Bei einem konservativ angesetzten spezifischen Schmutzwasseranfall von 150 Litern pro Einwohner und Tag beträgt der täglich erwartete Abfluss an der Messstelle im Schmutzwasserkanal etwa 400 m³/d.

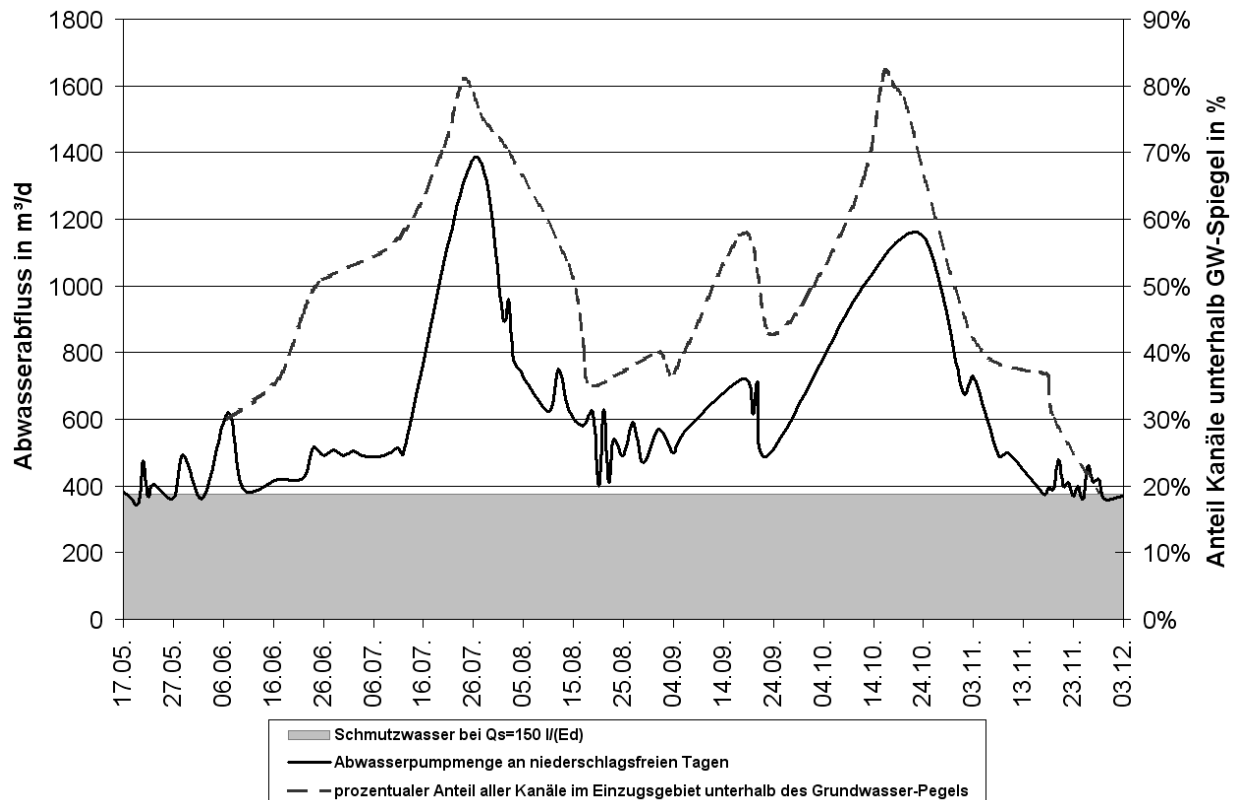


Abbildung 32: Unmittelbarer Zusammenhang zwischen dem Fremdwasserabfluss im Schmutzwasserkanal eines Teileinzugsgebietes einer Kläranlage und dem dortigen Grundwasserpegel

Bei niedrigen Grundwasserständen, in der Abbildung durch den prozentualen Anteil aller Kanäle dargestellt, die mindestens teilweise unterhalb des Grundwasserhorizontes liegen (rechte vertikale Achse), wird nahezu exakt der erwartete Abfluss im Schmutzwasserkanal gemessen. Steigende Grundwasserpegel lassen den Abwasserstrom allerdings massiv ansteigen. Im Untersuchungszeitraum erreicht das Grundwasser zwei mal einen Level, bei dem sich über 80 % aller Kanalsohlen innerhalb des Einzugsgebietes im Grundwasser befinden. Die Abwassermenge an der Messstelle verdreifacht sich während dieser Phasen. Offensichtlich treten durch Infiltrationsvorgänge erhebliche Mengen Fremdwasser in den Kanal ein.

Das Beispiel illustriert, wie stark einzelne Einflussfaktoren die Fremdwasserproblematik bei kleinräumiger Betrachtung beeinflussen können.

Solche lokal maßgebenden Faktoren sind jedoch im Allgemeinen nicht in der Lage, die Fremdwassersituation eines gesamten Kläranlageneinzugsgebietes zu prägen. Der monatliche Fremdwasserzuschlag der Abwasserreinigungsanlage, an den das in Abbildung 32 gezeigte Teileinzugsgebiet angeschlossen ist, beträgt nach der Methode des gleitenden Minimums während der untersuchten vier Jahre durchgängig weniger als 100 %. Das kleinräumig abgegrenzt vorhandene Fremdwasserproblem ist am Ende des Entwässerungsnetzes nicht mehr zu erkennen. Es wird bei Betrachtung des gesamten Einzugsgebietes der Kläranlage „überdeckt“.

Eine flächendeckende Auswertung der Grundwasserstände Baden-Württembergs in Verbindung mit der Fremdwasserbelastung auf Kläranlagen erlaubt Abbildung 33. Die Karte hebt die stauwasserbeeinflussten Böden des Landes hervor. Dabei deutet weder die Verteilung der dunkelgrauen (vorherrschend stauwasserbeeinflussten) noch diejenige der hellgrauen (teilweise stauwasserbeeinflussten) Zonen auf einen Zusammenhang zur regionalen Verteilung der maximalen monatlichen Fremdwasserzuschläge von Kläranlagen hin.

Vermutlich ließen sich durch eine separate Analyse der Entwässerungsnetze ähnlich wie für das Beispiel in Abbildung 32 einzelne Fälle finden, in denen die Stauwasserbeeinflussung des Untergrundes in lokal begrenzten Bereichen mit der Fremdwassersituation korreliert. Großräumig werden solche lokalen Beeinflussungen offenbar von anderen Faktoren signifikant überlagert.

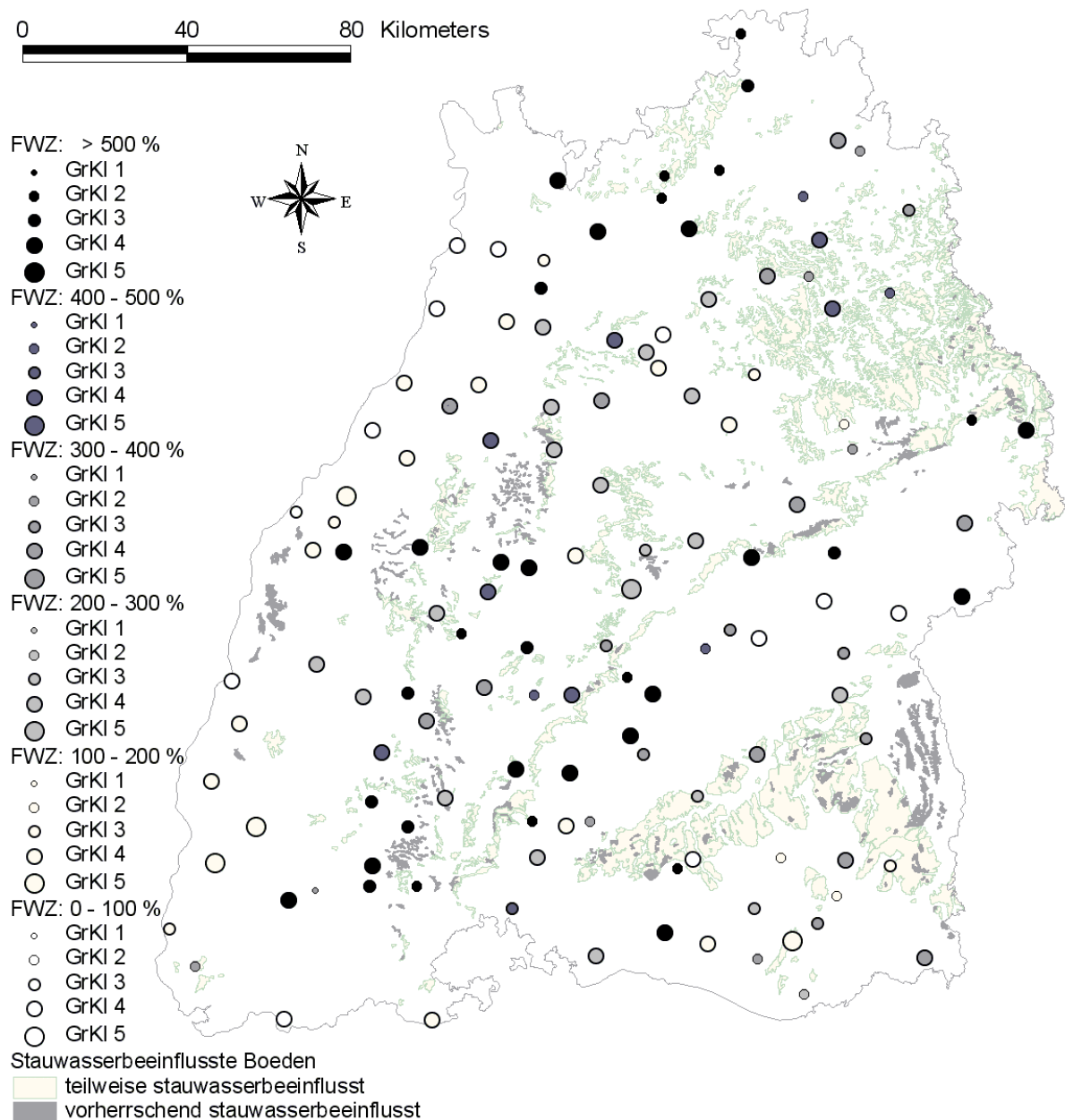


Abbildung 33: Regionen mit teilweise bzw. vorherrschend stauwasserbeeinflussten Böden sowie maximale monatliche Fremdwasserzuschläge von 128 Kläranlagen nach der Methode des gleitenden Minimums

Als Ergebnis der GIS-Verschneidungen in diesem Kapitel bleibt festzuhalten, dass grundwasserbürtiges Fremdwasser lokal und/oder für eine begrenzte Zeitdauer die Fremdwasserabflüsse in Entwässerungsnetzen sehr stark bestimmen kann. Bei Untersuchungen über längere Zeiträume und Maßstabsebenen jenseits einzelner, kleinräumiger Einzugsgebiete von Kläranlagen wird das grundwasserbedingte Fremdwasser im Regelfall von anderen Einflussfaktoren maßgebend überlagert.

6.3.3.2 Verteilung und Intensität der Niederschläge

Im Rahmen des Wasserkreislaufes ist der für ein Untersuchungsgebiet charakteristischen Niederschlagsmenge grundsätzlich eine zentrale Bedeutung beizumessen. In ariden Zonen stellen sich in der Regel keine nennenswerten Abflüsse im Boden oder an der Oberfläche ein - insbesondere nicht über längere, für Fremdwasserabflüsse maßgebende Zeiträume. Bei entsprechend vorliegender Humidität können diese Abflussarten dagegen wichtige Bestandteile innerhalb des Bodenwasserhaushaltes sein. Das Fremdwassergeschehen in den Abwasserkanälen wird deshalb prinzipiell durch die Höhe und die zeitliche Verteilung von Niederschlägen beeinflusst.

Ob sich eine Abhängigkeit des Fremdwassergeschehens von der räumlichen Niederschlagsverteilung in Baden-Württemberg nachweisen lässt, kann anhand von langjährigen Messreihen geprüft werden. Abbildung 34 zeigt die Isohyeten im langjährigen Mittel von 1961–1990 (Mühr, 2003). Die Linien gleicher Niederschlagshöhe weisen vor allem den Schwarzwald als intensiv beregnete Region aus. Hier fallen bis zu 1800 mm pro Jahr. Die restlichen Naturräume lassen sich quantitativ grob zusammenfassen. Die Werte bewegen sich mit Ausnahme kleiner, lokal begrenzter Zonen in einem Wertebereich zwischen 800 mm und 1100 mm Niederschlag pro Jahr.

Die Differenzen der jährlichen Niederschlagshöhen sind somit innerhalb von Baden-Württemberg so gering, dass sie als Hauptursache für das Auftreten von außerordentlich viel oder wenig Fremdwasser in einzelnen Regionen des Landes nicht infrage kommen. Die besonders „feuchten“ Gebiete sind teilweise (z. B. Schwarzwald), aber nicht grundsätzlich (z. B. Odenwald) mit den Zonen erhöhter Fremdwasserbelastung deckungsgleich.

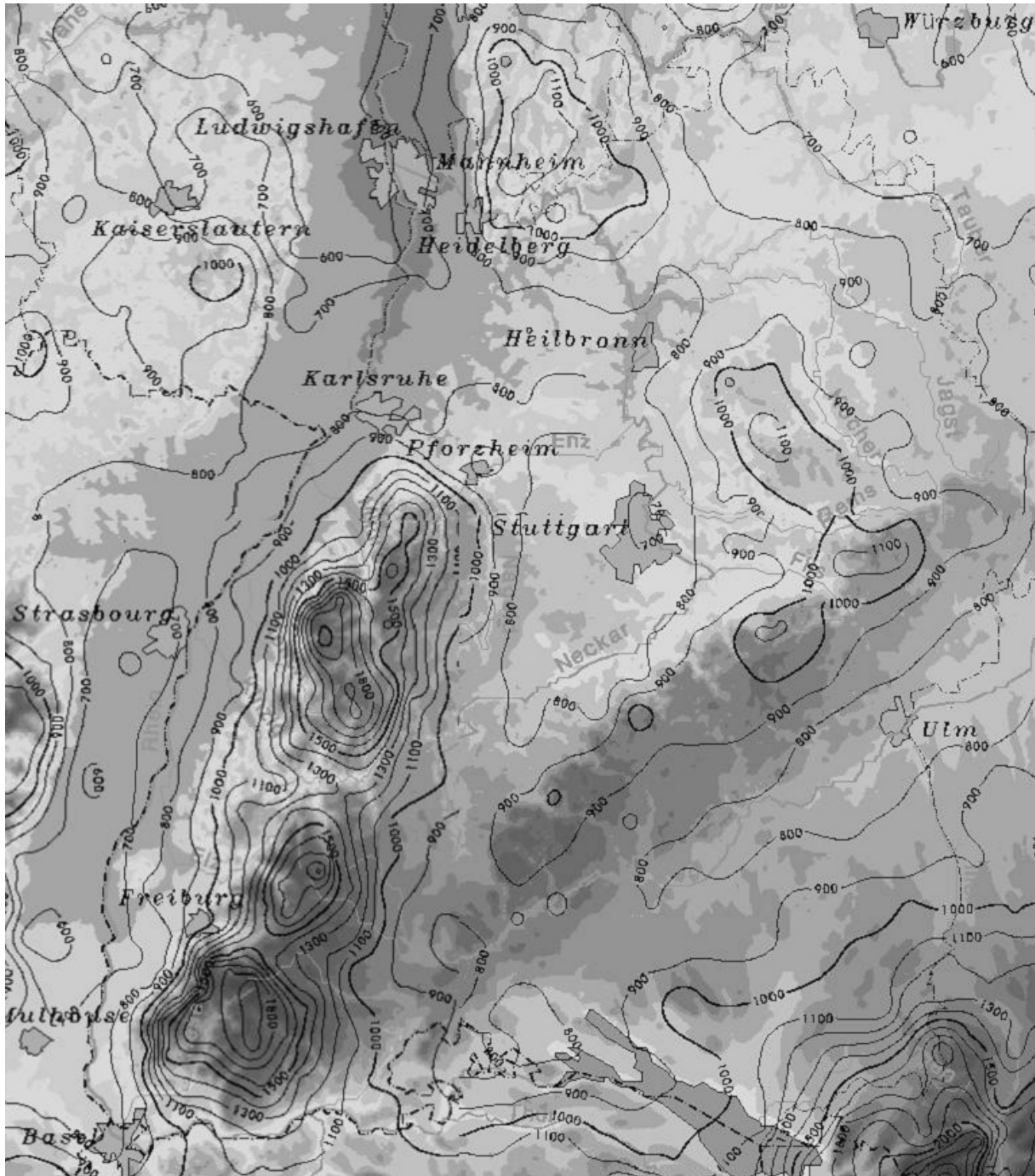


Abbildung 34: Isolinien der Niederschlagshöhe in Baden-Württemberg, langjähriges Mittel 1961-1990, aus Mühr (2003)

Im Hinblick auf den typischen jahreszeitlichen Verlauf von Fremdwasserzuschlägen mit Maximalwerten im Winterhalbjahr ist neben der Jahresmenge des Niederschlages vor allem die quantitative Verteilung innerhalb eines Jahres von Interesse. Nach Rapp und Schönwiese (1995) konnte in den letzten Jahren eine jahreszeitliche Umverteilung von den Sommer- hin zu Wintermonaten beobachtet werden. Der prozentuale Anteil des Winterhalbjahres am Gesamtniederschlag hat nach Aussage der Au-

toren von 1955–1994 im einstelligen Prozentbereich zugenommen: „Während im Frühling, im Herbst und im Winter der Niederschlag um etwa 10 bis 40 % seines Mittelwertes zugenommen hat, ist im Sommer eine Verringerung der Regenmengen um bis zu 35 % zu beobachten.“ Auch innerhalb der letzten 100 Jahre habe es ähnliche Entwicklungen gegeben. Allerdings verdeutlicht Abbildung 35, dass im Jahr 1994 trotz dieser Umverteilung der Anteil am Gesamtniederschlag im Zeitraum Oktober – März zwischen 40 % im Südosten Baden-Württembergs und 56 % im Schwarzwald betrug. Die jahreszeitlichen Differenzen sind so gering, dass sich daraus keine überzeugenden Rechtfertigungen für die in der Regel um ein Vielfaches höheren Fremdwasserzuschläge im Winterhalbjahr ableiten lassen.

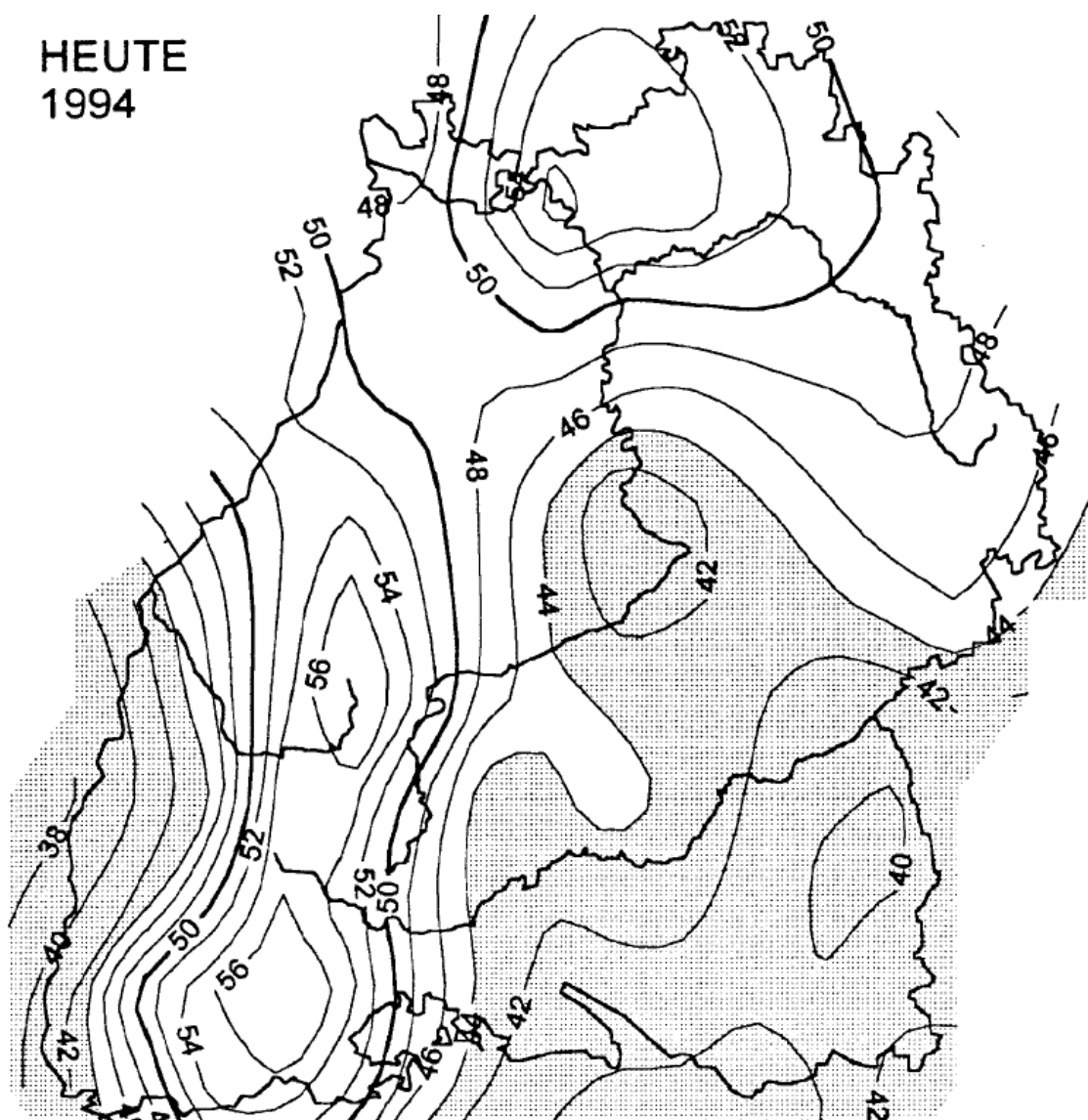


Abbildung 35: Isolinien des prozentualen Anteiles vom Niederschlag im Winterhalbjahr (Oktober – März) am Gesamtniederschlag im Jahr 1994, aus Rapp et al. (1995)

6.3.3.3 Potentielle Verdunstung

Wie viel des gefallenen Niederschlages wird in einem Einzugsgebiet potentiell zu Fremdwasserabfluss? Diese Frage führt zur Betrachtung der Verdunstung, eines weiteren elementaren Bestandteils aus dem Wasserkreislauf der Erde (Hahn, 2002). Die Verdunstungsrate wirkt sich unmittelbar auf die Abflussbildung aus. Zum so genannten „abflusswirksamen Niederschlag“ und damit möglicherweise zu Fremdwasser in Entwässerungsnetzen können nur Bestandteile des Gesamtniederschlages werden, die nicht verdunsten.

In der Dokumentation des Schmutzfrachtsimulationsmodells SMUSI (Institut für Wasserbau- und Wasserbewirtschaftung, 1998) findet sich ein Jahrgang der potentiellen, energetisch möglichen Verdunstung. Das Histogramm in Abbildung 36 ergibt sich aus den monatlich gemittelten Daten von 20 Messstationen. Die punktierte Ausgleichskurve wird in SMUSI für interne Berechnungen benutzt.

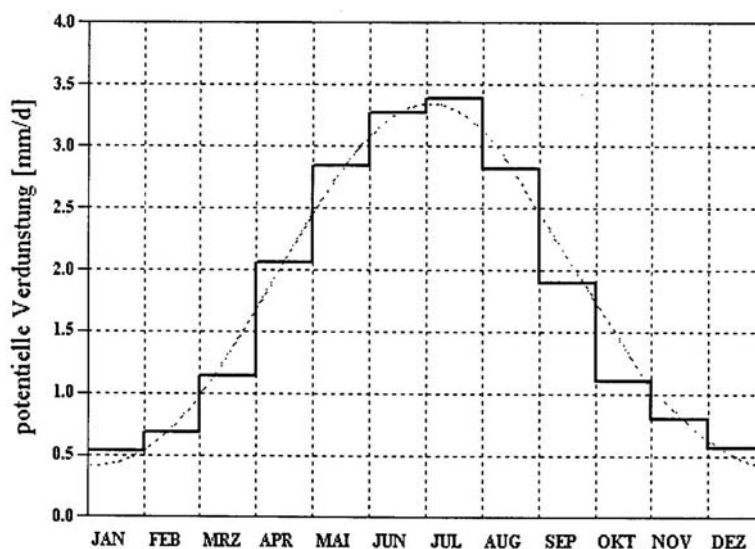


Abbildung 36: Jahrgang der potentiellen Verdunstung nach Brandt (1979)

Der Jahrgang der potentiellen Verdunstungsraten weist im Sommer gegenüber den Minimalwerten vom Winter bis zum Faktor 6 erhöhte Werte auf. Das hängt vor allem mit der Vegetationsperiode, der Bodenbedeckung und der mittleren Lufttemperatur zusammen. Im Winterhalbjahr werden weitaus größere Anteile zu „abflusswirksamem Niederschlag“. Allerdings ist nach Sieker (2001) selbst die maximale Verdunstungsrate im Sommer so gering, dass eine Berücksichtigung bei der Bemessung lediglich für siedlungswasserwirtschaftliche Anlagen mit Dauerstau angebracht erscheint. Grundsätzlich korreliert der Jahrgang der potentiellen Verdunstung jedoch mit den beobachteten jahreszeitlichen Schwankungen von Fremdwasserabflüssen.

6.3.3.4 Relief und Geländehöhe

Bei der Interpretation der regionalen Verteilung von Fremdwasserzuschlägen in den einzelnen Naturräumen Baden-Württembergs in Kapitel 6.3 wurde beobachtet, dass insbesondere die Gebirgsregionen als Belastungsschwerpunkte hervortreten. Sowohl im Odenwald wie auch im Schwarzwald häufen sich Kläranlagen mit im Landesvergleich außerordentlich hohen Zuflüssen. Als Ausnahme präsentiert sich die dritte Hochfläche Baden-Württembergs. Auf die Besonderheiten bezüglich der Abflussvorgänge im Karstgebiet der Schwäbischen Alb wurde in den Kapiteln 6.1 beziehungsweise 6.3.2.6 ausführlich hingewiesen. Naturräume mit überwiegend ebenem Tiefland wie das südliche Alpenvorland und insbesondere der Oberrheingraben beherbergen nach den bislang präsentierten Ergebnissen zur Regionalisierung der Fremdwasserbelastung vorwiegend Kläranlagen mit ganzjährig niedrigen Fremdwasserzuschlägen.

Grundsätzlich vermitteln die GIS-Verschneidungen der Fremdwasserdaten von 128 Kläranlagen aus den vorangegangenen Kapiteln den Eindruck, dass insbesondere in höheren, gebirgigen Lagen verstärkt mit „viel“ Fremdwasser zu rechnen ist. Vor diesem Hintergrund wird den maximalen monatlichen Fremdwasserzuschlägen in Abbildung 37 eine Reliefkarte Baden-Württembergs hinterlegt.

An der Abbildung wird deutlich, dass Regionen mit zunehmend unruhigerem Relief tendenziell durch stärkere Fremdwasserbelastungen geprägt sind. Die Höhenzüge des Schwarzwaldes treten in diesem Sinne deutlich hervor. Das Band der schwarzen, stark fremdwasserbelasteten Kläranlagenpunkte im Naturraum Schwäbische Alb liegt ebenfalls am Rand eines deutlich erkennbaren Höhenzuges. Der Odenwald fällt gegen Osten verhältnismäßig flach ab. Deshalb ist das Mittelgebirge in der Reliefkarte schlecht zu identifizieren. Hier spiegeln beispielsweise Grundwassereinheiten die Grenze zwischen hoch- und niedrig mit Fremdwasser belasteten Zonen besser wider (vgl. Abbildung 29).

Trotz dieser Einschränkung bleibt insgesamt der Eindruck bestehen, dass sich anhand von Reliefkarten außergewöhnlich hoch mit Fremdwasser belastete Regionen in einem Untersuchungsgebiet grob vorhersagen lassen.

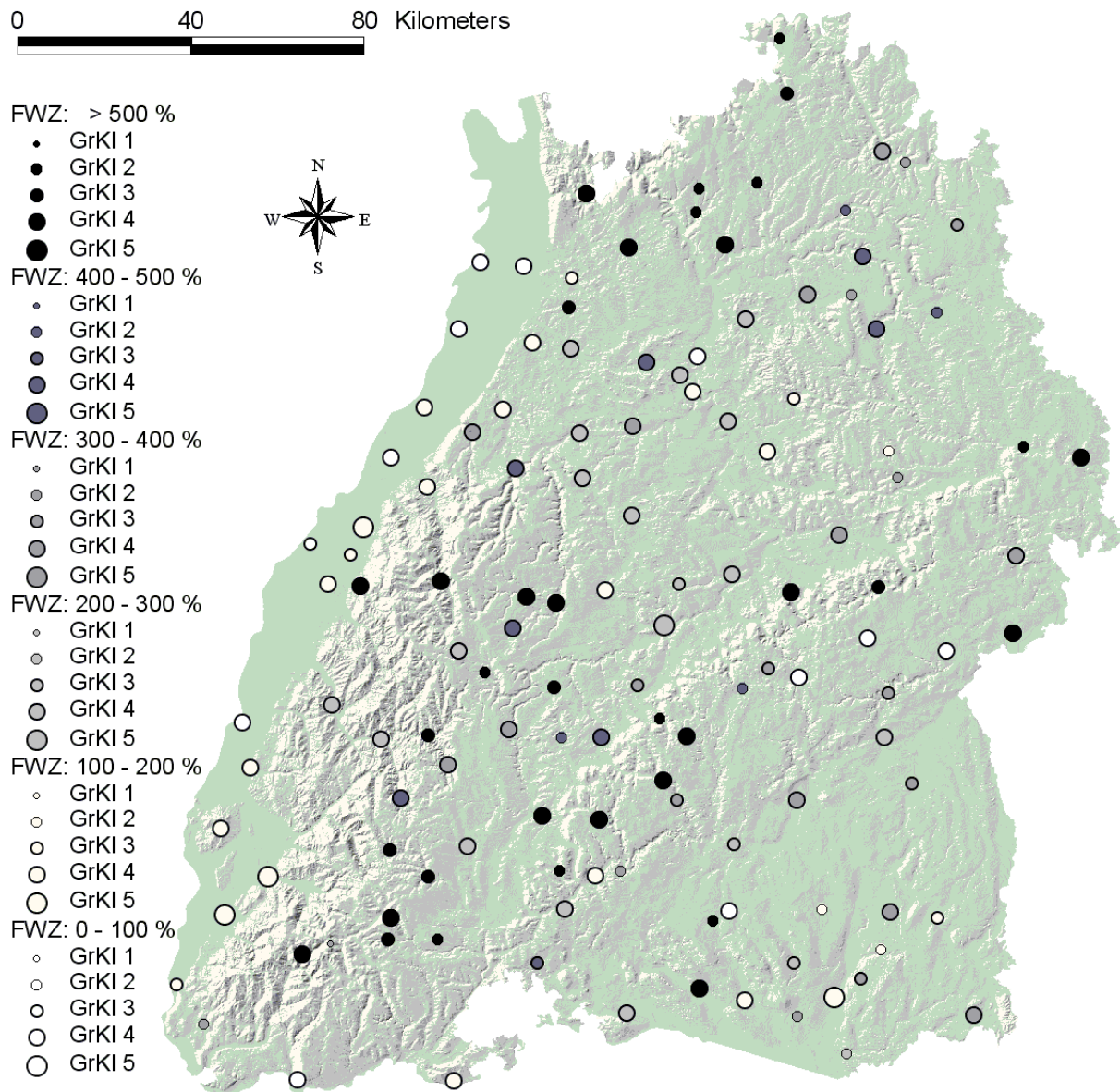


Abbildung 37: Regionale Verteilung der maximalen monatlichen Fremdwasserzuschläge von 128 Kläranlagen in Baden-Württemberg sowie Reliefkarte

Eine exaktere Prognose der großräumig zu erwartenden Größenordnungen von Fremdwasserzuschlägen lässt sich aus digitalen Höhenkarten ableiten. Abbildung 38 zeigt Baden-Württemberg im digitalen Höhenmodell DHM 30, welches dankenswerterweise von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg im Rahmen der vorliegenden Auswertung zur Verfügung gestellt wurde. Für das Modell wurde die gesamte Landesfläche in 30 x 30 Meter große Rasterquadrate eingeteilt. Für jedes Element wurde die mittlere Oberflächenhöhe über dem Meeresspiegel bestimmt. Selbstverständlich stehen solch detaillierte Informationen für Fremdwasseranalysen in der Praxis normalerweise nicht zur Verfügung. Das digitale Höhenmodell verdeutlicht, dass sich die hochbelasteten Kläranlagen in Gebirgsregionen häufig in tief ein-

geschnittenen Tälern befinden. Die beiden hellgrauerer Punkte am westlichen Schwarzwaldrand liegen in Zonen unter 500 m.ü. NN, dass heisst im Vorland des eigentlichen Hochgebirges. Insgesamt führt die Karte gegenüber Abbildung 37 zu deutlich verbesserten Resultate hinsichtlich der Korrelation zwischen Geländehöhe beziehungsweise Relief und den Fremdwasserdaten der ausgewerteten Kläranlagen.

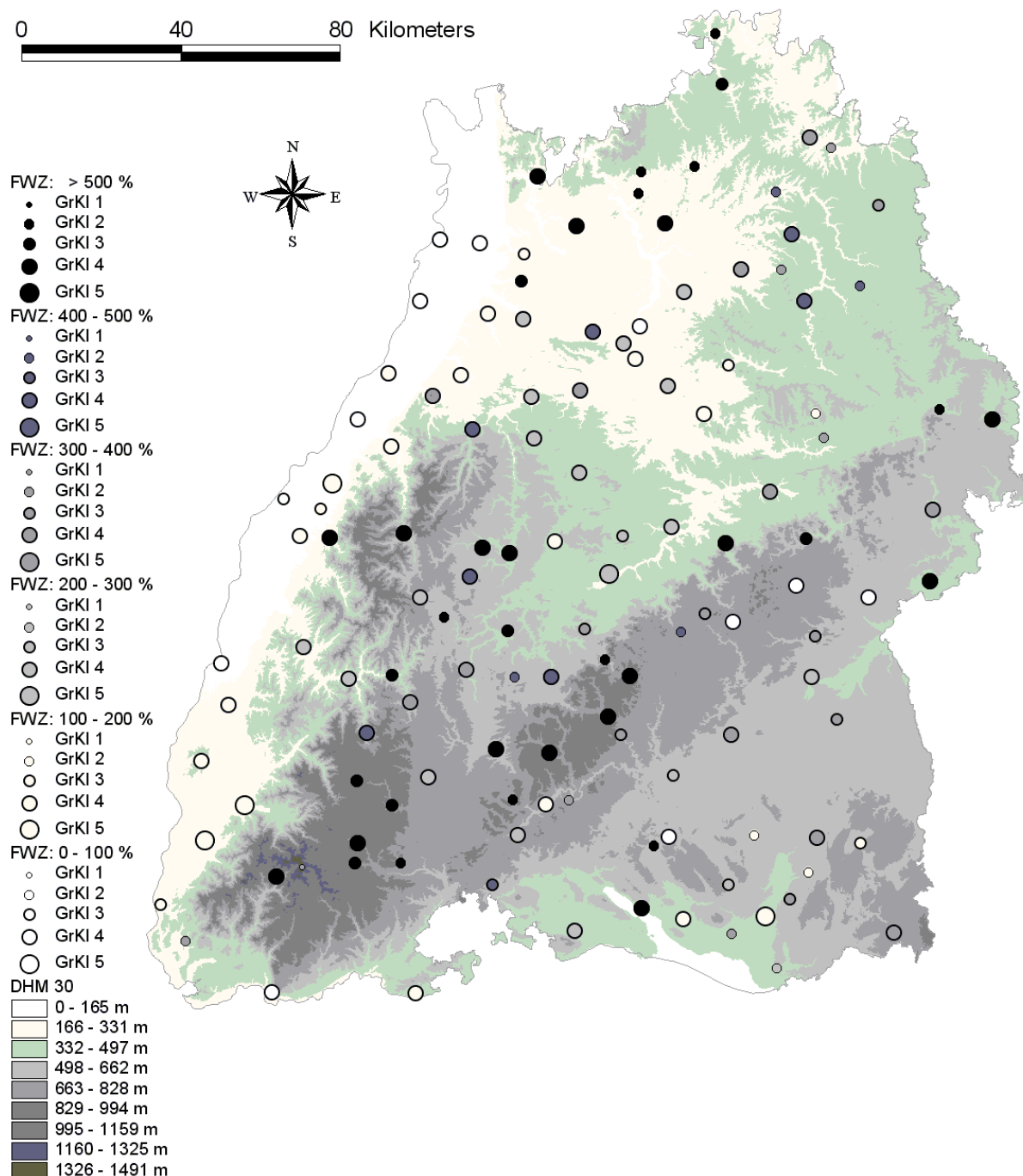


Abbildung 38: Regionale Verteilung der maximalen monatlichen Fremdwasserzuschläge von 128 Kläranlagen in Baden-Württemberg sowie Geländehöhen nach dem Digitalen Höhenmodell DHM 30

Zusammenfassend gelingt es, einen Zusammenhang zwischen den maximalen monatlichen Fremdwasserbelastungen der 128 untersuchten Kläranlagen und dem umgebenden Gelände herzustellen. Anhand des Reliefs und insbesondere des digitalen Geländemodells Baden-Württembergs lassen sich verwertbare Hinweise auf tendenziell in einer Region zu erwartende Fremdwasserabflüsse ableiten. Reliefkarten sind in der Regel für jedes Untersuchungsgebiet verfügbar, digitale Höhendaten im Allgemeinen schwerer zu beschaffen. Insgesamt bleibt festzuhalten, dass sich bei großräumigen Fremdwasseranalysen durch GIS-Verschneidungen mit Relief- beziehungsweise digitalen Höhenkarten grobskalig Bereiche mit vergleichsweise „viel“ Fremdwasser abgrenzen beziehungsweise prognostizieren lassen.

6.4 Grenzen von großräumigen Interpretationen

In diesem Kapitel soll abschließend auf allgemein bei der Regionalisierung von Fremdwasserbelastungen zu beachtende Einschränkungen sowie die Grenzen der Methodik hingewiesen werden. Generell können einzelne Einflussfaktoren die Fremdwasserbelastung einer Kläranlage zeitweilig und/oder lokal maßgebend bestimmen. Dabei werden gegebenenfalls großräumig in einer Grundwassereinheit vorherrschende Größenordnungen des Fremdwasserzuschlages signifikant überlagert. In Kapitel 6.3.3.1 wurde diese These bereits exemplarisch am Beispiel einer Kläranlage am Rhein belegt, wo grundwasserbedingtes Fremdwasser zu erheblichen Infiltrationsraten innerhalb eines Teil-Einzugsgebietes führte. Der Fremdwasserzufluss erhöhte sich an der ausgewerteten Messstelle bei hohen Grundwasserpegeln sehr stark. Im Zulauf der zugehörigen Kläranlage stellten sich allerdings keine außergewöhnlich hohen Fremdwasserzuschläge ein. Innerhalb des gesamten Einzugsbereiches der Kläranlage wurde es von der überwiegend vorherrschenden hydraulischen Situation „überdeckt“. Insofern fügt sich die Kläranlage trotz des kleinräumig vorhandenen Fremdwasserproblems „normal“ in den Naturraum *Oberheingraben* ein, der durch vergleichsweise niedrige Fremdwasserbelastungen gekennzeichnet ist.

Neben lokal abgegrenzten Ursachen innerhalb von Einzugsgebieten, die an den Zulaufganglinien von Kläranlagen nicht zwingend erkennbar sein müssen, können hydraulische Überlastungen in der Praxis durch temporäre Störungen hervorgerufen werden. Wenn für begrenzte Zeiträume untypische, vom Normalbetrieb abweichende Fremdwassersituationen im gesamten Einzugsgebiet vorliegen, lassen sich die Auswirkungen in der Regel auch im Zulauf von Kläranlagen nachweisen.

Das folgende Beispiel zeigt, wie sich temporär großräumig veränderte Umgebungsbedingungen auf den Fremdwasserzuschlag einer kommunalen Kläranlage auswirken können. Die Ganglinie in Abbildung 39 weist über drei Jahre tendenziell einen sehr gleichmäßigen Verlauf mit Werten zwischen 100 % und knapp über 200 % FWZ auf. Im Sommer des Jahres 1999 steigen die Fremdwasserzuschläge dessen ungeachtet sprunghaft an. Im Juni tritt eine Spitze von 550 % FWZ auf. Dieser scheinbar unverständliche, ungewöhnlich starke Anstieg – insbesondere im Sommer, der Jahreszeit mit üblicherweise niedrigen Fremdwasserzuflüssen – lässt sich mit den Niederschlagsdaten und den Grundwasserständen im Einzugsgebiet der Kläranlage erläutern.

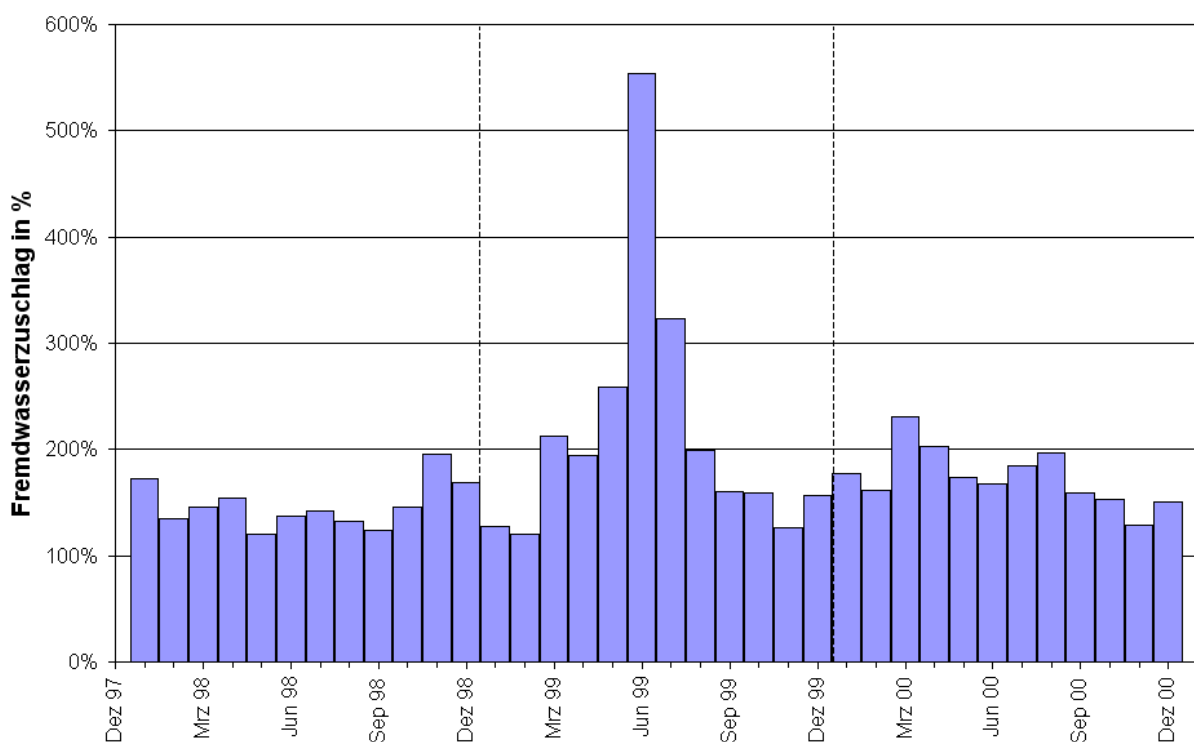


Abbildung 39: Mittlere monatliche Fremdwasserzuschläge einer Kläranlage über einen Zeitraum von drei Jahren

Die Kläranlage befindet sich in unmittelbarer Umgebung des Bodensees. Dort wurde im Sommer 1999 das so genannte „Jahrhundert-Hochwasser“ (Seespiegel, 2003) registriert. Der Verlauf und die Ausmaße des Hochwasserereignisses lassen sich in Abbildung 40 anhand der langjährigen Wasserstandsmessung am Pegel Konstanz erkennen. Hervorgerufen durch die Mitte Mai abschmelzende Schneedecke in den Alpen und lang anhaltende Niederschläge in der Nordschweiz dauerte die Hochwasserwelle vom 20. Mai 1999 bis Ende Juli 1999 an. Während dieser Periode stieg der Bodenseepegel und parallel der Grundwasserhorizont in der Umgebung außerordentlich stark an. Vermutlich resultierten daraus Infiltrationen und/oder Oberflächen-

abflüsse in großem Umfang. Die Fremdwasserbelastung der Kanalnetze und Kläranlagen erhöhte sich schlagartig und blieb während der Ausnahmesituation auf ungewöhnlich hohem Level. Nach dem Abklingen der extremen Zuflüsse ging sie bis August wieder auf normale Größenordnungen zurück.

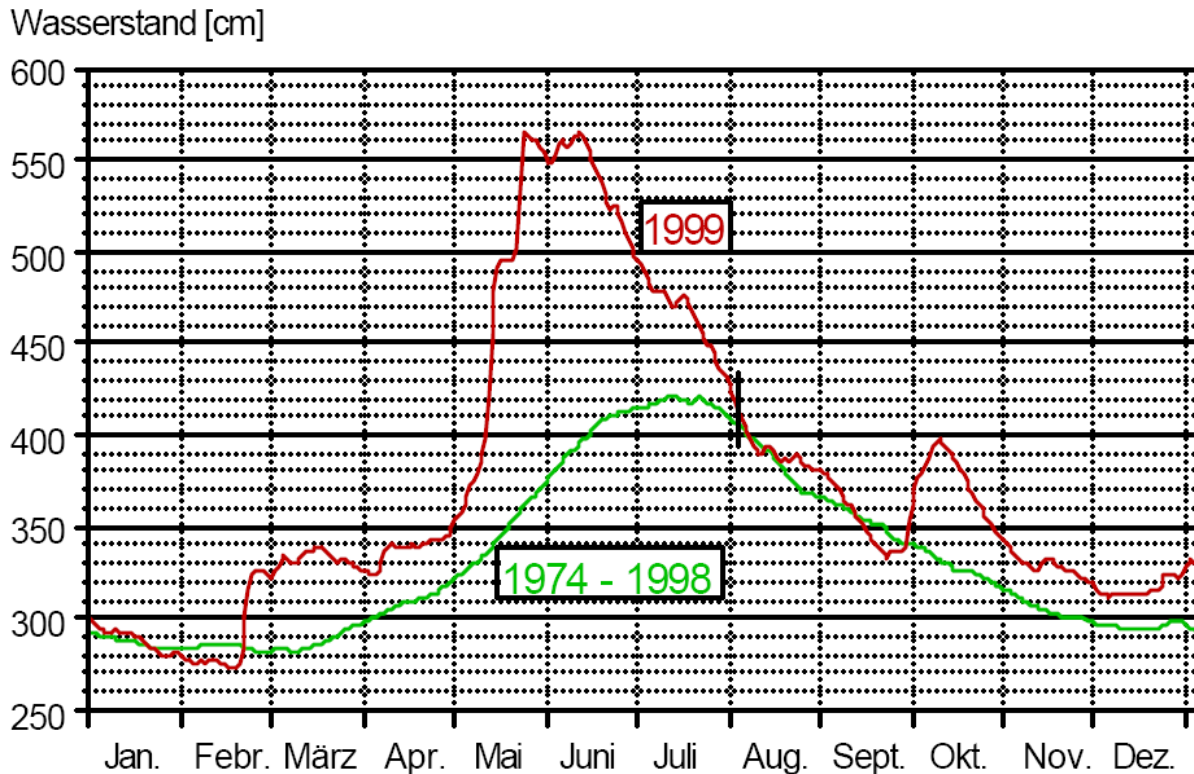


Abbildung 40: Vergleich der langjährigen Ganglinie des Bodensee-Wasserpegels Konstanz und dem Verlauf im Hochwasserjahr 1999 (Seespiegel, 2003)

Das Beispiel verdeutlicht anschaulich die Problematik der Auswahl geeigneter, charakteristischer Indikatoren zur qualitativen Beurteilung einer Fremdwassersituation. Der maximale monatliche Fremdwasserzuschlag der dargestellten Kläranlage beträgt im untersuchten 3-Jahres-Zeitraum gemäß Abbildung 39 über 500 %. Er signalisiert „zu viel“ Fremdwasser und dringenden Handlungsbedarf. In den GIS-Karten (z. B. Abbildung 38) erhält die Kläranlage unmittelbar am Bodensee einen schwarzen Punkt. Diese Einschätzung wird der tatsächlichen hydraulischen Situation für 34 von 36 untersuchten Monaten nicht gerecht. Tatsächlich bewegen sich die monatlichen Fremdwasserzuschläge langjährig in einem Bereich zwischen 100 % bis knapp über 200 %. Im Landesvergleich liegt somit eigentlich eine vergleichsweise niedrige Belastung vor (vgl. Abbildung 9).

Die Fremdwassersituation der dargestellten Kläranlage erscheint trotz eines maximalen monatlichen -zuschlages über 500 % im Allgemeinen unkritisch. Eine andere Bewertung würde sich ergeben, wenn die beschriebene Ausnahmesituation jedes

Jahr wiederkehren und dabei für einige Monate „Ausreißer“ in der Ganglinie hervorrufen würde. Bei Fremdwasseranalysen von ausgewählten, einzelnen siedlungswasserwirtschaftlichen Anlagen oder Einzugsgebieten sollten deshalb neben maximalen monatlichen Fremdwasserzuschlägen und jährlichen Mittelwerten zusätzlich langfristige Ganglinien erstellt und kritisch ausgewertet werden. Diese Empfehlung gilt insbesondere dann, wenn maximale monatliche Fremdwasserzuschläge sehr hohe Belastungen anzeigen.

Ein weiteres Beispiel für die im Einzelfall begrenzte Aussagekraft großräumiger Fremdwasseranalysen illustriert Abbildung 41. Gezeigt sind die Ganglinien zweier kommunaler Kläranlagen, die nur wenige Kilometer voneinander entfernt sind. Die „obere“ Ganglinie signalisiert ganzjährig niedrige Fremdwasserzuschläge unter 100 %. Die „untere“ Kläranlage weist dagegen jedes Jahr stark erhöhte Werte über 300 % FWZ auf. Im ungünstigsten Monat werden über 750 % erreicht. Selbst in den Sommermonaten geht die Belastung nicht vollständig zurück.

Beide Anlagen befinden sich im Naturraum *Alpenvorland* und sind in den GIS-Karten (bspw. Abbildung 38) etwa 20 km nördlich des westlichen Bodenseeufers zu finden. In den Karten sind die Anlagen durch einen weißen und einen schwarzen Punkt unmittelbar nebeneinander identifizierbar. Während die tendenziell niedrige Fremdwasserbelastung der „oberen“ Kläranlage dem großräumigen Trend im Alpenvorland entspricht, sind die extrem hohen monatlichen Fremdwasserzuschläge in Abbildung 41 „unten“ für diesen Naturraum ungewöhnlich. Zudem bestätigt der Verlauf der Ganglinie, dass der „schwarze Punkt“ nicht durch eine kurzfristige Ausnahmesituation wie im vorigen Beispiel durch das Bodenseehochwasser, sondern durch permanent „zu viel“ Fremdwasser hervorgerufen wird.

Wie kommt es zu den signifikant abweichenden Fremdwasserbelastungen zweier kommunaler Kläranlagen, deren Kanalnetze jeweils zu über 90 % im Mischsystem bestehen, die vom gleichen Personal betreut werden und im gleichen Naturraum liegen? Nach Auskunft des Betreibers sind an die „untere“ Kläranlage mehrere Brunnen und Quellen angeschlossen. Da die Anlage nur eine Ausbaugröße von 1.800 EW besitzt, machen sich unerwünschte, zusätzliche Zuflüsse überproportional bemerkbar. Der Betreiber meldet für die Kläranlage im dargestellten Zeitraum jährliche Fremdwasserzuschläge zwischen 150 % und 376 %. Er muss demzufolge regelmäßig auf eine Reduzierung der Abwasserangabe wegen unzulässiger Verdünnung und Vermischung (vgl. Kapitel 2.5) verzichten.

Die „obere“ Anlage gehört der Größenklasse 4 an. Es sind keine nennenswerten Fremdwassereintritte vorhanden, so dass sich ganzjährig konstant niedrige Abflusswerte einstellen. Die jährlich gemeldeten Fremdwasserzuschläge betragen im Zeit-

raum 1997-2000 maximal 27 %. Eine Reduzierung der Abwassergebühr wurde in diesen Jahren jeweils gewährt.

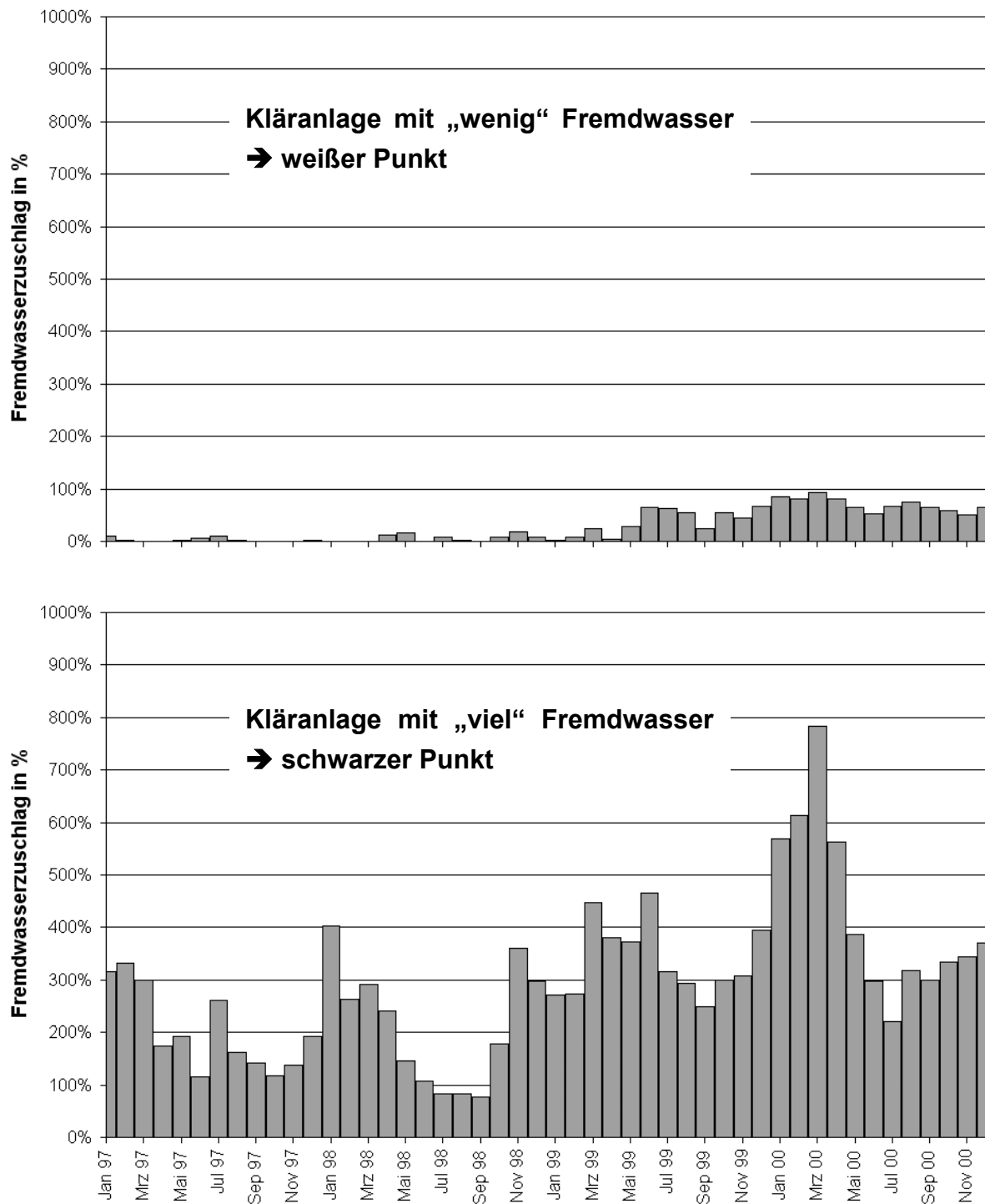


Abbildung 41: Ganglinien der monatlichen Fremdwasserzuschläge zweier Kläranlagen in unmittelbarer Nachbarschaft

Als Konsequenz aus den präsentierten Beispielen lässt sich festhalten, dass die „richtige“ Vorhersage und Charakterisierung typischer Fremdwasserbelastungen von Kläranlagen im Einzelfall schwierig sein kann. Zeitweilig vorhandene Ausnahmesituationen können die typische hydraulische Situation im Zulauf einer Kläranlage signifikant stören. Zudem sind kleinräumig „besondere“, von der Norm abweichende Umgebungsbedingungen in der Lage, die für einen Naturraum eigentlich charakteristische Fremdwassersituation zu überlagern und die -mengen deutlich zu erhöhen.

Die Regionalisierung stellt ein geeignetes Instrument für großräumige Fremdwasseranalysen dar, um tendenziell in einem Naturraum zu erwartende Fremdwasserzuflüsse vorherzusagen. Prognosen der hydraulischen Belastung einzelner Anlagen innerhalb von Naturräumen sind dagegen nicht zuverlässig möglich. Vor diesem Hintergrund sollten für Einzelbauwerke grundsätzlich Ganglinien - möglichst über mehrere Jahre - erstellt und ausgewertet werden.

6.5 Zusammenfassung

Das Ziel des Kapitels 6 bestand insgesamt darin, die räumliche Verteilung von Fremdwasserabflüssen in der Siedlungswasserwirtschaft zu illustrieren und zu analysieren. Als Datenbasis dienten die maximalen monatlichen Fremdwasserzuschläge von 128 Kläranlagen nach dem Verfahren des gleitenden Minimums. Das Vorgehen bei der Analyse bestand jeweils in der Überprüfung, ob sich für einzelne Regionen typische, dort vorherrschende Fremdwasserbelastungen nachweisen lassen. Anschließend wurde anhand von GIS-Verschneidungen diskutiert, welche hydrogeologischen, klimatischen und naturräumlichen Einflussfaktoren für die vorgefundene Verteilung in der Hauptsache verantwortlich sein könnten. Aus den durchgeführten Untersuchungen lassen sich die folgenden Schlussfolgerungen ziehen:

- Die maximalen monatlichen Fremdwasserzuschläge der 128 untersuchten Kläranlagen verteilen sich nicht willkürlich innerhalb von Baden-Württemberg. Anhand von GIS-Karten lassen sich Regionen mit typischerweise hohen beziehungsweise niedrigen Werten identifizieren und abgrenzen.
- Die regionale Verteilung stark beziehungsweise gering fremdwasserbehafteter Kläranlagen orientiert sich stark an den aus der Geologie bekannten „Naturräumen“ Baden-Württembergs. Diese unterscheiden sich vor allem in der Gesamtheit ihrer hydrogeologischen Eigenschaften, insbesondere den verschiedenen Bodenwasserregimes und den korrespondierenden Abflussarten.

- In Gebieten mit durchlässigen Böden und hohen Grundwasserständen finden sich überwiegend niedrige Fremdwasserbelastungen. Die höchsten -zuschläge werden in den Gebirgsregionen des Odenwaldes und im Schwarzwald registriert. Für Naturräume mit stark wechselnden Abflussbedingungen wie beispielsweise dem Keuperbergland sind Größenordnungen der zu erwartenden Fremdwasserzuschläge schwerer zu bestimmen. Schwankungen sind dort quantitativ stärker ausgeprägt. Auf der Schwäbischen Alb befinden sich Karst- und Quellregionen in unmittelbarer Nachbarschaft. Den Kläranlagen fließt deshalb kleinräumig wechselnd „viel“ beziehungsweise „wenig“ Fremdwasser zu.
- Reliefkarten liefern brauchbare Hinweise, ob in einem Gebiet grundsätzlich „viel“ oder „wenig“ Fremdwasser zu erwarten ist. Je unruhiger das Relief, desto eher treten hohe Fremdwasserzuschläge auf. Insbesondere fein aufgelöste digitale Höhenmodelle erlauben in Abhängigkeit der Geländestruktur gute Vorhersagen von mehrheitlich hoch mit Fremdwasser belasteten Regionen.
- Der Versuch, einzelne Einflussfaktoren aus der Gesamtheit der hydrogeologischen Eigenschaften eines Naturraumes zu isolieren und deren Wirkung auf die Fremdwassersituation von Kläranlagen separat nachzuweisen, ergab die folgenden Resultate:
 - Hohe Grundwasserstände wirken sich möglicherweise lokal und/oder zeitlich begrenzt sehr stark auf Fremdwasserabflüsse in Entwässerungsnetzen aus. Bei großräumiger und langfristiger Betrachtung sind sie in der Regel von untergeordneter Bedeutung.
 - Die Schwankungen der Niederschlagsverteilung in Baden-Württemberg sind zu gering, um die regional und saisonal unterschiedlichen Größenordnungen von Fremdwasserzuschlägen hauptsächlich darauf zurückzuführen. Aufgrund der Wechselbeziehungen zwischen Niederschlagshöhe und Abflussart sind jedoch grundsätzlich Auswirkungen vorhanden. Der Jahresgang der potentiellen Verdunstung lässt tendenziell im Winterhalbjahr höhere Fremdwassermengen erwarten.
- Die Naturräume und insbesondere die räumlich feiner aufgelösten Grundwassereinheiten gestatten es, regionale Belastungsschwerpunkte im Rahmen von großräumigen Fremdwasseranalysen zu lokalisieren. In diesem Sinne lassen sie sich für Prognosen der tendenziell an einem Standort zu erwartenden Fremdwassermengen einsetzen. Außerdem ergeben sich aus den präsentierten GIS-Analysen wertvolle Hinweise im Hinblick auf die Auswahl geeigneter

Sanierungsverfahren. Welche Maßnahmen versprechen an einem Standort die wirksamste Reduktion von Fremdwasserzuflüssen? In den hochbelasteten Regionen der Mittelgebirge sollten beispielsweise Sanierungskonzepte ange-dacht werden, die sich mit den dort maßgebenden Ursachen von Fremdwasser (Hangzugwasser und Direktabflüsse an der Oberfläche) auseinander setzen.

- Vor dem Hintergrund des Abwasserabgabengesetzes (2001) stellt sich aus Sicht der Betreiber von Abwasserreinigungsanlagen die Frage, in wie weit die aufgedeckte Beziehung zwischen Geländeprofil beziehungsweise Naturraum/Grundwassereinheit und typischer Fremdwasserbelastung in der Gesetzgebung berücksichtigt werden sollte. Es erscheint einerseits fragwürdig, dass Kläranlagenbetreiber in „benachteiligten“ Naturräumen wie beispielsweise dem Schwarzwald keine Reduzierung der Abwasserabgabe erhalten, weil sie trotz großer Anstrengungen zur Verminderung von Fremdwasserabflüssen den meldepflichtigen Jahreswert nicht unter 100 % Fremdwasserzuschlag absenken können. Betreiber in „bevorzugten“ Regionen unterschreiten den Grenzwert für die unzulässige Verdünnung und Vermischung dagegen in der Regel zuverlässig, ohne dass sie der Fremdwassersituation in ihrem Einzugsgebiet besondere Aufmerksamkeit widmen müssten. Unabhängig von dieser scheinbaren „Ungerechtigkeit“ besteht das Ziel des Gesetzgebers darin, einen flächendeckend vergleichbar guten ökologischen und chemischen Zustand der Gewässer zu erreichen (Europäische Gemeinschaft, 2000). Dazu werden unter anderem einheitliche Emissionsgrenzwerte festgelegt. Für den Gesetzgeber ist es dabei grundsätzlich unerheblich, ob und gegebenenfalls welche Anstrengungen zur Einhaltung dieser Grenzwerte erforderlich sind.

Ein „gerechter“ Kompromissvorschlag zur Lösung des skizzierten Problems könnte beinhalten, dass Betreiber in Abstimmung mit der zuständigen Fachbehörde Fremdwasser-Sanierungskonzepte planen und durchführen, um den von der EU-Wasserrahmenrichtlinie geforderten „guten Zustand der Gewässer“ zu erreichen (von Keitz, 2001). Wenn sich anschließend trotz nachweislich ausgeschöpftem Verminderungspotential die Fremdwasserzuschläge nicht unter den festgelegten Grenzwert absenken lassen, könnte aus quantitativer Sicht dessen ungeachtet eine Reduzierung der Abwasserabgabe gewährt werden.

7 Fremdwasser innerhalb von Kanalnetzen

In den vorangegangenen Kapiteln wurden umfangreiche Auswertungen bezüglich der Häufigkeit und der Größenordnung von Fremdwasserzuflüssen dargelegt. Dabei bestand die Datengrundlage stets aus Messwerten, die auf Kläranlagen gewonnen wurden. Dies hat einen plausiblen Grund. Die zufließende Wassermenge wird auf einer Kläranlage kontinuierlich und zuverlässig erfasst. Störungen oder Unregelmäßigkeiten erkennt das Personal vor Ort ohne großen Zeitverzug. Erforderliche Wartungsarbeiten werden regelmäßig durchgeführt. Deshalb bieten sich Rohdaten von Kläranlagen grundsätzlich zur Erstellung umfassender, flächendeckender Fremdwasseranalysen an, wie sie in den Kapiteln 4, 5 und 6 vorgestellt wurden.

Dabei darf jedoch nicht übersehen werden, dass eine Kläranlage immer das Ende eines Kanalsystems markiert. Dies wirft Fragen auf, in wie weit die Ergebnisse solcher Analysen repräsentativ für gesamte Einzugsgebiete sein können. Lässt sich die Fremdwasserbelastung innerhalb eines Entwässerungsnetzes ohne große Fehler zu einem gemeinsamen Kläranlagenwert aufintegrieren? Wie stark schwanken die Fremdwasserbelastungen an verschiedenen Standorten im Einzugsgebiet um einen mittleren Wert? Darf die Fremdwassersituation einer Kläranlage basierend auf *end of pipe* gewonnenen Daten als charakteristisch für ein gesamtes Entwässerungsnetz angesehen und auf dieses übertragen werden?

Die Suche nach Antworten auf die formulierten Fragen führt in den folgenden Kapiteln zur Diskussion der möglichen Konsequenzen von „zu viel“ Fremdwasser in Kanalisationen. Dabei steht insbesondere ein möglichst effektiver Gewässerschutz im Mittelpunkt des Interesses. Im Anschluss an die Erörterung der in diesem Kontext zu erwartenden Auswirkungen wird exemplarisch die Fremdwasseranalyse eines ausgewählten Entwässerungsnetzes anhand von umfangreichen, realen Messwerten präsentiert.

7.1 Auswirkungen in Trennkanalisationen

Für Fremdwasser-Untersuchungen im Kanalnetz sollten grundsätzlich Trenn- und Mischsysteme separat betrachtet werden. Diese Differenzierung ist sinnvoll, weil die potentiellen Auswirkungen von Fremdwasser in Abhängigkeit des Entwässerungsnetzes von Grund auf verschieden sind (vgl. Kapitel 2.3).

In Regenwasserkanälen von Trennsystemen können Fremdwasserabflüsse aufgrund der potentiell ungleich größeren Niederschlagsmengen im Regelfall vernachlässigt

werden. Es sind weder quantitativ noch qualitativ signifikante Auswirkungen zu erwarten.

In Schmutzwasserkanälen sind Fremdwasserabflüsse aufgrund ihres höheren prozentualen Anteiles am Gesamtabfluss stets zu beachten. Der Abwasserstrom wächst in Fließrichtung stetig an. Aus dem Schmutzwasserkanal finden gemäß dem Entwässerungskonzept keine Entlastungen in Vorfluter statt. Der gesamte Abfluss wird der Kläranlage zugeführt. Darin sind gegebenenfalls auch nennenswerte Fremdwasseranteile enthalten. Ganglinien der Fremdwasserzuschläge von Kläranlagen im Trennsystem liefern deshalb exakte Informationen über die Summe der insgesamt im Kanalnetz anfallenden Fremdwassermengen. Falls nicht lokal sehr indifferente Rahmenbedingungen vorherrschen, geben sie ein charakteristisches Bild der Gesamtsituation im Einzugsgebiet wieder.

In Trennkanalisationen wirken sich stark erhöhte Fremdwasserabflüsse vor allem auf den Betrieb nachteilig aus. Ferner sind wirtschaftliche Aspekte wie eine verminderte Reinigungsleistung von Kläranlagen durch Verdünnungseffekte oder erhöhte Pumpkosten (vgl. Kapitel 2.3) zu beachten. Sobald Regenklärbecken nicht mehr im Dauerstau, sondern wie im aktuellen Entwurf des Handbuches zur Ableitung und Behandlung von Straßenoberflächenwasser (2002) empfohlen ohne permanenten Einstau betrieben werden, können starke Fremdwasserzuflüsse zu einer Störung der regelgerechten Funktion führen (vgl. Kapitel 2.3.3).

Aus Sicht des Betreibers einer Kanalisation sind sowohl zusätzliche monetäre Belastungen durch Fremdwasser (vgl. Kapitel 2.5), wie auch die ungünstige Beeinflussung des Betriebes unerwünscht. Weil gemäß dem Trennsystem-Konzept selbst bei starkem Fremdwasserandrang stets die gesamte Schmutzwassermenge zur Kläranlage gelangt, finden in der Regel keine unmittelbaren Entlastungen von verdünntem Schmutzwasser in Gewässer statt. Die Qualität der Vorfluter wird - wenn ausschließlich das kommunale Entwässerungsnetz betrachtet wird - hauptsächlich durch erhöhte Frachteinträge aus Kläranlagenabläufen beeinflusst. Die Gesamtemissionen sind durch im Rahmen der Eigenkontrolle auf kommunalen Kläranlagen täglich erfasste Abflussmengen sowie durch im Labor bestimmte Schmutzstoffkonzentrationen grob quantifizierbar.

7.2 Auswirkungen in Mischkanalisationen

In Mischkanalisationen sind die hydraulischen Zustände weitaus komplexer. Dort sind grundsätzlich zwei Betriebszustände zu unterscheiden. Während bei Trockenwetter der gesamte Abwasserstrom die Kläranlage erreichen soll, ist dies bei starken

beziehungsweise längeren Niederschlagsereignissen nicht möglich. Nach dem Arbeitsblatt zur Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen ATV-DVWK A 131 (2000) ist ein maximal zulässiger Mischwasserabfluss zur Kläranlage festzulegen. Übersteigt die tatsächliche Wassermenge im Kanal diesen zulässigen Abfluss, füllt sich zunächst das vorhandene Retentionsvolumen aus Kanalraum und Regenbecken. Sobald eines der Bauwerke zur Regenwasserbehandlung vollständig gefüllt ist, findet eine Entlastung von Mischwasser in Vorfluter statt.

Da die möglichen Auswirkungen von „zu viel“ Fremdwasser in Mischkanalisationen vor diesem Hintergrund besonders kritisch erscheinen, werden die nachfolgenden Untersuchungen zur Fremdwasserproblematik auf entsprechende Entwässerungsnetze beschränkt. Trotzdem sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass „zu hohe“ Fremdwasserabflüsse ebenso in trennkanalisierten Gebieten auftreten können und auch dort gegebenenfalls dringender Handlungs- beziehungsweise Sanierungsbedarf vorliegen kann (vgl. Hegwald, 2000; Pecher, 2001; Kapitel 5.2). Insbesondere in den überwiegend trennkanalisierten USA finden sich in diesem Zusammenhang zahlreiche Berichte von hydraulisch überlasteten siedlungswasserwirtschaftlichen Anlagen (Wade, 1995 und 2000; Brock, 1996; Hegwald, 2000 und 2001; Forbes, 2001)

Um die Auswirkungen von Fremdwasser in mischentwässerten Netzen aufzuzeigen, werden anschließend zwei Wetterszenarios betrachtet. Bei starken Niederschlagsereignissen verhält sich ein Mischwasserkanal hydraulisch ähnlich wie ein Regenwasserkanal. Der Gesamtabfluss besteht nahezu ausschließlich aus Regenwasser. Dessen prozentualer Anteil beträgt ein Vielfaches der Trockenwettermenge. Möglicherweise vorhandene Fremdwasserströme und ihre Größe sind während dieser Zeiten für quantitative Analysen grundsätzlich unerheblich. Die Folgen für den Betrieb sind – mit Ausnahme von Regenentlastungsanlagen, auf die im folgenden Kapitel 7.3 eingegangen wird - marginal, so dass Fremdwasser im Regenwetterfall grundsätzlich vernachlässigt werden kann.

Bei Trockenwetter-Bedingungen gilt das so nicht. Es herrschen komplett andere Randbedingungen vor. In den Mischwasserkanälen befindet sich planmäßig ausschließlich Schmutzwasser, das vollständig zur Kläranlage am Ende des Entwässerungsnetzes transportiert werden soll. Es stellen sich sehr geringe Teilfüllungsgrade in den Rohren ein. Fließt einer Mischkanalisation unter diesen Umständen sehr viel Fremdwasser zu, wird unter Umständen der maximal zulässige Mischwasserabfluss der Kläranlage (ATV-DVWK A 131, 2000) erreicht. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, dass sich einzelne Bauwerke zur Regenwasserbehandlung einstauen, weil der Zufluss die jeweilige Drosselleistung übersteigt (vgl. Kapitel 2.3.3). In solchen Fällen kommt es zu einem Rückstau ins Kanalnetz, die Retentionsvolumina beginnen sich zu füllen. Falls die beschriebene hydraulische Situation länger anhält, beginnen

überlastete Anlagen zur Regenwasserbehandlung Mischwasser abzuschlagen. Es gelangt stark mit Fremdwasser verdünntes Schmutzwasser in die Gewässer. Die potentiellen Auswirkungen solcher Mischwassereinleitungen sind ausführlich in Kapitel 7.3.2 beschrieben.

7.3 Fremdwasser in Regentlastungsanlagen

Befindet sich in einer Mischkanalisation „zu viel“ Fremdwasser, so hat dies häufig unmittelbare Folgen für die Gewässergüte. Laut dem ATV-DVWK Merkblatt M 177 (2001) zur Bemessung und Gestaltung von Regentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen ist allgemein anerkannt, dass für die gewässerspezifische Beschreibung der Wirkung von Mischwasserentlastungen zum Beispiel hydraulischer Stress ausschlaggebend sein kann. Nach dem ATV-DVWK Arbeitsblatt A 117 (2001) ist hydraulischer Stress vielfach neben stofflichen Belastungen die Hauptursache von Gewässerschädigungen. Wie lassen sich jedoch derlei Stress-Situationen für Gewässer infolge starker Mischwasserentlastungen in der Praxis feststellen? Das folgende Kapitel erläutert die Schwierigkeiten der in diesem Zusammenhang erforderlichen Messungen an Bauwerken zur Regen- beziehungsweise Mischwasserbehandlung.

7.3.1 Messungen an Regentlastungsanlagen

Während sich aus Ganglinien monatlicher Fremdwasserzuschläge von Kläranlagen im Trennsystem brauchbare Informationen über die Summe der insgesamt im Kanalnetz anfallenden Fremdwassermengen gewinnen lassen, können Kläranlagemesswerte im Mischsystem grundsätzlich nur sehr eingeschränkt auf die hydraulischen Zustände im Netz übertragen werden. Dabei gilt grundsätzlich: wenn der Zufluss einer Abwasserreinigungsanlage im Mischsystem das festgelegte hydraulische Maximum übersteigt, sind verlässliche Rückschlüsse auf Fremdwassermengen im Kanalnetz vor der Drossel nicht mehr möglich.

Um ein Bauwerk zur Regen- oder Mischwasserbehandlung analysieren und hinsichtlich der Fremdwasserbelastung beurteilen zu können, werden in einem ersten Schritt verlässliche Messwerte von der Anlage benötigt. Entsprechende Messeinrichtungen in Kanalnetzen außerhalb von Kläranlagen finden sich jedoch selten. Woran liegt das? Das ATV-Arbeitsblatt A 128 (1992) fordert ausdrücklich die Überwachung von Regenüberlaufbecken mit Registriergeräten. Ebenso finden sich in den Ländern Vorschriften zur Eigenüberwachung, beispielsweise in der „Verordnung zur Selbstüberwachung von Kanalisationen und Einleitungen von Abwasser aus Kanalisationen im Mischsystem und im Trennsystem“ SüwVKan (1995) aus Nordrhein-Westfalen. Die messtechnische Erfassung von Wasserständen in Regenbecken ist über geeignete

Sonden heute zuverlässig möglich. Trotzdem sind in der Praxis kaum Daten verfügbar.

Brombach (1999) schätzte vor einigen Jahren, dass von etwa 12.000 Regenüberlaufbecken in der Bundesrepublik Deutschland nur einige Hundert mit qualifizierten und regelmäßig gewarteten Überwachungsgeräten ausgerüstet sind. An diesem Zustand hat sich nach dem aktuellen Endbericht zum Forschungsvorhaben „Durchflussmesseinrichtungen von Regenentlastungsbauwerken“ des Institutes für unterirdische Infrastruktur (IKT, 2001) wenig geändert. Die Gründe für den zu beklagenden Datenmangel sind unter anderem darin zu sehen, dass Messstellen Energie benötigen, regelmäßige Wartung erfordern und die erhobenen Daten gesichtet und ausgewertet werden müssen. Es entstehen erhebliche Investitions- und Betriebskosten. AuswerteprozEDUREN sind häufig schwierig umzusetzen, so dass - meist teures - Fachwissen von Spezialisten benötigt wird. Insgesamt muss ein Betreiber erhebliche Mengen an Zeit und Finanzmitteln aufbringen, um Messstellen an Regenüberlaufbecken sinnvoll zu nutzen. Dafür erhält er detaillierte Informationen über die hydraulische Auslastung, das tatsächliche Einstau- und Überlaufverhalten und möglicherweise Hinweise auf die effektive Reinigungsfunktion seines Bauwerkes.

Die Aufnahme und Interpretation solcher Daten liegt aber gar nicht unbedingt im unmittelbaren Interesse des Betreibers (Institutes für unterirdische Infrastruktur IKT, 2001b). Ein ungünstiges Überwachungsergebnis würde möglicherweise zu Konsequenzen im Sinne weiterer, dringend erforderlicher Investitionen führen. Das günstigste denkbare Resultat der Überwachung bestünde in einem Beleg für die regelgerechte Funktion des Regenbeckens. Ein geldwerter Vorteil gegenüber einer unterlassenen Kontrolle des Bauwerkes wäre in der Praxis damit nicht verknüpft.

Falls Regenbecken mit geeigneten Messeinrichtungen ausgerüstet sind, können in der Praxis häufig trotzdem keine hydraulischen Analysen erstellt werden. In der Regel sind keine auswertbaren Daten verfügbar. Eine im Jahre 2001 vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft (2001) durchgeführte Studie zu Messeinrichtungen an Überlaufbecken ergab, dass für die Mehrheit der untersuchten Bauwerke keine plausiblen Daten zum Überlaufverhalten vorliegen, obwohl diese mit Messeinrichtungen ausgestattet sind. Die Studie vermutet den Grund für den festgestellten Datenmangel in Wissensdefiziten bezüglich der Planung, des Einbaues, des Betriebes und der Datenauswertung. Das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft erstellte daraufhin einen „Praxisratgeber“, um die vorhandenen Defizite abzubauen. In diesem Zusammenhang berichten Strunkheide und Seibert (2002) über ein neues Messverfahren zur Erfassung der Volumenströme bei Regenbecken, mit dem Entlastungshäufigkeiten und –volumina einfach und kostengünstig bestimmt werden können.

Zusammenfassend stehen Messeinrichtungen an Regenbecken - so sie denn überhaupt vorhanden und ordnungsgemäß installiert sind - selten im Mittelpunkt des Interesses der Betreiber von Entwässerungsnetzen. Funktionsstörungen oder die Aufzeichnung wenig plausibler Messwerte werden nicht allerorten zeitnah erkannt, Reaktionen darauf erfolgen teilweise erst mit nennenswerter Verzögerung. Im Hinblick auf die hohen Finanzwerte, die in den letzten Jahren in die Regenwasserbehandlung investiert wurden und noch immer werden (vgl. Willems und Rüschenberg, 2001; Reicherter, 2003) kann es nur verwundern, wie selten die Funktion und das tatsächliche Betriebsverhalten der Anlagen im Ist-Zustand überwacht, kritisch hinterfragt und bewertet wird. Nach Gujer und Larsen (1997) werden Kanalbauwerke und Mischwasserspeicher „noch selten wirklich bewirtschaftet“, obwohl häufig Leistungsreserven vorhanden sind, die mit wenig Mitteln aktiviert werden könnten. Das Desinteresse der Betreiber ist erstaunlich, weil die entstandenen und entstehenden Kosten die Abwassergebühr beträchtlich erhöhen (Bode, 1998). Insofern müsste ein finanzielles Interesse an Optimierungen in der Regenwasserbehandlung gegeben sein. Es ist zu hoffen, dass künftig die Datendichte von auswertbaren Messungen an Regenbecken weitaus umfangreicher sein wird, als sie es derzeit ist.

Wegen des verbreiteten Mangels an geeigneten Messwerten lässt sich keine flächendeckende Fremdwasseranalyse zum Einstau- und Entlastungsverhalten von Bauwerken der Regenwasserbehandlung erstellen. In der Fachliteratur wird jedoch regelmäßig wiederkehrend über einzelne, stark fremdwasserbehaftete Bauwerke berichtet. Beispielsweise klagt eine Gemeinde über „...ein RÜB, dass nicht mehr leer wird“ (Fränkische Nachrichten, 2003). An anderer Stelle existieren Regenbecken, deren Funktionsfähigkeit durch starke Fremdwasserabflüsse im Kanalnetz hydraulisch beeinträchtigt werden (Idar Oberstein, 2002). In den Fränkischen Nachrichten (2003b) wird über Abflussmessungen im Mischwasserkanal berichtet, die bei Trockenwetter Fremdwasserzuschläge zwischen 156 % und 1900 % signalisieren.

Sind diese Berichte extreme Einzelfälle? Liegen die dort beschriebenen hydraulischen Überlastungen möglicherweise nur für ausgewählte, kurze Zeiträume an den Bauwerken vor und wird das skizzierte Problem deshalb überbewertet? Wie verhalten sich zeitweise stark überlastete Regenentlastungsbauwerke in der langjährigen Praxis?

Ein konkretes Beispiel soll nachfolgend die langfristige Einstau- und Überlaufaktivität eines stark fremdwasserbehafteten Regenüberlaufbeckens exemplarisch veranschaulichen. In Abbildung 42 sind die Entlastungsdauern eines ausgewählten RÜB für einen Zeitraum von zwei Jahren dargestellt. Das Retentionsvolumen beträgt 704 m^3 . An das Becken ist ein ländlich geprägtes Einzugsgebiet mit $23,8 \text{ ha}$ befestigter Fläche $A_{E,b}$ - entspricht A_{red} nach ATV A 128 (1992) - angeschlossen. Es gibt kei-

ne Zuflüsse von oberhalb liegenden Becken. Die Wasserstände im RÜB werden über eine Ultraschallsonde in Abständen von fünf Minuten erfasst und aufgezeichnet. Von Dezember 2000 bis Dezember 2002 wurden daraus für jeden Monat die Netto-Zeiten mit Wasserpegeln oberhalb der Entlastungsschwelle aufaddiert. So ergeben sich die monatlichen Gesamtdauern in der Abbildung, während der Mischwasser in den Vorfluter abgeschlagen wird.

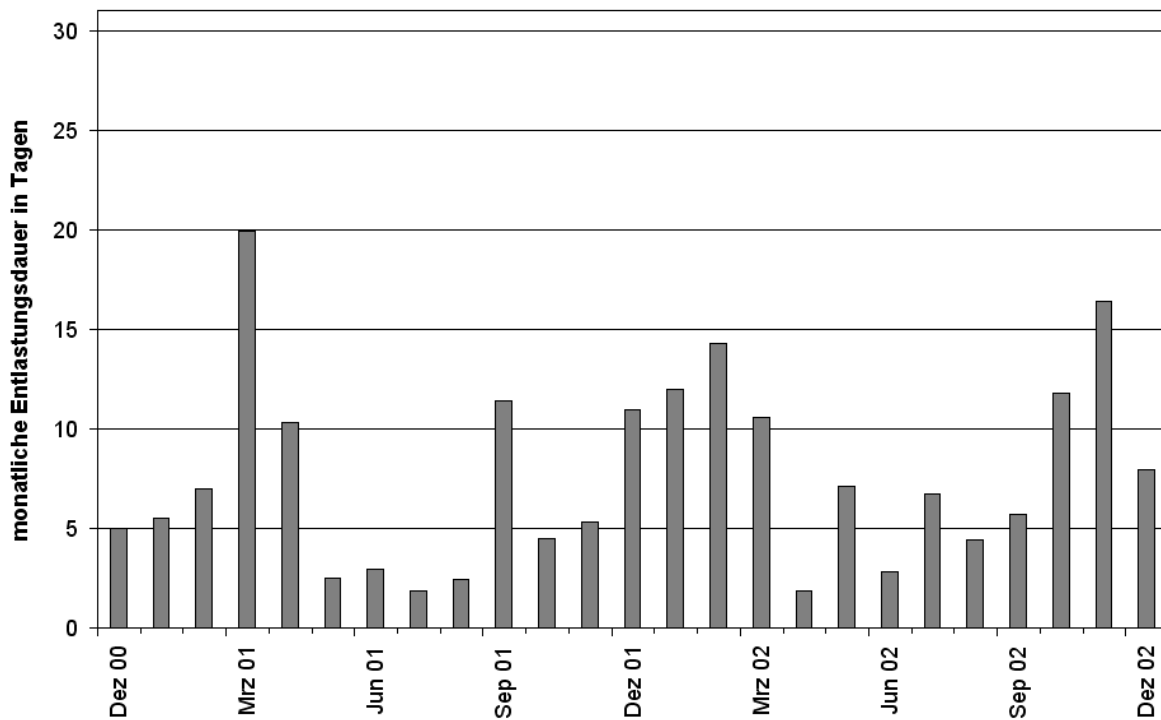


Abbildung 42: Monatliche Netto-Entlastungsdauern eines Regenüberlaufbeckens

Der zeitliche Verlauf der monatlichen Entlastungsdauern des Regenüberlaufbeckens erinnert an Fremdwasserzuschläge von hochbelasteten Kläranlagen (vgl. Kapitel 4.2.2). Die Ganglinie folgt einer ausgesprochenen Saisonalität mit Höchstwerten im Winterhalbjahr. Insbesondere im Frühjahr liegt der Wasserstand wiederholt für zehn und mehr Tage pro Monat über der Entlastungsschwelle. Das Becken kann sich während dieser Jahreszeit nur selten vollständig entleeren.

7.3.2 Auswirkungen von Mischwasserentlastungen

Zur wasserwirtschaftlichen Bedeutung hydraulisch stark überlasteter Bauwerke zur Regenwasserbehandlung wurden in den letzten Jahren einige Forschungsvorhaben abgeschlossen. Daraus konnten grundsätzliche Erkenntnisse über die Auswirkungen lang anhaltender Mischwassereinleitungen in Gewässer gewonnen werden. Demnach ist es besonders kritisch ist zu bewerten, wenn Mischwasser in Vorfluter mit geringer Wasserführung abgeschlagen und die Schwellenwerte der hydraulischen

Toleranzen für gewässertypische Organismen überschritten werden (Borchardt et al., 1998). Fuchs (1998) berichtet, dass sich Mischwassereinleitungen in kleinen, oberläufigen Fließgewässern außerordentlich intensiv auswirken. Darüber hinaus werden die „Auswirkungen von Mischwassereinleitungen auf den Stoffhaushalt und die Biozönose von Fließgewässern“ an mehreren Fallbeispielen von Borchardt (1998b), Fischer (1998), Gammeter und Krejci (1998), Mang et al. (1998), Michelbach (1998) sowie Podraza und Widera (1998) umfassend beschrieben.

Zum Themenkomplex der quantitativen und qualitativen Aspekte von Mischwassereinleitungen in Gewässer liegen die Resultate zahlreicher Forschungsarbeiten vor. Mertsch et al. (2001) präsentierten berechnete CSB-Schmutzfrachten aus Regenentlastungsanlagen in Mischsystemen von Gewässereinzugsgebieten in Nordrhein-Westfalen. Das mehrjährige Verbundprojekt „Niederschlag“ (Fuchs und Hahn, 1999) führte unter anderem zur Erkenntnis, dass Entlastungsabflüsse aus Regenbecken trotz mechanischer Reinigung teilweise noch erhebliche stoffliche Verschmutzungen aufweisen. Neuere Daten stammen in diesem Zusammenhang von Brombach und Fuchs (2002). Sie veröffentlichten einen Datenpool gemessener Verschmutzungskonzentrationen von Trocken- und Regenwetterabflüssen in Misch- und Trennkanalisationen. Nicht zuletzt diese weltweite Datenbasis bekräftigt insgesamt die These, dass durch Entlastungen von Regenbecken häufig erhebliche Schmutzfrachten in die Vorfluter gelangen.

Ein starker Fremdwasserandrang kann, wie exemplarisch am Beispiel monatlicher Entlastungsdauern eines RÜB in Abbildung 42 gezeigt, bei Bauwerken zur Misch- und Regenwasserbehandlung zeitweise hydraulische Überlastungen hervorrufen. In Abhängigkeit der Herkunft und Ursache der unerwünschten Zuflüsse können die Überlastungen für einige Tage (z.B. kurzfristig erhöhter Oberflächenabfluss nach Regenereignissen) oder über mehrere Wochen (z.B. anspringende Quellen, lang anhaltende Zwischenhorizontabflüsse) anhalten. Grundsätzlich sind diese Betriebszustände nicht nur in hydraulischer, sondern auch in stofflicher Hinsicht sehr kritisch zu sehen. Gemäß dem BBU-Wasser-Rundbrief (2002) wurden aus Mischwasserkanälen in NRW im Jahre „2000 rund 60.000 t an sauerstoffzehrenden Substanzen (...) direkt in die Gewässer eingeleitet. Etwa die gleiche Menge (...) gelangte über die Kläranlagen in die Gewässer - allerdings ganzjährig über das Jahr verteilt. Das heißt, dass in wenigen Stunden im Jahr aus den Abschlagsbauwerken der Kanalisation eine vergleichbare Schadstoffmenge in die Gewässer geleitet wird, wie bei Kläranlagen in 365 Tagen im Jahr“. Auch im Hinblick auf die Schwermetallbelastung der Gewässer wird dem Eintragspfad „Mischwasserentlastung“ zunehmend größere Bedeutung beigemessen. Die Internationale Kommission zum Schutz des Rheins IKSR hat in ihrer Bestandsaufnahme prioritärer

Stoffe 1996 ermittelt, dass beispielsweise Quecksilber hauptsächlich aus Mischwassereinleitungen herrührt (Mertsch et al., 2001). Detaillierte Analysen finden sich in diesem Zusammenhang in der Broschüre des Bundesumweltamtes „Schwermetalleinträge in die Oberflächengewässer Deutschlands“ (Fuchs et al., 2002).

Zusammenfassend gelangt Fuchs (2003) zur Aussage, dass Schmutzstoffkonzentrationen in Regen- und Mischwasserabflüssen Größenordnungen einnehmen können, die eine Abflussbehandlung vor Einleitung in die Gewässer erforderlich macht. Lang anhaltende Mischwasserentlastungen sind demzufolge im Rahmen eines wirksamen und umfassenden Gewässerschutzes unbedingt zu vermeiden. Nach Borchardt (1997) müssen im Rahmen eines „integralen Gewässerschutzes“ Belastungsfaktoren bestimmt und quantifiziert werden, die ökologische Defizite verursachen. In diesem Zusammenhang können hohe Fremdwasserabflüsse in Entwässerungsnetzen elementare Bestandteile des „integralen Gewässerschutzes“ sein.

In Deutschland ist bislang nicht quantifiziert, wie häufig massiv überlastete Regenbecken mit potentiell nachteiligen Auswirkungen auf die Güte der Vorfluter in der Praxis anzutreffen sind. In der Folge lässt sich kaum abschätzen, in wie vielen Fällen starke Fremdwasserabflüsse zu lang anhaltenden Entlastungstätigkeiten führen. Handelt es sich lediglich um seltene, extreme Einzelfälle? Sind Regenbecken möglicherweise ebenso regional unterschiedlich fremdwasserbehaftet, wie die Kläranlagen in verschiedenen Naturräumen (vgl. Kapitel 6)? Lassen sich einzelne Ursachen für länger entlastende Bauwerke identifizieren?

Da wegen des erläuterten Mangels an Messwerten (Kapitel 7.3.1) keine flächendeckenden Aussagen möglich sind, wurde alternativ nach einem geeigneten, kleinräumigeren Untersuchungsgebiet gefahndet. Nach intensiver Suche gelang es, ein größeres Entwässerungsnetz in Baden-Württemberg zu finden, dessen Regenentlastungsbauwerke vollständig mit fest installierten Messeinrichtungen überwacht werden. An diesem Untersuchungsgebiet wird nachfolgend exemplarisch die ausführliche Analyse der Fremdwassersituation eines kompletten Einzugsgebietes durchgeführt.

7.4 Exemplarische Fremdwasseranalyse eines Einzugsgebietes

Das Untersuchungsgebiet, für das nachfolgend die Fremdwassersituation im gesamten Entwässerungsnetz analysiert wird, befindet sich im Westen Baden-Württembergs. Die Kanalisation besteht ausschließlich im Mischsystem. Der Kläranlage fließt das Schmutzwasser von ca. 40.000 Einwohnern zu. Gewerbe- und Indust-

riebetriebe sind in vernachlässigbar geringem Umfang vorhanden, das Schmutzwasser setzt sich nahezu vollständig aus häuslichem Abwasser zusammen.

Das Einzugsgebiet umfasst etwa 505 ha befestigter Fläche $A_{E,b}$, das entspricht der reduzierten Fläche A_{red} nach ATV A 128 (1992). Darin befinden sich 21 Regenüberlaufbecken. Das kleinste Becken besitzt etwa 50 m³ Retentionsvolumen, die beiden größten jeweils knapp 3.000 m³. Sämtliche Bauwerke sind mit einer permanenten Wasserstandsmessung ausgerüstet. Die Aufzeichnung erfolgt im 5-Minuten-Rhythmus. Per Datenfernübertragung gelangen die Messwerte täglich zur Kläranlage, wo sie zentral in einem PC gespeichert werden. Der schematische Entwässerungsplan mit den 21 Regenüberlaufbecken, deren Volumina und der Kläranlage ist in Abbildung 43 dargestellt.

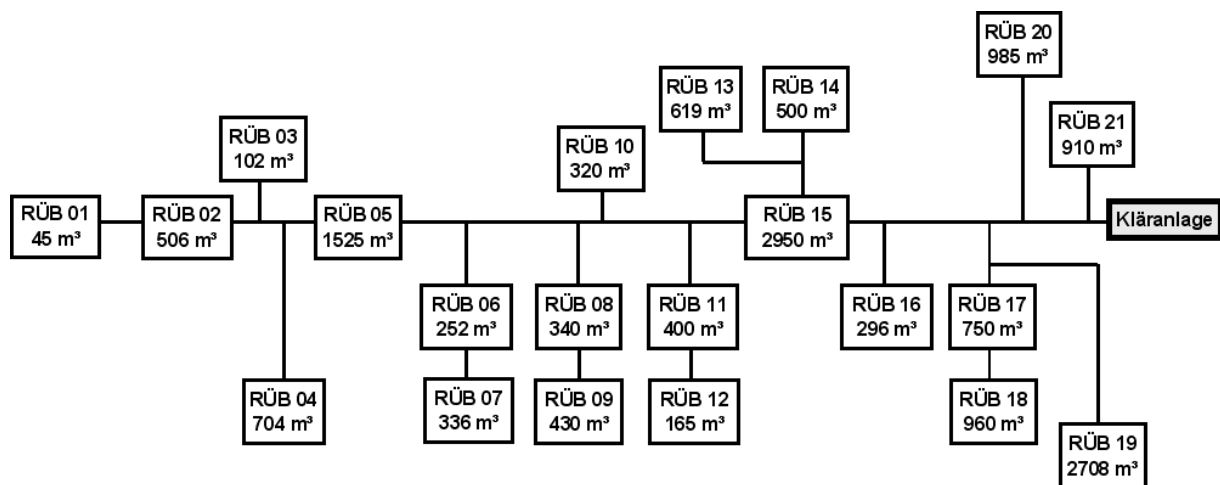


Abbildung 43: Schematischer Entwässerungsplan des Untersuchungsgebietes mit 21 Regenüberlaufbecken und Kläranlage

Aus Abbildung 44 lässt sich entnehmen, wie die 21 Bauwerke sowie die Vorfluter in der Realität im Einzugsgebiet verteilt sind. Die Hauptentwässerungsrichtung verläuft entlang des zentralen Fließgewässers von Süden nach Norden. Im nördlichen Bereich der Karte befindet sich die Zentralkläranlage. Die Retentionsvolumina der einzelnen Becken sind in fünf Klassen zusammengefasst. Die Größe der Dreiecksymbole zeigt die Zugehörigkeit der Bauwerke zur jeweiligen Klasse an.

Die Betreuung der Messeinrichtungen im Einzugsgebiet durch den Betreiber ist vorbildlich. Weil bei Betriebsstörungen automatisch eine Benachrichtigung an das Personal der Kläranlage erfolgt, werden technische Probleme sofort bemerkt. Eine Prüfung der aufgezeichneten Daten im Hinblick auf Unregelmäßigkeiten erfolgt regelmäßig, gegebenenfalls wird diesen sofort nachgegangen. Insgesamt liegen von Januar 2001 bis Dezember 2002 nahezu lückenlose und vertrauenswürdige Wasser-

standsmessungen von 21 Regenüberlaufbecken aus einem abgeschlossenen Entwässerungssystem vor. Diese Rohdaten dienen als Basis für eine exemplarische, aber umfassende Analyse der Fremdwassersituation in Kanalnetzen.

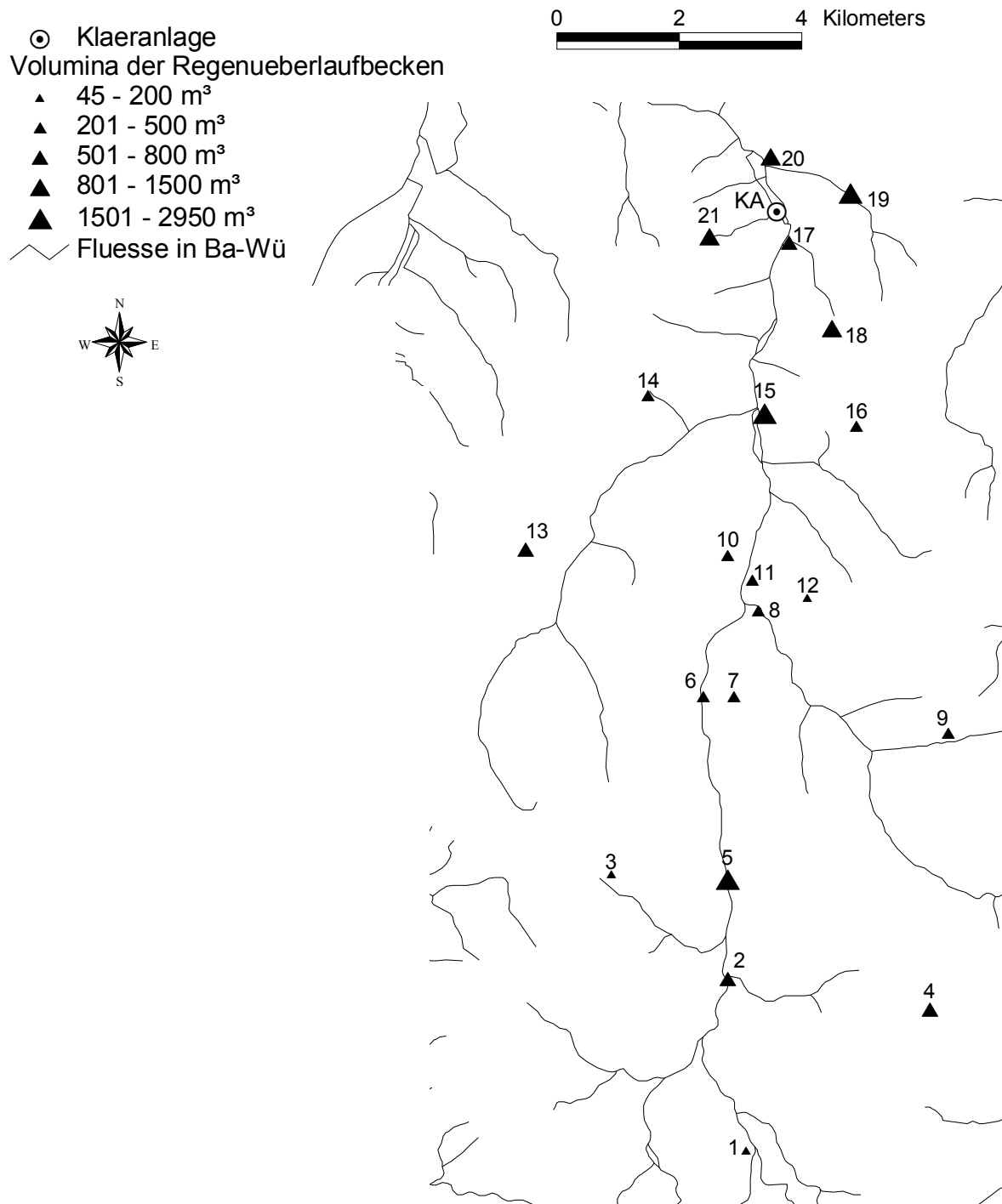


Abbildung 44: Einzugsgebiet mit 21 Regenüberlaufbecken, deren Volumina, den Vorflutern und der kommunalen Kläranlage

7.4.1 Entlastungsverhalten der Regenüberlaufbecken

Die Fremdwasserbelastung der untersuchten 21 Regenüberlaufbecken wird analog zum Beispiel aus Kapitel 7.3.1 anhand von monatlichen Überlaufdauern dargestellt (vgl. Abbildung 42). Prinzipiell wäre darüber hinaus das „Überlaufvolumen“ von Interesse, nicht zuletzt weil sich damit emittierte Frachten verschiedener Schmutzstoffe abschätzen ließen. Nach Brombach (1999) hat sich die Ermittlung der Volumenströme allerdings bislang als „zu ungenau“ erwiesen. Plausible Gründe dafür und einen Vorschlag zur Abhilfe nennen beispielsweise Strunkheide und Seibert (2002).

Die 21 Bauwerke im Untersuchungsgebiet wurden im Rahmen einer Gesamtkonzeption für die Regenwasserbehandlung geplant. Deshalb galten jeweils gleiche beziehungsweise ähnliche Bemessungsvorschriften. Einige RÜB sind nach der älteren baden-württembergischen Richtlinie für die Anordnung und Bemessung von Regenentlastungs- und Regenwasserbehandlungsanlagen (Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten, 1982) geplant. In den 90er Jahren wurde mit der Neuauflage des ATV-Arbeitsblattes ATV A 128 (1992) das Entwässerungskonzept einer erneuten Überprüfung unterzogen. Parallel zum Ausbau der Kläranlage für die Nährstoffelimination erfolgte eine Verminderung des dort maximal zulässigen Mischwasserzuflusses von $5 Q_S + Q_F$ auf $2 Q_S + Q_F$. Um den niedrigeren Drosselabflusses zur Kläranlage zu realisieren, wurde RÜB 15 mit einem Volumen von 2.950 m^3 erbaut. Parallel wurden einige Regenüberlaufbecken zusätzlich an das Entwässerungsnetz angeschlossen. Seit dieser Zeit entstanden nur noch untergeordnete bauliche Veränderungen. Die Bemessungsgrundlagen, insbesondere der Anteil befestigter Flächen, haben sich nach Auskunft des Betreibers seit dieser Zeit nicht wesentlich geändert, so dass die Becken unverändert den Anforderungen an die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen nach ATV A 128 (1992) entsprechen.

Abbildung 45 zeigt die monatlichen Entlastungsdauern aller 21 Regenüberlaufbecken im Einzugsgebiet zwischen Januar 2001 und Dezember 2002. Die Werte ergeben sich aus der Summe von 5-Minuten-Einheiten, in denen der Wasserstand im Becken während eines Monats oberhalb der Entlastungsschwelle liegt. Während der ausgewerteten zwei Jahre fiel an drei Becken zwischenzeitlich die Wasserstandserfassung aus. Insgesamt sind für 490 Monate auswertbare Daten vorhanden, auf die sich die folgenden Auswertungen stützen.

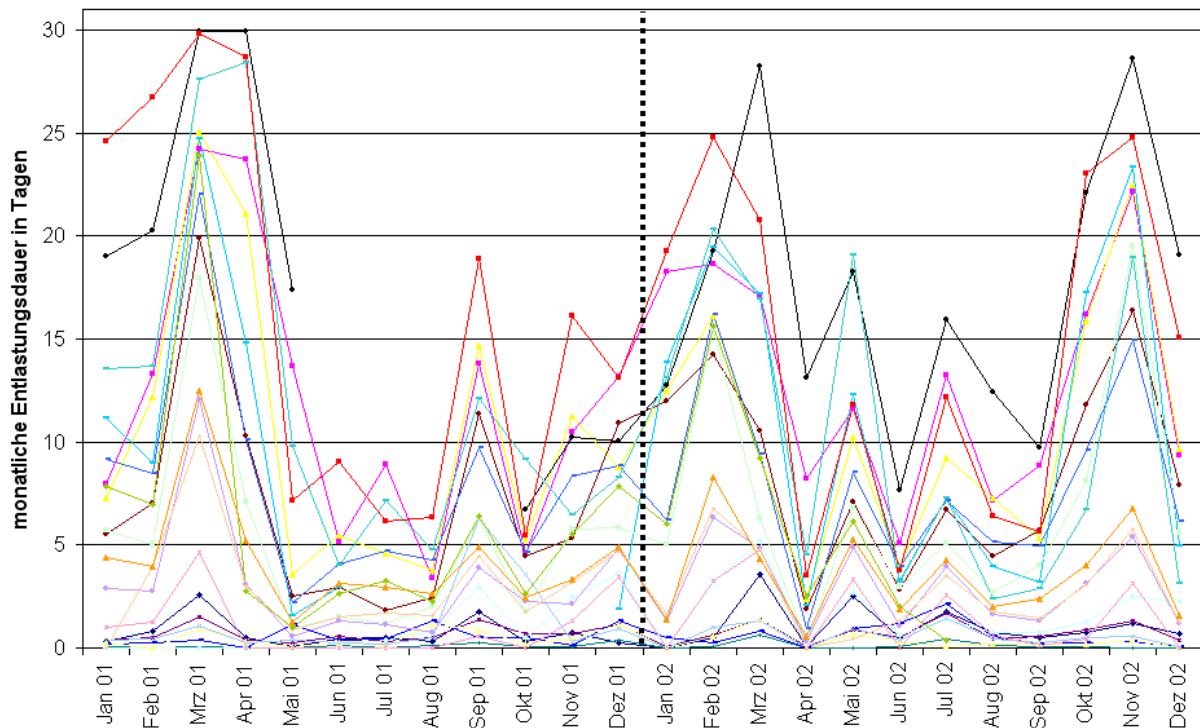


Abbildung 45: Monatliche Entlastungsdauern der 21 Regenüberlaufbecken im Untersuchungszeitraum 2001-2002

Die Becken im Einzugsgebiet verhalten sich hinsichtlich der Einstau- und Überlaufdauern sehr inhomogen. Einzelne Bauwerke weisen ganzjährig nahezu keine Entlastungstätigkeit auf, in anderen liegt der Wasserstand bis zu 30 Tage im Monat oberhalb des Klärüberlaufes. Das bedeutet randvolle Regenentlastungsbauwerke über einen gesamten Monat! Die Entlastungen reduzieren sich dort nicht mehr auf „Regen“, wie es der Name der Bauwerke suggeriert. Vermutlich gelangen stark mit Fremdwasser verdünnte Mischwasserabflüsse in die Vorfluter.

Im Kontrast zu den sehr unterschiedlichen monatlichen Einstaudauern zeigen alle Regenüberlaufbecken den typischen saisonalen Verlauf mit niedrigen Fremdwasserbelastungen im Sommer und hohen Werten im Frühjahr. Insofern bestehen grundsätzliche Parallelen zu den Fremdwasserzuschlagsganglinien von Kläranlagen (vgl. Abbildung 7).

Um den saisonalen Verlauf deutlicher hervorzuheben, werden in Abbildung 46 die minimalen und maximalen monatlichen Entlastungsdauern zu unteren beziehungsweise oberen Umhüllungskurven zusammengefasst. Zusätzlich ist der Verlauf des arithmetischen Mittelwertes für alle 21 Becken eingetragen. Die Abbildung lässt sich tendenziell mit dem jahreszeitlichen Verlauf der Fremdwasserzuschläge von 128 Kläranlagen in Abbildung 8 vergleichen. Deutlich erkennbar sind die Parallelität zwi-

schen oberer Umhüllender und arithmetischem Mittelwert. Ein Indiz dafür, dass die 21 Regenüberlaufbecken im Untersuchungsgebiet überwiegend gemeinsam „anspringen“. Treten im Kanalnetz hohe Abflüsse auf, dann reagiert die Mehrzahl der Becken mit längeren monatlichen Überlaufdauern.

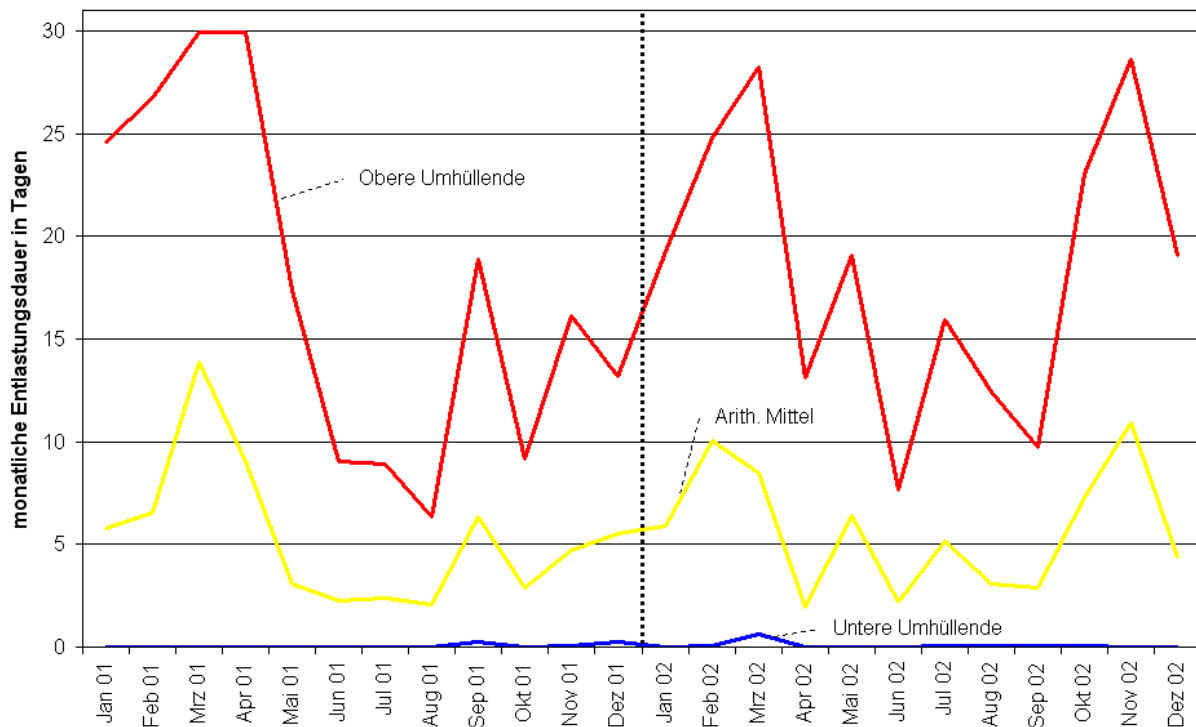


Abbildung 46: Untere und obere Umhüllende sowie arithmetisches Mittel der monatlichen Entlastungsdauern von 21 Regenüberlaufbecken im Untersuchungszeitraum 2001-2002

Die 21 Bauwerke entsprechen den Anforderungen an die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen nach ATV A 128 (1992). Trotzdem treten wiederkehrend monatliche Entlastungsdauern von 10 Tagen und mehr auf, welche deutlich über den zu erwartenden Werten liegen. Ausserdem weist der saisonale Verlauf signifikante Parallelen zum jahreszeitlichen Gang der Fremdwasserzuschläge bei Kläranlagen auf. Insofern ist davon auszugehen, dass die unerwartet starken und lang anhaltenden Zuflüsse hauptsächlich fremdwasserbedingt sind.

7.4.2 Bewertung der Entlastungsdauern

Welche Schlüsse lassen sich aus den präsentierten Darstellungen hinsichtlich der Bewertung der vorliegenden Fremdwassersituation ziehen? Im Mittel entlasten die 21 RÜB im Untersuchungsgebiet gemäß Abbildung 46 zwischen 1,9 und 13,9 Tagen pro Monat. In Gesetzestexten und Regelwerken finden sich keine Angaben über zulässige

ge oder übliche Entlastungsdauern. Wie sind diese Zeiten demnach einzustufen und zu beurteilen?

Brombach und Wöhrle (1997) werteten die Überlaufdauern von 18 Durchlaufbecken und 62 Fangbecken über mehrere Jahre aus. Sie präsentieren einen Datenpool von in der Praxis gemessenen, typischen Entlastungsdauern. Ausgehend von der These, dass die Mehrzahl aller bestehenden Regenentlastungsbauwerke konform zu den geltenden Vorschriften erstellt wurde und somit „wie geplant“ funktionieren, erstellten Brombach und Wöhrle ein Ranking mit 5 Klassen charakteristischer Überlaufdauern. Der Datenpool wurde später nochmals erweitert, die ursprünglich 215 ausgewerteten Messjahre wurden auf 300 Jahre erhöht (Fuchs und Hahn, 1999). Die Klassengrenzen mit den zugehörigen Überlaufstunden beziehungsweise -tagen sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7: Beurteilungskriterien für die Entlastungstätigkeit von Regenüberlaufbecken nach Fuchs und Hahn (1999)

Überlaufdauer in Stunden pro Jahr (oben) bzw. in Tagen pro Monat (unten)	sehr kurz	kurz	mittel	lang	sehr lang
Durchlaufbecken (KÜ)	0 – 36 0 – 0,1	36 – 162 0,1 – 0,6	162 – 290 0,6 – 1,0	290 – 505 1,0 – 1,8	≥ 505 ≥ 1,8
Fangbecken (BÜ)	0 – 9 0 – 0,1	9 – 64 0,1 – 0,2	64 – 125 0,2 – 0,4	125 – 232 0,4 – 0,8	≥ 232 ≥ 0,8

Konstruktionsbedingt entlasten Durchlaufbecken wegen der begrenzten Oberflächenbeschickung länger als Fangbecken. „Sehr lange“ Überlaufdauern beginnen für die 18 ausgewerteten Durchlaufbecken ab 505 Stunden jährlich, für die 62 Fangbecken bereits ab 232 Stunden. Umgerechnet ergeben sich daraus Grenzwerte von 1,8 Tagen pro Monat für Durchlauf- beziehungsweise 0,8 Tagen pro Monat für Fangbecken.

Wie gliedern sich nun die untersuchten RÜB in dieses Ranking ein? Selbst wenn unterstellt wird, dass sämtliche 21 Bauwerke im Untersuchungsgebiet Durchlaufbecken wären, fällt das arithmetische Mittel der monatlichen Überlaufdauern gemäß Abbildung 46 von Januar 2001 bis Dezember 2002 in die Kategorie „sehr lange“. Im Untersuchungsgebiet scheint somit ein vergleichsweise außergewöhnlich hohes Fremdwasseraufkommen vorzuherrschen.

Ist der Befund eines extrem hohen Fremdwasseraufkommens im Einzugsgebiet möglicherweise zu revidieren oder abzuschwächen, wenn die 21 Bauwerke separat betrachtet werden? Abbildung 47 zeigt die mittleren Entlastungsdauern für jedes einzelne RÜB im Jahr 2001, im Jahr 2002 und den arithmetischen Mittelwert für den gesamten Untersuchungszeitraum. Zeitweise konnten für drei Becken keine Messwerte aufgezeichnet werden. Entsprechende Hinweise mit Angaben zur Dauer der Fehlmessung sind in der Abbildung enthalten. Die tatsächlichen Entlastungszeiten liegen für diese drei RÜB in den gekennzeichneten Jahren über den abzulesenden Werten, weil die Monate mit Fehlmessungen jeweils ohne Entlastung in den Jahresmittelwert eingerechnet wurden.

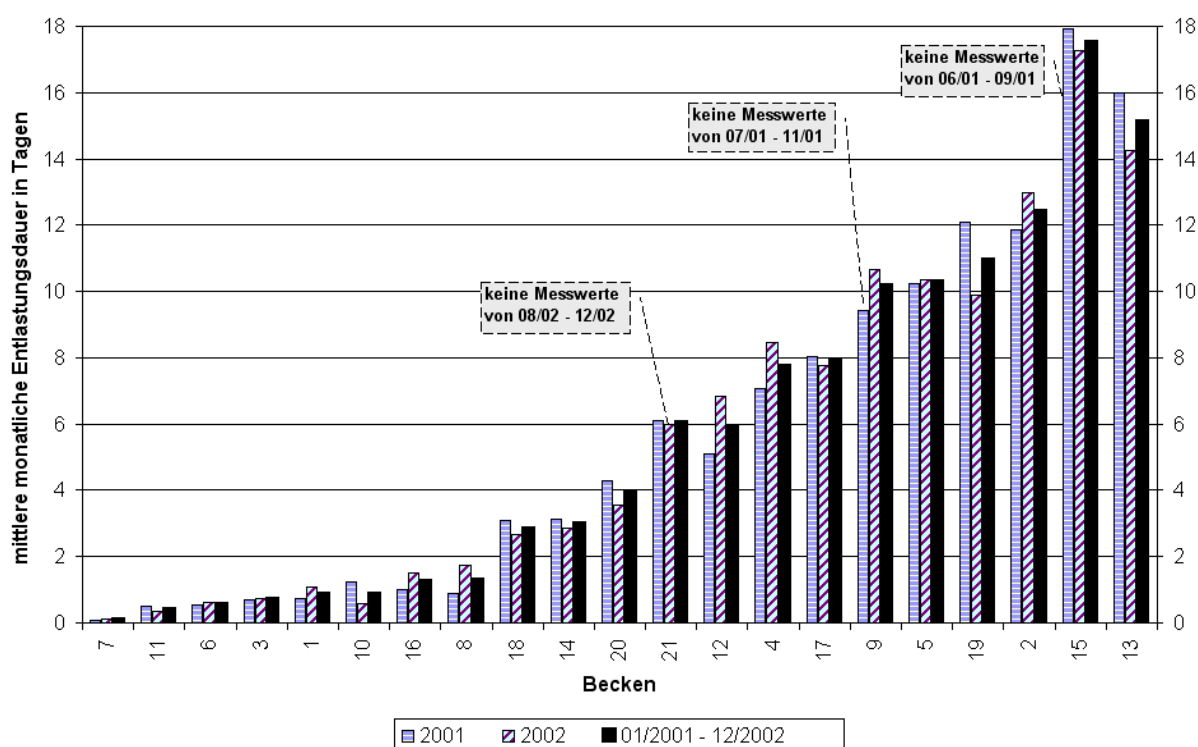


Abbildung 47: Mittlere monatliche Entlastungsdauern der 21 Regenüberlaufbecken in den Jahren 2001, 2002 sowie im gesamten Zeitraum 2001–2002

Die Auswertung verdeutlicht, wie stark die mittleren monatlichen Entlastungsdauern der 21 Bauwerke differieren. Die Nettozeiten mit Mischwasserabschlägen in die Vorfluter variieren zwischen wenigen Stunden (Becken 7) und etwa 15 Tagen pro Monat (Becken 13 und 15).

Für die Mehrzahl der RÜB bestehen dabei nur geringe Schwankungen zwischen den beiden Untersuchungsjahren 2001 und 2002. Ausnahmen bilden wie erläutert die drei Becken mit zeitweise fehlenden Messwerten. Eine Tendenz, welches Jahr das „feuchtere“ war, lässt sich an Abbildung 47 nicht ablesen. Einige Bauwerke entlaste-

ten 2001 etwas länger, andere 2002. Dafür mögen lokale Faktoren wie beispielsweise kleinräumige Differenzen in der Niederschlagshöhe oder unterschiedliche Grundwasserstände im Einzugsgebiet verantwortlich sein. Insgesamt weisen die geringen jährlichen Schwankungen bei den Entlastungsdauern der einzelnen Becken darauf hin, dass die dargestellten Überlaufzeiten nicht auf „Ausreißer“ oder besondere Umstände während der Messperiode zurückzuführen sind. Die präsentierten Entlastungszeiten bilden die jährlich wiederkehrende, typische hydraulische Situation im Kanalnetz des Untersuchungsgebietes an 21 Messstellen ab.

Brombach und Wöhrle (1997) geben den Vertrauensbereich für die Bestimmung von RÜB-Entlastungsdauern im Hinblick auf langfristig statistisch abgesicherte Mittelwerte bei zweijähriger Messzeit mit etwa $\pm 25\%$ an. Selbst wenn die Zahlenwerte aus Abbildung 47 jeweils den größtmöglichen Fehler beinhalten würden, überschreitet die Mehrzahl der untersuchten Becken den Grenzwert für „sehr lange“ Überlaufdauern aus Tabelle 7 drastisch. Dabei gelten wiederum die länger entlastenden Durchlaufbecken als Bewertungsgrundlage. Von den 21 Bauwerken fallen 13 in die Kategorie „sehr lange“. Von den verbleibenden acht weisen drei „kurze“, drei „mittlere“ und zwei „lange“ Überlaufdauern auf. Aufgrund dieses Resultates wird auf eine weitere Unterscheidung zwischen Fang- und Durchlaufbecken entsprechend des Rankings bewusst verzichtet. Selbst wenn alle 21 RÜB Durchlaufbecken wären, signalisiert die Auswertung eine außergewöhnlich stark ausgeprägte Fremdwasserbelastung für die überwiegende Mehrheit der untersuchten Bauwerke.

Noch unvoreilhaft stellt sich die Fremdwassersituation des Einzugsgebietes dar, wenn anstelle mittlerer Entlastungsdauern die Monate mit den längsten Überlaufzeiten betrachtet werden. Abbildung 48 vermittelt einen Eindruck, wie massiv die Vorfluter im Einzugsgebiet durch Mischwasserentlastungen zumindest vorübergehend belastet werden. Für jedes Bauwerk ist der aus Fremdwassersicht ungünstigste Monat aus 2001 beziehungsweise 2002 dargestellt. Zehn von 21 RÜB entlasten während der zweijährigen Untersuchungsphase wenigstens in einem Monat länger als 15 Tage. Vor dem Hintergrund, dass insbesondere im Frühjahr häufig mehrere Monate mit ähnlich langen Überlaufzeiten aufeinander folgen (vgl. Abbildung 47) lässt sich abschätzen, welchen hydraulischen (und stofflichen) Belastungen die Vorfluter zeitweise ausgesetzt sind.

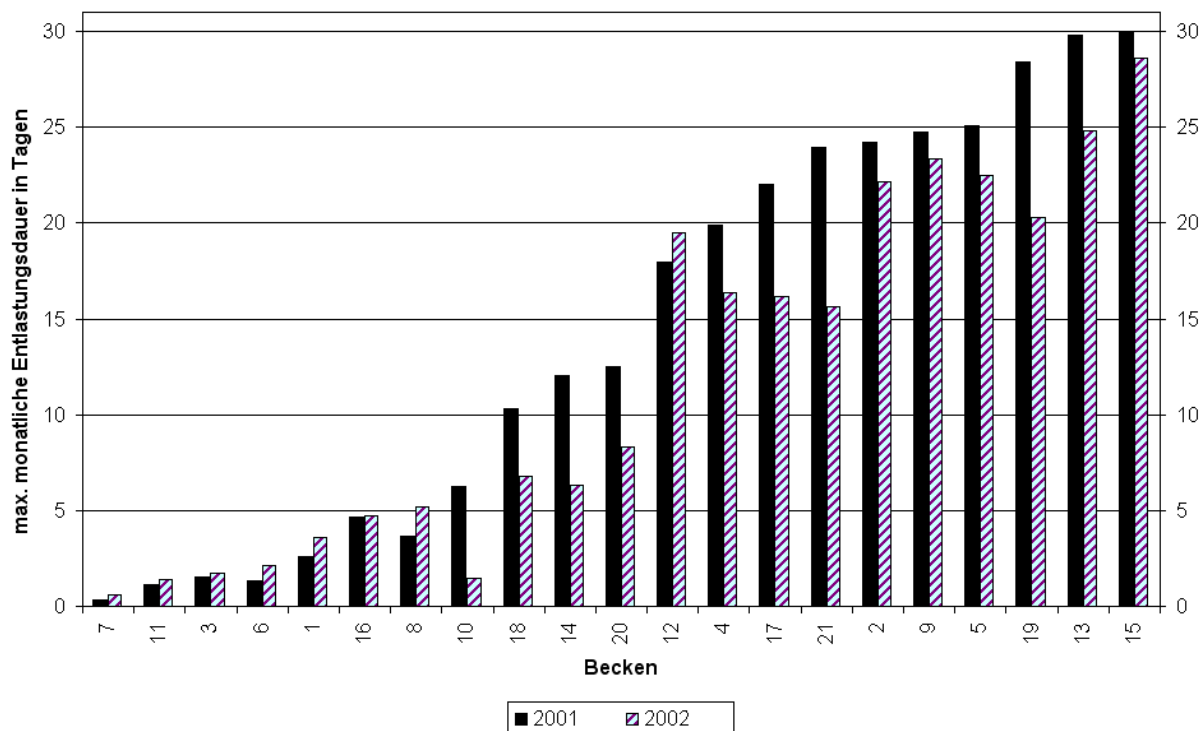


Abbildung 48: Maximale monatliche Entlastungsdauern der 21 Regenüberlaufbecken in den Jahren 2001 und 2002

Die bislang präsentierten Auswertungen legen die Vermutung nahe, dass das gewählte Untersuchungsgebiet im landesweiten Vergleich eines mit extremer Fremdwasserbelastung ist. Erklären sich so die ungewöhnlich langen Überlaufdauern? Sind diese grundsätzlich untypisch für Regenbecken in Baden-Württemberg und lassen sich die aufgezeigten Probleme deshalb nicht großräumig in die Fläche extrapolieren?

Dieser These stehen die monatlichen Fremdwasserzuschläge der Kläranlage am Endpunkt des Entwässerungsnetzes entgegen, wie sie sich nach der Methode des gleitenden Minimums ergeben. Die Ganglinie in Abbildung 49 zeigt den typischen saisonalen Verlauf einer fremdwasserbehafteten Anlage. Die Werte schwanken zwischen etwa 100 % FWZ im Sommerhalbjahr und höher belasteten Winter- und Frühlingmonaten. Zu Spitzenzeiten werden bis zu 342 % Fremdwasserzuschlag erreicht. Dies sind sicherlich „hohe“ Werte. In den vergleichsweise niederschlagsarmen Jahren 1997, 1998 und 2002 übersteigen die Maxima allerdings kaum 200 % FWZ. Der Betreiber der Kläranlage meldet im abgebildeten Zeitraum permanent Jahres-Fremdwasserzuschläge unter dem baden-württembergischen 100 %-Grenzwert und erhält eine Reduzierung der Abwasserabgabe. Nach Abbildung 49 beträgt das langfristige arithmetische Mittel des monatlichen Fremdwasserzuschlages der Kläranlage 157 %.

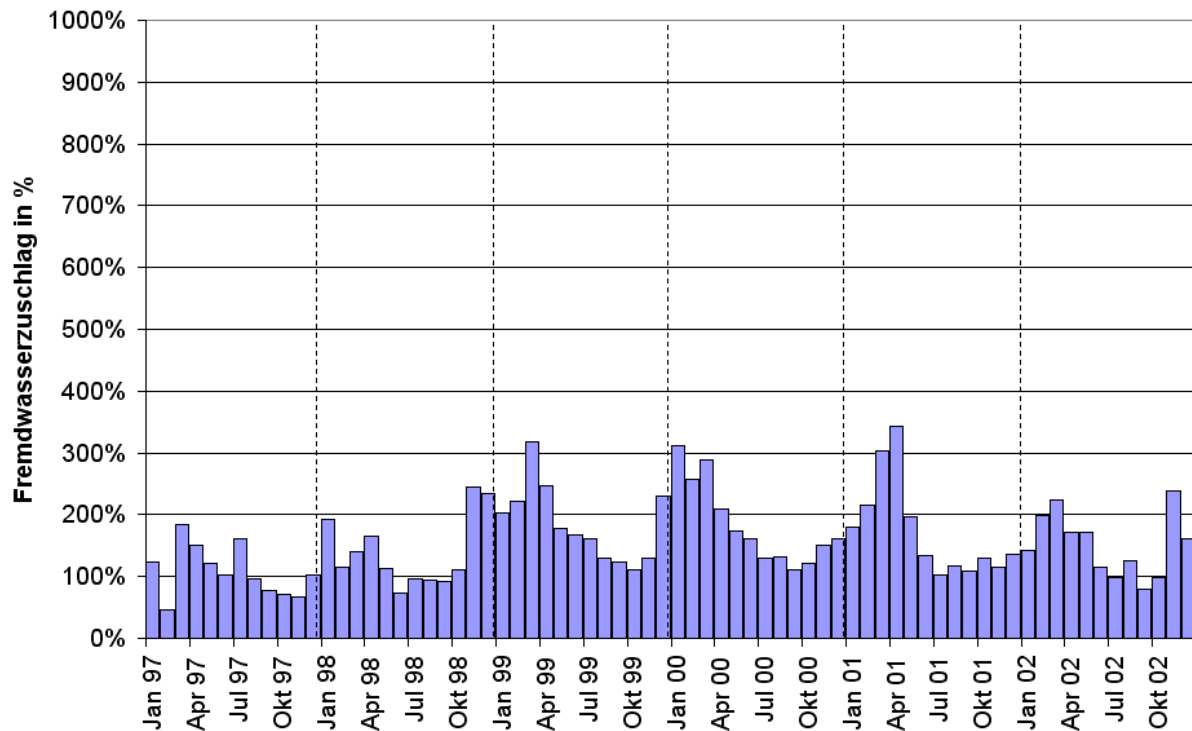


Abbildung 49: Monatliche Fremdwasserzuschläge der Kläranlage am Ende des Entwässerungsnetzes nach der Methode des gleitenden Minimums

Insgesamt fällt die Abwasserreinigungsanlage am Endpunkt des Entwässerungsnetzes der 21 Regenüberlaufbecken im baden-württembergischen Landesvergleich keineswegs wie erwartet durch eine außergewöhnlich hohe Fremdwasserbelastung auf. Abbildung 9 bestätigt, dass die maximalen beziehungsweise mittleren monatlichen Fremdwasserzuschläge jeweils in durchschnittlichen, „normalen“ Bereichen liegen. Demzufolge besteht der begründete Verdacht, dass die aufgezeigte ungünstige Fremdwassersituation keine Ausnahme darstellt und großflächig eine nennenswerte Anzahl weiterer, zumindest ähnlich stark hydraulisch belasteter Entwässerungsnetze existiert.

7.4.3 Regionalisierung der Entlastungsdauern

Durch die Regionalisierung der Entlastungsdauern der ausgewerteten 21 Regenüberlaufbecken soll verifiziert werden, ob sich in Abhängigkeit der Standorte nachweislich quantitative typische Fremdwasserbelastungen einstellen. Lassen sich möglicherweise ähnlich wie für Kläranlagen aus hydrogeologischen Randbedingungen Hinweise ableiten, wo besonders starke Entlastungstätigkeiten zu erwarten sind? Bei den folgenden Untersuchungen stehen vor diesem Hintergrund insbesondere die außerordentlich stark fremdwasserbehafteten Becken im Mittelpunkt des Interesses.

In Abbildung 50 sind die Positionen der 21 Regenbecken mit Dreieck-Symbolen gekennzeichnet. Diejenige der Kläranlage ist mit einem Punkt markiert. Ähnlich wie bei den Darstellungen zur regionalen Verteilung von monatlichen Fremdwasserzuschlägen auf Kläranlagen (z. B. Abbildung 28) deuten die Grautöne der Symbole das Ausmaß der Fremdwasserbelastung an. Längere Entlastungsdauern lassen sich an zunehmend dunkleren Dreiecken erkennen. Die Darstellung illustriert mittlere monatliche Überlaufdauern im gesamten Untersuchungszeitraum 2001–2002, wie sie aus dem Balkendiagramm in Abbildung 47 bekannt sind. Die zweijährigen Mittelwerte der Überlaufdauern stehen stellvertretend für charakteristische, durchschnittliche Fremdwasserbelastungen der 21 RÜB.

Vergleichsweise gering mit Fremdwasser belastete Bauwerke mit monatlichen Entlastungsdauern unter zwei Tagen befinden sich häufig unmittelbar am Hauptvorfluter, in welchen auch der Kläranlagenablauf mündet (RÜB 1, 6, 7, 8, 10, 11). Aus dieser Beobachtung ist allerdings keine allgemeingültige Regel abzuleiten. Die ebenso am Hauptvorfluter positionierten Becken 2, 5 und 15 weisen monatliche Überlaufdauern von mehr als acht Tagen auf. Weitere außergewöhnlich stark mit Fremdwasser belasteten Bauwerke sind mit den RÜB 9, 13 und 19 in großer Entfernung zum Hauptvorfluter angesiedelt. Im nördlichen Bereich des Einzugsgebietes lassen sich die Bauwerke mindestens grob zusammenfassen. Dort weisen die Becken vergleichsweise mittlere bis lange Überlaufdauern zwischen drei und 11 Tagen pro Monat auf.

Nachfolgend wird das Augenmerk insbesondere auf die außergewöhnlich stark fremdwasserbehafteten Regenbecken gerichtet. Als solche werden diejenigen mit mittleren monatlichen Überlaufdauern von 10 Tagen und mehr definiert. Gemäß Abbildung 47 sind das die RÜB 2, 5, 13, 15 und 19. Welche Gründe kommen für die vergleichsweise extrem langen Entlastungszeiten dieser Becken infrage?

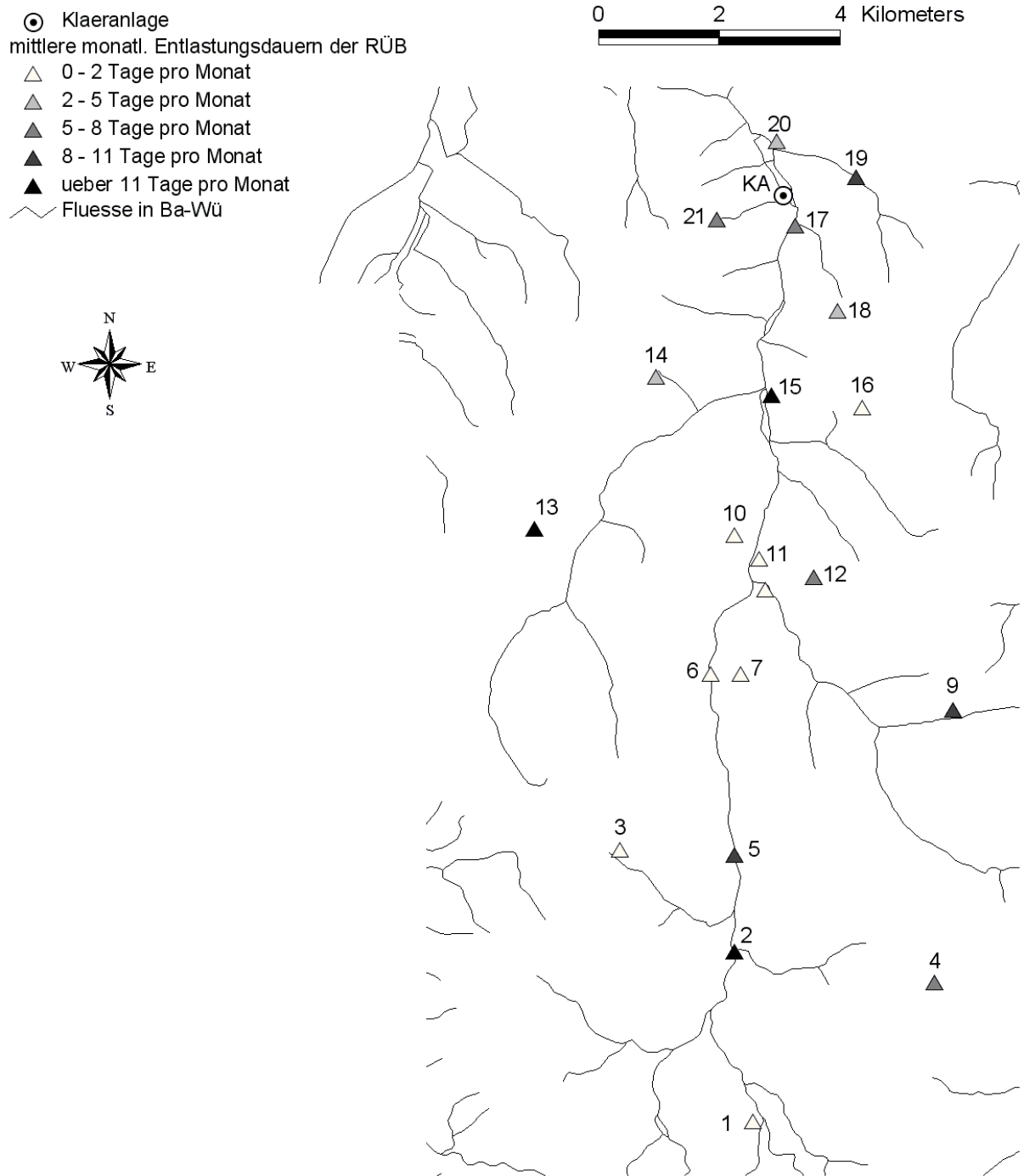


Abbildung 50: Vorfluter und mittlere monatliche Entlastungsdauern der Regenüberlaufbecken im Untersuchungsgebiet, Zeitraum 2001–2002

7.4.3.1 Spezifische Volumina der Regenüberlaufbecken

Eine nahe liegende Ursache für verschiedenartige Entlastungsverhalten der 21 Regenbecken sind stark differierende spezifische Volumina der Bauwerke. Abbildung 51 fasst die entsprechenden Werte grafisch zusammen. Die Skala der spezifischen Volumina im Untersuchungsgebiet reicht von 11 bis 39 m³/ha. An das RÜB 15 sind wie erwähnt keine Flächen zur Entwässerung angeschlossen. Es dient ausschließlich der Drosselung von Abflüssen südlich gelegener Becken in Richtung Kläranlage. Für RÜB 15 lässt sich deshalb kein spezifisches Volumen ermitteln. Gemäß den Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen ATV A 128 (1992) stellt ein spezifisches Gesamtspeichervolumen von 40 m³/ha im Allgemeinen „aus wasserwirtschaftlichen wie aus wirtschaftlichen Gründen“ eine Obergrenze dar. Nach Schmitt (1995) ergibt sich aus den Bemessungsvorgaben des ATV Arbeitsblattes A 128 für Regenüberlaufbecken ein Bereich von 10 bis 25 m³/ha undurchlässiger Fläche. Auch in anderen europäischen Staaten werden ähnliche große spezifische Volumina vorgeschrieben (vgl. Fenz et al., 2001). Insofern entsprechen die vorhandenen Becken grundsätzlich den heutigen Anforderungen an die Dimensionierung von Regenüberlaufbecken.

Die höchstbelasteten Bauwerke 2, 5, 13, 15, und 19 befinden sich mit Ausnahme der Becken 2 und 15 in der Klasse mit spezifischen Volumina über 25 m³/ha. Das RÜB 2 weist mit 20 m³/ha einen leicht geringeren Wert auf, der jedoch etwa mittig in der oben genannten „normalen“ Größenordnung nach ATV A 128 (1992) liegt. Eine hydraulische Überlastung infolge zu geringer Bauwerksdimensionen kann somit ausgeschlossen werden. Die Ausnahmesituation von RÜB 15 als Pufferbecken vor der Kläranlage ohne eigenes Einzugsgebiet wurde bereits erläutert.

Insgesamt ergibt die räumliche Verteilung der spezifischen Volumina wenig Hinweise, warum einige Becken signifikant länger als andere entlasten. Die 21 Bauwerke entsprechen im Hinblick auf die Bemessung von Regentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen den allgemein anerkannten Regeln der Technik. Die ausgeprägten Differenzen zwischen den monatlichen Überlaufdauern im Einzugsgebiet werden offenbar durch andere Faktoren hervorgerufen.

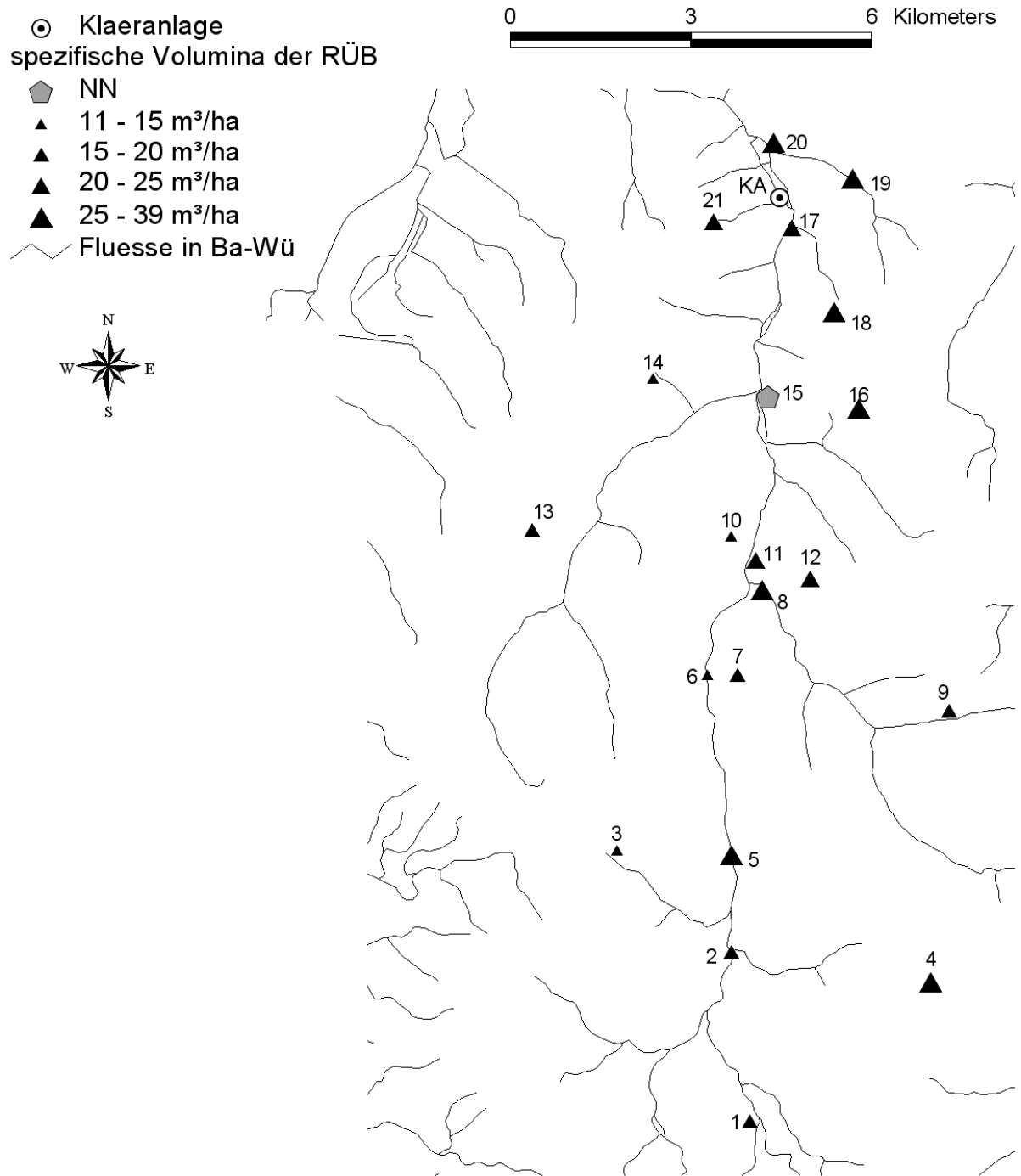


Abbildung 51: Vorfluter und spezifische Volumina der Regenüberlaufbecken im Untersuchungsgebiet

7.4.3.2 Spezifische Drosselabflüsse der Regenüberlaufbecken

Als eine weitere potentielle Ursache für das unterschiedliche Entlastungsverhalten der 21 Regenüberlaufbecken kommen stark unterschiedliche Drosselabflüsse in Frage. Geringe Drosselleistungen führen bei RÜB grundsätzlich schneller zu Einstau- und Überlaufereignissen. Außerdem halten diese länger an, weil die Entleerungsphasen mehr Zeit beanspruchen und neuerliche Zuflüsse häufiger auf teilgefüllte Becken treffen. Bei der Beurteilung, ob ein Drosselabfluss hoch oder niedrig ist, sollte berücksichtigt werden, ob oberhalb gelegene Becken vorhanden sind. Diese können grundsätzlich lang anhaltende hydraulische Belastungen für nachfolgend im Fließschema angeordnete Bauwerke hervorrufen.

Absolute Drosselabflüsse sind aufgrund der variierenden Einzugsgebietsgrößen und verschieden hoher Zuflüsse von oberhalb gelegenen Becken wenig aussagekräftig. Deshalb stellt Abbildung 52 spezifische, auf die befestigte Fläche $A_{E,b}$ - entspricht A_{red} nach ATV A 128 (1992) – bezogene Drosselabflüsse dar. Der angegebene Drosselabfluss ist jeweils der maximal mögliche. Er setzt sich aus dem Trockenwetterabfluss und einem Teil des Regenabflusses aus dem unmittelbar zugehörigen Entwässerungsgebiet sowie aller oberhalb liegenden Drosselabflüsse von Regenbecken zusammen. In Fließrichtung steigen die absoluten Drosselabflüsse stetig an, während die auf zunehmend größere Flächen bezogenen spezifischen Werte tendenziell abnehmen.

Für RÜB 15 lässt sich wegen des fehlenden Einzugsgebietes kein entsprechender Wert berechnen. Die verbleibenden vier besonders hochbelasteten Bauwerke fallen weder durch außergewöhnlich hohe, noch durch extrem niedrige Werte auf. Das arithmetische Mittel aller spezifischer Drosselabflüsse - mit Ausnahme von RÜB 15 - beträgt $1,7 \text{ l/(s ha)}$. Der Mittelwert für die außergewöhnlich stark fremdwasserbehafteten Becken 2, 5, 13 und 19 beträgt $1,4 \text{ l/(s ha)}$. Die vier diskreten Einzelwerte zeigen ebenfalls keine ungewöhnlichen Größenordnungen. Das bestätigen auch die spezifischen Drosselabflüsse von sechs Regenüberlaufbecken im Kraichgau, die im Rahmen einer aktuell am Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Karlsruhe durchgeführten Einzugsgebietsanalyse bestimmt wurden. Sie liegen durchweg in ähnlicher Größenordnung.

Zusammenfassend erscheinen die spezifischen Drosselabflüsse der Regenüberlaufbecken nicht geeignet, um die vorhandenen, stark ausgeprägten Unterschiede im Entlastungsverhalten der 21 Bauwerke zu erklären.

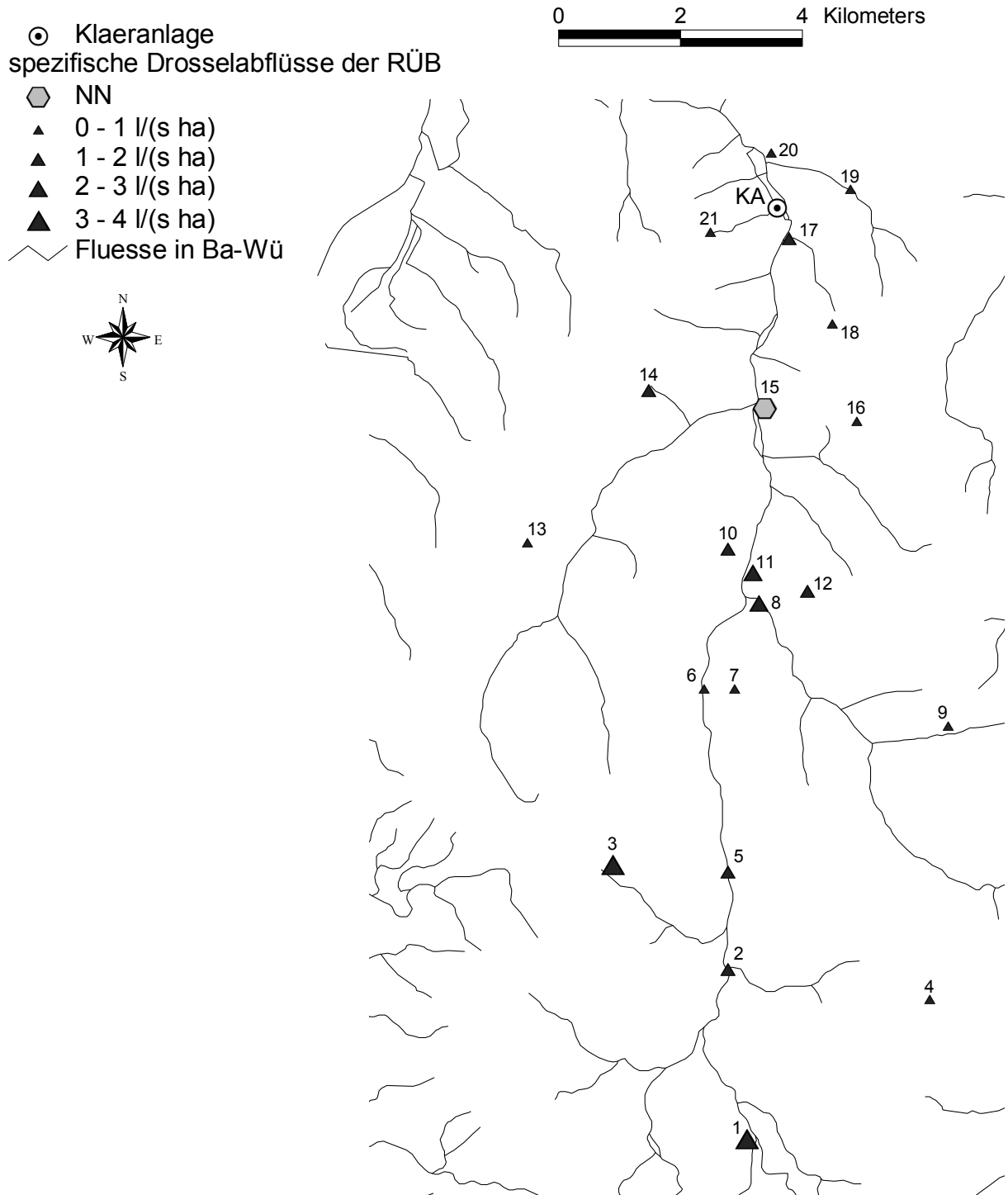


Abbildung 52: Vorfluter und spezifische Drosselabflüsse der Regenüberlaufbecken im Untersuchungsgebiet

7.4.3.3 Hydrogeologische Randbedingungen

Abschließend wird geprüft, ob sich ein Wirkungsgefüge zwischen den stark differierenden Entlastungstätigkeiten einzelner Becken und den hydrogeologischen Rahmenbedingungen aufzeigen lässt. Ähnlich wie es für die Kläranlagendaten gelang (bspw. Abbildung 29 und Abbildung 38) wäre auch auf kleinräumiger Ebene eine signifikante Prägung der Fremdwassersituation durch die Umgebung denkbar. Die Verschneidung der 21 monatlichen Überlaufdauern mit Bodenwasserregimes oder Grundwassereinheiten erscheint allerdings wenig sinnvoll. Beide räumlichen Informationen sind zu makroskalig aufgelöst, um innerhalb eines Einzugsgebietes Unterschiede erkennen zu können. Alternativ wird auf die Empfehlung aus Kapitel 6.4 zurückgegriffen und das Geländeprofil in einem GIS hinterlegt. Da für das Untersuchungsgebiet Daten des Digitalen Höhenmodells DHM 30 vorliegen, werden diese anstelle einer Reliefkarte genutzt. Das Ergebnis der Verschneidung illustriert Abbildung 53. Die Skala der Höhenwerte ist in engen 50 m-Schritten gefasst, so dass lokale Erhebungen im Untersuchungsgebiet markant hervortreten.

Aus den Erkenntnissen der Auswertungen von Kläranlagendaten in Kapitel 6.3.3.4 ergibt sich die These, dass Regenüberlaufbecken in höheren Lagen tendenziell mehr Fremdwasser zufließen müsste. Abbildung 53 kann die These weder stützen noch widerlegen. Ein Zusammenhang zum Geländeprofil lässt sich in keiner Form nachweisen. Die hochbelasteten Becken 2, 5 und 15 befinden sich im eng eingeschnittenen Tal des Hauptvorfluters. Demgegenüber liegt RÜB 19 auf einem verhältnismäßig ebenen Plateau, RÜB 13 einige Hundert Höhenmeter über dem Tal in hügeliger Umgebung.

Die Fremdwasserbelastung einzelner Becken und damit einhergehend die mittlere monatliche Entlastungstätigkeit wird offenkundig von anderen Faktoren entscheidend bestimmt. Ein allgemeingültiger Zusammenhang zu hydrogeologischen Rahmenbedingungen im Einzugsgebiet lässt sich im Unterschied zu den in Kapitel 6 durchgeführten Kläranlagenanalysen innerhalb des Entwässerungsnetzes nicht nachweisen.

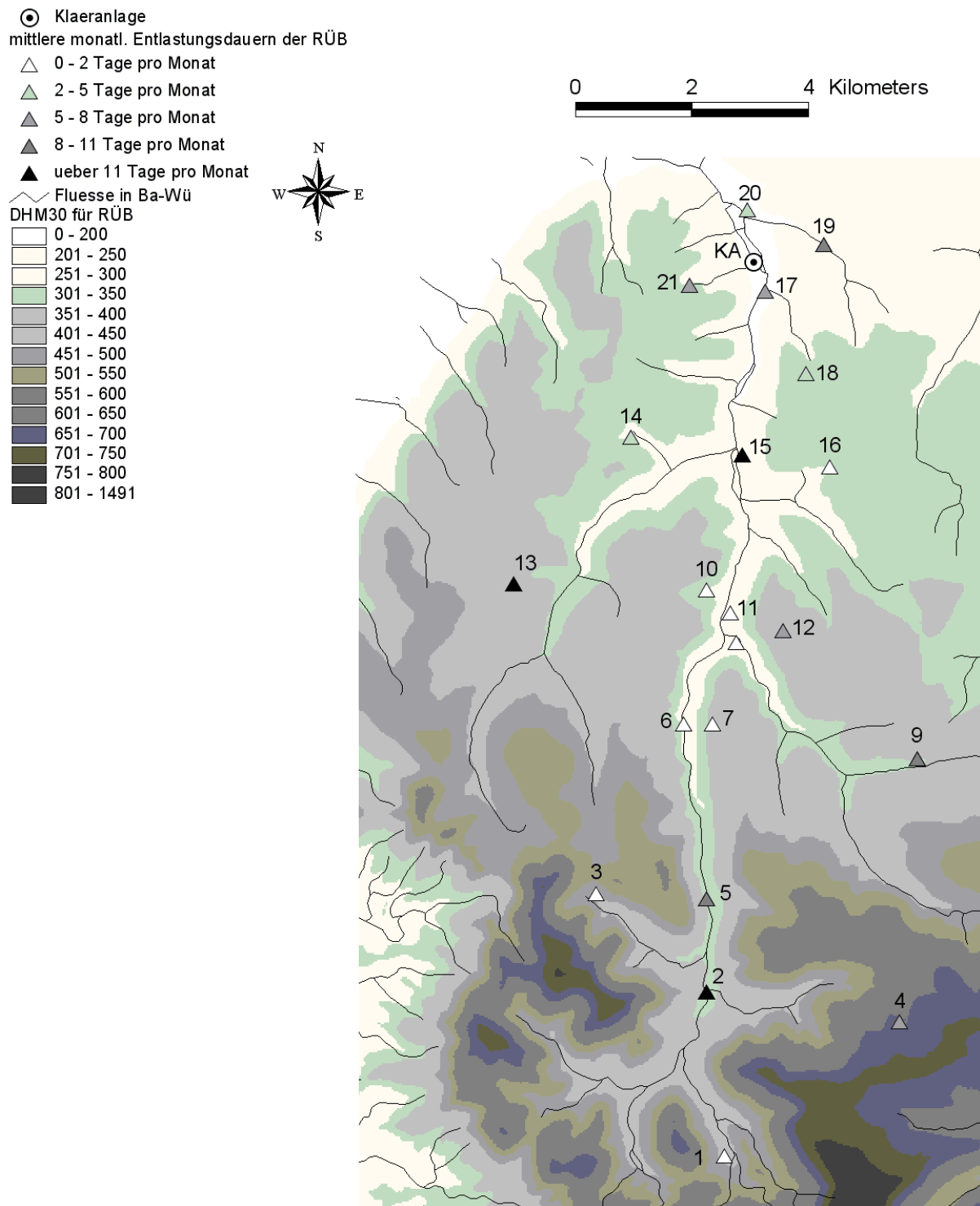


Abbildung 53: Digitales Höhenmodell DHM 30, Vorfluter und mittlere monatliche Entlastungsdauern der Regenüberlaufbecken (2001 – 2002) im Untersuchungsgebiet

7.4.3.4 Kleinräumige Ursachen

Die Suche nach Ursachen für die ausgeprägten Unterschiede bezüglich der Entlastungstätigkeiten von 21 Regenüberlaufbecken im Einzugsgebiet blieb bislang erfolglos. Deshalb werden nachfolgend die einzelnen Bauwerke näher betrachtet. Möglicherweise lassen sich in unmittelbarer Umgebung der Standorte Begründungen für die unterschiedlichen Überlaufdauern finden.

Ein Gespräch mit dem Betreiber des Entwässerungsnetzes führte im Hinblick auf die diagnostizierten Überlaufverhalten zu aufschlussreichen Auskünften:

- Im Einzugsbereich des stark fremdwasserbehafteten RÜB 2 infiltrieren bei hohen Grundwasserständen regelmäßig nennenswerte Fremdwasserströme in die sanierungsbedürftige Kanalisation. Entlang des Hauptvorfluters stellen sich häufig Grundwasserpegel ein, die entsprechende Infiltrationen hervorrufen. Sobald sich das Becken 2 teilweise füllt, wird der maximale Drosselabfluss an RÜB 5 weitergegeben. Die lang anhaltende Beschickung führt dort ebenfalls zu vermehrter Entlastungstätigkeit.
- In der Umgebung von RÜB 13 befinden sich ergiebige, zutage tretende Quellen. Nach Regenereignissen laufen diese teilweise bis zu 14 Tagen nach und verursachen so außerordentlich lange Überlaufdauern.
- RÜB 15 „sammelt“ die Drosselabflüsse der südlich gelegenen Becken 1 bis 14. Es wurde ausschließlich zur Absenkung des Kläranlagenzuflusses auf $2 Q_S + Q_F$ erbaut. An das Becken selbst sind keine nennenswerten Flächen zur Entwässerung angeschlossen. Die hydraulische Überlastung an RÜB 15 resultiert hauptsächlich aus (zu) lang anhaltenden Zuflüssen der großvolumigen Becken 5, 13 und 14 (vgl. Abbildung 44 und Abbildung 50).
- An das stark fremdwasserbehaftete RÜB 19 im Norden des Einzugsgebietes sind nach Auskunft des Netzbetreibers Außengebiete angeschlossen, die den Zufluss zum Becken zeitweise sehr stark erhöhen.

Insgesamt führte das Gespräch mit dem Betreiber des Entwässerungsnetzes zu plausiblen Erklärungen für die außergewöhnlich langen Überlaufdauern der höchstbelasteten Regenüberlaufbecken im Einzugsgebiet. Demnach sind lokale, kleinräumige Faktoren wie Fehlan schlüsse, starke Infiltrationen aus dem Grundwasser, lokal angeschlossene Quellen oder starke Zuflüsse von Außengebieten für den Charakter und die Dauer der Entlastungstätigkeiten hauptverantwortlich.

7.5 Folgen für Abflussmodelle und -simulationen

Die starken Schwankungen beim Fremdwasseranfall innerhalb eines zusammenhängenden Entwässerungsnetzes haben über die bereits genannten Punkte hinaus Konsequenzen für den Einsatz von Kanalnetz-Simulationsprogrammen. Software zur Modellierung von Abflüssen erfreut sich einer ständig wachsenden Beliebtheit (Schmitt, 2003). Sie wird heute vielerorts in der Siedlungswasserwirtschaft eingesetzt.

Häufig besteht das Ziel von Simulationsrechnungen in der Abschätzung von Emissionen in Gewässer. Nach Beichert und Hahn (1996) besteht eine grundlegende Forderung bei Emissionsermittlungen darin, das Abflussgeschehen möglichst realistisch zu simulieren. Zur mathematischen Nachbildung von Abflussvorgängen in Kanalsystemen sind unter anderem Angaben über lokale Fremdwasserströme erforderlich. Weil meist keine selbst erhobenen Messwerte vorliegen, wird in der Regel auf Pauschalwerte zurückgegriffen. Nach dem ATV-Arbeitsblatt A 118 (1999) erscheint beispielsweise für Neuplanungen bei Trockenwetterbedingungen eine Fremdwasser-spende von $q_f = 0,05 - 0,15 \text{ l/(s} \cdot \text{ha)}$ ausreichend (vgl. Tabelle 3). Eine solche angenommene Spende gilt in der Regel konstant für ein gesamtes Einzugsgebiet und dient in der Praxis teilweise unmittelbar als „Input“ für anschließende, aufwändige Berechnungen.

Nach den vorliegenden Erkenntnissen können die tatsächlichen Fremdwasserabflüsse in siedlungswasserwirtschaftlichen Anlagen in ihren Größenordnungen erheblich von gewählten Pauschalwerten - unabhängig von deren Wert - abweichen. Die saisonalen Schwankungen innerhalb eines Jahres sind meist sehr ausgeprägt, so dass in fremdwasserbehafteten Netzen insbesondere im Winterhalbjahr mit deutlich höheren Abflussspenden zu rechnen ist.

Die Qualität der Eingabewerte bestimmt grundsätzlich die erzielbare Genauigkeit von Berechnungsmodellen. Insofern sollte jeder EDV-Simulation eines siedlungswasserwirtschaftlichen Bauwerkes eine möglichst realitätsnahe Ermittlung der vorliegenden Fremdwasserbelastung vorangehen. Neuere Richtlinien wie das ATV-DVWK Arbeitsblatt zur Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen A 198 (2003) weisen in diesem Sinne folgerichtig auf mögliche Schwankungen des Fremdwasserabflusses durch den Jahresgang hin. Dort wird empfohlen, gegebenenfalls maximale monatliche Fremdwasserabflüsse zu ermitteln, wie sie in der vorliegenden Arbeit unter anderem präsentiert werden.

Prinzipiell ist es anzuraten, tatsächliche Fremdwasserabflüsse an geeigneten Standorten zu messen und in Jahresganglinien zu übertragen. Aus diesen lassen sich anschließend vertrauenswürdige Eingabeparameter für Modellrechnungen gewinnen.

7.6 Ergebnisse und Konsequenzen

Fremdwasser in Kanalnetzen lässt sich nicht unmittelbar messen. Aus Kläranlagenzuflüssen erstellte Ganglinien von Fremdwasserzuschlägen erlauben in Trennsystemen Aussagen über die sich insgesamt im Netz befindliche Fremdwassermenge. Ob diese Gesamtmenge allerdings gleichmäßig verteilt anfällt oder lokal stark unterschiedliche Fremdwasserspendsen vorliegen, kann aus den Kläranlagendaten nicht ersehen werden.

Im Mischsystem erlauben Auswertungen von Kläranlagenzuflüssen bei ausgeprägter Fremdwasserbelastung lediglich Vermutungen über die hydraulischen Zustände im Netz. Die Interpretation und Extrapolation von an Endpunkten des Netzes gewonnenen Daten wird besonders erschwert, wenn regional ausgeprägte Differenzen bezüglich der Fremdwasserspendsen im Einzugsgebiet vorliegen. Lokale Schwerpunkte mit besonders stark belasteten Kanalabschnitten vermischen sich auf dem Weg zur Abwasserreinigungsanlage mit Zuflüssen aus weniger fremdwasserbehafteten Zonen. Bereichsweise vorhandene Fremdwasserprobleme lassen sich an Abflussganglinien von Kläranlagen nicht zwingend erkennen.

Rückschlüsse auf hydraulische Situationen vor eingestauten Drosseln sind prinzipiell nicht möglich. Vor diesem Hintergrund liefern Messungen an ausgewählten Einzelbauwerken nur punktuelle Einblicke in das Fremdwassergeschehen eines Entwässerungsnetzes. An einem Standort erhobene Messwerte und daraus resultierende Eindrücke dürfen nicht arglos auf angrenzende Bereiche des Einzugsgebietes übertragen werden. Zur Abbildung der gesamten Fremdwassersituation eines Kanalnetzes sind langfristige Messungen an verschiedenen, ausgewählten Orten erforderlich.

Wegen des verbreiteten Mangels an geeigneten Messwerten lässt sich derzeit weder für Baden-Württemberg noch für Deutschland eine flächendeckende Analyse „Fremdwasser in Kanalnetzen“ erstellen. Anstelle einer solchen großräumigen Auswertung wurde die hydraulische Situation in Kanalnetzen exemplarisch anhand eines zusammenhängenden, mischentwässerten Einzugsgebietes in Baden-Württemberg untersucht. Die Fremdwasserbelastung konnte durch die monatlichen Überlaufdauern der vorhandenen Regenüberlaufbecken abgebildet werden. Da die klimatischen und hydrogeologischen Randbedingungen innerhalb des Untersuchungsgebietes nahezu konstant und die zugrunde liegenden Bemessungsvorschriften vergleichbar

sind, sollten die Becken im Untersuchungsgebiet grob vergleichbare Einstau- und Entlastungsverhalten aufweisen. Diese Erwartung hat sich nicht erfüllt. Die wichtigsten Untersuchungsergebnisse und daraus abgeleitete Konsequenzen sind im Folgenden kompakt zusammengefasst.

- Die Entlastungstätigkeit der 21 untersuchten RÜB im Entwässerungsnetz ist insgesamt sehr unterschiedlich. Im Untersuchungszeitraum 2001-2002 schlagen die Bauwerke durchschnittlich Mischwasser zwischen wenigen Stunden und etwa 15 Tagen pro Monat ab. Dabei folgen die monatlichen Überlaufdauern innerhalb eines Jahres dem von Kläranlagen bekannten, typischen saisonalen Fremdwasserverlauf mit Höchstwerten im Winterhalbjahr und geringen Abflüssen im Sommer. Als Basis für Auswertungen und Interpretationen zur Entlastungsaktivität von Regenbecken sollten deshalb nicht nur Jahreswerte, sondern stets auch kürzere Zeiträume wie beispielsweise Monatsmittel zugrunde gelegt werden.
- Ein starker Fremdwasserandrang führt häufig zu lang anhaltenden Mischwassereinleitungen in Gewässer. Bei 10 von 21 untersuchten RÜB übersteigt die Überlaufdauer zwischen Januar 2001 und Dezember 2002 in mindestens einem Monat 15 Tage. Diese Becken schlagen zeitweise nahezu kontinuierlich nur mechanisch gereinigtes Mischwasser in die Vorfluter ab. Die hydraulische und stoffliche (frachtbezogene) Belastung kann speziell für sensible Vorfluter signifikant sein, wirkt sich aber auch auf weitergehende Behandlungsmaßnahmen - beispielsweise mit Retentionsbodenfiltern - sehr nachteilig aus.
- Die jährlichen Schwankungen bei einzelnen Becken sind gering ausgeprägt. Die monatlichen Entlastungsdauern des Jahres 2001 entsprechen für alle 21 Bauwerke nahezu exakt denjenigen aus 2002. Die Einstufung in ein aus der Fachliteratur entnommenes Ranking für typische Überlaufdauern führt zum Ergebnis, dass 13 von 21 RÜB „sehr lange“ Mischwasser abschlagen.
- Eine durchschnittliche, für das gesamte untersuchte Einzugsgebiet charakteristische Überlaufdauer lässt sich aufgrund der starken Differenzen zwischen den einzelnen Becken nicht bestimmen.
- Die monatlichen Fremdwasserzuschläge der zugehörigen Kläranlage deuten im Landesdurchschnitt lediglich auf eine vergleichsweise „mittlere“ Belastung hin. Es ist anzunehmen, dass die aufgezeigte ungünstige Fremdwassersituation keine Ausnahme darstellt und großräumig eine nennenswerte Anzahl weiterer, zumindest ähnlich stark hydraulisch belasteter Entwässerungsnetze existiert.

- Der Versuch einer Regionalisierung der verschiedenen stark fremdwasserbelasteten Becken innerhalb des Entwässerungsnetzes gelingt nicht. GIS-Verschneidungen belegen, dass die lokal unterschiedlichen monatlichen Überlaufdauern weder mit abweichenden spezifischen Volumina, noch mit den spezifischen Drosselabflüssen nachvollziehbar zu begründen sind. Das Geländeprofil (Reliefkarte und digitales Höhenmodell) und die daraus resultierenden Abflussvorgänge liefern im Unterschied zur Auswertung von Kläranlagendaten keine brauchbaren Hinweise, an welchem Becken „viel“ Fremdwasser zu erwarten ist.
- Die individuelle Entlastungsaktivität der Regenbecken im untersuchten Einzugsgebiet wird maßgebend von lokal wirksamen Faktoren, beispielsweise angeschlossenen Quellen oder Drainagen, Außengebieten oder tief liegenden Abschnitten der Kanalisation in Verbindung mit hohen Grundwasserständen, bestimmt. Eine Vorhersage von potentiell hoch belasteten Kanalabschnitten innerhalb des Einzugsgebietes ist mit dem Instrument der GIS-Verschneidung nicht möglich. Zur Identifikation einzelner Belastungsschwerpunkte sind grundsätzlich Messkampagnen „vor Ort“ erforderlich.
- Um Emissionen im Rahmen von Kanalnetzmodellierungen mit Simulationsrechnungen zuverlässig zu bestimmen, muss das Abflussgeschehen möglichst realistisch nachgebildet werden. Die präsentierten Ergebnisse des untersuchten Einzugsgebietes zeigen, dass Pauschalwerte für Fremdwasserspendsen vor diesem Hintergrund meist wenig geeignet sind. Vor aufwändigen Simulationsrechnungen sollten grundsätzlich an ausgewählten Standorten aus tatsächlich gemessenen Abflusswerten Ganglinien der Fremdwasserbelastung erstellt werden. Daraus lassen sich anschließend realitätsnahe Eingabeparameter für mathematische Modellierungen ableiten.

8 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden im Anschluss an eine grundsätzliche Einführung zum Thema Fremdwasser mit einer aktuellen Begriffsdefinition die Bedeutung sowie die potentiellen Auswirkungen unerwünschter Abflüsse in siedlungswasserwirtschaftlichen Anlagen dargestellt. Der Vergleich heute verfügbarer Methoden zur Ermittlung von Fremdwasser führte zur Erkenntnis, dass insbesondere das Verfahren des gleitenden Minimums geeignet erscheint, um Fremdwasseranalysen durchzuführen. Das entscheidende Argument für die Methode ist die Möglichkeit, saisonale Schwankungen im Jahrgang lückenlos darzustellen. Darüber hinaus lässt sich das Verfahren unter geringem Aufwand mit Daten aus in Deutschland flächendeckend vorhandenen Kläranlagen-Betriebstagebüchern anwenden.

Zunächst wurde der Frage nachgegangen, wie vielen Kläranlagen „zu viel“ Fremdwasser zufließt. In diesem Zusammenhang wurden umfangreiche statistische Daten aus Baden-Württemberg ausgewertet. Nach den etablierten Ermittlungsverfahren wiesen 1998 etwa 13 % aller Abwasserreinigungsanlagen im Jahresmittel mehr als 100 % Fremdwasserzuschlag auf. Das kommt nach den geltenden Landesvorschriften einer unzulässigen Verdünnung und Vermischung gleich. Die betroffenen Anlagenbetreiber verlieren ihren Anspruch auf eine Reduzierung der Abwasserabgabe.

In Ermangelung eines rechtswirksamen Grenzwertes für „noch zulässige“ Fremdwasserabflüsse wurde die verwaltungstechnische Marke von 100 % Fremdwasserzuschlag als quantitatives Bewertungskriterium benutzt. Aus den Auswertungen der statistischen Daten ergab sich vor diesem Hintergrund die These, dass 87 % aller Abwasserreinigungsanlagen in Baden-Württemberg nicht „zu viel“ Fremdwasser zufließen würde. Diese Vermutung wurde nachhaltig widerlegt, indem 128 ausgewählte Kläranlagen mit dem Verfahren des gleitenden Minimums ausgewertet wurden. Danach weisen im langfristigen Mittel durchschnittlich 56 % der untersuchten Anlagen mehr als 100 % Fremdwasserzuschlag pro Jahr auf. Die zeitliche Verteilung der monatlichen Fremdwasserzuschläge belegt, dass den Kläranlagen statistisch in jedem zweiten Monat „zu viel“ zufließt.

Werden anstelle von *mittleren jährlichen* kürzere Zeiteinheiten betrachtet die eine Analyse von jahreszeitlichen Schwankungen zulassen, erscheint die Fremdwasserproblematik in zunehmend ungünstigerem Licht. Alle untersuchten Kläranlagen zeigen deutlich ausgeprägte Schwankungen mit vergleichsweise geringen monatlichen -zuschlägen im Sommer und höheren Werten während der Wintermonate. Insbesondere im Frühling treten verbreitet Spitzenwerte von mehreren 100 % auf. Die Ausprägung der jahreszeitlichen Schwankungen legt die Empfehlung nahe, bei Fremd-

wasseranalysen ergänzend zu jährlichen Mittelwerten grundsätzlich auf monatliche -zuschläge zurückzugreifen, um die tatsächlichen hydraulischen Situationen mit Ganglinien lückenlos und realitätsnah wiederzugeben.

Die Fremdwassersituation baden-württembergischer Kläranlagen wird durch die gemeldeten Jahreswerte nur unvollständig und tendenziell zu positiv dargestellt. Eine realitätsnähere Abschätzung der tatsächlichen Verhältnisse verspricht die Auswertung von Kläranlagen mit dem Verfahren des gleitenden Minimums. Die flächendeckend vorliegenden gemeldeten Jahres-Fremdwasserzuschläge können jedoch nicht in zu erwartende mittlere oder maximale Monatsfremdwassermengen, wie sie sich nach dem Verfahren des gleitenden Minimums ergeben, transformiert werden.

Auf der Suche nach den maßgebenden Ursachen für „viel“ Fremdwasser führte die Analyse nach Größenklassen zur Beobachtung, dass sehr große Kläranlagen über 100.000 EW keine extrem hohen Fremdwasserzuschläge von mehreren 100 % aufweisen. Darüber hinaus konnten keine Zusammenhänge zwischen der Größenklasse und der typischen monatlichen Fremdwassermenge einer Kläranlage aufgedeckt werden.

Es ließen sich keine Korrelationen zwischen der Fremdwassermenge einer Kläranlage und der Kanalnetzlänge eines Entwässerungsnetzes beziehungsweise der spezifischen Einwohnerdichte herstellen. Dagegen wirkt sich die Art des Kanalnetzes im Einzugsgebiet erwiesenermaßen auf die Fremdwassermenge im Zulauf einer Kläranlage aus. Der positive Einfluss von zunehmend trennkanalesierten Einzugsgebieten fällt allerdings quantitativ deutlich geringer aus, als es theoretisch zu erwarten wäre. Sowohl in Misch- wie auch in Trennsystemen sind grundsätzlich, zumindest für einzelne Monate, Funktionseinschränkungen oder zeitweise -ausfälle einzelner Bauwerke infolge Fremdwasser nicht mit Sicherheit auszuschließen.

Die nahe liegenden, kleinräumigen Ursachen führten auf der Suche nach Begründungen für „hohe“ Fremdwasserabflüsse in Entwässerungsnetzen zu keinen befriedigenden Resultaten. Deshalb wurde anschließend eine grobskaligere Sicht auf die Fremdwassersituation Baden-Württembergs eingenommen. Die maximalen monatlichen Fremdwasserzuschläge von Kläranlagen wurden mit verschiedenen Karten zur Abbildung der hydrogeologischen Randbedingungen in einem Geographischen Informationssystem GIS verschnitten. Dabei fanden sich eindeutige Belege, dass die Größenordnung der Fremdwasserbelastung einer Kläranlage maßgebend von den vorherrschenden Abflussvorgängen im Einzugsgebiet bestimmt wird. Verschiedene GIS-Verschneidungen verdeutlichen, dass Regionen mit typischerweise „hohen“ beziehungsweise „niedrigen“ -zuschlägen existieren. Die Grenzen orientieren sich stark

an den aus der Geologie bekannten „Naturräumen“, welche sich hauptsächlich in der Gesamtheit ihrer hydrogeologischen Eigenschaften unterscheiden.

Einzelne Einflussfaktoren aus der Gesamtheit der hydrogeologischen Eigenschaften eines Naturraumes wie beispielsweise hohe Grundwasserstände können sich lokal und/oder zeitlich begrenzt signifikant auf Fremdwasserabflüsse auswirken. Bei großräumiger und langfristiger Betrachtung sind sie in der Regel von untergeordneter Bedeutung. GIS-Verschneidungen mit der Geländestruktur über Reliefkarten und digitale Höhenmodelle führen zu brauchbaren Hinweisen, ob in einem Gebiet grundsätzlich mehr oder weniger Fremdwasser zu erwarten ist. Mit zunehmend unruhigerem Gelände treten tendenziell höhere Fremdwasserzuschläge auf.

Insgesamt erscheinen Naturräume und insbesondere Grundwassereinheiten sehr gut geeignet, um regionale Belastungsschwerpunkte im Rahmen großräumiger Fremdwasseranalysen zu lokalisieren. Die Regionalisierung stellt ein taugliches Instrument dar, um tendenziell in einem Naturraum zu erwartende Fremdwasserzuflüsse vorherzusagen. In stark fremdwasserbehafteten Regionen, beispielsweise bei unruhigem Relief und hohen Anteilen von Hangzugwasser beziehungsweise Oberflächenabfluss, sollten Sanierungskonzepte die dort maßgebenden Ursachen unbedingt berücksichtigen. Konkrete Prognosen der hydraulischen Belastung *einzelner* Anlagen innerhalb von Naturräumen sind mit dem Instrument der Regionalisierung nicht zuverlässig möglich. Vor diesem Hintergrund sollten für Fremdwasseranalysen von Einzelbauwerken grundsätzlich Ganglinien - möglichst über mehrere Jahre - erstellt und ausgewertet werden.

Weil eine Kläranlage immer den Endpunkt eines Kanalsystems markiert, wurde geprüft, in wie weit die Ergebnisse dortiger Fremdwasseruntersuchungen repräsentativ für gesamte Einzugsgebiete sein können. Die Konsequenzen von „zu viel“ Fremdwasser in Entwässerungsnetzen sind aus Sicht der Gewässer häufig sehr problematisch. Aufgrund der zu geringen Datendichte für flächendeckende Auswertungen erfolgte eine ausführliche Fremdwasseranalyse anhand eines ausgewählten Entwässerungsnetzes. Dort konnte die Entlastungstätigkeit von sämtlichen Regenüberlaufbecken im Einzugsgebiet über zwei Jahre untersucht werden. Die Entlastungstätigkeit der Bauwerke dient dabei als Indikator für die am Standort vorliegende Fremdwasserbelastung.

Die Überlaufdauern der Regenbecken unterscheiden sich sehr stark. Sie liegen im Untersuchungszeitraum 2001-2002 zwischen wenigen Stunden und etwa 15 Tagen pro Monat. Ähnlich wie für Kläranlagen stellt sich ein typischer saisonaler Verlauf mit Höchstwerten im Winterhalbjahr und geringen Abflüssen im Sommer ein. Zahlreiche Becken schlagen über Monate hinweg nahezu kontinuierlich nur mechanisch gerei-

nigtes Mischwasser in die Vorfluter ab. Die Einstufung in ein aus der Fachliteratur entnommenes Ranking für typische Entlastungsdauern führte zum Ergebnis, dass 13 von 21 RÜB „sehr lange“ Entlastungsdauern aufweisen.

Das untersuchte Einzugsgebiet erscheint aufgrund der monatlichen Entlastungsdauern der Regenüberlaufbecken außergewöhnlich stark mit Fremdwasser behaftet. Die Ganglinie der Fremdwasserzuschläge der zugehörigen Kläranlage deutet im Landesdurchschnitt allerdings lediglich auf eine vergleichsweise „mittlere“ Belastung hin. Insofern ist zu erwarten, dass großräumig eine nennenswerte Anzahl weiterer, zumindest ähnlich stark hydraulisch belasteter Entwässerungsnetze existiert. Dies erscheint wasserwirtschaftlich besonders kritisch, weil die Gesamtemissionen aus der Misch- und Regenwasserbehandlung im Vergleich zu kommunalen Kläranlagen zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Im Gegensatz zu den Auswertungen von Kläranlagendaten führt eine Regionalisierung der monatlichen Entlastungsdauern der Regenbecken innerhalb des untersuchten Einzugsgebietes zu keinem positiven Ergebnis. Die räumliche Verteilung hoch beziehungsweise niedrig mit Fremdwasser belasteter Bauwerke ergibt keinerlei Hinweise auf wirksame Beeinflussungen durch hydrogeologische oder andere Umgebungsbedingungen. Die Entlastungsaktivität der Regenbecken wird statt dessen maßgebend von lokal wirksamen Faktoren wie angeschlossenen Quellen oder Drainagen, Fehlan schlüssen oder tief liegenden Abschnitten der Kanalisation in Verbindung mit hohen Grundwasserständen bestimmt. Eine Vorhersage von potentiell hochbelasteten Kanalabschnitten innerhalb des Einzugsgebietes ist mit dem Instrument der Regionalisierung nicht möglich. Für deren Lokalisierung sind Messkampagnen „vor Ort“ an ausgewählten, diskreten Stellen im untersuchten Kanalnetz meist unerlässlich.

Auswertungen und Analysen von Fremdwasserbelastungen in der Siedlungswasserwirtschaft sollten nach den präsentierten Resultaten grundsätzlich anstelle von mittleren Jahreswerten auf monatliche Belastungswerte zurückgreifen und den jahreszeitlichen Verlauf berücksichtigen. Diese Empfehlung gilt unabhängig davon, ob die hydraulische Situation einer Kläranlage oder die Entlastungsaktivität eines Regenbeckens interpretiert wird. Insbesondere im Hinblick auf Modellrechnungen zur Abschätzung von Emissionen aus Kanalsystemen sollten die tatsächlichen Fremdwasserabflüsse in realistischer Größenordnung vorliegen und entsprechend sorgfältig ermittelt werden.

Die hydraulischen und stofflichen Belastungen der Gewässer infolge erhöhter Fremdwasserabflüsse in der Siedlungswasserwirtschaft können nach den vorliegenden Auswertungen erheblich sein. Bei großräumiger Betrachtung findet sich eine ho-

he Anzahl stark fremdwasserbehafteter Entwässerungsnetze. Die EU-Wasser-rahmenrichtlinie verpflichtet die Mitgliedsstaaten, flächendeckend einen „guten Zustand“ der Gewässer zu erreichen. Vor diesem Hintergrund werden dringend geeignete Strategien und Konzepte zur Verminderung von Fremdwasserabflüssen benötigt. Aus den präsentierten Ergebnissen lassen sich die folgenden Empfehlungen für den künftigen Umgang mit Fremdwasser ableiten:

- Geeignete Bestimmungsmethoden zur realitätsnahen Darstellung der tatsächlichen Fremdwassersituation verwenden, z.B. das Verfahren des gleitenden Minimums für Kläranlagen-Auswertungen
- Ergänzend zu stark aggregierenden Jahresmittelwerten zusätzlich monatliche Fremdwasserbelastungen bestimmen
- Auswertung von langfristigen Ganglinien des monatlichen Fremdwasserzuschlages
- Berücksichtigung der hydrogeologischen Umgebungsbedingungen und der daraus resultierenden Abflussvorgänge bei
 - Prognosen der in einer Region grundsätzlich zu erwartenden Größenordnung von Fremdwasserabflüssen
 - der Erarbeitung von Fremdwasser-Sanierungskonzepten
- Intensivierung der meßtechnischen Überwachung von Bauwerken zur Misch- und Regenwasserbehandlung zwecks realitätsnaher Abschätzung der Abflüsse und Entlastungstätigkeiten innerhalb von Entwässerungsnetzen
- Kritisches Hinterfragen von pauschal angesetzten Fremdwasserspendsen in Planungsgebieten, insbesondere für Modellrechnungen. Zuverlässige Ermittlung von Fremdwasserbelastungen an ausgewählten Punkten innerhalb von Entwässerungsnetzen in der Regel ausschließlich durch geeignete Messungen „vor Ort“ möglich

Literaturverzeichnis

- Abwasserabgabengesetz (2001): Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer, vom 03.11.1994 (BGBl. I S. 3370), zuletzt geändert am 09.09.2001 (BGBl. I S. 2334)
- Abwasserverordnung (2002): Verordnungen über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer und zur Anpassung der Anlage des Abwasserabgabengesetzes vom 25.03.1997, Bundesgesetzblatt 1997, Teil I, No. 19, neugefasst durch Bek. vom 15.10.2002 I 4047, 4550
- ADI (2001): ADI private Informatik-Akademie GmbH, Umweltberatungssystem der-guene-faden.de, Stichwort: Abwasserabgabe, <http://www.der-gruene-faden.de/text/text16.html>
- ATV A 118 (1999): Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen. Arbeitsblatt A 118, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V., Hennef
- ATV A 128 (1992): Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen. Arbeitsblatt A 128, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V., Hennef
- ATV-DVWK A 131 (2000): Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen. ATV-Arbeitsblatt A 131, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V., Hennef
- ATV-DVWK A 198 (2003): Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen. April 2003, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V., Hennef
- ATV-DVWK Arbeitsgruppe 4.5 (2003): Arbeitsbericht: Leitideen und Grundsätze für den Umgang mit Regenwasser, KA Abwasser Abfall, Heft 7, S. 932-938
- ATV-DVWK Arbeitsgruppe ES-1.3 „Fremdwasser“ (2003): Arbeitsbericht: Fremdwassersituation in Deutschland, KA Abwasser Abfall, Heft 1 S. 70-81
- ATV-DVWK M 177 (2001): Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen, Merkblatt M 177, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V., Hennef
- ATV-DVWK Arbeitsblatt A 117 (2001): Bemessung von Regenrückhalteräumen. ATV-Arbeitsblatt A 117, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V., Hennef
- ATV-DVWK-Leistungsvergleich (2003): Erhebungsbogen 2 zum ATV-DVWK Leistungsvergleich 2002, <http://www.atv-dvwk-bw.de/>
- Bachmann, G. H., Gwinner, M. P. (1971): Nordwürttemberg – Sammlung geologischer Führer, Band 54, Gebrüder Borntraeger Berlin Stuttgart 1971
- Barth, S.; Griem, N. (1998): Fremdwasserzutritt zur Mischwasserkanalisation durch Drainageleitungen, Korrespondenz Abwasser 45, 1998, Heft 1, S. 79-85
- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Hrsg. (2001): Messeinrichtungen an Überlaufbecken, Praxisratgeber für Planung, Bau und Betrieb. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Herausgeber und Verlag), München 2001
- BBU-Wasser-Rundbrief (2002): Mischwasserentlastung gewässerschädigender als Kläranlagenabfluss!, Auszüge aus dem BBU-Wasser-Rundbrief Nr. 689 vom 09. Nov. 2002, im Newsletter des Institutes für Abwasserwirtschaft Halbach, <http://www.institut-halbach.de/>

- Behmel, H (2003): Geologie von Baden-Württemberg, Landschaftsgeschichte - Landesplanung, <http://www.geologie.uni-stuttgart.de/edu/bwgeo/bwge01.htm>
- Beichert, J., Hahn, H.H. (1996): Langzeitsimulation von Abfluss und Feststofffracht für generalisierte Mischwassernetze, in: Stoffaustrag aus Kanalisationen, Hydrologie bebauter Gebiete, Forschungsbericht der Deutschen Forschungsgemeinschaft, VCH Verlagsgesellschaft 1996
- Berger, C., Wittner, A. (2002): Zustand der Kanalisation in Deutschland, Ergebnisse der ATV-DVWK-Umfrage 2001, <http://www.atv.de/download/kanalumfrage.pdf>
- Bernhard Mühr, Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Universität Karlsruhe, <http://www-imk.physik.uni-karlsruhe.de/~muehr/>
- Bezirksregierung Braunschweig (2003): Allgemeine Information zur „Abflussbildung“, http://www.bezirksregierung-braunschweig.de/master/0,,C1579503_N1585080_L20_D0_I788,00.html
- Blappert, A. (1988): Geologische, hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen im Rotliegenden und Buntsandstein des südlichen Odenwaldes, Diplomarbeit am Institut für Geologie der Universität Karlsruhe TH
- Bode, H. (1998): Einflussfaktoren auf Investitions- und Betriebskosten von Abwasseranlagen, Seminarband des ATV-Fortbildungskurses I/3 1998 Kostenanalyse und Kostensteuerung in der Abwasserwirtschaft in Fulda
- Borchardt, D. (1997): Integraler Gewässerschutz – Chancen und Risiken, Schriftenreihe der Fachgebiete Siedlungswasserwirtschaft und Abfallwirtschaft der Universität – Gesamthochschule Kassel, Band 18, Abwasserbehandlung, Gewässerschutz und Wasserwirtschaft an der Schwelle zum 21. Jahrhundert
- Borchardt, D. (1998b): Auswirkungen von Mischwassereinleitungen auf den Stoffhaushalt und die Biozönose von Fließgewässern – Fallbeispiel Kuhbach, GWF, Heft 6, S. 336-342
- Borchardt, D., Fischer, J., Mauch, E. (1998): Auswirkungen von Mischwassereinleitungen auf den Stoffhaushalt und die Biozönose von Fließgewässern – Ökologische und wasserwirtschaftliche Folgerungen, GWF, Heft 7, S. 418-423
- Bosch, K. (1993): Elementare Einführung in die Wahrscheinlichkeitsrechnung, 5. Auflage, Vieweg-Verlag 1993
- Brandt, T. (1979): Modell zur Abflussgangliniensimulation unter Berücksichtigung des grundwasserbürtigen Abflusses, Technischer Bericht Nr. 24 aus dem Institut für Wasserbau, Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Hydraulik der TH Darmstadt
- Brock, D. A. (1996): Storm Period Infiltration and Inflow Control, Water Environment and Technology, 1996, Band 6, Heft 11, S. 51-53
- Brombach, H. (2002): Abwasserkanalisation und Regenbecken im Spiegel der Statistik. KA Abwasser Abfall, Heft 4 S. 444
- Brombach, H., Fuchs, S. (2002): Datenpool gemessener Verschmutzungskonzentrationen von Trocken- und Regenwetterabflüssen in Misch- und Trennkanalisationen, Abschlussbericht eines ATV-DVWK Forschungsprojektes
- Brombach, H., Weiß, G., Lucas, S. (2002): Temporal Variation of Infiltration Inflow in Combined Sewer Systems, 9. International Conference on Urban Drainage ICUD, September 8-13, 2002, Portland, Oregon

- Brombach, H., Weiß, G., Steinriede, D. und Essler, H. (1998): Identifikation und Aktivierung von Leistungsreserven im System Abwasserkanal, Regenwasserbehandlung und Kläranlage. Schlussbericht, Auftraggeber Land Baden-Württemberg, unveröffentlicht
- Brombach, H., Wöhrle, C. (1997): Entlastungsaktivität von Regenüberlaufbecken – Messung, Auswertung und Bewertung, in: Niederschlag - Stoffströme in der Urbanhydrologie, Kanalisation, Band II, Schlussbericht des BMBF-Verbundprojektes „Niederschlagsbedingte Schmutzbelastung der Gewässer“, herausgegeben von T.G. Schmitt, Oldenbourg Verlag GmbH, München, 1997, Schriftenreihe des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft, Band 86, Karlsruhe
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (2000): Verordnung über die Begrenzung von Emissionen aus Mischwasserentlastungen in Mischkanalisationen, Entwurf Oktober 2000, Wien
- Christ, O. (2003): Abwasserbehandlung der Zukunft, Decentralized Sanitation ans Reuse, Hans Huber AG, Berching, http://www.huber.de/desar/huber_desar.pdf
- Decker, J. (1995): Wirkungen des Fremdwasserabflusses auf Kanalisation und Kläranlage. ATV-Landesgruppentagung, 3. Saarländischer Abwassertag 1995
- Decker, J. (1997): Auswirkungen des Fremdwassers auf die Abwasserableitung. Gewässerschutz Wasser Abwasser, Band 158, Aachen
- Decker, J. (1998): Auswirkungen von Fremdwasser auf Abwasseranlagen und Gewässer. Gewässerschutz Wasser Abwasser, Band 168, Aachen
- DFG Forschergruppe 'Kanalleckagen' (2003): Gefährdungspotential von Abwasser aus undichten Kanälen für Boden und Grundwasser, http://www.agk.uni-karlsruhe.de/kanal_leckagen/kanal_home.htm
- Dieck, M. (2001): Fernhalten von Quell- und Oberflächenwasser vom Mischwasserkanal im Bereich des Großen Woogs, Diplomarbeit am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU Darmstadt, November 2001
- DIN 4045 (1985): Abwassertechnik - Begriffe, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN 4045 (1999): Abwassertechnik – Grundbegriffe, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN 1085 (1997): Abwasserbehandlung - Wörterbuch, Dreisprachige Fassung EN 1085, 1997
- DIN EN 752, Teil 1 (1995): Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Beuth-Verlag, Köln
- Dittmer, U., Leinweber, U., Schmitt, T.G. (2001): Fremdwasser – Ursachen, Auswirkungen, Mengenerfassung, http://kos-lve.ionas.de/werkedirekt/abwasser/allgemeines/umwelt/nachhaltigkeit_der_abwasserbeseitigung_dokumentation_der_veranstaltung_in_emmelshausen_30_10_2001/atv_fremdwasservortrag.pdf
- Dohmann, M. (1999): Wassergefährdung durch undichte Kanäle : Erfassung und Bewertung, Max Dohmann (Hrsg.), Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag 1999
- Europäische Gemeinschaft (2000): Richtlinie 2000/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23.10.2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L327, S. 1-72
- Fenz, R., Kroiß, H., Hefler, F. (2001): Geplante österreichische Lösungen für die Probleme der Mischwasserbehandlung, Gewässerschutz Wasser Abwasser, Band 184, Aachen
- Field, R., O'Connor, T. P. (1997): Control Strategy for Storm-Generated Sanitary-Sewer Overflows, Journal of Environmental Engineering, January 1997, S. 41-46

- Fischer, J. (1998): Auswirkungen von Mischwassereinleitungen auf den Stoffhaushalt und die Biozönose von Fließgewässern – Fallbeispiel Kadenbach (Rheinland-Pfalz) – ein kleines Mittelgebirgsgewässer im ländlichen Raum, GWF, Heft 6, S. 330-335
- Fischer, M. (1990): Fremdwasser im Kanal - Jetzt noch teurer, Korrespondenz Abwasser 37, 1990, Heft 10, S. 1196-1201
- Forbes, J. H. Jr. (2001): A Clinical Review of Infiltration/Inflow, Water Environment and Technology, 2001, Band 13, Heft 4, S. 31-37
- Fränkische Nachrichten (2003): Fremdwasser aus den Kanälen verbannen, http://www.fnweb.de/archiv/2003/m03/20/ta/rundschau/20030320_0041022000_07803.html, Ausgabe vom 20.03.2003
- Fränkische Nachrichten (2003b): Zu viel Frischwasser im Abwasser, http://www.fnweb.de/archiv/2003/m05/23/ta/tauberbischofsheim/20030523_F180827013_14203.html, Ausgabe vom 23.05.2003
- Fuchs, S. (1998): Auswirkungen von Mischwassereinleitungen auf den Stoffhaushalt und die Biozönose von Fließgewässern – Fallbeispiel Maisenbach (Baden-Württemberg) – ein kleines Mittelgebirgsgewässer im ländlichen Raum, GWF, Heft 6, S. 323-329
- Fuchs, S. (2003): Verschmutzung von Regen- und Mischwasser, ATV-DVWK Wasserwirtschaftskurs „Entwässerungskonzepte“, März 2003 in Kassel
- Fuchs, S., Hahn, H.H. (1999): Niederschlag - Schadstoffe im Regenabfluss IV, Abschlusspräsentation des BMBF-Verbundprojektes „Niederschlagsbedingte Schmutzbelastung der Gewässer aus städtischen befestigten Flächen“, herausgegeben von Stephan Fuchs und Hermann H. Hahn, Oldenbourg Verlag GmbH, München, 1999, Schriftenreihe des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft, Band 96, Karlsruhe
- Fuchs, S., Lucas, S., Brombach, H., Weiß, G., Haller, B. (2003): Fremdwasserprobleme erkennen – methodische Ansätze. KA Abwasser Abfall, Heft 1 S. 28
- Fuchs, S., Lucas, S., Brombach, H., Weiß, G., Wittenberg, H. (2001): Quantifizierung der saisonalen und naturräumlichen Bedeutung von Fremdwasserzuflüssen in Mischsystemen. Schlussbericht eines LfU-Forschungsprojektes, unveröffentlicht
- Fuchs, S., Scherer, U., Hillenbrand, T., Marscheider-Weidemann, F., Behrendt, H., Opitz, D. (2002): Schwermetalleinträge in die Oberflächengewässer Deutschlands, Texte 54/02 ISSN 0722-186X, im Auftrag des Umweltbundesamtes
- Gammeter, S., Krejci, V. (1998): Auswirkungen von Mischwassereinleitungen auf den Stoffhaushalt und die Biozönose von Fließgewässern – Fallbeispiel Luppmen und Rohrbach (Kanton Zürich, Schweiz), GWF, Heft 6, S. 343-348
- Geyer, O.F., Gwinner, M. P. (1984): Die Schwäbische Alb und ihr Vorland – Sammlung geologischer Führer, Band 67, Gebrüder Borntraeger Berlin Stuttgart 1984
- Geyer, O.F., Gwinner, M. P. (1991): Geologie von Baden-Württemberg, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), Stuttgart
- Gujer, W., Larsen, T.A. (1997): Neue Ziele und neue Wege in der Siedlungswasserwirtschaft, Siedlungswasserwirtschaft – wie weiter?, Schriftenreihe der Fachgebiete Siedlungswasserwirtschaft und Abfallwirtschaft der Universität – Gesamthochschule Kassel, Band 18, Abwasserbehandlung, Gewässerschutz und Wasserwirtschaft an der Schwelle zum 21. Jahrhundert
- Gustafsson, L.-G. (2000): Alternative Drainage Schemes for Reduction of Inflow/Infiltration Prediction and Follow-Up of Effects with the Aid of an Integrated Sewer/ Aquifer Model, URBAN DRAINAGE MODELING - A collection of experiences from the past decade, <http://www.dhisoftware.com/book/chapter.htm>

- Hager, W.; Bretscher, U.; Raymann, B. (1984): Methoden zur indirekten Fremdwasserermittlung in Abwassersystemen, Gas Wasser Abwasser 64, 1984, Heft 7, S.450-461
- Hahn, H. H. (2002): Siedlungswasserwirtschaft und Ingenieurökologie – Der Wasserkreislauf, Skript zur Vorlesung im Wintersemester 2002/2003, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Karlsruhe TH
- Hahn, H.H. (1997): Der Beitrag der Siedlungswasserwirtschaft zu nachhaltiger Wassernutzung – dargestellt an der Entwicklung der Fachvereinigung der ATV (Zielkonzeption 2000), Schriftenreihe der Fachgebiete Siedlungswasserwirtschaft und Abfallwirtschaft der Universität – Gesamthochschule Kassel, Band 18, Abwasserbehandlung, Gewässerschutz und Wasserwirtschaft an der Schwelle zum 21. Jahrhundert
- Haller, B. (2001): Diagnosemethoden zur Fremdwassererkennung. ATV-DVWK Lehrer und Obmannjahresabschlussbesprechung 2001, unveröffentlicht
- Haller, B. (2002): Fremdwasserprobleme Erkennen - Bewerten – Lösen, Gas-Wasser-Abwasser, Organ des SVGW und des VSA, Nr. 3, S. 161
- Handbuch zur Ableitung und Behandlung von Straßenoberflächenwasser (2002): Entwurf vom 28.03.2002, erarbeitet von einer Arbeitsgruppe aus Vertretern des Straßenbaus und der Wasserwirtschaft - Leitung: Ministerium für Umwelt- und Verkehr Baden-Württemberg, unveröffentlicht
- Hegwald, D. (2000): Flow Monitoring Results: Fact or Fiction?, WEF Specialty Conference, 7. - 10. Mai 2000, Rochester NY
- Hegwald, R. (2001): SSO Reduction and CMOM Program Compliance, presented at the CIGMAT 2001 Conference, March 2, 2001, Houston, TX
- Heinrichs-Stalitz, P. (2002): Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Fremdwasser, Stufe II. Seminarband der Technischen Akademie Hannover „Umgang mit Fremdwasser“ vom 05.12.2002
- Henning, D., Katzung, G. (1992): Einführung in die Geologie Deutschlands, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart
- Hüffmeier, N. (2000): Quantifizierung und Ursachen von Fremdwasser auf Kläranlagen in Baden-Württemberg. Diplomarbeit am Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Karlsruhe, unveröffentlicht
- Idar Oberstein (2002): Stadtwerksausschuss stellt die Weichen für das neue Versorgungskonzept, Presseartikel vom 12.12.2002, <http://www.idar-oberstein.de/presse/2002/12/121202-stadtwerksausschuss.html>
- Institut für unterirdische Infrastruktur IKT (2001): Durchflussmessenrichtungen von Regenentlastungsbauwerken – Endbericht, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Gelsenkirchen 2001
- Institut für unterirdische Infrastruktur IKT (2001b): Erfassung und Auswertung von Erfahrungen mit der Umsetzung der Selbstüberwachungsverordnung Kanal SüwV Kan, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Gelsenkirchen 2001
- Institut für unterirdische Infrastruktur IKT (2001c): Ermittlung und Eliminierung von Fremdwasserquellen aus Kanalisationsnetzen - Abschlussbericht, im Auftrag der Abwasserberatung NRW e.V., Gelsenkirchen 2001
- Institut für Wasserbau- und Wasserbewirtschaftung (1998): Dokumentation des Schmutzfrachtsimulationsmodells SMUSI Version 4.0, 2. Auflage, September 1998, Heraus-

- geber: Institut für Wasserbau- und Wasserbewirtschaftung der TU Darmstadt, Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung
- Jütting, F. (2000): Maßnahmen zur Verminderung des Fremdwassers in Göttingen, Gewässerschutz Wasser Abwasser, Band 177, Aachen
- Kölsch, T. (2002): Untersuchungen zur Ermittlung des über Schachtdeckel der Kanalisation zufließenden Niederschlagswassers, Kurzfassung der Diplomarbeit bearbeitet von Jörg Hennerkes, RWTH Aachen, Mai 2002, in: Seminarband der Technischen Akademie Hannover „Umgang mit Fremdwasser“ vom 05.12.2002
- Kroiß, H. und Prendl, L. (1996): Einfluss von Fremdwasser auf Abwasserreinigungsanlagen. Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 140, Oldenbourg Verlag, München
- LAbwAG (1993): Landesabwasserabgabengesetz vom 29.05.1993, Umweltministerium Baden-Württemberg, GBl. Nr. 16 vom 21. Juli 1993 S. 489-493
- Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg LGRB (2001): Bodenkarte von Baden-Württemberg 7517 Dornstetten, 1:25.000, Freiburg i. Br. 2001
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2001): Regenwasserbehandlung und Kläranlagen – Leistungsreserven erkennen und nutzen. Siedlungswasserwirtschaft Band 14, Karlsruhe, Bearbeitung: B. Haller, LfU und G. Weiß, UFT
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2002): Bodenfilter zur Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem, 2. überarbeitete Auflage, Karlsruhe 2002
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2002b): Leitfaden Abwasserabgabe, Arbeitshilfe für die Festsetzungsbehörden, Teil 1 (Allgemeines und Vollzug) und Teil 2 (Beispiele), 3. Auflage, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe
- Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen: Selbstüberwachungsverordnung Kanal SüwV Kan, Ausgabe vom 16.01.1995, Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land Nordrhein-Westfalen, Nr. 49, S. 64-67, Düsseldorf 1995
- Lautrich, R. (1972): Der Abwasserkanal, 3. Auflage, Verlag Wasser und Boden, Hamburg
- Lehn, H., Steiner, M., Mohr, H. (1996): Wasser – die elementare Ressource, Leitlinien einer nachhaltigen Nutzung, Veröffentlichungen der Akademie für Technikfolgenabschätzung Baden-Württemberg, Springer-Verlag, Stuttgart 1996
- Lucas, S. (2002): Fremdwasser - Regionalisierung. Siedlungswasserwirtschaftliches Seminar im Sommersemester 2002 des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Karlsruhe, Seminarband
- Lucas, S. (2003): Dem Fremdwasser auf der Spur, KA Abwasser Abfall, zur Veröffentlichung in 2003 angenommen
- Lucas, S., Fuchs, S. (2003): Regionalisierung von Fremdwasserproblemen, KA Abwasser Abfall, Heft 3, S. 302
- Mang, J., Geffers, K., Borchardt, D. (1998): Auswirkungen von Mischwassereinleitungen auf den Stoffhaushalt und die Biozönose von Fließgewässern – Fallbeispiel Lahn bei Limburg (Hessen) – ein staureguliertes Fließgewässer 2. Ordnung, GWF, Heft 7, S. 408-417
- Mertsch, V., Schmidt, A. (2002): Anforderungen an die Fremdwasserbeseitigung / Projekte in NRW, Seminarband der Technischen Akademie Hannover „Umgang mit Fremdwasser“ vom 05.12.2002

- Mertsch, V., Stölting, B., Haußmann, R. (2001): Gewässeremissionen aus Mischwasserentlastungen, Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft der Universität Bochum, Band 39, 19. Bochumer Workshop „Gewässer schützen, Kosten senken“, Bochum 2001
- Michalska A. und Pecher, K.H. (2000): Betriebliche und kostenmäßige Auswirkung des Fremdwassers auf die Kanalisation und die Kläranlage. Gewässerschutz Wasser Abwasser, Band 177, Aachen
- Michelbach, S. (1998): Auswirkungen von Mischwassereinleitungen auf den Stoffhaushalt und die Biozönose von Fließgewässern – Fallbeispiel Umpfer (Baden-Württemberg – kleiner Bach mit ländlichem Einzugsgebiet, GWF, Heft 7, S. 395-401
- Ministerium für Umwelt- und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2003): Retentionsbodenfilter – Handbuch für Planung, Bau und Betrieb, Hrsg: Ministerium für Umwelt- und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
- Mühr, B. (2003): Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Universität Karlsruhe, http://www-imk.physik.uni-karlsruhe.de/~muehr/Precip/nds50_jahr.html
- Murawski, H. (1992): Geologisches Wörterbuch, 9. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1992
- Nebauer, M (2000): Vorgehensweise zur quantitativen Erfassung und Lokalisierung von Fremdwassereinflüssen am Beispiel der Schmutzwasserkanalisation der Stadt Berlin, Tagungsunterlagen des ATV-DVWK-Infotags „Fremdwasser im Kanal“, Hennef
- Niggemeier, J. (2000): Fremdwassersanierung – Das Sanierungskonzept der Stadt Brilon. IKT-Forum Fremdwasser 2000, Institut für unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen
- Pecher, K. H. (2000): Herkunft und Anfall von Fremdwasser, Seminarunterlagen zum 5. Abwasserworkshop im Mai 2000 in Aschaffenburg und Ulm, Veranstalter: Pecher Software GmbH
- Pecher, K. H. (2001): Methodik und Ergebnisse einer Analyse des Fremdwasseranfalls, Saarländische Abwasser- und Abfalltage vom 15.-16.05.2001
- Pecher, K. H. (2003): Auswirkungen von Fremdwasser auf das Kanalnetz und Problemlösungen, ATV-DVWK Wasserwirtschaftskurs „Entwässerungskonzepte“, März 2003 in Kassel
- Pecher, R. (1998): Fremdwasseranfall im Kanalnetz – ein wasserwirtschaftliches Problem?, Korrespondenz Abwasser, Heft 12
- Pfeiff, S. H. (1989): Das Problem Fremdwasser, Korrespondenz Abwasser, 1989, Heft 4, S. 471-481
- Plum, H., Prechtel, M., Wendt, O., Wirsing, G. (1999): Beitrag zur Abgrenzung von Grundwassereinheiten in Baden-Württemberg, erstellt im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg
- Podraza, P., Widera, J. (1998): Auswirkungen von Mischwassereinleitungen auf den Stoffhaushalt und die Biozönose von Fließgewässern – Fallbeispiel Schondelle (NRW) – ein kleines urbanes Gewässer im Bergland, GWF, Heft 7, S. 402-407
- Popp, M., Feik, G., Baum, R., Stotz, G. (2002): Bestimmung des Fremdwasseraufkommens im Einzugsgebiet der Kläranlage Erlangen, KA Abwasser Abfall, 2002, Heft 7
- Rapp, J.; Schönwiese, C. (1995): Niederschlags- und Temperaturtrends in Baden-Württemberg 1955-1994 und 1895-1994, Akademie für Technikfolgenabschätzung
- Reicherter, E. (2003): Investitions- und Betriebskosten von Entwässerungsanlagen, ATV-DVWK Wasserwirtschaftskurs „Entwässerungskonzepte“, März 2003 in Kassel

- Renner, H (1999): Skript für die Vorlesung Abwasser I - Abwasserableitung Sommersemester 1999, Kapitel 6: Fremdwasser, Bauhaus-Universität Weimar
- Richter, D. M. (1997): Geologie, 5. Auflage 1997, Westermann-Verlag
- Richtlinie 91/271/EWG (1998): Richtlinie des Rates der Europäischen Gemeinschaften vom 21. Mai 1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser, ABl. Nr. L 135 vom 30.5. 1991 S. 40, Änderung 98/15/EG - ABl. Nr. L 67 vom 7.3. 1998 S. 29
- Schäfer, M., Trauth, R. (1996): Urbanisierung und Oberflächenversiegelung – Orientierende Abschätzung von Stoffströmen durch Regionalisierung von Einzugsgebietsdaten. In: Wechselwirkung zwischen Einzugsgebiet und Kläranlage. Hahn, H.H.; Trauth, R. (Hrsg.). Schriftenreihe des ISWW der Universität Karlsruhe (TH), Bd 78. Kommissionsverlag R. Oldenbourg, München
- Schmidt, A. (2000): Mengen, Charakteristik und Probleme des Fremdwasseranfalls auf kommunalen Kläranlagen in NRW, Gewässerschutz Wasser Abwasser, Band 177, Aachen
- Schmitt, T.G. (1994): Siedlungswasserwirtschaft V – Abwasserreinigung und Klärschlammbehandlung, Vorlesungsskript zur Vertiefervorlesung Bauingenieurwesen der Universität Kaiserslautern Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft im Sommersemester 1994
- Schmitt, T.G. (2003): Hydraulische Bewertung von Entwässerungssystemen, ATV-DVWK Wasserwirtschaftskurs „Entwässerungskonzepte“, März 2003 in Kassel
- Schweizer Bundesamt für Umweltschutz BUS (1984): Fremdwasser - Methoden zur Bestimmung der Fremdwassermenge in Kanalisation und Kläranlagen, Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 23, Bern
- Seespiegel (2003): Das Bodenseehochwasser im Frühsommer 1999 – Erfahrungsbericht, Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee IGKB (Hrsg), <http://www.seespiegel.de>
- Sieker, H. (2001): Generelle Planung der Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Universität Darmstadt, Mitteilungen, Heft 116
- Sitzmann, D. (2001): Kanalisationsmesskampagnen im Vorfeld der Kanalnetzbewirtschaftung, Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft der Universität Bochum, Band 40, Online-Messung in Kanalisationsnetzen – Erfahrungen und Möglichkeiten zur Abfluss- und Parametermessung, Bochum 2001
- Statistisches Bundesamt (2001): Zahlen und Fakten des Statistischen Bundesamtes zum internationalen "Tag des Wassers" am 22. März 2001, <http://www.destatis.de/presse/deutsch/pm2001/p1030112.htm>
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (1998): Erhebung über die öffentliche Abwasserbeseitigung 1998 – Angaben über Sammelkanalisationen, Fragebogen 6S, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Ref. 32, Stuttgart
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (1998b): Erhebung über die öffentliche Abwasserbeseitigung 1998 – Angaben über Abwasserbehandlungsanlagen, Fragebogen 6K, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Ref. 32, Stuttgart
- Strunkheide, J., Seibert, M. (2002): Neues Messverfahren zur Erfassung der Volumenströme bei Regenbecken, wwt awt, Heft 4/2002, S. 26-28

- SüwVKan (1995): Verordnung zur Selbstüberwachung von Kanalisationen und Einleitungen von Abwasser aus Kanalisationen im Mischsystem und im Trennsystem, Gesetz und Verordnungsblatt für das Land Nordrhein-Westfalen, Nr. 49, S. 64-67, Düsseldorf 1995
- Tiemann, V. (1999): Anmerkungen zum Gesetz der großen Zahlen, WS 1998/99, http://www.wiwi.uni-bielefeld.de/StatCompSci/lehre/material_spezifisch/praktikum99.00/ggz/ggz.html
- Uhl, M. (2001): Bodenfilteranlagen zur Niederschlagswasserbehandlung in Nordrhein-Westfalen, Gewässerschutz Wasser Abwasser, Band 184, Aachen
- Ullmann, F. (2001): Abwassersysteme von bayerischen Landesliegenschaften – Grundlagen – Erfahrungen – Ausblick, in: 14. Lindauer Seminar der JT Elektronik GmbH, Praktische Kanalisationstechnik – Instandhaltung von Kanalisationen am 08./09.03.2001
- Umwelt- und Fluid-Technik GmbH UFT (1998): Identifikation und Aktivierung von Leistungsreserven im System Abwasserkanal, Regenwasserbehandlung und Kläranlage. Forschungsprojekt im Auftrag des Landes Baden-Württemberg. Bad Mergentheim: Umwelt- und Fluid-Technik Dr. H. Brombach GmbH. Schlussbericht (unveröffentlicht)
- van Wensen, J. (2001): Hydrologische Gesamtbetrachtung eines Entwässerungssystems, Schriftenreihe für Stadtentwässerung und Gewässerschutz, Institut für Wasserwirtschaft, Universität Hannover, Band 24, Hrsg.: Dr.-Ing. habil. H. R. Verworn
- Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten (1982): Richtlinie für die Anordnung und Bemessung von Regenentlastungs- und Regenwasserbehandlungsanlagen, Verwaltungsvorschrift vom 31.12.1982
- von Keitz, S. (2001): Gewässertypen, Referenzbedingungen und gute Wasserqualität – Stand der LAWA-Arbeiten, Gewässerschutz Wasser Abwasser, Band 184, Aachen
- Wade, M.G. (1995): New Strategies for Controlling Sanitary Sewer Overflows, published in Public Works, October 1995
- Wade, M.G. (2000): Controlling Inflow and Infiltration In Wastewater Collection Systems, presented at Convergence 2000, July 23-26, Kansas City MO
- Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg WaBoA (2001): Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg und Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg LfU (Hrsg.), 1. Aufl. 2001, Graphischer Atlas und CD-Version
- WHG (2002): Wasserhaushaltsgesetz und Wassergesetz für Baden-Württemberg, BGBl I 1957, 1110, 1386, neugefasst durch Bek. vom 19.08.2002, <http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/whg/>
- Willems, G., Rüschenberg, M. (2001): Kosten von Niederschlagswasserbehandlungsanlagen, Gewässerschutz Wasser Abwasser, Band 184, Aachen
- Zangenberg, A. (2003): Mobile Durchfluss-Messung im Rohr Mobi-Dir, Axel Zangenberg Umweltmesstechnik, <http://www.axel-zangenberg.de/>

Anhang 1: Formblatt zur Fremdwasserermittlung der ATV-DVWK Landesgruppe Baden-Württemberg

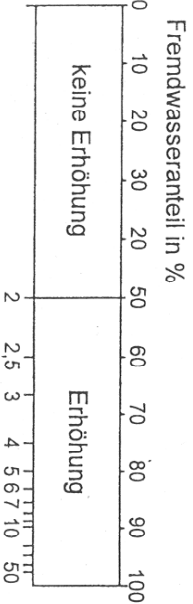
Fremdwasserermittlung und Bewertung mit automatischer Durchflußmeßeinrichtung

Spitzenzufluß bei Trockenwetter nach Planung: _____ l/s
 Durchflußmeßeinrichtung (Meßverfahren): _____
 Oberer Meßbereich des Gerätes bis _____ l/s; Meßanlage überprüft am: _____
 Derzeit angeschlossene (natürliche) Einwohner etwa: _____
 Meßprotokoll zur Abwasserabgabeneklärung für das Jahr _____
 Betreiber: _____
 Klaranlage: _____
 Abgabenummer: _____
 Landkreis: _____
 Ausbaugröße (EW): _____

Datum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahresmittel
a) gemessener geringster Nachtzuluß													
b) abzügl. geschätzter Nachtzuluß der angeschlossenen Einwohner ($q \times E / 1000$)													
c) abzüglich Nachtzuluß der Industrie													
d) Fremdwasserzufluß = (a - b - c)													
e) Tagesfremdwasserzufluß = (d x 86,4)													
f) gemessener Tagesabwasserzufluß einschl. Fremdwasser													

Summe der Ergebnisse
 ..
 Anzahl der Messungen

= g
 = h



Fremdwasseranteil [FW] = $\frac{g}{h} \times 100$ = %
 (Verdünnungsanteil nach LbWAg)
 Erhöhungsfaktor [EF] = $\frac{100\%}{100\% - FW [\%]}$ = %
 (wenn FW größer als 50 %)



aufgestellt: _____
 (Ort, Datum, Unterschrift)

Hinweise und Erläuterungen
 zur Ermittlung siehe Rückseite

Anhang 2: Quantitative Verteilung der Fremdwasserzuschläge in den acht Naturräumen Baden-Württembergs

Tabelle 8: Prozentuale Verteilung der maximalen monatlichen Fremdwasserzuschläge von 128 Kläranlagen nach der Methode des gleitenden Minimums in den acht Naturräumen Baden-Württembergs

Belastungsklasse / Naturraum	0-100 % FWZ	101-200 % FWZ	201-300 % FWZ	301-400 % FWZ	401-500 % FWZ	> 500 % FWZ
Albvorland	0 %	8 %	25 %	25 %	17 %	25 %
Alpenvorland	5 %	26 %	26 %	32 %	0 %	11 %
Gäulandschaften	9 %	37 %	27 %	9 %	9 %	9 %
Keuperbergland	5 %	15 %	20 %	30 %	20 %	10 %
Oberrheingraben	38 %	62 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Odenwald	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	100 %
Schwäbische Alb	15 %	5 %	5 %	25 %	10 %	40 %
Schwarzwald	0 %	4 %	17 %	18 %	13 %	48 %

Schriftenreihe

Bisher aus der Arbeit am Institut erschienen

- [1] **KARPE, H.-J.:** Zur Wirtschaftlichkeit bei der Planung von Fernwasserversorgungen. Karlsruhe 1969 (Eigenverlag des Verfassers).
- [2] **PÖPEL, J.:** Schwankungen von Kläranlagenabläufen und ihre Folgen für Grenzwerte und Gewässerschutz. GWF, Schriftenreihe Wasser - Abwasser, 16. Oldenbourg Verlag, München 1971.
- [3] **MEIER, P.M.:** Möglichkeiten zur technischen und wirtschaftlichen Optimierung von Zweckverbänden. Wasser und Abwasser in Forschung und Praxis, Bd. 4. Erich Schmidt Verlag, Bielefeld 1972.
- [4] **ABENDT, R.; AHRENS, W.; CEMBROWICZ, R.G.; HAHN, H.H.; KNOBLAUCH, A.; ORTH, H.:** Operations Research und seine Anwendung in der Siedlungswasserwirtschaft I. Wasser und Abwasser in Forschung und Praxis, Bd. 5. Erich Schmidt Verlag, Bielefeld 1972.
- [5] **NOLL, K.:** Untersuchungen zur Grundwasserentnahme aus den pleistozänen Sedimenten des Rheintalgrabens im Rhein-Neckar-Raum. Karlsruhe 1972 (Eigenverlag des Verfassers).
- [6] **NEIS, U.:** Experimentelle Bestimmung der Stabilität anorganischer Schwebstoffe in natürlichen Gewässern. Karlsruhe 1974 (Eigenverlag des Verfassers).
- [7] **AHRENS, W.:** Optimierungsverfahren zur Lösung nichtlinearer Investitionsprobleme - angewandt auf das Problem der Planung regionaler Abwasserentsorgungssysteme. Quantitative Methoden der Unternehmensplanung, Bd. 4. Verlag Meisenheim/Glahn 1975.
- [8] **ORTH, H.:** Verfahren zur Planung kostenminimaler regionaler Abwasserentsorgungssysteme. Wasser und Abwasser in Forschung und Praxis, Bd. 9. Erich Schmidt Verlag, Bielefeld 1975.
- [9] **MOSEBACH, K.G.:** Phosphatrücklösung bei der Ausfällung von Simultanschlamm. Wasser und Abwasser in Forschung und Praxis, Bd. 11. Erich Schmidt Verlag, Bielefeld 1975.
- [10] **AHRENS, W.; CEMBROWICZ, R.G.; DEHNERT, G.; HEISS, H.-J.; HAHN, H.H.; HENSELEIT, H.J.; ORTH, H.; SENG, H.J.:** Operations Research und seine Anwendung in der Siedlungswasserwirtschaft II. Wasser und Abwasser in Forschung und Praxis, Bd. 12. Erich Schmidt Verlag, Bielefeld 1976.
- [11] **DEHNERT, G.:** Regionale Planung der Standorte für Abwasserbehandlungsanlagen mit Hilfe graphentheoretischer Algorithmen. Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 1. Erich Schmidt Verlag, Bielefeld 1976.
- [12] **HAHN, H.H. (Hrsg.):** Umweltschutz im Bereich des Wasserbaus. Wasser und Abwasser in Forschung und Praxis, Bd. 14. Erich Schmidt Verlag, Bielefeld 1976.
- [13] **JØRGENSEN, S.E.:** Reinigung häuslicher Abwässer durch Kombination eines chemischen Fällungs- und Ionenaustauschverfahrens. Karlsruhe 1976 (Eigenverlags des Verfassers).

- [14] **RUF, J.:** Gewässergütesimulation unter Berücksichtigung meteorologischer Einflüsse. Prognostisches Modell Neckar, Bericht 16. Dornier System. Friedrichshafen 1977.
- [15] **AHRENS, W.; DEHNERT, G.; DURST, F.; GERBER, J.; HAHN, H.H.; PAESSENS, H.; WEUTHEN, H.K.:** Tourenplanung bei der Abfallbeseitigung. Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 3. Erich Schmidt Verlag, Bielefeld 1977.
- [16] **KLUTE, R.:** Adsorption von Polymeren an Silikaoberflächen bei unterschiedlichen Strömungsbedingungen. Karlsruhe 1977 (Eigenverlag des Verfassers).
- [17] **KNOBLAUCH, A.:** Mathematische Simulation des Phosphorkreislaufs in einem gestauten Gewässer. GWF, Schriftenreihe Wasser- Abwasser, Bd. 17. Oldenbourg Verlag, München 1978.
- [18] **ABENDT, R.:** Aussagefähigkeit von Sauerstoffhaushaltsrechnungen. Hochschulsammlung Ingenieurwissenschaft, Wasserwirtschaft, Bd. 1. Hochschulverlag, Stuttgart 1978.
- [19] **SENG, H.J.:** Systematische Beurteilung der Umweltverträglichkeit bei Abfalldeponiestandorten. Hochschulsammlung Ingenieurwissenschaft, Abfallwirtschaft, Bd. 2. Hochschulverlag, Stuttgart 1979.
- [20] **INSTITUT FÜR SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT:** Fortschritte bei der Anwendung von Flockungsverfahren in der Abwassertechnologie. 2. Verfahrenstechnisches Seminar. Karlsruhe 1979 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [21] **HAHN, H.H. (Hrsg.):** Von der Abfallbeseitigung zur Abfallwirtschaft, Fachkolloquium zu Ehren von Prof. Dr.-Ing. Hans Straub, Karlsruhe 1980 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [22] **INSTITUT FÜR SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT:** Planung und Organisation von Einzelkläranlagen und Gruppenkläranlagen, 6. Planungstechnisches Seminar. Karlsruhe 1980 (Eigenverlag des Instituts).
- [23] **KÄSER, F.:** Transport suspendierter Feststoffe in Fließgewässern. Karlsruhe 1981 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [24] **EPPLER, B.:** Aggregation von Mikroorganismen. Karlsruhe 1981 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [25] **INSTITUT FÜR SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT:** Fortschritte bei der Anwendung des Flotationsverfahrens in der kommunalen Abwasserreinigung, 3. Verfahrenstechnisches Seminar. Karlsruhe 1981 (Eigenverlag des Instituts).
- [26] **PAESSENS, H.:** Tourenplanung bei der regionalen Hausmüllentsorgung. Karlsruhe 1981 (Eigenverlag des Instituts).
- [27] **KIEFHABER, K.P.:** Versuchsanlagen zur Entspannungsflotation von Abwasser - Vergleich von Versuchsergebnissen. Karlsruhe 1982 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [28] **HAHN, H.H.; SENG, H.J. (Hrsg.):** Wirtschaftlichkeit in der Abfallwirtschaft. Karlsruhe 1982 (Eigenverlag des Instituts).
- [29] **HAHN, H.H.; PAESSENS, H. (Hrsg.):** Tourenplanung in der Abfallwirtschaft II. Karlsruhe 1982 (Eigenverlag des Instituts).
- [30] **DICKGIESSER, G.:** Betriebssichere und wirtschaftliche Klärschlamm Entsorgung. Karlsruhe 1982 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).

- [31] **HAHN, H.H.** (Hrsg.): Wasserversorgung und Abwasserbehandlung in Entwicklungsländern. Karlsruhe 1982 (Eigenverlag des Instituts).
- [32] **HAHN, H.H.** (Hrsg.): Schlämme aus der Abwasserfällung/ Flockung. Karlsruhe 1983 (Eigenverlag des Instituts).
- [33] **v. FALKENHAUSEN, K.**: Planung eines Entsorgungssystems für die Klärschlammbehandlung. Karlsruhe 1983 (Eigenverlag des Instituts).
- [34] **HEISS, H.-J.**: Stabilität kostenminimaler Lösungen bei der Planung von Abwasserentsorgungssystemen. Karlsruhe 1983 (Eigenverlag des Instituts).
- [35] **HAHN, H.H.** (Hrsg.): Planung im Gewässerschutz unter besonderer Berücksichtigung von Flußgebietsmodellen. Karlsruhe 1984 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [36] **BANTZ, I.**: Ein Rechenverfahren zur Darstellung der Auswirkungen von Stoßbelastungen auf die Qualität von Fließgewässern. Karlsruhe 1985 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [37] **LÖHR, J.**: Einfluß der Tiefendurchmischung auf die Entwicklung von Phytoplankton - dargestellt am Beispiel des Maines. Karlsruhe 1984 (Eigenverlag des Instituts).
- [38] **TROUBOUNIS, G.**: Strukturorientierte Simulation des Kohlenstoff, Stickstoff-, Phosphor- und Sauerstoffhaushaltes flacher Gewässer. Karlsruhe 1985 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [39] **DITTRICH, A.**: Transport und Sedimentation organischer Stoffe in Abwasserteichen. Karlsruhe 1985 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [40] **GROHMANN, A.; HAHN, H.H.; KLUTE, R.** (Hrsg.): Chemical Water and Wastewater Treatment. Practical Experience and New Concepts. Proceedings from the 1st Gothenburg Symposium, 1984. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York, 1985 (vergriffen).
- [41] **HAHN, H.H.; NEIS, U.** (Hrsg.): Belastungsschwankungen auf Kläranlagen: Auswirkungen und Möglichkeiten zur Reduktion, insbesondere durch Chemikalieneinsatz. Karlsruhe 1985 (Eigenverlag des Instituts).
- [42] **SCHMITT, T.G.**: Der instationäre Kanalabfluß in der Schmutzfrachtmodellierung. Karlsruhe 1985 (Eigenverlag des Instituts, 2. Auflage).
- [43] **IOSSIFIDIS, V.**: Die Rolle der Ablagerungen bei der Schmutzfrachtberechnung in Kanalisationsnetzen. Karlsruhe 1985 (Eigenverlag des Instituts, 2. Auflage).
- [44] **SCHMITT, T.G.; HAHN, H.H.** (Hrsg.): Schmutzfrachtberechnung für Kanalisationsnetze. Karlsruhe 1986 (Eigenverlag des Instituts, 2. Auflage).
- [45] **DÖLL, B.**: Die Kompensation der Oberflächenladung kolloidaler Silika-Suspensionen durch die Adsorption kationischer Polymere in turbulent durchströmten Rohrreaktoren. Karlsruhe 1986 (Eigenverlag des Instituts).
- [46] **MERTSCH, V.**: Sedimentation, Eindickung und Entwässerung von Fällungs-/Flockungsschlämmen. Karlsruhe 1987 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [47] **KORDES, B.**: Berechnung der Energiebilanz von Kläranlagen unter Berücksichtigung zeitlicher Schwankungen. Karlsruhe 1987 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [48] **GEPPERT, B.**: Tourenplanung bei der innenstädtischen Hausmüllentsorgung. Karlsruhe 1987 (Eigenverlag des Instituts).

- [49] **GUTEKUNST, B.:** Sielhautuntersuchungen zur Einkreisung schwermetallhaltiger Einleitungen. Karlsruhe 1988 (Eigenverlag des Instituts).
- [50] **HAHN, H.H.; KLUTE, R.; BALMER, P.** (Hrsg.): Recycling in Chemical Water and Wastewater Treatment. Proceedings from the 2nd international Gothenburg Symposium. Karlsruhe 1986 (Eigenverlag des Instituts).
- [51] **HAHN, H.H.; PFEIFER, R.** (Hrsg.): Abwasserreinigung in Entwicklungsländern mit besonderer Berücksichtigung der Industrie. Karlsruhe 1987 (Eigenverlags des Instituts).
- [52] **HOFFMANN, E.:** Strömungsstrukturen in Flockungsreaktoren. (in Vorbereitung).
- [53] **HAHN, H.H.; PFEIFER, R.** (Hrsg.): Fällung/Flockung - Erfahrungen aus Labor und Praxis. Karlsruhe 1990 (Eigenverlag des Instituts).
- [54] **KRÜGER, E.M.:** Stabilität mineralischer Basisabdichtungen von Hausmülldeponien bezüglich des Ausbreitungsverhaltens anorganischer Schadstoffe. Karlsruhe 1989 (Eigenverlag des Instituts).
- [55] **SISKOS, D.:** Kläranlagenauslegung für stehende Vorfluter. Karlsruhe 1989 (Eigenverlag des Instituts).
- [56] **HOU, R.:** Kontrollstrategien für Fällung und Flockung auf Kläranlagen mit einem Vorhersagemodell der Zu- und Ablauffracht. Karlsruhe 1990 (Eigenverlag des Instituts).
- [57] **XANTHOPOULOS, C.:** Methode für die Entwicklung von Modellregenspektren für die Schmutzfrachtberechnung. Karlsruhe 1990 (Eigenverlag des Instituts).
- [58] **HAHN, H.H.; XANTHOPOULOS, C.** (Hrsg.): Schadstoffe im Regenabfluß aus städtischen Gebieten - Präsentation eines BMFT - Verbundprojektes. Karlsruhe 1990 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [59] **LEE, C.-M.:** Tone zur physikalisch-chemischen Abwasserreinigung. Karlsruhe 1990 (Eigenverlag des Instituts).
- [60] **HARTMANN, K.-H.:** Anaerobe Behandlung von Sickerwässern aus Hausmülldeponien. Karlsruhe 1991 (Eigenverlag des Instituts).
- [61] **HAHN, H.H.; PFEIFER, R.** (Hrsg.): Vor-, Simultan- oder Nachfällung? - Entscheidungskriterien für Planung, Entwurf und Betrieb. Karlsruhe 1991 (Eigenverlag des Instituts).
- [62] **LEONHARD, D.:** Eindickung und Entwässerung als Konsolidierungsvorgang. Karlsruhe 1992 (Eigenverlag des Instituts).
- [63] **WEISSER, M.:** Untersuchungen zur Belastung kommunaler Klärschlämme durch organische Schadstoffe - Abschlußbericht zum BMFT-Forschungsvorhaben 02 WS 464/8. Karlsruhe 1992 (Eigenverlag des Instituts, 2. Auflage).
- [64] **HAHN, H.H.; XANTHOPOULOS, C.** (Hrsg.): Schadstoffe im Regenabfluß II. Präsentation des BMFT-Verbundprojektes. Karlsruhe 1992 (Eigenverlag des Instituts, 2. Auflage).
- [65] **HAHN, H.H.; PFEIFER, R.** (Hrsg.): Sanierung von Kläranlagen. Karlsruhe 1992 (Eigenverlag des Instituts).
- [66] **DÜRETH-JONECK, S.:** Entwicklung eines naturnahen, praxisorientierten. Mobilitätstests für Schwermetalle und Arsen in kontaminierten Böden. Karlsruhe 1993 (Eigenverlag des Instituts).

- [67] **HAHN, H.H.; TRAUTH, R.** (Hrsg.): Fällungs-/Flockungschemikalien. Anforderungen, Angebot, Auswahl und Qualität. Karlsruhe 1993 (Eigenverlag des Instituts, vergriffen).
- [68] **HAHN, H.H.; TRAUTH, R.** (Hrsg.): Wechselwirkungen der biologischen und chemischen Phosphorelimination. Karlsruhe 1993 (Eigenverlag des Instituts).
- [69] **LANGER, S.J.:** Struktur und Entwässerungsverhalten polymergeflockter Klärschlämme. Karlsruhe 1994 (Eigenverlag des Instituts).
- [70] **MÜLLER, N.:** Gewässergütemodellierung von Fließgewässern unter Berücksichtigung qualitativer, quantitativer, flächenhafter und sozioökonomischer Informationen. Karlsruhe 1994 (Eigenverlag des Instituts).
- [71] **HAHN; H.H.; TRAUTH, R.** (Hrsg.): Klärschlamm - Ressource oder kostenintensiver Abfall? Karlsruhe 1994 (Eigenverlag des Instituts).
- [72] **MIHOPULOS, J.:** Wechselwirkung Flockenbildung - Flockenabtrennung unter Berücksichtigung der Durchströmungsmuster in Sedimentations- und Flotationsbecken. München 1995 (Oldenbourg Verlag).
- [73] **XANTHOPOULOS, C.; HAHN, H.H.** (Hrsg.): Schadstoffe im Regenabfluß III. München 1995 (Oldenbourg Verlag).
- [74] **HAHN, H.H.; TRAUTH, R.** (Hrsg.): Wirtschaftlichkeitsfragen in der Abwasserreinigung. München 1995 (Oldenbourg Verlag).
- [75] **SCHMID, K.:** Tensidunterstützte und biologische Sanierung der Feinkornfraktion aus der Bodenwäsche bei kohlenwasserstoffhaltigen Altlasten. München 1996 (Oldenbourg Verlag).
- [76] **HÖLZER, D.:** EDV-gestützte Planung von Belebtschlammanlagen unter Berücksichtigung betrieblicher Aspekte. München 1996 (Oldenbourg Verlag).
- [77] **HARITOPOULOU, T.:** Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe und Schwermetalle in urbanen Entwässerungssystemen - Aufkommen, Transport und Verbleib. München 1996 (Oldenbourg Verlag).
- [78] **HAHN, H.H.; TRAUTH, R.:** Wechselwirkung zwischen Einzugsgebiet und Kläranlage. München 1996 (Oldenbourg Verlag).
- [79] **FUCHS, S.:** Wasserwirtschaftliche Konzepte und ihre Bedeutung für die Ökologie kleiner Fließgewässer - Aufgezeigt am Beispiel der Mischwasserbehandlung. München 1997 (Oldenbourg Verlag).
- [80] **BEUDERT, G.:** Gewässerbelastung und Stoffaustrag von befestigten Flächen in einem kleinen ländlichen Einzugsgebiet. München 1997 (Oldenbourg Verlag) .
- [81] **WITT, P.CH.:** Untersuchungen und Modellierungen der biologischen Phosphatelimination in Kläranlagen. München 1997 (Oldenbourg Verlag).
- [82] **PSCHERA, S.:** Abwasserbehandlung mit Ozon: Klassifizierung von Abwasser zur optimierten Verfahrensgestaltung in der Kreislaufwirtschaft. München 1997 (Oldenbourg Verlag).
- [83] **TRAUTH, R.:** Lokalisierung von Grundwasserschadstoffquellen in urbanen Räumen. München 1998 (Oldenbourg Verlag).

- [84] **JAKOBS, J.:** Quantifizierung der Wirkung von Kanalnetzbewirtschaftungsmaßnahmen mit Hilfe des detailliert hydrodynamischen Schmutzfrachtmodells HAuSS. München 1998 (Oldenbourg Verlag).
- [85] **XANTHOPOULOS, C.:** Stoffströme in der Urbanhydrologie Teil 1 – Oberfläche. München 1998 (Oldenbourg-Verlag).
- [86] **SCHMITT, T.G.:** Stoffströme in der Urbanhydrologie Teil 2 - Kanalisation. München 1997 (Oldenbourg Verlag).
- [87] **SEYFRIED, C.F.:** Stoffströme in der Urbanhydrologie Teil 3 – Kläranlage. München 1998 (Oldenbourg Verlag).
- [88] **HAHN, H.H.; SCHÄFER, M. (Hrsg.):** Stoffströme in der Urbanhydrologie Teil 4 - Emission/Immission. München 1998 (Oldenbourg Verlag).
- [89] **HAHN, H.H.; WILHELMI, M.:** Abwasserreinigung - Reststoffproblem oder Sekundärrohstoffquelle. München 1997 (Oldenbourg Verlag).
- [90] **SCHULZ, ST.:** Der Kanal als Reaktor: Neubildung von AOX durch Wirkstoffe in Reinigungsmitteln. München 1998 (Oldenbourg Verlag).
- [91] **WOLTER, CH.:** Steuer- und Regelkonzepte der Vorklärung unter Einbeziehung der Vorfällung/Flockung und Schlammhydrolyse. München 1998 (Oldenbourg Verlag).
- [92] **PFEIFER, R.:** Schmutzstoffrückhalt durch chemisch/physikalische Regenwasserbehandlung im Trennsystem. München 1998 (Oldenbourg Verlag).
- [93] **LIN, L.Q.:** Entstabilisierung und Aggregation von Silika und Huminsäure mit Aluminiumsalzen in turbulenten Rohrströmungen. München 1998 (Oldenbourg Verlag).
- [94] **HAHN, H.H.; WILHELMI, M. (Hrsg.):** Abwasserfällung- und Flockung. München 1998 (Oldenbourg Verlag).
- [95] **HUPPERT, N.:** Elimination von Ibuprofen und NBBS in kommunalen Kläranlagen analysiert mittels Festphasenmikroextraktion. München 1999 (Oldenbourg Verlag).
- [96] **FUCHS, S.; HAHN, H.H. (Hrsg.):** Schadstoffstoffe im Regenabfluß IV. Abschlußpräsentation des BMBF-Verbundprojektes NIEDERSCHLAG. München 1999 (Oldenbourg Verlag).
- [97] **SCHÄFER, M.:** Regionalisierte Stoffstrombilanzen in städtischen Einzugsgebieten - Möglichkeiten, Probleme und Schlußfolgerungen.
- [98] **HAHN, H.H.; KRAUS, J. (Hrsg.):** Technologische Aspekte der Wasser-, Abwasser- und Schlammbehandlung. Karlsruhe 1999 (Universität Karlsruhe - Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).
- [99] **KISHI, R.T.:** Einzugsgebietseigenschaften und Fließgewässergüte (Modellierung stofflicher Parameter mit Hilfe raumbezogener Daten). Karlsruhe 2000 (Universität Karlsruhe - Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).
- [100] **NAUDASCHER, I.:** Kompostierung menschlicher Ausscheidungen durch Verwendung biologischer Trockentoiletten - mit besonderer Berücksichtigung des Kleingartenbereichs. Karlsruhe 2001 (Universität Karlsruhe - Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).
- [101] **ANDERS, G.:** Der Einsatz von Scheibentauchkörpern zur Güllebehandlung mit dem Ziel der weitergehenden Nährstoffreduktion. Karlsruhe 2002 (Universität Karlsruhe - Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).

- [102] **WITTLAND, C.:** Angepasste Verfahren zur Industrieabwasserreinigung - Modell zur Verfahrensauswahl. Karlsruhe 2000 (Universität Karlsruhe - Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).
- [103] **HAHN, H.H.; KRAUS, J.** (Hrsg.): Projektmanagement, Maschinentechnik und gesetzliche Vorgaben. Karlsruhe 2000 (Universität Karlsruhe - Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).
- [104] **SCHMID-SCHMIEDER, V.:** Vergleich der Leistungsfähigkeit von Biofilmverfahren bei Sanierungen bzw. Erweiterungen von kommunalen Kläranlagen. Karlsruhe 2001 (Universität Karlsruhe - Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).
- [105] **HAHN, H.H.; KRAUS, J.:** Geruchsemissionen. Karlsruhe 2001 (Universität Karlsruhe - Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).
- [106] **ANTUSCH, E.:** Lokalisierung organischer Schadstoffemissionen durch Sichelhautuntersuchungen. Karlsruhe 2002 (Universität Karlsruhe - Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).
- [107] **OBERACKER, F.E.:** Verwendung und Entsorgung arsenhaltiger Wasserwerkschlämme. Karlsruhe 2002 (Universität Karlsruhe - Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).
- [108] **HAHN, H.H.; KRAUS, J.:** Bläh- und Schwimmschlamm. Karlsruhe 2002 (Universität Karlsruhe - Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).
- [109] **HITZLER, A.:** Beurteilung und Optimierung von Sandwaschanlagen auf Kläranlagen. Karlsruhe 2002 (Universität Karlsruhe - Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).
- [110] **KLINGEL, M.:** Prozess-Simulation in der Abwasser- und Abfallbehandlung. Karlsruhe 2003 (Universität Karlsruhe - Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).
- [111] **SONG, Y.:** Precipitation Chemistry of Calcium Phosphate for Phosphorous Recovery. Karlsruhe 2003 (Universität Karlsruhe - Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).
- [112] **KRAUS, J.:** Herstellung von Leichtzuschlagstoffen aus Klärschlamm. Karlsruhe 2003 (Universität Karlsruhe - Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).
- [113] **ZHANG, P.:** Herstellung und Charakterisierung und Wirksamkeit polymerer anorganischer Flockungsmittel. Karlsruhe 2003 (Universität Karlsruhe - Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).
- [114] **HAHN, H.H.; KRAUS, J.:** Wertschöpfung durch Betriebsoptimierung. Karlsruhe 2003 (Universität Karlsruhe - Institutsverlag Siedlungswasserwirtschaft).

Bestellanschrift:

**Universität Karlsruhe (TH)
Institut für Siedlungswasserwirtschaft
Forschungszentrum Umwelt
BIBLIOTHEK, Abteilung: Schriftenreihe
Adenauerring 20
D-76131 Karlsruhe
Tel. 0721/608 2457
Fax 0721/607 151**