

Forschungsbericht FZKA-BWPLUS

**Stoffstromanalysen für kleine bis mittlere Flussgebiete als
Grundlage für die Planung und Umsetzung von
Gewässerschutzmaßnahmen (Vorprojekt)**

Projektleiter: Prof. H. H. Hahn, Ph.D.

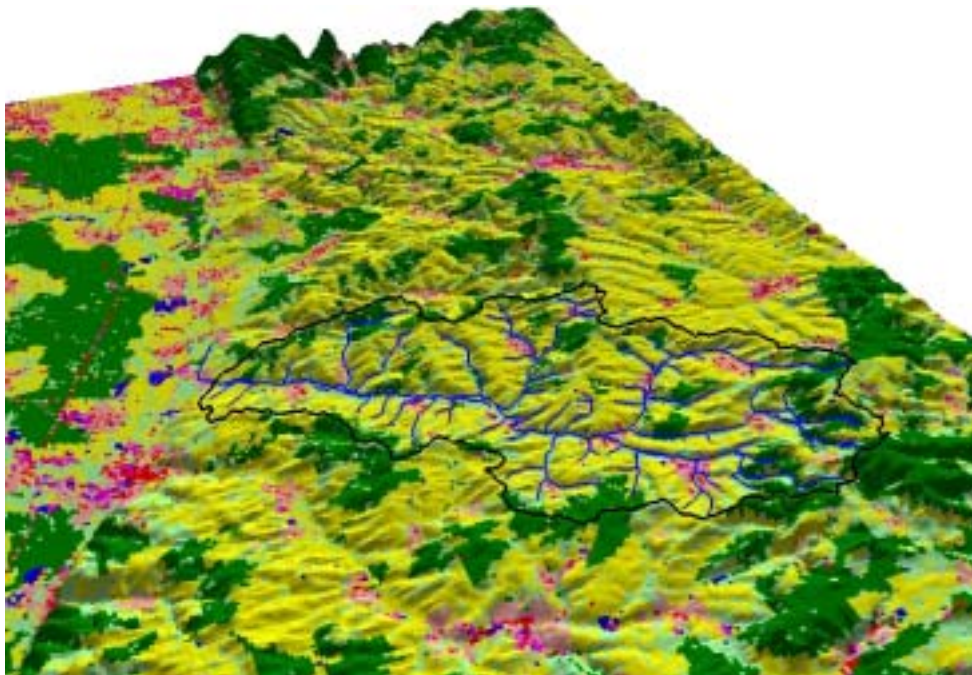
Dr. Ing. S. Fuchs

Projektbearbeiter/innen: Dipl. Biol. A. Bechtel

Dipl.- Ing. J. Butz

Förderkennzeichen: BWC 20003

Die Arbeiten des Programms Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung werden mit Mitteln
des Landes Baden-Württemberg gefördert



Januar 2002

Inhalt:

1	Einleitung	1
2	Zielsetzung	3
3	Material und Methoden	5
3.1	Datengrundlage	5
3.2	Berechnungsmethode	6
3.2.1	Punktquellen	7
3.2.2	Diffuse Quellen.....	8
4	Ergebnisse	10
4.1	Resultate der Grobanalyse.....	10
4.2	Maßnahmen zur Minderung der Stoffeinträge	12
4.3	Weiterentwicklung der Modellansätze am Beispiel der Erosion	14
5	Literatur	17

Abbildungen:

Abbildung 1: Landnutzung (links) und Digitales Höhenmodell (rechts) des Kraichbacheinzugsgebietes.....	5
Abbildung 2: : Einwohnerdichte (links) und Anteil der Einwohner ohne Anschluss an einen Sammelkanal (rechts) in den Gemeinden des Kraichbaches	6
Abbildung 3: Pfade und Prozesse von MONERIS (aus BEHRENDT et al. 1999)	7
Abbildung 4: Potenzielle Nährstoffeinträge in den Kraichbach	11
Abbildung 5: Potenzielle Schwermetalleinträge in den Kraichbach.....	12
Abbildung 6: Kontrollgrößen des Schwebstoffeintrages in Gewässer – Gegenüberstellung der Vorgehensweise bei der Grobbilanz und einem gebietsspezifischen Ansatz	15

Tabellen:

Tabelle 1: Liste weiterer digitaler Daten am ISWW zum Einzugsgebiet des Kraichbaches	6
Tabelle 2: Für die Berechnung der Kläranlagenfrachten verwendete Ablaufkonzentrationen und -wassermengen	8
Tabelle 3: Für die Berechnung der diffusen Emissionen verwendete Konzentrationen und Emissionsfaktoren (nach Pfaden)	9
Tabelle 4: Potenzielle Maßnahmen zur Minderung der Gewässerbelastung	13

1 Einleitung

Der Zustand von Gewässern – Oberflächenwasser und Grundwasser – steht in eindeutiger Abhängigkeit von Art und Intensität der Nutzung ihrer Einzugsgebiete. Ihr Schutz erfordert aus diesem Grund neben der Betrachtung der Gewässer selbst (hydromorphologische Qualitätskomponente) eine umfassende Analyse der Stoffströme (chemisch-physikalische Qualitätskomponente). 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. Hierbei ist es dringend geboten die wesentlichen, operablen Kontrollgrößen des Stofftransportes und der Stoffumsetzungen zu erkennen und in den zu entwickelnden Quantifizierungsansätzen zu berücksichtigen. Nur so können spezifische Maßnahmen oder Maßnahmenbündel zur Minderung der Gewässerbelastung zielgerichtet formuliert und bezüglich ihrer Wirksamkeit bewertet werden.

Die am 22.12.2000 in Kraft getretene „Wasserrahmenrichtlinie“ (EG 2000) der Europäischen Gemeinschaft setzt den rechtlichen Rahmen für die dargelegten Forderungen.

Aus fachlicher Sicht sind in Abhängigkeit von dem betrachteten Schutzgut (z.B. Fließgewässer, Grundwasser, Küstengewässer) resp. von Qualitätszielen oder Stoffgruppen unterschiedliche Anforderungen an die räumliche und zeitliche Auflösung der Analysenergebnisse zu stellen. So kann die Entscheidungsbasis im Zusammenhang mit dem Schutz der Küstengewässer beispielsweise durch Jahresfrachten bereitgestellt werden, während der Schutz von Fließgewässern stets der Berücksichtigung von Einzelereignissen (Konzentrationen) bedarf. Es empfiehlt sich daher eine abgestufte Vorgehensweise, wobei die Schnittstellen zwischen verschiedenen auflösenden Modellansätzen mit größter Sorgfalt zu behandeln sind.

Zur Abschätzung der in die Gewässer eingetragenen Jahresfrachten wurden in der jüngeren Vergangenheit umfassende methodische Ansätze vorgestellt. Exemplarisch seien genannt das Modellsystem MONERIS (BEHRENDT et al. 1999), das stetig weiterentwickelt wird, oder auch die im BMBF-Verbundprojekt NIEDERSCHLAG (FUCHS & HAHN 1999) entwickelten Quantifizierungsansätze für die urbanen Einzugsgebietsanteile. Diese und andere Modellansätze wurden in großen bis sehr großen Flussgebietseinheiten (1.000 bis 10.000 km², > 10.000 km²) erfolgreich zur Identifikation und Lokalisierung von Belastungsschwerpunkten eingesetzt. Maßnahmen zur Minderung der festgestellten Belastungen können auf Basis der bestehenden Modelle jedoch nicht oder nur in pauschaler Form abgeleitet werden, da sie in der Regel auf räumlich und zeitlich stark aggregierte Eingangsdatensätze zurückgreifen müssen. Lokale oder regionale Besonderheiten der Einzugsgebiete werden hierbei stark nivelliert.

Einleitung

Im Modellprojekt des Landes Baden-Württemberg „Seefelder Aach“ wurden basierend auf einer Analyse des Ist-Zustandes für ein mittelgroßes Flussgebiet (272 km²) Szenarien (Maßnahmenkombinationen) für den Bereich der Siedlungen, der Landwirtschaft und der Gewässerstruktur abgeleitet und bezüglich ihrer Kostenwirksamkeit geprüft (BORCHARDT et al. 2000). Die methodischen Ansätze wurden im wesentlichen den oben angeführten Vorhaben entnommen. Die empfohlenen Maßnahmen sind exemplarischer Natur und als Entscheidungsgrundlage für weitere Analysen anzusehen. Ein geschlossener und übertragbarer Modellansatz wurde in diesem Vorhaben nicht erarbeitet.

2 Zielsetzung

Aus den im Einleitungstext kurz skizzierten fachlichen und rechtlichen Grundlagen ergibt sich das übergeordnete Ziel dieses Vorhabens:

Für mittelgroße Flussgebiete¹ (100-1.000 km²) soll ein übertragbarer Modellansatz zur Abschätzung der Stoffeinträge ins Gewässer entwickelt werden, der es erlaubt konkrete Maßnahmen zur Minderung der Einträge zu formulieren.

Zur Erreichung dieses Ziels sind verschiedene Anforderungen an die Projektarbeit zu stellen, die von der Auswahl des Testgebietes über die Einbindung unterschiedlicher Fachdisziplinen und Fachverwaltungen bis zur Nutzung von lokalem Expertenwissen reichen. Auf der Grundlage der Bilanzergebnisse aus großen Flussgebieten (z.B. Rhein, Elbe, Neckar, Lahn) leiten sich bezüglich der Auswahl des Testgebietes die folgenden Anforderungen ab:

1. Im Gebiet muss eine zu den aus großräumigen Bilanzierungen resultierenden Befunden kohärente und reale Problemstellung gegeben sein.
2. Das Gebiet muss in einer Größenordnung liegen, die es ermöglicht, einen direkten Bezug zwischen Modellergebnis und konkreter Maßnahme herzustellen.

Das Einzugsgebiet des Kraichbaches erfüllt beide Forderungen. Auf Grund der gegebenen Pedologie und Klimasituation ist das Kraichbachgebiet als landwirtschaftliches Vorzugsgebiet anzusehen, was nicht zuletzt an der Gütesituation des Kraichbaches deutlich wird. In der Vergangenheit wurden umfangreiche Maßnahmen zur Minderung der Stickstoffausträge und des Bodenabtrags realisiert, woraus sich die Möglichkeit ergibt die Wirksamkeit einzelner Maßnahmen explizit zu quantifizieren. Darüber hinaus gestattet die Datenlage und Gebietsgröße ein räumlich hochaufgelöstes Arbeiten. Hierdurch können nicht nur Bilanzierungsergebnisse präzisiert, sondern auch funktionale Beziehungen verdeutlicht werden.

Eine der wesentlichen Kontrollgrößen des Stofftransportes in Gewässereinzugsgebieten sind die Wasserflüsse. Es ist daher erforderlich detaillierte Informationen zum Wasserhaushalt des Einzugsgebietes zu haben. Im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg hat das Ingenieurbüro Ludwig das Wasserhaushaltsmodell LARSIM für die Anwendung im Kraichbach kalibriert und verifiziert (LUDWIG et al. 2000). In Kürze wird dieses den Projektmitarbeitern im Rahmen einer Einführung übergeben. Für die Projektarbeit steht damit ein prozessdetailliertes Modell mit einer räumlichen Auflösung von einem Kilometer und einer zeitlichen Auflösung von einem Tag zur Verfügung.

¹ Definition nach Wasserrahmenrichtlinie 12/2000

Zielsetzung

Neben dieser unmittelbaren Zusammenarbeit konnte über einen projektbegleitenden Arbeitskreis die Mitarbeit weiterer Disziplinen und Behörden sichergestellt werden. Die Einbindung der Agrarwissenschaften (LUFA) und der Landwirtschaftsverwaltung (ALLB) in die Projektarbeit ist hierbei von besonderer Bedeutung. Eine erste, ergebnisreiche Sitzung des projektbegleitenden Arbeitskreises fand am 27.11.2000 statt. Nicht zuletzt aus dieser Besprechung ergaben sich die folgenden Teilziele:

1. Beschreibung und Typisierung des Untersuchungsgebietes anhand übergeordneter (nicht anthropogen beeinflusster) Kontrollgrößen (z.B. Hydrologie, Topologie, Pedologie, Geologie).
2. Erhebung aller nutzungsabhängigen Eingangsdaten zur Quantifizierung der Stoffflüsse im Untersuchungsgebiet (z.B. Einwohnerdichten, Art und Funktionsweise der urbanen Entwässerungssysteme, Nährstoffbilanz landwirtschaftlicher Nutzflächen u.a.).
3. Analysen der Sensitivität einzelner Datengruppen mit dem Ziel den benötigten Eingangsdatensatz sinnvoll einzugrenzen.
4. Grobanalysen der Stoffströme im Einzugsgebiet, um Arbeitsschwerpunkte bei der Weiterentwicklung der Modellansätze und prioritär zu verfolgende Handlungsoptionen offen zu legen.
5. Formulierung potenzieller Maßnahmen zur Minderung der Stoffeinträge.
6. Weiterentwickelte Emissionsanalyse unter Berücksichtigung lokaler und regionaler Bedingungen (z.B. Verteilung der Nutzungsintensitäten, Retentionspotenzial u.a.) und Einbau zielführender Maßnahmen in die Quantifizierungsansätze (z.B. Art der Bodenbearbeitung, Gewässerrandstreifen, Steigerung der Wirksamkeit der Regenwasserbehandlung u.a.).
7. Immissionsanalyse zur Verifikation der Berechnungsergebnisse.
8. Praxis- und anwendergerechte Aufbereitung des Gesamtmodells.

Die aufgeführten Teilziele sind nicht zwingend in der dargelegten Chronologie zu erarbeiten. Es sind vielmehr Rückkopplungen zu berücksichtigen, so dass für einzelne Aufgaben eine iterative Herangehensweise erforderlich wird. Im Rahmen des Vorprojektes wurde vor allem im Bereich der Teilziele 1, 2, 4, 5 und 6 gearbeitet.

Ein Schwerpunkt lag dabei in der Recherche der erforderlichen Grundlagendaten zur Erstellung einer Grobbilanz und der Einbindung der Daten in das Geografische Informationssystem (Arc-Info, Arc-View). Auf der Basis der erstellten Grobbilanz wurden die zukünftigen Arbeitsschwerpunkte festgelegt und eine Liste der potenziellen Maßnahmen zur Minderungen der Stoffausträge erstellt. Schließlich wurde am Beispiel der Erosion verdeutlicht welche Auswirkung die Nutzung ortsspezifischer Datensätze hat (siehe 4.3).

3 Material und Methoden

3.1 Datengrundlage

Im Rahmen der Vorphase konnte eine große Anzahl an projektrelevanten, digitalen Daten in den Bestand des Institutes aufgenommen und entsprechend der Anforderungen des Projektes aufbereitet werden. Beispielhaft werden im folgenden einige Grundlagen dargestellt.

Die beiden wichtigsten Geodatenätze, die Landnutzung und das Digitale Höhenmodell (DHM) liegen flächendeckend vor, ebenso der digitalisierte Verlauf des Kraichbaches und seiner Nebengewässer. Aus dem DHM wurden im Geographischen Informationssystem die Grenzen des Einzugsgebietes berechnet (Abbildung 1). Darüber hinaus wurden die für den Erosionsprozess wichtigen Größen Hanglänge und Gefälleverhältnisse unter Nutzung des DHM ermittelt.

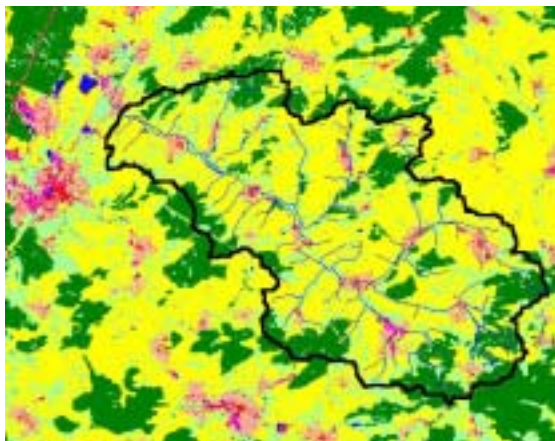


Abbildung 1: Landnutzung (links) und Digitales Höhenmodell (rechts) des Kraichbacheinzugsgebietes

Die politischen Grenzen sind bis zur Ebene der Gemeinden vorhanden, mit ihnen können umfangreiche statistische Datensätze verknüpft werden (Abbildung 2). Dunklere Graustufen entsprechen höheren Werten. Im weiteren Projektverlauf ist zu prüfen ob die Einbeziehung von Gemarkungsgrenzen und von auf Gemarkungsebene vorliegenden Daten mit einer Verbesserung der Bilanzergebnisse im Sinne des Projektzieles verbunden ist.

Material und Methoden

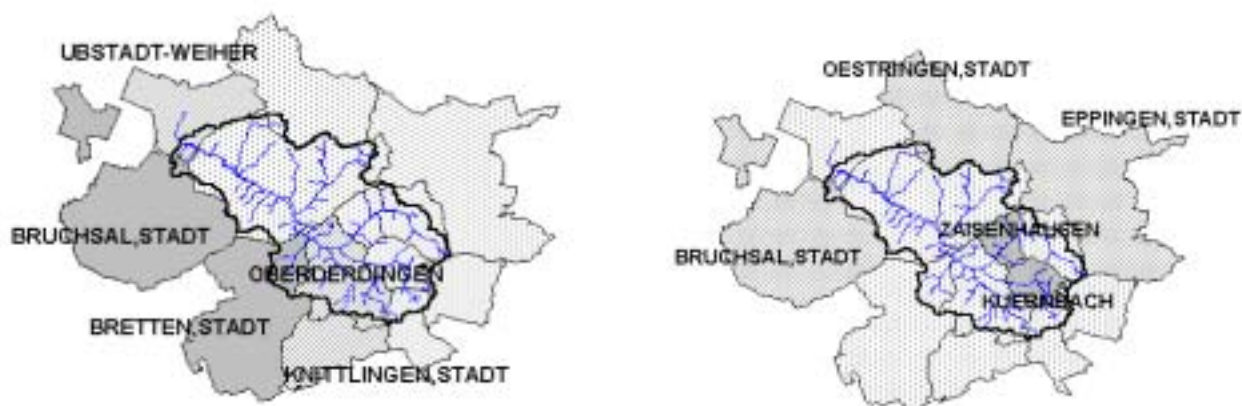


Abbildung 2: : Einwohnerdichte (links) und Anteil der Einwohner ohne Anschluss an einen Sammelkanal (rechts) in den Gemeinden des Kraichbaches

Weitere Grundlagendaten, die teilweise Eingang in die Grobbilanz gefunden haben sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Es handelt sich hierbei um hydrologische, geographische, statistische sowie Erhebungsdaten aus dem Bereich der Siedlungsentwässerung. Zu den beschreibende Daten des Naturraums zählen die Niederschlagsdaten in Form von Gebietsniederschlägen, die topographischen Karten im Maßstab 1:50.000 und 1:25.000 und die Bodentypen. Da sich besonders die Aussagekraft der Bodenkarten im Maßstab 1:200.000 als zu großmaßstäbig für das Untersuchungsgebiet erwiesen hat, wird zukünftig für die Entwicklung der Ansätze die Einführung von kleinermaßstäbige Bodenkarten im Maßstab 1:25.000 als unumgänglich erachtet. Ebenfalls zur Verfügung stehen in hoher Auflösung die im Wasserhaushaltsmodell LARSIM verwendeten Systemdaten. Insbesondere der Bereich der Siedlungsentwässerung wurde umfassend recherchiert.

Tabelle 1: Liste weiterer digitaler Daten am ISWW zum Einzugsgebiet des Kraichbaches

Name	Art	Beschreibung
Niederschlagsdaten	Messdaten	Monatssummen der umgebenden Messstationen über 3 Jahre
Abflussdaten	Messdaten	tägliche Abflüsse über 10 Jahre
Abflusskomponenten	Simulationsergebnisse	Daten aus LARSIM über 10 Jahre
Topographische Karte	Vermessungsdaten	TK 1:50.000, TK 1:25.000
Entwässerungssysteme	AKP, statistische Daten	Art und Ausbaugrad der Siedlungsentwässerung
Kläranlagenabflüsse	Messdaten	Daten der EigenkontrollVO der Kläranlage Flehingen
Bodentypen	Erhebungsdaten	Bodenübersichtskarte 1:200.000

3.2 Berechnungsmethode

Die zugrundegelegten Berechnungsansätze der Grobanalyse entsprechen mit geringen Modifikationen den im Modellsystem MONERIS und im Projekt NIEDERSCHLAG

entwickelten Grundlagen. Zudem konnten für die Berechnung der Schwermetallemissionen Ergebnisse des UBA-Vorhabens „Bilanzierung des Eintrages prioritärer Schwermetalle in Gewässer“ (BÖHM et al. 2000), das ebenfalls vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft bearbeitet wurde, für die Bilanz genutzt werden.

Es wurden 7 Eintragspfade (Abbildung 3) berücksichtigt. Die hierfür erforderlichen Datensätze haben teilweise einen direkten Bezug zum Testgebiet, andere Eingangsdaten wurden beim gegenwärtigen Bearbeitungsstand aus strukturell und naturräumlich ähnlichen Einzugsgebieten in Baden-Württemberg abgeleitet. Bei der Frachtberechnung kam sowohl der Ansatz über spezifische Oberflächenpotenziale und entsprechende Flächen als auch der über spezifische Konzentrationen und entsprechende Wassermengen zum tragen.

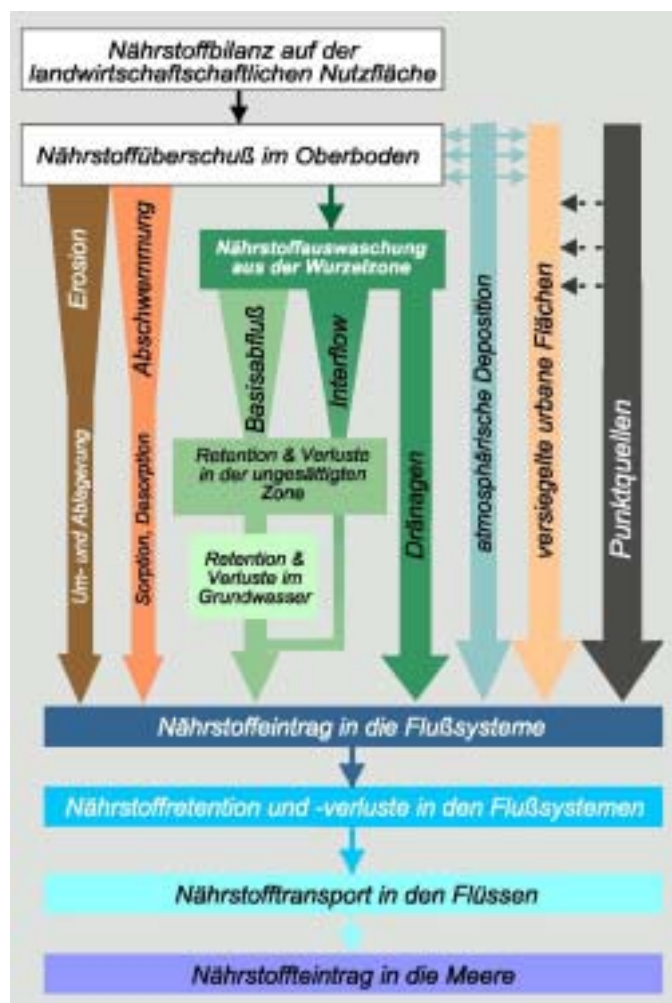


Abbildung 3: Pfade und Prozesse von MONERIS (aus BEHRENDT et al. 1999)

3.2.1 Punktquellen

Da es im Testgebiet keine industriellen Direkteinleiter gibt, sind die beiden Kläranlagen in Unteröwisheim und Flehingen die einzigen als Punktquellen zu betrachtenden Objekte.

Material und Methoden

Bezüglich der behandelten Wassermengen und der Ablaufkonzentrationen der Nährstoffe konnte auf die umfangreichen Datengrundlage der Eigenkontrolle zurückgegriffen werden. Für Unteröwisheim wurden die Messwerte der letzten fünf Jahre berücksichtigt. Da die Kläranlage Flehingen kürzlich umgebaut wurde und sich danach längere Zeit in der Einfahrphase befand, wurden nur aktuelle Werte berücksichtigt. Die Ablaufkonzentration des organischen Stickstoffes wurde konstant mit 2,0 mg/l angenommen. Für die Schwermetalle wurden für Baden-Württemberg repräsentative Ablaufkonzentrationen angesetzt (BÖHM et al. 2000). Die in der Berechnung genutzten Werte können aus Tabelle 2 entnommen werden.

Tabelle 2: Für die Berechnung der Kläranlagenfrachten verwendete Ablaufkonzentrationen und -wassermengen

Nährstoffe [mg/l] / Ablaufwassermenge [m ³ /a]						
KA Unteröwisheim			KA Flehingen			konstant
P _{ges}	N _{ges}	Ablauf	P _{ges}	N _{ges}	Ablauf	N _{org}
1,27	9,70	2.727.700	0,61	4,05	3.788.041	2,00
Schwermetalle [µg/l]						
Cd	Hg	Cu	Pb	Cr	Ni	Zn
0,39	0,17	12,30	3,04	4,27	6,48	73,00

3.2.2 Diffuse Quellen

Bezüglich der Nährstoffe wurden die Emissionen der diffusen, nicht-urbanen Pfade mit Unterstützung von Herrn Dr. Behrendt direkt mit dem Modell MONERIS berechnet. Die aus der bundesweiten Bilanzierung stammenden makroskaligen Daten konnten dabei teilweise durch gebietsspezifische Daten aus der Datenbank des Projektes ergänzt werden, dies betraf z.B. die Landnutzungsverteilung, Informationen über die Geländeneigung, die Monatssummen der Gebietsabflüsse und die Anteile der verschiedenen Bodentypen.

Aufgrund des verschiedenen Transport- und Transformationsverhaltens der Schwermetalle wurden die Modellansätze für diese Gruppe gegenüber denen der Nährstoffe teilweise modifiziert (s. BÖHM et al. 2000). Der Eintragspfad „versiegelte urbane Flächen“ wurde gemeinsam für die Nährstoffe und die Schwermetalle berechnet. Bei allen eigenen Berechnungen wurden grundsätzlich ebenfalls makroskalige Eingangsdaten verwendet aber wenn möglich durch solche mit kleinräumigem Bezug ersetzt, z.B. für die Entlastungsraten der Mischsysteme oder die Anteile der dränierten Flächen. Die wesentlichen stofflichen Eingangsdaten (Konzentrationen, Emissionsfaktoren) sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Für die Berechnung der diffusen Emissionen verwendete Konzentrationen und Emissionsfaktoren (nach Pfaden)

Pfad Bezeichnung Wert [Einheit]	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Zn
Erosion Oberbodengehalt [mg/kg]	0,2	36	19	0,1	27	27	60
Abschwemmung Oberflächenpotenzial [g/(km ² *a)]	1,60	3,95	23,71	0,02	15,81	7,90	134,35
Grundwasser (geogen) Konzentration [µg/l]	0,018	1,5	1	0,01	1,1	0,83	3,5
Drainagen Konzentration [µg/l]	0,4	1,2	7,1	0,05	1,8	2	80
atm. Deposition Deposition [g/(ha*a)]	2	5	30	0,2	15	40	250
vers. urbane Flächen Oberflächenpotenzial [g/(km ² *a)]	7	70	312	2	88	154	2130
vers. urbane Flächen einwohnerspez. Tagesfracht [mg/d]	0,45	4,50	22,50	0,15	6,00	15,10	74,50

4 Ergebnisse

Ein Schwerpunkt des Vorprojektes lag in der Recherche der erforderlichen Grundlagendaten zur Erstellung einer Grobbilanz und der Einbindung der Daten in das Geografische Informationssystem (Arc-Info). Auf der Basis der erstellten Grobbilanz wurden die zukünftigen Arbeitsschwerpunkte festgelegt und eine Liste der potenziellen Maßnahmen zur Minderungen der Stoffausträge erstellt. Schließlich wurde am Beispiel der Erosion verdeutlicht welche Auswirkung die Nutzung ortsspezifischer Datensätze hat.

4.1 Resultate der Grobanalyse

Abbildung 4 zeigt die mit der Grobanalyse berechneten jährlichen Phosphor- und Stickstofffrachten, welche in den Kraichbach und seine Nebengewässer oberhalb dem Pegel Ubstadt-Weiher eingetragen werden. Neben den absoluten Frachten zeigt die Abbildung die relative Bedeutung einzelner Eintragspfade. Es wird deutlich, dass für Phosphor und Stickstoff grundsätzlich verschiedene Eintragspfade von Bedeutung und somit verschiedene Maßnahmenoptionen offen sind. Das Gesamtergebnis deckt sich mit den Erfahrungen aus anderen, größeren Einzugsgebieten. Dies lässt sich anhand der flächenspezifischen Frachten ($P_{ges} = 0,1 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}$, $N_{ges} = 1,55 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}$), die als mittel bis hoch anzusehen sind, sowie an den Beiträgen einzelner Eintragspfade festmachen. Zu einem gewissen Teil sind diese Übereinstimmungen darauf zurückzuführen, dass die Grobbilanz auf Datensätze zurückgreift, die hochaggregiert sind und mittlere Bedingungen wiedergeben. Es ist daher davon auszugehen, dass nach vollständiger Einbeziehung gebietsspezifischer Daten erhebliche Änderungen/Differenzierungen auftreten werden.

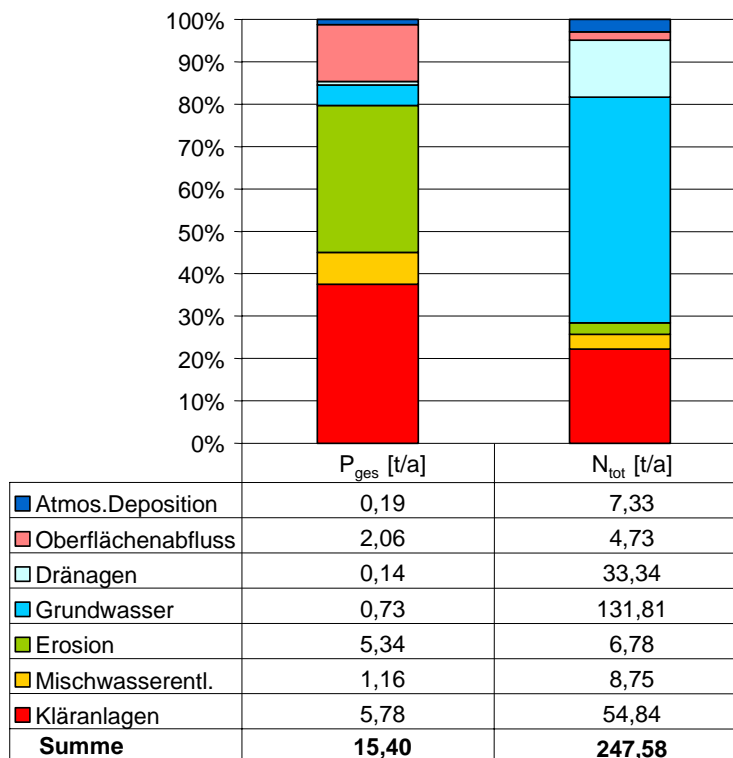


Abbildung 4: Potenzielle Nährstoffeinträge in den Kraichbach

Für die in Abbildung 5 dargestellten Schwermetallfrachten gelten grundsätzlich die gleichen Feststellungen wie für die Nährstoffe. Auch hier können die flächenspezifischen Frachten in das bekannte Spektrum eingeordnet werden und liegen eher an dessen oberen Ende (z.B. Pb Rhein = 0,6 kg/km²*a, Neckar = 1,7 kg/km²*a, Kraichbach = 1,3 kg/km²*a). Auffällig sind allerdings die hohen Anteile der erosionsbedingten Schwermetallfracht, die nicht auf besonders hohe Bodenkonzentrationen, sondern den hohen Bodenabtrag zurückzuführen sind. Verschiedene, im Testgebiet realisierte Maßnahmen zur Erosionsminderung sind in den Berechnungen zu Abbildung 5 nicht berücksichtigt, dennoch ist zu erwarten, dass die Bedeutung der Erosion nach Einbeziehung gebietsspezifischer Daten noch steigen wird (s. Kapitel 4.4).

Ergebnisse

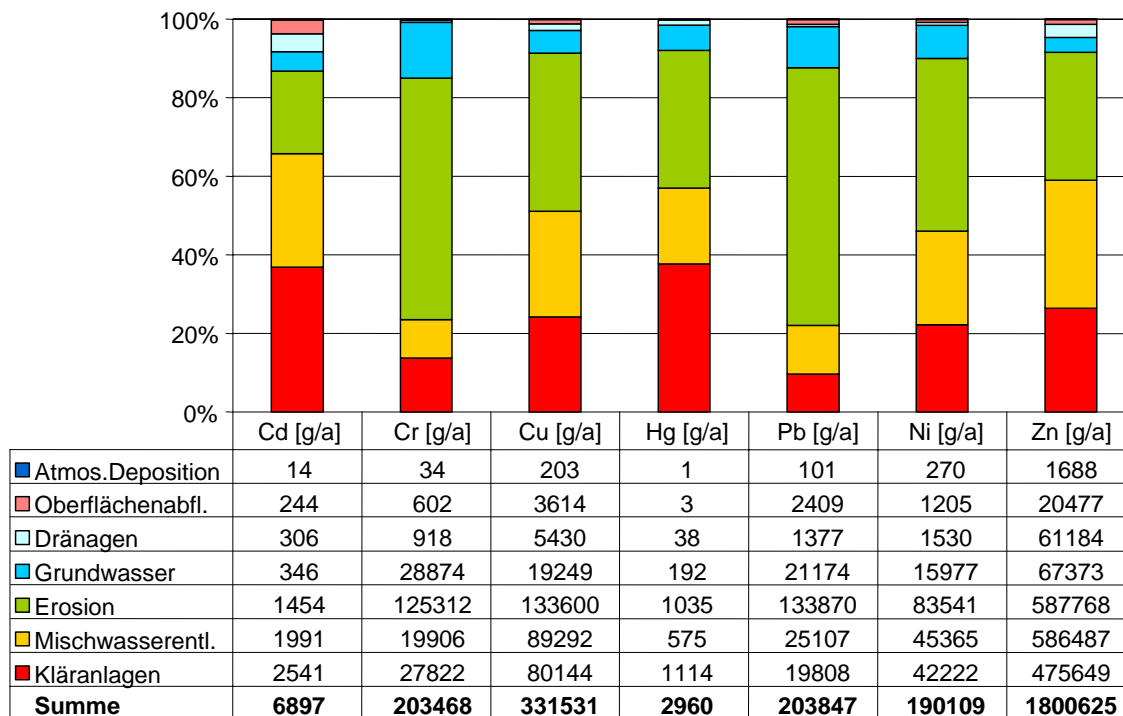


Abbildung 5: Potenzielle Schwermetalleinträge in den Kraichbach

Trotz der zu erwartenden Differenzierungen, lässt sich anhand der dargestellten Grobbilanz eine Rangliste der im Kraichbacheinzugsgebiet dominierenden Eintragspfade und damit eine Liste prioritär zu verfolgender Maßnahmen aufstellen. Es wird deutlich, dass Maßnahmen zur Minderung der Stoffeinträge über die Erosion sowie Maßnahmen zur Minderung der Stickstoffverlagerung ins Grundwasser an erster Stelle zu nennen sind. Daneben sind mit Blick auf die Schwermetalle auch die Einträge durch Kanalisationsentlastungen detailliert zu betrachten. Dies erscheint nicht zuletzt deshalb erforderlich, weil sowohl die stofflichen Eingangsdaten als auch die Quantifizierungsansätze mit vergleichsweise großen Unsicherheiten verbunden sind.

4.2 Maßnahmen zur Minderung der Stoffeinträge

Eine Übersicht möglicher Maßnahmen zur Minderung der Stoffeinträge und der hydraulischen Gewässerbelastungen wurde im Pilotprojekt „Seefelder Aach“ vorgestellt. Diese Übersicht beinhaltet auch eine Abschätzung der zu erwartenden Belastungsminderungen (Reduzierung der Jahresfrachten) und der mit den Einzelmaßnahmen verbundenen Jahreskosten. Weitere Arbeiten (AID 1994, AUERSWALD 1993, FELDWISCH et al. 1998, LFU 1994, SCHWERTMANN et al. 1987, WERNER et al. 1991) bilden die Grundlage zur Aufstellung des in Tabelle 4 dargestellten Maßnahmenplans.

Tabelle 4: Potenzielle Maßnahmen zur Minderung der Gewässerbelastung

Pfade	Probleme	Maßnahmen	Datengrundlage
Hofabläufe	Abschwemmung von Ernterückständen, Dünger und Pflanzenschutzmitteln	Auffangvorrichtungen, Zufuhr zur Kanalisation, dezentrale Abwasserbehandlung	Weierbachprojekt, Erhebungsuntersuchung
Abdrift	Verdriftung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln	witterungsangepasste Ausbringung, verbesserte Ausbringungstechnik	Weierbachprojekt
Erosion	Bodenabtrag und Eintrag von partikelgebundenen Nähr- und Schadstoffen	ackerbaulich: Änderung der Fruchtfolge, Verbesserung der Bodenstruktur kulturtechnisch: Mulch-/Direktsaat, Konturnutzung, konservierende Bodenbearbeitung nachsorgend/ergänzend: Ufer- und Ackerrandstreifen	Landnutzungsdaten, ALLB, Weierbachprojekt, abgeschlossene Erosionsuntersuchungen, Bodendaten aus Wasserschutzgebieten (LUFA)
Oberflächenabfluss, Grundwasser	Abschwemmung und Auswaschung von gelösten Nähr- und Schadstoffen	ackerbaulich: verbesserte Güllbewirtschaftung, angepasste Düngung, eiweißreduziertes Tierfutter, Verbesserung der Bodenstruktur kulturtechnisch: witterungsangepasste und pflanzengerechte Ausbringung, nachsorgend/ergänzend: Ufer- und Ackerrandstreifen	Landnutzungsdaten, ALLB, gemeindebezogene Tierhaltungsdaten (LIS) Stickstoffbilanzen der DüngeVO, Analysen im Rahmen der Klärschlammdüngung, N _{min} -Untersuchungen (LUFA), Analysedaten aus Wasserschutzgebieten
Drainagen	Austrag von gelösten Nähr- und Schadstoffen	ackerbaulich: Reduzierung von Nährstoffüberschüssen kulturtechnisch: Stillegung der Drainagen nachsorgend/ergänzend: Extensivierung oder Brachlegung von vernässten Flächen, Wiedervernässung	Erhebungsuntersuchung, Stickstoffbilanzen der DüngeVo, Bodenproben der Klärschlammausbringung, Daten der Düngberatung (ALLB)
Direkteintrag	Direkteintrag von Nährstoffen ins Gewässer	Uferrandstreifen, Abzäunung der Gewässer	Landnutzungsdaten, Erhebungsuntersuchung
Kläranlagen	kontinuierliche Stoffeinleitung	Ausbau d. Anlagentechnik Verbesserung d. Betriebsweise	Zu-/Ablaufwerte, Kläranlagendaten
Mischwasserentlastungen	diskontinuierliche Stoffeinträge, hydraulische Belastung	einzugsgebietsbezogen: Entsiegelung, Abkoppelung von Außenbereichen, Fremdwassersanierung, Netzbewirtschaftung, Betriebsüberwachung anlagebezogen: Ausbau der Regenwasserbehandlung, Erhöhung der Drosselabflüsse	Kanalnetzdaten, Fernwirkungsdaten, Erhebungsuntersuchung
dezentrale Abwasserreinigung	Nähr- und Zehrstoffleitung	regelmäßige Wartung, Anschluss an zentrale Kläranlage, Ausbau	Daten der Gemeinden, Erhebungsuntersuchung

Ergebnisse

Tabelle 4 zeigt, gegliedert nach Eintragspfaden und Problemstellungen, das Gesamtspektrum der in der Literatur dokumentierten Handlungsoptionen und enthält keine Wichtung der im Testgebiet vorrangig zu berücksichtigenden Maßnahmen. In Spalte 4 sind die zur Bearbeitung erforderlichen Datengrundlagen und die zu nutzenden Datenquellen aufgeführt. Es wird deutlich, dass im Kraichbachgebiet beste Voraussetzungen gegeben sind, um die einzelnen Maßnahmen in quantitativer Form in die Modellbildung einzubeziehen.

Wie schon erläutert, setzt die Szenariofähigkeit des zu erstellenden Modells eine Einbindung der Maßnahmenwirksamkeit in die Quantifizierungsansätze voraus. Für alle Maßnahmen, die zum Beispiel eintragswirksame Flächen im urbanen und landwirtschaftlichen Bereich reduzieren, ist dies heute schon gegeben. Für andere, die beispielsweise eine prozentuale Minderung der Stoffeinträge bei gleichen Flächengrößen bewirken, müssen entsprechende Ansätze entwickelt werden. Neben den in der Literatur zu findenden Wirksamkeiten kann hierzu auf eine langjährige Datenbasis (11 Jahre) zurückgegriffen werden, die im Rahmen der SchALVO und MEKA-Programme geschaffen wurde. Der Erfolg von Düngeempfehlungen durch lässt sich beispielsweise durch den Vergleich der Bodengehalte von 1989 und 2000 abgeschätzt.

4.3 Weiterentwicklung der Modellansätze am Beispiel der Erosion

Der Kraichgau gehört hinsichtlich der Problematik der Bodenerosion zu den besonders gefährdeten Landschaften. In Messprogrammen wurden durchschnittliche Bodenverlagerungen von 20 – 50 t/(ha*a) festgestellt (ALLB, 2000).

Zur quantitativen Beschreibung des Erosionsproblem es stehen grundsätzlich zwei Ansätze zur Verfügung. Dies sind zum einen die deterministischen Modellansätze (numerisch oder analytisch), die in der Regel nur Einzelereignisse auf einzelnen Hängen wiedergeben und daher nicht für größere Gebiete anwendbar sind (z.B. OPUS, Erosion 2D oder ANSWERS, CREAMS). Zum anderen sind dies empirische Modelle wie die Allgemeine Bodenabtragungsgleichung (ABAG) und alle davon abgeleiteten Derivate (z.B. dABAG, MUSLE87).

Sowohl das für die Grobbilanz verwendete Modell MONERIS als auch die in diesem Vorhaben weiterzuentwickelnden Ansätze nutzen die ABAG. Ein wesentlicher Unterschied ist in der Tatsache zu sehen, dass der Bodenabtrag in diesem Vorhaben nicht „gesetzt“ (aus Berechnungen Dritter übernommen), sondern unter Nutzung gebietspezifischer Datensätze berechnet wird. Hierdurch ist im Gegensatz zu makroskaligen Modellansätzen, die systemimmanent auf aggregierte Daten und/oder mittlere Daten zurückgreifen müssen, gewährleistet, dass Ortspezifika in ihrer tatsächlichen Ausprägung in den Quantifizierungsansatz einfließen. Auch können neue Erkenntnisse über die Ausprägung einzelner Faktoren (insbesondere bezüglich Gewässerschutzmaßnahmen) direkt in die Berechnungen einfließen. Abbildung 6 zeigt den Modellaufbau für die Grobbilanz und für einen gebietspezifischen Ansatz.

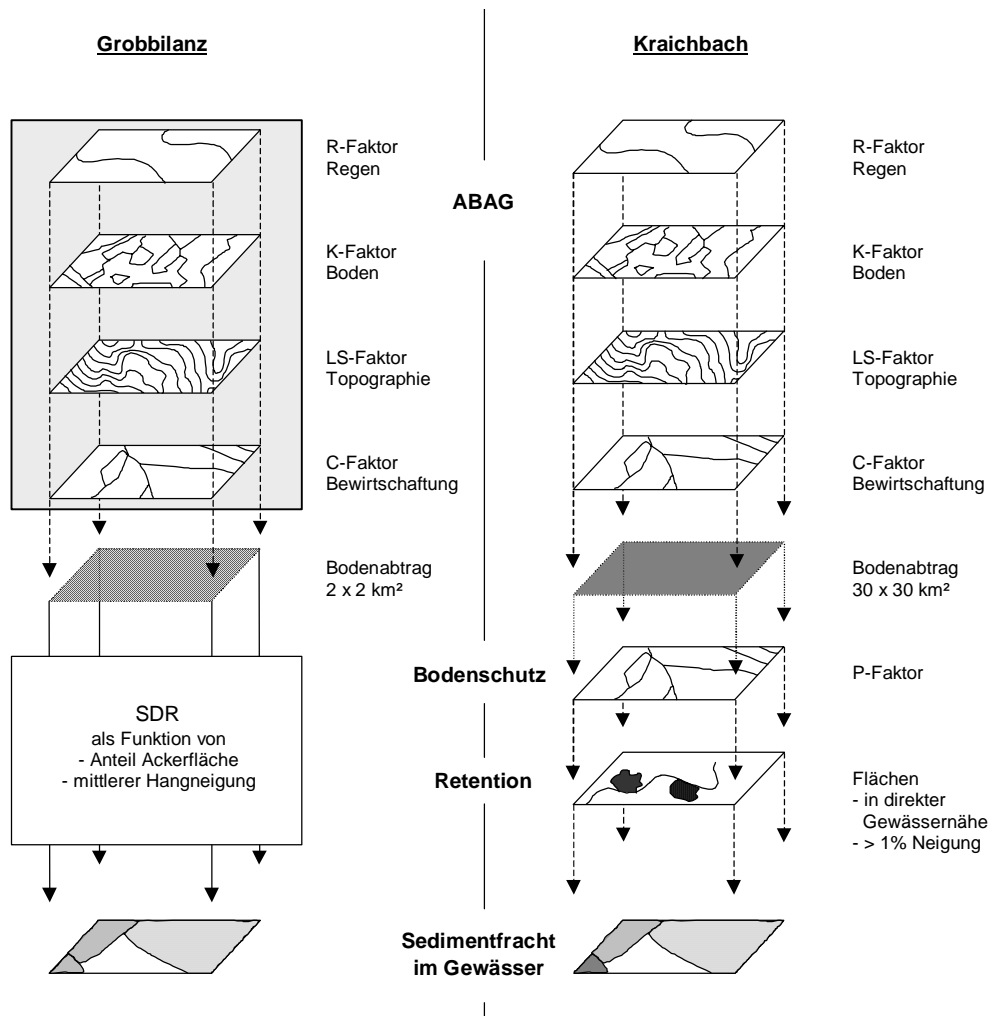


Abbildung 6: Kontrollgrößen des Schwebstoffeintrages in Gewässer – Gegenüberstellung der Vorgehensweise bei der Grobbilanz und einem gebietspezifischen Ansatz

Im Rahmen des Vorprojektes wurde ein Modellansatz (HUBER & BEHRENDT 1998) weiterentwickelt, der die Ausweisung der eintragsrelevanten Abtragsflächen direkt über Abfragen im Geografischen Informationssystem zu den gewässernahen Ackerflächen (Landnutzung) und deren Neigung (DHM) vornimmt. Der P-Faktor (Wirkung des Erosionsschutzes) wurde gebietspezifisch Informationen ermittelt. Erste Berechnungsergebnisse unterstreichen die Bedeutung dieses Faktors. Für 9 Gemarkungen konnten die Anteile der konventionell, mit Mulchsaat bzw. in Direktsaat bewirtschafteten Ackerflächen erhoben werden. Der berechnete Bodeneintrag sinkt durch die Berücksichtigung dieser Maßnahmen um über 60 %. Der mit diesem abgeminderten Bodeneintrag verbundene Phosphoreintrag beträgt nach Nutzung der derzeit verfügbaren Datengrundlage $12,97 \text{ t/a}$ und überschreitet damit den in der Grobanalyse berechneten Wert von $5,34 \text{ t/a}$ um mehr als das Doppelte. Bei der Bewertung dieses Befundes ist zu berücksichtigen, dass die berechneten Bodenabträge nur halb so groß sind wie die von SOMMER & MURSHEL (1999) für den Kraichgau angegebenen Durchschnittswerte.

Ergebnisse

Das Beispiel der Erosion unterstreicht damit eindrücklich die Notwendigkeit detaillierter Analysen um zu konkreten und zielführenden Maßnahmen zu kommen. Die Verwendung hochaggrierter Eingangsdaten relativiert die real bestehende Problematik in der Regel so stark, dass sie im schlimmsten Fall nicht erkannt wird oder zumindest eine falsche Prioritätensetzung erfolgt.

5 Literatur

AID (1994): Erosionsschäden vermeiden, Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Heft 1180, Bonn.

AMT FÜR LANDWIRTSCHAFT, LANDSCHAFTS- UND BODENKULTUR (ALLB) (2000): Internetseite: <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/allb/Bruchsal/fachinformationen/pflanzenbau/stifterhof.htm>

BEHRENDT, H., HUBER, P., OPITZ, D., SCHMOLL, O., SCHOLZ, G., & UEBE, R., (1999): Nährstoffbilanzierungen der Flussgebiete Deutschlands, Texte des Umweltbundesamtes, 75/99.

BÖHM, E., HILLENBRAND, T., MARSCHIEDER-WEIDEMANN, F. SCHEMP, C., FUCHS, S. & SCHERER, U. (2000): Bilanzierung des Eintrages prioritärer Schwermetalle in Gewässer. Abschlussberichte des UBA-Vorhabens 298 22 243.

BORCHARDT, D., GEFFERS, K. & FUNKE, M. (2000): Modellprojekt Gewässerbewirtschaftung im Einzugsgebiet der Seefelder Aach – Grundlagen für die Aufstellung eines Maßnahmenplans -. Abschlussbericht, unveröffentlicht.

EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (EG) (2000): Richtlinie 2000/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L327, S. 1-72.

FELDWISCH, N., FREDE, H-G., HECKER, F. (1998): Erosionsgefahr durch Wasser. In: Frede, H-G, Dabbert, S. (Hrsg.) Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft, ecomed, Landsberg.

FUCHS, S. & HAHN, H. H. (Hrsg.) (1999): Schadstoffe im Regenabfluss IV. Abschlusspräsentation des BMBF-Verbundprojektes NIEDERSCHLAG. Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe (TH), Band 96, München 1999. (Oldenbourg Verlag).

FUCHS, S, BUTZ, J. & SCHERER, U. (2000): Nutrient and Heavy Metal Emissions into the River Neckar. 4th International Rhine Conference, 23 and 24 November 2000, Rotterdam.

GÜNDRA, H., JÄGER, S., SCHROEDER, M., & DIKAU, R. (1995): Bodenerosionsatlas Baden-Württemberg. Agrarforschung in Baden-Württemberg, Band 24, Ulmer, Stuttgart.

HUBER, P., & BEHRENDT, H. (1998): GIS-gestützte Modellierung des erosionsbedingten Eintragungspotentials in Fließgewässer, Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL) - Tagungsbericht 1997, S. 657 – 660.

LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ (LfU) Baden-Württemberg (1994) Gewässerrandstreifen – Voraussetzung für die naturnahe Entwicklung der Gewässer. Handbuch Wasser 2, LfU Baden-Württemberg, Karlsruhe.

LUDWIG, K., GERLINGER, K. & ELPERS, C. (2000): Erweiterung des Flussgebietsmodells für den Kraichbach zum Wasserhaushaltsmodell. Schlussbericht, unveröffentlicht.

SOMMER, M. & MURSCHEL, B. (1999): Erosion und Nährstoffabtrag. In: Dabbert et al. (Hrsg.) Landschaftsmodellierung für die Umweltplanung, Springerverlag, S. 69-78.

SCHWERTMANN, U. VOGT, W. & KAINZ, M. (1987): Bodenerosion durch Wasser. Ulmer Verlag, Stuttgart.

Literatur

WERNER, W., HAMM, A., AUERSWALD, K., GLEISBERG, D., HEGEMAN, W., ISERMAN, K., KRAUTH, K.H., METZNER, G., OLFS, H.W., SAFERT, F., SCHLEYPEN, P. & WAGNER, G. (1991): Gewässerschutzmaßnahmen hinsichtlich N- und P-Verbindungen. In: Studie über Wirkungen und Qualitätsziele von Nährstoffen in Fließgewässern, Academia Verlag, Sankt Augustin.