

Sachstandsbericht zum Vorhaben

Stoffstromanalysen für kleine bis mittlere Flussgebiete als Grundlage für die Planung und Umsetzung von Gewässerschutzmaßnahmen

BWC 21003

Laufzeit: 01.10.2001 bis 30.09.2003



Projektleiter:

Prof. Dr.-Ing. E.h. H. H. Hahn, Ph.D.

Dr.-Ing. S. Fuchs

Projektbearbeiter/innen:

Dipl.-Biol. A. Bechtel

Dipl.-Ing. J. Butz

Fotos auf dem Deckblatt

Oben: Typische Landnutzungs- und Geländeformen im Kraichbacheinzugsgebiet

Unten links: Erosionserscheinungen, abgespülter Ackerboden auf einem Feldweg

Unten rechts: Drainage, Einleitung von trübem Wasser in einen Wassergraben

Prof. Dr.-Ing. E.h. Hermann H. Hahn, Ph.D.

Institut für Siedlungswasserwirtschaft

Universität Karlsruhe (TH)

Kaiserstr. 12, Geb. 50.40 (FZU)

76131 Karlsruhe

Tel.: (07 21) 6 08-0

Durchwahl 6 08-2457

Fax: (07 21) 6 07 151

E-Mail: sekretariat@isww.uni-karlsruhe.de

<http://isww.bau-verm.uni-karlsruhe.de>

1 Einleitung

Eine nachhaltige Bewirtschaftung von Flusseinzugsgebieten erfordert eine umfassende Analyse der Stoffströme unter Einbeziehung der naturräumlichen Gegebenheiten. Ziel einer derartigen Analyse muss es sein, die Quellen und Eintragspfade unterschiedlicher Stoffe oder Stoffgruppen zu identifizieren und die resultierenden Stoffeinträge mit angemessener Zuverlässigkeit zu quantifizieren.

Zur Erreichung dieses Zieles wurden vom Projektträger BW-PLUS zwei Vorhaben bewilligt. Im Rahmen eines Vorprojektes (01.10.2000 bis 30.04.2001) sollte die Eignung des gewählten Testgebietes nachgewiesen und die Datengrundlage für eine detaillierte Analyse erarbeitet werden. Das Vorprojekt wurde termingerecht und erfolgreich abgeschlossen. Die wesentlichen Ergebnisse wurden beim Statusseminar am 01.03.2001 präsentiert und in einem Endbericht zusammengefasst. Auf der Grundlage des Vorprojektes wurde zum 28.03.2001 ein Fortsetzungsantrag formuliert, der zum 01.10.2001 mit einer Laufzeit von 2 Jahren bewilligt wurde. Die Zielsetzungen des Gesamtvorhabens sowie die Gliederung der hierzu erforderlichen Arbeitsschritte haben sich gegenüber dem Vorprojekt nicht verändert, so dass an dieser Stelle auf den dem Projektrat vorliegenden Endbericht verwiesen werden kann (HAHN ET AL. 2001).

Explizit hingewiesen sei aber nochmals auf die Ergebnisse der Grobanalyse. Sie diente der quantitativen Evaluierung maßgeblicher Eintragspfade und erfolgte anhand des Modellsystems MONERIS (BEHRENDT ET AL. 1999) und den im Projekt NIEDERSCHLAG (FUCHS & HAHN 1999) entwickelten Grundlagen. Für die Nährstoffe Phosphor und Stickstoff erwiesen sich neben den kommunalen Kläranlagen insbesondere die landwirtschaftlich genutzten Flächen als bedeutende Eintragspfade. Etwa 131 t N_{tot}/a oder 55% der Gesamteinträge werden über den Grundwasserpfad realisiert. Die Phosphoreinträge werden dominiert durch den Eintragspfad Erosion, der gemäß der Grobanalyse mit etwa 5,3 t P_{tot}/a oder 35 % der Gesamteinträge zur Belastung des Kraichbaches beiträgt. Schon in der Bearbeitungszeit des Vorprojektes wurde der Quantifizierungsansatz für den erosionsbedingten Phosphoreintrag insofern verbessert, dass ortsspezifische Datenbestände für die Berechnung der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung verwendet wurden. Der rechnerische Eintrag erhöhte sich hierdurch auf fast 13 t P_{tot}/a . Die Auswirkung eines datenbedingten Skalenwechsels bei gleichem Berechnungsansatz konnte hierdurch nachdrücklich dokumentiert werden.

Bezüglich der Schwermetalle konnte die herausragende Bedeutung der siedlungsbedingten (kommunale Kläranlagen, Mischwasserentlastungen) und erosionsbedingten Einträge nachgewiesen werden. Metallspezifisch werden bis zu 65 % der Gesamteinträge durch Entlastungen der Mischkanalisationen und Einleitungen aus kommunalen Kläranlagen verursacht. Auffällig sind weiterhin die für einzelne Metalle sehr hohen Frachtanteile des Eintragspfades Erosion. Die Ursache hierfür ist allerdings nicht auf besonders hohe Bodengehalte, sondern auf den teilweise extrem hohen Bodenabtrag (bis zu 50 t/ha*a) im Einzugsgebiet zurückzuführen.

Angesichts dieser Ergebnisse wird deutlich, dass die Weiterentwicklung der Quantifizierungsansätze für die Pfade „Erosion“, „Grundwasser“ und „Siedlungsgebiete“ prioritär zu verfolgen ist.

Der vorliegende Statusbericht konzentriert sich neben der Darstellung der Arbeiten zur weiteren Verbesserung der Datengrundlage auf die Erläuterung der im Bereich des Gewässermonitorings und der Siedlungsentwässerung durchgeführten Arbeiten. Es werden erste Ergebnisse vertiefender Analysen und offene Fragen, die Schwerpunkte der zukünftigen Projektarbeit bilden, präsentiert.

2 Durchgeführte Arbeiten

Eine Vielzahl verschiedenster Arbeiten wurde im vergangenen Jahr geleistet, hier soll nun ein Überblick über diese gegeben werden. Auf zwei Aspekte wird dabei besonders eingegangen: die Messungen im Gewässer (Kapitel 2.2) und die Beschäftigung mit den urbanen Eintragspfaden (Kapitel 2.3).

2.1 Arbeitskreis

Innerhalb des projektbegleitenden Arbeitskreises, bestehend aus Vertreterinnen und Vertretern angrenzender Wissenschaften (IPF Uni Karlsruhe), land- und wasserwirtschaftlicher unterer Verwaltungs- und Sonderbehörden (LRA Karlsruhe, LUFA Augustenberg, ALLB Bruchsal, GWD NOR, LfU Karlsruhe) sowie der höheren Landesbehörden (RP Karlsruhe) fanden neben einer weiteren Sitzung zahlreiche Einzelgespräche statt, in denen siedlungswasserwirtschaftliche und landwirtschaftliche Teilfragen diskutiert wurden.

2.2 Datengrundlage

Im Vorprojekt wurde eine große Anzahl an projektrelevanten, digitalen Daten in den Bestand des Institutes aufgenommen und entsprechend den Anforderungen des Projektes aufbereitet. Der Bestand umfasst insbesondere Daten mit Flächenbezug. Dieser Bestand wird zukünftig durch zeitabhängige Daten ergänzt: z.B. Daten aus eigenen Monitoringprogrammen (Gewässer, Regenbecken), eigenen Begehungen (z.B. Drainagen, versiegelte Flächen) und Jahresdaten (z.B. Pegel, Niederschlag).

Statistische Daten

Zur Erstellung der Nährstoffbilanz wurden Regionaldaten des landwirtschaftlichen Sektors aus den Veröffentlichungen des Statistischen Landesamtes erhoben. Hierzu zählen die aktuelle landwirtschaftliche Flächenutzung, die Viehzählung sowie die Ertragsdaten der pflanzlichen und tierischen Produktion. Zur Vervollständigung und weiteren Disaggregation der landwirtschaftlichen Daten auf eine kleinere Betrachtungsebene wurden Erfahrungswerte aus der landwirtschaftlichen Verwaltung hinzugezogen.

Messdaten Boden

Von der LUFA Augustenberg konnte ein Auszug aus Analyseergebnissen aktueller Bodenproben

der sog. Grunduntersuchung bezogen werden (Jahre 1999 & 2000). Dieser Auszug enthielt (u.a.) den Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphor (P_{CAL} , ausgedrückt als P_2O_5) sowie einen Schlüssel zur Beschreibung des Probenahmeortes (z.B. Gemarkung, Nutzung, Bodenart). Eine mathematische Analyse der Mittelwerte und Standardabweichungen der Phosphorgehalte gruppiert nach verschiedenen Beschreibungsmerkmalen ergab, dass die beste Korrelation über die Nutzung vorgenommen werden kann. Dabei reicht eine Differenzierung nach „Acker“, „Reben“ und „sonstige“ für das Testgebiet aus.

Messdaten Gewässer

Mit der Erhebung der Gewässerdaten im Kraichbacheinzugsgebiet wurde im März 2001 begonnen. An strategischen Punkten der Teileinzugsgebiete werden im 14-tägigen Abstand Handbeprobungen zur Analyse der Gewässerqualität durchgeführt. Das Analyseprogramm umfasst die in Tabelle 1 aufgeführten Parameter.

Tabelle 1: Parameter, die bei den Gewässermessungen erhoben werden

Physikalische Parameter	Nährstoffe	Anionen
Wassertemperatur	Stickstoff (Nitrat, Nitrit, Ammonium)	Sulfat
Leitfähigkeit	Phosphor (Phosphat)	Chlorid

Abbildung 1 zeigt eine erste Auswertung der bisher aufgenommenen Daten. Deutlich zu erkennen ist der starke Gradient der Nitratgehalte auf einer Lauflänge von nur 30 km und die teilweise extrem hohen Nitratkonzentrationen in landwirtschaftlich intensivst genutzten Teileinzugsgebieten (Weiherbach).

Auf eine detaillierte Interpretation der bisherigen Untersuchungsergebnisse wird aufgrund des geringen Stichprobenumfangs verzichtet. Kurze Erwähnung sollen nur die ersten beiden Probenahmepunkte im Gewässerlängsverlauf „Schlangenbach vor Fischteich“ bzw. „Schlangenbach nach Fischteich“ finden. Der Probenahmepunkt „Schlangenbach vor Fischteich“ wurde in Quellnähe festgelegt und umfasst ein überwiegend bewaldetes Einzugsgebiet im Naturraum „Strom- und Heuchelberg“. Der Gewässerlauf ist durch zusammenhängende Waldflächen abgeschirmt und dieser Probenahmepunkt dient als Referenzpunkt mit vergleichsweise naturbelassenem Charakter. Mit dem Probenahmepunkt „Schlangenbach nach Fischteich“ soll der Einfluss eines Fischteichs auf die Gewässerqualität untersucht werden. Hier weisen die Ergebnisse des letzten Jahres auf eine Nitratsenke hin. Alle weiteren Messpunkte werden herangezogen um den Zusammenhang zwischen der unterschiedlichen Landnutzung innerhalb der Teileinzugsgebiete und der Gewässerqualität zu untersuchen.

Ziel ist es, im Laufe des Projektes eine ausreichende Datenbasis zur Validierung der berechneten Stoff- und Wasserhaushaltsgrößen zu schaffen.

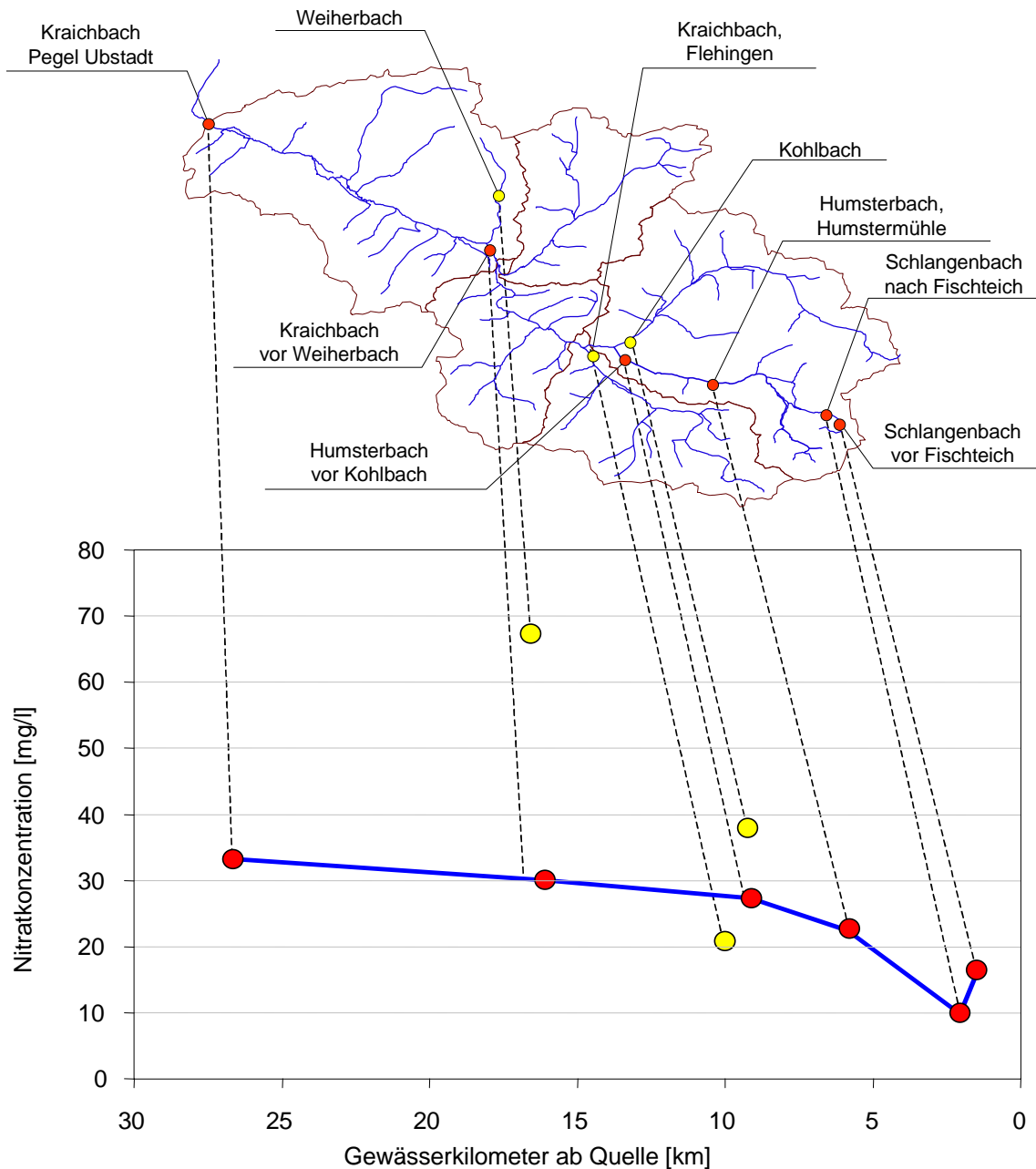


Abbildung 1: Nitratgehalte im Kraichbach und seinen Nebengewässern (75 % - Perzentile aus 18 Beprobungen).

2.3 Emissionen aus Siedlungsgebieten

Nach den Ergebnissen des Vorprojektes stammen aus den urbanen Räumen für alle Stoffe wesentliche Emissionen. Für Phosphor, Cadmium und Quecksilber stellen die kommunalen Kläranlagen den bedeutendsten Eintragspfad dar. Aber auch die Austräge aus Kanalisationen sind insbesondere für die Schwermetalle von großer Bedeutung.

2.3.1 Emissionen aus kommunalen Kläranlagen

Der Ausbau von Kläranlagen zur weitergehenden Nährstoffelimination ist eine klassische Maßnahme des Gewässerschutzes. Diese Option wurde in der Vergangenheit häufig umgesetzt, was einerseits zu Erfolgen im Gewässerschutz führte, andererseits unter Berücksichtigung von Kosten-Wirksamkeits-Aspekten heutzutage nur selten Spielraum für weitere Maßnahmen lässt.

Diese Aussage trifft auf weite Teile Deutschlands zu¹, so auch für das im Projekt untersuchte Testgebiet.

Für Schwermetalle gibt es kein spezifisches Klärverfahren. Die der Kläranlage zugeleiteten Schwermetallfrachten stammen größtenteils aus der atmosphärischen Deposition, dem Verkehr, den Haushalten, den Gewerbebetrieben und von Dachmaterialien. Maßnahmen zur Reduzierung dieser sind nur auf Ebene der Quellen möglich (z.B. Einführung von unverbleitem Benzin 1986).

Dennoch kann es von Nutzen sein auch die im Gebiet vorhandenen Kläranlagen sorgfältig zu betrachten.

- Die Kläranlage als Endglied eines Entwässerungsnetzes liefert wesentliche Hinweise auf das Betriebsverhalten der davor liegenden Kanalisation und Regenwasserbehandlung. Das hierfür zur Verfügung stehende Datenmaterial ist bezüglich Menge und Qualität vergleichsweise gut.
- Das Minderungspotenzial von Stoffeinträgen aus Kläranlagen, die nicht auf dem Stand der Technik sind, kann abgeschätzt werden. Es besteht damit die Möglichkeit, einen Quantifizierungsansatz zu entwickeln und eine Kosten-Nutzen-Abschätzung auch für Gebiete mit nicht vollständig ausgebaute Abwasserreinigung vorzunehmen.

Beide Kläranlagen im Testgebiet gehören nach der AbwasserVO der Größenklasse 4 an und unterliegen damit Anforderungen von 18 mg N_{GES}/L bzw. 2 mg P_{tot}/L , die deutlich unterschritten werden. Die Kläranlage der Stadt Kraichtal in Unteröwisheim wurde bereits beim Bau 1978 mit einer Denitrifikationsstufe sowie einer Phosphorelimination ausgestattet, die mittleren Ablaufkonzentrationen liegen seitdem bei etwa 10 mg N_{GES}/L bzw. 1,2 mg P_{tot}/L .

Die Kläranlage Flehingen (Abwasserzweckverband „Oberer Kraichbach“) wurde 1979 als mechanisch-biologische Kläranlage gebaut. Sie konnte die Anforderungen der AbwasserVO nicht erfüllen und wurde deswegen in den Jahren 1995 bis 1998 aufwendig erweitert. Um den Erfolg dieser Maßnahme zu demonstrieren, ist in Abbildung 2 (unter Annahme ansonsten gleicher Verhältnisse) ein Vergleich der N_{tot} Emissionen im Testgebiet vor und nach dem Kläranlagenausbau gezeigt. Es wird deutlich, dass alleine durch den Ausbau einer von zwei Kläranlagen die gesamten Stickstoffemissionen um 20 % gesenkt werden konnten, die Emissionen der Punktquellen sogar um über 50 %.

Der gewässerökologische Nutzen ist noch höher zu bewerten, als es durch den Vergleich der totalen Stickstofffrachten demonstriert werden kann, da vor dem Ausbau die größte Menge des Stickstoffes als fischtoxisches Ammonium emittiert wurde, welches nun überwiegend zu Nitrat oxidiert wird.

¹ Ausnahmen: Die Nachrüstung kleinerer Kläranlagen und der mitunter große Teil der Bevölkerung in ländlichen Gebieten, der an keine geordnete Abwasserentsorgung angeschlossen ist.

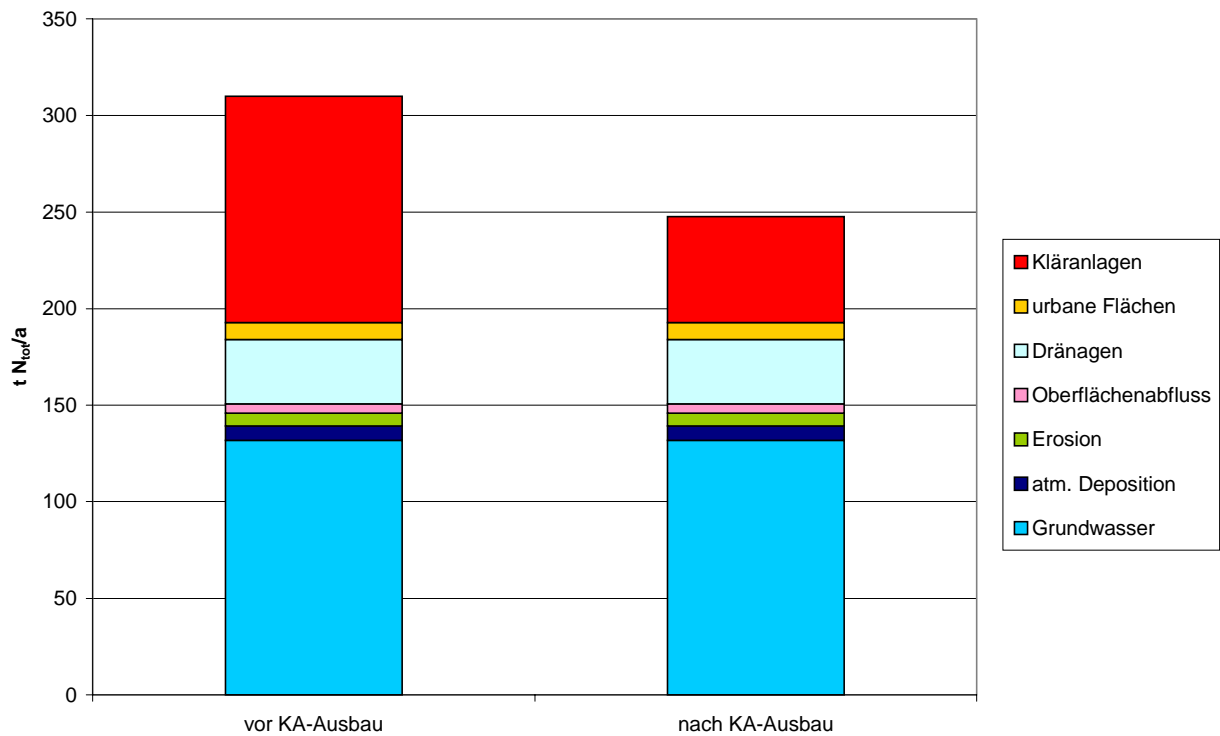


Abbildung 2: Totale Stickstoffemissionen [t N_{tot}/a] im Testgebiet vor und nach dem Ausbau der Kläranlage Flehingen (unter Annahme sonst gleicher Bedingungen)

2.3.2 Fremdwasserermittlung auf kommunalen Kläranlagen

Fremdwasserzuflüsse zu Kanalisationssystemen sind eine den Stoffaustrag wesentlich bestimmende Eingangsgröße. In keinem der heute verfügbaren Ansätze, weder in den makroskaligen Modellen noch in hydrologischen oder hydrodynamischen Schmutzfrachtmodellen ist es heute möglich, Fremdwasserzuflüsse in ihrer tatsächlichen Bedeutung zu berücksichtigen. Dies liegt nicht an den fehlenden Möglichkeiten der Modelle selbst, sondern vielmehr an der Unkenntnis über den zeitlichen und mengenmäßigen Anfall von Fremdwasser.

Nach eigenen Erfahrungen aus diversen Projekten führen hohe Fremdwasserzuflüsse zu einer mitunter tagelangen Entlastungstätigkeit von Regenbecken. Trotz der im Vergleich zu Niederschlagsereignissen geringen Entlastungsabflüsse führt dieses Phänomen zu einer Vervielfachung der in die Gewässer eingeleiteten Wasser- und Stofffrachten. In zwei Fallbeispielen, die das Ergebnis der konventionellen Schmutzfrachtsimulation mit umfangreichen Messungen (je 2 Jahre) vergleichen, konnte nachgewiesen werden, dass die berechneten Entlastungsfrachten in der Realität um den Faktor 3 resp. 5 überschritten wurden. Ausschlaggebend für diesen Befund waren ausschließlich hohe Fremdwasserspendsen während der Wintermonate. MICHALSKA & PECHER (2000) berichten von einer Überschreitung des erwarteten Entlastungsabflusses eines Regenüberlaufbeckens einer kleinen Gemeinde in Nordrhein-Westfalen um das 7- bis 10-fache.

Diese Beispiele verdeutlichen, dass eine realitätsnahe Berücksichtigung des Fremdwasserzuflusses zu Kanalisationen dringend geboten ist, um zu belastbaren

Abschätzungen der entlasteten Stofffrachten zu kommen. Übertragbare Daten von Regenbecken stehen dabei nicht zur Verfügung, da verlässliche Messungen fehlen.

Bezüglich Kläranlagen lässt sich der Fremdwasserzufluss allerdings methodisch zuverlässig und mit vertretbarem Aufwand bestimmen: Im Rahmen eines durch die LfU Baden-Württemberg geförderten Projektes (FUCHS & LUCAS 2001) wurde gemeinsam mit dem Projektpartner UFT das Verfahren des „gleitenden Minimums“ (UFT 1998) zur Quantifizierung der saisonalen und naturräumlichen Bedeutung von Fremdwasserzuflüssen in Mischsystemen an 34 Kläranlagen erfolgreich getestet. Unter Verwendung der täglich gemessenen Zuläufe von Kläranlagen kann mit dieser robusten Methode der im Gebiet anfallende Fremdwasserzuschlag bestimmt werden.

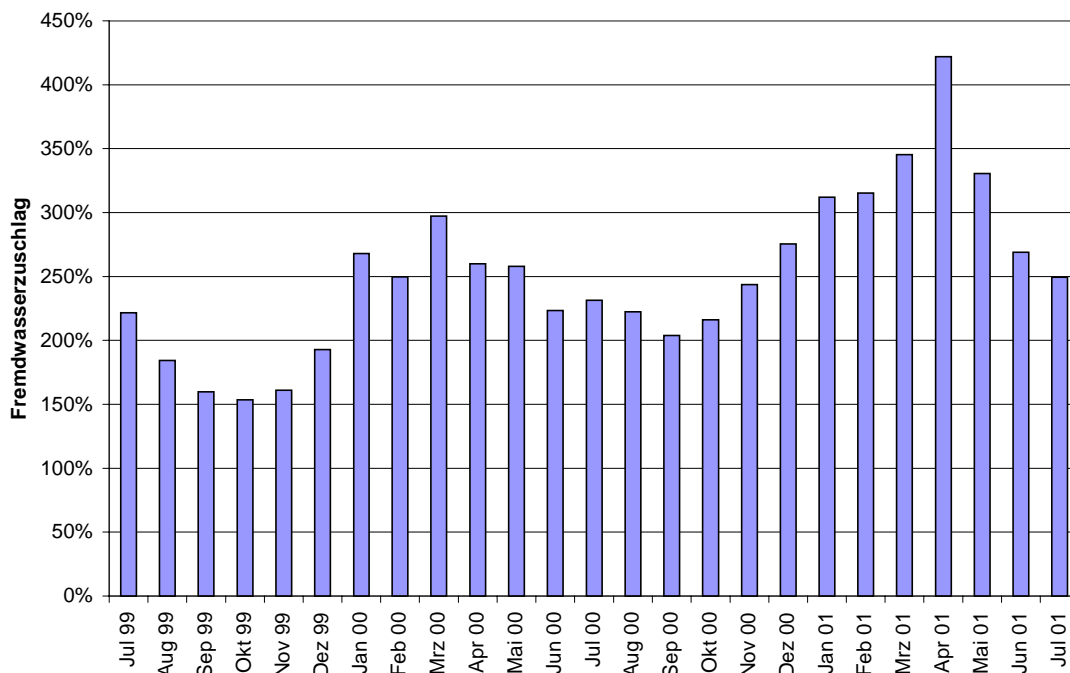


Abbildung 3: Fremdwasserzuschlag der Kläranlage berechnet nach der Methode des „gleitenden Minimums“ (monatl. Durchschnittswerte)

Abbildung 3 zeigt das Ergebnis der Berechnungen des Fremdwasserzuschlages (Quotient aus Fremdwasserzufluss und Schmutzwasserzufluss) für die Kläranlage in Unteröwisheim. Das Ergebnis bestätigt die Befunde aus oben genannter Studie zum Fremdwasseraufkommen in Baden-Württemberg:

- Die Kläranlage Unteröwisheim zeigt eine ausgeprägte Saisonalität des Fremdwasseraufkommens. Hohe Fremdwasserzuschläge ergeben sich in den Wintermonaten von November bis April. Die Maxima treten in der Regel in den Monaten März und April auf. Minimale Fremdwasserzuschläge werden am Ende des Sommerhalbjahres in den Monaten September und Oktober festgestellt. Bei keiner der in Baden-Württemberg untersuchten Kläranlagen konnte ein anderes jahreszeitliches Schwankungsverhalten nachgewiesen werden (FUCHS & LUCAS 2001).

- Die Fremdwasserzuschläge sind trotz der Betrachtung der Monatsmittelwerte deutlich höher als allgemein angenommen. Im Gegensatz zu den Annahmen aller bisherigen Modellansätze muss davon ausgegangen werden, dass der Betrieb von Kläranlage und Kanalnetz nicht regel- oder dimensionierungsgerecht erfolgt. Es ist eine bisher nicht berücksichtigte, signifikante Mehrbelastung der Gewässer zu befürchten.

2.3.3 Analyse der Kanalnetze

Die wesentliche Grundlage, über die ein Kanalnetz definiert wird, ist die Größe der angeschlossenen Flächen. Aus diesem Grund wurde in Zusammenarbeit mit dem Bauamt der Stadt Kraichtal damit begonnen, die tatsächlich ans Netz angeschlossenen versiegelten Flächen, die angeschlossenen Außengebiete sowie die Struktur des Kanalnetzes über Pläne und vor Ort Begehungen für alle 9 Stadtteile zu erfassen. Auch die Wechselwirkungen zwischen dem urbanisierten Einzugsgebiet und dem hydrologischen Gesamteinzugsgebiet des Gewässers werden in diesem Zusammenhang erfasst.

Für jeden Stadtteil wurden aus den erhobenen Daten „Systempläne“ erstellt, die auch über die vorhandenen Regenbauwerke Auskunft geben (siehe Abbildung 4).

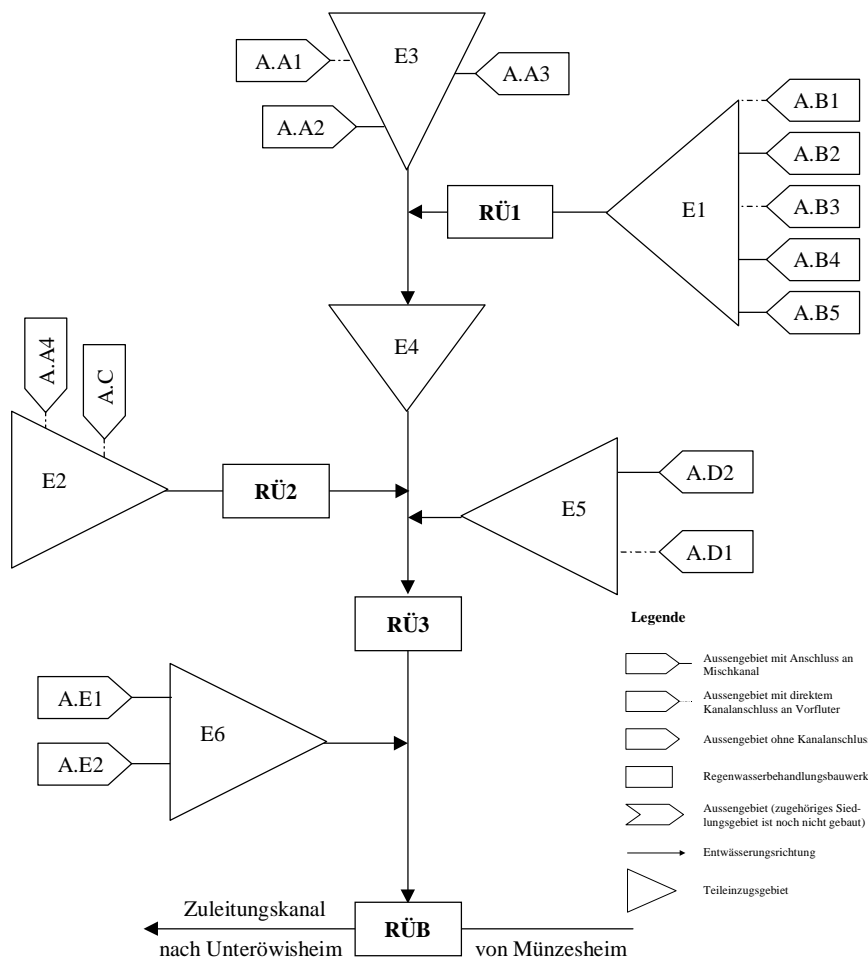


Abbildung 4: „Systemplan“ von Oberöwisheim, Stadt Kraichtal

Diese sind die Grundlage für jede weitere rechnerische Befassung mit dem Kanalnetz, sei es über grobe Abschätzungen oder mittels Simulationsprogrammen. Ein Vergleich verschiedener

Schätzmethode wurde bereits begonnen. Als Einstieg in die Simulation wird das Kanalnetzsimulationsprogramm SMUSI dienen, welches im vergangenen Jahr am Institut beschafft wurde.

Obwohl die kläranlagenscharfe Bestimmung von Fremdwasserzuflüssen (s.Kap. 2.3.2) bereits eine hohe Auflösung darstellt, wäre es für das Projekt wünschenswert, eine weitergehende Differenzierung vorzunehmen. Es kann mit hoher Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass die aus dem Fremdwasserzuschlag errechenbare Fremdwasserspende nicht über das gesamte Einzugsgebiet konstant ist. Vielmehr werden zum Einen aufgrund unterschiedlicher Lagen von Siedlungen (am Hang, in der Aue, ...) unterschiedliche Fremdwasserspenden erwartet, zum Anderen gibt es „Punktquellen“ von Fremdwasser, wie z.B. Brunnen, Quellen oder Außengebiete, die per Definition nicht gleichmäßig verteilt sind. Insbesondere die Elimination der Punktquellen kann ggf. eine sinnvolle Maßnahme darstellen.

Aus diesem Grund wird angestrebt, mit Unterstützung der projektbegleitenden Arbeitsgruppe Überwachungsmessungen an ausgewählten Regenbauwerken zu installieren. Die Messgröße sollte sich dabei auf den Wasserstand (mittels Druck- oder Ultraschallsonde) beschränken, wie z.B. von BROMBACH und WÖHRLE (1997) beschrieben. WILLEMS und HINZMANN fassten 2001 die Erfahrungen des Ruhrverbandes im Bereich der Kontrolle von Entlastungen aus Regenbecken wie folgt zusammen: „[...] Messungen [sind] zum optimalen Betrieb von Kanalisation und Regenbecken unerlässlich, sofern sich die Daten auf Anzahl und Dauer beschränken.“

Übergeordnetes Ziel ist es, eine Methode zu entwickeln, die unter Berücksichtigung örtlicher Gegebenheiten zuverlässige Schätzwerte für die jährlich entlastete Wassermenge liefert. Die Erfahrung vorausgegangener Projekte zeigt, dass die Ermittlung vertrauenswürdiger Entlastungsvolumina der entscheidende Schlüssel zur Berechnung von Entlastungsfrachten sind.

3 Ausblick

Die Stofffrachten aus punktuellen Quellen kann durch die Selbstüberwachungsverordnung der Kläranlagen, die dem laufenden Betrieb ein regelmäßiges Monitoring auferlegt, gut abgeschätzt werden. Die zukünftigen Aufgaben werden sich daher auf die diffusen Quellen in Form der Ortsbelastung und der Landwirtschaft konzentrieren. Im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft sind es die Sonderbauwerke, bei denen es an Sachdaten aus der messtechnischen Überwachung mangelt und das Kanalnetz mit seinen tatsächlich angeschlossenen Flächen. Im Bereich der Landwirtschaft kann der Stoffeintrag in den Boden über Bilanzen näherungsweise vorgenommen werden. Mit Hilfe der Erfahrungswerte der landwirtschaftlichen Verwaltung vor Ort sollte es möglich sein, ein befriedigendes Bild über die bestehende stoffliche Situation nachzuzeichnen. Kernaufgaben werden hier zeitliche Abbau- und Umsetzungsprozesse von Stoffen in der Bodenpassage zum Gewässer sein sowie eine vertiefte Betrachtung der Erosionsproblematik.

4 Literatur

- BEHRENDT, H., P. HUBER, D. OPITZ, O. SCHMOLL, G. SCHOLZ & R. UEBE (1999): Nährstoffbilanzierungen der Flussgebiete Deutschlands, Texte des Umweltbundesamtes, 75/99.
- BROMBACH, H. & C. WÖHRLE (1997): Entlastungsaktivität von Regenüberlaufbecken, Messung, Auswertung und Bewertung. In: Schmitt, T. (Hrsg.): Stoffströme in der Urbanhydrologie. Schriftenreihe des ISWW Karlsruhe, Bd. 86, Oldenbourg, München.
- FUCHS, S. & H.H. HAHN (Hrsg.) (1999): Schadstoffe im Regenabfluss IV. Abschlusspräsentation des BMBF-Verbundprojektes NIEDERSCHLAG. Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe (TH), Band 96, Oldenbourg, München.
- FUCHS, S. & S. LUCAS (2001): Quantifizierung der saisonalen und naturräumlichen Bedeutung von Fremdwasserzuflüssen in Mischsystemen, Endbericht, Projekt im Auftrag der LfU Baden-Württemberg, Karlsruhe. (unveröffentlicht)
- HAHN, H., S. FUCHS, A. BECHTEL & J. BUTZ (2001): Stoffstromanalysen für kleine bis mittlere Flussgebiete als Grundlage für die Planung und Umsetzung von Gewässerschutzmaßnahmen (Vorprojekt). BW-PLUS Vorhaben 20003, Endbericht. (unveröffentlicht)
- MICHALSKA, A. & K.H. PECHER (2000): Betriebliche und kostenmäßige Auswirkung des Fremdwassers auf die Kanalisation und die Kläranlage, Gewässerschutz Wasser Abwasser, Band 177, Aachen.
- 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)
- WILLEMS, G. & U. HINZMANN (2001): Auswertung von Wasserstandsmessungen an Regenbecken. gwf Wasser-Abwasser, 142, Nr. 11, S. 761 – 766.