

# Handbuch Wasserbau

## Naturgemäße Gestaltung von Fließgewässern

Kolloquium  
am 3. Mai 1990  
in Karlsruhe

Heft 3



Baden-  
Württemberg



MINISTERIUM  
FÜR  
UMWELT

# Handbuch Wasserbau

## Naturgemäße Gestaltung von Fließgewässern

Kolloquium am 3. Mai 1990 in Karlsruhe

**Heft 3**



Dieses Kolloquium wurde gemeinsam veranstaltet vom  
Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg  
und Institut für Wasserbau und Kulturtechnik, Universität Karlsruhe

**Baden-  
Württemberg**



MINISTERIUM  
FÜR  
UMWELT

***Herausgeber:***

Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg  
Postfach 103439, 7000 Stuttgart 10  
UM 12-90; Dezember 1990

***Gestaltung:***

Maerzke, Attinger & Kranig Werbeagentur GmbH, Stuttgart

## VORWORT



**G**ewässer sind die Lebensadern unserer Landschaft. Sie bestimmen wesentlich das Landschaftsbild und den Naturhaushalt. Eingriffe in die Natur und die naturnahe Kulturlandschaft haben dazu geführt, daß diese Funktionen gestört oder zerstört wurden. Wasserbau und Ökologie standen sich hierbei lange als Gegensätze gegenüber.

Das Gesamtkonzept Naturschutz und Landschaftspflege Baden-Württemberg setzt nun das Ziel, Technik und Ökologie in gesamtschaulicher Betrachtung zusammenzubinden. Wesentliche Ziele der Naturschutzpolitik sind

- Erhalten und Sichern naturnaher Auelandschaften und
- Regeneration beeinträchtigter Gewässer und Auen.

Im Rahmen eines Pilotvorhabens »Naturnahe Umgestaltung ausgebauter Fließgewässer« hat das Umweltministerium in Verbindung mit Umgestaltungsmaßnahmen umfangreiche Untersuchungen, Erhebungen und Dokumentationen veranlaßt, aus denen Anleitungen für das künftige Vorgehen gewonnen werden. Die wichtigsten der zwischenzeitlich abgeschlossenen Untersuchungsvorhaben wurden nun im Rahmen des Kolloquiums »Naturgemäße Gestaltung von Fließgewässern« der Fachwelt vor- und zur Diskussion gestellt. In den Fachvorträgen konnten die umfangreichen Ergebnisse der Untersuchungen nur in Auszügen dargestellt werden. Das Umweltministerium wird die Ergebnisse dieser Untersuchungen in weiteren Heften des Handbuchs Wasserbau veröffentlichen. Die Niederschrift dieses Kolloquiums gibt einen Überblick der derzeitigen Erkenntnisse.

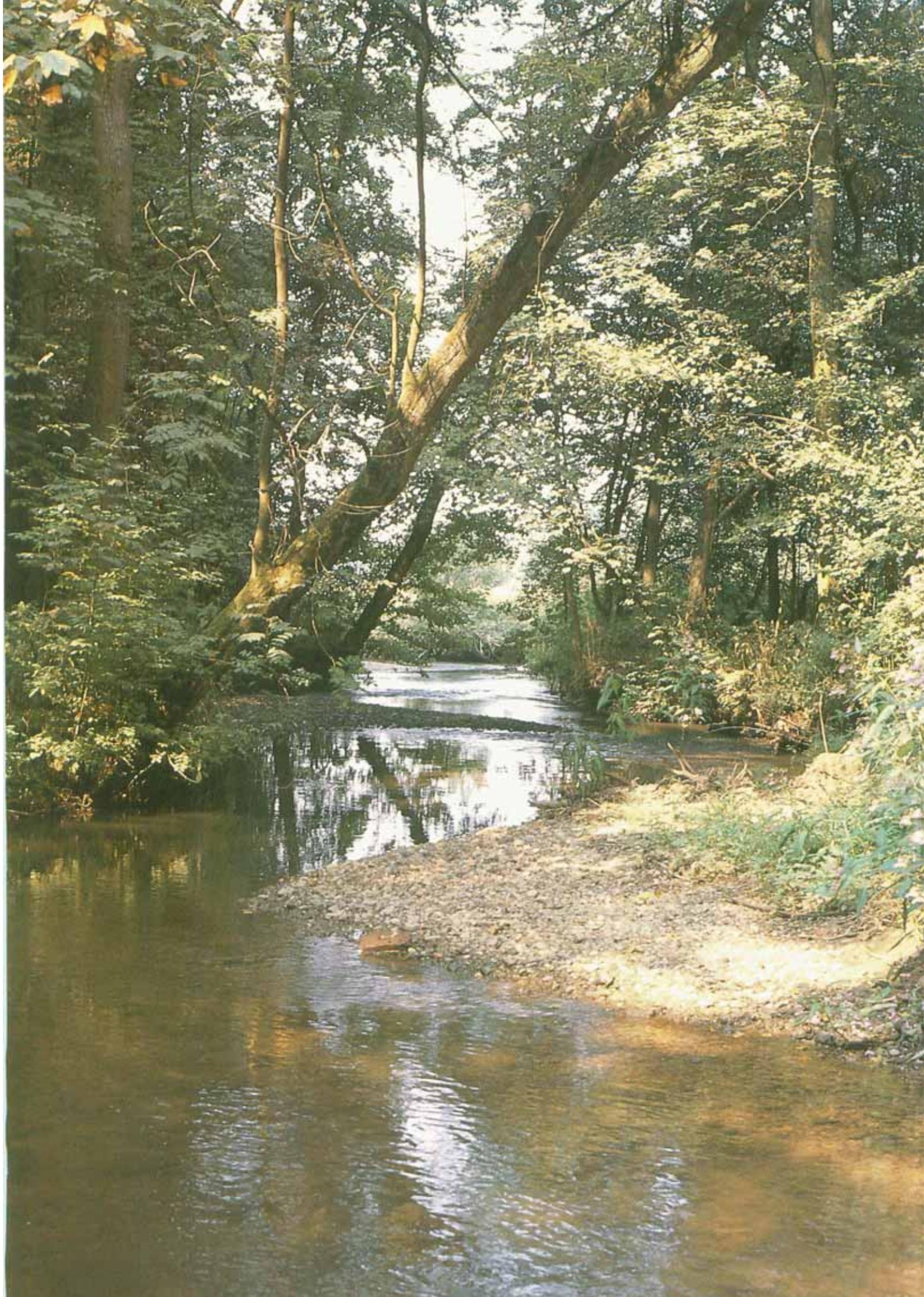
A handwritten signature in cursive script, reading 'Erwin Vetter'.

Dr. Erwin Vetter  
Ministerium für Umwelt  
Baden-Württemberg

Das Papier dieses Heftes ist nicht mit Chlor gebleicht. Bei seiner Produktion entstehen keine CKW (Chlorkohlenwasserstoff)-haltigen Abwässer.

*Inhaltsverzeichnis*

<b>Vorwort</b> .....	3
<b>Einführung</b> von Professor Dr. Peter Larsen .....	7
<b>Regelwerk-Grundlagen des Wasserbaus</b> OBR Bernhard Burkart, Umweltministerium .....	8
<b>Morphologische Fließgewässerbewertung nach WERTH am Beispiel der Alb</b> Einschätzung eines Bewertungsverfahrens von Rolf Bostelmann .....	11
<b>Grundsätze naturgemäßer Gewässergestaltung – Erfahrungen aus Baden-Württemberg</b> von Klaus Kern .....	19
<b>Vegetationskartierung mit Hilfe von Farbinfrarot-Luftbildern</b> von Werner Konold, Ruth Pfeilsticker, Michael Jöst .....	28
<b>Limnologische Untersuchungen bei naturgemäßer Gewässergestaltung</b> Bedeutung für Planung und Erfolgskontrolle von U. Braukmann .....	36
<b>Interpretation von Untersuchungen der Fischfauna</b> Andreas Ness, Institut für Umweltstudien, Weisser & Ness GmbH .....	47
<b>Naturgemäße Bauweisen zur Ufersicherung</b> von Dipl.-Ing. Wolfgang Hauck .....	63
<b>Naturgemäße Bauweisen von Sohlenstufen</b> von Rolf-Jürgen Gebler .....	70
<b>Ökologische Verbesserungen an eingedeichten Gewässern – hydraulische Aspekte</b> von Cornelia Becker .....	100
<b>Naturnahe Gewässer und Auen – ein Beitrag zu Naturschutz und Landschaftspflege</b> Minister Dr. Erwin Vetter, Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg .....	112
<b>Diskussion</b> .....	115



# Einführung

von Professor Dr. Peter Larsen

Herr Minister Vetter,  
meine sehr verehrten Damen und Herren,  
für mein Institut und für mich persönlich ist es eine große Freude, Sie zu dieser Veranstaltung herzlich willkommen zu heißen!

Es ist vier Jahre her, daß wir ein ähnliches Kolloquium veranstalteten, damals mit der Überschrift: »Naturnahe Umgestaltung ausgebauter Fließgewässer«. Damals – im Februar 1986 – trauten wir uns es zu – nach einigem Zögern – ein wasserbauliches Kolloquium mit diesem Thema zu veranstalten. Obwohl naturnaher Gewässer-ausbau im Vorlesungsangebot schon seit recht vielen Jahren einen selbstverständlichen Platz einnimmt, waren wir doch im Bereich Forschung und Praxis fast Anfänger.

Der Schritt zu den praxisbezogenen notwendigen Forschungsvorhaben wurde am 15.10.1985 genommen. Der Zeitpunkt läßt sich genau angeben:

In einer Sitzung mit Vertretern des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten, der vier Regierungspräsidien und unseres Instituts, wurde ein Vorschlag für ein Forschungsvorhaben unterbreitet. Dies führte zu den Pilotvorhaben »Naturnahe Umgestaltung ausgebauter Fließgewässer« mit einem guten Dutzend Teilstrecken von Flüssen und Bächen in Baden-Württemberg. Was heute vorgetragen wird, basiert zum großen Teil auf den Erfahrungen von diesem Vorhaben.

Klaus Kern war damals der Initiator des Forschungsvorhabens, das für die weitere Entwicklung auf dem Gebiet naturnahe Gewässergestaltung von entscheidender Bedeutung gewesen ist. Frau Nadolny wurde eingestellt und mit ihr verfaßte Herr Kern die Schrift »Naturnahe Umgestaltung ausgebauter Fließgewässer«, die als Veröffentlichung des Instituts sehr große Nachfrage fand. Heute sind sowohl ein Leitfaden – in Zusammenarbeit mit der Firma ALAND – als auch ein Statusbericht über den heutigen Stand der Pilotvorhaben und weiterer Gewässerumgestaltungen erarbeitet worden, die als Veröffentlichungen des Umweltministeriums vorgelegt werden.

In Anbetracht der großen Bedeutung, die der Landschaftspflege und den Umweltbelangen eingeräumt werden muß, ist inzwischen unter der Leitung von Herrn Kern eine Abteilung »Landschaftswasserbau« am Institut für Wasserbau und Kulturtechnik eingerichtet worden.

Neben den Pilotvorhaben sind wir inzwischen an einem großen Sanierungsprojekt an der Donau zwischen Sigmaringen und Ulm beteiligt – über einen Teilaspekt wird nachher Herr Dr. Konold von der Universität Hohenheim

berichten. Herr Gebler, den wir nachher auch hören werden, befaßt sich intensiv mit Wanderungshindernissen für Fische und Kleinlebewesen. Als Wasserbauingenieure sind wir natürlich in erster Linie Hydrauliker. Und hier machen uns die naturnahen Gewässer einigen Kummer. Frau Becker führt speziell für Doppeltrapezprofile Modellversuche durch, um die Veränderung der Strömung und der Wasserspiegellagen durch Bäume, Büsche, Inseln und Buhnen vorherzusagen. Ein weiteres Thema ist die Erforschung natürlicher Gewässerökosysteme. Hier untersuchen wir zusammen mit Geographen, Limnologen und Vegetationskundlern naturnahe Bäche im Odenwald und in der Oberrheinebene, um zu lernen, wie die ausgebauten Gewässer überhaupt einmal ausgesehen haben und welche Tiere und Pflanzen dort vorkommen müßten.

Sie sehen, die interdisziplinäre Zusammenarbeit wird heute groß geschrieben. Ohne sie geht es nicht mehr. Wir freuen uns, daß wir von seiten des Umweltministeriums in den vergangenen Jahren rege Unterstützung bekommen haben.

Ich bin überzeugt, daß die Veranstaltung den heutigen Stand der praxisbezogenen Forschung zum Thema »Naturnaher Gewässer-ausbau« wiedergibt. Die Namen der Referenten, denen wir mit Dank verbunden sind, versprechen, daß dies der Fall sein wird.

# Regelwerk-Grundlagen des Wasserbaus

OBR Bernhard Burkart, Umweltministerium

## 1. Wandel der Zielsetzungen

Ich habe Anfang der 70er Jahre hier in Karlsruhe Bauingenieurwesen studiert. Schwerpunkt der Forschung und Lehre war damals die Planung und Ausführung von technischen Großprojekten. Der Landschaftswasserbau hatte in der Ausbildung der Wasserbauingenieure nur eine untergeordnete Bedeutung und auch hier war vorrangiges Ziel, den Hochwasserschutz für die landwirtschaftlichen Flächen zu verbessern und den Geländebedarf für das Gewässer zu minimieren. Gerade hier müssen die fachlichen Grundlagen weiterentwickelt werden, um den Zielsetzungen, die Gewässer und Auen als vielgestaltige Lebensräume zu erhalten und zu entwickeln, gerecht werden zu können.

## 2. Mängel in Planung und Ausführung von Ausbaumaßnahmen

Eine Überprüfung von Gewässerausbaumaßnahmen ergab, daß die Entwicklungsmöglichkeit der ausgebauten Gewässer nach dem Ausbau häufig durch unzureichende Flächenbereitstellung und übermäßige Befestigung mit toten Baustoffen, insbesondere überdimensionierten Steinwurf, erheblich eingeschränkt ist.

Dies ist im wesentlichen darauf zurückzuführen, daß ökologische Belange bei Planung und Ausführung häufig nicht oder nur nachrangig eingebracht werden. Teilweise verleiten vorhandene technische Regelwerke zum Einsatz naturferner Bauweisen. So werden z. B. in der DIN-Norm 19657 »Sicherungen von Gewässern, Deichen und Küstendünen« ohne weitere Unterscheidung künstliche Steine, bituminöse Stoffe, Drahtgeflechte, Kunststoffe und exotische oder gar imprägnierte Hölzer als geeignete Bauweisen des Wasserbaus aufgezählt und teilweise sogar vorrangig zur Anwendung empfohlen.

## 3. Weiterentwicklung der fachlichen Erkenntnisse

Diesen Mängeln soll durch Erweiterung und Veröffentlichung des aktuellen Erkenntnisstandes begegnet werden. Das Umweltministerium hat in den letzten fünf Jahren ein umfangreiches Forschungs- und Entwicklungsprogramm veranlaßt. Ein Teil dieser Ergebnisse wird im Verlauf dieses Kolloquiums dargestellt. Hieran sind Universitätsinstitute, u. a. der Fachrichtung Wasserbau, Landschaftsökologie, Biologie, und mehrere interdisziplinär besetzte Arbeitsgruppen mit Fachleuten aus Wasserwirtschaft, Naturschutz und Fischerei beteiligt. Es wurde Wert darauf gelegt, daß die Grundlagen aus beispielhaften Planungs- und Umgestaltungsmaßnahmen abgeleitet werden. Andere Bundesländer sind ähnlich vorgegan-

gen, auf beispielhafte Veröffentlichungen u. a. in Nordrhein-Westfalen und Bayern sei in diesem Zusammenhang hingewiesen. Es erscheint richtig, diese fachlichen Anleitungen regional für die Bundesländer zu entwickeln, da hierbei den unterschiedlichen Verwaltungsstrukturen und Aufgabenverteilungen, insbesondere aber den naturräumlichen Gegebenheiten Rechnung getragen werden kann. Die einschlägigen Regelwerke des DVWK (202, Entwurf und 204) stellen hierbei einen gemeinsamen Rahmen dar.

## 4. Regelwerk Handbuch Wasserbau

Die Erkenntnisse aus den Pilotvorhaben, Untersuchungen und die Ergebnisse der Arbeitsgruppen lassen sich thematisch in 4 Hauptgruppen unterteilen:

- Planungsmethodik
- Ökologische Bewertungs- und Beweissicherungsverfahren
- Bemessung und konstruktive Gestaltung
- Dokumentation von Erfahrungen

Der Schwerpunkt liegt in der Dokumentation und Weiterentwicklung ökologischer Untersuchungen und deren Umsetzung bei Planung und Ausführung wasserbaulicher Maßnahmen. Die einzelnen Untersuchungsgebiete sind in der rechten Tabelle dargestellt.

### 4.1 Planungsmethodik

#### Morphologische Fließgewässerkartierung

Sie gibt einen Überblick über den morphologischen Zustand und damit über den Bedarf an Maßnahmen zur ökologischen Verbesserung des Gewässers.

#### Gewässerentwicklungsplan (Gewässerpflegeplan)

Er ergibt sich aus einer Gesamtbetrachtung des wasserwirtschaftlichen und ökologischen Zustandes und nennt und erläutert die Maßnahmen, die zur Erreichung des angestrebten Zustandes notwendig sind.

Gewässerentwicklungspläne sind über größere zusammenhängende Gewässerstrecken aufzustellen; hieraus können u. a. Ausbauplanungen und Unterhaltungspläne abgeleitet werden.

#### Planungsinhalte »Naturnahe Umgestaltung von Fließgewässern«

In einer weiteren Arbeit werden Mindestinhalte und Ablauf der Planung von wasserbaulichen Maßnahmen dargestellt. Wesentliche Voraussetzung für ein optimales Gelingen ist die Verzahnung von landschaftspflegerischer und wasserbaulicher Planung und das Zusammenwirken bei der Ausführung.

<b>Regelwerk Grundlagen Wasserbau (Fließgewässer)</b>			
<b>Planungsmethodik</b>	<b>Ökologische Bewertungs- und Beweissicherungsverfahren</b>	<b>Bemessung Konstruktive Gestaltung</b>	<b>Dokumentation von Erfahrungen</b>
Morphologische Fließgewässerkartierung Gewässerentwicklungsplan Planungsinhalte »Naturnahe Umgestaltung« (Ausbau)	Vegetation Makrozoobenthon Fischfauna Bodenkäfer	Bauweisen zur Ufer- und Böschungsfußsicherung Bepflanzung an Fließgewässern – Grundsätze und Pflanzenkatalog – Bauweisen zur Sohlensicherung Gestaltung von Fischaufstiegen Festlegung von Mindestwasserabflüssen Hinweise zur hydraulischen Berechnung von eingedeichten Gewässern <u>Wasserbaumerkblatt</u>	Ausgewählte Umgestaltungsmaßnahmen Beispielhafte Flußgebietsuntersuchungen Naturnahe Gewässer in Baden-Württemberg

#### **4.2 Ökologische Bewertungs- und Beweissicherungsverfahren**

Aus diesen Untersuchungen können Planungshinweise abgeleitet, Erfolg oder Mißerfolg erfaßt und gegebenenfalls auch Fehlentwicklungen korrigiert werden. Ein gängiges Bewertungsverfahren ist die Vegetationskartierung von Gewässer und Talau. Von besonderem Interesse sind faunistische Untersuchungen, die das Gewässer selbst erfassen. Hier wurden Bewertungsverfahren für Makrozoobenthon und Fischfauna weiterentwickelt. Im Rahmen der Pilotvorhaben wurden darüber hinaus unter Berücksichtigung der örtlichen Besonderheiten u. a. Untersuchungen der Vogelwelt, Libellen, Heuschrecken und Bodenkäfer durchgeführt.

#### **4.3 Bemessung und konstruktive Gestaltung**

Aus der überkommenen Vorstellung, das Gewässerbett fixieren zu wollen, werden Sicherungsmaßnahmen von Ufer, Böschungsfuß und Sohle überwiegend zu massiv, d. h. mit großen Steinen und zu aufwendig durchgeführt.

Nahezu alle größeren Bäche und Flüsse sind durch Anlagen zur Wassernutzung (überwiegend Wasserkraft) in Teilabschnitte zerschnitten. Vorhandene Fischtreppe sind vielfach nicht funktionsfähig. Darüber hinaus werden vielfach durch Ausleitungen lange Gewässerabschnitte trockengelegt. Zur Erweiterung des Kenntnisstands werden zur Zeit fachliche Hinweise erstellt für die Verwendung von Bauweisen zur Ufer- und Sohlensicherung, für die Gestaltung von Fischaufstiegen und Festlegung von Mindestwasserabflüssen.

#### **Bepflanzung an Fließgewässern**

Bei Neuanpflanzungen ist zu beachten, daß die Pflanzen standortgemäß und standortheimisch sind, d. h. von Natur aus in dem betreffenden Naturraum vorkommen. Die Landesanstalt für Umweltschutz hat im Auftrag des Umweltministeriums einen Pflanzenkatalog erstellt, der dem Planer von Uferbepflanzungen Hinweise zur Pflanzenauswahl gibt.

Besonders massiv wurde bei der Begradigung und Eindeichung in die Gewässer eingegriffen. Bei der naturnahen Umgestaltung von eingedeichten Gewässern sind erhöhte Sicherheitsansprüche zu berücksichtigen, da bei Dambrüchen Hochwasser unkontrolliert in ehemalige Überflutungsbereiche austritt. Jede naturnahe Umgestaltung, sei es Bepflanzung oder Umgestaltung des Gewässerbetts, muß sorgfältig überprüft werden. Hierzu wurden für einige konkrete Umgestaltungsmaßnahmen Modellversuche durchgeführt. Im Hinblick auf die an vielen Flüssen anstehende Problematik werden aus diesen Modellversuchen allgemeine Hinweise für Umgestaltungsmaßnahmen und ein Berechnungsansatz entwickelt.

#### **4.4 Dokumentation der Erfahrungen**

Erfahrungen können nur dann weitergegeben werden, wenn Umgestaltungsmaßnahmen dokumentiert und ausgewählte Beispiele veröffentlicht werden. Diese Beispiele bieten Lösungsansätze und Anschauungsmaterial nicht nur für den Fachmann, sondern auch als Entscheidungshilfe im politischen Raum.

Dokumentiert werden auch Beispiele naturnaher Gewässer in Baden-Württemberg mit Beschreibung der Morphologie, Vegetation und Fauna.

Hieraus kann abgelesen werden, welche Grundvoraussetzungen eingehalten werden müssen, damit sich nach einer Umgestaltungsmaßnahme ein Gewässer im Laufe der Zeit in einen naturnahen Zustand entwickeln kann.

#### **4.5 Veröffentlichungen**

Ein erstes Heft mit ausgewählten Ausbaubeispielen ist im Jahr 1986 erschienen (vergriffen).

Zur Zeit werden folgende Veröffentlichungen bearbeitet:

- Heft 2 Naturnahe Umgestaltung von Fließgewässern  
– Leitfaden, ökologische Bewertungsverfahren, Beschreibung ausgewählter Umgestaltungsmaßnahmen –
- Heft 3 Naturgemäße Gestaltung von Fließgewässern, Kolloquium am 3. Mai 1990 in Karlsruhe
- Heft 4 Methodologische Untersuchungen von Feuchteindikation von Biotopen auf der Basis von Bodenkäfergesellschaften
- Heft 5 Bepflanzung an Fließgewässern  
– Grundsätze und Pflanzenkatalog –
- Heft 6 Naturgemäße Bauweisen  
– Ufer- und Böschungsfußsicherungen; Beschreibung, Bewertung, Beispiele –

#### **4.6 Wasserbaumerkblatt**

Das Umweltministerium beabsichtigt, nach der Novellierung des Wassergesetzes das Wasserbaumerkblatt als Richtlinie und Rechtsverordnung einzuführen. Es wird zur Zeit parallel mit der Novellierung des Wassergesetzes fortgeschrieben und wie bisher einen Überblick über die bei Ausbau und Unterhaltung von Gewässern zu berücksichtigenden Fragestellungen geben. Es wird in Zukunft jedoch zusätzlich durch die vorgenannten Veröffentlichungen zu Einzelproblemen ergänzt und erläutert.

### **5. Zusammenfassung**

Das Regelwerk Handbuch Wasserbau soll einen Überblick über den derzeitigen Erkenntnisstand der naturgemäßen Gewässerumgestaltung geben. Dabei werden vor allem Themen behandelt, die in anderen vorhandenen Regelwerken (DIN, DVWK) noch nicht oder nicht ausreichend dargestellt sind.

Es werden sowohl allgemeine Planungs- und Ausführungshinweise gegeben als auch spezielle ökologische Bewertungsverfahren dargestellt.

# Morphologische Fließgewässerbewertung nach WERTH am Beispiel der Alb

Einschätzung eines Bewertungsverfahrens

von Rolf Bostelmann

## Zusammenfassung

Am Beispiel der Alb – eines kleinen Flusses im Nord-schwarzwald/Südwestdeutschland – ist ein Verfahren zur gewässermorphologischen Zustandskartierung erprobt worden. Dieses Verfahren (WERTH 1987) dient zur großräumigen und überschlägigen Übersichtskartierung ganzer Flußgebiete und wird seit 1983 in Österreich eingesetzt (Maßstabsebene 1:50000). Bei dem Verfahren werden verschiedene morphologische Merkmale (z.B. die Beschaffenheit der Gewässersohle) und die Ufergehölze anhand einer siebenstufigen Skala nach dem Grad ihrer Naturnähe beurteilt. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt ähnlich wie bei den bekannten Gewässergütekarten (LAWA) durch farbige Bänder entlang der Fließgewässer (s. Karte 1 und 2).

Die Erprobung des Verfahrens an der Alb hat gezeigt, daß das Verfahren mit geringen Modifizierungen für eine überschlägige Bewertung sowohl des morphologischen Zustands als auch der Ufergehölze geeignet ist. Der erforderliche Arbeitsaufwand hält sich in vertretbaren Grenzen, da zur Beurteilung keine umfangreichen Untersuchungen notwendig sind, sondern die »Methode des genauen Hinschauens« hinreicht. Daher ist dieses Verfahren für großräumige Übersichtskartierungen (Maßstabsebene 1:25000 und ungenauer) gut geeignet.

Allerdings sind der Aussagegenauigkeit der Ergebnisse aufgrund der überschlägigen Beurteilung Grenzen gesetzt, so daß sich dieses Verfahren für detailliertere Fragestellungen kaum eignet (Maßstabsebene 1:5000 und genauer).

Die Erprobung hat auch einige Schwächen des Verfahrens deutlich werden lassen. So treten z.B. bei der Bewertung eines Merkmals häufiger Einstufungsschwierigkeiten auf. Dies beruht darauf, daß als Vergleichsmaßstab der Naturzustand des Gewässers herangezogen wird, der vielfach nur unzureichend bekannt ist. Der vorhandene Einstufungsschlüssel bietet in vielen Fällen eine wichtige Orientierung, erlaubt jedoch nicht in allen Fällen eine zweifelsfreie Zuordnung. Daher sind die Bewertungsergebnisse auch subjektiv durch den jeweiligen Bearbeiter geprägt und nur bedingt reproduzierbar. Diese Schwäche ist jedoch angesichts des überschlägigen Charakters des Verfahrens für viele Fragestellungen ohne große Bedeutung, da die relativen Unterschiede des morphologischen Zustands eines Fließgewässers unabhängig davon zutreffend wieder-

gegeben werden. Bei Übersichtskartierungen durch ein ganzes Team ist es allerdings notwendig, daß die Bearbeiter in ständigem Erfahrungsaustausch stehen und die Beurteilung kritischer Bewertungsfälle aufeinander abstimmen.

## 1. Gewässermorphologische Kartierung – warum?

Für eine Charakterisierung des ökologischen Zustands von Fließgewässern liefert die bisher praktizierte chemisch-biologische Gewässergütebestimmung eine sehr wesentliche und i.a. auch die einzig verfügbare Grundlage. Für eine umfassende Bewertung des Gewässerzustands reicht die Kenntnis der Gewässergüte allein jedoch nicht aus, sondern sie erfordert die Einbeziehung weiterer wesentlicher Aspekte. Ein besonders hoher Stellenwert kommt den morphologischen Merkmalen zu, die ähnlich wie die hydrochemischen und -biologischen Verhältnisse durch menschliche Eingriffe vielfach grundlegend verändert wurden. Einen wichtigen Schritt in Rich-

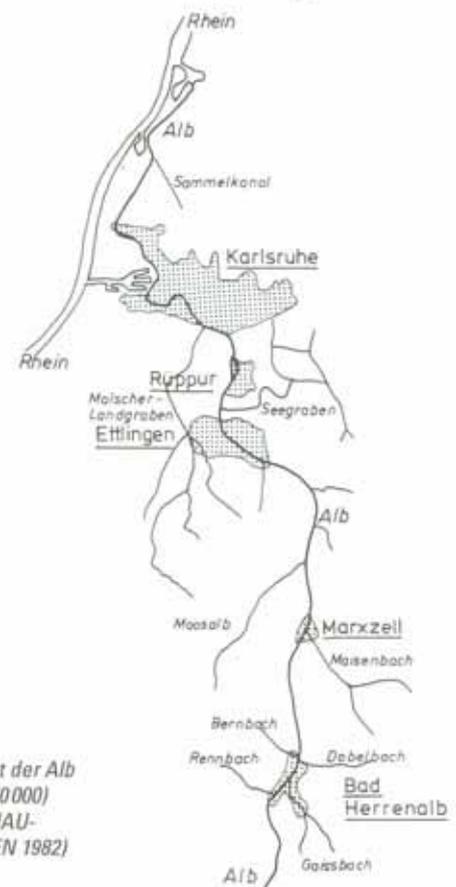


Abbildung 1:  
Das Flußgebiet der Alb  
(Maßstab 1:250000)  
(Aus MONSCHAU-  
DUDENHAUSEN 1982)

tung auf eine umfassende Beurteilung von Fließgewässern stellt daher die Einbeziehung des gewässermorphologischen Zustands dar.

Bisher fehlt es jedoch – von wenigen Ausnahmen abgesehen – an spezifischen gewässermorphologischen Erhebungs- und Bewertungsverfahren. Lediglich eine in Österreich entwickelte Gewässerzustandskartierung auf morphologisch-struktureller Basis (WERTH 1987) ist bislang bekannt geworden und wird dort seit 1983 zur systematischen Kartierung ganzer Flußgebiete angewandt (z.B. WERTH 1986).

Um Erfahrungen über die Eignung dieses Verfahrens zu sammeln, hat das Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg eine gewässermorphologische Kartierung der Alb (Nordschwarzwald) durchführen lassen (s. Abbildung 1). Über wesentliche Ergebnisse dieser Untersuchung (BOSTELMANN, FUCHS & NESS 1991) wird im folgenden berichtet. Dabei steht eine kritische Einschätzung des Verfahrens im Vordergrund.

## 2. Morphologisch-strukturelle Gewässerzustandskartierung nach WERTH

(Ökomorphologische Gewässerbewertung WERTH 1987)

### Anwendungsbereich

Das Verfahren wurde von der Wasserbauverwaltung in Oberösterreich entwickelt und stellt eine großräumige und übersichtliche Kartierung dar, die einen raschen Überblick über alle Bäche und Flüsse des Verwaltungsgebietes liefern soll (Maßstab 1 : 50000). Im Vordergrund der Kartierung stehen die Erfassung und Bewertung morphologisch-struktureller Merkmale, da sie die Ausprägung und Funktion des Gewässers als Lebensraum insgesamt maßgeblich mitbestimmen. Die Kartierung soll und kann bei konkreten Fragestellungen keine detaillierten und umfassenden Bestandsbeurteilungen ersetzen.

### Bewertungsmaßstab und Zustandsstufen

Die Bewertung des Gewässerzustands erfolgt nach dem Grad der Naturnähe, bzw. nach dem Grad der Beeinträchtigung. Als Bewertungsskala werden wie bei der klassischen Gewässergütebewertung (LAWA) vier Hauptklassen mit Zwischenstufen – insgesamt also sieben Stufen – verwendet. Die Bezeichnung wurde für die Albkartierung abgewandelt und lautet:

Zustandsstufe	Grad der Naturnähe bzw. Grad der morphologischen Beeinträchtigung	
	Albkartierung	WERTH 1987
1	Natürlich, unbeeinträchtigt bis sehr gering beeinträchtigt	Natürlicher Zustand
1 - 2	Naturnah, gering beeinträchtigt	Naturnaher Zustand
2	Mäßig beeinträchtigt	Gewässer ökomorphologisch wenig beeinträchtigt
2 - 3	Kritisch beeinträchtigt	Gewässer ökomorphologisch deutlich beeinträchtigt
3	Stark beeinträchtigt	Gewässer ökomorphologisch stark beeinträchtigt
3 - 4	Naturfern, sehr stark beeinträchtigt	Naturferner Zustand
4	Naturfremd, übermäßig beeinträchtigt	Naturfremder Zustand

Für die vier Hauptklassen hat WERTH wesentliche Einstufungsmerkmale zusammengestellt. Er weist darauf hin, daß bei der Beurteilung naturraum- und gewässerspezifische Eigenarten zu beachten sind und sich dadurch Abweichungen vom Einstufungsschlüssel ergeben können.

### Erfasste und bewertete Merkmale

Nach WERTH werden die folgenden Merkmale kurz verbal gekennzeichnet und einer der sieben Zustandsstufen zugeordnet:

- Linienführung (Grundriß)
- Längsprofil (mit natürlichen und künstlichen Gefälleverhältnissen)
- Querprofil (bzw. bei Bewertung nur einer Uferseite die Böschungsform)

### Sohle

- Sohlsubstrat
- Reliefierung (in der Längs- und Breitenerstreckung des Gewässers)
- Kontaktmöglichkeit mit dem hyporheischen Interstitial
- Verzahnung Wasser/Land und Breitenvariabilität
- Fischrelevante Aspekte (ausreichende Wassertiefen, Unterstände, Beschattung, Wander-, Aufstiegs- und Laichmöglichkeiten)

### Böschungen (Ufer)

- Böschungsform (Struktur, Neigung, Fußausbildung)
- Böschungsmaterial
- Gehölze (Artenspektrum, Aufbau, Dichte und Kronenschluß)
- Engeres Umland, d.i. der Uferbegleitstreifen 1-10m bzw. 1–15m landwärts der Böschungskrone (Struktur, Gehölzdichte, -aufbau, -artenspektrum, Zugänglichkeit, Verzahnung mit dem weiteren Umland)
- Weiteres Umland (Struktur, Gehölze, Zugänglichkeit, Vernetzung).

Darüber hinaus wird jeder untersuchte Gewässerabschnitt mit einem kurzen Kommentar charakterisiert.

Bei der Albkartierung wurde statt einer qualitativen Kurzbeschreibung und Bewertung aller genannten Parameter ein Feldprotokoll verwendet, in dem die wesentlichen Merkmale soweit wie möglich in Maß und Zahl erfaßt wurden. Für Mengenangaben wird eine Schätzskala verwendet. Zur weiteren Erläuterung dienen Prinzipskizzen, z.B. der Querschnittsform.

### Hauptbewertungsmerkmale

Zur Ermittlung des Gesamtzustands führt WERTH aus, daß die einzelnen Merkmale hinsichtlich ihrer ökologischen Bedeutung nicht gleichwertig sind, so daß eine

Berechnung des Gesamtwertes durch einfache Summation der Einzelparameter nicht möglich ist. Nach seinen Erfahrungen ist es möglich, durch eine gleichgewichtige Mittelwertbildung der nachfolgenden fünf Parameter in den meisten Fällen eine brauchbare Einstufung des morphologisch-strukturellen Gesamtzustands zu erzielen:

- Linienführung (und Fließverhalten)
- Sohle (Strukturierung, Substrat, Kontaktmöglichkeiten mit dem hyporheischen Interstitial)
- Verzahnung Wasser/Land und Breitenvariabilität
- Böschungen (= Ufer) (Strukturierung, Material)
- Gehölze (einschließlich der Verzahnung mit dem Umland).

#### Schlüssel zur Einstufung der fünf Hauptbewertungsmerkmale

Für die fünf zur Gesamtbewertung herangezogenen Parameter gibt WERTH einen qualitativen Einstufungsschlüssel. Der Bewertungsschlüssel ist allgemein verfaßt, damit er generell für alle Fließgewässer gelten kann. Dadurch bleiben aber die spezifischen Unterschiede der verschiedenen Gewässertypen weitgehend unberücksichtigt (worauf WERTH auch hinweist).

#### Durchführung der Kartierung

Bei der Kartierung wird das Gewässer vom Ursprung bis zur Mündung abgegangen. Die Bewertung erfolgt an Ort und Stelle für jeweils gleichartig beschaffene (homogene) Gewässerabschnitte. Sie werden fortlaufend nummeriert und in einen Lageplan eingetragen. Zusätzlich werden verrohrte Strecken, Wehre, Überleitungen und andere wesentliche Veränderungen notiert. Die Daten jedes Abschnittes werden im Feldprotokoll festgehalten.

#### Darstellung der Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse lehnt sich an die klassische Darstellungsweise der Gewässergütekarten an. Gewählt werden farbige Bänder, deren Farbgebung mit den bekannten Gütekarten übereinstimmt. Diese Darstellungsweise ist sehr anschaulich, so daß die Karten leicht zu lesen sind (s. Karten 1 und 2 der Albkartierung).

### 3. Ergebnisse der Albkartierung

#### 3.1 Das Flußgebiet der Alb

##### Geographische Lage und Geologie

Die Alb entspringt am nordwestlichen Rand der Enzhöhen im Nordschwarzwald in etwa 750 m Höhe (ü. NN). Ihr Oberlauf liegt, mit Ausnahme des eigentlichen Ursprungs (im Buntsandstein), überwiegend im granitischen Grundgebirge. Unterhalb von Bad Herrenalb hat die Alb ein breites und tiefes Sohlental in den Buntsandstein eingeschnitten. Bei Ettlingen verläßt sie den Schwarzwald und tritt mit einem großen Schwemmfächer in die Rheinebene ein. Hier folgt sie zunächst der Kinzig-Murg-Rinne, einer Gebirgsrandniederung, durch-

schneidet dann jedoch im Stadtbereich von Karlsruhe in einem schmalen Tal die Hardtplatten. Bei Daxlanden, am nordwestlichen Stadtrand, erreicht sie die Rheinniederung und mündet schließlich etwa 10 km nördlich von Karlsruhe in den Rhein.

Die Lauflänge der Alb beträgt ca. 56 km; ihr Einzugsgebiet umfaßt etwa 457 km<sup>2</sup>, davon rund ein Drittel im Schwarzwald. Eine Übersicht über das Flußgebiet und seine wichtigsten Nebenbäche zeigt Abbildung 1.

#### Abflußverhältnisse

Aufgrund des wintermilden, subatlantisch getönten Klimas gehört die Alb zu den Flüssen mit pluvialen Abflußregime (im Gegensatz zu den nivo-pluvial geprägten Abflußregimen der Flüsse des Südschwarzwaldes). Ausgeprägte Niedrigwasserabflüsse liegen bei der Alb in der Regel im Spätsommer und Frühherbst, während Hochwasser vor allem im Frühjahr (April und Mai) auftreten. Die mittleren Sommer- und Winterabflüsse sind in Abbildung 2 dargestellt.

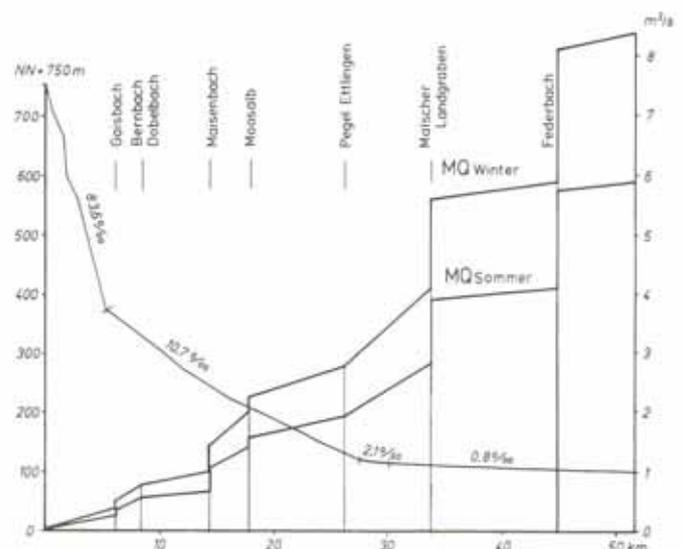


Abbildung 2: Hydrologischer Längsschnitt der Alb (aus MONSCHAUDUDENHAUSEN 1982)

#### Längsgefälle

Das Längsgefälle der Alb nimmt in typischer Weise vom Ursprung bis zur Mündung kontinuierlich ab und zeigt deutliche Knickpunkte in Bad Herrenalb und am Talaustritt in Ettlingen (s. Abbildung 2).

#### Gütezustand

Die Alb und ihre Nebenflüsse sind durch zahlreiche Abwassereinleitungen belastet. Die Gütekarte (GÜTEZUSTAND DER GEWÄSSER IN BADEN-WÜRTTEMBERG / Stand 1985/1986) besagt, daß die Alb im Oberlauf der Belastungsstufe I angehört. Unterhalb von Bad Herrenalb geht sie in Stufe II über, in Karlsruhe in III und unterhalb der Stadt erreicht sie schließlich die Belastungsstufe IV.

Strecke	Gewässertyp mit Höhengausbildung	Geochem. Gewässertyp	Talstrecke km	Höhenlage m ü.NN	Talgefälle ‰	Gewässerregion	Geologie	Naturräumliche Einheit
Quelle	nach /1/	nach /2/	Topographische Karte 1 : 25000				Geologische Karte	nach /3/
1	Gebirgsbach subalpin	Silikatbach	Ursprung 3,5	750	90	Rhitron	Vorherrschend Granit, Quelle im Buntsandstein	Grindenschwarzwald und Enzhöhen
2	Bergbach hochmontan	Silikatbach	Einmündung Kuhnbsbach 2,2	430	30		Mittlerer und Unterer Buntsandstein	
3	Bergbach submontan	Silikatbach	Bad Herrenalbb 17,7	365	13		Buntsandstein, Kuppen z. T. mit Lößschleier bedeckt	Schwarzwaldrandplatten Herrenalber Berge, Albtaigau
4	Bach mit Übergangscharakter	Silikatbach	Talausgang Ettlingen 2,7	137	8		Albschuttkegel, überlagert von Lößlehmdecke	Vorbergzone / Albschuttkegel
		Übergang	Ettlingen/ »Entensee« 116				Schwemmlerhne, z. T. Torfbildung über Rheinkiese	Kinzig-Murg-Rinne
5	Großer Tieflandbach	Karbonatbach	10,5		0,9		Sandige Rheinkiese, z. T. überlagert von Flugsand	Hardtplatten
6	Kleiner Tieflandfluß	Karbonatfluß	Daxlanden/ Tiefgestade 13,5	106,5	0,4	Rheinschlick über sandigen Rheinkiesen	Maxauer Rheinniederung	
			Mündung in den Rhein 101					

Quellen: (1): OTTO & BRAUKMANN 1983; (2): MONSCHAU-DUDERHAUSEN 1982; (3): MEYNER & SCHMITHÜSEN 1982.

Abbildung 3: Längszonale Flußgliederung der Alb (aus BOSTELMANN, FUCHS & NESS)

### Längszonale Flußgliederung

Eine längszonale Gliederung des Flußlaufs nach Kriterien, die vorrangig für unsere gewässermorphologische Fragestellung von Bedeutung sind, gibt Abbildung 3 (nach bachtypologischen Gesichtspunkten von OTTO & BRAUKMANN 1983). Diese Gliederung liefert wichtige Anhaltspunkte über morphologisch von Natur aus mehr oder weniger gleichartig beschaffene Bachabschnitte und markiert die Strecken, an denen ein Wandel der morphologischen Merkmale zu erwarten ist.

#### 3.2 Ergebnisse der Kartierung (siehe Karte 1 und 2)

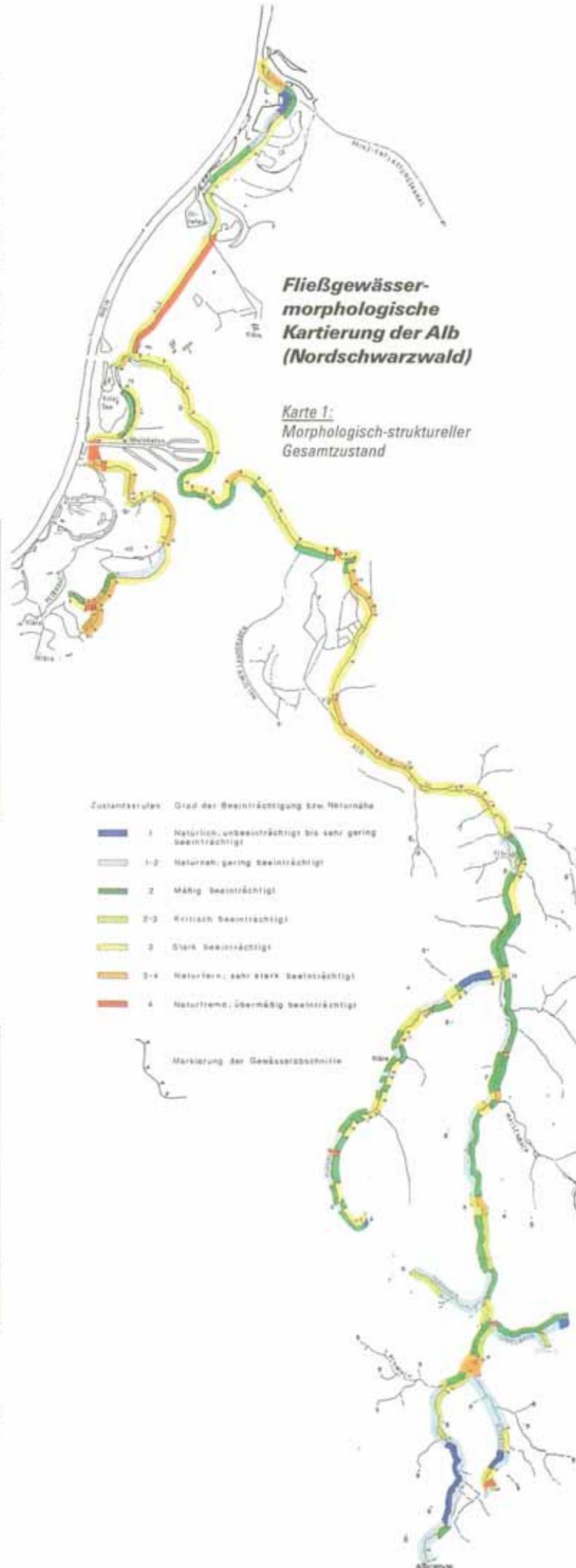
Ähnlich wie bei der Gewässergüte ist der morphologische Zustand der Alb im Oberlauf am besten (Zustandsstufen 1 und 1–2 / natürlich und naturnah) und wird mit zunehmender Lauflänge schlechter. Beim Übergang vom

Waldbach zum Wiesenbach – noch oberhalb von Bad Herrenalbb – geht die Alb in die Stufe 2 (mäßig beeinträchtigt) über.

Zustand behält sie mit mehr oder weniger kleinen Abweichungen bei, bis sie den südlichen Stadtrand von Ettlingen – noch vor dem Austritt aus dem Schwarzwald – erreicht. Ab dort gehört die Alb überwiegend der Zustandsstufe 3 (stark beeinträchtigt) an. Unterhalb von Karlsruhe – im Raffineriegebiet – verschlechtert sich der morphologische Zustand der Alb ein weiteres Mal (Stufe 3–4 / naturfern).

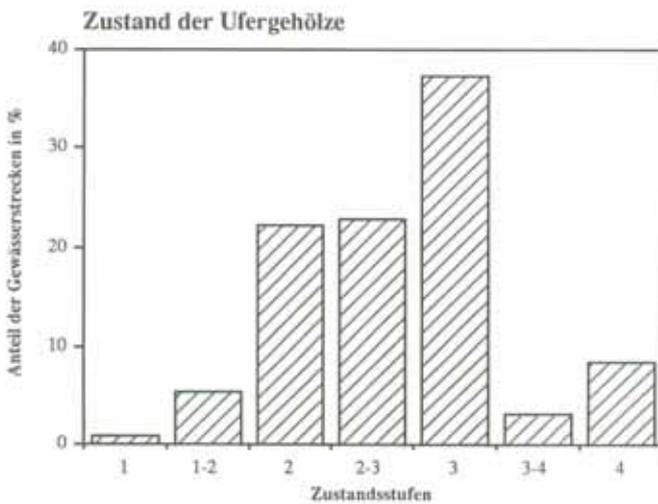
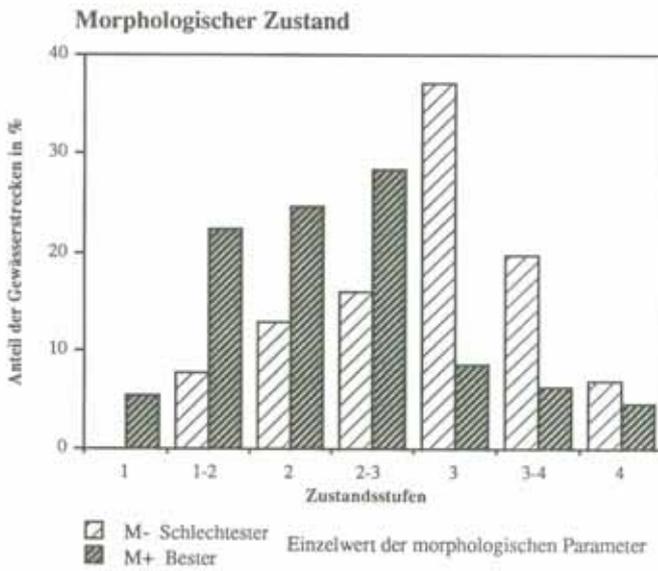
Überraschenderweise – und ganz im Gegensatz zur Gewässergüte – verbessert sich der morphologische Zustand der Alb unterhalb der Kläranlage Karlsruhe deutlich und erreicht kurz vor Mündung in den Rhein sogar die Zustandsstufe 1–2 (naturnah).

Die Abbildung 4 zeigt, daß der weit überwiegende Teil der Alb den Zustandsstufen 2, 2-3 und 3 angehört. Bemerkenswert ist, daß die Ufergehölze im allgemeinen etwas schlechter eingestuft wurden als die morphologischen Parameter. Die Untersuchungsergebnisse verdeutlichen auch den großen Handlungsbedarf zur ökologischen Entwicklung der Alb. Analog zur Gewässergüte sollte gelten, daß alle Fließgewässer mindestens der Zustandsstufe 2 (mäßig beeinträchtigt) angehören. Legt man diese Forderung sowohl für den morphologischen als auch für den Zustand der Ufergehölze zugrunde, so ergibt sich ein Handlungsbedarf auf rund 80 von insgesamt etwa 90 Bach- bzw. Flußkilometern (entsprechend 89% des untersuchten Gewässersystems).



**Fließgewässer-  
morphologische  
Kartierung der Alb  
(Nordschwarzwald)**

**Karte 1:  
Morphologisch-struktureller  
Gesamtzustand**



**Abbildung 4:** Morphologischer Zustand und Zustand der Ufergehölze von Alb und Nebenbächen: Verteilung der Gewässerstrecken auf die einzelnen Zustandsstufen.

### Fließgewässer- morphologische Kartierung der Alb (Nordschwarzwald)

Karte 2:  
Zustand der Ufergehölze

Zustandsstufen Grad der Beeinträchtigung bzw. Naturnähe

	1	Natürlich/unbeeinträchtigt bis sehr gering beeinträchtigt
	1-2	Naturnah; gering beeinträchtigt
	2	Mäßig beeinträchtigt
	2-3	Kritisch beeinträchtigt
	3	Stark beeinträchtigt
	3-4	Naturfern; sehr stark beeinträchtigt
	4	Naturfremd; übermäßig beeinträchtigt

Markierung der Gewässerabschnitte

## 4. Einschätzung des Bewertungs- verfahrens

### Hinweis auf prinzipielle Probleme

WERTH nimmt als Bewertungsgrundlage bzw. Vergleichsmaßstab den Naturzustand. Das ist an sich konsequent und logisch, bringt aber bei der Kartierung einige Schwierigkeiten mit sich und führt immer wieder zu erheblichen Einstufungsschwierigkeiten. Das hat seine Ursachen:

- Der natürliche Zustand, insbesondere von Flachlandbächen und Flüssen, ist häufig nicht genau bekannt. Hierzu fehlen wichtige Grundlagenkenntnisse. In diesem Zusammenhang sei auch auf ein weiteres Problem hingewiesen: Es gibt Bäche, deren Abflußregime sich infolge zunehmender Versiegelung des Einzugsgebietes drastisch verändert hat. Über Art und Ausmaß dieser Veränderung auf den heutigen potentiellen natürlichen morphologischen Zustand dieser Fließgewässer läßt sich nur spekulieren.
- Der morphologische Charakter eines Baches ist von der Quelle bis zur Mündung einem ständigen Wandel unterworfen – seiner längszonalen Entwicklung. Das bedeutet, daß der Bearbeiter bzw. die Bearbeiterin sozusagen Schritt für Schritt entlang des Gewässers ihre Vorstellung vom natürlichen Zustand des Gewässers als Vergleichsgrundlage der Bewertung überprüfen und verändern muß.

Diese prinzipiellen Probleme sind genereller Natur und betreffen nicht nur das WERTH'sche Verfahren, sondern im Grunde so gut wie alle Bewertungsverfahren von Fließgewässern. Der erste Einwand läßt sich nur langfristig durch eine intensivere Erforschung gewässermorphologischer Grundlagen beheben – und darauf können wir nicht warten.

Dem zweiten erwähnten Problem – der morphologische Wandel aufgrund der längszonalen Entwicklung – läßt sich durch eine gute Vorbereitung der Kartierung begegnen. Dabei kommt es darauf an, die wesentlichen Stationen des morphologischen Wandels zu ermitteln und eine möglichst konkrete Vorstellung von den jeweils charakteristischen Merkmalen des Gewässers im natürlichen Zustand zu gewinnen. Eine gute Vorbereitung der Kartierung durch Auswertung von Gefällelängsschnitt, Geologie, naturräumlicher Gliederung und ggf. weiteren Unterlagen (siehe Beispiel Alb) ist eine wesentliche Hilfe, um zu einer schlüssigen Bewertung zu kommen.

Die vorangegangenen Erläuterungen haben deutlich gemacht, daß sich bei der Bewertung im Gelände zwangsläufig immer wieder Einstufungsprobleme ergeben, die vorerst nur durch die Erfahrung und Kenntnis der Bearbeiterin bzw. des Bearbeiters gelöst werden können und müssen. Die Bewertungsergebnisse sind daher auch von der Auffassung des jeweiligen Bearbeiters geprägt.

Ein weiterer kritischer Punkt betrifft die Zusammenfassung der verschiedenen bewerteten Merkmale zu einem Summenparameter. Dieses Vorgehen ist aus folgenden Gründen bedenklich:

- A Die verwendete Bewertungsskala stellt eine Ordinalskala dar, d.h. sie dient dazu, die Bewertungsparameter anhand qualitativer Unterschiede (die nicht genau quantifizierbar sind) einem bestimmten Rang zuzuordnen (hier dem Grad der Naturnähe). Für ordinal skalierte Werte ist eine arithmetische Mittelwertbildung mathematisch nicht zulässig.
- B Die bewerteten Parameter sind wahrscheinlich nicht unabhängig voneinander, so daß gleiche Aspekte versteckt durch die Mittelwertbildung möglicherweise mehrfach berücksichtigt werden.
- C Eine Zusammenfassung von Wertzahlen abiotischer (morphologischer Parameter) und biotischer Faktoren (Ufergehölze) zu einem Wert erscheint darüber hinaus prinzipiell unzulässig.

Daher sollte auf eine Zusammenfassung der Einzelparameter zu einem Mittelwert verzichtet werden. Wünschenswert ist eine Einzeldarstellung aller Parameter, wie WERTH sie mittlerweile auch empfiehlt (mündliche Mitteilung). Dies hat den Vorteil, daß die Ergebnisse ein differenzierteres Bild vom Zustand des Gewässers geben können als bei einer summarischen Darstellung.

Der Nachteil der Einzeldarstellung ist allerdings, daß gerade bei großräumigen Übersichtskartierungen der Überblick verloren gehen kann, da die Ergebnisse auf fünf Karten verteilt sind. Aus Gründen der Lesbarkeit und Anschaulichkeit wird man daher in vielen Fällen trotz aller Bedenken gezwungen sein, die Ergebnisse zusammenzufassen.

Bei der Albkartierung wurde aus diesen Gründen ein Kompromiß getroffen und folgende Parametergruppen als eigenständige Einheiten betrachtet:

- A → Morphologisch-strukturelle Parameter  
Linienführung/Laufentwicklung  
Sohlenbeschaffenheit  
Verzahnung Wasser/Land und Breitenvariabilität  
Böschungbeschaffenheit.

Bei der zusammenfassenden Darstellung wird jeweils das beste (M+) und das schlechteste (M-) Einzelergebnis der genannten Parameter angegeben. Beide Wertegruppen lassen sich als farbige Bänder links und rechts des Gewässers darstellen und geben so einen anschaulichen Eindruck von der Spannbreite des morphologisch-strukturellen Zustands.

- B → Ufergehölze

Als zum biotischen Teil der Fließgewässer gehörig und zugleich morphologisch außerordentlich bedeutsam, werden die Ufergehölze als eigenständiges Merkmal erfaßt, bewertet und dargestellt.

### Reproduzierbarkeit der Ergebnisse

Wie bereits dargestellt, können die Untersuchungsergebnisse aufgrund der Einstufungsprobleme zwangsläufig nicht ganz unabhängig von der Auffassung des Bearbeiters sein, d.h. sie sind nur bedingt reproduzierbar.

Um zumindest Anhaltspunkte über das Ausmaß des subjektiven Einflusses auf die Ergebnisse zu gewinnen, wurde ein Bach unabhängig voneinander von zwei verschiedenen Bearbeitern kartiert. Eine Gegenüberstellung der Ergebnisse hat folgendes gezeigt:

- Die Abweichung in der Einstufung beträgt maximal zwei Stufen (von sieben), allerdings nur für einen kurzen Gewässerabschnitt. Bei den übrigen Abschnitten differierte die Bewertung um eine Stufe.
- Die Unterteilung der kartierten Gewässerstrecke in gleichartige Abschnitte stimmt weitgehend überein, d.h. die Ergebnisse beider Kartierungen lassen sich durch Addition bzw. Subtraktion einer Stufe weitgehend ineinander überführen.

Dieser Vergleich zeigt einerseits, daß die Bewertungsergebnisse in bezug auf ihren absoluten Wert mit Vorsicht zu betrachten sind. Andererseits spricht die Gegenüberstellung dafür, daß die Bewertung die relativen Unterschiede des morphologischen Zustands eines Gewässers durchaus zutreffend wiedergibt.

### Eignung des Verfahrens für großräumige Übersichtskartierungen

Die bedingte Reproduzierbarkeit der Kartiererergebnisse stellt die Eignung des Verfahrens für großräumige Übersichtskartierungen in Frage, da eine grundsätzliche Anforderung – die Vergleichbarkeit der Ergebnisse unabhängig vom jeweiligen Bearbeiter – nur bedingt erfüllt ist. Dieses Problem läßt sich umgehen, indem sich das Kartierteam gemeinsam einarbeitet und ständig Erfahrungen über auftretende Bewertungsprobleme austauscht. Dadurch kann sichergestellt werden, daß die Kartierung auf übereinstimmende Weise durchgeführt wird und die Ergebnisse verschiedener Bearbeiter vergleichbar sind.

Für räumlich begrenzte Übersichtskartierungen, die von ein und demselben Bearbeiter durchgeführt werden, sind die o.g. Einschränkungen weniger bedeutend, sofern die Ergebnisse nicht als Grundlage für einen Vergleich mit Daten anderer Fließgewässer herangezogen werden sollen (die von anderen Bearbeitern erhoben wurden).

### Arbeitsaufwand zur Durchführung der Kartierung

Die Kartierung läßt sich mit vertretbarem Aufwand bewältigen, was eine wesentliche Voraussetzung für ihre großräumige Anwendung ist. Dies beruht in erster Linie darauf, daß die Beurteilung keine umfangreichen Messungen oder sonstigen Untersuchungen erfordert, sondern anhand qualitativer Merkmale durch die »Methode des genauen Hinschauens« möglich ist.

Für die reine Geländekartierung des Laufsystems von etwa 90 km wurden etwa 15 Arbeitstage benötigt, was im

Schnitt einer Kartierleistung von rund 750 bis 800 Metern pro Stunde entspricht. Für Vorbereitung der Kartierung, Darstellung der Ergebnisse und Verfassen eines Erläuterungsberichtes einschließlich Fotodokumentation ist etwa noch einmal der 1,5fache Zeitaufwand erforderlich.

#### Aussagekraft und Anwendungsbereiche des Verfahrens

Die Ergebnisse (in Kartenform) geben einen anschaulichen Überblick über die morphologische Situation und den Zustand der Ufergehölze des untersuchten Gewässersystems. Sehr aufschlußreich ist die Verteilung der Strecken, die sich durch besondere Naturnähe oder besondere Defizite auszeichnen.

Gemeinsam mit der bisherigen Gewässergütebeurteilung erlaubt die Kartierung des morphologischen Zustands sowie der Ufergehölze eine Einschätzung der ökologischen Verhältnisse, die erheblich über das hinausgeht, was die Gewässergüte als alleinige Beurteilungsgrundlage leisten kann. Die morphologische Bewertung (einschließlich der Ufergehölze) stellt eine wesentliche – und nach meiner Auffassung – notwendige Erweiterung zur Beurteilung des ökologischen Zustands der Fließgewässer dar.

Das WERTH'sche Verfahren ist – trotz der o.g. Probleme und Einschränkungen – besonders für die planerisch-konzeptionelle Ebene (Maßstab 1:25000 und ungenauer) gut geeignet und kommt z.B. für folgende Anwendungsbereiche in Betracht:

- Landesweite Überwachung des ökologischen Zustands der Fließgewässer: Erweiterung der bisherigen landesweiten Beurteilungsgrundlage »Gewässergüte« um die Aspekte »Morphologie« und »Ufergehölze«. Dabei ist jedoch sicherzustellen, daß die Kartierungsergebnisse – wie zuvor erwähnt – vergleichbar sind.
- Aufstellung von Fließgewässer-Schutzsystemen: Das Bewertungsverfahren kann gemeinsam mit der Gewässergütebeurteilung aufzeigen, in welchen Landschaftsräumen besondere Bestandsdefizite bestehen, wo Schutzmaßnahmen vorrangig ansetzen müssen und die ökologische Entwicklung ganzer Gewässersysteme am erfolgversprechendsten beginnen sollte.
- Entwurf von Konzepten zur Pflege und Entwicklung sowie zur naturnahen Umgestaltung: Durch räumlich übergreifende Kartierung des morphologischen Zustands von Fließgewässern – z.B. auf Landkreisebene – kann aufgezeigt werden, welche Gewässerstrecken besonders schutzwürdig oder besonders entwicklungsbedürftig sind.

Bei konkreten Planungsvorhaben, die sehr detaillierte Grundlagen erfordern (Maßstabsebene 1:5000 und genauer), ist das Verfahren von WERTH nicht geeignet, da die Kartierungsergebnisse keine näheren Informationen z.B. über Art und Umfang der Sohl- und Uferbefestigungen

enthalten. Für derartige Fragestellungen sind weitergehende morphologische Bestandsaufnahmen erforderlich.

Ferner sei darauf hingewiesen, daß eine Bewertung von Morphologie und Ufergehölzen ganz wesentliche Aspekte zu einer umfassenden Beurteilung des ökologischen Zustands von Fließgewässern beitragen kann, die Einbeziehung weiterer grundlegender Gesichtspunkte aber nicht erübrigen kann.

#### L I T E R A T U R

- BOSTELMANN, R., U. FUCHS & A. NESS (1991): Erprobung eines Verfahrens zur gewässermorphologischen Bewertung am Beispiel der Alb (Nordschwarzwald): Handbuch Wasserbau. Stuttgart. In Vorbereitung.
- LÖLF & LWA (1985): (Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung und Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen): Bewertung des ökologischen Zustandes von Fließgewässern. 2. Aufl. 65 S., Düsseldorf.
- MEYEN, E. u. J. SCHMITHÜSEN (Hrsg.) (1962): Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. Bad Godesberg.
- MONSCHAU-DUDENHAUSEN, K. (1982): Wasserpflanzen als Belastungsindikatoren in Fließgewässern, dargestellt am Beispiel der Schwarzwaldflüsse Nagold und Alb. Beih. Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Bad.-Württ. 28: 115 S. Karlsruhe.
- OTTO, A. u. U. BRAUKMANN (1983): Gewässertypologie im ländlichen Raum. Schrft. BMELF, Reihe A: Angewandte Wissenschaft, H. 288: 1–61. Münster.
- WERTH, W. (1986): Die Meltsch und ihre Zubringer. Ökomorphologische Gewässerzustandskartierungen, Folge 5. Hrsg.: Amt der o.Ö. Landesregierung, Linz.
- WERTH, W. (1987): Ökomorphologische Gewässerbewertung in Oberösterreich (Gewässerzustandskartierung). Österreichische Wasserwirtschaft 39:(5/6) 122–128.

# Grundsätze naturgemäßer Gewässergestaltung – Erfahrungen aus Baden-Württemberg

von Klaus Kern

## Zusammenfassung

Naturnahe Umgestaltungen zum Schutz der Fließgewässerökosysteme erfordern eine sorgfältige Planung. Die Maßnahmen sind am Leitbild des natürlichen Gewässertyps unter Berücksichtigung der historischen Landschaftsentwicklung zu orientieren. Grundlegende Voraussetzung für Umgestaltungen ist die Sanierung der Gewässergüte. Die Aue als wesentlicher Bestandteil des Gewässerbiotops ist durch häufige Überflutungen einzubinden. Zur Biotopentwicklung im Gewässerbett ist die Morphodynamik unabdingbar und muß als wesentliches Gestaltungselement genutzt werden. Die weite Spanne der spezifischen Baukosten bringt den Aufwand an Erdbewegungen, Sicherungsarbeiten und Einzelbauwerken zum Ausdruck. Die Ingenieurhonorare sind den besonderen Planungs- und Bauerfordernissen anzupassen.

## 1. Ziele und Rahmenbedingungen

### 1.1 Ziele

Naturnahe Gewässerumgestaltungen dienen dem Schutz von Natur und Landschaft (Abbildung 1). Schutz der Natur muß hier heißen: Schutz des Fließgewässerökosystems mit all seinen komplexen Abläufen, seinen unterschiedlichen Biotopen und Biozönesen. Das ist ein hoher Anspruch. Zu seiner Erfüllung

- muß die gesamte (ursprüngliche) Aue mit einbezogen werden (Regeneration von Auenlebensräumen); auf das Gewässerbett beschränkte ökologische Verbesserungen reichen nicht aus für das Überleben des angestammten Arteninventars.
- sind hohe Ansprüche an die Wasserqualität zu stellen; das betrifft nicht nur die Reinigungsleistungen der Kläranlagen und Regenklärbecken, sondern auch das Problem der diffusen Stoffeinträge.
- muß in erster Linie der Fließcharakter als wesensbestimmter Biotopfaktor erhalten bleiben; es genügt nicht, die Gewässer zu »begrünen« oder beliebige Feuchtbiotope anzulegen.
- müssen die gewässerspezifischen Lebensräume geschaffen bzw. in der dynamischen Entwicklung gefördert werden.

→ müssen schließlich die Gewässerbiotope nicht nur in ihrer ganzen Breite, sondern auch in ihrer ganzen Länge betrachtet werden, d.h. wir müssen von den durch Gemarkungsgrenzen bestimmten Projektstrecken wegkommen und ganze Gewässer und ganze Flußgebiete sanieren.

Wenn wir alle noch vorhandenen Tier- und Pflanzenarten unserer Fließgewässer erhalten und schützen wollen – es sind ja bereits viele Arten bei uns ausgestorben, wie z.B. der Biber –, so müssen wir zumindest einige Gewässersysteme in allen Naturräumen renaturieren (im Wortsinne), wie DAHL u.a. (1989) erkannt haben. Die naturräumlichen Eigenheiten und auch die verbreitungsgeschichtliche Besiedlung der großen Stromgebiete bringen eine ganz spezifische Zusammensetzung der Biozönosen mit sich. So leben z.B. Elritzen nur in kalkreichen Gewässern, und Strömer kommen – unabhängig vom Chemismus – nur im Rheingebiet vor. Bei einem konsequenten Ökosystemschutz für Gewässer und Auen muß diesen Tatsachen Rechnung getragen werden.

Welche kulturhistorische Landschaft ist zu schützen? Eine schwierige Frage, die nicht objektiv zu beantworten ist! Aus ökologischer Sicht könnte die Kulturlandschaft angestrebt werden, die die größte Artenvielfalt hervorgebracht hat. Das ist sicherlich nicht unsere heutige intensiv genutzte Agrarlandschaft mit industriellen Produktionsweisen. Vielleicht ist es ihre Vorgängerin, die reich gegliederte, extensiv genutzte Kulturlandschaft mit kleinbäuerlichen Strukturen, in der der Nährstoffkreislauf noch weitgehend geschlossen war, in der die Brache fester Bewirtschaftungsbestandteil war, von der heute noch häufig Reste von Anlagen zur Wiesenbewässerung zu finden sind.

Das Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG, vom 12.3.1987) stellt im § 1 auch den Schutz der Landschaft zur Erholung des Menschen in den Mittelpunkt seiner Zweckbestimmung. Bekanntlich haben stehende und fließende Gewässer für die Mehrzahl der Menschen den höchsten Erlebniswert. Das kann man jedes Wochenende draußen am Rhein bei Maxau sehen, wo Scharen von Spaziergängern auf den Rheindeichen zu finden sind, obwohl der Fluß hier nichts mehr anderes zu bieten hat als fließendes Wasser und ein paar Schiffe. Dennoch sollten wir uns bemühen, »die Schönheit und Eigenart der Landschaft«, wie es im BNatSchG heißt, wieder erlebbar zu machen.



*Abbildung 1: Ziele und Rahmenbedingungen naturnaher Gewässergestaltungen*

Und gehölzgesäumte, sich schlängelnde Wasserläufe sind nun einmal prägende Bestandteile der Landschaft (zur Landschaftsbildbewertung siehe KRAUSE, ADAM und SCHÄFER, 1983).

Es ist nicht leicht, im immer häufiger diskutierten Zielkonflikt »Naturschutz« und »Erholung in der Natur« Stellung zu beziehen. Zum einen braucht die Natur Ruhe (z.B. Fluchtdistanz Wasservögel mehrere hundert Meter), zum anderen gibt es keinen Vogelschützer, der nicht durch Naturbeobachtung und Naturerleben sein Engagement erlangte. Die wiedergewonnenen naturnahen Auen dürfen und müssen nicht Sperrbezirke werden; das heißt aber auch nicht, daß an jedem umgestalteten Gewässer ein Spazierweg oder ein Bachlehrpfad entlang führen muß.

### **1.2 Rahmenbedingungen**

Der Rahmen der Umgestaltungen wird von wasserwirtschaftlichen Erfordernissen und Nutzungsansprüchen an Gewässer und Landschaft abgesteckt.

Hochwasserschutz, Grundwasserschutz und (qualitativer) Gewässerschutz sind traditionelle Arbeitsfelder der Wasserwirtschaftsbehörden. Die Stabilität des Gewässerbettes wird im derzeit gültigen Wassergesetz von Baden-Württemberg (WG) bei ausgebauten Gewässern garantiert (§ 47 im WG vom 1.7.88). Künftig soll diese generelle Verpflichtung zur Wiederherstellung des Ausbauzustandes entfallen. Damit kann die so wichtige Seitenentwicklung der Gewässer stattfinden. Auskolkungen, örtliche Auflandungen, Kies- und Sandumlagerungen der Sohle sind ebenfalls wichtig und erwünscht. Merkliche Tiefen-

erosion oder Auflandungen der Sohle über weite Strecken jedoch sind im allgemeinen anthropogenen Einflüssen zuzuschreiben und aus wasserwirtschaftlicher, aber auch aus ökologischer Sicht unerwünscht (vgl. 3.2).

Neben den Gewässernutzungen wie Wasserkraft, Entnahmen, Vorflut, Wasser- und Angelsport nebst Berufsfischerei stellt der Flächenanspruch in den Auen für Siedlungen, Industrieanlagen, Verkehr, Land- und Forstwirtschaft und Freizeitanlagen die größte Einschränkung für die Biotopentwicklung an den Gewässern dar.

### **2. Planungsablauf**

Die Planung erfolgt in enger Zusammenarbeit zwischen Wasserbauern und Landespflegern/Ökologen. An die Stelle der landschaftspflegerischen Begleitplanung tritt gleichrangig zur technischen die landschaftspflegerische Planung. Je nach Fragestellung kann der planerische Schwerpunkt bei der einen oder anderen Seite liegen.

Der Planungsablauf (Abbildung 2) unterscheidet sich von den sonstigen wasserbaulichen Projektplanungen vor allem in der Gewichtung. Vorklärung, Bestandsaufnahme und Bewertung bis zur Erarbeitung des Vorentwurfs nehmen den Hauptteil der Ingenieurarbeiten ein. In der Entwurfsplanung sind die bereits vorbereitete Ausführungslösung zu konkretisieren und die für das Planfeststellungsverfahren erforderlichen Nachweise zu führen. Auf eine zusätzliche Ausführungsplanung kann in vielen Fällen ganz verzichtet werden. Mehr Gewicht als sonst üblich erhält die Bauleitung, da zumindest phasenweise ein täglicher Baustellenbesuch erforderlich ist.

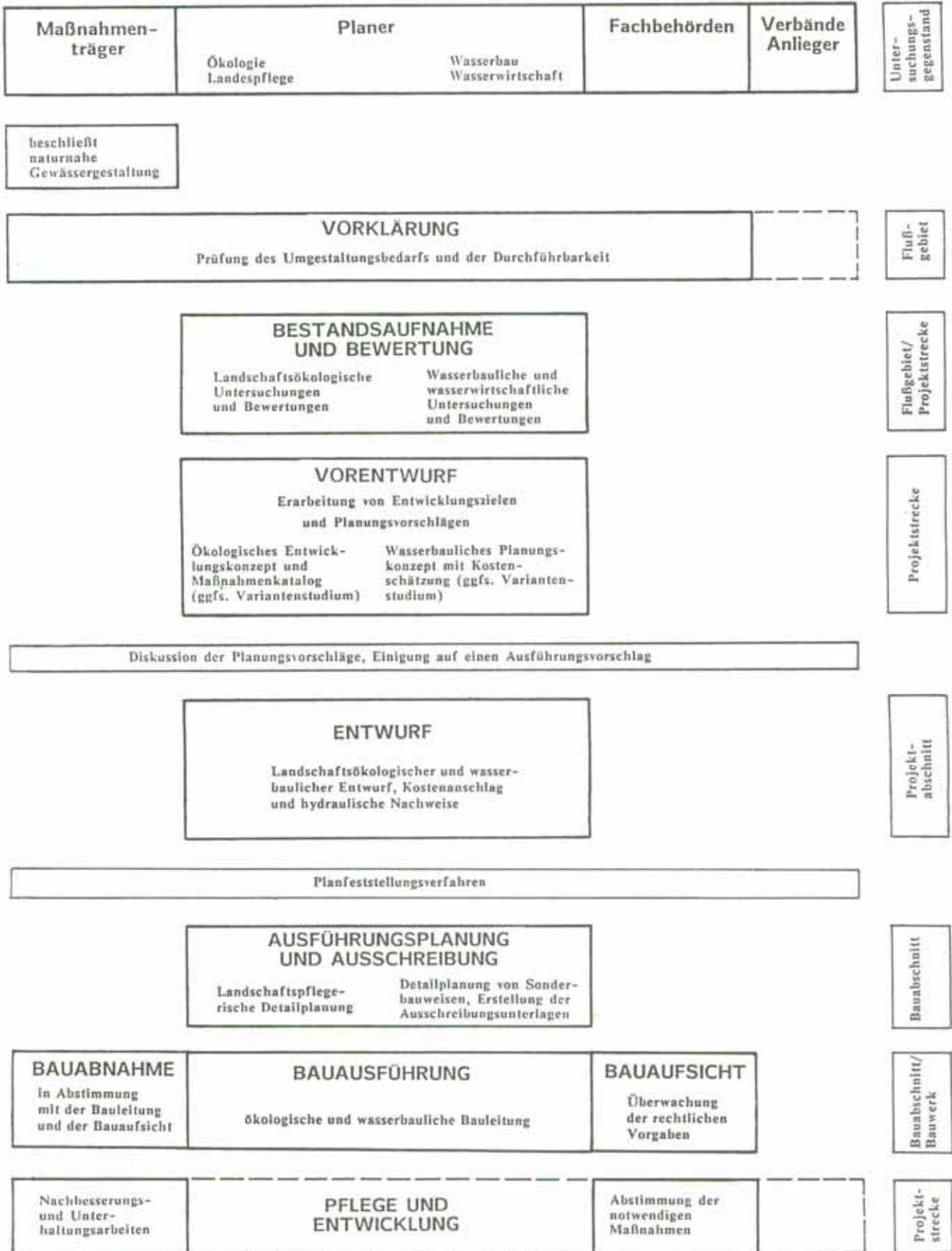


Abbildung 2: Planungs- und Bauablauf bei naturnahen Gewässerumgestaltungen: Beteiligte und Projektschritte (aus UM, in Vorbereitung)

## 2.1 Vorklärung

Zur gesamten Begleitung eines Umgestaltungsvorhabens wird zweckmäßigerweise eine Lenkungsgruppe gebildet, in der neben dem Maßnahmenträger die direkt betroffenen Fachbehörden vertreten sind (Abbildung 3).

In der Vorklärung überprüft die Lenkungsgruppe, ob das Vorhaben erfolgreich durchgeführt werden kann. Sie

- stellt zunächst den Umgestaltungsbedarf fest, ggfs. erteilt sie hierzu einen Auftrag, z.B. zur Kartierung des Gewässerzustandes; u.U. sind weitere Gemeinden zu beteiligen.
- klärt die Hauptzielsetzungen des Vorhabens ab (z.B. Umgestaltung des Gewässerbettes, Regeneration von Auenstandorten, Beseitigung von Drift- und Aufstiegsfallen für die Wasserfauna, Biotopvernetzung, landschaftliche Aufwertung, Förderung der Erholung u.a.).
- stellt fest, ob genügend Fläche zur Verfügung steht oder erworben werden kann. Ist dies nicht der Fall, sind jedoch ökologische Verbesserungen auch ohne

Flächenerwerb möglich, so müssen die Zielsetzungen neu überdacht werden. In diesem Fall kann es auch sinnvoll sein, zunächst einen Gewässerpflegeplan in Auftrag zu geben, der die langfristigen Möglichkeiten einer naturnahen Gewässerentwicklung aufzeigt.

- prüft, ob die Gewässergüte den Anforderungen genügt und ob ggfs. Sanierungsmaßnahmen ergriffen werden können. Mindestgüteklasse II ist vorauszusetzen. In Zweifelsfällen muß ein Fachgutachten eingeholt werden. Falls erhebliche Belastungen vorliegen, die mittelfristig nicht zu beseitigen sind, können wesentliche Ziele nicht erreicht werden.
- grenzt den Untersuchungsraum (i.d.R. identisch mit dem Einzugsgebiet) und das Planungsgebiet (Projektstrecke und Aue) ab.
- prüft die Einbindung in laufende Planungen und Programme.

Der Maßnahmenträger erteilt schließlich den Planungsauftrag.

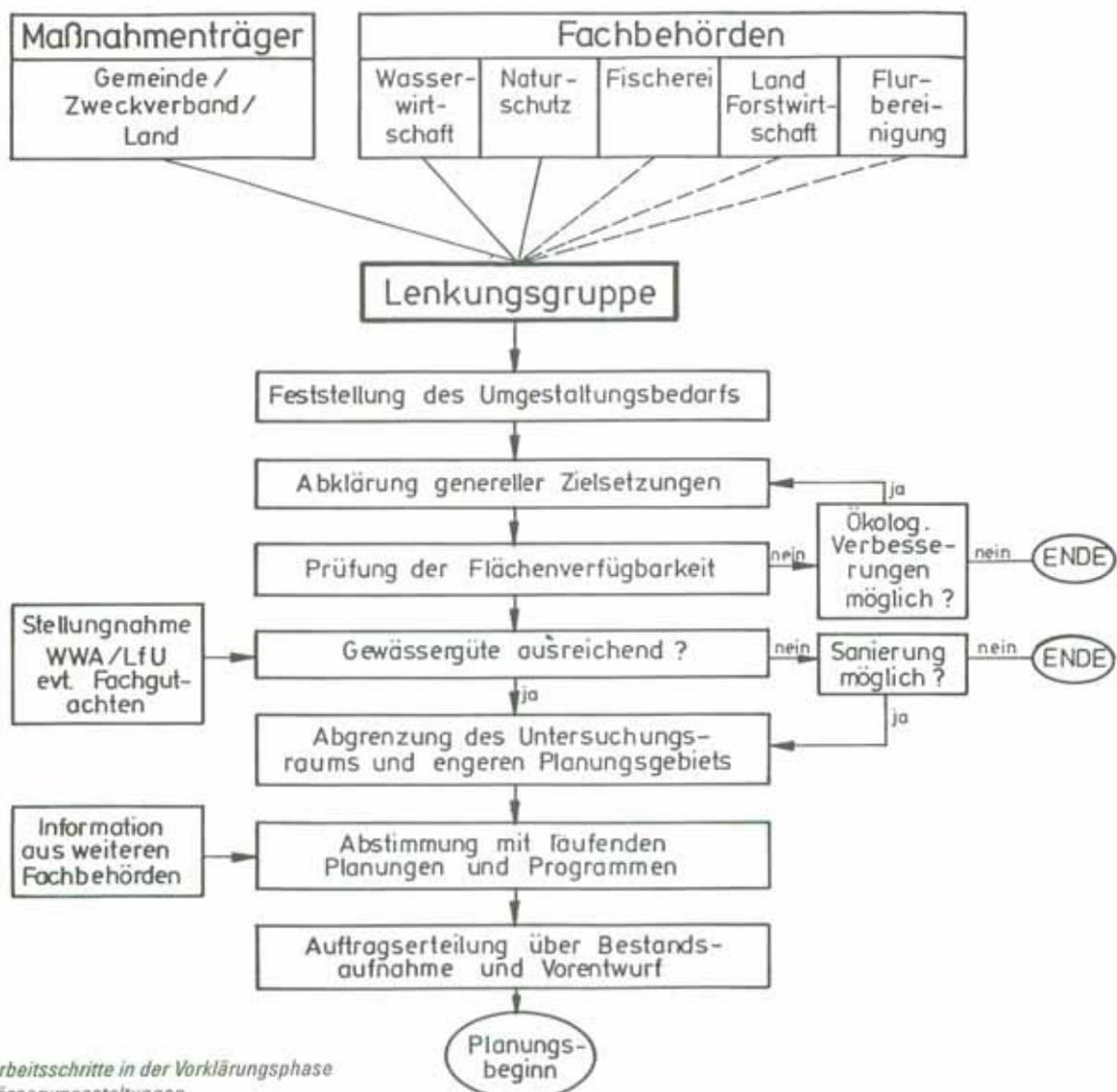


Abbildung 3: Arbeitsschritte in der Vorklärungsphase naturnaher Gewässerumgestaltungen

## 2.2 Bestandsaufnahmen

Bestandsaufnahmen sind im Einzugsgebiet, im Gewässerumfeld und im eigentlichen Planungsgebiet, dem Gewässer- und Auenbereich der Projektstrecke vorzunehmen.

Im Einzugsgebiet und im Umfeld der Projektstrecke sind diejenigen Faktoren zu erfassen, die den Gewässer- und Auenbereich im Planungsgebiet prägen und beeinflussen. Das sind naturräumliche Gegebenheiten, aber auch Nutzungen wie Stauhaltungen, Wehre, Speicherbecken, Einleitungen, Flächennutzung u.a.

Im Planungsgebiet sind neben den aktuellen Nutzungen auch die kulturhistorische Landschaftsentwicklung aufzuzeigen. Die Kartierung von Lebensräumen und Lebensgemeinschaften im Auen- und Gewässerbereich und die Analyse des natürlichen Gewässertyps und des morphologischen Gewässerzustandes sind Schwerpunkte der Bestandserhebung.

Ziel der Bestandsaufnahmen ist es, Defizite sowie Entwicklungspotentiale und -chancen zu erkennen. Hierzu ist nach der fachkundigen Bestandserhebung eine grundlegende Analyse des Zustandsbildes zu leisten. Dabei sind die Störungsursachen, die irreversiblen Eingriffe, die regenerierbaren Landschaftselemente, die wertvollen Lebensräume und die gefährdeten Tier- und Pflanzenarten aufzuzeigen. Weitere Angaben zu den Bestandsaufnahmen siehe UM (in Vorbereitung).

## 2.3 Vom Leitbild zum Entwurf

Im Vorentwurf werden auf der Grundlage der Bestandsanalysen Wege zu einer naturnäheren Entwicklung des Gewässer- und Auenbereichs aufgezeigt. Die Entwicklungsziele orientieren sich an einem Leitbild, in dem die wünschenswerten Gewässer- und Auenmerkmale beschrieben werden (Abbildung 4), unabhängig von den derzeit gegebenen Umsetzungschancen. Das Leitbild ist somit ein Idealbild.

Es entsteht aus der Analyse

- des naturgegebenen Gewässer- und Landschaftscharakters (Gewässertyp, natürliche Auenmerkmale vor menschlichen Einflüssen)
- des Standort- und Entwicklungspotentials (Regenerierbarkeit)
- und der kulturhistorischen Landschaftsentwicklung (Gewässer und Aue als Bestandteil der Kulturlandschaft)

Die Synthese des Leitbildes geht somit von den naturgegebenen gewässertypischen Merkmalen aus, trägt den unwiderruflich veränderten Strukturen und Prozessen Rechnung und berücksichtigt eine weitgehend naturverträgliche anthropogene Nutzung der Gewässer und Auen. Zum letzteren stellt der RAT DER SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN (1985) fest: »Es geht also nicht darum, eine ursprüngliche Naturlandschaft zu



Abbildung 4: Synthese des Gewässerleitbildes und seine Umsetzung in den Entwurf

beschwören, sondern die Vielfalt der aus vergangenen Jahrhunderten überlieferten Kulturlandschaft zu bewahren bzw. zurückzugewinnen. Dies ist das Bezugssystem, das der Pflege des Landschaftsbildes, der Erhaltung der Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes, sowie dem Arten- und Biotopschutz zugrunde zu legen ist.«

Bis auf die Frage der Regenerierbarkeit veränderter Lebensräume und Strukturen ist das Leitbild völlig unabhängig von den aktuellen Nutzungen, Eingriffen und Planungsabsichten zu erstellen. Erst die Umsetzung in realisierbare Planungsvorschläge berücksichtigt die einschränkenden Randbedingungen. Da im Regelfall nur Teilelemente der wünschenswerten Gewässerlandschaft wiederentwickelt werden können, sind oft mehrere Lösungsvarianten denkbar. Die Planer haben die Aufgabe, sinnvolle Lösungsvarianten gegeneinander abzuwägen und die Optimallösung entscheidungsreif auszuarbeiten.

In Abstimmungsgesprächen mit der Lenkungsgruppe und weiteren Beteiligten und Betroffenen (Naturschutzverbände, Anlieger, Gemeinderäte, Interessierte) wird die durchzuführende Lösung festgelegt, die im Entwurf planfeststellungsreif auszuarbeiten ist.

### 3. Gestaltungsgrundsätze

#### 3.1 Regeneration von Auenlebensräumen

Die Aue ist integraler Bestandteil des Fließgewässerökosystems.

Sie nimmt teil an seiner Dynamik

- über die Schwankungen der Abflüsse und Wasserstände
- über den Transport und Austausch von Stoffen (Sedimente, Nährstoffe, Sauerstoff)
- und über die Schwankungen der Grundwasserstände.

Aus wasserwirtschaftlicher Sicht wird die Aue gleich dem Überschwemmungsgebiet gesetzt, dem in der Regel ein seltenes Hochwasserereignis zugrunde liegt (nach VwV des UM vom 8.2.1990 ein  $HQ_{50}$  bis  $HQ_{100}$  bzw. das höchste Hochwasser bis zum Zeitpunkt der Festsetzung). Aus ökologischer Sicht ist die Aue dort abzugrenzen, wo die

rein terrestrischen Ökofaktoren (Klima und Boden) den Standort bestimmen und die dynamischen Faktoren an Einfluß verlieren. Die seltenen Hochwasserereignisse sind hierfür weniger bedeutend als die häufigen (bis etwa  $MHQ$ ).

Die Dynamik des Gewässerökosystems bringt vielfältige Auenstandorte hervor (z.B. GEPP u.a. 1985, GERKEN 1988): Altarme unterschiedlicher Verlandungsstadien, Mulden, Rinnen, Terrassen, frisch aufgeworfene Sand- und Kiesflächen in Ufernähe, die beim nächsten Hochwasser erneut transportiert werden können. Zu dieser morphologischen Vielfalt gehört die Vielfalt der Böden: grobkörnige, stark durchlässige und deshalb extrem trockene Standorte sind charakteristisch für ufernahe Bereiche geschiefbeführender Flüsse; feinkörnige Sedimente bilden den staunassen Auenlehmboden der gewässerfernen Bereiche, um nur die Extreme zu nennen.

Die vielen bekannten anthropogenen Beeinträchtigungen der jüngeren Kulturgeschichte wie Abdämmung, Austrocknung, Auffüllung, Melioration usw. sind nicht die

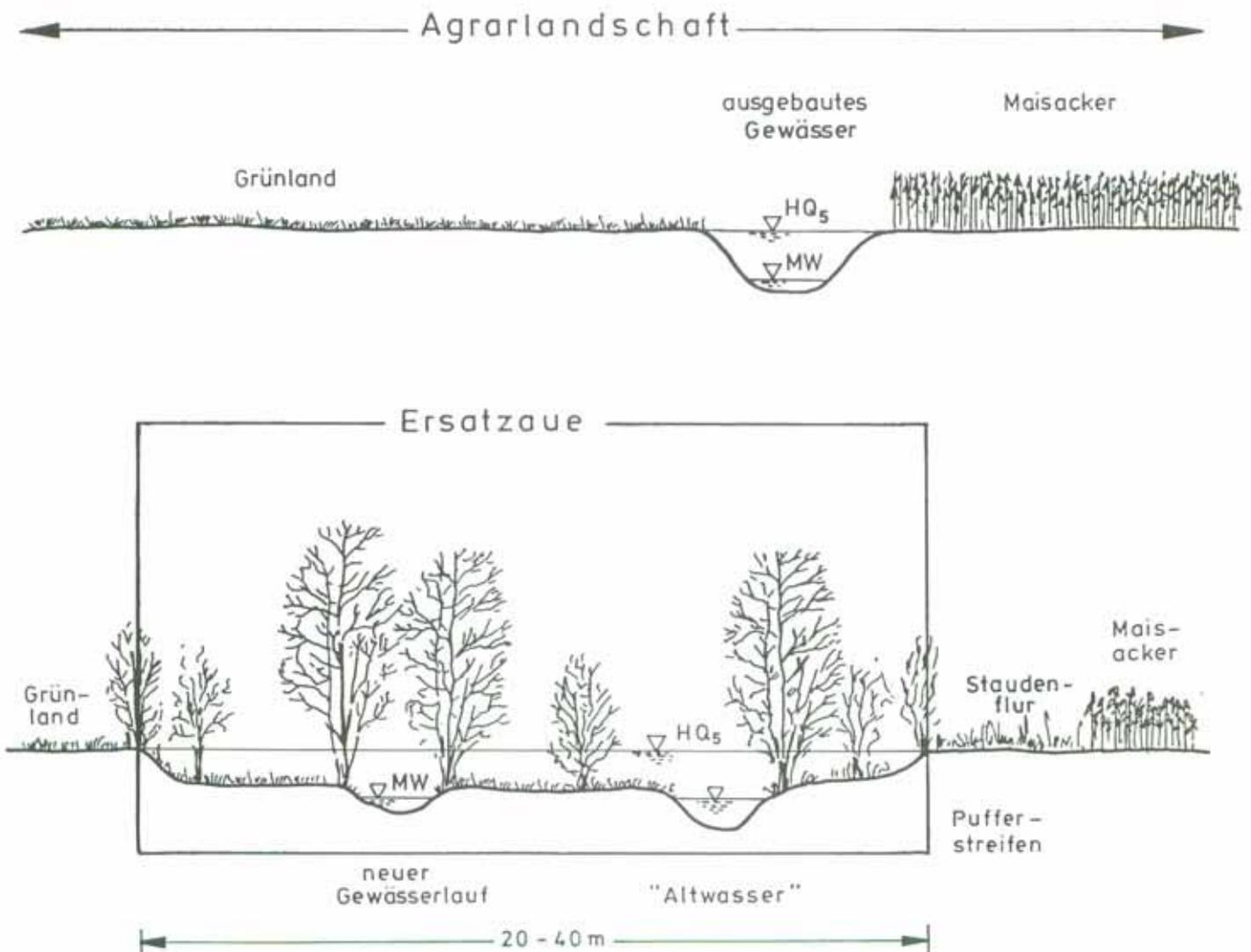


Abbildung 5: Lösungskonzept »Ersatzaue« bei Gewässerumgestaltungen in intensiv genutzten Agrarlandschaften

ersten einschneidenden Veränderungen in den Auenlandschaften. Tatsächlich sind viele Talböden seit dem Beginn der großflächigen Rodungen durch Sedimentation abgespülter Feinpartikel um mehrere Meter angewachsen.

Können Auenlebensräume überhaupt regeneriert werden? An einem neu angelegten Gewässer würde es Jahrhunderte dauern, bis ein dem Gewässer entsprechendes Auenrelief mit zugehöriger Bodenstruktur entstehen könnte. Werden als Kulturland genutzte Flächen zur Sekundärentwicklung von Auen umgestaltet, so müssen deshalb folgende Grundprinzipien beachtet werden:

- Orientierung der Auengestaltung an der ursprünglichen Gewässeraue  
Wie breit war die Aue? Welche Höhenniveaus und Geländestrukturen gab es? Wieviele Altarme gab es gleichzeitig? Wie waren diese geformt, wieviele hatten Verbindung mit dem Gewässer? Wie rasch änderte sich der Flußlauf? Sehr informativ sind in Baden-Württemberg die Urflurkarten, ab etwa 1820, M 1:2500, bzw. 1:1500 mit den späteren Rektifikationen, die in den Archiven der staatlichen Vermessungsämter einzusehen sind. Zur Morphologie und Ökologie von Altgewässern siehe DVWK (1990).
- Regelmäßige Auenüberflutung, also Hochwasser in die Aue!  
Die Entwicklung einer Sekundäraue kann nur stattfinden, wenn sie an der Abflußdynamik auch tatsächlich teilnehmen kann. D.h., bereits kleinere Abflüsse als das MHQ müssen die Aue erreichen; die bordvolle Abflußleistung natürlicher Gewässer liegt eben oft nur beim 2- bis 3fachen Mittelwasserabfluß. Auch darf der Grundwasserflurabstand nicht zu groß sein. Weiteres zu Sekundärauen siehe DISTER (1985).
- Bei abgeschobenen Flächen kein Mutterbodenauftrag, Vegetationsentwicklung weitgehend sich selbst überlassen  
Die Nährstoffe und das Samenpotential im kultivierten Mutterboden bremsen die auentypischen Vegetationsentwicklung. Während auf jegliche Einsaaten, Röhricht- und Staudenpflanzungen verzichtet werden sollte, sind Gehölzpflanzungen i.d.R. erforderlich, da die Beschattung ein wichtiger Faktor in der Biotopentwicklung darstellt.

- Extensive Pflege zur Entwicklung der Auenbiotope  
Gehölzpflanzungen benötigen in jedem Fall eine Entwicklungspflege, bis sie der Krautschicht entwachsen sind. Die weitere Pflege hängt vor allem von den hydraulischen Erfordernissen ab, wobei zu beachten ist, daß ein voll entwickelter Auwald (der fast keine Strauch- und Krautschicht aufweist) erheblich zum Abfluß beitragen kann. Zur Pflege von Altgewässern siehe DVWK (1990).

Werden diese Punkte beachtet und steht genügend Platz zur Verfügung, so kann die Frage nach der Regenerierbarkeit von Auenlebensräumen vermutlich positiv beantwortet werden. Allerdings werden erst künftige Generationen den Erfolg messen können.

Nur selten haben wir das Glück, eine ganze »Altaue« in unsere Umgestaltung einbeziehen zu können. Häufiger muß sich die Natur mit einem vorgegebenen Streifen zur Biotopentwicklung genügen, während in der Umgebung weiterhin oft intensive Landwirtschaft betrieben wird. Die Extensivierung größerer Flächen wird zwar regelmäßig gefordert, ist aber bisher kaum erreicht worden. In diesen Fällen muß eine sogenannte »Ersatzaue« angelegt werden (Abbildung 5). An die Ersatzaue sind prinzipiell die oben formulierten Ansprüche zu stellen. Zu beachten ist: Je schmaler der Streifen, desto höher der Auenabfluß pro Breitenmeter und desto weniger auentypisch sind Fließgeschwindigkeiten, Anstiegszeiten, Sedimentations- und Erosionsvorgänge.

### 3.2 Gewässerdynamik und Eigenentwicklung fördern

Während die Morphologie von sekundären Auen weitgehend vorgegeben werden muß, kann die Energie des fließenden Wassers zur Bettgestaltung genutzt werden. Die Lebensräume der unterschiedlichen Gewässertypen entstehen letztlich durch die Gewässerdynamik:

- Kiesbänke (z.B. als Laichsubstrat) durch Geschiebetransport
- Steilufer durch Seitenschurf bei Mäandrierung
- Gleitufer durch Auflandungen am Innenbogen als Folge des Materialtransports der Sekundärströmung («Spiralströmung»). Aus der strömungsbedingten Kornsortierung heraus ist die Schichtung der Auenböden zu verstehen (Abbildung 6).

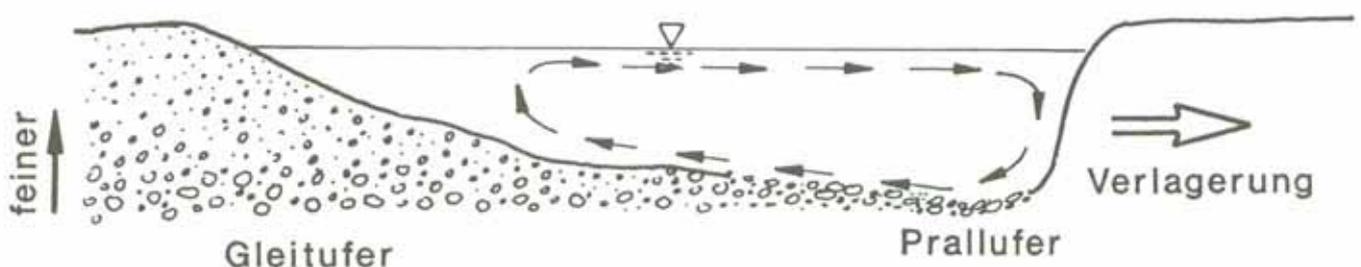


Abbildung 6: Kornklassierung am Gleitufer durch Sekundärströmung in Flußkrümmungen

- Flachwasserzonen im Stromstrich als Folge der Mäandrierung in Übergangsbereichen
- Gumpen als Auskolkungen nach Strömungshindernissen und bei Fließwechsel an Sohlenstufen
- Stromschnellen und Stromstillen in Beschleunigungs- und Verzögerungsstrecken, oft verbunden mit Verengungen und Aufweitungen

Kiesbänke können sowenig »angelegt« werden wie Gumpen. Ihre Entstehung kann aber durch die Gewässerdynamik gefördert werden. Häufig wird das Mittelwasserbett auch in »Ersatzauen« gegen Seitenerosion gesichert. Wozu? Damit wird die Eigenentwicklung des Gewässers gebremst. Hier müssen die Wasserbauer mehr Mut beweisen. Erst die selbstentwickelte Schlängelung des Gewässers ergibt die an Naturstrecken vielfach festgestellte Tiefenvarianz (z.B. JUNGWIRTH u. WINKLER, 1983). Ufersicherungen, auch mit naturgemäßen Bauweisen (vgl. HAUCK i.d. Bd.) sind deshalb auf die Fälle zu beschränken, in denen keine Seitenentwicklung zugelassen werden kann.

Anders sieht es aus mit der Tiefenerosion. Viele Gewässerstrecken sind innerhalb von Jahrzehnten im Dezimeter-, oft gar im Meterbereich erodiert (vergl. z.B. Holzbach in KERN und NADOLNY 1986). Die Gründe sind vielfältig, – Laufverkürzung, Ausbau, Einleitungen, Abflußerhöhung, Geschieberückhalt –, aber alle anthropogen bedingt. Naturgegebene Erosions- und Akkumulationserscheinungen finden in geologischen Zeiträumen statt, oft verbunden mit Klimaänderungen.

Ein erodiertes Gewässer ist so wenig naturnah wie ein mit Regelprofil ausgebauter: die Sohle wird ständig ausgeräumt; es findet weniger Seitenentwicklung statt; der Grundwasserspiegel sinkt, womit sich der gesamte Wasserhaushalt der Aue ändert.

Bei der Sanierung bleibt in solchen Fällen oft nur die Aufbringung einer Deckschicht oder der Einbau von Sohlenstufen übrig (vgl. GEBLER i.d.Bd.). Beides muß als Notbehelf angesehen werden, da diese Bauweisen nur selten dem ursprünglichen Gewässercharakter entsprechen.

Noch schwieriger ist die Sanierung von Auflandungsstrecken. Sandfänge sollten im Nebenschluß angelegt werden, auch wenn sie dann weniger wirksam sind. In jedem Fall sollte bei der Dimensionierung der Abflußprofile genug Reserve eingeplant werden, um die unausweichlichen Räumungen zumindest hinauszuzögern.

Zur Gewässerdynamik und zum Gewässercharakter gehört auch das Fallholz. Temporäre Treibholzschwellen können ganze Bäche umleiten. Gerade im Flachland gehört das Totholz zu den wichtigsten Strukturmerkmalen und Substrattypen (s.a. STATZNER 1986).

#### **4. Bau, Kosten, Honorare**

Die Ausschreibung kann pauschal erfolgen; für Erdarbeiten hat sich auch die Abrechnung nach Zeitaufwand bewährt, da es dann keine Aufmaßprobleme gibt.

Die Bauleitung sollte nicht nur in der Hand des Technikers oder nur des Ökologen liegen; die interdisziplinäre Planung sollte sich auch in der Bauleitung fortsetzen. Da auf Feinplanungen verzichtet werden sollte, ist ein täglicher Baustellenbesuch in den entscheidenden Phasen notwendig.

Die Baukosten schwanken sehr stark je nach Aushub, Sonderbauwerken und Sicherungsarbeiten. Die bei 13 Projekten in Baden-Württemberg ermittelten spezifischen Baukosten lagen zwischen 70 und 1100 DM bei einem Mittelwert von 420 DM (vgl. Tabelle 1). Zwei Drittel der Baukosten lagen zwischen 100 und 300 DM pro Laufmeter.

Die bisherigen Erfahrungen legen den Schluß nahe, daß mit geringerem Aufwand bessere Ergebnisse erzielt werden. Bei der Beurteilung der Kosten müssen jedoch die jeweiligen Umstände berücksichtigt werden.

Die Ingenieurhonorare sollten unbedingt von den Baukosten entkoppelt und z.B. nach Zeitaufwand abgerechnet werden. Der erhebliche Planungs- und Bauleitungsaufwand muß angemessen honoriert werden. Eine entsprechende Änderung der Honorarordnung wurde ange-regt.

Gewässer	Landkreis	Länge (km)	Einzugsgebiet (km <sup>2</sup> )	MQ (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>Karst</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Umgest.-breite (m)	Baukosten (DM/lfdm)	Bemerkung
Speltach	Schwäbisch Hall	ca.2,0 <sup>1)</sup>	35	0,32	13	15-20	150 (b)	1) 1. Bauabschnitt 1989
Kleines Sulzbächle	Rastatt	0,54 <sup>1)</sup>	5,5	0,05	14	35	500 <sup>1)</sup> (b)	1) Versuchsstrecke 1990 2) Hochwasserausbau von 7 auf 14 m <sup>2</sup> /s
Kambach	Offenburg	1,7 <sup>1)</sup>	16,5	ca. 0,13	4	10-25	140 (a)	1) gebaut 1988/89
Siegentalbach	Alb-Donau-Kreis	0,8 <sup>1)</sup>	6,5	(0,04) <sup>1)</sup>	3,2	20	216 (a)	1) 1. Bauabschnitt 1986/87 2) Karstgebiet, verm. weniger
Erlengraben	Karlsruhe	0,7 <sup>1)</sup> 1,05 <sup>1)</sup>	... <sup>1)</sup>	ca.0,2	20	10-15 bis 21	300 <sup>1)</sup> (a) 1100 <sup>1)</sup> (b)	1) Entlastungskanal der Alb 2) 1. BA 1985/86 (ohne Wegebau) 3) 2. BA 1988/89 (ohne Sonderbauwerke, Wegebau u. Pflanzkosten)
Kirnau	Neckar-Odenwald	0,165	23,3	0,12	ca.15	8-10	880 (b)	innerörtliche Umgestaltung 1983/84
Reiherbach	Karlsruhe	0,26	... <sup>1)</sup>	--	16	8-15	250 (a)	1) Entlastungskanal der Alb Umgestaltung 1987
Steinbach	Schwäbisch-Hall	1,05	8,7	ca. 0,08	ca.5	8-16	124 <sup>1)</sup> (a)	1) einschl. 9 Sohlgleiten à ca. 5000 DM Umgestaltung 1988
Alb	Karlsruhe	0,5	320	2,94	50/65	20-30	520 (a)	Einbau von Inseln in verbreitertes Flußbett, ausgeführt 1988
Sulzbach	Ludwigsburg	0,5	42	... <sup>1)</sup>	--	3	70 <sup>1)</sup> (a)	1) gering, da Karstgebiet 2) Eigenleistung durch Bachpaten nicht enthalten, ausgeführt 1986/87 u. 1988/89
Gutenbach	Aalen	0,84	12	... <sup>1)</sup>	15	7-23	240 <sup>1)</sup> (a)	1) Karstgebiet 2) ohne Pflanzkosten 1987 ausgeführt
Rebbach-Böglebach	Ravensburg	1,1	3,1	0,03-0,04	16	7-8	270 <sup>1)</sup> (a)	1) ohne Brückenkosten 1987/88 ausgeführt
Sandbach	Rastatt	0,9	40	0,87	21	20	1100 <sup>1)</sup> (b)	1) ohne Sonderbauwerke 1989/90 ausgeführt

Table 1: Spezifische Baukosten von Umgestaltungsprojekten in Baden-Württemberg zur Zeit des Baus ohne Grunderwerbs- und Planungskosten. (a) abgerechnete Kosten, (b) veranschlagte Kosten

## L I T E R A T U R

- Dahl, H.-J., M. Hullen, W. Herr, D. Todeskino u. G. Wiegand (1989): Beiträge zum Fließgewässerschutz in Niedersachsen. Naturschutz Landschaftspflege Nieders., H. 18, 284 S., Hannover.
- Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK) (1990): Ökologische Aspekte bei Altgewässern. DVWK-Merkblätter, Entwurf Januar 1990, Bonn.
- Dister, E. (1985): Auelebensräume und Retentionsfunktion. In: Die Zukunft der ostbayerischen Donaulandschaft. Seminar vom 18./19. Nov. 1985 in Würth a.d. Donau, Akademie für Naturschutz und Landschaftspf. Laufen (Hrsg.), 74-90.
- Gebler, R. (1990): Naturgemäße Bauweisen von Sohlenstufen. Institut für Wasserbau und Kulturtechnik, Mitt. 180, Universität Karlsruhe.
- Gepp, J., N. Baumann, E. P. Kauch, W. Lazowski, (1985): Auengewässer als Ökozellen. Grüne Reihe des Bundesministeriums für Gesundheit und Umweltschutz, Bd. 4, 322 S., Wien.
- Gerken, B. (1988): Auen - verborgene Lebensadern der Natur. Verlag Rombach, 132 S., Freiburg.
- Hauck, W. (1991): Naturgemäße Bauweisen zur Ufersicherung. Institut für Wasserbau und Kulturtechnik, Mitt. 180, Universität Karlsruhe.
- Jungwirth, M. u. H. Winkler, (1983): Die Bedeutung der Flußbettstruktur für Fischgemeinschaften. Österr. Wasserwirtschaft, 35, Jg., 229 - 234.
- Kern, K. u. I. Nadolny, (1986): Naturnahe Umgestaltung ausgebauter Fließgewässer - Projektstudie. Institut für Wasserbau und Kulturtechnik, Mitt. 175, 143 S., Universität Karlsruhe.

- Krause, C. L., K. Adam u. B. Schäfer, (1983): Landschaftsbildanalyse - Methodische Grundlagen zur Ermittlung der Qualität des Landschaftsbildes. Bundesforschungsanstalt f. Naturschutz u. Landschaftsökologie (Hrsg.), Schr.R. Landschaftspf. u. Natursch. 25, 168 S., Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.
- Rat der Sachverständigen für Umweltfragen (1985): Umweltprobleme der Landwirtschaft. Sondergutachten, 423 S., Verlag Kohlhammer, Stuttgart.
- Statzner, B. (1986): Fließwasserökologische Aspekte bei naturnaher Umgestaltung. In: Naturnahe Umgestaltung ausgebauter Fließgewässer - Beiträge zum wasserbaulichen Kolloquium am 14. Febr. 1986 in Karlsruhe. Institut f. Wasserbau und Kulturtechnik, Mitt. 174, 55-95, Universität Karlsruhe.
- U M Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg (in Vorbereitung): Naturnahe Umgestaltung von Fließgewässern. Handbuch Wasserbau, H. 2, Stuttgart.
- V w V U M (1990): Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums zur Einführung des Verordnungsmusters für Überschwemmungsgebiete (Überschwemmungsgebietserlaß), Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg vom 8. Febr. 1990, Stuttgart.

# Vegetationskartierung mit Hilfe von Farbinfrarot-Luftbildern

von Werner Konold, Ruth Pfeilsticker, Michael Jöst

## 1. Einleitung

Man kann die Vegetationsdecke nach klimatischen Zonen, nach arealkundlichen, nach rein floristischen, nach standortkundlichen, ökologischen, physiognomischen, strukturellen und dynamischen (z.B. phänologischen) Gesichtspunkten aufnehmen und darstellen. Das Ziel sollte in jedem Fall eine Vegetationskarte sein, die ein möglichst realistisches Bild der zum Aufnahmezeitraum vorhandenen Pflanzendecke vermittelt. In Abhängigkeit von der jeweiligen Fragestellung, von der Fläche des aufzunehmenden Raumes und vom Darstellungsmaßstab<sup>1</sup>, den man nach pragmatischen Gesichtspunkten auswählt, wird man sich für die eine oder andere Kartiermethode entscheiden<sup>2</sup>. Ein wichtiger Entscheidungsfaktor ist sicherlich auch die Zeit, die man für die Kartierung zur Verfügung hat.

Die eine Seite des Methodenspektrums ist die großmaßstäbliche Mikrokartierung, bei der Pflanzenindividuen etwa entlang eines Umweltgradienten (z.B. Wasserhaushalt, Nährstoffversorgung) im Maßstab 1:10 bis 1:50 aufgenommen werden<sup>3</sup>. Solche Karten können nur im Gelände erstellt werden. – Auf der anderen Seite des Spektrums stehen extrem kleinmaßstäbliche Karten, die nur noch weitgehend undifferenzierte, globale Formationsklassen darstellen (Tropischer Regenwald, boreale Nadelwaldzone), welche man auf Grund großklimatischer Unterschiede voneinander abgrenzt. Geländearbeit wird hierbei nicht mehr betrieben.

Mit zunehmender Flächengröße wird der Abstraktionsgrad immer höher und der Zwang immer größer, von einzelnen repräsentativen Arealen im Gelände auf größere Flächen extrapolieren zu müssen. Je kleiner der gewählte Maßstab ist, um so mehr muß die Darstellung der Vegetation vereinfacht werden und – wenn im Gelände kartiert wird – ist man auf aktuelles Kartenmaterial angewiesen. Die Vegetation flächendeckend und für einen größeren Landschaftsausschnitt im Gelände aufzunehmen, erfordert in der Regel einen hohen Zeitaufwand und auch eine gewisse Erfahrung, wenn es Orientierungsprobleme gibt oder wenn es um die Entscheidung geht, Vegetationsgrenzen zu ziehen, die objektiv gar nicht vorhanden sind, aber gezogen werden müssen.

## 2. Das Hilfsmittel der Luftbildinterpretation

Als eine teilweise Alternative oder doch zumindest als eine gute Ergänzung zur Geländearbeit bietet sich die Auswertung von Luftbildern an. Diese sollte die Gelände-

arbeit um das Orientieren, das Suchen, das Grenzen-Vorfolgen und Abmessen entlasten, sollte sie beschleunigen und verbessern<sup>4</sup>. Ein Ersatz für die Geländearbeit darf sie nicht sein, denn »...wir würden zwar die Kartiereinheiten richtig abgrenzen, wüßten aber nichts über ihre Ausprägung, ihren Artenreichtum oder ihre Artenverarmung, wüßten wenig über Beeinträchtigungen, wenig über das Landschaftsbild, nichts über die wahren Farben, Formen, Gerüche, Geräusche, über die Landschaft als Ganzes«<sup>5</sup>. Diese richtigen Einwände berücksichtigend bietet die Luftbildinterpretation eine ganze Reihe von Vorteilen:

- Man ist zunächst unabhängig von Karten bzw. kann z.B. ohne weiteres die Realität des Luftbildes auf eine veraltete Karte übertragen und diese dabei korrigieren.
- Das Bildmaterial ist im Maßstab veränderbar und kann innerhalb eines gewissen Rahmens (Körnung des Films, Auflösungsvermögen) unterschiedlichen Bedürfnissen angepaßt werden.
- Es gibt keine Orientierungsprobleme in großflächigen Wäldern, Brachen, Mooren, Wiesen, Abbauflächen usw. Die Genauigkeit der Kartierung ist also hoch einzuschätzen<sup>6</sup>.
- Kartierungen mit Hilfe von Luftbildern sind erheblich schneller durchzuführen als Geländekartierungen<sup>7</sup>.

Die Übereinstimmungen zwischen Geländearbeit und Luftbildinterpretation sind nach Erfahrungen aus Niedersachsen sehr hoch für die Lebensraumtypen »Feucht- und Naßgrünland«, »Ruderalflächen« und »Gehölzstrukturen«<sup>8</sup>. Ganz generell lassen sich vertikale Vegetationsstrukturen hervorragend aus dem Luftbild ablesen, insbesondere, wenn es sich um stereoskopisch auswertbare Luftaufnahmen handelt.

Auf einige Nachteile bzw. Probleme soll weiter unten am konkreten Beispiel eingegangen werden.

Dem Farbluftbild, dem Schwarzweiß-Luftbild und dem Schwarzweiß-Infrarot-Luftbild ist das Farbinfrarot-Luftbild in der Regel vorzuziehen<sup>9</sup>, da dieser Film schärfer und in den farblichen Abstufungen differenzierter ist. Interpretationsfähig ist eine ganze Reihe von Bildeigenschaften bzw. Bildinhalten<sup>10</sup>, nämlich Farbton, Farbsättigung, die Form des abzugrenzenden Lebensraumes (z.B. für die Unterscheidung natürlicher See/Baggersee oder naturnahes/ausgebautes Fließgewässer), die vertikale und horizontale Ausdehnung eines Lebensraumes, die Textur einer Fläche (einheitlicher Farbton, Farbschlieren,

<sup>1</sup> vgl. SEIBERT 1974  
<sup>2</sup> KÖNOLD 1987, S.213 ff  
<sup>3</sup> s. KÖNOLD 1984

<sup>4</sup> BIERHALS 1988  
<sup>5</sup> BIERHALS 1988, S.85  
<sup>6</sup> BIERHALS 1988, S.84  
<sup>7</sup> dazu BIERHALS S.81 ff  
<sup>8</sup> BIERHALS 1988, S.84  
<sup>9</sup> zu physikalischen Grundlagen, zur Technik und zum Filmmaterial: LÖFFLER 1995, BIERHALS 1988  
<sup>10</sup> BIERHALS 1988, S.95 f

-tupfen oder -flecken) und die Verbindung von Farbton und Textur mit den (stereoskopisch!) abzulesenden Oberflächenformen bzw. auch mit der Lage einer Fläche in der Landschaft (Kuppenlage, Nähe zu einem Fließgewässer, Unterhang...). Interpretierbar ist auch die Kombination von Farben und Textur mit dem Befliegungszeitpunkt (eine wechselfeuchte Wiese stellt sich im Mai anders dar als im Juli oder August). Nutzungs- und Bewirtschaftungsspuren sagen uns direkt etwas über einzelne Nutzungsarten, über Nutzungsintensitäten, Trittschäden, Narbenschäden oder die »Erschließung« empfindlicher Flächen. Sehr gut abzulesen ist auch der Wärmehaushalt von Gewässern<sup>11</sup>.

Eine sehr wichtige Frage ist die nach dem »besten« Zeitpunkt der Befliegung. Je nach der Ausrichtung der Bildinterpretation muß die Antwort unterschiedlich ausfallen: Steht der Bodenwasserhaushalt im Vordergrund, etwa im Rahmen der Potentialanalyse einer Landschaft, so wird der Zeitraum März/April günstig sein; bei einer Feuchtgebietskartierung hingegen der Zeitraum April/Mai, bei einer Grünlandkartierung der Mai, gegebenenfalls auch der August; bei einer Waldschadenskartierung wird man den August als Befliegungszeitraum wählen. – Meist jedoch wird der genaue Zeitpunkt von der aktuellen Witterung bestimmt, denn es gibt in unserem mitteleuropäischen Klimabereich nur wenige Tage in der Vegetationsperiode, die sich für eine Infrarot-Befliegung aus größerer Höhe eignen. – Es wäre u.E. eine interessante Fragestellung und eine lohnende Investition, von einem Landschaftsausschnitt Infrarot-Luftbilder aus verschiedenen Jahreszeiten auf ihren Interpretationsgehalt hin zu vergleichen.

### 3. Das Beispiel Donauaue

#### 3.1. Vorüberlegungen

Die allgemeinen Ausführungen sollen nun mit konkreten Erfahrungen angereichert werden, die wir im Rahmen des Projekts »Donausanierung zwischen Sigmaringen und Zwiefaltendorf« gesammelt haben<sup>12</sup>. Die folgenden Punkte waren ausschlaggebend für die Entscheidung für eine Befliegung (dieser Entscheidungsrahmen kann durchaus verallgemeinert werden!):

- Die Projektkonzeption verlangt einen großräumlichen Bezug, der landschaftsökologisch verwertbar ist; dieser Bezug ist der Talraum der Donau, und zwar nahezu lückenlos.
- Aktuelle Luftbilder sind unersetzliche Hilfsmittel bei einem großräumlichen Bezug und auch notwendig für die Geländearbeit.
- Die zu betrachtende Fläche mit knapp 5500 ha ist sehr groß und die zur Verfügung stehende Zeit zu kurz für eine flächendeckende Geländekartierung.

→ Von einer Luftbildauswertung ist eine hinreichende Genauigkeit für eine Übersicht zu erwarten, auch hinsichtlich der Aussage, welche Flächen und Strukturen gegebenenfalls detailliert im Gelände untersucht werden müssen, wenn das Sanierungskonzept sukzessive verwirklicht wird.

→ Die Luftbildauswertung ermöglicht in der Zukunft interessante Vergleiche in räumlich-zeitlicher Dimension, sei es im Bereich der Flächennutzung, der Bewertung der Lebensraumqualität ganz allgemein oder sei es als Teil der Erfolgskontrolle für Sanierungsmaßnahmen.

Man einigte sich darauf, erstens stereoskopisch auswertbare Farbinfrarot-(CIR) Luftbilder anfertigen zu lassen, da diese die mutmaßlich besten Interpretationsmöglichkeiten bieten, zweitens, die Bilder als Diapositive zu bearbeiten (höhere Auflösung, bessere Kontraste, Betrachtung auch im Durchlicht möglich, beständigeres Material) und drittens, die Dias im Maßstab 1:5000 anzufertigen (s. Abbildung 1). Bei diesem Maßstab umfaßt jedes Dia einen ausreichend großen Landschaftsausschnitt, bei dem man den Überblick nicht verliert; die Auflösung ist sehr hoch, auch kleine Lebensräume sind noch abgrenz- und darstellbar; die Gesamtzahl der Dias ist überschaubar; und schließlich: es besteht eine sehr gute Konvertierbarkeit in die Maßstäbe 1:2500 (Flurkarte, parzellenscharfe Auswertung, Verbindung mit dem Kataster...) und 1:10000 (Übersicht ohne Informationsverlust, guter Maßstab für Vorplanung).

#### 3.2 Der Arbeitsablauf

Die Befliegung fand Ende August statt. Ein etwas früherer Zeitpunkt wäre sicherlich besser gewesen, doch die Witterung ließ es nicht zu. Etwa zur gleichen Zeit wurde für Ausschnitte des Untersuchungsgebiets eine Feinkartierung im Gelände durchgeführt, um daraus einen Luftbild-Interpretationsschlüssel herstellen zu können<sup>13</sup>. Die Gleichzeitigkeit der beiden Arbeitsschritte ist eine wichtige Voraussetzung für eine richtige Interpretation der Bilder in einem solchen Maßstab. Diese Aussage träfe für größere Maßstäbe noch stärker zu. Für jeden Bildflug muß ein neuer Interpretationsschlüssel erarbeitet werden, da das Filmmaterial und die für die Entwicklung notwendigen Chemikalien, insbesondere aber auch die optischen Gegebenheiten im Gelände jedesmal etwas anders sind. Außerdem muß der Schlüssel immer vom Luftbildinterpretieren selbst gemacht werden, da die Erfahrung im Gelände unmittelbar in die Auswertung einfließt. Ein Geländetermin zur Absicherung des Schlüssels sollte immer einkalkuliert werden.

Wie wurde konkret vorgegangen? Die Donauaue um Bechingen/Zell und das Gebiet Blochinger »Sandwinkel«/»Pfaffengereut« wurden zunächst im Gelände nach erkennbaren Biotop- und Nutzungsstrukturen im Flurkartenmaßstab (1:2500) kartiert (s. Abbildung 2). Dann wurde geprüft, inwieweit die kartierten Grenzen auf den

<sup>11</sup> weitere Beispiele in SCHNEIDER 1984  
<sup>12</sup> KONOLD et al. 1989

<sup>13</sup> zum Verfahren siehe z.B. LFU Bad-Württ. 1987



Abbildung 1: Farbinfrarot-Luftbild des Gebietes Blochinger Sandwinkel/ Pfaffengereut (Kreis Sigmaringen); Originalmaßstab 1:5000

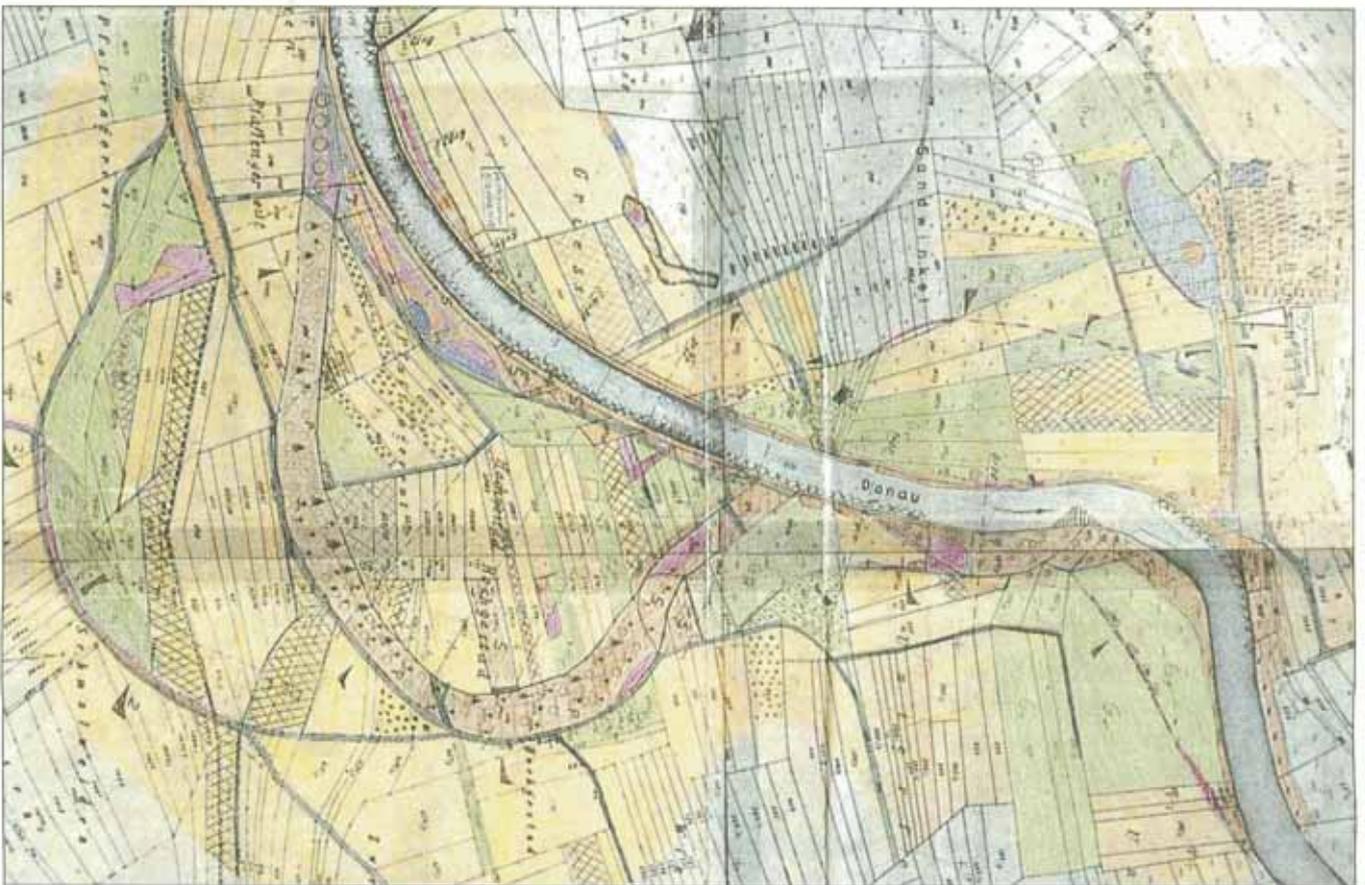


Abbildung 2: Im Gelände erstellte Vegetationskarte im Bereich Blochinger Sandwinkel/Pfaffengereut als Grundlage für die Erstellung eines Interpretationsschlüssels; Original im Maßstab 1:2500

Infrarot-Dias zu erkennen sind. Hieraus wurde ein Kartierschlüssel nach vorläufig erkennbaren Biotop- und Nutzungsstrukturen erstellt. Im Fall des Gebietes »Grieß«/Neun Brunnen bei Hundersingen (ein besonders strukturreiches Gebiet) wurde umgekehrt verfahren: Die Luftbilder wurden mit Hilfe des vorläufigen Kartierschlüssels am Leuchttisch und mit dem Stereoskop interpretiert und anschließend im Gelände überprüft. Aus der Gesamtheit der Informationen wurde ein endgültiger Kartier- bzw. Interpretationsschlüssel erarbeitet, mit dessen Hilfe die knapp 5500 ha ausgewertet wurden. Dabei erhielt jede Kartiereinheit eine Codenummer (s. Tabelle 1). Dieser Schlüssel ist natürlich nur gültig für das Untersuchungsgebiet und den Maßstab 1:5000.

### 3.3 Die Interpretation

Der Tabelle 1 ist zu entnehmen, daß es bei den ausgewiesenen Nutzungs- und Biotopstrukturen nicht einfach nur um die Beschreibung der Vegetationsdecke geht. Vielmehr bewegt sich die Qualität der Aussagen auf verschiedenen Ebenen. Herauszuholen aus der Darstellung sind beispielsweise auch Angaben über Lebensraumqualitäten, etwa

- über potentielle Grundwasserbelastung (z.B. ist die potentielle Pestizidbelastung abzuleiten aus dem Anteil des Maises an den Ackerbauflächen);
- über die vertikale Struktur eines Bestandes (Streuobstwiese, Schilfbrache, Feuchtbrache);
- über die Intensität der Grünlandnutzung;
- über den Wasserhaushalt (bei »Feuchtbrachen, Schilfbrachen, feuchte Ausbildungen des Dauergrünlands«);
- über die Artendiversität (Brachflächen sind tendenziell immer artenärmer<sup>14</sup>; Ruderalflächen besitzen ein hohes Artenpotential; extensives Grünland ist artenreicher als intensives Grünland);
- über neu besiedelbare Flächen (Rohböden und Pionierflächen besitzen eine wichtige Funktion als Trittsteine für ephemere und konkurrenzschwache Arten);
- über den Zustand von stehenden Gewässern: sommerkühle, also grundwassergespeiste Stillgewässer sind tendenziell eher nährstoffarm, weniger produktiv, weniger stark von Pflanzen besiedelt, eher von stenöken Arten besiedelt; sommerwarme Stillgewässer sind eher nährstoffreich, produktiv und stark von eutraphenten Arten besiedelt; bei sommerwarmen Gewässern ist mit einem problematischen Sauerstoffhaushalt zu rechnen; und vor allem auch
- über die Verteilung der einzelnen Lebensräume, Nutzflächen, Strukturen in der Landschaft; wichtig ist, ob sie flächig oder linear ausgebildet, ob sie isoliert oder gleichmäßig dispergiert sind, ob es sich um große, einheitlich genutzte Flächen handelt oder um ein Mosaik von Lebensräumen bzw. Lebensgemeinschaften.

Sehr interessant sind in diesem Zusammenhang Berechnungen über Randliniendichten oder Hektar/Ar/Quadratmeter eines Lebensraumtyps pro Flächeneinheit (z.B. pro km<sup>2</sup>).

Nun noch zu einigen Einzelheiten, was die Flächeninterpretation angeht<sup>15</sup>:

#### Feuchtbrachen (2.1 und 2.2 in Tabelle 1)

Feuchtbrachen waren auf den Luftbildern wegen ihrer groben Textur von Acker- und Grünlandparzellen sehr gut abgrenzbar. Nur großflächige Schilfbrachen wurden getrennt erfaßt, sofern sie als Reinbestände eine relativ homogene Textur aufwiesen. Auf eine feinere Untergliederung wurde verzichtet. Zwar waren Strukturen erkennbar, die unterschiedliche Pflanzenbestände widerspiegeln. Sichere Aussagen über deren Artenspektrum waren jedoch nicht zu treffen. Die Einheit 2.2 (Feuchtbrachen unterschiedlicher Sukzession) muß daher in Verbindung mit den Luftbildern im Gelände kartiert und überprüft werden, um detaillierte Aussagen treffen zu können.

#### Ruderalflächen (3. in Tabelle 1)

Auf Grund ihrer relativ groben Textur sind die Ruderalflächen den Feuchtbrachen ähnlich, unterscheiden sich jedoch durch ihre Lage, die geringere Größe und die schwächere Tönung. Die Farbstufen sind weniger differenziert, extreme Rottöne fehlen. Unter diese Einheit fallen Nitrophytenfluren und Trockenbrachen, also unbewirtschaftete Grenzertragsflächen, flächige Brennessel-fluren, Bahndämme, stark verwachsene, aber kaum verholzte Pionierstandorte usw. Auch solche Flächen müssen zu gegebener Zeit im Gelände genauer kartiert werden.

#### Gehölzdominierte Flächen und Strukturen (4.1 bis 4.7 in Tabelle 1)

Gehölze sind auf den Luftbildern sehr gut erkennbar («eine Domäne der Luftbildinterpretation»<sup>16</sup>). Meist ist auch eine Gattungs- oder Artbestimmung möglich. Rottöne und Form spiegeln in der Regel den Charakter der einzelnen Baumarten klar wider. Die Gehölzbestände an der Donau wurden aus Erfahrungen der Uferzustandskartierung heraus in Gehölze der Fluß- und Bachauen, Hangwälder mit hohem Laubholzanteil, Mischwälder und Nadelwälder unterschieden. In weiterer Entfernung wurden laubholzreiche Gehölzstreifen und Feldgehölze und bei großflächigeren Einheiten Laub-, Nadel- und Mischwälder kartiert. In Siedlungsnähe waren Streuobstbestände mit altem Hochstammobst als eigene Einheit darstellbar. Die Gehölzstrukturen sind oft innig ineinander verzahnt, die Übergänge fließend. Wo Nadelholzinseln als Aufforstungen im Luftbildmaßstab sinnvoll abgrenzbar waren, wurden sie innerhalb größerer Waldbestände herauskartiert.

#### Vegetationsfreie Rohböden und Pionierflächen (5. in Tabelle 1)

Hellgelbe und ockerfarbene helle Flächen weisen auf

<sup>14</sup> vgl. z.B. KONOLD 1987

<sup>15</sup> vgl. dazu LFU Bad.-Württ. 1987  
<sup>16</sup> BIERHALS 1988, S. 84

vegetationsfreie Rohböden und Pionierstandorte hin. Darunter fallen im Abbau befindliche Kiesgruben ohne ihre Grundwasserseen, großflächige Kiesbänke oder Donaurandbereiche und sonstige vegetationsarme Areale mit Ausnahme der Verkehrswege. Eine enge Verzahnung besteht mit den Feuchtbrachen und mit den Ruderalflächen. Es handelt sich auch hier um potentiell wertvolle Pflanzenstandorte und natürlich auch Tierhabitate, die einer genaueren Untersuchung vor Ort bedürfen.

#### Ackerland (6.1 bis 6.3 in Tabelle 1)

Einige Ackerkulturen waren sehr deutlich erkennbar, so vor allem Ackerbohnen, Mais und Rüben. Die Getreideflächen waren zum Überfliegungszeitpunkt größtenteils abgeerntet, umgepflügt, frisch bestellt oder trugen bereits wieder Zweitfrüchte, so daß eine Differenzierung nicht möglich war. Sie wurde auch nicht als sinnvoll angesehen. Nur Maisparzellen und Sonderkulturen wurden herauskartiert, um ihren Anteil an der gesamten ackerbaulichen Nutzung zu ermitteln. Unter die Rubrik Sonderkulturen fallen vor allem Baumschulen und Gärtnereien.

#### Dauergrünland (7.1 bis 7.3 in Tabelle 1)

Hierunter fallen mehrschürige Wiesen, Dauerweiden, Mähweiden und extensiv genutzte oder vor kurzer Zeit brachgefallene Wiesenparzellen. Wirtschaftsgrünland ist durch eine homogene Färbung erkennbar. Frisch abgemähte Wiesen erscheinen hell, außerdem sind sie an der Art der Fahrspuren vom oft ähnlichen Ackerland unterscheidbar. Herangewachsene Wiesen erscheinen kräftig rot. Die feuchte Ausbildung des Wirtschaftsgrünlandes ist noch kräftiger rot, dunkler und fleckig. In Hanglage und an schlecht zugänglichen Stellen sind extensiv genutzte und wahrscheinlich von Hand bewirtschaftete Wiesenparzellen, oft zwischen Gehölzgruppen oder Streuobstbeständen, an ihrer Textur erkennbar. Sie haben Ähnlichkeit mit nicht abgemähten Getreideäckern, woraus man schließen kann, daß der Reifezeitpunkt der Gräser erreicht bzw. überschritten ist. Feuchte Wirtschaftswiesen und extensiv genutztes Grünland müssen gegebenenfalls einer näheren Geländeerhebung unterzogen werden.

### 3.4 Probleme und Grenzen der Infrarot-Luftbildinterpretation

Vorauszuschicken ist, daß der in Tabelle 1 aufgeführte Schlüssel sich für unser Untersuchungsgebiet bewährt hat und daß er nicht ergänzungsbedürftig war. Eine stärkere Untergliederung und eine entsprechend detailliertere Flächenabgrenzung hätte zum großen Teil nur eine scheinbar größere Genauigkeit und eine höhere Fehlerquote gebracht. Denn es stellte sich bei den verschiedenen Ansätzen zur Erstellung des Schlüssels heraus, daß einerseits bestimmte, einheitliche Rottöne mehrere, teilweise sehr unterschiedliche Biotoptypen repräsentieren, und daß andererseits gleiche Nutzungsstrukturen sehr unterschiedliche Rottöne aufweisen können. Hier sind deutliche Grenzen der Interpretation von Infrarot-Luftbil-

dern zu erkennen, wobei die Ausprägung der Probleme stark vom Zeitpunkt der Befliegung abhängig ist. Ganz konkret bedeutet dies zum Beispiel,

- daß sich Zwischenfruchtanbau auf Äckern praktisch nicht von frisch gemähtem Grünland unterscheiden läßt;
- daß Ackerfutterbauflächen (etwa Klee gras-Einsaat) als Grünland erscheinen;
- daß feuchte Wirtschaftswiesen in frisch gemähtem Zustand als solche nicht erkennbar sind;
- daß die Rotfärbung der Wiesen ganz stark davon abhängig ist, wie lange die letzte Mahd zurückliegt;
- daß die im Rahmen von Pflegemaßnahmen gemähten Feuchtbrachen – was meist nur alle paar Jahre passiert, es handelt sich also schon um Brachflächen – wie gemähtes Grünland erscheinen;
- daß Trockenbrachen als Ackerland interpretiert werden können, wenn die schütterere Vegetation verblüht und bereits strohig geworden ist; und schließlich,
- daß auf den Luftbildern oftmals Farbtonungen in Schlierenform erscheinen, die bei einer Kartierung im Gelände nicht nachvollziehbar sind, allenfalls in Form späterer Reife. – Was man mit diesen Tönungen erfaßt, ist ein abweichender Wasserhaushalt oder Wasserstand (oft nicht einmal geländemorphologisch erkennbar), also im Grunde ein Teil des standörtlichen Potentials und insofern durchaus als wichtige Information anzusehen.

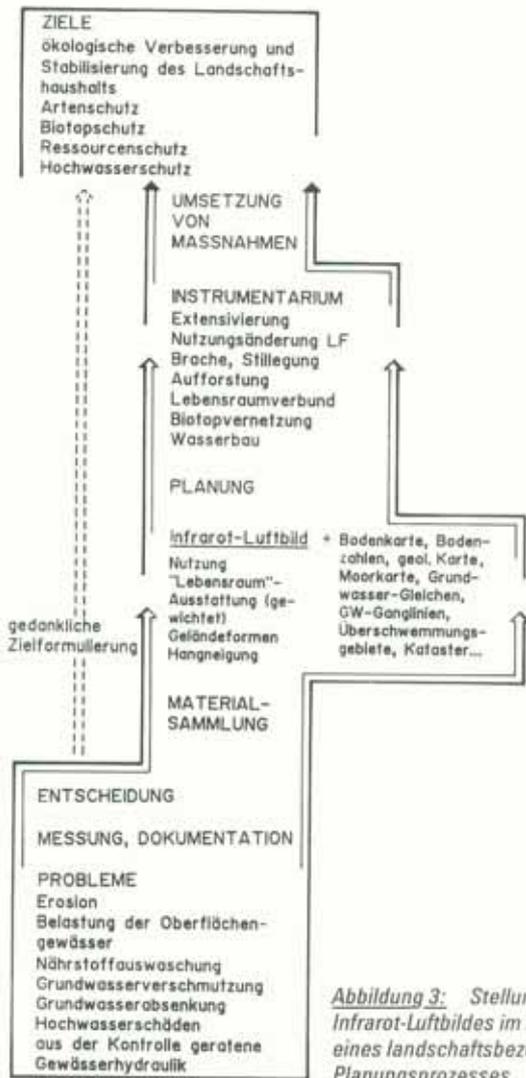
Ein weiteres Problem besteht darin, daß in Wäldern die oft sehr aussagekräftige Strauch- und Krautschicht nicht angesprochen werden kann<sup>77</sup>. Vegetationsgrenzen werden häufig durch Nutzungsgrenzen verwischt. Denken wir hierbei z.B. an einen Übergangsbereich vom frischen zum feuchten Grünland, in dem sich die Mahd nicht an der Vegetation, sondern am aktuellen Wasserhaushalt, also an der Befahrbarkeit der Fläche, orientiert. Sehr kleine punktuelle und schmale lineare Lebensräume, etwa feuchte Dellen in Wiesen, Uferabbrüche, Raine oder Böschungen werden als Trittsteine bzw. vernetzende Elemente fast zwangsläufig unterschätzt, da sie ab einem gewissen Maßstab nicht mehr umgrenzbar und deshalb auch nicht darstellbar sind.

Ganz generell besteht die Gefahr – um es auf den Punkt zu bringen –, daß einerseits Dinge interpretiert werden, die in der Realität nicht vorhanden sind, und andererseits, daß Unterschiede, die in der Realität vorhanden sind, nicht wahrgenommen werden und daß auf diese Weise manches nivelliert wird.

<sup>77</sup> siehe auch BERTHALS 1988, S. 85

Code	Bezeichnung	Häufigkeit des Auftretens	Fläche ha
1.1	Sommerkühle Stillgewässer	8	5,2
1.2	Sommerwarme Stillgewässer	80	12,1
1.3	Fließgewässer (Donau mit Zuflüssen)	55	130
Summe 1	Gewässer		147,3
2.1	Schilfbrachen	13	5,3
2.2	Feuchtbrachen (unterschiedliche Sukzessionsstadien)	265	164
Summe 2	Feuchtbrachen		169,3
3.	Ruderalflächen	148	43,2
4.1	Hangwälder mit hohem Laubholzanteil	6	49,1
4.2	Gehölzstrukturen der Fluß- und Bachauen	298	182,1
4.3	Laubwälder	26	128
4.4	Mischwälder	16	136,6
4.5	Nadelwälder	30	38,1
4.6	Laubholzreiche Gehölzstreifen und Feldgehölze	169	94,6
4.7	Streuobstbestände	101	76
Summe 4	Gehölzdominierte Flächen und Strukturen		704,5
5.	Rohböden, Pionierflächen	19	22,8
6.1	Ackerland (ohne Mais)	269	2.043,1
6.2	Mais	291	309
6.3	Sonderkulturen	9	2,9
Summe 6	Ackerbauflächen		2.355
7.1	Dauergrünland, Wirtschaftsgrünland	389	1.050,3
7.2	Feuchte Ausbildungen des Dauergrünlands	72	852,3
7.3	Extensiv bewirtschaftetes Grünland	49	72,9
Summe 7	Grünland		1.975,5
Gesamt			5.418 ha

*Tabelle 1: Kartierschlüssel für die Luftbildauswertung in der Donauaue und Flächenbilanz für die einzelnen Nutzungs- und Biotopstrukturen*



#### 4. Weitere Verarbeitungs- und Auswertungsmöglichkeiten

Es gibt viele Möglichkeiten, das Potential, das in den Infrarot-Luftbildern steckt, auszuschöpfen und mit verschiedenen Zielen, Inhalten und Themenkarten in Verbindung bzw. zur Deckung zu bringen. Zu denken ist hierbei insbesondere an eine photogrammetrische Auswertung und die Übertragung der Bildinterpretation in ein Geographisches Informationssystem. Wenn eine flächendeckende Luftbildauswertung gemacht wird – was immer der selektiven Auswertung vorzuziehen ist –, so besitzen wir natürlich hervorragende Unterlagen für Verbesserungsvorschläge in der Fläche.

Über die Einsatzmöglichkeiten der Infrarot-Luftbilder im Zusammenhang mit bestimmten Zielsetzungen, Unterlagen und Instrumentarien soll die Abbildung 3 einen groben Eindruck vermitteln. Eine sehr wertvolle Unterlage (im wahrsten Sinne des Wortes, bezogen auf eine Planungsebene) ist der farbige Ausdruck der Nutzungs- und Biotopstrukturen (Abbildung 4), in den jeweils andere Themenkarten hineinprojiziert werden können, und auf dem in verschiedenen Maßstäben Übersichts- oder bereits detaillierte Planungen gemacht werden können.

#### 5. Fazit

Infrarot-Luftbilder sind ausgezeichnete Hilfsmittel für die Aufnahme und Beurteilung größerer Räume oder Landschaftsausschnitte.

Infrarot-Luftbilder bieten eine Fülle von direkten und indirekten Interpretationsmöglichkeiten, die weit über die Beschreibung der Vegetationsdecke hinausgehen.

Ein(e) gute(r) Luftbildinterpret(in) muß immer auch über landschaftsökologische und im speziellen über vegetationskundliche Geländeerfahrungen verfügen.

Die Fehlerquote bei der Interpretation (bei einer guten Interpretation!) ist bezogen auf spezielle Lebensräume – trockene, nasse, ruderal, magere usw. – und wichtige landschaftliche Strukturen eher gering. Größer kann die Fehlerquote sein bei der Einschätzung von Nutzflächen (Entscheidung Ackerfutterbau oder Intensivgrünland?), was jedoch die inhaltliche Aussage der Interpretation wenig schmälert.

Die Luftbild-Interpretation liefert hinreichend genaue Aussagen darüber, wo im Gelände in einem größeren Maßstab vertieft kartiert werden muß.

Die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten des Infrarot-Luftbildes sollten nach Bedarf sukzessive ausgeschöpft werden unter Zuhilfenahme der Photogrammetrie und Geographischer Informationssysteme.

Die Chancen, die die Luftbild-Interpretation bietet, dürfen nicht dazu verleiten, auf Geländearbeit zu verzichten.

Die Erfahrungen, die wir im Rahmen des Projekts »Donau-Sanierung« gemacht haben, sind zu einem erheblichen Teil auf andere Gebiete und andere Vorhaben übertragbar. Insofern besitzen diese Ausführungen eine gewisse Allgemeingültigkeit.

#### L I T E R A T U R

- BIERHALS, E. (1988) : CIR-Luftbilder für die flächendeckende Biotopkartierung. – Inform. d. Naturschutz Nieders. 8(5): 77-104 (Hannover)
- KONOLD, W., (1984) : Zur Ökologie kleiner Fließgewässer. Verschiedene Ausbauarten und ihre Bewertung. – Agrar- und Umweltforschung in Baden-Württemberg 6 (Stuttgart)
- KONOLD, W., (1987a) : Oberschwäbische Weiher und Seen. Geschichte, Kultur, Vegetation, Limnologie, Naturschutz. – Beih. Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Bad.-Württ. 52 (Stuttgart)
- KONOLD, W., (1987b) : Bedeutung von Brachflächen aus ökologischer Sicht. – Symp. »Wildtier und Umwelt«, Forschungsinstitut für Wildtierkunde der Vet.med. Univ. Wien: 86-95 (Wien)
- KONOLD, W., R. PFEILSTICKER, M. JÖST, W. SCHÜTZ, C. OSSWALD & C. LEBA, (1989) : Donausanierung zwischen Sigmaringen und Zwiefaltendorf. Landschaftsökologischer Teil. – Manuskript (Stuttgart)
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (= LfU Bad.-Württ.) (Hrsg.), (1987) : Erfassung und Bewertung von Biotopen mit Farbinfrarot-Luftbildern aus der Landesforstbefliegung 1983. – Untersuchungen zur Landschaftsplanung 13 (Karlsruhe)
- LÖFFLER, E., (1985) : Geographie und Fernerkundung (Stuttgart)
- SCHNEIDER, S. (Bearb.), (1984) : Angewandte Fernerkundung: Methoden und Beispiele. – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hannover)
- SEIBERT, P., (1974) : Die Rolle des Maßstabs bei der Abgrenzung von Vegetationseinheiten. – In: Tüxen, R. (Hrsg.): Tatsachen und Probleme der Grenzen in der Vegetation: 103-117 (Lehre)

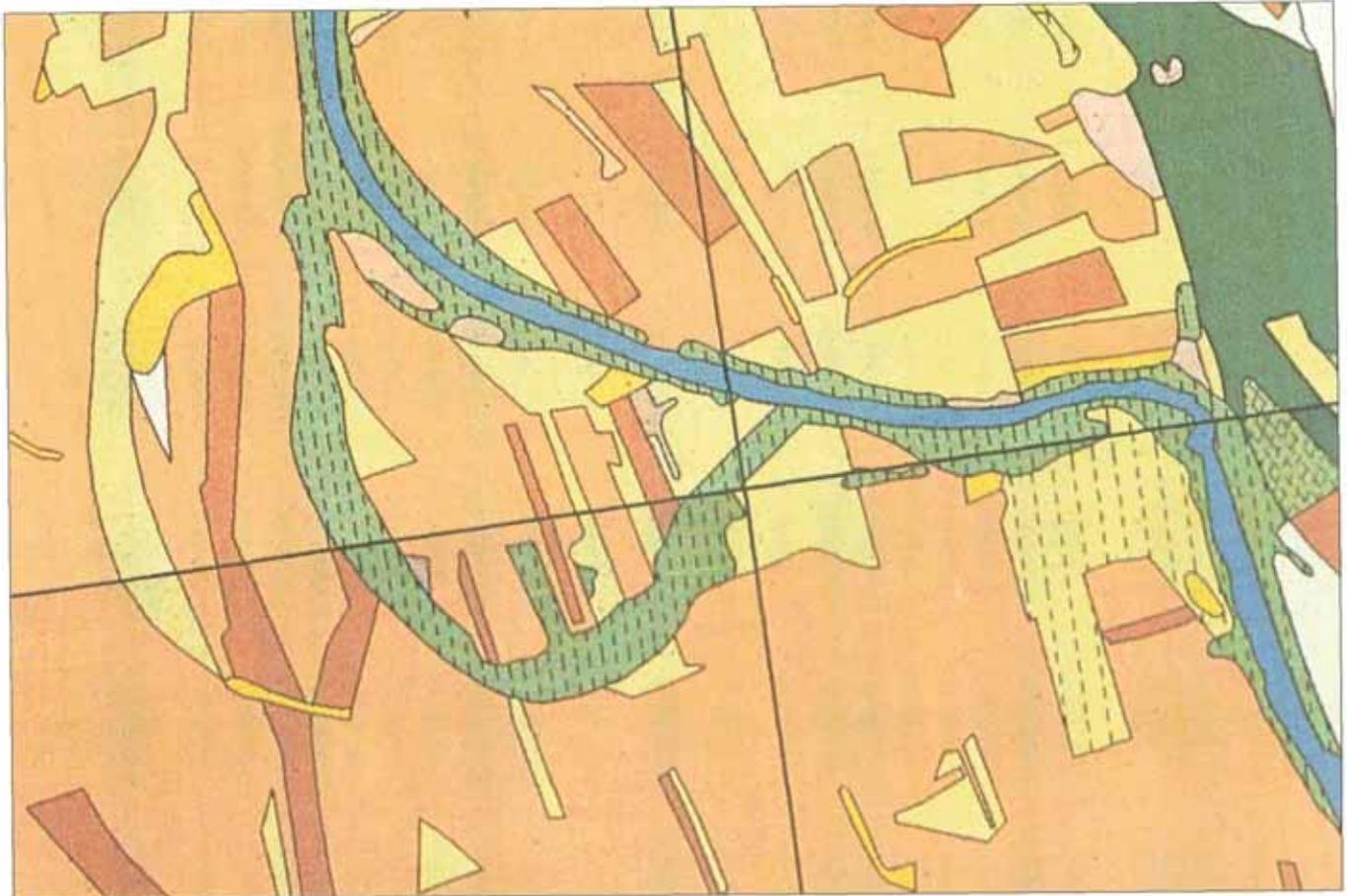


Abbildung 4: Farbausdruck des Gebietes Blochinger Sandwinkel/Pfaffengereut nach der Verarbeitung der ausgewerteten Luftbilder mit einem Geographischen Informationssystem; Originalmaßstab 1:10000

## REALNUTZUNGSKARTIERUNG zur DONAURENATURIERUNG

ZWISCHEN SIGMARINGEN UND ZWIEFALTENDORF

- |   |   |   |   |
|---|---|---|---|
|  | 1.1 Sommerkühle Stillgewässer                     |  | 5 Vegetationsfreie Rohböden, Pionierflächen |
|  | 1.2 Sommerwarme Stillgewässer                     |  | 6.1 Ackerland unterschiedlicher Nutzung     |
|  | 1.3 Fließgewässer (Donau mit Zuflüssen)           |  | 6.2 Mais                                    |
|  | 2.1 Schilfbrachen                                 |  | 6.3 Sonderkulturen                          |
|  | 2.2 Feuchtbrachen                                 |  | 7.1 Dauergrünland                           |
|  | 3 Ruderalflächen                                  |  | 7.2 Feuchte Ausbildung des Dauergrünlandes  |
|  | 4.1 Hangwälder mit hohem Laubholzanteil           |  | 7.3 Extensiv bewirtschaftetes Grünland      |
|  | 4.2 Gehölzstrukturen der Fluß- und Bachauen       |   |   |
|  | 4.3 Laubwälder                                    |   |   |
|  | 4.4 Mischwälder                                   |   |   |
|  | 4.5 Nadelwälder                                   |   |   |
|  | 4.6 Laubholzreiche Gehölzstreifen und Feldgehölze |   |   |
|  | 4.7 Streuobstbestände                             |   |   |

# Limnologische Untersuchungen bei naturgemäßer Gewässergestaltung

– Bedeutung für Planung und Erfolgskontrolle –

von U. Braukmann

## 1. Zielsetzung naturnaher Gestaltung aus ökologischer Sicht

Nach einer Renaturierung soll ein Gewässer sowohl morphologisch als auch biologisch dem natürlichen Vorbild näher sein als vorher.

Das Gewässer soll nicht nur vom optischen oder ästhetischen Bild her aufgewertet werden, sondern in seinen ökologischen Strukturen und Funktionen nutzungsunabhängig optimiert werden. Eine Aufgabe limnologisch-biologischer Gewässeranalyse ist es, hierfür Maßstäbe zu entwickeln, mit denen man ökologische Qualitätsverbesserung reproduzierbar messen oder belegen kann. Eine weitere Aufgabe ist es, Gewässerbelastungen aufzuzeigen.

## 2. Planungsrelevante Untersuchungen

### 2.1. Gewässergütedefizite

Es sei in diesem Zusammenhang ein kurzer Exkurs zur Abhängigkeit des Vorkommens bzw. der Verbreitung von Fließgewässerorganismen erlaubt. Die Verbreitung von Fließgewässerorganismen hängt von einer Vielzahl komplex miteinander verwobener Umweltfaktoren ab. In Abbildung 1 sind einige der wichtigsten Faktoren dargestellt.

Die angeführten Einflußgrößen lassen sich im wesentlichen zu zwei Komplexen vereinen, nämlich den naturgegebenen, ökologischen und den vom Menschen geprägten, den sog. anthropogenen Faktoren. Beide Faktorenkomplexe stehen in der Weise in Beziehung zueinander, daß zunehmender menschlicher Einfluß die natürlichen Faktoren weniger bedeutsam werden läßt und umgekehrt. Das bedeutet beispielsweise, daß die extreme Belastung eines Fließgewässers durch jahrzehntelanges Einleiten von ungeklärtem häuslichem Abwasser alle übrigen ökologischen Faktoren völlig überlagerte.

Eine extreme stoffliche Belastung nivelliert auch in einem morphologisch reich strukturierten Gewässer infolge einseitiger Lebensbedingungen, z.B. durch Sauerstoffmangel und Verschlammung der Sohle, die Organismengemeinschaft des Gewässers derart, daß es sich biologisch kaum von einem gleichermaßen belasteten, aber zusätzlich ausgebauten Gewässer unterscheidet. D.h., im Falle schwerer organischer Belastung ist es für ein Fließgewässer ziemlich unwesentlich, ob es mehr oder weniger

natürlich oder aber ausgebaut ist. Erst bei weniger belastetem Zustand fallen ökologische Defizite ausgebauter Fließgewässer, die sich aus der morphologischen Strukturarmut ergeben, stärker ins Auge.

Erfreulicherweise hat sich die Gewässergütesituation in bezug auf die Belastung durch abbaubare organische Substanzen, vor allem in diesem Jahrzehnt, allgemein merklich verbessert, wie Abbildung 2 zeigt. Dargestellt wird die Entwicklung der Belastungssituation von 1968 bis 1990.

In zahlreichen kleineren, nicht kartierten Bächen des Landes herrschen allerdings noch heute z. Teil desolate Zustände hinsichtlich der Abwasserbelastung. Es erscheint daher auf jeden Fall vor einer geplanten Renaturierung zwingend notwendig, mittels biologischer und ggf. kombiniert mit chemischen Untersuchungen, die Gewässergüte im Hinblick auf eine vorhandene stoffliche Belastung zu ermitteln. Zeigt die biologische Analyse, günstigenfalls ergänzt durch chemische Untersuchungen, eine Belastung, die ein Gewässer schlechter als mit Belastungsstufe bzw. Güteklasse II höchstens II – III erscheinen läßt, so ist die Aussicht auf eine wirkungsvolle Besserung der ökologischen Situation im Gewässer in Frage gestellt, je stärker es belastet ist, um so eindeutiger.

Bei auffälliger Artenarmut, die nicht auf morphologisch bedingte Ursachen zurückzuführen ist, sondern den Verdacht einer toxischen Belastung, z.B. auch durch Pestizide aus der Landwirtschaft, entstehen läßt, ist zur Klärung der Ursachen eine spezifische chemische Untersuchung des Wassers und des Sediments angebracht. In jedem Fall ist mit der örtlichen Wasserwirtschaftsverwaltung zuvor die Frage möglicher Emittenten abzuklären und die Ursache stofflicher Belastung aufzuspüren und abzustellen, bevor eine ökologisch wirksame Renaturierung im eingangs geschilderten Sinne durchgeführt werden kann. Die limnologische Gewässeruntersuchung liefert somit eine wesentliche Planungs- und Entscheidungshilfe für eine erfolgreiche Gewässerrenaturierung.

### 2.2. Untersuchungsprogramm und -methodik

In jedem Fall einer geplanten naturnahen Umgestaltungsmaßnahme ist mindestens eine qualifizierte biologische Untersuchung zu einer geeigneten Jahreszeit, am besten im Frühjahr, erforderlich. Sie sollte im Hinblick auf

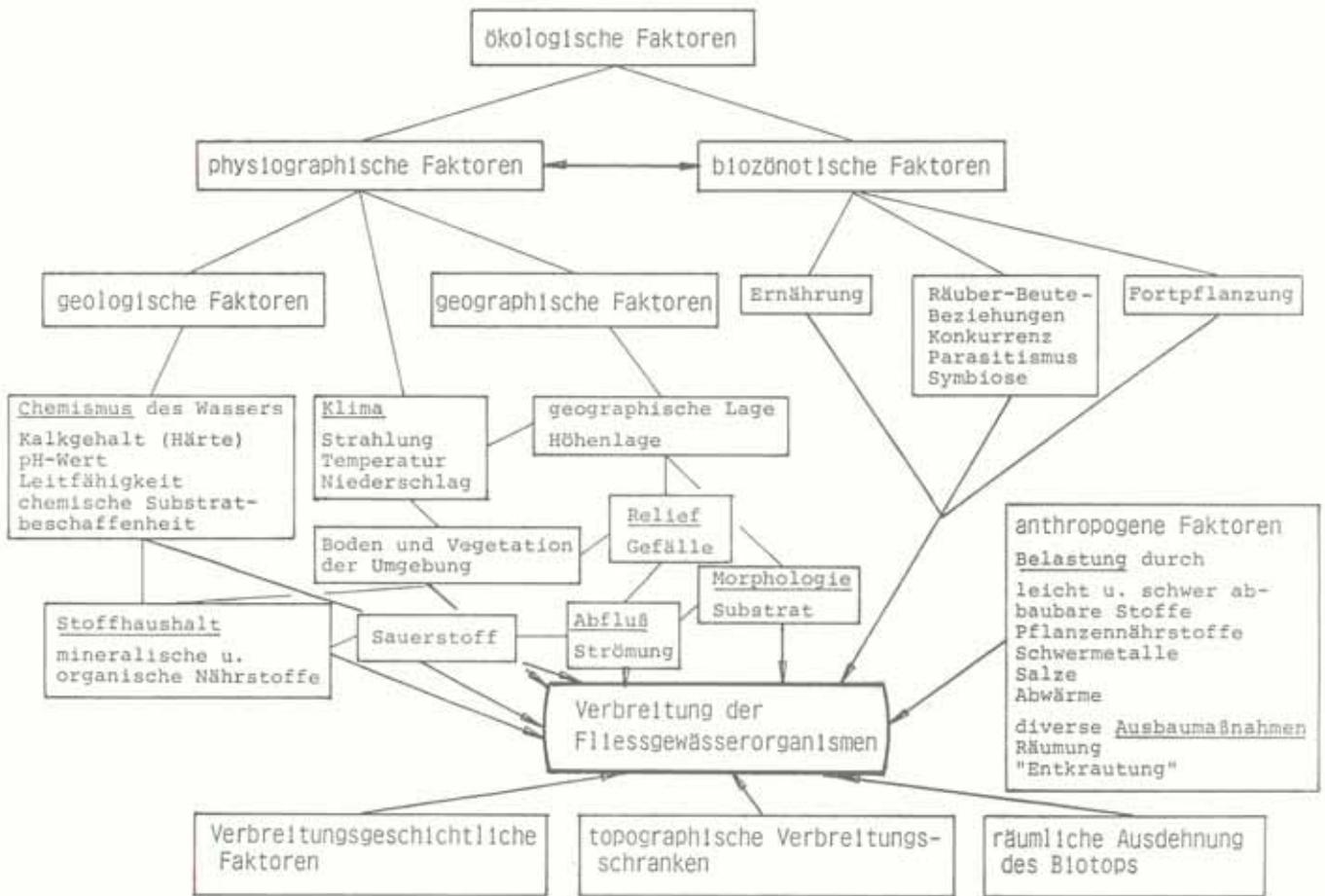


Abbildung 1: Gefüge naturgegebener ökologischer und anthropogener Faktoren, die die Verbreitungen von Süßwasserorganismen bestimmen (aus BRAUKMANN 1987)

die bisher vorliegenden, äußerst geringen Kenntnisse über die möglichen Erfolge einer Umgestaltung in ihrer Präzision über das für eine landesweite routinemäßige Güteuntersuchung übliche Maß hinausgehen, sowohl was die Intensität der Aufnahme als auch die der Auswertung betrifft. Besser wären biologische Erhebungen verschiedener jahreszeitlicher Aspekte mehrmals im Jahr; etwa eine Untersuchung im Frühjahr mit dem höchsten Artenreichtum im Gewässer und jeweils eine Untersuchung im Sommer und im Herbst. Hiermit wäre das Spektrum der jahreszeitlichen Bestandsfluktuationen hinreichend erfaßt.

Eine biologische Untersuchung sollte folgendermaßen ablaufen:

Im Hinblick auf eine reproduzierbare und vergleichbare Aussage über die Besiedlungsdichte und die Art und Qualität der Arten sollten makroskopisch erkennbare Algen, höhere Wasserpflanzen und alle wirbellosen Organismen, die mit bloßem Auge erkennbar sind (Makroinvertebraten), so weit wie möglich erfaßt und bestimmt werden.

Die Untersuchungen sollten auf repräsentativen Gewässerabschnitten separat nach lotischen (schnell durchströmten) und lenitischen (langsam durchströmten) Bereichen erfolgen. Das heißt, es sollen mindestens zwei

Aufsammlungen in morphologisch einheitlichen Abschnitten, z.B. Schnellen und Stillen, durchgeführt werden. Dabei sollen alle jeweils vorhandenen Substrattypen berücksichtigt werden, um einen umfassenden und gleichzeitig nach ökologisch bedeutsamen (lotischen und lenitischen) Bereichen differenzierten Eindruck der Lebensgemeinschaft zu bekommen.

### Belastungsstufen -biol.-ökolog. Indikation-

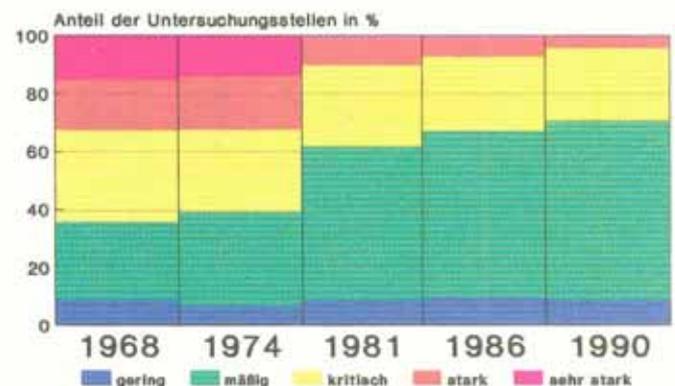


Abbildung 2: Entwicklung der Gewässergüte in Baden-Württemberg von 1968 bis 1990 (nach UM, in Vorbereitung)

Die Aufsammlungen sollten nach Möglichkeit flächenbezogen erfolgen, wobei möglichst die Individuenhäufigkeit gezählt oder zumindest größenordnungsmäßig erfaßt werden sollte. Denn sowohl die Besiedlungsdichte als auch die Artenvielfalt sind unter anderem einfache und geeignete Kriterien zur Beurteilung der Verbesserung des ökologischen Gewässerzustandes nach Vergleichsuntersuchungen zur gleichen Jahreszeit während und nach den Umgestaltungsmaßnahmen. Das geschilderte Verfahren liefert ein notwendiges Minimum an ökologischem Bezug zwischen der Veränderung der Lebensgemeinschaft und den eintretenden morphologischen Strukturveränderungen nach einer Renaturierung.

### 2.3 Seltene und bedrohte Arten

Einem zweiten planungsrelevanten Aspekt ist bei der biologischen Analyse besonderes Augenmerk zu widmen, nämlich der Berücksichtigung seltener, fließgewässertypischer oder bedrohter Arten. Insbesondere ist hier auf das Vorkommen von Muscheln, höheren Krebsen und Libellen zu achten. Aber auch das Vorkommen bestimmter seltener Eintags-, Stein- und Köcherfliegenlarven ist zu berücksichtigen. Diesbezüglich sei auf die einschlägigen »Rote-Liste-Artenverzeichnisse« hingewiesen, wobei das Vorkommen von Arten der Kategorie 1 = »vom Aussterben bedroht« bis 3 = »gefährdet« Anlaß zur Prüfung geben sollte, ob eine Renaturierung überhaupt erfolgen soll. In diesem Fall muß sichergestellt sein, daß der Bestand der bedrohten Art(en) nicht gefährdet wird, indem z.B. etappenweise schonend vorgegangen wird.

## 3. Untersuchungen zur ökologischen Erfolgskontrolle

### 3.1 Fließgewässertypen

Es ist bereits erwähnt worden, daß der ökologische Erfolg einer Renaturierungsmaßnahme objektiv gemessen oder kontrolliert werden sollte. Die ökologische Erfolgskontrolle ist eines der zentralen Anliegen biologischer Gewässeruntersuchungen, die im Zusammenhang mit Gewässerrenaturierungen stehen.

Nachfolgend werden im wesentlichen die Erfahrungen mit den landesweit durchgeführten oder geplanten Pilotvorhaben geschildert. Bei der Planung und Konzeption der biologischen Gewässeruntersuchungen, die im Zusammenhang mit Maßnahmen zur morphologischen Strukturveränderung stehen, wurde den hydro-morphologischen Gewässerstrukturen besondere Bedeutung beigemessen. Dabei wurden die verschiedenen Substrate oder auch größerflächige, biologisch bedeutsame morphologische Gliederungselemente, wie Schnellen und Stillen oder die sehr unterschiedlichen lotischen Lebensräume des Stromstrichs und die lenitischen Uferbereiche berücksichtigt.

Angeregt durch persönliche Erfahrungen mit zahlreichen naturnahen Bächen verschiedener Regionen des gesamten Bundesgebietes (BRAUKMANN 1987) ging ich

bereits bei der Planung der biologischen Erhebungen des Ist-Zustandes der Pilotgewässer vor der Renaturierung vom potentiell natürlichen morphologisch-ökologischen Zustand des betreffenden Gewässers, d.h. von der Vorstellung des Sollzustandes aus. Nachfolgend soll anhand einiger Bilder (Abbildung 3–17) ein Eindruck von der naturbedingten Unterschiedlichkeit regionaler Bachtypen vom Gebirge bis zum Flachland vermittelt werden. Die Abbildungen zeigen naturnahe Bäche verschiedenen Typs mit ihren ökologisch bedeutsamen hydromorphologischen Strukturen der Gewässersohle und ihren charakteristischen Strömungsformen. Die Gestalt des Bachbetts und die unterschiedliche Form und Intensität der Strömung beeinflussen entscheidend die jedem Bachtyp eigene, charakteristische Lebensgemeinschaft aus Pflanzen und Tieren. Einige ausgewählte, für die jeweiligen Bachtypen besonders kennzeichnende Vertreter des Makrozoobenthons (= bodenbesiedelnde wirbellose Organismen) illustrieren die Mannigfaltigkeit der Formen und der Anpassungen an das reichgestaltige Milieu naturnaher Fließgewässer.

#### Gebirgsbäche

Der Typ der Gebirgsbäche (vergleiche Abbildung 3) ist gekennzeichnet durch ein mehr oder minder kaskadenartiges Längsprofil und ein kleinräumig sehr unregelmäßiges, wechselhaftes Mosaik aus sehr unterschiedlichen Substraten mit einem breiten Korngrößenspektrum (Abbildung 4).

Die typischen wirbellosen Besiedler der Bachsohle dieses Gewässertyps (hauptsächlich Insektenlarven) sind optimal an die starke Strömung, das überwiegend grobsteinige Substrat, die ganzjährig niedrigen Wassertemperaturen und den permanent hohen Sauerstoffgehalt angepaßt. Diese Anpassung äußert sich in körperlichen Merkmalen wie Abflachung (Abbildung 6) oder durch die Ausbildung von Saugnäpfen oder im Verhalten typischer Gebirgsbachtiere, z.B. dem Bau von Steinköchern (Abbildung 7) oder dem Aufsuchen strömungsarmer »Totwasseräume« unter oder zwischen grobem Gestein.

#### Bergbäche

Im Vergleich zu Gebirgsbächen haben typische Bergbäche ein merklich geringeres Gefälle mit einer weiter ausgedehnten Abfolge von Schnellen und Stillen (Abbildung 8 und 9). Das Substratgefüge ist im Bachquerschnitt häufig regelmäßig zoniert. Am Prallhang und im Stromstrich überwiegen gröbere Steine, zum Gleithang hin nimmt die Korngröße allmählich ab bis in Bereiche von Sand und Schluff. Das Korngrößenspektrum der Bergbäche ist enger als das der Gebirgsbäche.

In Bächen dieses Typs überwiegen steinbesiedelnde Tiere mit guter Anpassung an stärkere Strömung (Abbildung 10–12). Der Anteil von Stillwasserformen ist höher als in Gebirgsbächen.

#### Flachlandbäche

Die langsamer strömenden Bäche des Tieflandes haben

bei geringem Gefälle einen ausgeprägt kurvenreichen Verlauf mit nahezu ungegliedertem Längsprofil, d.h. es gibt keine Schnellen und Stillen (Abbildung 13 und 14).

Im Substratmosaik herrschen kleinkörnige Kiese und Sande vor. Größere Steine sind selten oder fehlen. Die Strömung ist ruhig, die Wasseroberfläche glatt und selten von Wellen durchbrochen. Die artenreichsten Bezirke der Bäche dieses Typs sind, zumindest in teilweise besonnten Abschnitten, die ruhigeren pflanzenreichen Randbezirke, dies steht im deutlichen Unterschied zu Gebirgs- und Bergbächen.

Die Lebensgemeinschaften dieser Bäche sind reicher an Stillwasserformen. Strömungsliebende Formen treten in ihrem Anteil zurück. Neben Insekten kommen andere Gruppen von Wirbellosen merklich zahlreicher vor als in Gebirgs- oder Bergbächen, z.B. Egel, Schnecken, Muscheln, Kleinkrebse (Abbildung 15–17).

Ausgehend von diesen, aus eigenen biologischen Untersuchungen zur Typisierung von naturnahen Bächen gewonnenen Vorstellungen, wurden die biologischen Bestandsaufnahmen im Rahmen des Pilotprojektes substrat- und strömungsbezogen konzipiert, und bei der Bewertung stets auf einen entsprechenden regionalen Bachtypus bezogen.

### 3.2 Untersuchungsprogramm und -methodik

Sowohl die Ist- als auch die Soll-Zustands-Erhebungen, die zur Ermittlung des ökologischen Erfolgs naturnaher Gewässergestaltungen notwendig sind, müssen aus Gründen der Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit einheitlich nach folgendem Schema durchgeführt werden.

Aus Kostengründen und um ein Optimum an Effizienz zu erreichen, wurde sowohl ein Intensiv- als auch ein Extensivprogramm entwickelt:

#### a) Probenahme

##### I. Intensiv-Programm

- I.1 Qualitative Probenahme  
auf 3 Teilstrecken je eine 15–30 min. Zeitaufsammlung als Mischprobe aus allen Substraten (diese dient der faunistischen Übersicht)
- I.2 Quantitative substrat- und flächenbezogene Aufsammlungen auf 3 Teilstrecken, jeweils im Schnellen- und Stillbereich des Stromstrichs auf den beiden dort vorherrschenden Substraten sowie im lenitischen Uferbereich. Je 3 Einzelproben von 0,1–0,5 qm Flächengröße (abhängig von der jeweiligen Besiedlungsdichte) werden dort entnommen.

Hieraus ergibt sich eine Gesamtzahl von 45 quantitativen Einzelproben im Bach.

##### II. Extensivprogramm

- II.1 Qualitative Proben wie I.1
- II.2 Quantitative Probenahmen erfolgen substrat- und flä-

chenbezogen auf 3 Teilstrecken mit jeweils 3 Proben (0,1–0,5 qm Fl.g.röße) auf dem im Stromstrich vorherrschenden Substrat und im lenitischen Uferbereich.

Hieraus ergibt sich eine Gesamtzahl von 18 quantitativen Proben.

#### b) Auswertung

Die Auswertung der Proben erfolgt zur Ermittlung der optimalen Verfahren mit verschiedenen güterelevanten sowie statistischen Methoden (vergleiche BUCK & KONZELMANN (1985), SCHWERDTFEGER (1975).

- Saprobien-Indices
- Saprobielle Valenzen
- Diversitäts-Indices
- Qualitative- und quantitative Ähnlichkeits-Analysen nach SØRENSEN – Ähnlichkeitsindex  
SPEARMAN (Rangkorrelation)  
RENKONEN (Dominanz-Identität)

Zum Ähnlichkeitsvergleich der Einzelproben wurden außerdem Clusteranalysen durchgeführt.

Die charakteristischen Assoziationen der verschiedenen zoologischen Taxa erfolgte anhand des AGRELL-Vergesellschaftungs-Index (BRAUKMANN 1987).

Diejenigen Verfahren, die sich als die geeignetsten erweisen, werden später für einen reproduzierbaren ökologischen Vergleich des Ist- und Sollzustandes standardmäßig eingesetzt.

#### c) bisherige Erfahrungen

Die biologischen Untersuchungen wurden in Werkverträgen an verschiedene Bearbeiter vergeben. Es waren hierzu gewisse Kompromisse erforderlich, insbesondere hinsichtlich der Bezahlbarkeit der aufwendigen Bestimmungen der Organismen.

Hierbei wurde nach folgenden Grundsätzen gearbeitet:

- Weitgehend standardisiertes Erhebungsverfahren mit vorgeschriebenem Bestimmungsniveau (Vergleichbarkeit).
- Möglichst weitgehende Bestimmung unter Verzicht auf Artbestimmung bei taxonomisch schwierigen Gruppen.

Trotzdem waren hier die Erfahrungen nicht einheitlich gut; die Bestimmungen waren uneinheitlich, z.T. falsch, z.T. zweifelhaft. Aus terminlichen Gründen (Zeitdruck, Finanzierungsfristen) konnte nicht immer zum opt. Zeitpunkt untersucht werden. Durch die hohe Zahl verschiedener Bearbeiter war infolge der heterogenen Ergebnisse eine einheitliche zusammenfassende Auswertung erheblich erschwert.

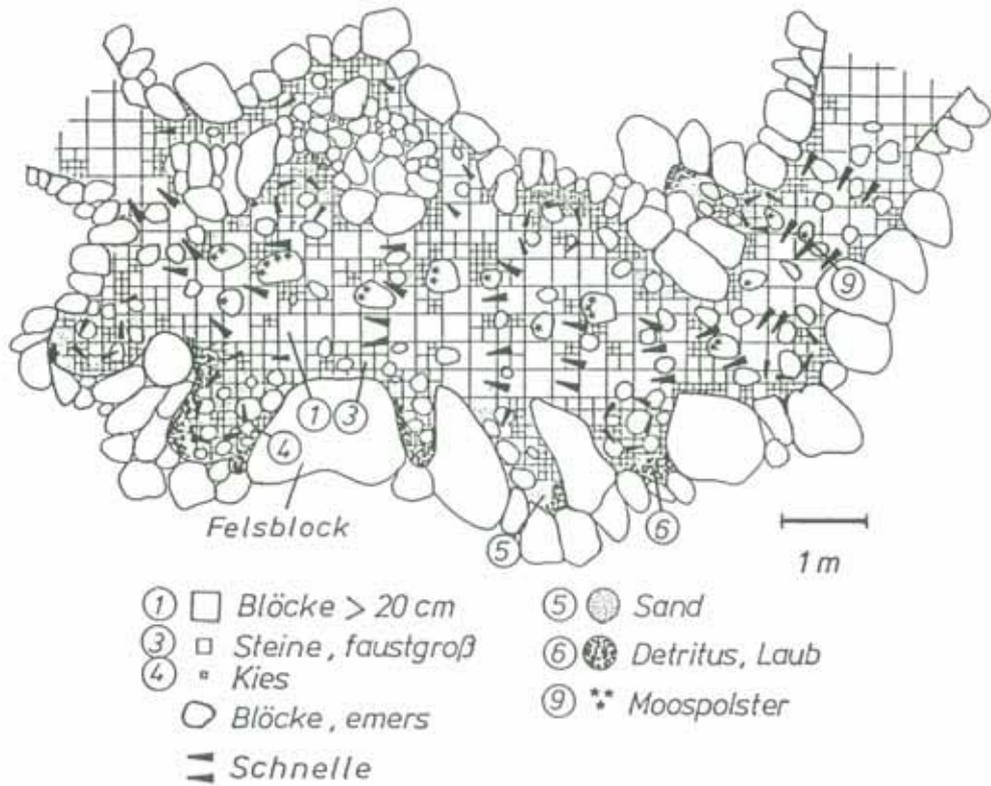
Besser wäre jedenfalls eine einheitliche Bearbeitung durch einen gut ausgebildeten Biologen/in oder durch ein Team gewesen!

**Gebirgsbach**

Längsprofil



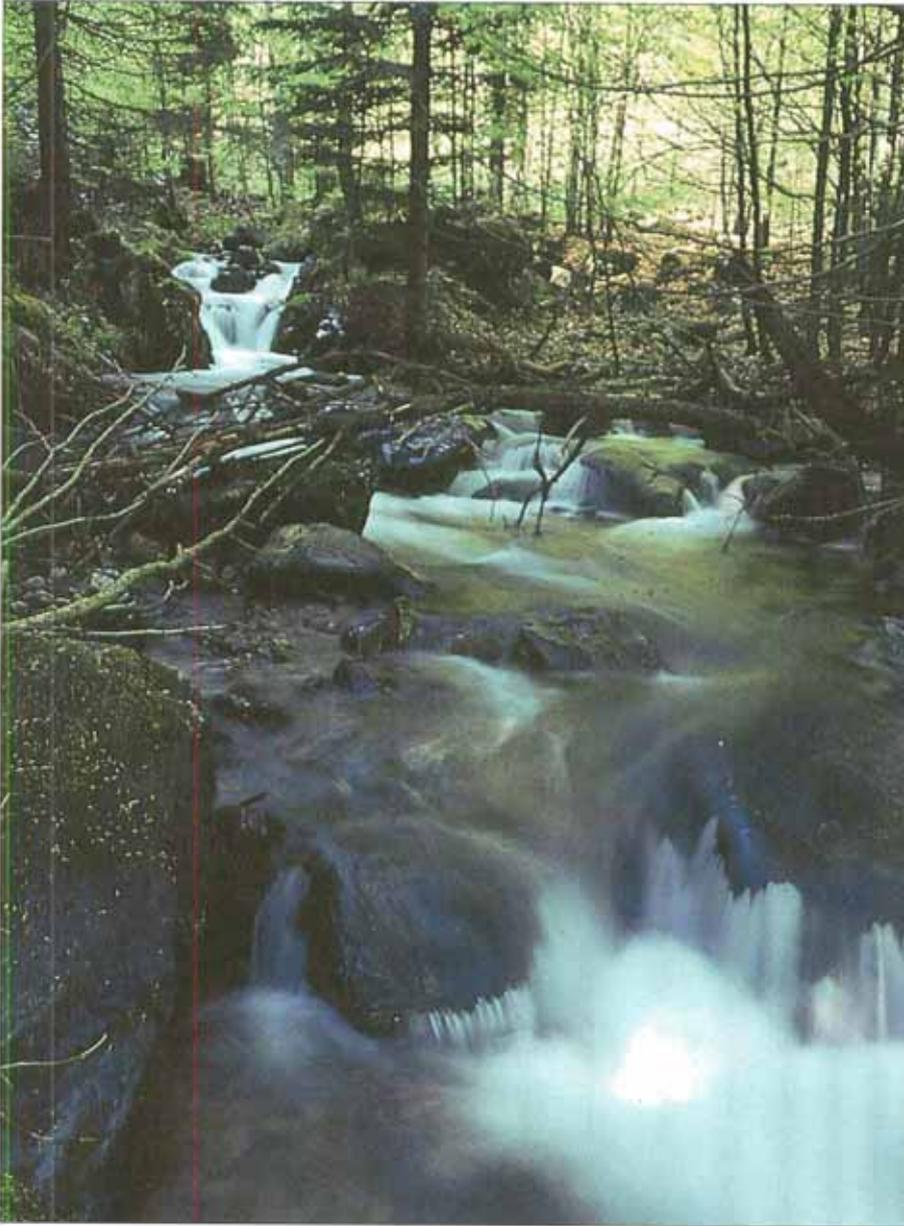
Aufsicht



**Abbildung 3:** Ein typischer Gebirgsbach, halbschematische Darstellung des Längsprofils, der Strömungs- und Substratstrukturen (aus BRAUKMANN 1987)



**Abbildung 4:** Substratmosaik eines (trockengefallenen) Gebirgsbaches mit sehr heterogenem weitem Korngrößen-spektrum



**Abbildung 5:** Gebirgsbach des Südschwarzwaldes

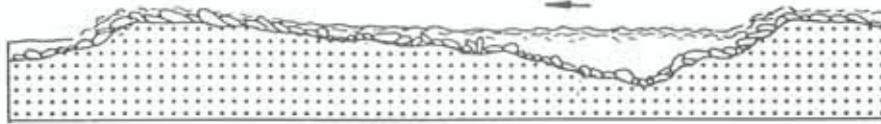
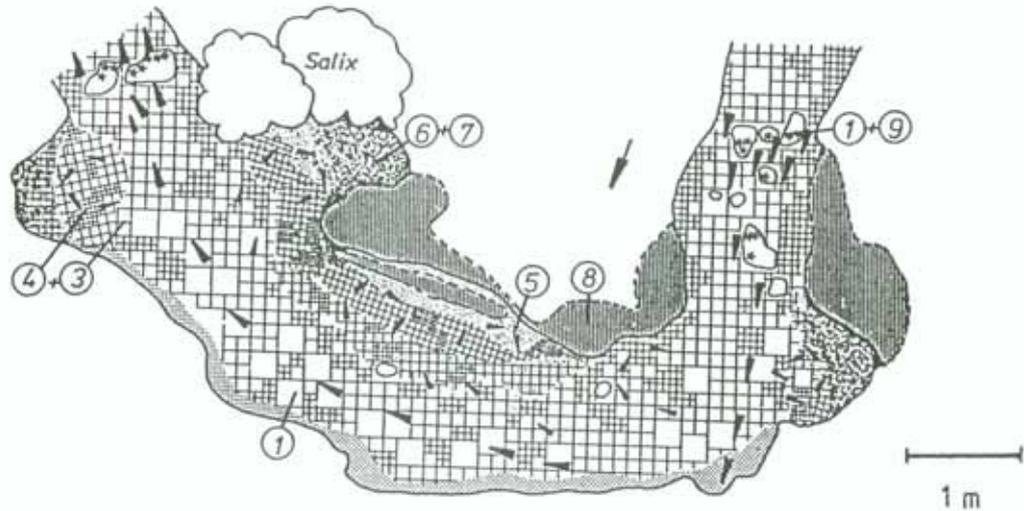
**Abbildung 6:** *Epeorus sylvicola*, eine strömungsangepaßte Eintagsfliegen-Larve der Gebirgsbäche



**Abbildung 7:** *Drusus annulatus*, eine Gebirgsbach-Köcherfliegenlarve mit Steinköcher

**Bergbach**

Stille  
(pool)      Schnelle  
(riffle)

LängsprofilAufsicht

- |   |   |                            |   |                   |
|---|---|----------------------------|---|-------------------|
| ① | { | ☁ Blöcke, Fels, z.T. emers | ⑨ | ☼ Moospolster     |
|   | { | □ Blöcke >20 cm            | ⑤ | ● Sand            |
| ③ | □ | Steine, faustgroß-3cm      | ⑥ | ☼ Detritus, Laub  |
| ④ | ▪ | Kies                       | ⑧ | ● Phalaris, emers |
|   | ● | Ton. anstehend             | → | Strömung          |

**Abbildung 8:** Halbschematische Darstellung eines Bergbaches mit typischem Längsprofil und im Querprofil zonierte Substratmosaik (aus BRAUKMANN 1987)



**Abbildung 9:** Ansicht eines charakteristischen Bergbaches mit Schnelle und Stille, beachte die flachen Ufer



**Abbildung 10:** *Protoneura* sp., eine häufige und verbreitete Steinfliegenlarve der Bergbäche



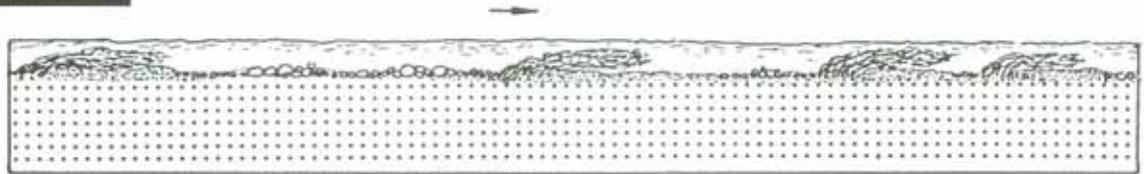
**Abbildung 11:** *Perla marginata*, eine räuberische große Steinfliege in Bergbächen



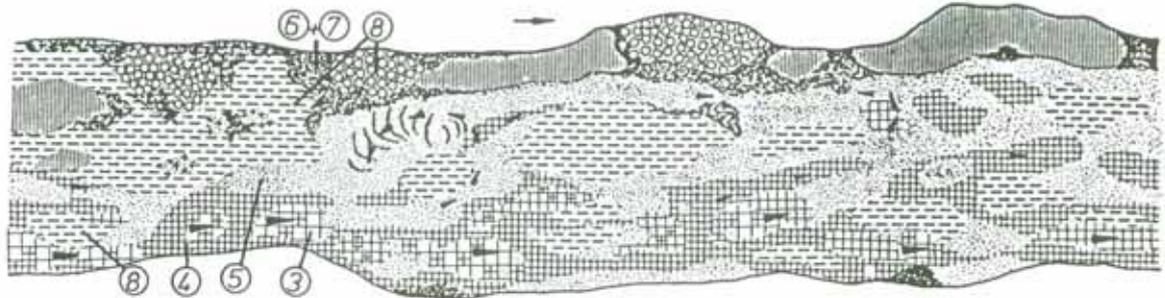
**Abbildung 12:** *Ecdyonurus* sp., eine strömungsangepasste Eintagsfliegen-Larve der Bergbäche

### Typische Tieflandbäche:

Längsprofil

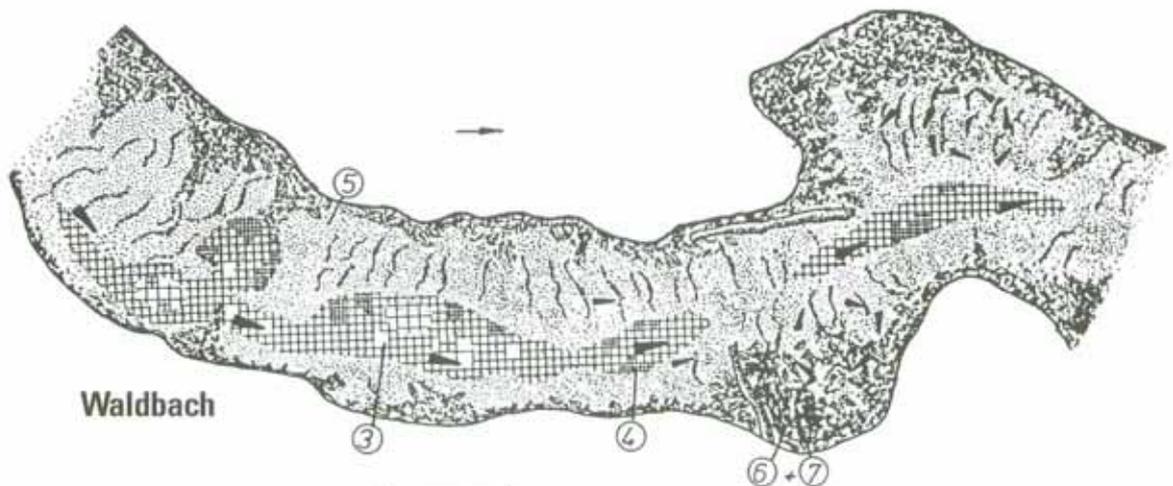


Aufsicht



Wiesenbach

1 m



Waldbach

1 m

#### Makrophyten

- ⑧ {
- Ranunculus peltatus
  - Phalaris arundinacea
  - ⊗ Myosotis palustris
  - ⊙ Callitriche platycarpa  
+ hamulata

- ③ □ Steine, max. faustgroß - 3 cm
- ④ • Kies
- ④ + ⑤ ⊕ Kies/Sand
- ⑤ ○ Sand
- ⑦ + ⑥ ⊗ Detritus, Laub
- Strömung

Abbildung 13: Halbschematische Darstellung typischer Tieflandbäche, Waldbach unten, Wiesenbach, pflanzenreich oben (aus BRAUKMANN 1987)



**Abbildung 14:** Ein naturbelassener bewaldeter Tieflandbach



**Abbildung 15:** *Bithynia tentaculata*, eine häufige Schnecke in Flachlandbächen und Flüssen



**Abbildung 16:** *Limnephilus* sp., eine Köcherfliegenlarve pflanzenreicher Tieflandbäche mit Köcher aus abgeissenen Pflanzenteilen



**Abbildung 17:** *Ephemera danica*, eine sandbewohnende, grabende Eintagsfliege in Flachlandbächen

#### 4. Ausblick

Bezüglich der Erfolgskontrolle ist mit der Untersuchung vor der Umgestaltung erst die Hälfte der Arbeit getan.

Auf jeden Fall ist eine Kontrolle der ökologischen Veränderung der umgestalteten Gewässer notwendig. Es kann nicht dabei bleiben, daß der Bach, der vorher gerade war, nun lediglich krumm ist oder, daß der Bach nun nur schöner aussieht als vorher, wobei das Empfinden für Schönheit sicher sehr subjektiv ist.

Wenn man tatsächlich ein Gewässer renaturieren will, so gilt dies vor allem für die belebte Komponente der Pflanzen- und Tierwelt der Gewässer und für diese muß die Umgestaltung eine erkennbare und mit den oben beschriebenen Methoden zur Erfassung und Auswertung nachvollziehbare und belegbare Verbesserung bringen.

Daher sind in gleicher Weise wie sie oben beschrieben wurde, biologische Untersuchungen im Anschluß an die erfolgte Umgestaltung an allen Pilotprojekten erforderlich.

Dann erst läßt sich ein eingetretener ökologischer Erfolg der Maßnahmen objektiv, z. B. anhand von biologischen Strukturveränderungen, belegen.

#### L I T E R A T U R

- BLAB, J., NOWAK, E., TRAUTMANN, W. (Hrsg.) (1984): Rote Liste der gefährdeten Tiere und Pflanzen in der Bundesrepublik Deutschland. – Kilda-Verlag, Greven, 270 pp
- BRAUKMANN, U. (1987): Zooökologische und saprobiologische Beiträge zu einer allgemeinen regionalen Bachtypologie. – Ergebnisse der Limnologie 26. – E. Schweizerbarth, Stuttgart, 355 pp
- BUCK, H., KONZELMANN, E. (1985): Vergleichende Koleopterologische Untersuchungen zur Differenzierung edaphischer Biotope. – In: Ökologische Untersuchungen an der ausgebauten unteren Murr 1. – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, p 195–239
- HARMS, K.-H. (1986): Rote Listen der gefährdeten Tiere und Pflanzen in Baden-Württemberg. – Arbeitsbl. Naturschutz 5. – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, 99 pp
- SCHWERDTFEGGER, F. (1975): Ökologie der Tiere. Band 3: Synökologie. – Hamburg und Berlin
- UM (in Vorbereitung): Gütezustand der Gewässer in Baden-Württemberg, Stand 1990. – Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe

# Interpretation von Untersuchungen der Fischfauna

Andreas Ness, Institut für Umweltstudien, Weisser & Ness GmbH

## 1. Einleitung

Übergeordnetes Ziel der Renaturierung von Fließgewässern ist aus ökologischer Sicht die Wiederherstellung und Sicherung naturraumtypischer Gewässer mit einem möglichst vollständigen Inventar standorttypischer Tier- und Pflanzenarten (KERN 1986, STATZNER 1986). Dieses Ziel kann durch Renaturierungsmaßnahmen dann erreicht werden, wenn nach den Umgestaltungsmaßnahmen die morphologischen und hydrologischen Bedingungen des Gewässers sowie der Aue naturraumtypisch sind, bzw. sich naturraumtypisch entwickeln können.

Entsprechend der Zielsetzung (Entwicklung und Sicherung einer standorttypischen Tier- und Pflanzenwelt), können grundlegende Beiträge zur Planung von naturnahen Umgestaltungen sowie die Kontrolle ihrer ökologischen Effizienz nur aufgrund zielgerichteter Analysen tierischer und pflanzlicher Bioindikatoren erfolgen.

In der Praxis hat sich bei dem Pilotvorhaben »Naturnahe Umgestaltung ausgebauter Fließgewässer in Baden-Württemberg« die Analyse der Auevegetation, des Makrozoobenthos und der Fischfauna bewährt. In diesem Band wurde bereits von KONOLD (1990) über die Möglichkeiten der Erhebung und Bewertung von Vegetationsuntersuchungen sowie von BRAUKMANN (1990) über Makrozoobenthosuntersuchungen und die Umsetzung dieser Erkenntnisse in Planungsvorschläge berichtet.

Fische zeichnen sich durch eine Reihe von ökologischen Sonderstellungen aus, aufgrund derer sie sich als Bioindikatoren für die morphologische Situation der Gewässer besonders eignen:

- Fische leben ganzjährig im Wasser.
- Fische besiedeln morphologisch geeignete Gewässerstrecken schnell, wenn Wanderhindernisse fehlen.
- Unterschiedliche Altersgruppen besiedeln aufgrund inter- und intraspezifischer Konkurrenz verschiedene Teillebensräume der Gewässer.
- Fische haben eine exponierte Stellung in der Nahrungskette der Gewässer.
- Einige Fischarten reagieren auf die organische Belastung der Gewässer durch Abwässer empfindlich.
- Kurzzeitige toxische Belastungen wirken sich nachhaltig auf die Fischfauna aus und sind somit noch längerfristig nachweisbar.

- Fische können in kleinen und mittleren Fließgewässern mit vernünftigem Aufwand durch Elektrofischungen erfaßt werden.
- Im Vergleich zu anderen Tiergruppen ist die Biologie und Ökologie der Fische gut bekannt, was die Interpretation der Untersuchungsergebnisse erleichtert.
- Bei ausreichender Gewässergüte wird das Vorkommen der Fische hauptsächlich durch Makrostrukturen bestimmt.

Die Morphologie der Gewässer und die unter der Sammelbezeichnung Gewässergüte zusammengefaßten Faktoren beeinflussen bis zu einem bestimmten Grenzwert synergistisch die Fische. Wird ein Faktor ungünstiger als dieser Wert, so übernimmt er alleine die Kontrolle über die Fischfauna. Unabhängig von den eventuell optimalen Bedingungen des anderen Faktors kann es zu deutlichen Verschiebungen oder unter Extrembedingungen sogar zum vollständigen Erlöschen der Fischpopulation des betroffenen Gewässerabschnittes führen. In einem naturnahen Bach mit ökologisch intakter Aue leben z. B. bei starker organischer Belastung keine Fische. Dies trifft im Extremfall auch für einen in einem Sohlschalenbett fließenden Bach mit ausgezeichneter Gewässergüte zu. Diese Extrembeispiele zeigen das gewünschte integrierende Verhalten des Bioindikators Fisch, der sowohl auf morphologische wie auch gütemäßige Probleme reagiert und damit die zentralen ökologischen Schwachpunkte aufdeckt.

Hier liegt der Hauptunterschied zu einigen Organismen des Makrozoobenthos, die unter morphologischen Extrembedingungen, wie zum Beispiel die auf schnellfließende Abschnitte mit festem Untergrund angepaßten Larven der Simuliiden in einer schnellfließenden Betonhalbschale ebensogut vorkommen können wie in einer naturnahen Schnelle.

## 2. Untersuchungsgebiet, Material und Methoden

Im Rahmen des Pilotprojektes »Naturnahe Umgestaltung ausgebauter Fließgewässer in Baden-Württemberg« wurden an den 15 in Abbildung 1 dargestellten Gewässern Untersuchungen zur Fischfauna durchgeführt. Tabelle 1 gibt eine kurze Übersicht der Charakteristika dieser Gewässer.

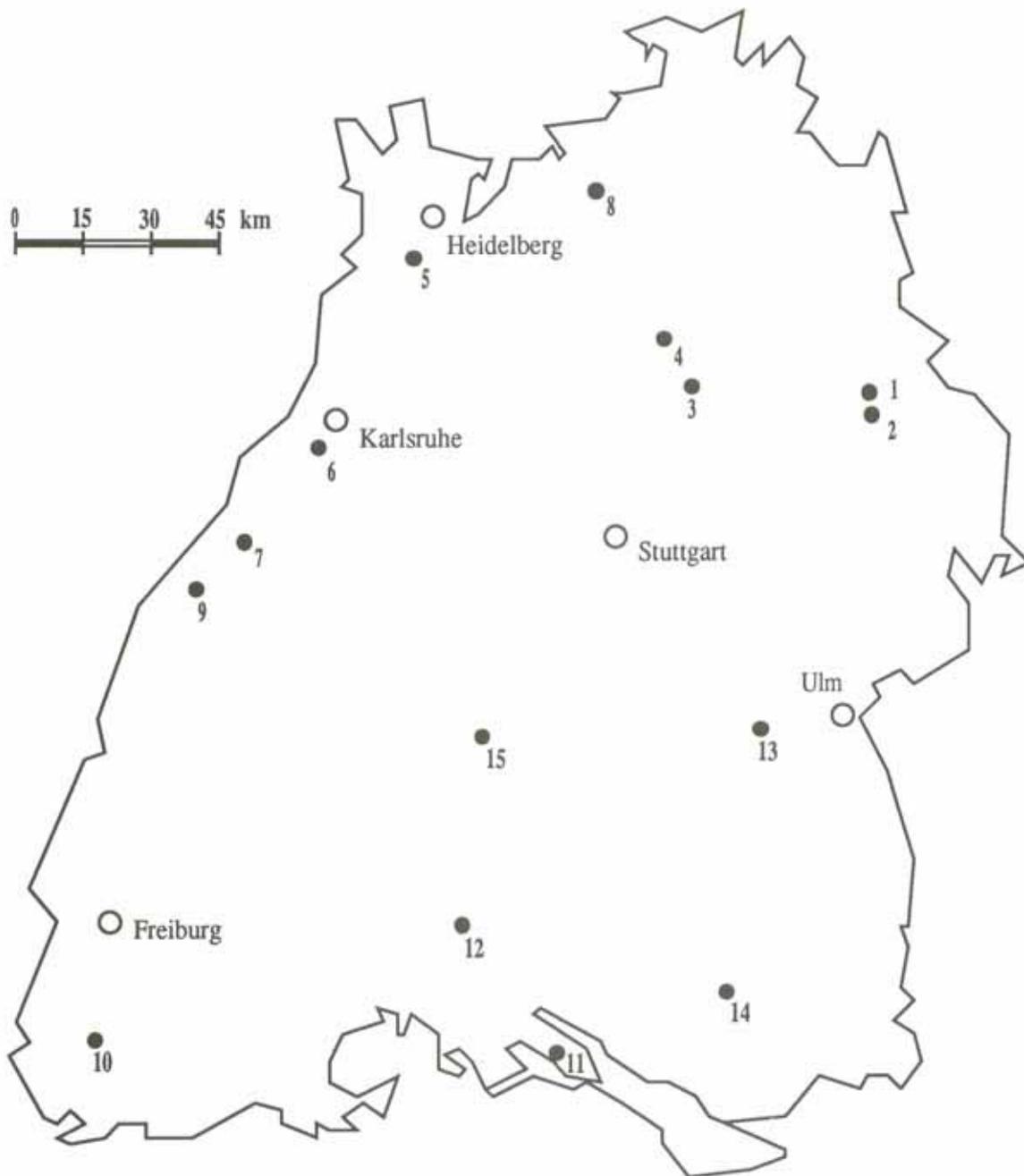


Abbildung 1: Lage der Gewässer in Baden-Württemberg

Die Erfassung der Fischfauna erfolgte in je 100 m langen Teilstrecken durch Elektrofischungen nach dem in Abbildung 2 gezeigten Schema. In cyprinidenreichen Gewässern des Flachlandes (Wiesenbäche, Gräben, Kanäle) ohne morphologische Gliederung in Stillen und Schnellen wurden die oberen und unteren Endpunkte der Befischungsstrecke durch Netze mit einer Maschenweite von 5 mm abgesperrt, um ein Flüchten störungsempfindlicher Arten wie Döbel, Hasel und Rotauge zu verhindern. Im Mittelgebirge wurde auf diese Absperrungen häufig verzichtet, da aufgrund der Gliederung in Stillen und Schnellen weder Bachforellen noch Groppen, Schmerlen, Elritzen, Gründlinge und Neunaugen auf längere Strecken durch den Elektrofischer gescheucht werden.

Bei den Befischungen wadet der Elektrofischer langsam stromaufwärts, um eine Sichtbehinderung durch aufgewühltes Sediment zu verhindern. Die Fische schwimmen im Gleichstromfeld gezielt auf die Anode zu und werden dort kurzzeitig betäubt, so daß sie leicht mit einem Kescher gefangen werden können. Während der Befischung wird der exakte Fangplatz der Einzelindividuen mit Hilfe eines parallel zur Befischungsstrecke ausgelegten Bandmaßes bestimmt und zusammen mit den Informationen über Art, Geschlecht und Größenklasse im sogenannten »direkten Fangprotokoll« vermerkt. Hier können auch spezielle Fangumstände, wie z. B. »in einem Gumpen«, »unter freigespülten Wurzeln« oder »zwischen Blöcken«, vermerkt werden. Mit Hilfe dieser Daten läßt sich die räumliche Verteilung der gefundenen Arten beschreiben sowie die Diversitätskennwerte nach BUCK (1985) berechnen.

Nr.:	Name:	Kürzel	Flußsystem	Gewässertyp	Ausbauart
1	Speltach	Spe	Jagst-Neckar	Karbonat-Bergbach	begradigt
2	Steinbach	Ste	Jagst-Neckar	Karbonat-Bergbach	begradigt / renaturiert
3	Eberbach/ Weißenhofb.	Ebe	Sulm-Neckar	Karbonat-Bergbach	Sohlschalen
4	Erlenbach	Erl	Jagst-Neckar	Karbonat-Bergbach	begradigt
5	Kehrgraben	Keh	Kraichb.-Rhein	Karbonat-Flachlandb.	begradigt
6	Alter Federbach	Fed	Rhein	Karbonat-Flachlandb.	Sohlschalen
7	Kl. Sulzbächle	Sul	Sulzb.-Rhein	Karbonat-Flachlandb.	Sohlschalen
8	Wiesenbächlein	Wie	Neckar	Silikat-Bergbach	verrohrt
9	Kammbach	Kam	Rench-Rhein	Karbonat-Flachlandb.	begradigt / renaturiert
10	Feuerbach	Feu	Hodb.-Rhein	Karbonat-Bergbach	begradigt
11	Fällgraben	Fäl	Mindelsee-Rhein	Karbonat-Flachlandb.	begradigt / Steinbett
12	Krähenbach	Krä	Donau	Karbonat-Bergbach	begradigt / Steinbett
13	Siegentalbach	Sie	Schmiech-Donau	Karbonat-Bergbach	begradigt / renaturiert
14	Bampfen	Bam	Schussen-Rhein	Karbonat-Bergbach	begradigt
15	Hauseralbach	Hau	Eyach-Neckar	Karbonat-Bergbach	begradigt

*Tabella 1: Übersicht der Gewässer*

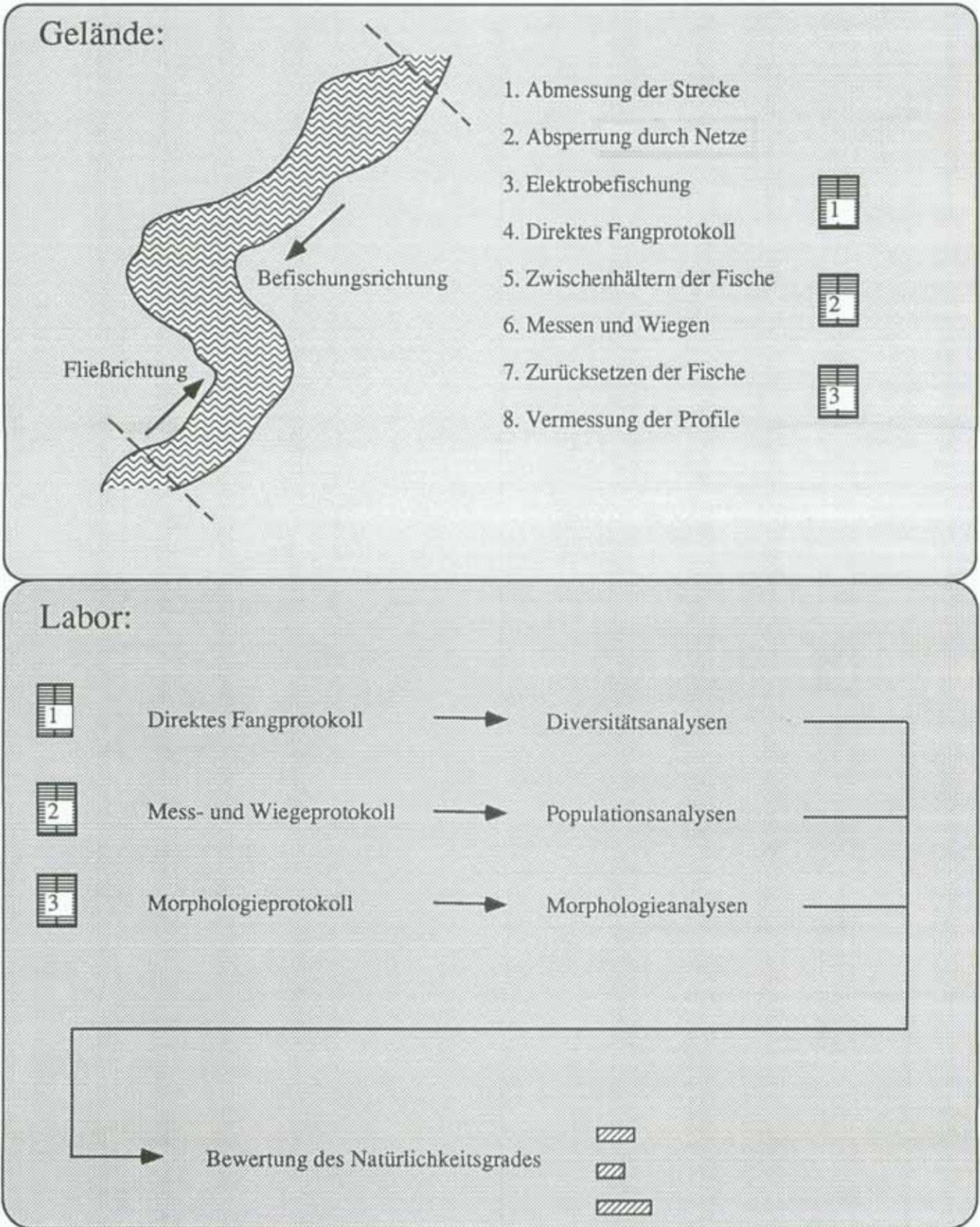


Abbildung 2: Schema der Befischung

In mit Sauerstoff künstlich belüfteten 200-l-Wannen werden die lebenden Fische nach der Entnahme aus dem Gewässer zwischengehältet. Im Anschluß an die Vermessung der Fische, bei der Art, Standardlänge, Gewicht und, soweit möglich, das Geschlecht der Tiere bestimmt wurde, werden alle Fische lebend in die Fangstrecke zurückgesetzt. Bei jungen Fischen beträgt die Meßgenauigkeit bei der Längenmessung 1 mm und beim Wiegen 0,1 g. Die Auswertung der fischmorphometrischen Daten erfolgt nach dem von GEBHARDT et al. (1989) beschriebenen Verfahren. Vier Diagramme stellen die wichtigsten Zahlen zur Charakterisierung der Fischpopulationen dar. In Diagrammtyp eins (Abbildung 3 oben links) ist die Abhängigkeit des Gewichtes von der Fischlänge abgebildet. Anhand dieser Darstellung kann das Wachstum der Fische bewertet werden. Diagrammtyp zwei (Abbildung 3 oben rechts) stellt die Anzahl der Individuen pro Größenklasse dar. Die Klassenbreite beträgt 5 mm. Mit Hilfe dieses Diagramms werden der Populationsaufbau und das Verhältnis der Altersklassen analysiert. Diagrammtyp drei (Abbildung 3 unten links) zeigt die Abhängigkeit des Konditionsfaktors nach FULTON (Korpulenzfaktor) von der Fischlänge. Unterschiedliche mittlere Konditionsfaktoren oder auffällige Streuungsbereiche erlauben eine Bewertung des Zustandes der einzelnen Altersgruppen. In Diagrammtyp vier (Abbildung 3 unten rechts) wird die Häufigkeit der Individuen in Korpulenzfaktorenklassen zu je 0,05 g/cm<sup>3</sup> gegenübergestellt. Auffällige Abweichungen der Säulen von einer Normalverteilung weisen auf gestörte Verhältnisse hin.

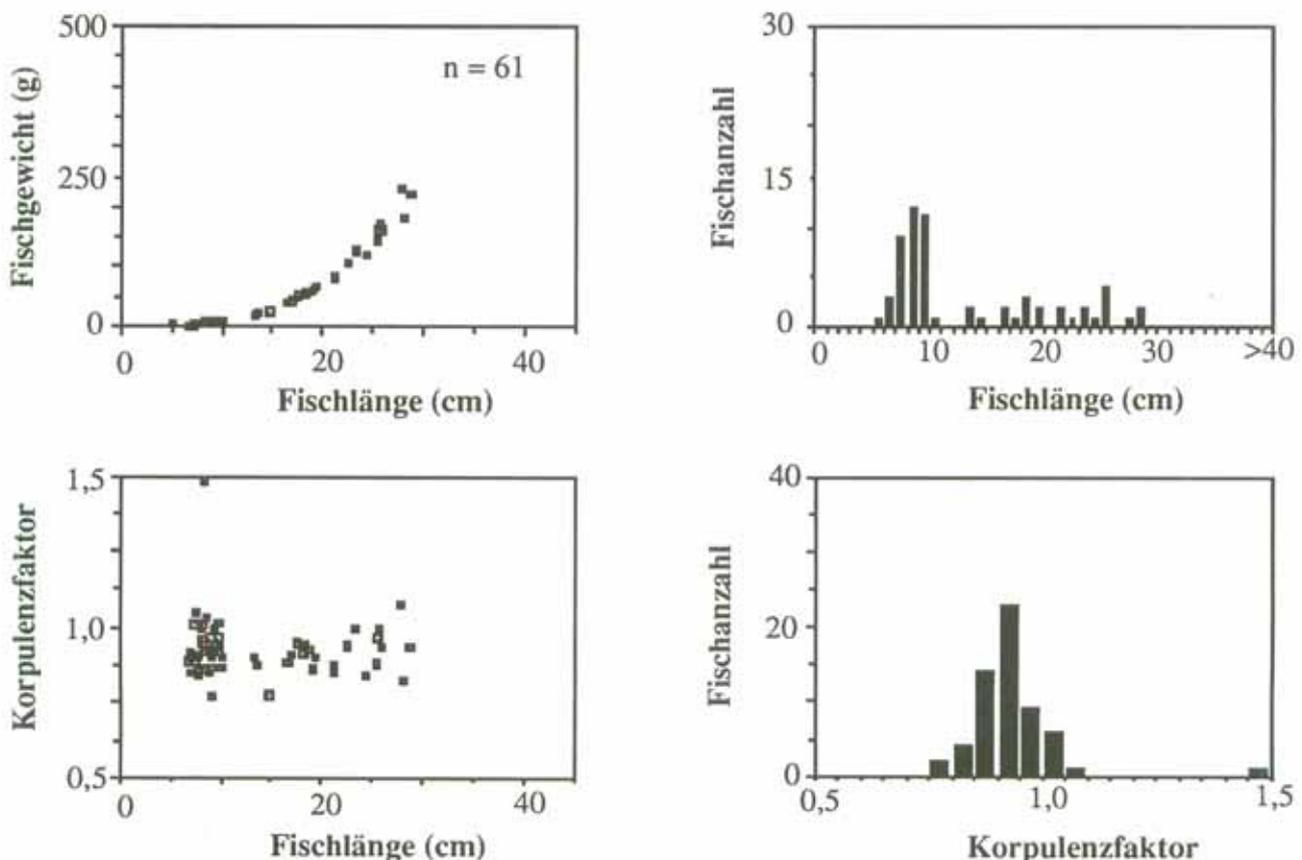


Abbildung 3: Populationsdiagramm Reisenbach

### Ökomorphologische Parameter

Innerhalb der 100 m langen Befischungsstrecke wurden im doppelten Abstand der Bachbreite, jedoch an mindestens 20 Stellen, Querprofile eingemessen. An ihnen wurden die Gewässerbreite, -tiefe, Sedimentverteilung, Bedeckung mit Wasserpflanzen sowie die Beschattung in einem Morphologieprotokoll (Tabelle 2) erfasst.

Die Bestimmung der Sedimentverteilung erfolgt anhand einer achtstufigen Skala. Bei der Wahl der Intervalle wurde ein Logarithmus zur Basis 5 gewählt. Die Stufen sind in Abbildung 4 definiert. Bei der Unterscheidung im Gelände half der Vergleich mit einem »Sedimentlineal«, auf welches die Sedimentfraktionen der Klassen 1 bis 5 aufgeklebt waren. Sedimente der Klassen 6 bis 8 lassen sich ohne Hilfsmittel leicht unterscheiden. Anstehendes Gestein oder Lehm sowie »hart« ausgebaute Teilstücke wurden mit in die Fraktion 0 eingestuft. Die relativen Anteile der Sedimente wurden in 5-%-Stufen geschätzt.

Nach der Methode der maximalen theoretischen Beschattung (JUNGWIRTH 1981) wurde der maximale Beschattungsgrad bei angenommenem Zenitstand der Sonne abgeschätzt. Der Deckungsgrad der Wasserpflanzen wurde für die Gruppen fädige Algen, Wassermoose und höhere Wasserpflanzen in Prozentklassen getrennt geschätzt.

Bach: Reisenbach  
 Strecke: 11  
 Datum: 03.11.89

Nr	Meter	Breite	Tiefe	Sediment								Bs.	Bd.	
				0	1	2	3	4	5	6	7			8
1	0	310	38	0	5	15	10	0	0	10	60	0	100	10
2	5	240	29	0	5	15	10	0	0	10	60	0	100	10
3	10	320	29	0	0	5	5	5	5	10	35	35	100	30
4	15	390	27	0	0	5	5	5	5	10	35	35	80	30
5	20	380	17	0	0	5	5	10	10	20	25	25	100	20
6	25	440	15	0	0	5	5	10	10	20	25	25	100	20
7	30	450	20	0	0	5	5	10	10	20	25	25	20	20
8	35	370	26	0	0	10	10	10	10	10	25	25	100	10
9	40	470	17	0	0	0	0	0	10	10	40	40	100	50
10	45	510	30	0	0	5	5	5	5	10	35	35	90	30
11	50	530	30	0	5	15	10	0	0	10	30	30	100	5
12	55	310	18	0	5	15	10	0	0	10	30	30	100	10
13	60	370	32	0	5	15	10	0	0	10	30	30	100	5
14	65	300	18	0	5	15	10	0	0	10	30	30	100	0
15	70	290	26	0	0	0	5	5	5	5	40	40	80	10
16	75	120	10	0	0	0	0	0	0	0	50	50	100	30
17	80	220	21	0	0	0	0	0	0	0	50	50	100	30
18	85	390	14	0	5	5	5	5	5	10	65	0	100	20
19	90	420	27	0	5	10	10	5	5	10	45	0	90	10
20	95	400	36	0	5	15	10	0	0	10	60	0	100	0
21	100	330	37	0	5	15	10	0	0	10	60	0	100	10
	MW	360	24,62	0	2,4	8,3	6,7	3,3	3,8	10	41	24	93	17
	S	98,29	8,015	0	2,6	6	3,7	4	4,2	5,1	14	17	18	13

Tabelle 2: Morphologieprotokoll

### 3. Bewertungsverfahren

Eine schematische Übersicht der Bewertung des Natürlichkeitsgrades anhand der Fischfauna gibt Abbildung 4. Das zweistufige Verfahren gliedert sich in einen Vortest sowie in die eigentliche Bewertung.

Im Vortest wird geprüft, ob das Gewässer und damit die Fischfauna durch andere Faktoren wie saprobielle-, toxische-, Wärmebelastung, Bewirtschaftung, Wanderhindernisse usw. stärker als durch den ökomorphologischen Zustand beeinträchtigt wird. Wenn nichtmorphologische Faktoren einen dominierenden Einfluß auf die Artensammensetzung des Gewässers haben, ist die Bewertung des morphologischen Natürlichkeitsgrades anhand der Fischfauna nicht möglich bzw. unsinnig. Der Vortest stellt sicher, daß z. B. ein organisch stark verschmutztes, aber aus morphologischer Sicht naturnahes Gewässer aufgrund seiner veränderten oder fehlenden Fischartenzusammensetzung in Natürlichkeitsklasse 4 (naturfern) eingeteilt wird. Die eigentlichen ökologischen Defizite des Gewässers, die in der schlechten Gewässergüte zu suchen sind, treten schon beim Vortest deutlich zutage.

Im eigentlichen Bewertungsabschnitt werden die Gewäs-

ser anhand des Natürlichkeitsgrades ihrer Fischfauna in vier Natürlichkeitsklassen eingeteilt. In Anlehnung an die Bezeichnungen, die bei der Gewässergüteklassifizierung üblich sind (LAWA 1976), werden die in Tabelle 3 dargestellten Bezeichnungen für die Natürlichkeitsklassen verwendet.

#### Vortest

Im Ablaufschema der Abbildung 4 startet der Vortest mit der Erhebung der ökomorphologischen Parameter. Hierunter versteht man die möglichst detaillierte Erfassung der Morphologie und Hydrologie des Gewässers sowie der unmittelbar auf das Gewässer einwirkenden Ufer- und Auenbereiche mit Hilfe des in Tabelle 2 dargestellten Morphologieprotokolls sowie zusätzlicher topographischer Informationen wie Neigung, Strömungsgeschwindigkeit, Geologie usw. aus Vermessungen, Karten und Berichten. Aufgrund dieser Informationen schließt man, welche Fischarten unter den aktuellen morphologischen Bedingungen entsprechend ihrer ökologischen Ansprüche das Gewässer besiedeln könnten. Diese Arten werden in dem Schema in Abbildung 4 »potentielle Fischfauna« genannt.

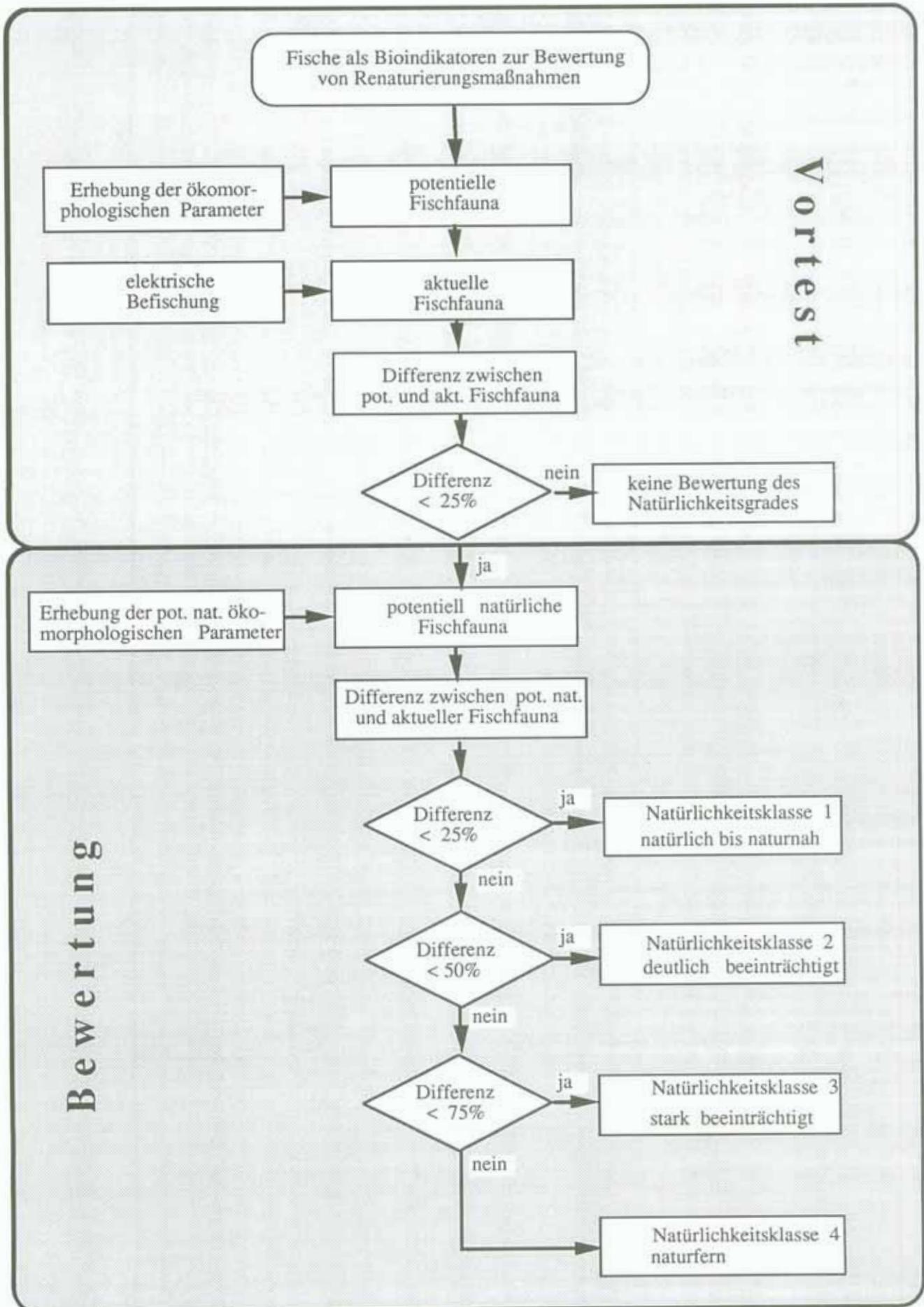


Abbildung 4: Bewertung des Natürlichkeitsgrades.

Natürlichkeits- klasse	Bezeichnung	Differenz
1	natürlich bis leicht beeinträchtigt	0 - 25 %
2	deutlich beeinträchtigt	25 - 50 %
3	stark beeinträchtigt	50 - 75 %
4	naturfern	75 - 100 %

*Tabella 3: Einteilung der Natürlichkeitsklassen*

Im nächsten Schritt wird durch Elektrofischungen die aktuelle Fischfauna bestimmt. Die »aktuelle Fischfauna« setzt sich also aus den Arten zusammen, die zum Zeitpunkt der Befischung das Gewässer besiedeln. Sie sind den unterschiedlichen Umweltfaktoren, die den beprobten Gewässerabschnitt prägen, ausgesetzt und damit ein Reaktionsindikator der dort herrschenden Bedingungen.

Aufgrund der Differenz zwischen der potentiellen und aktuellen Fischfauna kann geschlossen werden, ob morphologische Umweltfaktoren, wie z. B. Maximaltiefe, Fließgeschwindigkeit und Sedimentverteilung einerseits oder unzureichende Gewässergüte, toxische Belastungen und Temperaturerhöhungen andererseits, zentrale Faktoren für die Zusammensetzung der Fischfauna darstellen. Werden aufgrund der ökomorphologischen Parameter Bachforellen, Groppen und Bachneunaugen in einem Silikatbergbach niedriger Strahlerordnung (STRAHLER 1952) erwartet und diese anschließend bei der Elektrofischung als aktuelle Besiedlung des Gewässers nachgewiesen, so ist die Differenz zwischen aktueller und potentieller Fischfauna gering und man fährt mit der Bewertung des Natürlichkeitsgrades fort. Werden jedoch bei der Elektrofischung keine Fische oder andere Arten, wie z. B. gegen organische Belastung weniger empfindliche Aale oder Schmerlen als aktuelle Fischfauna gefunden, so ist die Differenz zwischen der potentiellen und aktuellen Fischfauna groß. In diesem Fall überprägen andere Faktoren den Einfluß der Morphologie auf die Fischfauna und eine Bewertung des Natürlichkeitsgrades ist nicht sinnvoll. In der Praxis sind die Differenzen zwischen der potentiellen und aktuellen Fischfauna in Gewässern mit Güteproblemen deutlich und offensichtlich.

### **Eigentliche Bewertung**

Mit der Erhebung der potentiell natürlichen ökomorphologischen Parameter beginnt die Phase der eigentlichen Bewertung des Natürlichkeitsgrades anhand der Fischfauna. Dieser Punkt stellt den methodisch problematisch-

sten Abschnitt des gesamten Bewertungskonzeptes dar. Als Ergebnis wird eine möglichst detaillierte Beschreibung des gedachten morphologischen »Naturzustandes« erwartet. Da die Kenntnisse der Morphologie und Hydrologie natürlicher bzw. naturnaher Gewässerläufe in Mitteleuropa ungenügend sind, stößt man bei der Bearbeitung dieses Punktes generell auf Schwierigkeiten. Die Festlegung der potentiell natürlichen ökomorphologischen Parameter erfolgt in der Regel unter Auswertung der folgenden Quellen:

- An erster Stelle wurden möglichst naturbelassene Strecken am Untersuchungsgewässer selbst oder weitgehend naturbelassene Vergleichsgewässer im selben Naturraum (Typologie) als Referenz genutzt.
- An zweiter Stelle eignen sich allgemeine Regeln der Fließgewässermorphologie, wie z. B. die Abfolge von Riffle-Pool-Strukturen, die Abhängigkeit der Mäanderwellenlänge von der Gewässerbite sowie die Korrelation zwischen maximaler Fließgeschwindigkeit und Sedimentgröße zur Abschätzung der potentiell natürlichen Situation.
- An letzter Stelle stehen historische Angaben aus Karten (Laufentwicklung) oder alten Beschreibungen und Aussagen von Gebietskennern.

Die Vor- und Nachteile dieser Möglichkeiten zur Bestimmung der potentiell natürlichen Situation führen in der Regel zu einer integrierten Anwendung.

Im nächsten Schritt wird die potentiell natürliche Fischfauna aufgrund der Erkenntnisse über die Habitatbindung und die morphologischen Grundanforderungen der Arten aus den potentiell natürlichen morphologischen Parametern abgeleitet. Bei der potentiell natürlichen Fischfauna handelt es sich um die Fischarten, die unter morphologischen Optimalbedingungen (vergleiche »Leitbild« bei KERN 1990) das Gewässer besiedeln könnten und nicht um die Fischfauna, die eventuell früher zu Zeiten einer fehlenden oder geringen anthropogenen Beeinflussung die Gewässer besiedelte.

Aufgrund der Differenz zwischen der potentiell natürlichen und der aktuellen Fischfauna wird im nächsten Schritt die Natürlichkeitsklasse zugeteilt. Je größer die Unterschiede zwischen der theoretischen Besiedlung und der realen Besiedlung sind, desto unnatürlicher ist das Gewässer. Die Ähnlichkeit zwischen der potentiell natürlichen und der aktuellen Fischfauna kann nach dem Sørensen-Index (SCHWERDTFEGER 1975) berechnet werden. Er berechnet sich nach der Formel:

$$I_A = 2 \times \frac{c}{a+b} \times 100,$$

wobei a die Anzahl der Taxa der aktuellen Fischfauna, b die Anzahl der Taxa der potentiell natürlichen Fischfauna und c die Zahl der Taxa, die in beiden Faunen vorkommen, darstellt.

Die Ähnlichkeitsdifferenz berechnet sich nach:

$$\text{Diff.} = 100 - I_A$$

Die Splitting in vier Stufen der Natürlichkeitsklassen mit einer Zunahme der Differenz zwischen potentiell natürlicher und aktueller Fischfauna von je 25 % pro Stufe wurde empirisch festgelegt. Eine statistisch-ökologisch begründete Einteilung mit zusätzlichen Stufen und statistisch begründbaren Klassengrenzen erfordert die Analyse von mehreren hundert Gewässern und ist bei dem jetzigen Kenntnisstand noch nicht möglich. Trotz dieser Einschränkung hat sich diese Einteilung in der Praxis bisher gut bewährt.

Das Problem der relativ geringen Artenzahlen der Fische in Mittelgebirgsbächen kann umgangen werden, indem man das Artenspektrum zusätzlich in Altersgruppen aufspaltet. Die Abbildungen 9 bis 13 zeigten, daß bei der Bewertung des Natürlichkeitsgrades grundsätzlich das in Altersgruppen aufgespaltene Artenspektrum der Gewässer Verwendung findet. Die Zuordnung der drei Altersgruppen erfolgte mit Hilfe der Clusteranalyse (UPGMA) aufgrund der Längen und der logarithmierten Gewichte der Fische. Eine differenzierte Betrachtung der drei Altersgruppen Jungfische (juvenil), subadulte Fische und Laichfische (adult) hat entscheidende Vorteile, da die Altersgruppen an unterschiedliche morphologische Gegebenheiten optimal angepaßt sind und deshalb verschieden strukturierte Gewässerabschnitte besiedeln. Weiterhin beeinflussen Einzelfunde zufällig eingewanderter oder verfrachteter Fische nicht die Bewertung.

#### 4. Beispiel für die Bewertung des Natürlichkeitsgrades – Bampfen

Der in Abbildung 5 dargestellte Bampfen gehört zum Flußsystem des Rheins. Das von Nordosten nach Südwesten verlaufende Einzugsgebiet hat eine Größe von rund 27 qkm und ist deutlich zweigeteilt. Die Quellen des Unteren Bampfens und des Oberen Bampfens liegen außerhalb des Kartenausschnitts und entspringen bei 550 bis 580 m ü. NN. Nach kurzer Laufstrecke fließen die

Quellbäche in Seen (Kiebelesweiher, Bunkhoferweiher, Schanzwiesweiher, Engelsee, Stockweiher, Abgebrochener Weiher, Tiefweiher, Gloggerweiher). Bis Baidnt fließt der Untere Bampfen in einem Mittelgebirgstal des Baidnter Waldes, während der Obere Bampfen nordöstlich von Sulpach durch den Kümmerazhofer Forst fließt. Westlich von Baidnt fließt der Untere Bampfen mit verringertem Gefälle und ohne nennenswerten Uferbewuchs durch die Baidnter Wiesen. Westlich Wickenhaus vereinigen sich Unterer Bampfen und Oberer Bampfen, der ab Sulpach in die Verebnungsfläche eintritt. Bei 436 m ü. NN mündet der Bampfen in die Schussen.

Die Auswahl der Untersuchungsstrecken verfolgte das Ziel, die durch den Gewässerausbau morphologisch unterschiedlich beeinträchtigten Abschnitte mit den verbliebenen naturnahen Gewässerteilen zu vergleichen. Aufgrund der geographisch bedingten Zweiteilung des Bampfeneinzugsgebietes und der Konzentration der Renaturierungskonzeption auf den westlich von Baidnt und Sulpach gelegenen unteren Bereich des Bampfens wurden bis auf eine alle sechs Probestellen zwischen Baidnt und der Mündung des Bampfens in die Schussen lokalisiert. Die Lage der ausgewählten Untersuchungsabschnitte ist in Abbildung 5 dargestellt. Die Angaben der mittleren Strömungsgeschwindigkeit richtete sich nach den Erhebungen im August 1988 bei mittlerem Wasserstand.

#### Morphologische Gliederung/Probestellen

Alle Untersuchungsstellen am Unteren Bampfen und am Bampfen gehören der vierten Strahler-Ordnung an. Die Untersuchungsstrecke **Bam/3** liegt am Oberen Bampfen. Die Strecken **Bam/1** und **Bam/3** sind morphologisch naturnah. Die Abschnitte **Bam/2**, **Bam/4** und **Bam/5** wurden in den dreißiger Jahren begradigt und ausgebaut. Die Sicherung der Ufer erfolgte mit Stangenhölzern, die heute an den meisten Stellen hinterspült sind.

Die Untersuchungsstrecke **Bam/1** liegt östlich von Baidnt in einem für die Naherholung genutzten Wiesental. Das morphologisch gesehen naturnahe Gewässer mäandriert in einem auf die nähere Gewässerumgebung begrenzten durchschnittlich 20 m breiten Uferwaldsaum. Teilweise sind die Prallhänge durch behelfsmäßigen Stangenverbau gesichert. Die Ufer sind mit Erlen, Eschen, Weiden und Eichen aller Altersklassen bestanden, die das Gewässer zu 100 % beschatten. Die Breite des Baches schwankt zwischen 1,1 und 3,3 m und beträgt im Mittel 2 m bei einer durchschnittlichen Tiefe von 24 cm. Gumpen mit einer Tiefe von bis zu 60 cm wechseln mit nur 5 cm tiefen, schnellfließenden Flachwasserstrecken. Das Sediment besteht, entsprechend der schwankenden Fließgeschwindigkeit von 0,05 m/sec, in den kleinflächigen Stillwasserbereichen aus Sand und in den mit maximal 1,15 m/sec schnellfließenden Schnellen aus Kies und Steinen. Die Neigung beträgt 0,7 %. Der Gesamteindruck des Gewässers wird besonders durch größere Steine geprägt, deren mit Moosen und Farnen bewachsene

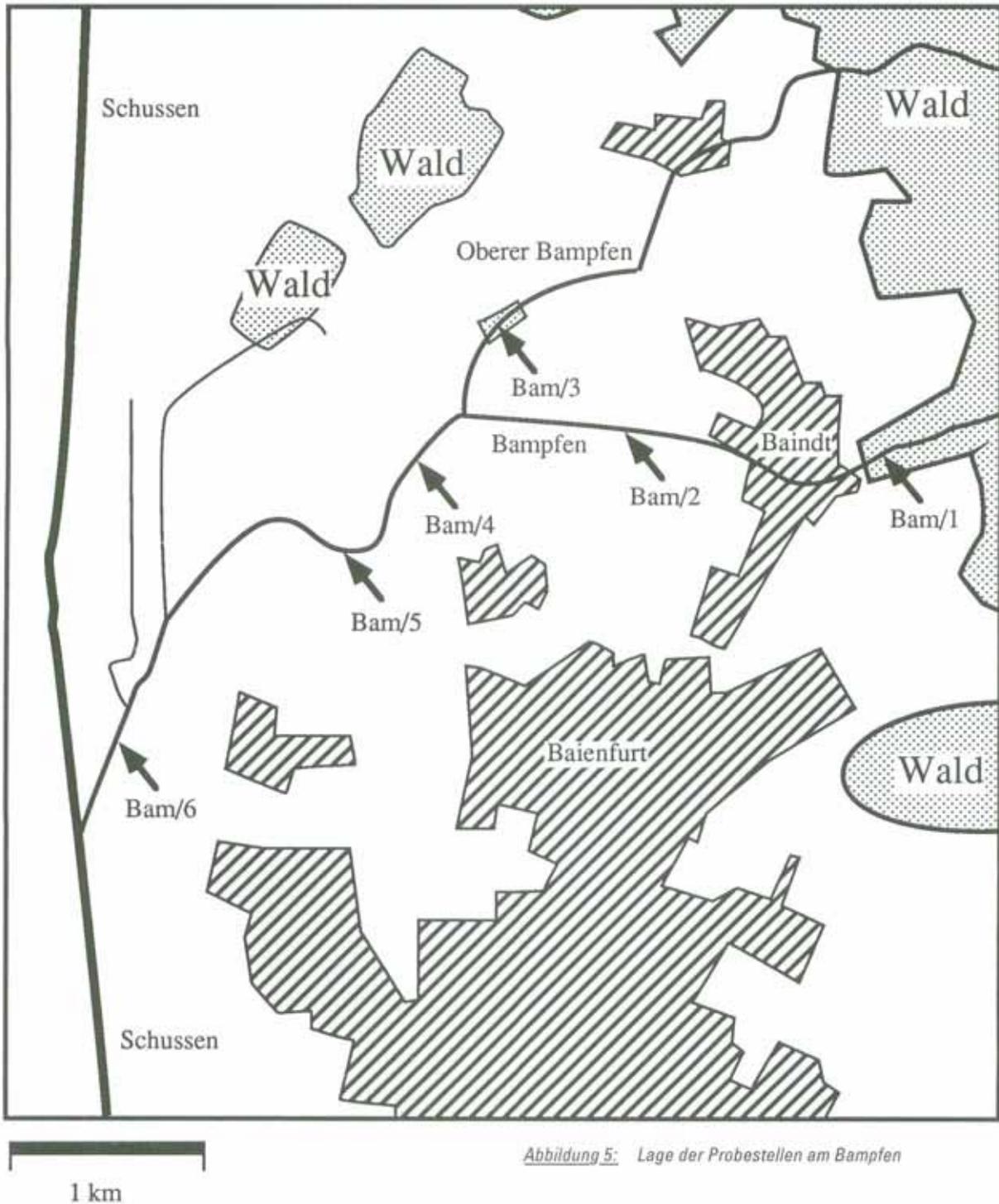


Abbildung 5: Lage der Probestellen am Bampfen

Oberflächen bei mittleren Wasserständen aus dem Wasser ragen. Die flachen Ufer bilden eine schmale amphibische Zone aus. Entlang der Mittelwasserlinie wurden in stark strömenden Bereichen stabile Fischunterstände zwischen den Wurzeln freigespült. Entsprechend dem Beschattungsgrad war der Gewässergrund nur an wenigen Stellen mit aquatischen Moosen bewachsen.

Die morphologische Defizite aufweisende begradigte Untersuchungsstrecke **Bam/2** liegt westlich von Baindt in einem ehemaligen Wiesengelände, welches heute über-

wiegend ackerbaulich genutzt wird. Die unnatürlich steilen, mit Stangenverbau gesicherten Ufer des begradigten Baches sind frei von Gehölzbewuchs. Nur an wenigen Stellen unterbrechen einige Solitär bäume die ansonsten unstrukturierte Landschaft. Die Breite schwankt geringfügig zwischen 1,15 und 1,75 m bei einem mittleren Wert von 1,4 m. Auch die Schwankungen der Wassertiefe von 21 bis 41 cm bei durchschnittlich 25 cm sind gering. Eine morphologische Gliederung des Gewässers in Stillen und Schnellen ist nur andeutungsweise zu erkennen. Der Abstand zwischen den Stillen beträgt rund 10 m. Das

Sediment des mit 0,85 % geneigten und mit durchschnittlich 65 cm/sec schnell fließenden Baches besteht aus Kies und Steinen, welche zu 10 % mit Moosen bewachsen sind. Hinter den Stangen der Uferbefestigung haben sich auf der gesamten Fließstrecke bis zu 35 cm tiefe Unterstände gebildet. Da der Auenboden, in den sich der Bampfen eingeschnitten hat, in der Untersuchungsstrecke nicht sehr standfest ist, entwickeln sich steile Uferabbrüche. Ein typisches Profil zeigt die Abbildung 6.

Die morphologisch betrachtet naturnahe Untersuchungsstrecke dritter Strahler-Ordnung **Bam/3** liegt innerhalb eines Wäldchens im Unterlauf des Oberen Bampfens östlich der Straße von Wickenhaus nach Mochenwangen. Der mäandrierende Verlauf wird hier nur durch partielle Steinschüttungen an den Ufern beeinflusst. Der dichte Uferbewuchs des beidseits 20 m breiten aus Eschen, Erlen, Weiden und Pappeln bestehenden Gehölzsaums verhindert durch den hohen Beschattungsgrad jegliches Wachstum von Wasserpflanzen. Besonders charakteristisch ist die differenzierte Ausformung der überwiegend flachen Ufer und der amphibischen Zone. Nur in Bereichen, in denen das Wurzelwerk ufernaher Bäume die Laufentwicklung beeinflusst, bilden sich steilere Uferformen aus. Größere Unterstände am Rand von Gumpen bilden sich besonders nach Schnellen, wenn das Wasser mit hoher Fließgeschwindigkeit schräg gegen einen mit Eschen oder Pappeln bestandenen Prallhang fließt und dort Auskolkungen verursacht. Die Gliederung in Stillen und Schnellen mit einem durchschnittlichen Abstand von 13 m und die flächenmäßige Dominanz des Schnellenanteils ist ein weiteres Charakteristikum der Strecke **Bam/3**.

In den mit Kies bedeckten Schnellen hat das Wasser eine Tiefe zwischen 12 und 20 cm. Die Tiefe der Stillen schwankt zwischen 20 und 60 cm. In einigen Gumpen wird eine Maximaltiefe von 135 cm erreicht. Besonders extrem sind die Schwankungen der Fließgeschwindigkeit des insgesamt mit 0,7 % geneigten Gewässers. Die gemessenen Werte reichten von fast stehendem Wasser in den Stillen bis zu 65 cm/sec in den Schnellen. Entsprechend der Fließgeschwindigkeit wird das Sediment in den Stillen bis zu 50 % aus Sand gebildet. Auffallend ist die im Vergleich zu den begrädigten und ausgebauten Strecken hohe durchschnittliche Breite von 3 m bei einem Schwankungsbereich von 2,1 m bis 4,2 m. Abbildung 7 zeigt ein typisches Profil dieser Strecke.

Die Strecke **Bam/4** liegt unmittelbar unterhalb der Mündung des Oberen Bampfens in den Unteren Bampfen westlich Wickenhaus. Der in ackerbaulich genutztem Gelände fließende, begrädigte Bach hat keinen zusammenhängenden Gehölzsaum. Nur an einigen Stellen stehen einseitig auf der Uferschulter einige Solitärbäume. Aufgrund der Ufersicherung mit Stangenhölzern ist die Varianz der Gewässerbreite und der Wassertiefe nur gering. Die mittlere Breite beträgt 2,3 m bei einer Tiefe von durchschnittlich 28 cm. Am Sediment hat die Sandfraktion aufgrund der Fließgeschwindigkeit von 0,1 bis 0,3 m/sec einen Anteil von bis zu 55 %. Der Rest des Gewässergrundes ist mit Kies bedeckt. Die Uferformen entsprechen denen der Strecke **Bam/2**, ohne daß die dort beobachteten Unterspülungen auftreten und damit für Fische Unterstände fehlen.

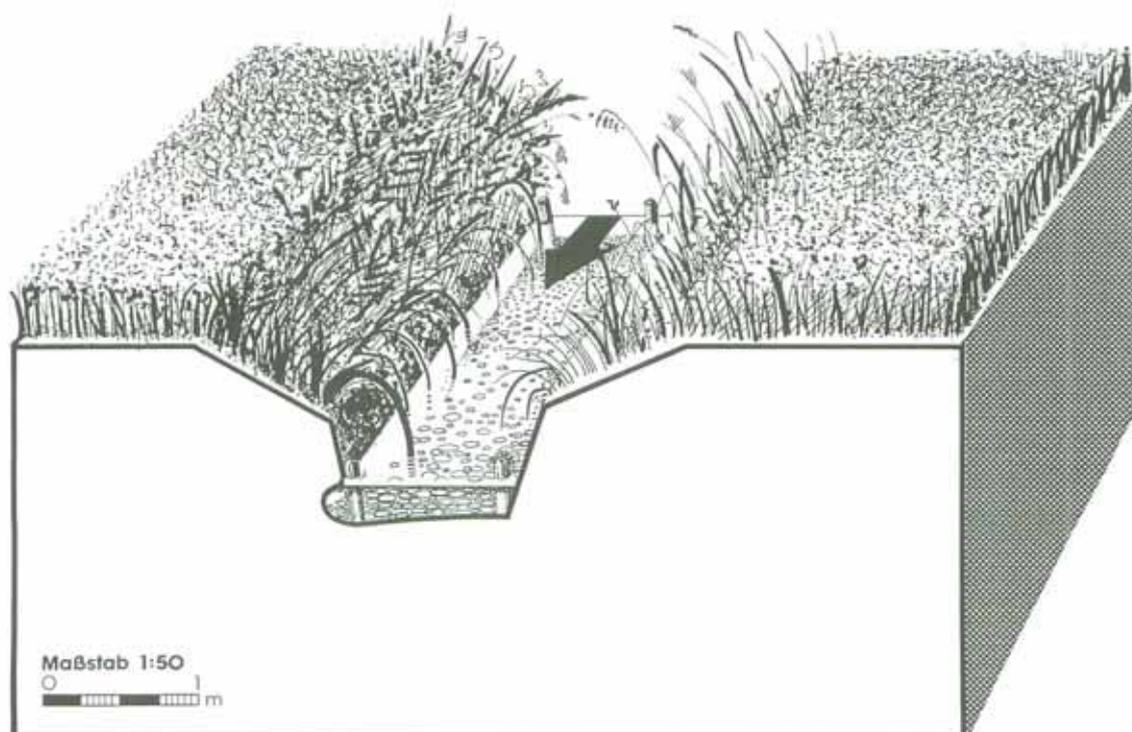


Abbildung 6: Charakteristisches Profil der Strecke Bampfen/2

Zeichnung: M. BECHTEL, Reitelberg

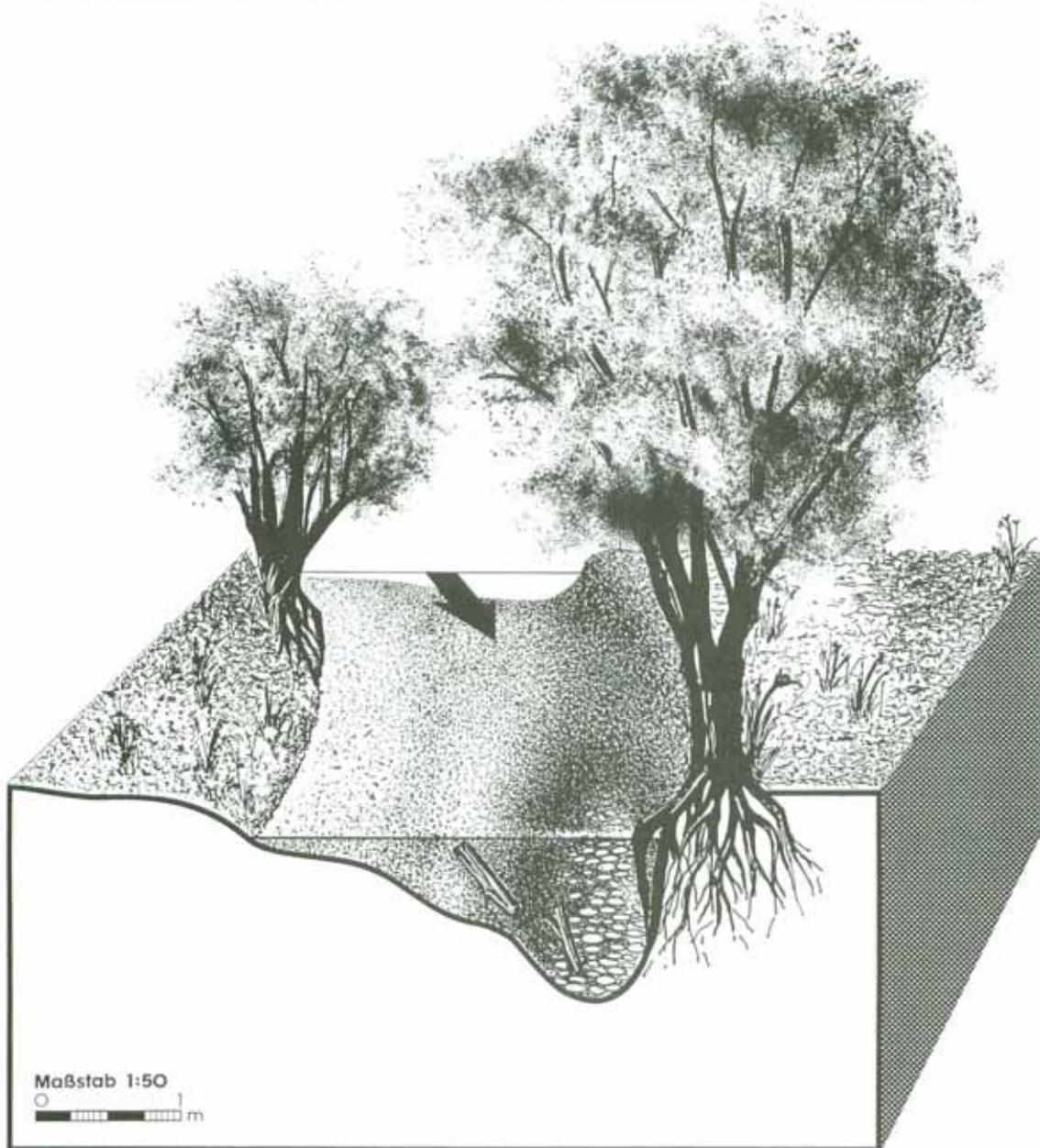


Abbildung 7: Charakteristisches Profil der Strecke Bampfen/3

Zeichnung: M. BECHTEL, Heidelberg

Die Strecke **Bam/5** befindet sich oberhalb des Umspannwerkes westlich von Schachen. Die morphologisch deutlich beeinträchtigte, begradigte und mit Stangenholz ausgebaute Strecke entspricht mit Ausnahme des höheren Feinsandanteils der Untersuchungsstrecke **Bam/4**.

Von der Mündung des Bampfens in die Schussen bis zur Kanzachmühle reicht die Untersuchungsstrecke **Bam/6**. Aufgrund der Zuflüsse aus dem Föhrenried über den Neu-graben hat hier die Abflußmenge deutlich zugenommen. Das begradigte und an den Ufern ausgebaute Gewässer zeigt eine durchschnittliche Breite von 3 m bei einer zwischen 20 und 90 cm schwankenden Tiefe. Der unbeschattete, sandig-schlammige Sedimentgrund ist zu 75 % mit Wasserpflanzen bewachsen. Eine Gliederung in Stillen und Schnellen ist nicht entwickelt. In Bereichen dicht entwickelter Pflanzenteppiche verringert sich infolge der verstärkten Sedimentation die Wassertiefe auf bis zu 20 cm. Die Fließgeschwindigkeit war mit durchschnittlich 0,18 m/sec auffallend gering.

### Ergebnisse der Befischungen

Tabelle 4 zeigt eine Übersicht der Artenverteilung und die relativen Häufigkeiten in den beprobten Untersuchungsstrecken. Besonders deutlich stellen sich die Besiedlungsunterschiede der naturnahen Strecke **Bam/3** dar.

Aus faunistischer Sicht ist der Nachweis einer kleinen, aber dennoch stabilen Strömerpopulation von besonderer Bedeutung. In Abbildung 8 wird die Längengewichts-Korrelation des Strömers im Februar 1989 dargestellt. Die Generation 0+ (jünger als ein Jahr) hebt sich

	Bam/1	Bam/2	Bam/3	Bam/4	Bam/5	Bam/6
Bachforelle	4	5	4	3	2	4
Aal	3	2	0	2	3	2
Döbel	0	0	3	0	2	3
Schmerle	0	0	4	2	1	1
Strömer	0	0	4	0	0	2

Tabelle 4: Häufigkeit der Fische am Bampfen

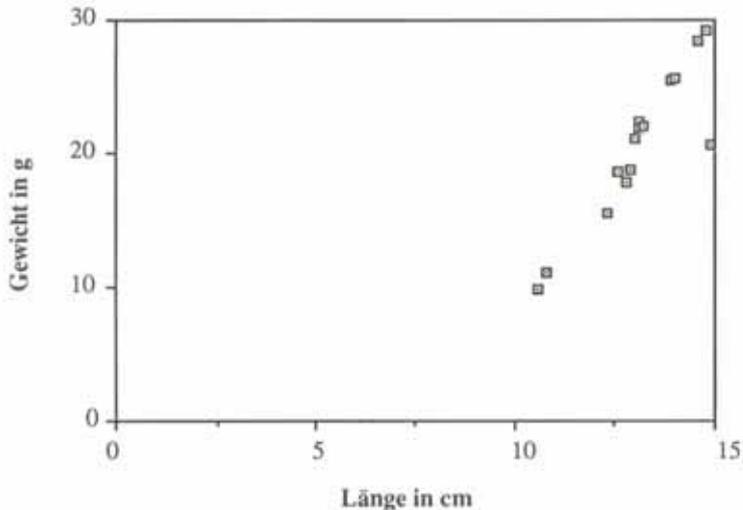


Abbildung 8: Längen-Gewicht-Korrelation des Strömers

deutlich von den subadulten und adulten Strömern ab. Die Grenze zwischen den subadulten und den adulten Individuen wurde mit Hilfe der Clusteranalyse bei 12 cm Länge gelegt. Die Verteilung der 132 bei beiden Befischungen gefangenen Strömer war immer an besondere morphologische Strukturen im Gewässer gebunden. In der kurzen naturnahen Strecke **Bam/3** wurden 82 % der Strömer gefangen. Die adulten und subadulten Exemplare wurden in Gruppen zu durchschnittlich 20 Individuen in mindestens 1 m tiefen Gumpen mit freigespülten Wurzeln gefangen. Flachwasserbereiche bis 20 cm wurden dagegen von kleinen Gruppen juveniler Strömer besiedelt. Außerhalb der naturnahen Strecke **Bam/3** konnten Strömer nur noch an zwei Stellen nachgewiesen werden. Vier Individuen wurden bei der Befischung der Strecke **Bam/6** zwischen dichten Makrophytenbeständen gefangen. Unter einer Brücke zwischen **Bam/6** und **Bam/5** konnte eine kleine Gruppe adulter Strömer nachgewiesen werden. Hier wurden bei Elektrobefischungen der Fischereirechtsinhaber in den letzten Jahren regelmäßig einige Strömer gefangen. Aufgrund des Vergleichs der Strömervorkommen wird deutlich, daß diese Art auf Gewässerabschnitte mit geeigneten Deckungsmöglichkeiten angewiesen ist. Die strukturelle Vielfalt, Qualität und Quantität der Deckungsmöglichkeiten, die für eine intakte Strömervorkommen Voraussetzung sind, können nur in naturnah mäandrierenden Waldbächen optimal erfüllt werden.

#### **Bewertung des Natürlichkeitsgrades anhand der Fischfauna**

Als potentielles Fischartenspektrum der morphologisch naturnahen Mittelgebirgsbachstrecke **Bam/1** wurde das Auftreten der Bachforelle erwartet. Das steinig-kiesige Sediment des Bampfens eignet sich als Laichsubstrat für diese Art, so daß alle Altersklassen potentiell vorhanden sein könnten. Abbildung 9 zeigt, daß neben den erwarteten Bachforellen bei den Befischungen auch adulte Aale gefangen wurden. Diese Aale stammen aus den im Quellgebiet des Bampfens liegenden Seen und wurden von

den Fischereirechtsinhabern besetzt. Eine Zuwanderung von unterhalb gelegenen Gewässerabschnitten ist unwahrscheinlich, da unterhalb der Brücke, an der die Befischungsstrecke **Bam/1** begann, ein hoher Absturz Wanderungen unterbindet. Da die aktuellen morphologischen Parameter mit den potentiell natürlichen Parametern weitgehend übereinstimmen, entspricht die potentiell natürliche Fischfauna der potentiellen Fischfauna. Die geringe Differenz von 14 % zwischen der potentiell natürlichen und der aktuellen Fischfauna begründet die Zuordnung der Strecke **Bam/1** in Natürlichkeitsklasse 1 (natürlich bis leicht beeinträchtigt).

Die aktuellen morphologischen Parameter in Strecke **Bam/2** werden durch Begradigung und Befestigung der Ufer geprägt. Geringe bis fehlende Breiten- und Tiefenvarianz verbunden mit hoher Fließgeschwindigkeit und mäßiger Deckungsmöglichkeit hinter dem freigespülten Uferverbau kennzeichnen diesen Teilbereich. Aufgrund des kiesig-steinigen Sediments wurde mit dem Vorkommen von allen Altersklassen der Bachforelle als potentielle Fischfauna gerechnet. Die aktuelle Fischartenzusammensetzung in Abbildung 10 zeigt, daß auch hier wie in Strecke **Bam/1** zusätzlich zu den Bachforellen adulte Aale nachgewiesen wurden. Die potentiell natürlichen morphologischen Parameter weichen deutlich von den aktuellen Gegebenheiten ab. Unter natürlichen Bedingungen würde der Bampfen im Bereich der Untersuchungsstrecke in einen Bruchwald mäandrieren. Unter den potentiell natürlichen morphologischen Bedingungen wäre das Gewässer mit zusätzlichen Arten besiedelt. Schmerlen und Elritzen würden aufgrund der gesteigerten Sedimentdiversität und der besonders in Stillen und Gumpen stark verringerten Strömungsgeschwindigkeit Habitate für alle Altersklassen finden. Im potentiell natürlichen Artenspektrum wurde der Strömer hier nicht berücksichtigt, da über die ökologischen Ansprüche dieser weiter unterhalb im Bampfen vorkommenden Art bisher nur wenig bekannt ist. Vergleicht man das aktuelle mit dem potentiell natürlichen Artenspektrum, so wird Strecke **Bam/2** aufgrund der Differenz von 54 % in Natürlichkeitsklasse 3 (stark beeinträchtigt) eingestuft.

Die aktuellen morphologischen Parameter der in einem Wäldchen mäandrierenden Strecke **Bam/3** und die potentiell natürlichen morphologischen Parameter stimmen weitgehend überein. Die zu erwartenden Artenspektren der potentiellen und der potentiell natürlichen Fischfauna sind somit identisch. Zusätzlich zu den bei der Beschreibung der potentiell natürlichen Fischfauna der Strecke **Bam/2** genannten Arten tritt hier der Strömer hinzu. Die adulten Individuen wurden alle in tiefen Gumpen gefangen, während die Jungtiere in fast stehenden, durchschnittlich 5 cm tiefen Buchten lebten. Abbildung 11 zeigt, daß auch in der naturnahen Strecke **Bam/3** keine Elritzen nachgewiesen werden konnten, obwohl diese Art bei Elektrobefischungen durch den Fischereirechtsinhaber (THOMAS, mündliche Mitteilung) noch vor wenigen Jahren relativ häufig gefangen wurde. Juvenile Bachforellen fehlen aufgrund der Substratverhältnisse. Vergleicht man

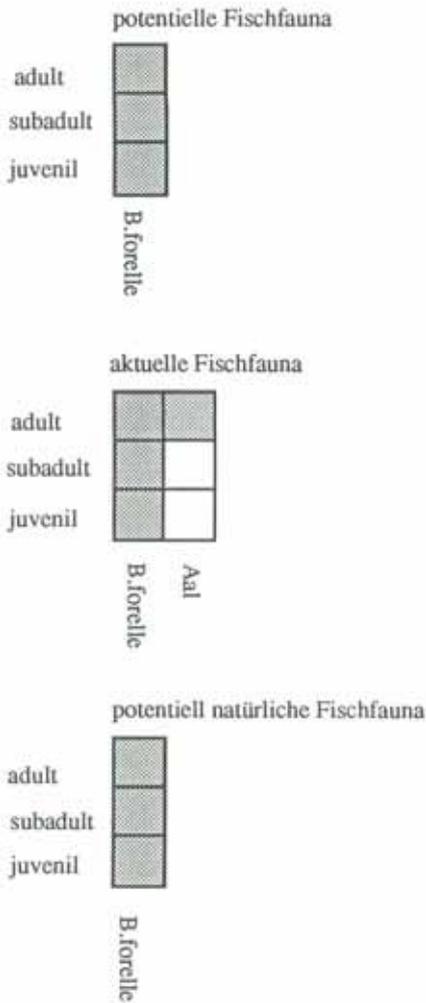


Abbildung 9: Bewertung der Untersuchungsstrecke Bam/1

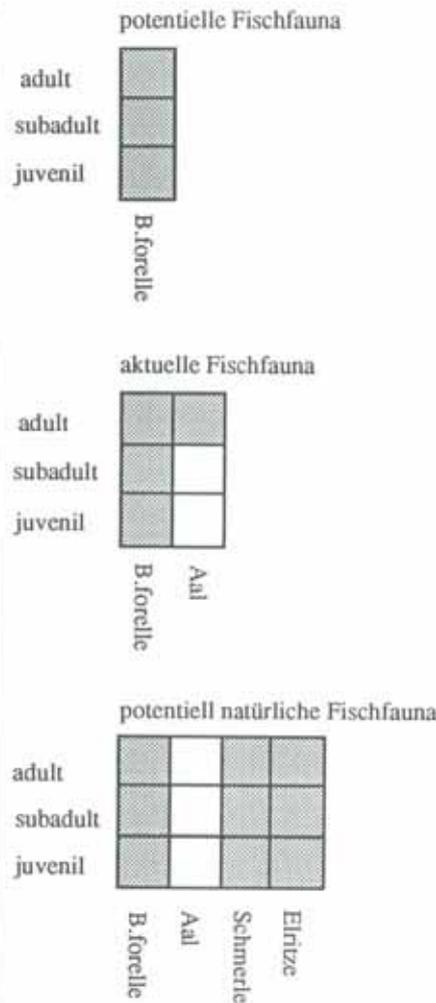


Abbildung 10: Bewertung der Untersuchungsstrecke Bam/2

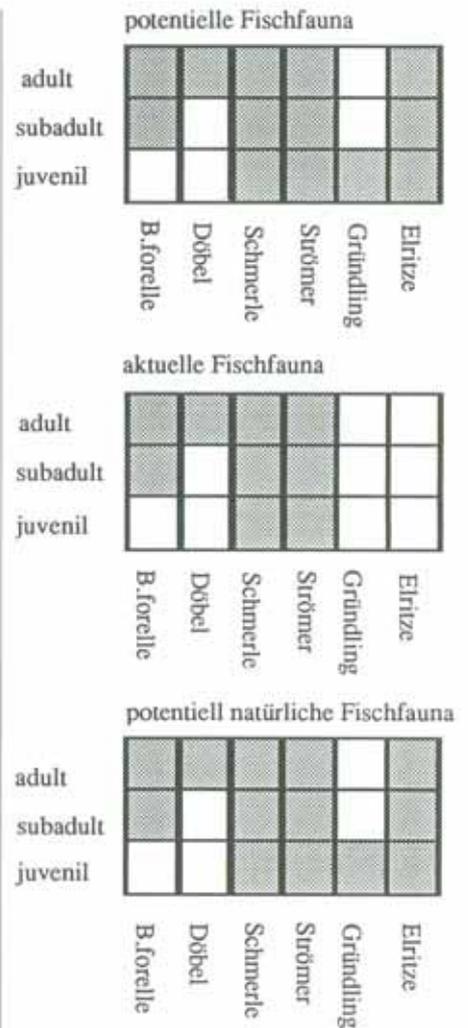


Abbildung 11: Bewertung der Untersuchungsstrecke Bam/3

das aktuelle mit dem potentiell natürlichen Artenspektrum, so erfolgt aufgrund der geringen Differenz von 18 % die Einstufung in Natürlichkeitsklasse 1 (natürlich bis leicht beeinträchtigt).

Durch den Zusammenfluß des Oberen mit dem Unteren Bampfen hat die Strecke **Bam/4** einen wesentlich höheren Abfluß als die bereits beschriebenen Untersuchungsstrecken. Die aktuellen morphologischen Parameter der begradigten und mit Stangenholz ausgebauten Untersuchungsstrecke ermöglichen eine dünne Besiedlung durch Bachforellen, eingewanderte Aale und Schmerlen. Adulte und subadulte Döbel wurden erwartet, sie konnten allerdings, wie Abbildung 12 zeigt, bei den Elektrofischungen nicht nachgewiesen werden. Für die Rekonstruktion der potentiell natürlichen morphologischen Parameter diene der aktuelle Zustand der Strecke **Bam/3** als Vorbild. Die potentiell natürliche Fischfauna der Strecke **Bam/4** setzt sich weitgehend aus den in Strecke **Bam/3** genannten Arten zusammen. Unter Berücksichtigung der aufgrund der erhöhten Wasserführung gesteigerten Tiefenvarianz und der größeren Maximaltiefe wurde in Strecke **Bam/4** zusätzlich mit dem Auftreten

juveniler Döbel gerechnet. Vergleicht man die aktuelle mit der potentiell natürlichen Fischfauna, so wird die Strecke **Bam/4** aufgrund der Differenz von 58 % in Natürlichkeitsklasse 3 (stark beeinträchtigt) eingeteilt.

Die aktuellen und die potentiell natürlichen morphologischen Parameter und damit die potentielle und die potentiell natürliche Fischfauna sind in Strecke **Bam/5** und **Bam/6** weitgehend identisch. Abbildung 13 zeigt das Ergebnis der Befischungen. Aufgrund der Differenz von 60 % zwischen der aktuellen und der potentiell natürlichen Fischfauna wird die Strecke **Bam/5** in Natürlichkeitsklasse 3 (stark beeinträchtigt) eingeordnet.

Aufgrund der Zuläufe aus dem Föhrenried hat sich die Wassermenge in der Untersuchungsstrecke **Bam/6** gegenüber den anderen Strecken nochmal deutlich gesteigert. Die verringerte Fließgeschwindigkeit und die starke Wasserpflanzenentwicklung prägen die aktuellen morphologischen Parameter. Da über die Artensammensetzung naturnaher Bachunterläufe im Bodenseebereich und über die Austauschvorgänge zwischen den Flußpopulationen mit den Bachpopulationen noch erheblicher Forschungsbedarf besteht, kann für die

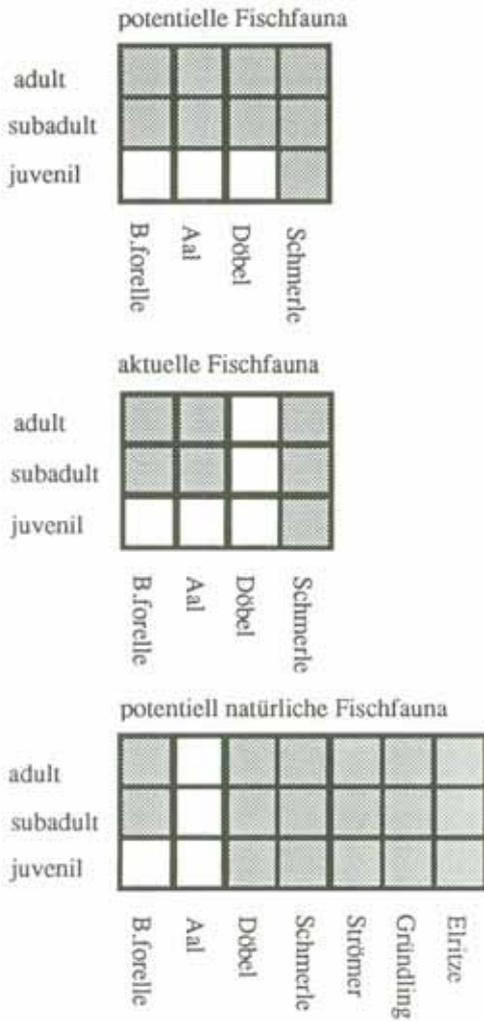


Abbildung 12: Bewertung der Untersuchungsstrecke Bam/4

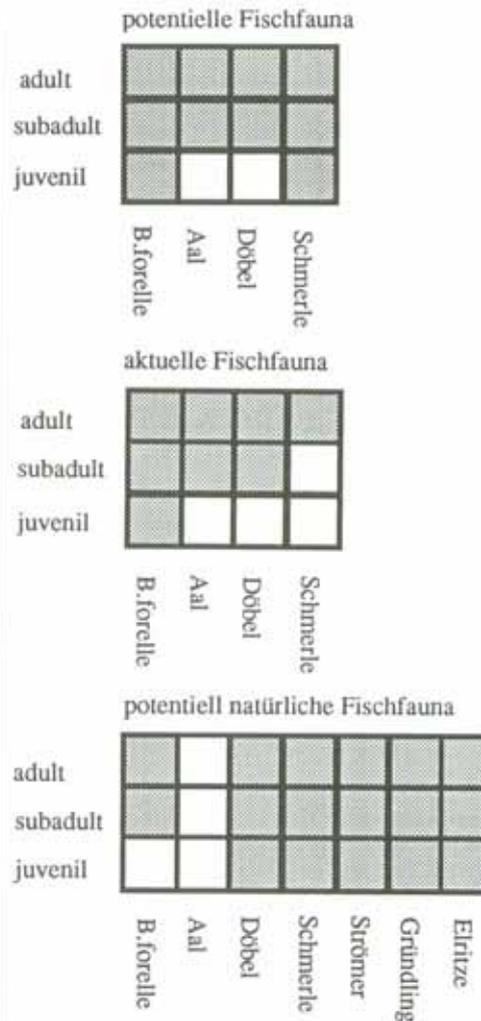


Abbildung 13: Bewertung der Untersuchungsstrecke Bam/5

Strecke **Bam/6** kein potentiell natürliches Artenspektrum aufgestellt werden und damit auch keine Bewertung des Natürlichkeitsgrades erfolgen.

**5. Punkte, die bei der Renaturierung zu beachten sind**

Um die ökologische Effizienz von Renaturierungsmaßnahmen zu sichern, müssen vor oder während der Maßnahmen alle negativen Einflüsse abgestellt werden, die für eine hohe Differenz zwischen aktueller und potentieller (Fisch-)Fauna verantwortlich sein können. In der Regel beeinträchtigen eine unzureichende Gewässergüte oder periodische toxische Belastungen die Erfolgsaussichten naturnaher Umgestaltungen. Die Wiederherstellung und Sicherung naturraumtypischer Gewässer mit einem möglichst vollständigen Inventar standorttypischer Tier- und Pflanzenarten setzt voraus:

- Gewässergüteklasse II oder besser
- Keine toxischen Einträge
- Raum für die Entwicklung einer naturnahen Aue

Während der Gewässergüte und auch den toxischen Belastungen zunehmend Beachtung zukommt, wird der Bereich der Aue auch heute noch in vielen Fällen vernachlässigt. Ohne naturnahe Aue kann ein Gewässer die oben genannten Zielfunktionen nicht erfüllen.

Bei der Planung von Renaturierungsmaßnahmen ist unter Berücksichtigung der Ansprüche der Fischfauna besonders zu beachten:

- 1) Naturnaher Uferwald beidseitig
  - Bei Hochstämmen mindestens jederseits 30 m breit
  - Sonst mindestens dreireihige Pflanzung (dann Pflege!)
- 2) Bäume entlang der Mittelwasserlinie
- 3) Hohe Tiefenvarianz
  - Stillen und Schnellen
  - Gumpen und Flachwasserstrecken
  - Keine einheitliche Mindestwassertiefe
- 4) Naturnahe Sedimentverteilung
  - Gefahr der Verschlämzung
  - Keine überdimensionierten Wasserbausteine

- 5) Naturnahe Laufentwicklung
- 6) Keine künstlichen Elemente
  - Altarm in Forellenregion
  - Keine künstlichen Fischunterstände
  - Keine überdimensionierten Steinschüttungen im Flachlandbach
- 7) Keine Wanderhindernisse

## 6. Zusammenfassung

Zur Bewertung des Natürlichkeitsgrades der Gewässer bezüglich der Fischfauna wurde ein spezielles Bewertungsverfahren entwickelt. Die Grundlage bildet das in Altersgruppen aufgespaltene Artenspektrum eines Gewässers. Durch die Einteilung in Jungfische (juvenil), subadulte Fische und Laichfische (adult) ist eine differenzierte Beurteilung möglich, da die einzelnen Altersgruppen der Arten an unterschiedliche morphologische Gegebenheiten angepaßt sind und deshalb verschieden strukturierte Gewässerabschnitte besiedeln. Mit Hilfe des Vergleichs der aufgrund der aktuellen ökomorphologischen Parameter zu erwartenden potentiellen Fischfauna mit der bei den Befischungen festgestellten aktuellen Fischfauna kann in einem Vortest (Abbildung 4) geprüft werden, ob die Fischfauna der zu beurteilenden Untersuchungsstrecke durch saprobielle oder toxische Einflüsse gestört wird. Ist die Differenz zwischen dem vorhergesagten potentiellen Artenspektrum und dem aktuellen Artenspektrum kleiner als 25 %, so kann in dem folgenden Schritt die eigentliche Bewertung des Natürlichkeitsgrades erfolgen. Aufgrund der Differenz zwischen der unter potentiell natürlichen morphologischen Bedingungen erwarteten potentiell natürlichen Fischfauna und der aktuellen Fischfauna werden die Gewässer in 4 Natürlichkeitsklassen (Klasse 1 naturnah bis leicht beeinträchtigt, Klasse 2 deutlich beeinträchtigt, Klasse 3 stark beeinträchtigt und Klasse 4 naturfern) eingeteilt.

Das grundlegende Problem aller auf dem potentiell natürlichen Zustand beruhenden Bewertungsverfahren ist die Schwierigkeit, daß der potentiell natürliche Zustand oft nur ungenügend bekannt ist. In der Praxis werden die Vorstellungen vom potentiell natürlichen Zustand durch:

- Historische Beschreibungen
- Naturnahe Vergleichsstrecken
- Typologische Vergleiche
- Systemanalytische Verfahren

bestimmt.

Die Vor- und Nachteile dieser Methoden zur Bestimmung der potentiell natürlichen Situation führen in der Regel zu einer integrierten Anwendung.

## LITERATUR

- BERG, R., S. BLANK & T. STRUBELT (1989): Fische in Baden-Württemberg. – Ministerium für den ländlichen Raum, Landwirtschaft und Forsten Baden-Württemberg (Hrsg.); Stuttgart
- BRAUKMANN, U. (1987): Zoozoologische und saprobiologische Beiträge zu einer allgemeinen regionalen Bachtypologie. – Ergebnisse der Limnologie 26, Stuttgart
- BRAUKMANN, U. (1988): Regionale zoozoologische Untersuchungen an Makroinvertebraten. – Gemeinschaften in verschiedenen Bachtypen: Methodik und ausgewählte Ergebnisse. – Mitt. bad. Landesver. Naturkunde und Naturschutz, N. F. 14,3
- BRAUKMANN, U. (1990): Vortrag Karlsruhe; Dieses Heft
- BUCK, H. (1985): Die Gewässergüte der unteren Murr. – In Ökologische Untersuchungen an der ausgebauten unteren Murr, Karlsruhe
- GEBHARDT, H. (1990): Die Bedeutung des Inundationsgebietes des Rheins als Laichgebiet für Fische. – In: KINZELBACH, R. & G. FRIEDRICH (Hrsg.): Biologie des Rheins. – Gustav Fischer Verlag; Stuttgart, New York
- GEBHARDT, H.; LINNENBACH, M.; MARTHALER, R.; NESS, A.; SEGNER, H. (1989): Die Bachforelle (*Salmo trutta f. fario*). – Ein Bioindikator für die Gewässerversauerung. – Fischökologie, Bd. 1, H. 1, Köln
- JUNGWIRTH, M. (1981): Auswirkungen von Fließgewässerregulierungen auf Fischbestände am Beispiel zweier Voralpenflüsse und eines Gebirgsbaches. – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Österreich; Wien
- JUNGWIRTH, M. (1984): Auswirkungen von Fließgewässerregulierungen auf Fischbestände, Teil II. – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Österreich; Wien
- KERN, K. (1986): Ziele, Möglichkeiten und Grenzen naturnaher Umgestaltung. – In: Mitt. des Instituts f. Wasserbau u. Kulturtechnik, H. 174, Universität Karlsruhe
- KERN, K. (1990): Vortrag Karlsruhe; Dieses Heft
- KONOLD, W. (1990): Vortrag Karlsruhe; Dieses Heft
- LAWA (1976): Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA): Die Gewässergüte der Bundesrepublik Deutschland. – Mainz
- NESS, A. (1989): Pilotprojekt »Naturnahe Umgestaltung ausgebauter Fließgewässer in Baden-Württemberg«. – Untersuchungen zur Fischfauna, Unveröffentlichter Bericht an das Umweltministerium Baden-Württemberg, Heidelberg
- NESS, A. & H. GEBHARDT (1988): Fische als Bioindikator zur Bewertung von Renaturierungsmaßnahmen an Fließgewässern. – In: HAMM, A. (Hrsg.) Erweiterte Zusammenfassung Band II der Jahrestagung 1988 der Deutschen Gesellschaft für Limnologie in Goslar, 318 - 326; München
- OTTO, A. & U. BRAUKMANN (1983): Gewässertypologie im ländlichen Raum. – Schriftenreihe des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten, Reihe A: Angewandte Wissenschaft, 288
- SCHWERDTFEGER, F. (1975): Ökologie der Tiere, III Synökologie. – Hamburg, Berlin
- STATZNER, B. (1986): Fließgewässerökologische Aspekte bei naturnaher Umgestaltung. – In: Mitteilungen des Instituts für Wasser und Kulturtechnik, Heft 174, Universität Karlsruhe
- STRAHLER, A. N. (1952): Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. – Bulletin of the Geological Society of America, 63

# Naturgemäße Bauweisen zur Ufersicherung

von Dipl.-Ing. Wolfgang Hauck

Die Ausführungen geben den bisherigen Bearbeitungsstand einer Arbeitsgruppe zur Erarbeitung eines Leitfadens »Bauweisen des naturgemäßen Wasserbaus« im Rahmen des Handbuchs Wasserbau wieder.

Diese Gruppe wurde im September 1987 beim Umweltministerium ins Leben gerufen und setzt sich aus zwei Landespflegern, einem Biologen und vier Wasserwirtschaftlern zusammen.

Insgesamt wurden bisher 26 Verhandlungstage aufgewendet.

## Das Leitbild

Naturgemäß wären alle Fließgewässer in Baden-Württemberg mehr oder weniger mit Auenwäldern bestockt. Angestrebt wird daher ein ausreichend breiter Uferrandstreifen, der beidseitig weitgehend mit Gehölzen bewach-

sen ist. Dieser Ufersaum setzt sich aus Bäumen und Sträuchern verschiedener Altersklassen in unterschiedlichen Mengenverhältnissen zu einem Bestandsgefüge zusammen (Bild Nr. 1).

Das Gewässer ist dann beschattet und strukturreich. Röhrichte und Stauden entwickeln sich vor allem in aufgeweiteten Bereichen an den Innenbögen. Die Ufer werden durch lebende Pflanzen dynamisch gesichert. Erlen und Weiden bewurzeln den Unterwasserbereich. Ihr Wurzelvorhang bietet in Gewässern mit bindiger bis feinkörniger Bachbett- und Sedimentstruktur Lebensraum für Wirbellose (Bild Nr. 2).

Dahinter stocken Eschen und Ahorn sowie diverse Sträucher. Mit zahlreichen langen und bis zu 15 cm dicken Horizontalwurzeln bilden Esche und Ahorn einen optimalen Uferschutz im Wasserwechselbereich und mit Erle und Weide ein eng vermaschtes Bestandsgefüge (Bild Nr. 3).



Bild Nr. 1



Bild Nr. 2



Bild Nr. 3

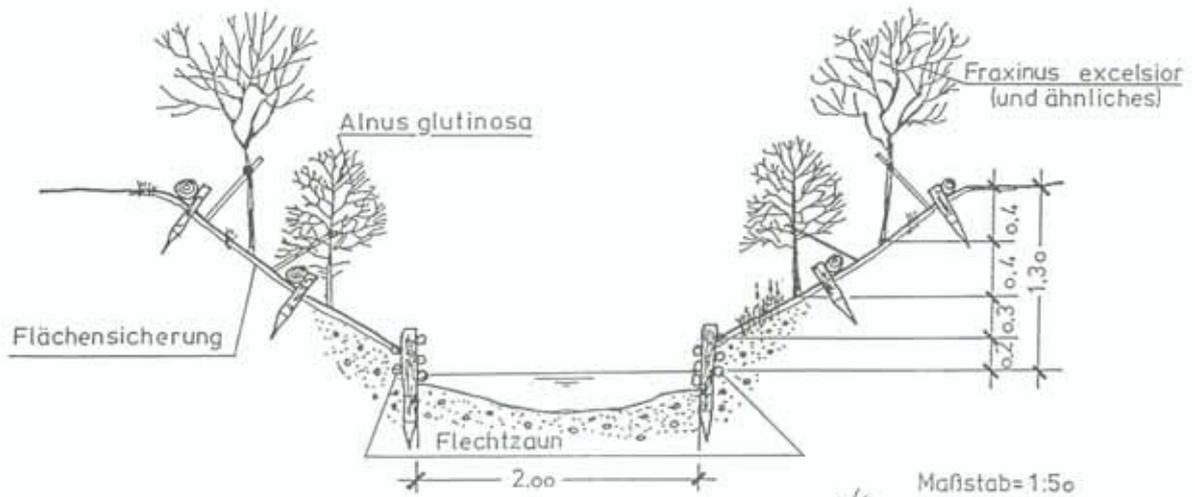
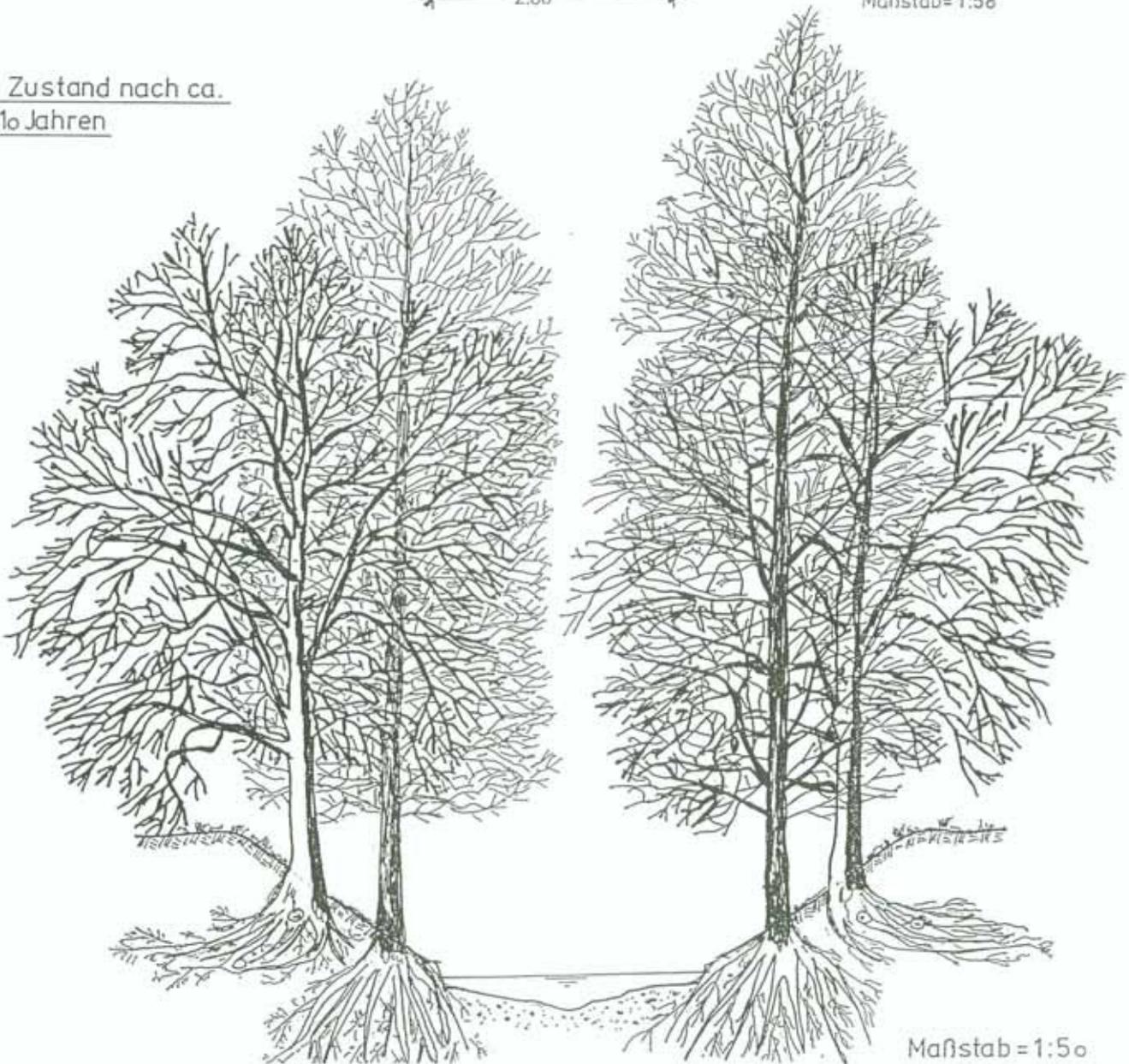
AusbauzustandZustand nach ca.  
10 Jahren

Abbildung 1: Flechtzaun als Anfangssicherung des Böschungsfußes und entwickelter Gehölzbestand mit voller Wurzelentwicklung.

**Die Problematik**

Das Leitbild vor Augen sieht sich der Anwender vor Probleme gestellt. Wie kann man so etwas bauen? Kann man mit der Abrechnung der Baumaßnahme die Gewässer sich selbst überlassen? Schließlich brauchen Erle und Esche Zeit, Wurzelvorhang und Horizontalwurzeln auszubilden. Die sich ständig verbessernde Uferschutzwirkung lebender Baustoffe bedarf häufig in der Anfangsphase der Unterstützung.

Unterstützende Sicherungen sollten dann aber möglichst von vorübergehender Natur sein (Abbildung 1).

**Anforderungen an naturgemäße Bauweisen**

Im Grundsatz ist der Einsatz von Sicherungsmaßnahmen auf ein Mindestmaß zu beschränken. Die beste »Bauweise« ist die des Grunderwerbs. Notwendige Sicherungsmaßnahmen sind nach den örtlichen Verhältnissen auszusuchen.

Dauerhafte Sicherungen sind hinsichtlich Material, Größe und Pflanzenarten nach dem natürlichen Vorkommen im jeweiligen Gewässerabschnitt zu wählen.

Vorübergehende Sicherungen, die nicht dem natürlichen Gewässertypus entsprechen, sind nur zu verwenden, soweit sie sich in einem angemessenen Zeitraum schadlos vollständig zersetzen oder verdrängt werden.

**Anwendungskriterien**

Der Anwendungsbereich der Sicherungsbauweisen wird entsprechend der Forderung des Wasserbaumerkblattes nach Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse begrenzt.

Geometrie (Prallhang und Gleithang), Morphologie (Bachbett- und Sedimentstruktur) und Zonierung sind die zu berücksichtigenden Kriterien (Abbildung 2 und 3).

Fraktion		Korngrößendurchmesser ( mm )	Grenzeschwindigkeit nach Jarocki (m/s)	Lebensraum
Ton / Schluff		0,06	< 0,2	Pelal
Sand		0,06 - 2,0	0,2 - 0,6	Psammal
Kies		2,0 - 63	0,6 - 1,6	Akal
Steine		63 - 200	1,6 - 2,6	Lithal
Schotter / Blöcke		> 200	> 2,6	
anstehender Fels				

Abbildung 2: Bachbett und Sedimentstruktur

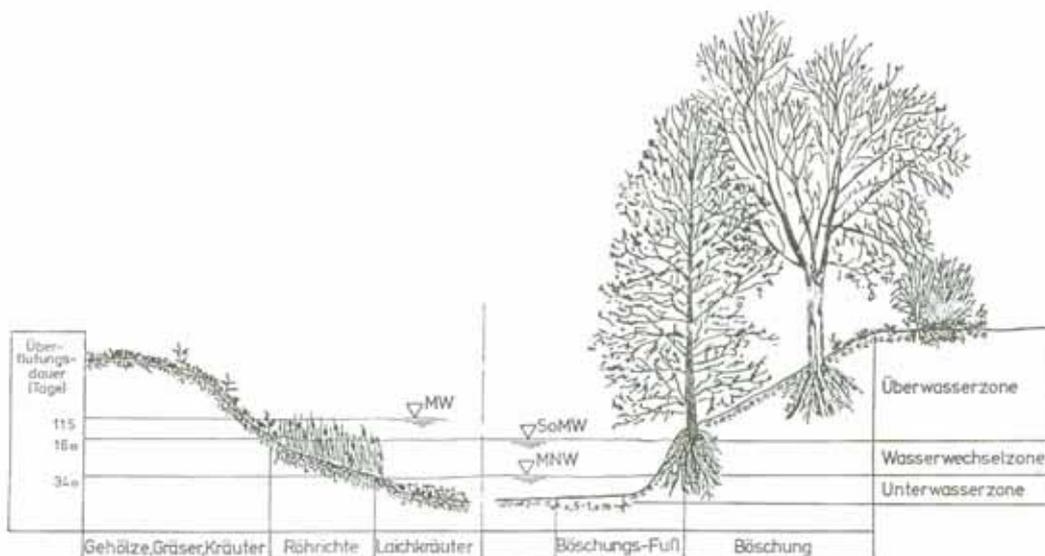


Abbildung 3: Ingenieurbiologische Uferzonierung



## Die Bauweisen

Die ausgewählten und bearbeiteten Bauweisen zeigt Abbildung 4. Teilweise wurden Bauweisen der DIN 19657 »Sicherungen von Gewässern, Deichen und Küstendünen« nach praktischen Erfahrungen ergänzt, andere wurden erstmals beschrieben.

In Abbildung 4 werden dauerhafte und vorübergehende Sicherungen bezeichnet. Je nach Zielsetzung und ent-

sprechender Pflege können z. B. Bauweisen einer niedrigeren Sukzessionsstufe auch dauerhaften Bestand haben. Ebenso sind die Anwendungskriterien »Struktur« und »Zonierung« dargestellt, wobei die Anwendungsgrenzen, z. B. »bis zu ... m Mittelwassertiefe« ohne Zahlenangaben schematisch und vergleichend aufgeführt sind.

Beispielhaft werden nachfolgend einige Bauweisen vorgestellt:

### GEHÖLZPFLANZUNG (Bild Nr. 4)

Nach erfolgtem Rückschnitt der Wurzeln werden die Pflanzen in ein vorbereitetes Pflanzloch eingegraben. Anschließend sind die oberirdischen Triebe zu kürzen. Auf die Artenauswahl und Zuordnung untereinander ist besonders zu achten (vgl. Abschnitt »Das Leitbild«).



### FASCHINENWALZE (Bild Nr. 6)

Eine dynamische Fußsicherung aus ausschlagfähigen Weiden mit 3–10 m Länge und 10–40 cm Durchmesser. Die Bündel sind z. B. mit Holzpfählen zu verankern.



### WEIDENSPREITLAGE (Bild Nr. 5)

Beispiel für eine flächendeckende Böschungssicherung mit ausschlagfähigen Gehölzen. Die Weidenruten benötigen am Fußende dauerhaft Wasser- und in der Böschungsfäche Bodenkontakt. Dieser Grundsatz gilt auch bei allen anderen beschriebenen Weidenbauweisen.



### FLECHTWERKE (Bild Nr. 7)

Nach Korbmacherart lassen sich Flechtwerke mit handwerklichem Geschick am Böschungsfuß einbringen und schützen das Ufer so lange, bis die Pflanzenwurzeln diese Aufgabe übernommen haben.



**STANGENVERBAU (Bild Nr. 8)**

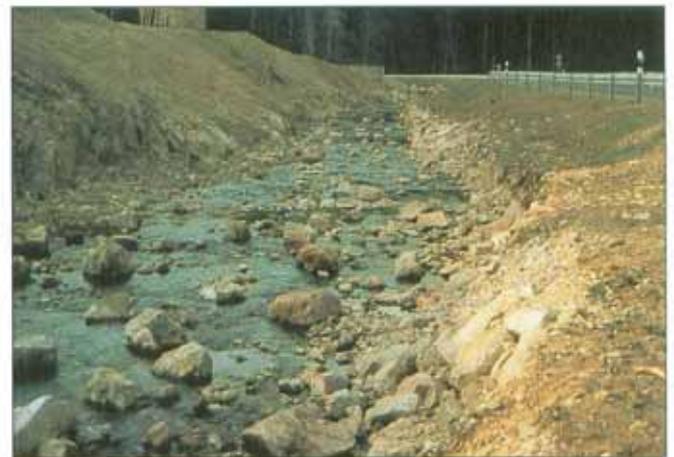
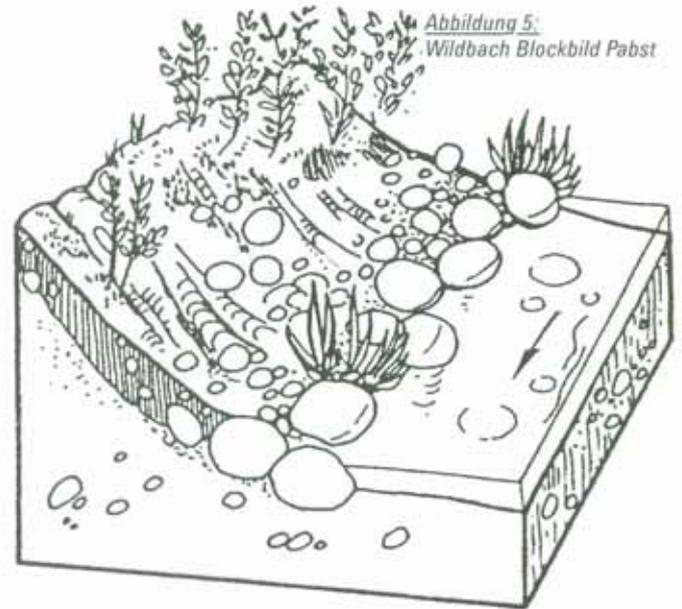
Mit wenig Aufwand und ohne Fachkenntnis schnell herzustellen, schützt der Stangenverbau sofort den Böschungsfuß. Bis zu seiner Verrottung haben die Gehölze genügend Zeit, kräftige Wurzeln auszubilden.

**RAUHBAUM (Bild Nr. 9)**

Der Rauhbaum siebt Sediment aus der fließenden Welle aus und führt zur raschen Verlandung des Uferabschnitts. Schon nach kurzer Zeit können sich Pflanzen ansiedeln oder eingebracht werden.

**WILDBACHSICHERUNG – Rähnenbauweise (Abbildung 5 und Bild Nr. 10)**

Am Böschungsfußpunkt werden Rundlinge ein- und zweireihig angeordnet und zum Teil auf Lücke gesetzt, um Pflanznischen zu erhalten. Die Böschung wird danach mit Geschiebe hergestellt.



### Kostenbetrachtung

Beschränkt man die Kostenbetrachtung auf die verschiedenen Bauweisen, so ergeben sich im wesentlichen folgende kostenbildende Faktoren:

- Kosten für Materialkauf bzw. Materialgewinnung
- Transportkosten für das Einbaumaterial bis zur Einbaustelle
- Einbaukosten
- Pflegekosten (Herstellungs- und Bestandspflege)

Diese kostenbildenden Faktoren schwanken sehr stark in Abhängigkeit von den örtlichen Verhältnissen, wie z. B. Verhältnisse am Gewinnungsort, Transportentfernungen, Verhältnisse an der Einbaustelle (Befahrbarkeit, Wasserführung, Hochwasserrisiko, Grundwasserandrang, Einsatzmöglichkeiten für Maschinen usw.). Ein weiterer wichtiger Kostenfaktor ist der Zeitaufwand (Maschinen, Arbeitskräfte) für die Herstellung der Bauweisen.

Eine einheitliche und daher vergleichende Kostenbetrachtung liegt derzeit noch nicht vor. In der nachfolgenden Tabelle sind Bauweisen, die sich aufgrund zahlreicher Erfahrungen monetär beziffern lassen, anderen mit überwiegendem Zeitaufwand gegenüber gestellt. Letzlich dürfen bei der Auswahl einer Bauweise jedoch nicht die Kosten im Vordergrund stehen, sondern der Anwendungsbereich und die fachliche Beurteilung der Bauweise.

Bauweise	Leistungsumfang	Aufwand
Ansaaten von Gräsern und Kräutern	1 m <sup>2</sup> , einschl. 1. Schnitt	1–5 DM
Gehölzpflanzung	1 Stück einschl. Fertigstellungspflege	10–15 DM
Rauhbaum	1 Stück mit 3–4 m Länge ohne Material und Transport	2 Mannstunden 0,5 Baggerstunde
Flechtzaun	10 m lang, 0,3 m hoch ohne Material und Transport	2 Baggerstunden 10 Mannstunden
Stangenverbau	10 m lang, 0,4 m hoch ohne Material und Transport	1 Baggerstunde 10 Mannstunden

Tabelle: Kostendaten ausgewählter Bauweisen

### Anmerkungen zur Gehölzpflege

Es wird in Fertigstellungs-, Entwicklungs- und Bestandspflege unterschieden:

#### Fertigstellungspflege:

Alle Leistungen nach der Pflanzarbeit zur Erzielung eines abnahmefähigen Zustandes – siehe Bauweise »Gehölzpflanzung«.

#### Entwicklungspflege:

In entstandene Lücken des Jungbestandes nachpflanzen. Pioniergehölze ersetzen. Einzelne Gehölze bei starkem Konkurrenzdruck entfernen.

#### Bestandspflege:

Gehölze durch Stockhiebe verjüngen zum Zweck der Erhaltung eines geschlossenen Gehölzsaumes. Altbestände aus nicht bodenständigen Gehölzen (z. B. Pappeln, Nadelgehölze) ersetzen. Lückigen Bestand zu hydraulisch wirksamem Gefüge schließen (Bild Nr. 11).



Umweltpolitisch relevant und für den Anwender notwendig sind Hinweise zur Bestandspflege. Da für Stockausschläge und Neupflanzungen Licht der »limitierende Faktor« ist, sind für die Verjüngung so große Lücken zu schaffen, daß ausreichende Lichtverhältnisse am Saumfuß für einen mehrjährigen Zeitraum gegeben sind. Je nach den örtlichen Gegebenheiten (Himmelsrichtung, Besonnungsdauer) ist die Länge der Lichtschneisen ein- bis höchstens dreimal der Höhe der Nachbargehölze zu wählen (Bild Nr. 12).



# Naturgemäße Bauweisen von Sohlenstufen

von Rolf-Jürgen Gebler

## 1. Einleitung

Neben wasserwirtschaftlichen Zielen sind es heute in zunehmenden Maß ökologische Zielvorstellungen, die den Anstoß zu wasserbaulichen Maßnahmen in den Fließgewässern geben, oder die zumindest als wichtiger Teilaspekt zu berücksichtigen sind. Die Vorgaben an die wasserbauliche Praxis werden somit immer mehr von ökologischen und biologischen Fragenkomplexen geprägt.

Letztendlich sind es die Wasserbauer, die dazu aufgefordert sind, auf die Vorgaben der Fließgewässerökologie die richtigen Lösungen zu erarbeiten und in die wasserbauliche Praxis umzusetzen, wobei die ökologischen Zielvorstellungen mit wasserwirtschaftlichen, konstruktiven und hydraulischen Anforderungen in Einklang zu bringen sind.

Ein Beispiel für diese Aufgabe stellt die naturgemäße Gestaltung von Sohlenstufen, d.h. Querbauwerken im Gewässer dar, die meist zur Stabilisierung der Gewässersohle errichtet werden. Neben hydraulischen und konstruktiven Anforderungen müssen diese Bauwerke auch der Forderung nach Durchgängigkeit für die Gewässerfauna genügen.

Bis heute liegen dem praktisch tätigen Wasserbauingenieur nur wenige und unzureichende Grundlagen zur Gestaltung und Bemessung von naturgemäßen Sohlenstufen vor. So behandelt z.B. die DIN 19661 Teil 2 (Sohlenbauwerke) zwar sehr ausführlich die Gestaltung und Bemessung von Absturzbauwerken, auf Sohlrampen wird jedoch nicht eingegangen. Die Bemessung von Blocksteinrampen geschieht zumeist nach dem Verfahren von Knauss /9/, das aber, wie später erläutert wird, auf den Großteil der in der wasserbaulichen Praxis vorkommenden Fälle nur eingeschränkt anwendbar ist. So ist nicht verwunderlich, daß die meisten Steinschwellen und rauhen Rampen ohne Bemessung allein aufgrund der Erfahrung des jeweiligen planenden Ingenieurs erbaut werden.

Der vorliegende Beitrag stellt eine Zusammenfassung einer umfangreichen Untersuchung zum Thema »Naturgemäße Gestaltung von Sohlenstufen und Fischaufstiegen« /3,4/ dar, die der Verfasser im Auftrag des »Ministeriums für Umwelt Baden-Württemberg« durchgeführt hat. In dieser Studie stand neben einer Literaturlauswertung vor allem die Erfassung und Auswertung der in der Praxis gewonnenen Erfahrungen mit derartigen Bauwerken im Vordergrund.

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf **flachgeneigte** rauhe Sohlrampen ( $I \leq 1:8$ ) und in erster

Linie auf die in der Praxis meist auftretenden Rampenhöhen von  $\Delta h \leq 2$  m. Da für **steile** Rampen und Deckwerke, wie sie z.B. als Dammscharten zur Hochwasserentlastung von Dämmen und Rückhaltebecken Anwendung finden /12/, andere Versagensmechanismen und abweichende Stabilitätskriterien maßgebend sind, können insbesondere die Aussagen dieses Aufsatzes zur Rampenstabilität nicht auf diesen Fall übertragen werden.

## 2. Problematik

Die Hauptzielsetzung des naturnahen Wasserbaus ist die Wiederherstellung natürlicher Lebensräume für die im Gewässer und dessen Umfeld lebende Flora und Fauna. Neben der gutemäßigen Gewässersanierung und der strukturellen Belebung des »Lebensraumes Fließgewässer« ist die Vernetzung der Fließgewässer – Verbindung der einzelnen Gewässerabschnitte und des Flusses mit seinen Nebengewässern – zur Schaffung eines Lebensraumverbundes eine wichtige Forderung des Artenschutzes an den Wasserbau.

Die Zielvorstellung ist hierbei ein Fließgewässerkontinuum, in dem die für intakte und stabile Ökosysteme erforderlichen vielfältigen Austauschprozesse ungehindert stattfinden können.

Gerade weil die Gewässergüte in den letzten Jahren vielfach erheblich verbessert werden konnte, kommt der Durchgängigkeit der Gewässer eine ausschlaggebende Bedeutung für die Wiederbesiedelung verarmter Gewässerregionen und die dauerhafte Einstellung einer natürlichen Artenvielfalt der aquatischen Lebensgemeinschaft zu.

Von den mannigfaltigen Gründen, die für eine Vernetzung der Gewässer sprechen, seien hier nur folgende genannt (Eine ausführliche Erörterung wird in /3/ gegeben):

**Ermöglichung einer natürlichen Wiederbesiedelung von Gewässerabschnitten nach Ereignissen, die für die Gewässerfauna als Katastrophen wirken** (Gewässerverunreinigung, Austrocknung, starke Erwärmung, Grundeisbildung, Gewässerausbau und Gewässerunterhaltung, z.B. Sohlräumung): Die Ermöglichung einer Neu- und Wiederbesiedelung aus angrenzenden Gewässerabschnitten ist Besatzmaßnahmen – die oft eher als Faunenverfälschung denn als Artenschutzmaßnahme wirken – sowohl aus ökologischen als letztlich auch aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten vorzuziehen.

**Ausbreitung zurückgedrängter/seltener Arten ausgehend von Inselpopulationen:** Vielfach bestehen in den Fließgewässern Inselpopulationen selten gewordener

Arten, die sich aufgrund günstiger Lebensumstände in einzelnen Gewässerabschnitten behaupten konnten. Diese Restpopulationen sind wichtige Ausgangszentren für eine großräumige Wiederbesiedelung. Der limitierende Faktor für eine derartige Rückeroberung ehemals besiedelter Gewässer ist vielfach nicht mehr die Gewässergüte, sondern sind die als Ausbreitungsschranken wirkenden Querbauwerke in den Bächen und Flüssen.

Schon durch diese zwei Argumente für eine Durchgängigkeit der Gewässer wird deutlich, daß jede einzelne Vernetzung bisher getrennter Gewässerabschnitte einen aktiven Beitrag zum Artenschutz leistet.

Vorrangig müssen Sohlstufen so gestaltet werden, daß sie ohne zusätzliche Hilfseinrichtungen von der Gewässerfauna überwunden werden können. Erst wenn dies nicht möglich ist, sind Fischaufstiege als separate Bauwerke angebracht /2,3/.

In der Vergangenheit wurden Sohlenstufen meist als senkrechte Abstürze gestaltet, die selbst von leistungsfähigen Fischarten, wie Forellen, kaum zu überwinden sind. So ist z.B. die Seeforelle des Bodensees hauptsächlich deswegen in ihrem Bestand gefährdet, weil der Zugang zu den Laichgründen in den Zuflüssen durch unüberwindbare Hindernisse versperrt ist.

Bei der Beurteilung von Sohlenstufen müssen wir uns von dem Bild des hohe Hindernisse überspringenden Lachses und der Forelle trennen und uns vielmehr von der wesentlich geringeren Leistungsfähigkeit anderer Arten, wie Kleinfische und der Benthosfauna, leiten lassen. So bedeuten die in unseren Gewässern vielfach vorhandenen kleinen Abstürze mit abgelöstem Überfallstrahl für die meisten Gewässerbewohner absolut unüberwindliche Biotopschranken, die die Gewässer in getrennte Lebensräume zerstückeln.

### 3. Anforderungen

Neben ihrer eigentlichen wasserbaulichen Aufgabe (zumeist Sohlstabilisierung) müssen Sohlenstufen in den Gewässern auch ökologischen Forderungen Rechnung tragen. An naturgemäße Sohlenstufen sind im einzelnen folgende Anforderungen zu stellen.

#### 3.1 Ökologische Anforderungen

Die zur Ermöglichung eines ungehinderten Organismenaustausches in den Fließgewässern von der Fischfauna und der Benthosfauna gestellten Anforderungen sind nahezu deckungsgleich. Für die stark substratgebundene Bodenfauna ist die Existenz eines durchgehenden Lückensystems in Sohl- und Uferbereich von ausschlaggebender Bedeutung. Auch die Fische – insbesondere Jung- und Kleinfische – sind bei der Überwindung von Gewässereinbauten auf den Schutz des Lückensystems, in dem die Strömungsgeschwindigkeiten stark reduziert sind, angewiesen.

Diese Anforderungen – durchgehendes vielgestaltiges Lückensystem und Sohlsubstrat – lassen sich am besten mit aufgelösten Steinschwellen und möglichst strukturreichen rauhen Rampen erfüllen. Diese Bauwerke bieten mit ihrem vielfältigen Strömungsmosaik und Lückensystem für die gesamte Gewässerfauna optimale Aufstiegsmöglichkeiten, und dienen nicht nur der Gewässervernetzung, sondern werden von strömungsliebenden Arten auch als Lebensraum genutzt.

Derartige Bauwerke sollten keine gleichmäßige Rauigkeit aufweisen, vielmehr ist auch innerhalb des Rampenkörpers eine möglichst große Strukturvielfalt (tiefer strömungsberuhigte Bereiche, durchflossene Spalten und Ritzen, natürliches Sohlsubstrat) anzustreben (siehe Anlagen 10, 11, 17).

Ein Verlegen der Steine in Beton oder ein Verfugen der Steine ist unbedingt zu vermeiden (und auch aus konstruktiven Gründen nicht erforderlich), da bei dieser leider immer noch anzutreffenden Bauweise das Lückensystem verloren geht.

Da bereits kleinste Absturzbauwerke mit abgelöstem Überfallstrahl für einige Arten unüberwindbar sind, sollte auf diese Bauweise grundsätzlich verzichtet werden. Die in verschiedenen Richtlinien angegebenen »zulässigen Absturzhöhen« sind zur praktischen Anwendung ungeeignet, da sie von der relativ hohen Leistungsfähigkeit weniger Arten ausgehen.

#### 3.2 Hydraulische Anforderungen

Unter dem Begriff »Sohlenstufen« werden alle Querbauwerke im Gewässer zusammengefaßt, die das Sohlängsgefälle so verändern, daß oberhalb des Bauwerkes ein geringeres Sohlgefälle als im unverbauten Fluß entsteht und am Bauwerk das Gefälle zusammengefaßt wird (DIN 19661 Teil 2).

Sohlenstufen werden hauptsächlich aus folgenden Beweggründen errichtet:

- Stabilisierung der Gewässersohle zur Vermeidung von Erosion
- Anhebung der Gewässersohle durch Anlandung im OW bei bereits eingetieften Gewässern
- Erhöhung der Wassertiefe im Oberwasser

Oftmals wird in hydraulisch wirksame und hydraulisch unwirksame Sohlenstufen unterschieden, wobei für den Begriff »hydraulische Wirksamkeit« keine eindeutige Definition existiert. Im allgemeinen wird für eine hydraulisch wirksame Sohlenstufe das Auftreten eines zweifachen Fließwechsels (strömend-schießend-strömend) am Bauwerk und einer Deckwalze im Unterwasser gefordert. Für das Auftreten einer Deckwalze wird als Anforderung  $Fr \geq 1.7$  am Fuß der Sohlenstufe gesetzt (DIN 19661 Teil 2), eine optimale Energieumwandlung innerhalb des Wechselstrahls findet jedoch erst im Bereich  $4.5 \leq Fr \leq 9.0$  statt.

Ein gewellter Wechselsprung, der bei  $1.0 \leq Fr \leq 1.7$  auftritt, wird als »hydraulisch unwirksam« bezeichnet.

Die Forderung nach hydraulischer Wirksamkeit entsprechend der o.g. Definition ist für Abstürze oder Schußrinnen korrekt, für rauhe Rampen jedoch absolut praxisfern. In der [Anlage 3](#) ist das bei Steinrampen auftretende Strömungsbild und dessen Änderung bei steigendem Abfluß dargestellt. Im Gegensatz zu Abstürzen findet die Energieumwandlung bei Sohlrampen nicht durch einen Wechselsprung nach dem Bauwerk statt, sondern durch die infolge großer Rauigkeit hervorgerufene hohe Turbulenz des Abflusses auf der Rampe. Eine vollständige Umwandlung der kinetischen Energie auf der Rampe kann jedoch nur bei relativ geringen Abflüssen und großen relativen Rauigkeiten  $k/y$  erfolgen. Die am Rampenfuß vorhandene »Restenergie« reicht für das Auftreten eines Wechselsprunges nicht aus (die Froude-Zahl liegt am Rampenfuß meist im Bereich  $1.0 \leq Fr \leq 1.5$ ), so daß in den meisten Fällen ein gewellter Abfluß im UW auftritt (siehe [Anlage 13](#)).

Sehr wichtig ist die Frage, bei welchem Abfluß die hydraulische Wirksamkeit gewährleistet werden soll. Wie in [Anlage 3](#) dargestellt, nimmt der Rückstau einfluß von UW bei steigendem Abfluß zu und die hydraulische Wirksamkeit somit ab. Die verschiedentlich aufgestellte Forderung nach hydraulischer Wirksamkeit (nach o.g. Definition) beim Bemessungsabfluß des Gewässers beruht auf einer rein theoretischen Betrachtungsweise und muß als praxisfern bezeichnet werden. Die Einhaltung dieser Forderung führt zu sehr hohen Rampen und ist somit unvereinbar mit der Zielsetzung, das Sohlgefälle auf mehrere niedrige Sohlenstufen statt auf ein hohes Bauwerk zu verteilen.

Der weit überwiegende Anteil der bestehenden Sohlrampen weist eine Höhe  $\Delta h \leq 2.0$  m auf und ist – zumindest beim Hochwasserabfluß – als »hydraulisch unwirksam« nach o.g. Definition zu bezeichnen.

An rauhe Rampen sind somit andere hydraulische Anforderungen zu stellen. Die Rampen müssen ihrer Aufgabe der Stabilisierung der Gewässersohle durch eine Konzentrierung des Sohl- und Energieliniengefälles gerecht werden. Da der Erosionsvorgang ein zeitabhängiger Prozess ist, sollte als maßgebender Bemessungsabfluß nicht ein seltenes Extremereignis, sondern der häufig auftretende sog. bettbildende Abfluß herangezogen werden. Die in o.g. Definition der »hydraulischen Wirksamkeit« enthaltene Forderung nach Ausbildung eines Wechselsprunges mit Deckwalze im UW ist für rauhe Rampen nicht gültig. Vielmehr ist als hydraulische Mindestanforderung das Auftreten eines Fließwechsels auf der Rampe anzusetzen.

Der gewellte Abflußzustand wird hierbei in Kauf genommen. Der Gefahr der Schädigungen der Ufer ist durch entsprechende Maßnahmen wie Abflußkonzentrierung in Flußmitte und Ufersicherung zu begegnen.

## 4. Bauweisen von Steinrampen

Wie in [Anlage 1](#) dargestellt, sind prinzipiell zwei verschiedene Bauweisen von Steinrampen zu unterscheiden:

- lockere Bauweise, Schüttsteinrampe
- geschichtete Bauweise, Setzsteinrampe

### 4.1 Lockere Bauweise (Beispiele: [Anlagen 4–11, 16, 17](#))

Bei der lockeren Bauweise besteht der Rampenkörper aus einem mehrlagigen Aufbau »lose« in das Gewässer eingebrachter Steine. Die Steine werden entweder als Schüttung oder – wie meist der Fall – einzeln mit dem Bagger von UW nach OW fortschreitend eingebracht und in die Sohle eingedrückt (siehe [Bild 6](#) in [Anlage 9](#)). Bei grobkörnigem anstehendem Sohlmaterial (Grobkies, Steine) werden die Steine direkt auf die Gewässersohle eingebracht, ansonsten ist ein Unterbau aus Schroppen/Schotter (Filteraufbau) vorzusehen.

Der Rampenaufbau kann im fließenden Wasser stattfinden, eine Baugrubenumschließung und Wasserhaltung ist nicht erforderlich.

Die Aufnahme der aus dem Strömungsangriff resultierenden Belastungen geschieht allein über das Steingewicht. Spundwände als zusätzliche Sicherungsmaßnahmen sind nicht erforderlich. Zur Verstärkung des Rampenfußes bieten sich größere Steine an, die tief in die Sohle eingebunden werden (siehe [Anlage 8](#)). Bei großen Rampenhöhen kann am Dammfuß auch eine Pilotenreihe (Holzpfähle oder Eisenbahnschienen) gerammt werden.

In der Praxis hat sich oft gezeigt, daß der Einbau starrer Querriegel (Spundwände) in relativ elastisches Material (Steinschüttung) mit eher negativen Folgen verbunden ist. Da die Querriegel den auftretenden Setzungen und Umlagerungen des Steinmaterials nicht folgen, bilden sich Absätze aus, die als Abstürze wirken. Die hinter diesen Absätzen auftretenden Grundwalzen verstärken zusätzlich die Erosion und Kolkbildung. So wird aus der Praxis immer wieder berichtet, daß bei der Bauweise mit Spundwand am Rampenfuß tiefere Kolke auftreten als bei einer Bauweise ohne Spundwand. Wie auch aus anderen Beispielen (z. B. Tosbeckenendschwellen) bekannt, fördern Diskontinuitäten der Gewässersohle die Kolkbildung. Daher sollte ein möglichst allmählicher Übergang vom Rampenkörper zur UW-Sohle angestrebt werden (siehe [Anlage 15](#)).

Die lockere Bauweise bedingt einen unregelmäßigen Rampenaufbau, der zu den gewünschten, vielfältigen Strömungsstrukturen führt. Zudem ist diese Bauweise infolge des geringen Bauaufwandes äußerst kostengünstig.

Ein weiterer großer Vorteil der lockeren Bauweise liegt in der »Elastizität« des Bauwerks. Steinumlagerungen sind nicht nur möglich, sondern tragen sogar zur Stabilisierung des Bauwerkes bei. Einzelne exponierte Steine geraten in Bewegung bis sie entweder eine neue stabile Position auf der Rampe finden oder aber am Rampenfuß

angelangt sind. Gleichzeitig werden Fehlstellen durch Nachrutschen der oberhalb gelegenen Steine selbständig ausgebessert. Schlimmstenfalls verflacht die Rampe immer weiter, was jedoch unproblematisch ist, da eine Nachbesserung durch »Nachschütten« von Steinen einfach zu realisieren ist.

In den Anlagen 4–11 sind einige ausgeführte Beispiele für Sohlrampen in lockerer Bauweise dargestellt und erläutert. Die mittlerweile vorliegenden Erfahrungen mit derartigen Bauwerken sind überaus positiv. Diese Rampen haben sich nicht nur in kleinen Gewässern bewährt, sondern auch in größeren Flüssen, wie z.B. der Argen ( $HQ_{100} = 492 \text{ m}^3/\text{s}$ ), wo Rampenhöhen bis zu  $\Delta h = 1.50 \text{ m}$  realisiert wurden. Das Beispiel der Murr (Anlagen 6,7) zeigt, daß derartige einfache Sohlrampen auch bei stark erosionsgefährdeter Flußsohle bestens geeignet sind.

Eine interessante, sich an natürlichen Beispielen orientierende Bauweise von Sohlrampen wird im Bereich des Wasserwirtschaftsamtes Rosenheim angewandt (siehe Anlagen 10, 11, 16, 17). Die Rampe wird hierbei nicht als einheitlicher Körper gestaltet, sondern besteht aus mehreren konkav gekrümmten Einzelriegeln, die zusammen eine Gitterstruktur mit Gewölbewirkung bilden. Diese tief gegründeten Riegel bilden die Tragkonstruktion der Rampe. Zwischen diesen Fixpunkten wird eine natürliche Gewässerdynamik (Auskolkungen, Kiesablagerungen) zugelassen.

Durch diese Gitterbauweise ergeben sich vielfältige Sohl- und Strömungsstrukturen, so daß die Sohlrampen kaum als künstliche Bauwerke zu erkennen sind. Derartige aufgelöste Rampen unterliegen auch wesentlich weniger der Gefahr des Trockenfallens bei Niedrigwasserführung.

**FAZIT:** *Sohlrampen in lockerer Bauweise stellen sehr einfache und äußerst kostengünstige Bauwerke dar, die auch den ökologischen Anforderungen (Durchgängigkeit, Strukturvielfalt) gerecht werden. Die vorliegenden Erfahrungen mit derartigen Sohlenstufen sind äußerst positiv.*

#### 4.2 Geschichtete Bauweise – Setzsteinrampe

(Beispiel Anlagen 12–14)

Die geschichtete Bauweise, bei der Blocksteine hochkant eng aneinander gesetzt werden, stellt die klassische, aus Österreich /20,23/ stammende Bauart von Blocksteinrampen dar.

Wie in Anlage 14 dargestellt, werden die Steine einzeln möglichst dicht aneinandergesetzt, wobei die relativ großen Steine (bevorzugte Kantenlänge  $l = 1.20 \text{ m}$ ) angedübelt und an Stahlseilen hängend mit einem Kranwagen oder Bagger an die vorgesehene Stelle gesetzt werden. Um ein Ausspülen des Untergrundmaterials zu verhindern, ist bei diesem einlagigen Rampenaufbau ein Filterunterbau erforderlich, der nach den bekannten Filtergesetzen (siehe Anlage 15) zu dimensionieren ist. Der Unterbau kann sowohl aus einer Filtermatte mit einer Schotter-

aufgabe als auch aus einem evtl. mehrschichtigen, abgestuften Kiesfilter bestehen. Auf eine Verwendung von Geotextilien sollte, wenn immer möglich, verzichtet werden, da diese den biologischen Austausch mit dem Untergrund (hyporheischer Lebensraum) verhindern.

Zur Herstellung von Setzsteinrampen ist eine trockene Baugrube erforderlich. Bei breiten Gewässern wird meist eine halbseitige Bauweise gewählt (Schlagen einer Zwischenspundwand).

Setzsteinrampen werden vorwiegend mit Spundwänden oder Pilotenreihen (meist ausgediente Eisenbahnschienen) ausgeführt. Während die Sicherung der Dammkrone früher mit einer Kronenmauer oder einer Spundwand erfolgte, werden heute auch hier Piloten verwendet oder gänzlich auf Sicherungsmaßnahmen verzichtet /19/. Die Anordnung von Spundwänden an der Rampenkronen erfolgt weniger aus konstruktiven Gründen, sondern vielmehr zur Verringerung der Durchströmung des Rampenkörpers und zur Sicherstellung eines Oberflächenabflusses (vgl. hierzu Kap. 7.4).

Die höhere Belastbarkeit einer Steinschichtung gegenüber einem lockeren Steingefüge geht auf die zusätzlich zum Steingewicht wirkenden Verklammerungskräfte der Steine (Verbundwirkung) zurück. Während bei einer lockeren Bauweise der Gleichgewichtszustand am Einzelstein maßgebend ist, muß die Stabilitätsbetrachtung einer Steinschichtung am Steinverbund, d.h. am gesamten Rampenkörper ansetzen. Bei den üblichen Rampen- neigungen  $l \leq 1:10$  liegt in den meisten Fällen ein selbsttragendes Deckwerk vor /12/, d.h. die in den Steinverbund durch die Überströmung eingetragenen Schubkräfte können durch Reibung in den Unterbau abgetragen werden. (Bei steilgeneigten Deckwerken ist dies nicht mehr möglich, vielmehr muß ein Teil der Hangabtriebskräfte durch Querriegel oder andere konstruktive Maßnahmen abgefangen werden.) Die Pilotenreihe am Rampenfuß dient in erster Linie der Sicherung des Rampenkörpers gegen rückschreitende Erosion.

Der Versagensmechanismus von Setzsteinrampen unterscheidet sich grundsätzlich von dem der Schüttsteinrampen. Setzsteinrampen sind starre Bauwerke, bei denen Umlagerungen nicht möglich sind. Durch ein Herauslösen eines einzelnen Steines aus der Steinschichtung kann die Verbundwirkung schlagartig verloren gehen mit plötzlichem Versagen des gesamten Rampenkörpers als Folge.

Ein weiterer Versagensmechanismus, der jedoch fast ausschließlich bei steilgeneigten Rampen auftritt, kann durch die unter Belastung möglicherweise stattfindenden Stauchungen des Steinverbundes ausgelöst werden, die insbesondere unterhalb starrer Querriegel zum Freilegen des Unterbaus führen können. Ausspülungen des Filtermaterials führen schließlich zum Versagen. In Modellversuchen /12/ wurde dieser Versagensmechanismus als der für steilgeneigte Steinsatzpackungen maßgebliche bestimmt.

Bei Steinschichtungen werden ausgesuchte Steinblöcke möglichst einheitlicher Kantenlänge verwendet, wodurch

sich eine relativ gleichmäßige Rauhgigkeit und Strömungsstruktur auf der Rampe einstellt.

Setzsteinrampen sind in der Herstellung wesentlich aufwendiger und kostenintensiver als Schüttsteinrampen.

**FAZIT:** *Setzsteinrampen sind infolge der Verbundwirkung der Steinschichtung höher belastbar als Steinrampen in lockerer Bauweise. Diese größere Stabilität ist jedoch nur in den seltensten praktisch vorkommenden Fällen erforderlich. In den meisten Fällen (geringe Rampenhöhe, Einstau beim Hochwasserabfluß) kann auf diese aufwendige und kostenintensive Bauweise verzichtet werden.*

## 5. Bemessung der Steingröße

Einen breiten Raum bei der Rampenbemessung nimmt die Bemessung der erforderlichen Steingröße ein.

### 5.1 Bemessung nach Hartung/Scheuerlein/Knauss

Im deutschsprachigen Raum werden Blocksteinrampen fast ausschließlich nach dem Verfahren nach Knauss /9,10/ bemessen. Während die Strömungsbetrachtung auf Modelluntersuchungen Scheuerleins /21/ zum Rauhgerinneabfluß zurückgeht, wurde die Steinstabilität rein theoretisch durch einen stark vereinfachten Gleichgewichtsansatz am Einzelstein ermittelt /7/. Letztendlich wird jedoch das empirisch gewonnene Stabilitätskriterium nach Izbash /8/ für überflutete Schüttsteindämme übernommen.

Stabilitätskriterium nach Knauss für den Gleichgewichtszustand:

$$q_{\text{krit}} = [1.44 + 0.08/I] \sqrt{g} d^{3/2} \text{ für } \gamma_s = 27 \text{ kN/m}^3 \quad (1.1)$$

(Eine Auswertung dieser Formel für  $I = 1:10$  ist in der [Anlage 2](#) gegeben, wobei  $d = d_s = \text{äquivalenter Kugeldurchmesser}$  gesetzt ist)

Zur Steinbemessung empfiehlt Knauss einen Sicherheitsabschlag ( $q_{\text{zul}} = 0.81 q_{\text{krit}}$ ), so daß sich folgende Bemessungsformel für Blocksteinrampen ergibt:

$$q_{\text{zul}} = [1.2 + 0.064/I] \sqrt{g} d^{3/2} \text{ für } \gamma_s = 27 \text{ kN/m}^3 \quad (1.2)$$

Zu beachten ist, daß die Definition des Steindurchmessers  $d$  in diesen Formeln unklar ist. Während  $d$  in der Herleitung der Formel, wie normalerweise üblich, den äquivalenten Kugeldurchmesser  $d_s$  des Steines beschreibt, definiert Knauss /9,10/  $d$  als den »mittleren Hochmesser« der hochkant gesetzten Steine.

Obwohl die Herleitung der Bemessungsformel auf dem Stabilitätskriterium für Steinschüttungen beruht, gibt Knauss die Gültigkeit seiner Beaufschlagungsgrenzen für Setzsteinrampen (Steinschichtung) an.

Wie durch neuere Untersuchungen /16,17,22/ und praktische Erfahrungen bestätigt wird, führt die Bemessungsformel nach Knauss bei flachgeneigten ( $I \leq 1:8$ ) Setzsteinrampen zu einer erheblichen Überdimensionierung der Steine. Selbst für Schüttsteinrampen liegen die nach Knauss ermittelten kritischen Abflüsse noch unter denen anderer Autoren ([Anlage 2](#)).

Wird die Bemessungsformel nach Knauss benutzt, so sollte die mittlere Kantenlänge der Steine als  $d$  eingesetzt werden, wodurch sich für Rampen in lockerer Bauweise realistische Belastungswerte ergeben.

### 5.2 Bemessungsverfahren nach Linford/Saunders/Olivier

Das Stabilitätskriterium nach Linford/Saunders/Olivier /13,15/ basiert auf umfangreichen Modellversuchen zu überströmten Schüttsteindämmen.

Der in [Glg. 2](#) angegebene kritische Abfluß  $q_{\text{krit}}$  charakterisiert den Abflußzustand, bei dem die Bewegung einzelner Steine eine Erosion von weiteren Steinen hervorruft, es jedoch noch nicht zur Zerstörung der Rampe kommt. Eine Zerstörung des Rampenkörpers tritt erst bei einem weit höheren Abfluß ein, der in den Versuchen für Granitbruch zu  $q_{\text{Bruch}} = 1.8 q_{\text{krit}}$  ermittelt wurde.

Stabilitätskriterium nach Linford/Saunders/Olivier:

$$q_{\text{krit}} = 0.233 (1.2/P_c)^{5/3} [(p_s - p_w)/p_w]^{5/3} I^{-7/6} d_s^{3/2} \quad (2)$$

$P_c$ : Packungsfaktor = Einheitsfläche/(Steinanzahl  $\times$  Fläche Durchschnittsstein)

$d_s$ : äquivalenter Kugeldurchmesser des Steines

Einen großen Einfluß auf die Stabilität der Steinpackung hat die Packungsdichte der Steine, die durch den Packungsfaktor  $P_c$  ausgedrückt wird. Bei den Versuchen wurden sowohl lockere Steinschüttungen als auch von Hand gesetzte Steinpackungen untersucht, wobei sich erhebliche Unterschiede der Belastungsgrenzen ergaben. Als Anhaltswerte für die praktische Anwendung werden folgende Packungsfaktoren für Granitbruchsteine angegeben:

natürlicher Packungsfaktor, Steinschüttung:  $P_{c1} = 1.2$   
flache Steine, hochkant auf der Seite liegend:  $P_{c2} = 0.8$

Für eine Steinschichtung aus hochkant gesetzten Steinen, die nicht untersucht wurde, kann ebenfalls  $P_{c2} = 0.8$  angenommen werden.

Aus der [Anlage 2](#), in der eine Auswertung der Bemessungsgleichung für  $I=1:10$  angegeben ist, sind die erheblichen Unterschiede in den Belastungsgrenzen der o.g. verschiedenartigen Steinpackungen erkennbar. Die für die gesetzte Bauweise ( $P_{c2} = 0.8$ ) geltenden Werte sind als nicht abgesichert einzustufen und sollten zur Bemessung nur mit Vorsicht angewandt werden.

### 5.3 Stabilitätskriterium nach Whittaker/Jäggi

Die wohl fundiertesten Bemessungskriterien für Blocksteinrampen, die auf umfangreichen Modellversuchen an der ETH Zürich basieren, werden von Whittaker/Jäggi /22/ angegeben. Die Versuchsergebnisse für den kritischen Abfluß, bei dem ein Bruch des Steinkörpers auftrat, wiesen keine eindeutige Stabilitätsgrenze auf, lassen sich jedoch durch eine untere und eine obere Hüllkurve eingrenzen (für lockere Bauweise:  $q_{\text{Obergrenze}} \approx 2 \times q_{\text{Untergrenze}}$ ). Das Stabilitätskriterium (Glg.3) gibt die **untere Grenze des Versuchsbereiches an, bei der Steinrampen in lockerer Bauweise durch direkte Erosion zerstört wurden.**

Stabilitätskriterium nach Whittaker/Jäggi für Steinrampen in lockerer Bauweise:

$$q_{\text{krit}} = 0.257 \sqrt{(p_s - p_w)/p_w} \sqrt{g} l^{-7/6} d_{65}^{3/2} \text{ mit } d_{65} = d_s/1.06 \quad (3)$$

Die Autoren empfehlen für die Bemessung von Steinrampen einen zusätzlichen Sicherheitsabschlag von 10–20 % zu dem nach Glg. 3 berechneten Wert für  $q_{\text{krit}}$ .

In den Versuchen wurde auch ein Steinsatz aus hochkant, dicht gesetzten Steinblöcken (Steinschichtung) untersucht. Hierbei konnte ebenfalls keine eindeutige Belastungsgrenze festgestellt werden. Die Versuchsergebnisse für den Bruchzustand wiesen vielmehr eine noch größere Streuung auf als die für Steinschüttungen ermittelten. Teilweise wurde der Steinsatz bei Belastungen zerstört, die der **oberen** Belastungsgrenze einer Steinschüttung entsprach, d.h. bei einem um den Faktor 2 höheren spezifischen Abfluß als  $q_{\text{krit}}$  nach Glg.3 (Der Faktor 2 entspricht dem von Linford/Saunders angegebenen Faktor  $(1.2/P_c)^{0.3}$  bei Verwendung von  $P_c = 0,8$  für Steinsatz). Andererseits gab es aber auch Rampen, die einer wesentlich höheren Belastung standhielten. Die großen Unterschiede werden durch die auch bei sorgfältiger Schichtung vorkommenden Schwachstellen begründet, die die Belastungsgrenze des Steinsatzes reduzieren, da die Stabilität des Steinverbundes von dem schwächsten Glied bestimmt wird. Können solche Fehlstellen ausgeschlossen werden (was in der Großausführung noch wesentlich schwieriger ist als im Labor), so ist die Belastbarkeit von Steinschichtungen extrem hoch.

In der Anlage 2 ist eine Auswertung von Glg. 3 für eine Rampenneigung  $l=1:10$  dargestellt.

### 5.4 Bemessungsgrundlage nach Platzer

In der von Platzer durchgeführten Modelluntersuchung /17/ an geschichteten Blocksteinrampen ( $l=1:10$ ) wurde in erster Linie die Rampenströmung untersucht. In den Modellversuchen wurden nur wenige Rampen bis zum Bruch belastet.

Der von Platzer angegebene Bemessungswert für Steinschichtungen ( $l=1:10$ )

$$\max Fr_k = q_{\max} g^{-1/2} k^{3/2} = 11 \quad (4)$$

mit  $k$  = Rampenrauigkeit  $\approx 1/3$  Kantenlänge bei hochkant gesetzten Steinen ( $\approx 1/2 d^s$ )

beinhaltet einen Sicherheitsfaktor  $f=1.5$  und basiert auf einer theoretischen Betrachtung der Steinstabilität, wobei die Ergebnisse von Linford/Saunders Verwendung finden.

Die kritischen spezifischen Abflüsse liegen weit über den von Knauss angegebenen Werten und bestätigen die in Anlage 2 dargestellten Ergebnisse von Linford/Saunders und Whittaker/Jäggi.

### 5.5 Modellversuche TRL

Im Theodor Rehbock Laboratorium (TRL) des Institutes für Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe wurden Modellversuche zur Stabilität von Steinschüttungen und Steinsätzen durchgeführt /12/. Da diese Versuche der Dimensionierung steilgeneigter Dammscharten dienten, wurden Rampenneigungen  $l \geq 1:8$  untersucht. Die Ergebnisse für die Rampenneigung  $l=1:8$  können jedoch für den hier behandelten Fall der flachgeneigten Sohlrampen herangezogen werden.

In der Anlage 2 sind die Versuchsergebnisse für Steinschüttungen dargestellt (mit dem Faktor  $l^{7/6}$  auf  $l=1:10$  umgerechnet, Modellmaßstab 1:10). Es ist eine vollständige Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Linford/Saunders (stärkere Umlagerung von Steinen) und Whittaker/Jäggi (Bruch des Rampenkörpers) festzustellen.

Auch in bezug auf die Stabilität eines Steinsatzes stimmen die Versuchsergebnisse in der Aussage überein, daß der kritische Abfluß (Stabilitätsgrenze) um den Faktor  $f=1.8-2.0$  höher liegt als der für Steinschüttungen geltende Wert.

### Zusammenfassende Beurteilung

In der Anlage 2 sind die verschiedenen Stabilitätskriterien für Sohlrampen (ohne Sicherheitsabschlag) für den Fall  $l=1:10$  und  $\gamma_s = 27 \text{ kN/m}^3$  graphisch dargestellt.

Die von Knauss für Steinschichtungen angegebene Stabilitätsgrenze liegt noch unterhalb der für Steinschüttungen in Modellversuchen gefundenen Werte.

Die Versuchsergebnisse der anderen Autoren stimmen sehr gut miteinander überein. Bedenkt man, daß das von Linford/Saunders angegebene Stabilitätskriterium den Beginn stärkerer Umlagerungen der Steine charakterisiert und eine Zerstörung des Rampenkörpers erst bei einem um den Faktor  $f=1.8$  höheren Abfluß auftritt, so stimmen diese Ergebnisse recht gut mit den von Whittaker/Jäggi angegebenen Werten überein, die für die untere Zerstörungsgrenze ermittelt wurden. Diese Ergebnisse werden zusätzlich durch die Modellversuche TRL und die Angaben von Platzer bestätigt.

Da die Verbundwirkung und Stabilität einer Steinschichtung stark von der Homogenität und Sorgfalt der Ausführung bestimmt wird, ist die Stabilitätsgrenze erheblichen Schwankungen unterworfen. Ein abgesichertes Stabilitätskriterium für Steinschichtungen ist bis jetzt nicht

bekannt. Bei den Ergebnissen für Rampen in gesetzter Bauweise von Linford/Saunders und Whittaker/Jäggi sowie den am TRL gewonnenen Versuchsergebnissen ist jedoch eine Übereinstimmung auffällig:

Werden die Steine statt in lockerer Bauweise als Steinsatz eingebracht, so erhöht sich die Belastungsgrenze um etwa den Faktor  $f=1.8-2.0$ , wobei dieser Wert bei Whittaker/Jäggi wieder eine untere Zerstörungsgrenze darstellt.

Im übrigen hat die Praxis gezeigt, daß nicht die Steinstabilität der kritische Punkt von Blocksteinrampen ist, sondern andere Versagensmechanismen (Kolkbildung im UW mit rückschreitender Erosion, Ausspülen des Rampenunterbaus) die Stabilität des Gesamtbauwerkes bestimmen. Diese Versagensmechanismen werden von Whittaker/Jäggi /22/ ausführlich behandelt.

## 6. Rampenströmung und Bemessungshochwasser

Bei der Bemessung der Steingröße von Sohlrampen wird meist der für das Gewässerbett gültige Bemessungsabfluß angesetzt, was oft zu einer erheblichen Überdimensionierung führt. Für die Steinstabilität ist nicht der maximale Abfluß, sondern die maximale Fließgeschwindigkeit maßgeblich. Die verschiedenen in Kap.5 erläuterten Stabilitätskriterien wurden alle für den Fall einer vollentwickelten Rauheitsströmung ( $\hat{=}$  schießender gleichförmiger Abfluß) auf der Rampe, d.h. für die maximal mögliche Fließgeschwindigkeit aufgestellt. (Nur Platzer /17/ geht nicht von einer gleichförmigen Strömung aus.)

Die Frage, ob sich auf der Rampe bei einem bestimmten Abfluß ein schießender Normalabfluß einstellt, ist jedoch von der zur Verfügung stehenden Entwicklungslänge und damit von der Rampenhöhe abhängig.

In der *Anlage 3* ist die Änderung der Strömungsverhältnisse auf der Rampe bei steigendem Abfluß dargestellt:

- Bei relativ geringen Abflüssen reicht die Rampenlänge zur Entwicklung des schießenden Normalabflusses aus.
- Bei höheren Abflüssen nimmt zum einen der Einstau einfluß von UW zu, zum anderen ist für den Normalabfluß eine größere Entwicklungslänge erforderlich. Somit kann sich kein Normalabfluß einstellen, vielmehr geht der beschleunigte Abfluß direkt in den verzögerten Abfluß über.
- Bei weiterer Abflußsteigerung kommt es zu einer Ablösung des Schußstrahles von der Sohle (Rampenoberfläche). Der Abfluß findet nicht mehr als Tauchstrahl, sondern als gewellter Oberflächenstrahl statt (siehe *Anlage 13*).
- Bei noch höheren Abflüssen tritt schließlich gar kein Fließwechsel mehr auf, vielmehr liegt durchgehend strömender Abfluß vor.

Um festzustellen, welche Abflußzustände letztendlich bei einem bestimmten Abfluß zu erwarten sind, ist eine genauere Untersuchung der Strömungsverhältnisse

erforderlich. Die von einigen Autoren aufgestellte Forderung nach einer Mindesthöhe von Sohlrampen (damit sich eine vollentwickelte Rauheitsströmung einstellen kann) führt zu hohen Rampen und ist als unbegründet abzulehnen.

Da in den praktisch vorkommenden Fällen (d.h. Rampen bis  $\Delta h=2.0\text{m}$ ) bei extremen Hochwasserabflüssen kein schießender Normalabfluß, sondern gewellter Oberflächenabfluß auftritt (der für die Steinblöcke nur eine geringe Belastung bewirkt), führt der Ansatz dieses HW-Abflusses zur Steinbemessung zu einer erheblichen Überdimensionierung. Die maximale Belastung des Rampenkörpers und auch der Gewässersohle im UW tritt nicht bei extremen Hochwasserereignissen, sondern bei den länger andauernden mittleren Hochwasserabflüssen auf (Parallelität zu den sog. »bettbildenden Abflüssen«).

Aus dem *Bild 11* in *Anlage 13* wird deutlich, wie unsinnig es wäre, den dargestellten Hochwasserabfluß zur Rampenbemessung heranzuziehen. Während den in Kap.5 dargelegten Bemessungsformeln die maximal mögliche Belastung, d.h. der schießende Normalabfluß zugrundeliegt, tritt in Wirklichkeit ein gewellter Oberflächenabfluß auf, der nur eine geringe Belastung des Rampenkörpers bewirkt.

In der Praxis bereitet die Bestimmung des für die Steinstabilität maßgeblichen Abflusses erhebliche Schwierigkeiten. Während sich bei größeren Rampen eine genauere Berechnung und Überprüfung der hydraulischen Verhältnisse durchaus lohnt, ist bei kleineren Bauwerken eine nur überschlägige Bestimmung des für die Steinbemessung maßgebenden Abflusses angebracht. Die obere Grenze des Bemessungsabflusses stellt hierbei immer der Abfluß dar, bei dem kein Fließwechsel mehr auftritt (unvollkommener Überfall).

Der gleichförmige Abfluß auf der Rampe kann nach folgenden Formeln bestimmt werden:

**Gauckler-Manning-Strickler-Gleichung:**

$$q = k_{st} y^{5/2} l^{1/2} \quad (5.1)$$

mit dem Ansatz:  $k_{st} = 21 / d_{66}^{1/6}$  (5.2)

Whittaker/Jäggi /22/ konnten in ihren Versuchen die Anwendbarkeit dieser Formel für Steinrampen in lockerer Bauweise nachweisen.

Nach Scheuerlein /21/ ergibt sich für die vollentwickelte Rauheitsströmung (gleichförmiger Abfluß) mit einigen Vereinfachungen /9/ folgende Formel:

$$q = y v = y \sqrt{8g y l \log [12 / (1.7 + 4.05 l)] y / d_s}^{3/2} \quad (6)$$

Platzer /16,17/ hingegen stellte fest, daß der gleichförmige Abfluß nach Scheuerlein bei den üblichen Rampenhöhen nicht erreicht wird, sondern auch am Rampenfuß eine beschleunigte Strömung vorliegt. Von dem Punkt an, an dem die turbulente Grenzschicht (in der die Energieumwandlung stattfindet) die Wasseroberfläche erreicht, liegt

jedoch eine nahezu konstante Wassertiefe vor.

Nach Platzer /16,17/ bestimmt die turbulente Grenzschicht nicht nur die Energieumwandlung auf der Rampe, sondern auch die Wellenbildung im UW. Erreicht die Grenzschicht auf der Rampe die Wasseroberfläche, so treten keine ausgeprägten Wellen im UW auf.

**Erforderliche freie Rampenhöhe  $h_r'$**  (nicht eingestaute Strömung) damit die turbulente Grenzschicht die Wasseroberfläche erreicht (für  $l=1:10$ ) nach Platzer /17/:

$$h_r' = k/0.88 Fr_k^{3/4} \quad \text{mit } Fr_k = q g^{-1/2} k^{-3/2} \quad (7)$$

$$\text{Abflußtiefe in diesem Punkt: } y = 1.5 k Fr_k^{2/5} \quad (8)$$

Die maßgebende mittlere Rauigkeitshöhe  $k$  beträgt bei Steinschichtungen aus hochkant gesetzten Steinen:  $k \approx 1/3$  Kantenlänge  $\approx 1/2 d_s$ . Für Steinschüttungen liegen keine genauen Angaben vor, wobei zu beachten ist, daß sich die Rampenrauigkeit durch Steinumlagerungen unter Belastung verringern kann. Als Anhaltswert kann bei lockerer Bauweise von Steinrampen eine Rauigkeitshöhe von  $k = 1/3 d_s - 1/2 d_s$  angesetzt werden.

Bei bekannter UW-Schlüsselkurve können mit den Formeln (7) und (8) die Abflußzustände auf der Rampe und der Maximalabfluß, bei dem noch annähernd gleichförmige Strömung auftritt, bestimmt werden.

Der so berechnete Abfluß kann jedoch nicht als Bemessungsabfluß für die Steinstabilität herangezogen werden, da bei höheren Abflüssen durchaus höhere Fließgeschwindigkeiten in der Beschleunigungsstrecke auftreten.

Der Abfluß, bei dem sich die maximale Fließgeschwindigkeit auf der Rampe einstellt, ist nur über eine aufwendige Berechnung der Rampenströmung zu ermitteln. Wird diese Berechnung nicht durchgeführt, sollte als Bemessungsabfluß für die Steinstabilität der Abfluß angesetzt werden, bei dem die Abflußart vom Tauchstrahl in den gewellten Oberflächenstrahl übergeht (siehe [Anlage 3](#)). Dieser Ansatz liegt weit auf der sicheren Seite.

Für flachgeneigte rauhe Sohlrampen sind keine Untersuchungen bezüglich des Überganges vom Tauchstrahl in den gewellten Oberflächenabfluß bekannt. Näherungsweise kann angenommen werden, daß dieser Übergang dann stattfindet, wenn das Unterwasser die Wasserspiegelhöhe (Grenztiefe) an der Rampenkronen erreicht:

Übergang getauchter Strahl zum gewellten Abfluß bei:

$$y_u = h + y_{gr} \quad (9)$$

$y_u$ : UW-Tiefe

$y_{gr}$ : Grenztiefe

$h$ : Rampenhöhe

Ausgehend von der UW-Schlüsselkurve, kann somit der

Abfluß bestimmt werden, bei dem der Übergang vom Tauchstrahl in den gewellten Oberflächenabfluß stattfindet.

Wird dieser Abfluß zur Bemessung der Steingröße herangezogen (z. B. Einsetzen in Glg.(3)), so wird hierdurch eine Sicherheit gegen eine Rampeninstabilität eingeschlossen. (Wie in Kap. 5 erläutert, wurden die Bemessungsformeln der Steingröße für das Auftreten des schießenden Normalabflusses, d. h. für die bei einem bestimmten Abfluß maximal mögliche Fließgeschwindigkeit, aufgestellt.)

Bei der Wahl des Bemessungsabflusses muß natürlich auch die Auftretenswahrscheinlichkeit des Abflußereignisses betrachtet werden.

## 7. Erfahrungen an ausgeführten Rampen und Gestaltungshinweise

Die im folgenden erläuterten Erfahrungen mit Sohlrampen basieren auf einer umfangreichen Untersuchung des Verfassers, in der vor allem die Erfahrungen und Hinweise der vor Ort praktisch tätigen Wasserbauer erfaßt wurden.

### 7.1 Übergang zum UW und Kolkssicherung

Die auf Schaubberger /20/ zurückgehende ursprüngliche Gestaltung von Blocksteinrampen, die sich an Gebirgsflüssen Österreichs bestens bewährt hat, kann nicht ohne Modifikationen auf Flachlandflüsse übertragen werden. Die mit der räumlichen Krümmung der Rampen verbundene Abflußkonzentration in Flußmitte bewirkt zwar einen Schutz der Böschungen im UW, aber gleichzeitig auch eine verstärkte Kolkbildung in Flußmitte. Während dies bei Gebirgsflüssen mit relativ erosionsbeständigem grobkörnigem Sohlmaterial in Kauf genommen werden kann, traten im UW von Rampen in Flachlandflüssen mit feinkörnigem Sohlmaterial teilweise tiefe Kolke auf, die die Stabilität des Bauwerkes gefährdeten /5, 14/.

**Die Praxis hat gezeigt, daß die mit der verstärkten Kolkbildung im UW verbundene rückschreitende Erosion der maßgebende Versagensmechanismus von Sohlrampen ist und nicht die Erosion von Steinen aus dem Rampenkörper infolge direktem Strömungsangriff.**

So wurde mehrfach berichtet, daß unterhalb geschlichteter Rampen mit Spundwand wesentlich tiefere Kolke auftreten als bei einer lockeren Bauweise ohne Spundwand. Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, daß eine starre Abrißkante – wie sie eine Spundwand darstellt – wie jede Diskontinuität der Gewässersohle die Kolkbildung begünstigt. Als Beispiel sind die Sohlrampen (klassische »Schaubergerrampen« mit Spundwand am Dammfuß) an der unteren Vils (WWA Passau) zu nennen, bei denen trotz massiver Sohlsicherung mit Steinwurf teilweise 5–6 m tiefe Kolke im UW auftraten. Aufgrund dieser Erfahrungen wurden neuere Rampen in lockerer Bauweise ohne Spundwände erstellt, mit der Folge, daß derartige Schäden nicht mehr auftraten.

Bei einer lockeren Bauweise können durch die Flexibilität des Steingerüstes lokale Schäden ausgeglichen werden. Gleichzeitig rutschen die Steine in die am meisten beanspruchten Regionen des Kolkes nach und schützen diese.

In der Anlage 15 ist die vorgeschlagene Gestaltung einer Sohlrampe in lockerer Bauweise bei erosionsgefährdeter Flußsohle dargestellt.

Es ist ein möglichst allmählicher Übergang des Rampenkörpers zur Unterwassersohle anzustreben. Hierzu sollte die Rampe mit gleichbleibender Neigung bis unter das UW-Sohniveau verlängert werden (siehe Anlage 15).

Bei erosionsbeständigem Sohlmaterial (Grobkies, Steine) kann eine weitere Sohlsicherung entfallen. Zur zusätzlichen Sicherung des Rampenfußes bieten sich tief gegründete Steinblöcke an, wie in Anlage 8 dargestellt. Der eingetiefte Bereich am Rampenfuß ist wieder mit anstehendem Sohlmaterial aufzufüllen. Die freie Kolkabildung im UW wird somit nicht verhindert, kann aber die Stabilität des Bauwerkes nicht beeinträchtigen.

Bei erosionsgefährdeter Flußsohle hingegen ist ein allmählich in die UW-Sohle übergehender muldenförmiger Kolk vorzuformen und mit Steinwurf zu sichern (siehe Anlage 18). Durch diesen Nachbettkolk wird eine Stabilisierung des Wechselsprunges und eine Dämpfung der Wellen bewirkt /6,16/. Durch den allmählichen Übergang zum UW wird eine Vergleichmäßigung des Geschwindigkeitsprofils und eine Verringerung der Turbulenz erreicht, was wiederum die Erosionskraft erheblich reduziert.

Dieser Kolk ist jedoch meist nur bis zu mittleren Abflüssen hydraulisch wirksam. Wie in Anlage 3 dargestellt, geht bei höheren Abflüssen der Tauchstrahl in einen Oberflächenstrahl über.

Die Sohlsicherung sollte bis kurz unterhalb des Überganges zur UW-Sohle geführt werden (siehe Anlage 15). Ein weit in das UW reichender Steinwurf verlagert den Erosionsprozess nur, kann ihn aber nicht verhindern.

Zur Bemessung von Sohlenbefestigungen beim Übergang vom Bauwerk zum Fluß empfiehlt Knauss /11/:

$$\text{erf } d_m = 0.04 v_m^2 \quad (10)$$

mit  $d_m$  = mittlerer maßgebender Durchmesser des Sohlmaterials (kann mit  $d_{65}$  der Siebkurve angesetzt werden)

$v_m$  = mittlere Fließgeschwindigkeit im UW

Die Steingröße der Kolksicherung kann, beginnend am Kolk tiefpunkt, abgestuft werden bis am Übergang zur UW-Sohle die nach Glg.10 erforderliche Steingröße erreicht ist.

Muldenkolk und Nachbettsicherung sind bei erosionsgefährdeter Flußsohle ein wesentlicher Bestandteil des gesamten Rampenkörpers. Da diese zwei Bauteile zusammen etwa die gleiche Länge aufweisen wie die eigentliche Rampe (siehe Anlage 15), stellen sie auch einen bedeutenden Kostenfaktor dar.

Bei Rampen geringer Höhe, die schon bei mittleren Abflüssen eingestaut werden, kann die Sohlsicherung kürzer ausfallen oder ganz entfallen (siehe Anlagen 4–7).

Am Beispiel der Sohlrampen an der Murr (Anlagen 6, 7) wird deutlich, daß auch bei stark erosionsgefährdetem Talgrund u.U. auf eine aufwendige Sohlsicherung verzichtet werden kann. Obwohl die Rampen schon mehrmals mit einem spez. Abfluß von  $q = 13 \text{ m}^3/\text{s}$  beaufschlagt wurden, sind keinerlei erhöhte Auskolkungen im UW (kein Blockwurf, sondern anstehendes Sohlmaterial) aufgetreten. Dieser Sachverhalt ist auf die geringe Höhe der Sohlrampen und dem damit verbundenen Einstau von UW zurückzuführen. Der HW-Abfluß findet hierbei als stark gewellter Oberflächenabfluß statt (siehe Bild 4 in Anlage 7), der nur eine relativ geringe Belastung der Gewässer-sohle darstellt.

## 7.2 Böschungssicherung

Neben der Gewässersohle im UW von Sohlrampen sind die Böschungen im Rampenbereich und im anschließenden UW als weitere neuralgische Bereiche zu nennen. Infolge des erhöhten Strömungsangriffes kommt es in diesen Bereichen oftmals zu Schädigungen (siehe Anlage 18), die allerdings meist einfach zu beheben sind.

Bei breiten Gewässern ( $B \geq 10 \text{ m}$ ) empfiehlt sich zur Abflußkonzentrierung und zur Ablenkung der Strömung von den Böschungen eine räumliche Krümmung der Rampe. Die Rampe ist hierzu mit konkav gekrümmter Krone (siehe Anlage 12) und mit zu den Ufern hin leicht ansteigendem Querschnitt (Höhenstich in Rampenmitte ca. 20–30 cm) auszuführen.

Als Krümmungsradius der Rampenkronen wird meist  $R = 5/4 B$  ( $B$  = Gewässerbreite) verwendet. Zur Vermeidung einer zu starken Abflußkonzentration (mit entsprechender Kolkbildung als Folge) sollte diese Krümmung bei erosionsgefährdeter Sohle schwächer ausfallen ( $R = 3/2 B$  bis  $R = 2 B$ ).

Bei schmalen Gewässern, bei denen der Einfluß der Böschungen auf die Stömungsvorgänge relativ groß ist, ist eine Krümmung der Rampenkronen nicht erforderlich. Bei durchlaufenden Böschungen erzwingen diese einen räumlichen Strömungsvorgang, der zur Strömungsablösung im Böschungsbereich führt und den Abfluß in der Mitte des Flußbettes konzentriert. Um die Strömungsablösung auf den befestigten Rampenbereich zu fixieren, sollte die Böschungsneigung im Rampenbereich nicht flacher als  $l=1:2$  (besser:  $l=1:1.5$ ) gestaltet werden (Näheres zu diesem Thema: siehe /1/)

Der Rampenkörper ist grundsätzlich in die Böschungen einzubinden. Im Rampenbereich sind die Böschungen bis auf eine Höhe von ca. 2/3 der Profiltiefe mit überdecktem Steinwurf zu sichern. Bei zweifach gegliederten Abflußquerschnitten (Doppeltrapezprofil) sind die Vorländer im Rampenbereich auf mehreren Metern mit überdecktem Steinwurf zu sichern (siehe Anlage 8).

Bewährt hat sich auch eine durchgehende Bepflanzung der angrenzenden Böschungen (z.B. Weiden), die auch die Ausbildung von Randwalzen (mit schädigender Wirkung) behindert. Insbesondere an kleineren Gewässern sollten die Rampen, wann immer möglich, zwischen vorhandenen Bewuchs eingebunden werden (siehe [Anlage 5](#)). Links und rechts der Rampe stehende Bäume sichern sowohl den Rampenkörper als auch die Böschung.

### 7.3 Rampenkronen

Zur Vermeidung einer weit ins OW reichenden Beschleunigungsstrecke und der damit verbundenen Erosionsgefahr sollte die Rampenkronen geringfügig über dem Höhenniveau der OW-Sohle liegen. Die Bestimmung der erforderlichen Kronenhöhe kann über den vereinfachten Ansatz der Grenztiefe über der Rampenkronen erfolgen (siehe [Anlage 15](#)).

### 7.4 Probleme bei Niedrigwasserführung

Bei geringer Wasserführung des Gewässers tritt speziell bei höheren Blocksteinrampen die Problematik auf, daß statt eines Oberflächenabflusses nur noch ein Abfluß im Lückensystem des Steingerüstes stattfindet. Eine solche, im Extremfall trockenfallende Rampe vermittelt den negativen optischen Eindruck einer »Steinwüste« (siehe [Anlage 18](#)), die dem Anspruch eines naturgemäßen Bauwerkes kaum gerecht wird. (In diesem Zusammenhang muß natürlich die Dauer eines solchen Zustandes berücksichtigt werden.) Außerdem können solche mit fallendem Abfluß trockenfallende Rampen zu tödlichen Fallen für Fische werden, die sich im Lückensystem der Steine befinden.

Eine Abschätzung des »Untergrundabflusses« ist kaum möglich. Während in geschiebeführenden Flüssen eine Selbstabdichtung stattfindet, kann in anderen Flüssen ein nachträgliches Einbringen von feinerem Material notwendig werden. Da das sich einstellende Strömungsbild und die möglicherweise einsetzende Selbstabdichtung nicht vorhergesagt werden können, sollte eine künstliche Abdichtung grundsätzlich erst nach einem längeren Probebetrieb erfolgen.

Diese negative Begleiterscheinung von Steinrampen kann auch durch gestalterische Maßnahmen verhindert werden. Wird das Bauwerk nicht als einheitlicher Rampenkörper ausgeführt, sondern als Abfolge mehrerer unregelmäßiger Steinschwellen (siehe [Anlagen 10, 11, 16, 17](#)), so stellen sich auch bei Niedrigwasserführung vielfältige Strömungsstrukturen und tiefere Bereiche ein.

Zur Gewährleistung des Fischeaufstieges sollte innerhalb der Rampe eine Abflußkonzentration oder eine Niedrigwasserrinne geschaffen werden. Wird die Rampe im Querprofil zu den Ufern ansteigend ausgeführt, so sind auch bei steigendem Abfluß strömungsberuhigte Randbereiche vorhanden, die sich für den Organismenaufstieg eignen (siehe [Anlage 14](#)). Desweiteren kann in einem Teilbereich der Rampe eine muldenförmige Vertiefung

vorgesehen werden, in der sich mit Steinriegeln (unregelmäßig gesetzte Gruppen größerer Steine) eine Beckenstruktur bilden läßt.

## 8. Umgestaltung vorhandener Wehre

In jüngster Zeit wird zunehmend die Umgestaltung von bestehenden Abstürzen und Wehranlagen in raue Rampen in Angriff genommen. Da diese Bauwerke oftmals baufällig sind und einer Instandsetzung bedürfen, ist eine derartige Umgestaltung nicht nur aus ökologischen, sondern auch aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten sinnvoll. So wird in den [Anlagen 16, 17](#) beispielhaft aufgezeigt, wie die vorhandene Bausubstanz optimal in den Rampenkörper integriert werden kann.

In Anbetracht der schon geschilderten Problematik von Steinrampen bei geringer Wasserführung, ist oftmals eine nur teilweise Umgestaltung des Bauwerkes (im Randbereich) in eine raue Rampe die sinnvollere Lösung. Ausführungsbeispiele hierfür finden sich in /3/.

## 9. Zusammenfassung und Schlußwort

Bisher lagen dem praktisch tätigen Wasserbauingenieur nur unzureichende Grundlagen zur Bemessung und Gestaltung von rauhen Rampen und Steinschwellen vor. Dies führte dazu, daß auf der einen Seite immer noch sehr konservative Bauweisen, wie z.B. Verlegen von Steinen in Beton, zur Ausführung kommen. Auf der anderen Seite entwickelten sich aber auch mit zunehmender Erfahrung des jeweiligen Amtes bzw. des planenden Ingenieurs sehr interessante und vielfältige Bauweisen. Gerade diese Sohlrampen, die nicht nach starren Gestaltungsvorgaben, sondern entsprechend dem Einfühlungsvermögen des Wasserbauingenieurs und des Flußbautrupps errichtet wurden, werden der Zielsetzung eines naturgemäßen Bauwerkes am ehesten gerecht.

In der vorliegenden Arbeit werden diese Erfahrungen aus der wasserbaulichen Praxis zusammengefaßt und die sich hieraus ergebenden Gestaltungshinweise dargelegt. Gleichzeitig wird auch die zur Bemessung erforderliche Theorie behandelt, die insbesondere zum Verständnis der Strömungsvorgänge und der Stabilitätskriterien beitragen soll.

Die vorgestellten Beispiele aus der Praxis verdeutlichen die vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten insbesondere von kleinen Sohlrampen und Sohlschwellen und sollen zur Nachahmung und zu weiteren Gestaltungsvarianten anregen.

Wie grundsätzlich im naturnahen Wasserbau ist auch das Gelingen naturgemäßer Sohlenbauwerke letztendlich von der Erfahrung und dem Engagement des ausführenden Flußbautrupps und der Bauaufsicht abhängig.

So liegt der Vorsprung, den das Land Bayern im naturgemäßen Wasserbau innehat, in erster Linie in der personellen und technischen Ausrüstung der Wasserwirtschaftsämter begründet, die es ihnen erlaubt, viele Baumaßnah-

men in eigener Regie durch eigene Flußbautrupps als Unterhaltungsmaßnahme durchzuführen. Hierbei lassen sich neue Bauweisen wesentlich einfacher in die Praxis einführen als in Regionen, in denen die Wasserwirtschaftsverwaltung fast ausschließlich reine Aufsichtsfunktion innehat.

Bei Bauwerken des naturgemäßen Wasserbaus kann nicht erwartet werden, daß diese auf Anhieb optimal gelingen. So kann es bei Sohlrampen erforderlich werden, schon eingebrachte Steine (evtl. nach einem Probebetrieb) wieder umzugruppieren. Da nur wenige Bauunternehmen über die erforderliche Erfahrung verfügen, ist eine Pauschalvergabe von derartigen Baumaßnahmen nicht sinnvoll. Vielmehr bietet sich ein, an verschiedenen Bauvorhaben in Baden-Württemberg bewährtes Verfahren an, bei dem das erforderliche Gerät und Personal von Bauunternehmen angemietet wird, der Bau jedoch in Regie des Wasserwirtschaftsamtes durchgeführt wird.

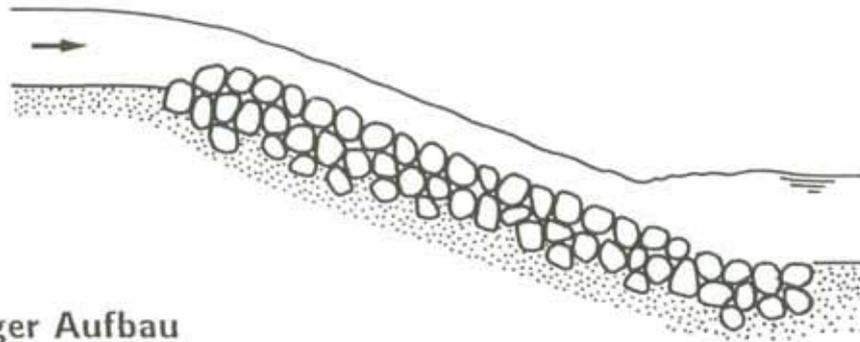
#### Anschrift des Verfassers:

**Dipl.-Ing. Rolf-Jürgen Gebler**  
Wiss. Mitarbeiter am Institut  
für Wasserbau und Kulturtechnik  
der Universität Karlsruhe

Am Schäferloch 12  
D-7519 Walzbachtal

## L I T E R A T U R

- [1] Bernhart, H.H.: Einbindung, Kolkssicherung, Übergänge bei Sohlstufen, 2. DVWW-Fortbildungslehrgang für Gewässerausbau, Rotenburg 1977
- [2] Gebler, R.-J.: Fischaufstiege, derzeitige Situation und zukünftige Konzeption, Wasserwirtschaft 79 (1989) 2
- [3] Gebler, R.-J.: Fischaufstiege, Untersuchungsbericht des Institutes für Wasserbau und Kulturtechnik, Universität Karlsruhe, 1990
- [4] Gebler, R.-J.: Naturgemäße Bauweisen von Sohlenstufen, Untersuchungsbericht des Institutes für Wasserbau und Kulturtechnik, Universität Karlsruhe, 1990
- [5] Gerber, K.-H.: Erfahrungen bei der Entwurfsgestaltung, dem Bau und Betrieb von Sohlgleiten im Flußgebiet Eifel-Ruhr, Wasser und Boden 1977, Heft 8
- [6] Hartung, F.: Die strömungstechnische Entwicklung in Konstruktion und Gestaltung der Staustufen, Tiefbau Heft 3/1970
- [7] Hartung, F.; Scheuerlein, H.: Design of Overflow Rockfill Dams, ICOLD-Congress Montreal 1970, Beitrag Nr. R.35 zu Q. 36
- [8] Izbash, S.V.; Khaldre, K.h.Yu.: Hydraulics of River Channel Closure, Butterworth & Co. Ltd, London 1970, Originalveröffentlichung: Moskau 1959
- [9] Knauss, J.: Flachgeneigte Abstürze, glatte und raue Sohlrampen, Versuchsanstalt für Wasserbau der TU München 1979, Bericht Nr. 41, S. 1-55
- [10] Knauss, J.: Neue Beispiele für Blocksteinrampen in Flachlandflüssen, Versuchsanstalt für Wasserbau der TU München 1981, Bericht Nr. 45, 1-18
- [11] Knauss, J.: Konstruktive Gestaltung der Übergänge vom Bauwerk zum Fluß, 4. DVWK - Fortbildungslehrgang für Gewässerausbau, Obernach 1979
- [12] Larsen, P.; Blinde, A.; Brauns, J.: Überströmbare Dämme, Hochwasserentlastung über Dammscharten, Untersuchungsbericht des Institutes für Wasserbau und Kulturtechnik und des Institutes für Bodenmechanik und Felsmechanik, Universität Karlsruhe 1986
- [13] Linford, A.; Saunders, D.H.: A Hydraulic Investigation Of Rough And Overflow Rockfill Dams, Report RR 888, The British Hydromechanics Research Association, 1967
- [14] Lochner, W.: Erfahrungen bei der Bemessung und der konstruktiven Ausbildung von Sohlrampen, erläutert am Beispiel der niederbayerischen Vils, Wasserwirtschaft 70 (1980) 7+8
- [15] Olivier, H.: Trough And Overflow Rockfill Dams - New Design Techniques, Proc. I.C.E., 36, Paper No. 7012, 1967
- [16] Platzer, G.: Kriterien für den zulässigen spezifischen Abfluß über breite Blocksteinrampen, Österreichische Wasserwirtschaft 1982
- [17] Platzer, G.: Die Hydraulik der breiten Blocksteinrampen, Rampen-neigung 1:10, Sonderheft anlässlich des 70jährigen Bestehens der Bundesanstalt für Wasserbau und hydrometrische Prüfung, Wien 1983
- [18] Platzer, G.: Blocksteinrampen und Sohlschwellen, zwei Möglichkeiten der naturnahen Sohlstabilisierung von Fließgewässern, Symposium: Hydraulik offener Gerinne, Wiener Mitteilungen, Band 79, Wien 1989
- [19] Rossol, A.: Erfahrungen mit Blocksteinrampen an oberösterreichischen Flüssen, Kulturtechnik und Flurbereinigung 25, 1984 S. 87-95
- [20] Schauburger, W.: Die räumliche Krümmung von Gefällstufen und Sturzbettenschwellen, Wasser und Boden 1975, Heft 10
- [21] Scheuerlein, H.: Der Rauherinneabfluß, Versuchsanstalt für Wasserbau der TU München, Bericht Nr. 14, 1968
- [22] Whittaker, J.; Jäggi, M.: Blockschwellen, Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie Nr. 91, ETH Zürich (1986)
- [23] Weismann, W.: Die Blocksteinsohlrampe, Arbeitsblätter für den Flußbau, Amt der oberösterreichischen Landesregierung 1976

**lockere Bauweise, Schüttsteinrampe**

mehrlagiger Aufbau

als Schüttung oder mit Bagger eingebracht

auf vorhandenen Untergrund oder Schrapfen

keine zusätzlichen Sicherungen, evtl. Pilotenreihe

Arbeiten im Wasser möglich, keine Wasserhaltung

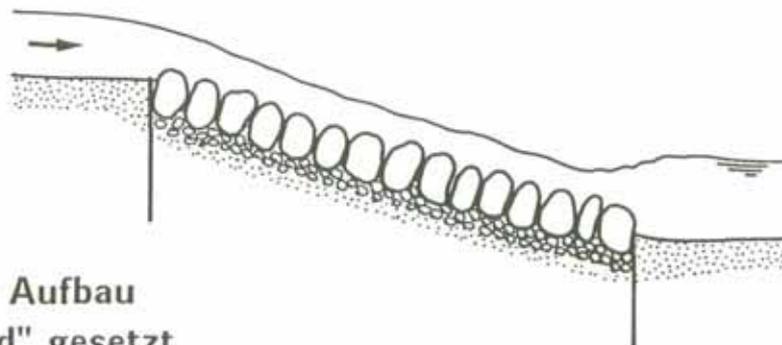
ungleichmäßige Rauigkeit, Strukturvielfalt

kostengünstig (Steine + Gerätemiete)

Aufnahme der Belastung durch Steingewicht

"elastisches" Bauwerk

Versagen kündigt sich durch Erosion an

**Setzsteinrampe, Steinschichtung**

einlagiger Aufbau

"von Hand" gesetzt

Filteraufbau erforderlich (Kiesfilter/Filtermatte)

meist mit Spundwänden oder Pilotenreihen gesichert

trockene Baugrube (Wasserhaltung) erforderlich

relativ gleichmäßige Rauigkeit

kostenintensive Herstellung

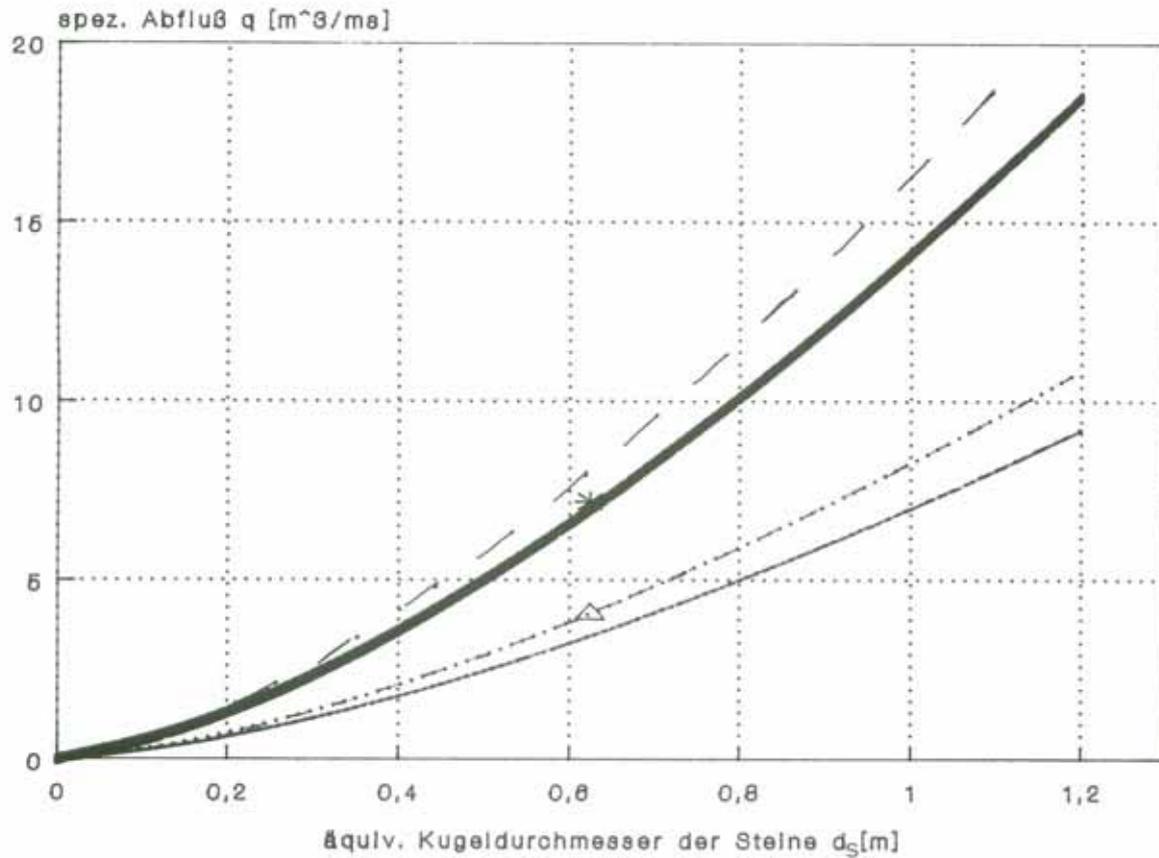
Aufnahme der Belastung im Steinverband

starres Bauwerk

plötzliches Versagen

## Stabilitätsgrenze für Steinrampen

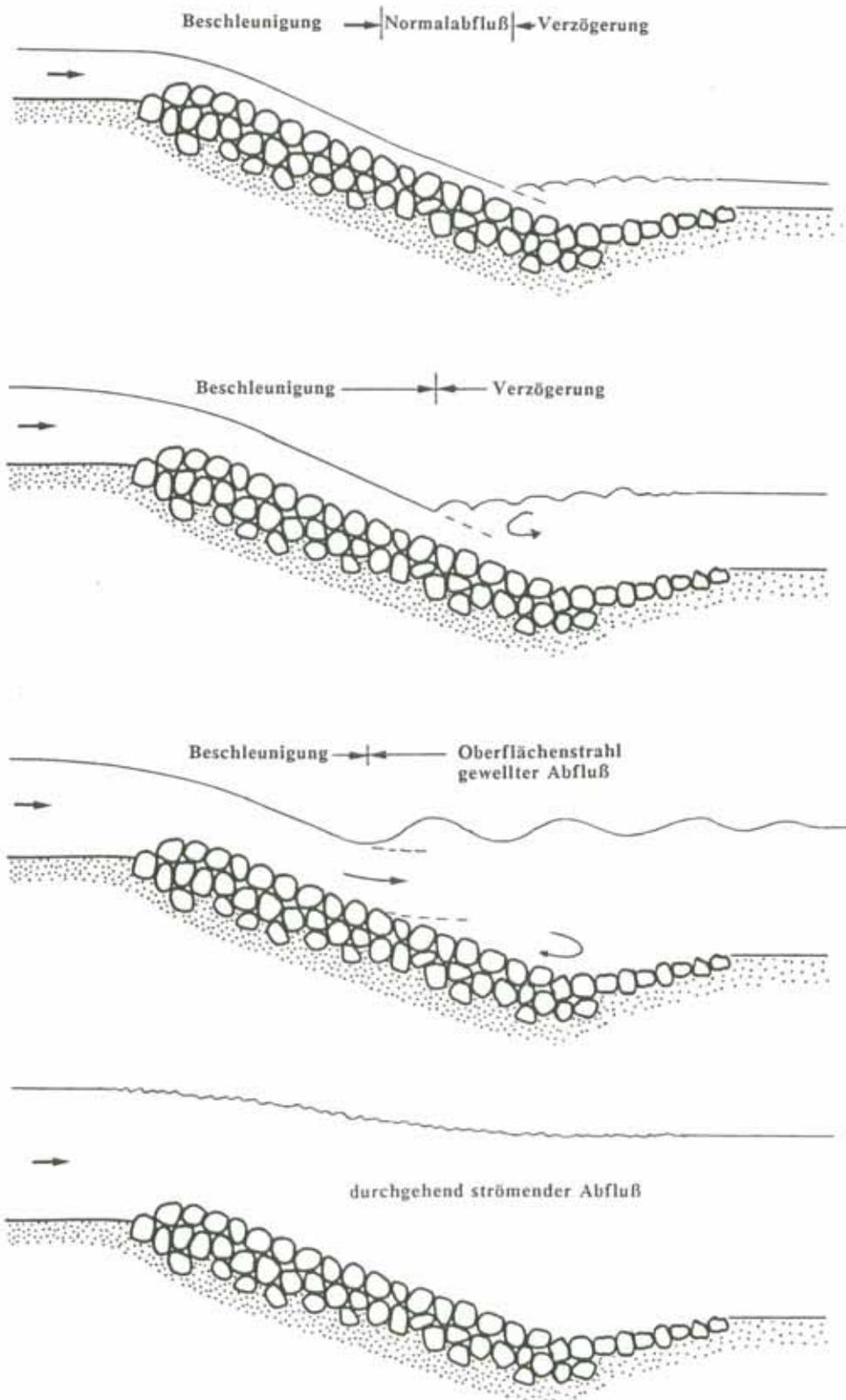
für  $l=1:10$  und  $\gamma_s = 27 \text{ kN/m}^3$



- nach Knauss für geschichtete Bauweise (mit  $d=d_s$ )  
 $q_{\text{krit}} = [1.44 + 0.08/l] \sqrt{g} d^{3/2}$  für  $\gamma_s = 27 \text{ kN/m}^3$
- - - nach Linford/Saunders/Olivier für Steinschüttungen ( $P_c=1.2$ )  
 stärkere Umlagerungen von Steinen (noch keine Zerstörung des Rampenkörpers)  
 $q_{\text{krit}} = 0.233 (1.2/P_c)^{5/3} [(\rho_s - \rho_w)/\rho_w]^{5/3} l^{-7/6} d_s^{3/2}$
- · - nach Linford/Saunders/Olivier für gesetzte Steine ( $P_c=0.8$ )  
 $q_{\text{krit}} = 0.233 (1.2/P_c)^{5/3} [(\rho_s - \rho_w)/\rho_w]^{5/3} l^{-7/6} d_s^{3/2}$
- nach Whittaker/Jäggi für lockere Bauweise  
 unterer Abflußgrenzwert bei dem eine Zerstörung der Rampe auftreten kann  
 $q_{\text{krit}} = 0.257 \sqrt{(\rho_s - \rho_w)/\rho_w} \sqrt{g} l^{-7/6} d_{65}^{3/2}$  mit  $d_{65} = d_s/1.06$
- △ Modellversuch TRL, stärkere Umlagerungen der Steine auf der Rampe
- \* Modellversuch TRL, Zerstörung des Rampenkörpers

Anm.: Die Formeln gelten für den gleichförmigen Abfluß auf der Rampe und nur für flachgeneigte Steinrampen ( $l \leq 1:8$ ).

### Änderung des Strömungsbildes mit steigendem Abfluß



**Baumaßnahme:**

Zur Sohlstabilisierung (Erosionsstrecke) wurden mehrere Schüttsteinrampen in der Kahl errichtet.

Bausträger: WWA Aschaffenburg

**Gewässerbeschreibung: Kahl**

Gew. 1. Ord., naturnah gestaltet  
Sohle: sandig, kiesig  
leicht erodierbar  
Gew. Breite:  $b = 5 \text{ m}$   
Sohlgefälle:  $I = 2 \text{ ‰}$   
Einzugsgebiet:  $A_E = 129 \text{ km}^2$   
MQ =  $1.3 \text{ m}^3/\text{s}$       $HQ_{100} = 85 \text{ m}^3/\text{s}$

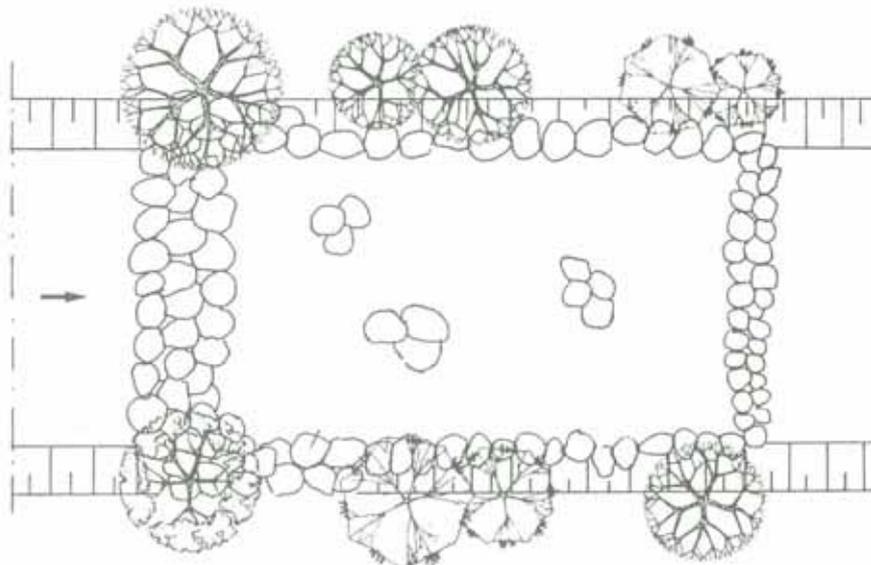
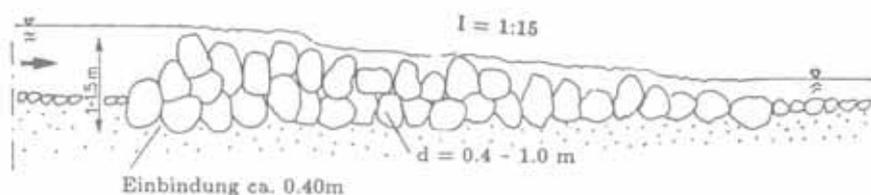
**Angaben zur Sohlstufe**

Gesamthöhe:  $\Delta h = 0.80 \text{ m}$   
Gefälle:  $I = 1:15$   
Breite:  $b = 5 \text{ m}$   
Steingröße:  $0.4 - 1.0 \text{ m}$   
Baujahr: 1980  
Baukosten:  $\approx 5000 \text{ DM}$

**Gestaltung**

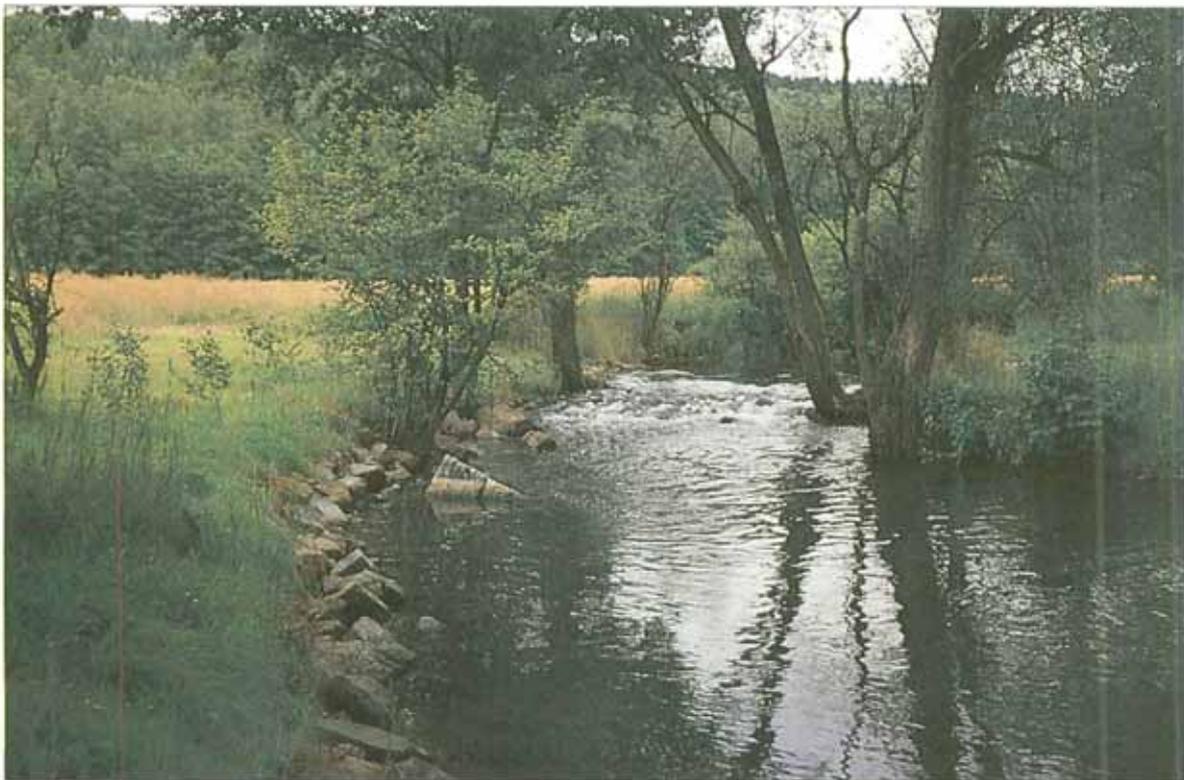
Die Sohlenstufen sind als Schüttsteinrampen hergestellt, die ca. 30-40 cm in die Gewässersohle eingebunden sind. Die Sohle wird hierzu im Bauwerksbereich ausgebaggert. Die Steine ( $d=0.40-1.0 \text{ m}$ ) werden mit dem Bagger eingebracht und in die Sohle gedrückt. Auf diese Weise wird ein Steindamm im Gewässer errichtet, dessen Aufbauhöhe bei ca. 1.0-1.5 m liegt. Als Rampenneigung wird  $I \leq 1:15$  angestrebt. Es wird kein Tosbecken (Eintiefung) vorgeformt, sondern ein allmählicher Übergang zur UW-Sohle gestaltet. Wichtig ist die seitliche Einbindung des Dammes in die Böschung, um hier Auskolkungen zu vermeiden. Als Böschungssicherung hat sich eine Bepflanzung der Böschungen im Rampenbereich mit Bäumen und Buschwerk bewährt. Die Erfahrungen mit diesen Schüttsteinrampen sind überaus positiv. Mehrere Hochwasser ( $HQ_{35}=65 \text{ m}^3/\text{s}$ ) sind ohne jegliche Schäden abgeführt worden.

(Bilder 1,2)

**Draufsicht****Längsschnitt**



*Bild 1: Sohlrampe in der Kahl, Böschungssicherung mit Steinen und Gehölz*



*Bild 2: Sohlrampe in der Elsava, Einbindung zwischen bestehenden Bäumen. Sohlrampe wird gleichzeitig als Furt für die Landwirtschaft genutzt*

**Baumaßnahme:**

Im Bereich der unteren Murr liegt eine stark erosionsgefährdete Talsohle (Sand, Schluff) vor, so daß in der Vergangenheit erhebliche Auskolkungen und Uferzerstörungen auftraten. Im Rahmen eines naturnahen Ausbaus wurden zur Sohlstabilisierung 5 Sohlrampen erbaut.  
Bauträger: WWA Besigheim

**Gewässerbeschreibung: Murr**

Gew. 1. Ord., im betreffenden Bereich naturnah ausgebaut  
Sohle: Kies, Grobsand  
Sohlbreite:  $b = 15 \text{ m}$   
Sohlgefälle:  $I = 2,2 \text{ ‰}$   
Einzugsgebiet:  $A_E = 420 \text{ km}^2$   
MQ =  $6 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $HQ_{20} = 200 \text{ m}^3/\text{s}$   
(bordvoll)

**Angaben zur Sohlstufe**

Gesamthöhe:  $\Delta h = 0.5-0.7 \text{ m}$   
Breite:  $b = 15 \text{ m}$   
Neigung:  $I = 1:10$   
Steingröße:  $0.40 - 0.70 \text{ m}$   
Baujahr: 1976/77  
Baukosten:  $\cong 7500 \text{ DM}$   
 $HQ_{1978,1990} = 200 \text{ m}^3/\text{s}$

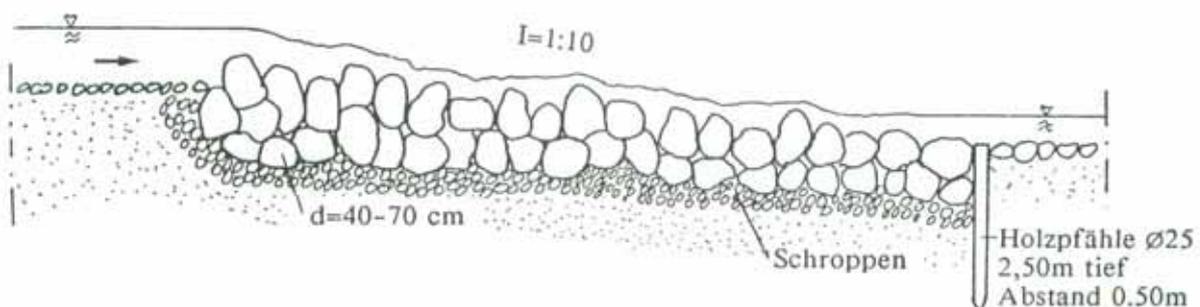
**Gestaltung**

Die Sohlrampen wurden in einer sehr einfachen Bauweise ausgeführt. Am Rampenfuß wurde eine Pfahlreihe ( $d=25 \text{ cm}$ ) ca. 2.5 m tief in den Untergrund gerammt (lichter Pfahlabstand 50 cm). Der Rampenkörper besteht aus mehreren Lagen Bruchsteinen (Kantenlänge 40-70 cm), die mit dem Bagger in die Sohle eingedrückt wurden. Im UW wurde weder ein Kolk vorgeformt noch ein Steinwurf zur Sohlsecicherung eingebracht. Die Uferböschungen sind mit grobem Steinwurf gesichert. Oberhalb der MW-Linie wurden Weidenstecklinge gesetzt.

Die Erfahrungen die in über 10 Jahren und bei mehreren HW-Ereignissen an den sehr einfachen und kostengünstigen Rampen in der Murr gesammelt wurden, sind überaus positiv. Weder traten größere Auskolkungen im UW noch Schäden an den Rampen selber auf. Lediglich beim Hochwasser im Februar 1990 (bordvoller Abfluß) traten an einer Rampe Auskolkungen am Böschungsbereich und Steinumlagerungen im Rampenkörper auf, wobei sich diese Schäden relativ einfach durch Nachschütten von Bruchsteinen beheben ließen. Ein durchgehender flächenhafter Weidengürtel zur Sicherung der Uferböschungen im Rampenbereich hat sich bewährt.

Beim HW-Abfluß wird die Rampe von UW eingestaut und es tritt ein stark gewellter Oberflächenabfluß auf, der keine hohe Belastung für den Rampenkörper und die UW-Sohle bewirkt. Da der gewellte Abfluß zudem auf die Flußmitte beschränkt bleibt, sind auch die Ufer keinem hohem Strömungsangriff ausgesetzt. Der Einstau von UW bewirkt eine erhebliche Reduktion der Rampenbelastung, so daß die Steinschüttung trotz der geringen Steingröße selbst einem hohen spezifischen Abfluß von  $q=13 \text{ m}^3/\text{ms}$  standhielt.

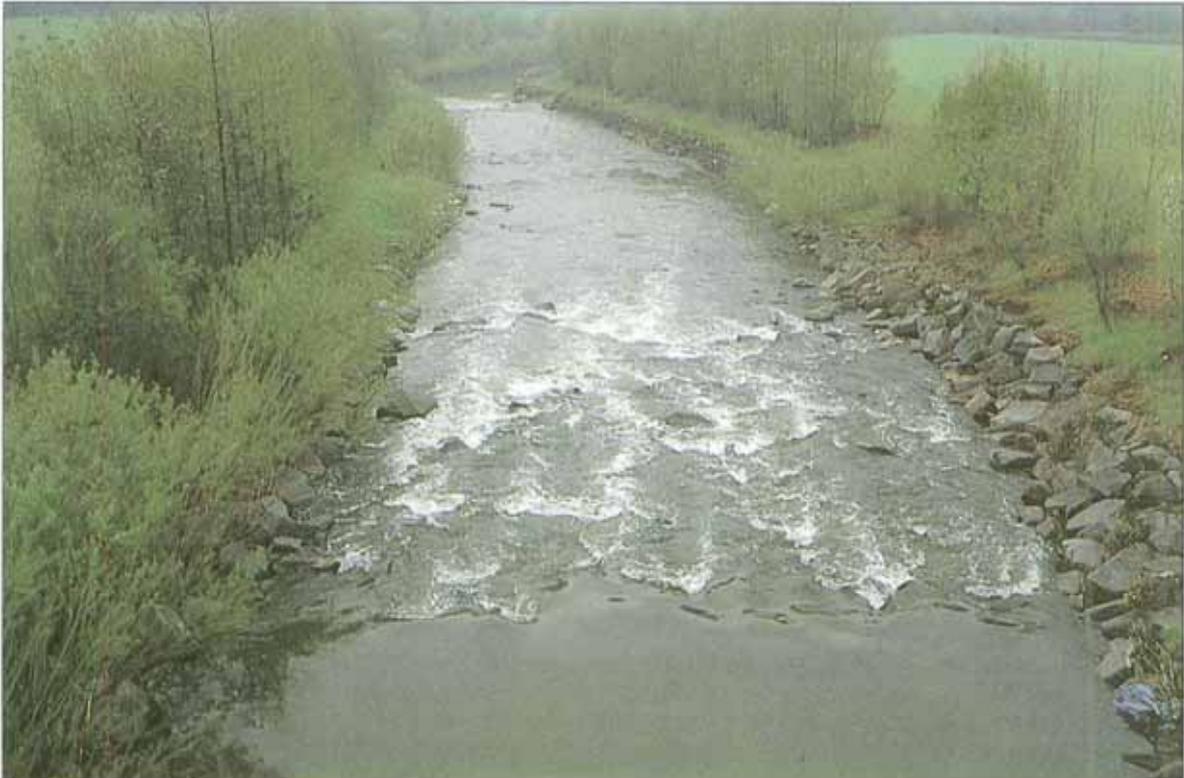
(Bilder 3,4,5)

**Längsschnitt**

R.-J. Gebler  
Sohlrampen

## Sohlrampe i.d. Murr

Anlage 7



**Bild 3:** Rampe von OW gesehen, durchgehender Weidensaum am linken Ufer



**Bild 4:** UW der Rampe bei  $HQ = 200 \text{ m}^3/\text{s}$  gewellter Oberflächenabfluß (Mai 1978)

Bildquelle: Fritz Bürkle



**Bild 5:** gewellter Wechselsprung in Rampenmitte bei  $HQ = 200 \text{ m}^3/\text{s}$

Bildquelle: Fritz Bürkle

**Baumaßnahme:**

Zur Sohlstabilisierung und als Ersatz für baufällige Holz- und Betonschwellen wurden mehrere Sohlrampen in der vereinigten Argen errichtet.

Bauträger: WWA Ravensburg

**Gewässerbeschreibung: Vereinigte Argen**

Gew. 1.Ord., Doppeltrapezprofil  
Sohle: sandig, kiesig  
Sohlbreite:  $b = 25 \text{ m}$   
Sohlgefälle:  $I = 2 \text{ ‰}$   
Einzugsgebiet:  $A_E = 652 \text{ km}^2$   
MQ =  $19 \text{ m}^3/\text{s}$       HQ<sub>100</sub> =  $492 \text{ m}^3/\text{s}$

**Angaben zur Sohlstufe**

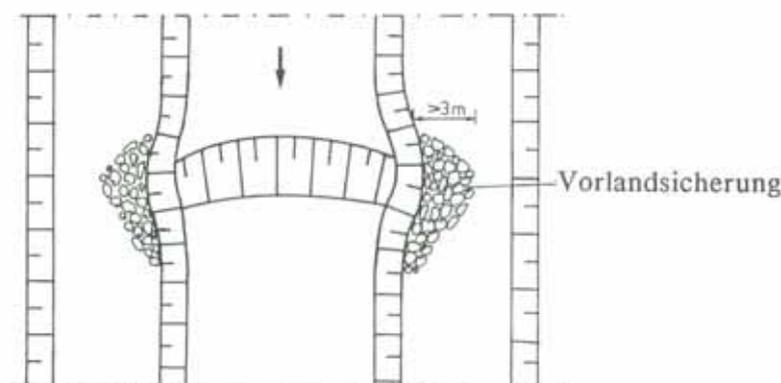
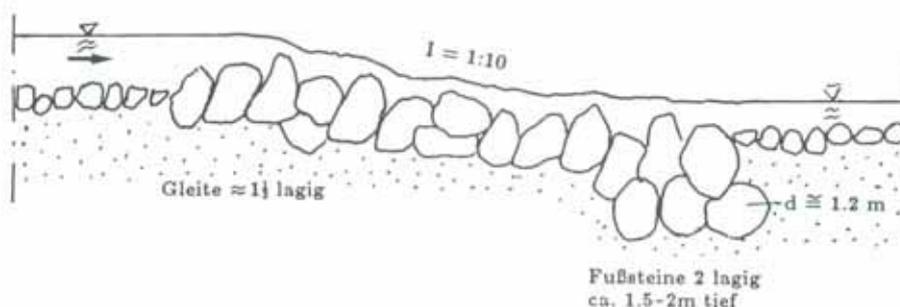
Gesamthöhe:  $\Delta h = 0.80 \text{ m}$   
Gefälle:  $I = 1:10$   
Breite:  $b = 35 \text{ m}$   
Steingröße:  $\cong 1.2 \text{ m}$   
Krümmungsradius:  $r = 5/4 b$   
Baujahr: 1984  
Baukosten:  $\cong 70.000 \text{ DM}$   
HQ (bisher):  $HQ = 226 \text{ m}^3/\text{s}$   
Schäden: geringe auf Vorland

**Gestaltung**

Um die Hauptströmung in Richtung Flußmitte umzulenken, ist die Sohlrampe im Grundriß gekrümmt. Kurz vor der Rampe wurde die Gewässersohle aufgeweitet, wodurch eine seitliche Einbuchtung im Rampenbereich entsteht (siehe Luftbild). Der Böschungsbereich und das sich anschließende Vorland (hier traten anfangs Auskolkungen auf) wurde mit überdecktem Steinwurf gesichert.

Die Rampe selber wurde mit dem Bagger von UW beginnend gesetzt. Im Bereich des Rampenfußes ist die Sohle etwas ausgekoffert worden. In diese Eintiefung wurden 2-lagig Steinblöcke eingebracht (Einbindung 1.5-2.0 m), die als Fußsicherung wirken. Anschließend wurde die Rampe Stein um Stein bis zum Erreichen des gewünschten Höhenniveaus aufgebaut. Auf ein anschließendes Tosbecken oder eine Sohlsicherung wurde verzichtet.

(Bilder 6,7)

**Grundriß****Längsschnitt**



**Bild 6:** Setzen der Steinrampe

Bildquelle: Fritz Bürkle



**Bild 7:** Luftbild Argenschwelle 10 kurz nach Fertigstellung

Bildquelle: WWA Ravensburg (Luftbildfreigabe RP Tübingen Nr. 000/1006)

**Baumaßnahme:**

Alte und verfallene Holzwehre wurden durch aufgelöste Sohlrampen ersetzt.  
Bauträger: WWA Rosenheim

**Gewässerbeschreibung: Weißach**

Gew. 3.Ord. mit Wildbachcharakter  
geschiebeführend

Sohle: kiesig, steinig  
Sohlbreite:  $b=30\text{ m}$   
Sohlgefälle:  $I=7.5\text{ ‰}$   
Einzugsgebiet:  $A_E = 92\text{ km}^2$   
 $MQ=4.5\text{ m}^3/\text{s}$       $HQ_{100}=140\text{ m}^3/\text{s}$

**Angaben zur Sohlstufe**

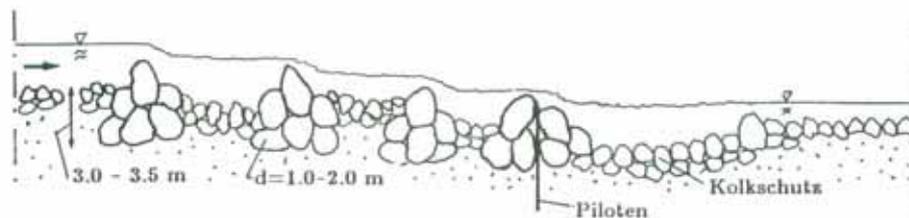
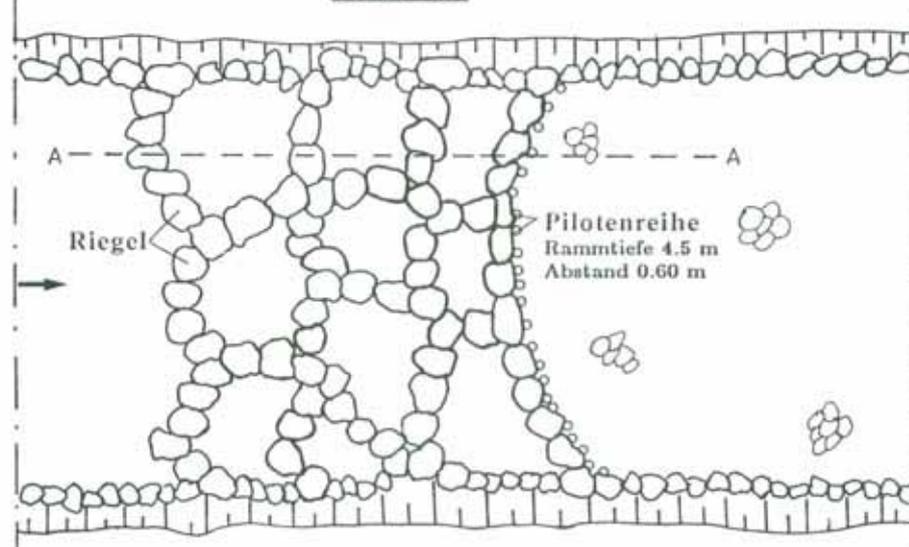
Gesamthöhe:  $\Delta h = 1.50\text{ m}$   
Länge:  $l = 30\text{ m}$   
Neigung:  $I = 1:15-1:20$   
Breite:  $b = 30\text{ m}$   
Steingröße:  $1.0 - 2.0\text{ m}$   
Baujahr: 1983  
Baukosten: 30.000-40.000 DM

**Gestaltung**

Das WWA Rosenheim orientiert sich beim Bau von Sohlrampen an natürlichen Vorbildern wie Stromschnellen und Katarakten. Hierdurch ergab sich eine aufgelöste Bauweise, die sich durch ihre Strukturvielfalt auszeichnet. Die Rampe wird nicht als einheitlicher Körper gestaltet, sondern besteht aus mehreren tief gegründeten (ca. 3.0-3.5 m) Einzelriegeln, die zusammen eine Gitterstruktur bilden. Diese konkav gekrümmten Steinriegel stützen sich gegenseitig ab, so daß eine Gewölbewirkung entsteht. Während diese Riegel die Tragkonstruktion der Rampe darstellen, wird zwischen den Riegeln eine natürliche Gewässerdynamik zugelassen (Kiesablagerungen, Kolke). Der Rampenfuß ist zusätzlich mit einer Pilotenreihe und der sich anschließende UW-Bereich mit Steinwurf gesichert.

Es entsteht eine sehr unregelmäßige Rampe mit vielfältigen Sohl- und Strömungsstrukturen.

(Bilder 8,9)

**Längsschnitt A-A****Draufsicht**

R.-J. Gebler  
Sohlrampen

Sohlrampe Weissach und Mangfall

Anlage 11



*Bild 8: Sohlrampe i. d. Weissach (siehe Anlage 10) von OW gesehen*



*Bild 9: Sohlrampe i. d. Mangfall, Strukturvielfalt durch Riegelbauweise*

Bildquelle: WWA Rosenheim

R.-J. Gebler  
Sohlrampen

## Donaurampe Sigmaringendorf

Anlage 12

**Baumaßnahme:**

Neubau einer Blocksteinrampe in geschichteter Bauweise in der Donau bei Sigmaringendorf  
Bauträger: WWA Ravensburg - Außenstelle Sigmaringen

**Gewässerbeschreibung: Donau**

Gew. 1. Ord., ausgebaut  
Sohle: Kies, Grobsand  
Sohlbreite:  $b = 20 - 25 \text{ m}$   
Sohlgefälle:  $I = 1.25 \text{ ‰}$   
Einzugsgebiet:  $A_E = 2150 \text{ km}^2$   
MQ =  $16 \text{ m}^3/\text{s}$        $HQ_{100} = 360 \text{ m}^3/\text{s}$

**Angaben zur Sohlstufe**

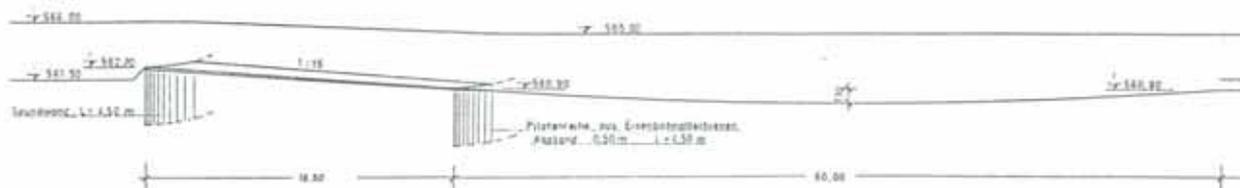
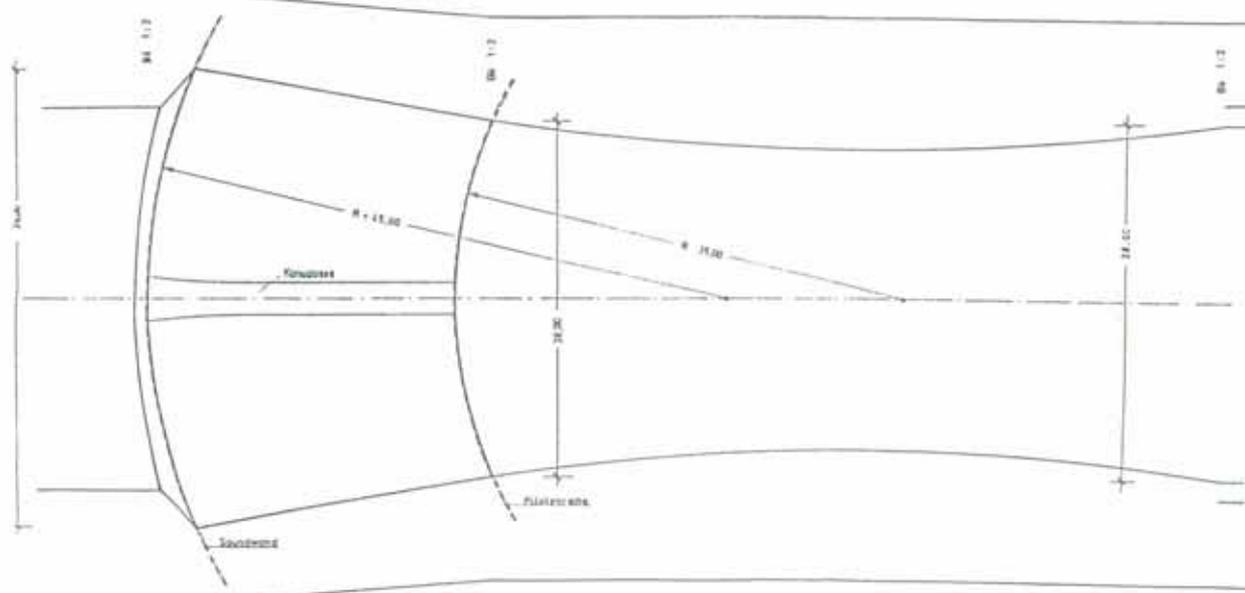
Gesamthöhe:  $\Delta h = 1.30 \text{ m}$   
Breite:  $b = 28 - 36 \text{ m}$   
Neigung:  $I = 1:15$   
Steingröße:  $1.20 \text{ m}$   
Baujahr: 1989  
Baukosten:  $\approx 500.000 \text{ DM}$

**Gestaltung**

Die Sohlrampe wurde in der klassischen geschichteten Bauweise mit konkav gekrümmten Grundriß errichtet. Am Rampenkopf wurde eine Spundwand, am Rampenfuß eine Pilotenreihe gerammt. Die Steinblöcke wurden hochkant (Kantenlänge  $1.20 \text{ m}$ ) auf eine Schotter-Filtertschicht möglichst dicht an dicht gesetzt. In Rampenmitte befindet sich eine Kanugasse mit gepflasterter Sohle. Im UW wurde ein langgestreckter muldenförmiger Kolk mit einer Maximaltiefe von ca.  $t = 1.10 \text{ m}$  vorgeformt, der mit Steinwurf gesichert ist.

Durch die geschichtete Bauweise ergibt sich eine gleichmäßige Rampenrauigkeit. Bei Normalwasserführung findet der Hauptabfluß in der Bootsgasse statt, die Steinschichtung ist nicht überströmt, jedoch sind die Lücken zwischen den Steinen durchflossen. Infolge der glatten Sohle und hoher Fließgeschwindigkeiten ( $v \geq 3 \text{ m/s}$ ) kann in der Kanugasse kein Organismenaufstieg stattfinden. Im durchflossenen Lückensystem zwischen den Steinen ergeben sich für den Organismenaufstieg günstige Strömungsstrukturen mit Fließgeschwindigkeiten von  $v \leq 1.0 \text{ m/s}$ . Da die Rampenoberfläche zu den Seiten leicht ansteigt, sind diese strömungsruhigen aufstiegsgünstigen Strukturen bei steigender Wasserführung zumindest am Randbereich anzutreffen.

(Bilder 10-13)

**Längsschnitt****Draufsicht**

R.-J. Gebler  
Sohlrampen

Donaurampe Sigmaringendorf

Anlage 13

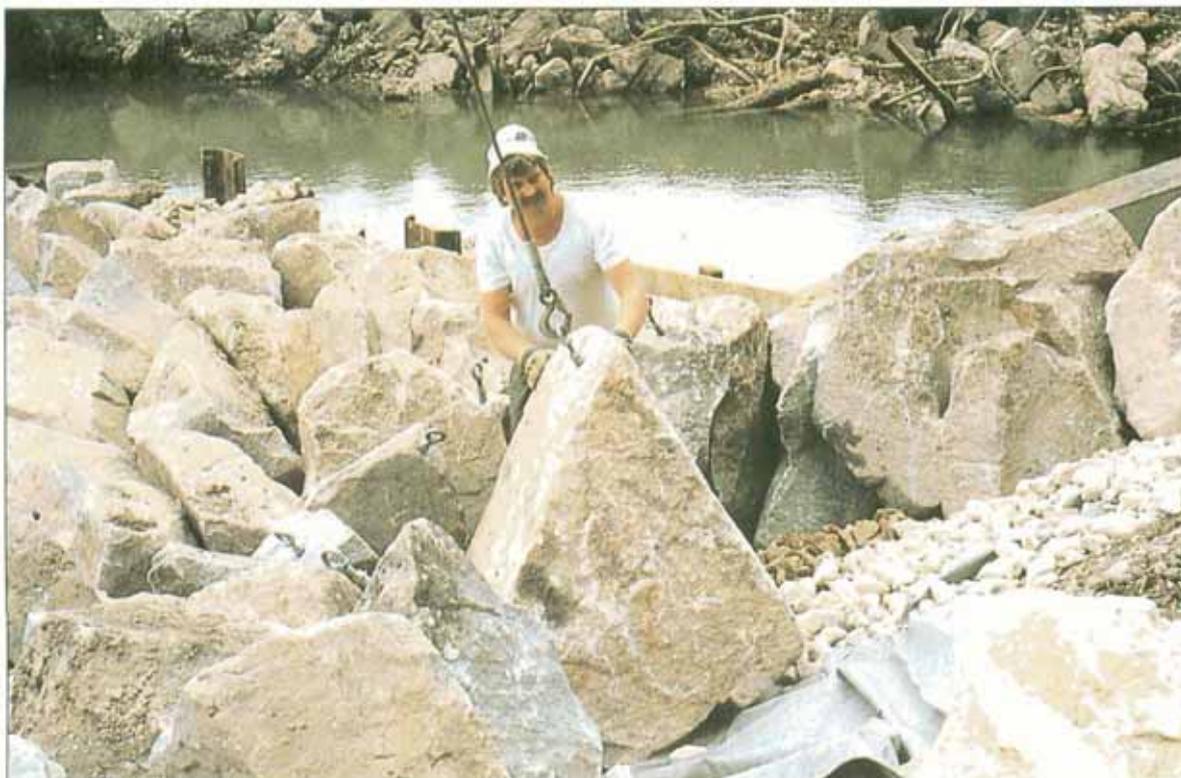


**Bild 10:** Rampe bei normaler Wasserführung, Abfluß über die Bootsrampe



**Bild 11:** Rampe bei  $HQ = 460 \text{ m}^3/\text{s}$  (Feb. 1990) fast vollständiger Einstau, gewellter Oberflächenabfluß

Bildquelle: RP Tübingen (Luftbildreihe RP Tübingen Nr. 000/25934)



**Bild 12:** Setzen der Blocksteine

Bildquelle: WWA Ravensburg-Sigmaringen

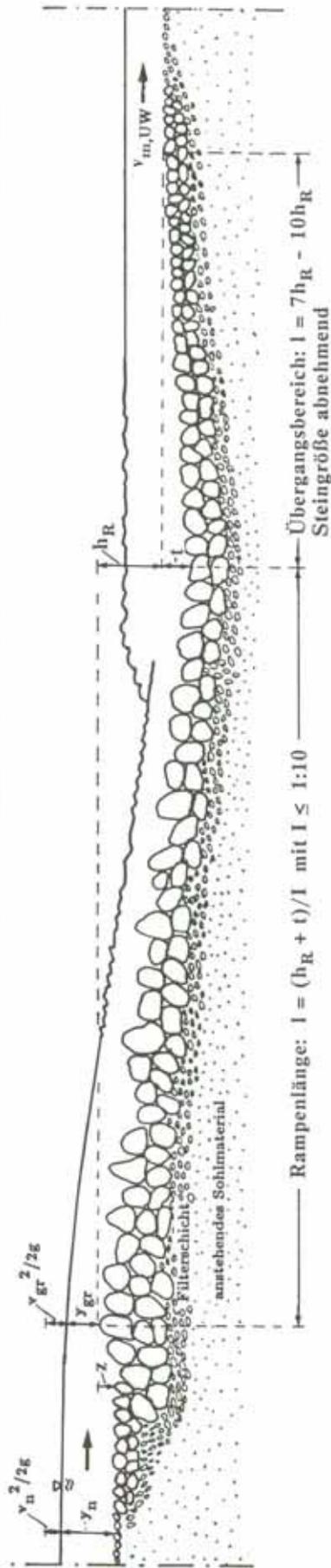


**Bild 13:** Durchströmtes Lückensystem der Steine, günstig für Organismenaufstieg

R.-J. Gebler  
Sohlrampen

Sohlrampe in lockerer Bauweise  
bei erosionsgefährdeter Sohle

Anlage 15



**Höhe der Rampenkronen über der OW-Sohle:**

$$z = (y_n + v_n^2/2g) - (y_{gr} + v_{gr}^2/2g)$$

$y_n, v_n$ : Normalabfluß im OW

$y_{gr}, v_{gr}$ : Grenzabfluß über Rampenkronen

**Rampenhöhe  $h_R$ :**

Höhenunterschied von der  
Rampenkronen zur UW-Sohle

$I \leq 1:10$

**Kolktiefe:**  $t = 1/3 h_R - 1/2 h_R$

**Übergangsstrecke zur UW-Sohle:**  $l = 7 h_R - 10 h_R$   
(allmählicher Übergang mit abnehmender Steingröße)

**Steinwurf im UW:**  $d_{65} \geq 0.04 v_m^2$   
(max.  $v_m$  ist aus der UW-Schlüsselkurve zu berechnen)

**Böschungsbereich:**

Neigung:  $I = 1:1.5$  bis  $1:2$

Böschungsschutz: überdeckter Steinwurf auf  
 $2/3$  der Profiltiefe

**Rampenkörper**

**Bemessungsabfluß:** je nach Einstau der Rampe  
von UW, siehe Kap.6

**Steingröße:**  $d_s$  nach Glg.3 (siehe Kap.5.3)

**Schichtstärke:** mind.  $2 d_{max}$  (der Steine)

**Filterschicht:** Filterregeln aus /11/

$d_{15}$ , Oberschicht  $\leq 5 d_{85}$ , Unterschicht

$d_{50}$ , Oberschicht  $= c d_{50}$ , Unterschicht

mit:  $c = 5$  bis  $10$  für rundes Korn  
 $c = 10$  bis  $30$  für gebrochenes Korn

Mindestschichtstärken beim Bau im Trocken:

Blöcke:  $1,5 d_{max}$  bis  $2 d_{max}$

Kies:  $10$  bis  $20$  cm

Sand:  $5$  bis  $10$  cm

**Anm.:** Bei erosionsbeständiger Sohle ist eine Kolkvorformung mit Steinwurf nicht erforderlich. Die Rampe ist jedoch in die UW-Sohle einzubinden (Weiterführung bis unter das UW-Sohlniveau). Der Rampenfuß kann durch tief gegründete große Steine zusätzlich gesichert werden (siehe Anlage 8).

**Umgestaltungsmaßnahme:**

Ein ca. 1.5 m hoher Betonabsturz wurde in eine stromschnellenartige Rampe umgestaltet  
Bausträger: WWA Rosenheim

**Gewässerbeschreibung: Leitzach**

Gew. 3. Ord. mit Wildbacheigenschaften,  
geschiebeführend

Sohle: kiesig, steinig  
Sohlbreite:  $b=10\text{ m}$   
Sohlgefälle:  $I=0.8\% - 1.0\%$   
Einzugsgebiet:  $A_E=111\text{ km}^2$   
MQ= $5.5\text{ m}^3/\text{s}$       HQ<sub>100</sub>= $115\text{ m}^3/\text{s}$

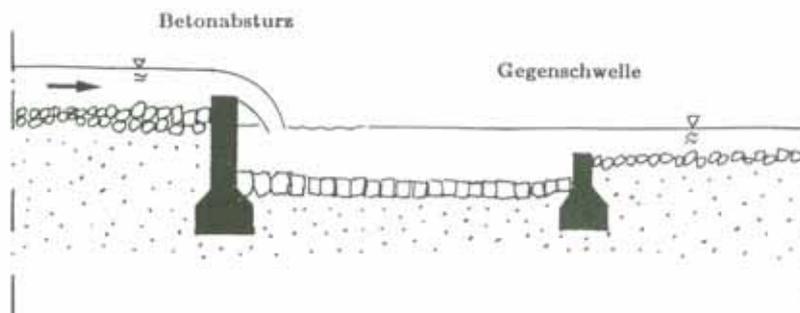
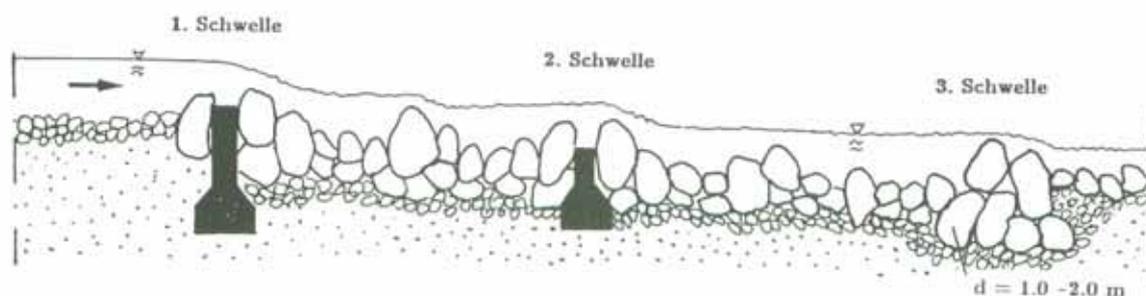
**Angaben zur Sohlstufe**

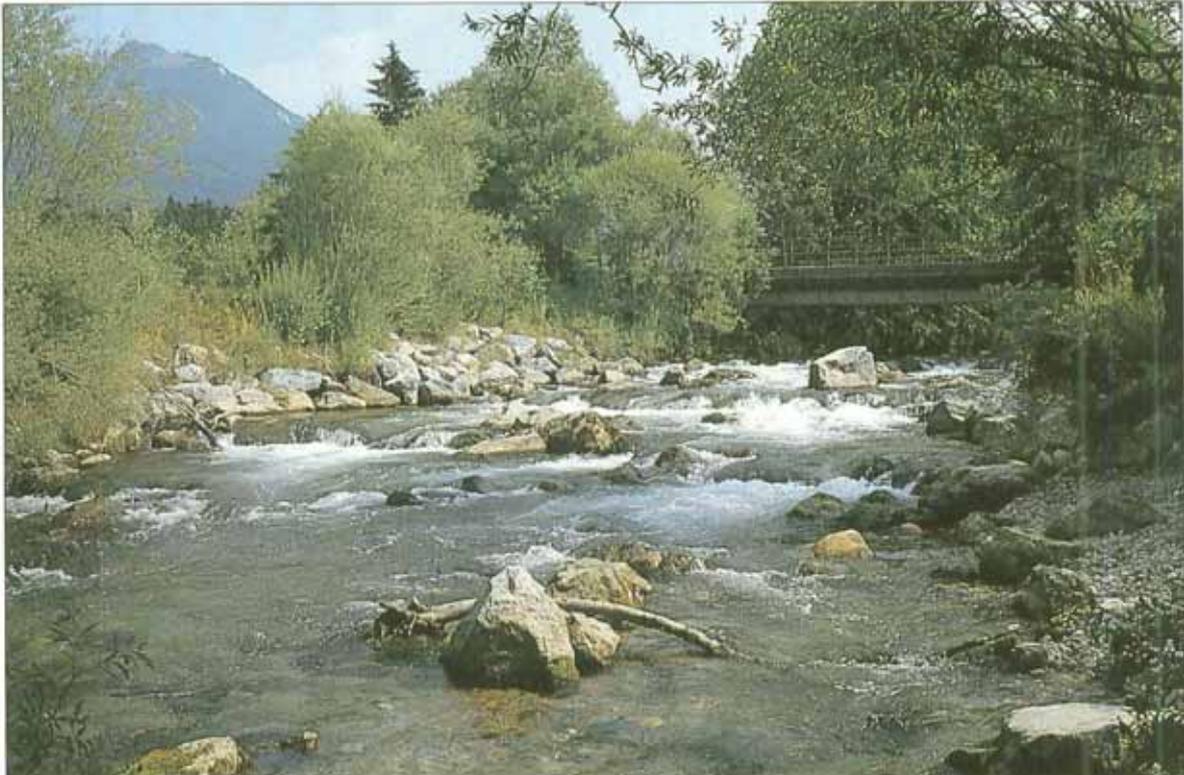
Gesamthöhe:  $\Delta h=1.50\text{ m}$   
Neigung:  $I = 1:15\text{ bis }1:20$   
Länge:  $l = 25\text{ m}$   
Breite:  $b = 10\text{ m}$   
Steingröße  
Schwellen:  $d = 1.0 - 2.0\text{ m}$   
Baujahr: 1986  
Baukosten: 25.000-30.000 DM  
HQ(bisher):  $HQ = 25\text{ m}^3/\text{s}$   
Schäden: keine

**Umgestaltung**

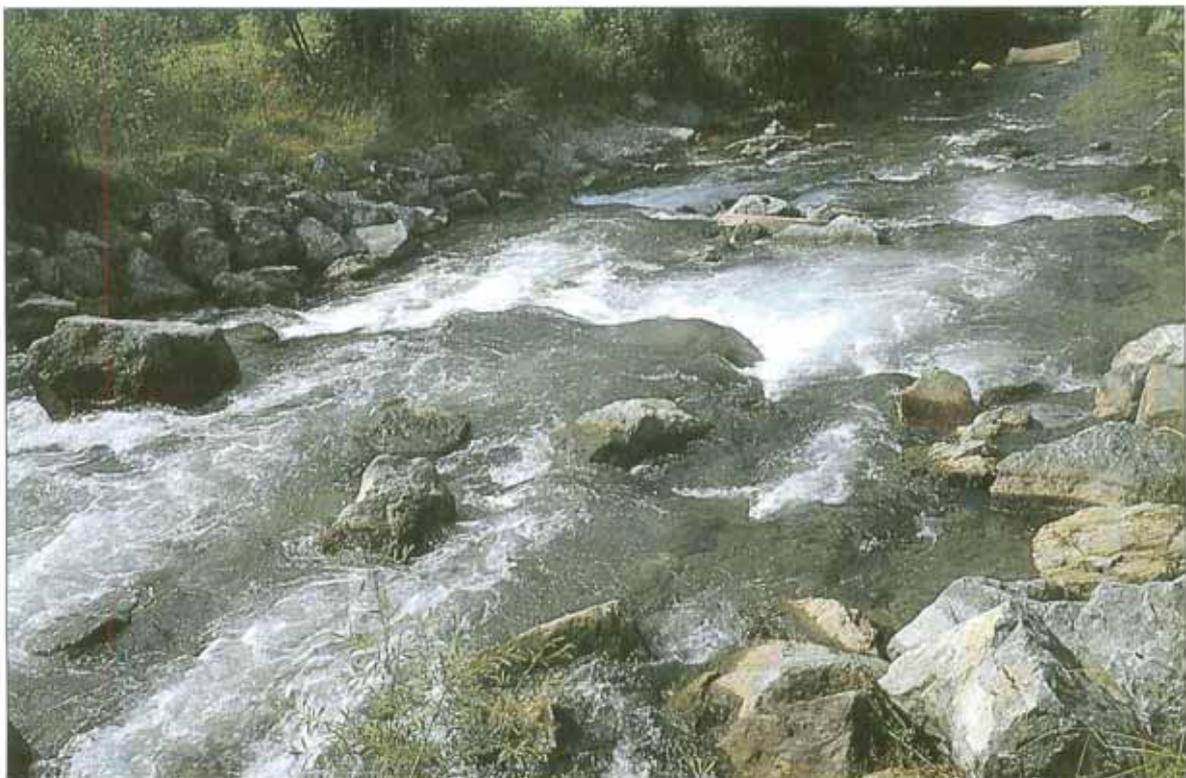
- Der Betonabsturz wurde nur an der Krone etwas abgetragen, um die Abrißkante zu brechen. Ansonsten wurde der Absturz unverändert belassen und diente zur Sicherung der 1. Steinschwelle.
- Auch die Gegenschwelle wurde belassen und als Sicherung der 2. Steinschwelle genutzt.
- Es wurde eine 3. Steinschwelle im UW errichtet (Steingröße 1.0-2.0 m). Diese Schwelle wurde ca. 2.5 m tief in den Untergrund eingebunden.
- Die genannten Schwellen wurden mit größeren Steinen gebildet, wobei diese nicht in eine Reihe gesetzt, sondern möglichst unregelmäßig mit dem Bagger eingebracht wurden.
- Zwischen diesen Schwellen in aufgelöster Bauweise wurde Steinmaterial unterschiedlicher Größe eingebracht, wobei auch größere Einzelsteine zur Schaffung einer Strukturvielfalt eingesetzt wurden.
- Die Schwellen sind als solche kaum erkennbar. Vielmehr entsteht ein natürlicher Stromschnellencharakter, so daß dieses Bauwerk kaum als künstliche Sohlstufe zu erkennen ist.

(Bilder 14,15)

**vor der Umgestaltung****nach der Umgestaltung**



**Bild 14:** Kataraktähnliche Rampe mit ausgeprägter Strukturvielfalt



**Bild 15:** Rampe (von OW gesehen) mit 2. und 3. Steinriegel



*Bild 16: Neuralgischer Punkt bei Sohlrampen: Auskolkungen des Böschungsbereiches, seitliche Einbindung erforderlich, Böschungssicherung durch Bepflanzung*



*Bild 17: »Steinwüste«: Wegen zu geringer Wasserführung trockengefallene Rampe*

## L I T E R A T U R

- [1] Bernhart, H. H.: Einbindung, Koeksicherung, Übergänge bei Sohlstufen, 2. DVWW-Fortbildungslehrgang für Gewässerausbau, Rotenburg 1977
- [2] Gebler, R. - J.: Fischaufstiege, derzeitige Situation und zukünftige Konzeption, Wasserwirtschaft 79 (1989) 2
- [3] Gebler, R. - J.: Fischaufstiege, Untersuchungsbericht des Institutes für Wasserbau und Kulturtechnik, Universität Karlsruhe, 1990
- [4] Gebler, R. - J.: Naturgemäße Bauweisen von Sohlenstufen, Untersuchungsbericht des Institutes für Wasserbau und Kulturtechnik, Universität Karlsruhe, 1990
- [5] Gerber, K. - H.: Erfahrungen bei der Entwurfsgestaltung, dem Bau und Betrieb von Sohlgleiten im Flußgebiet Eifel-Ruhr, Wasser und Boden 1977, Heft 8
- [6] Hartung, F.: Die strömungstechnische Entwicklung in Konstruktion und Gestaltung der Stauufen, Tiefbau Heft 3/1970
- [7] Hartung, F.; Schauerlein, H.: Design of Overflow Rockfill Dams, ICOLD-Congress Montreal 1970, Beitrag Nr. R.35 zu Q. 36
- [8] Izbash, S. V.; Khaldre, K. H. Yu.: Hydraulics of River Channel Closure, Butterworth & Co. Ltd, London 1970, Originalveröffentlichung: Moskau 1959
- [9] Knauss, J.: Flachgeneigte Abstürze, glatte und rauhe Sohlrampen, Versuchsanstalt für Wasserbau der TU München 1979, Bericht Nr. 41, S. 1-55
- [10] Knauss, J.: Neue Beispiele für Blocksteinrampen in Flachlandflüssen, Versuchsanstalt für Wasserbau der TU München 1981, Bericht Nr. 45, 1-18
- [11] Knauss, J.: Konstruktive Gestaltung der Übergänge vom Bauwerk zum Fluß, 4. DVWK - Fortbildungslehrgang für Gewässerausbau, Obernach 1979
- [12] Larsen, P.; Blinde, A.; Brauns, J.: Überströmbare Dämme, Hochwasserentlastung über Dammscharten, Untersuchungsbericht des Institutes für Wasserbau und Kulturtechnik und des Institutes für Bodenmechanik und Felsmechanik, Universität Karlsruhe 1986
- [13] Linford, A.; Saunders, D. H.: A Hydraulic Investigation Of Rough And Overflow Rockfill Dams, Report RR 888, The British Hydromechanics Research Association, 1967
- [14] Lochner, W.: Erfahrungen bei der Bemessung und der konstruktiven Ausbildung von Sohlrampen, erläutert am Beispiel der niederbayrischen Vils, Wasserwirtschaft 70 (1980) 7+8
- [15] Olivier, H.: Trough And Overflow Rockfill Dams - New Design Techniques, Proc. I.C.E., 36, Paper No. 7012, 1967
- [16] Platzer, G.: Kriterien für den zulässigen spezifischen Abfluß über breite Blocksteinrampen, Österreichische Wasserwirtschaft 1982
- [17] Platzer, G.: Die Hydraulik der breiten Blocksteinrampen, Rampenneigung 1:10, Sonderheft anlässlich des 70jährigen Bestehens der Bundesanstalt für Wasserbau und hydrometrische Prüfung, Wien 1983
- [18] Platzer, G.: Blocksteinrampen und Sohlschwellen, zwei Möglichkeiten der naturnahen Sohlstabilisierung von Fließgewässern, Symposium: Hydraulik offener Gerinne, Wiener Mitteilungen, Band 79, Wien 1989
- [19] Rossol, A.: Erfahrungen mit Blocksteinrampen an oberösterreichischen Flüssen, Kulturtechnik und Flurbereinigung 25, 1984 S. 87-95
- [20] Schauburger, W.: Die räumliche Krümmung von Gefällstufen und Sturzbettenschwellen, Wasser und Boden 1975, Heft 10
- [21] Scheuerlein, H.: Der Rauherinneabfluß, Versuchsanstalt für Wasserbau der TU München, Bericht Nr. 14, 1968
- [22] Whittaker, J.; Jäggi, M.: Blockschwelen, Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie Nr. 91, ETH Zürich (1986)
- [23] Weismann, W.: Die Blocksteinsohlrampe, Arbeitsblätter für den Flußbau, Amt der oberösterreichischen Landesregierung 1976

# Ökologische Verbesserungen an eingedeichten Gewässern – hydraulische Aspekte

von Cornelia Becker

## 1. Einleitung

Fluß- oder Bachläufe mit unregelmäßig geschwungener Linienführung, abwechslungsreichem Uferrelief und mehr oder weniger dicht gehölzbestandenen Ufern stellen den Wasserbauingenieur bei der Berechnung der Wasserspiegellagen vor einige Probleme.

Die herkömmlichen Verfahren (GMS, iteratives Differenzverfahren) stellen je nach örtlichen Gegebenheiten eine mehr oder weniger befriedigende Schätzung der wirklichen Verhältnisse dar, so daß, falls genauere Kenntnisse über Strömungsverhältnisse bzw. die Lage der Wasserspiegel erforderlich sind, auf Modellversuche zurückgegriffen werden muß. So z.B. bei den beiden Projekten, über die im folgenden berichtet wird. Es handelt sich hierbei um die Enz in Pforzheim und die Dreisam bei Riegel/Freiburg.

Beide Flüsse wurden aus Gründen des Hochwasserschutzes ehemals begradigt und mit Hochwasserschutzdeichen eingefäßt. Im Querschnitt dominiert fast ausschließlich ein Doppeltrapezprofil mit rasenbewachsenen Vorländern und Steinsatzfassung an den Ufern des Mittelwasserbettes (s. Bild 1).

Grundsätzlich steht und fällt die ökologische Aufwertung von begradigten Fließgewässern mit der Fläche, die für

die Umgestaltung zur Verfügung gestellt wird und gerade diese Voraussetzung ist bei den Renaturierungsvorhaben »Enz« und »Dreisam« nicht gegeben; die Umgestaltungsmaßnahmen müssen sich auf den Bereich innerhalb der bestehenden Hochwasserschutzdeiche beschränken und dürfen für den Bemessungshochwasserfall nur zu einer begrenzten festgesetzten Anhebung des Wasserspiegels führen.

Darüberhinaus waren insbesondere bei der Umgestaltung der Enz zahlreiche weitere Restriktionen (z.B. Vorgaben für die Trassen der städtischen Hauptversorgungsleitungen im Vorlandbereich) zu beachten, die die Zielsetzung »Herstellung naturnaher Verhältnisse« weiter einschränkten.

Beide Projekte wurden als physikalisches Modell im Theodor-Rehbock-Laboratorium des Instituts für Wasserbau und Kulturtechnik aufgebaut. Die Untersuchungen beinhalteten den Einfluß der vorgesehenen Maßnahmen auf die Lage des Wasserspiegels, die Strömungsgeschwindigkeit und die Strömungsausrichtung.

Die Modelle wurden mit unbeweglichem Flußbett ausgeführt. Natürliche morphodynamische Veränderungen wie Geschiebetrieb, Anlandung oder Erosion blieben bei den Untersuchungen folglich unberücksichtigt.



Bild 1: Doppeltrapezprofil, Enz in Pforzheim

## 2. Flußbaumodell Enz

### 2.1 Vorgehensweise

Das Modell Enz (Maßstab 1:40) umfaßte den stromaufwärts gelegenen ersten Kilometer der insgesamt etwa 3 km langen Projektstrecke. Dieser Enzabschnitt befindet sich stromaufwärts des Pegels »Kläranlage Enz« zwischen den beiden Enzbrücken Kanzlersteg und Gärtnersteg (s. Abbildung 1 und 2).

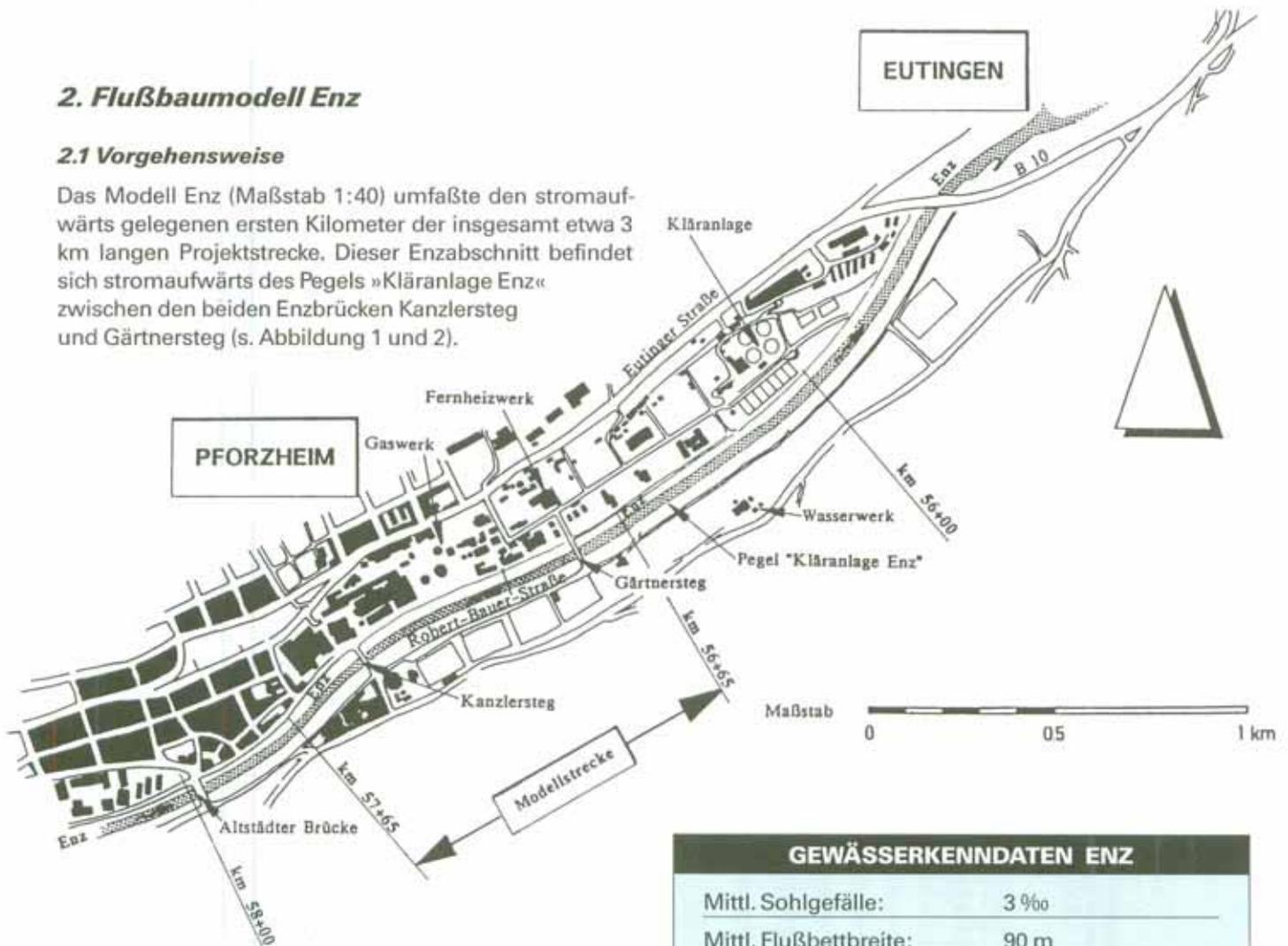


Abbildung 1: Lageplan Modellstrecke Enz in Pforzheim

Anlaß für die geplante Fluß-Umgestaltung war die Landesgartenschau, die im Jahre 1992 in Pforzheim stattfinden soll, und bei der dieser neue Enzabschnitt einen Schwerpunkt bildet.

Auf der Grundlage eines vorliegenden Entwurfs wurden mehrere Umgestaltungsvarianten im Modell untersucht. Aus den gewonnenen Erfahrungen wurde schließlich der Ausführungsvorschlag entwickelt, der im Rahmen der Landesgartenschau verwirklicht wird.

Die Modelluntersuchungen für diesen Ausführungsvorschlag erfolgten in 2 Stufen:

Stufe 1 bezog sich auf die morphologische Gestaltung der neuen Enz ohne Berücksichtigung von Bepflanzung.

Dieser sog. »Bauzustand« umfaßt den Zeitraum, in dem die geplanten Pflanzungen noch nicht hydraulisch wirksam sind. Die Ergebnisse sind für die Dimensionierung der Sicherungsmaßnahmen notwendig und erlauben Aussagen über den Einfluß des veränderten Uferreliefs auf die Strömungsverhältnisse.

GEWÄSSERKENNDATEN ENZ	
Mittl. Sohlgefälle:	3 ‰
Mittl. Flußbettbreite:	90 m
<b>Jahreshauptwerte – Pegel »Kläranlage Enz«</b>	
$A_e$ = 1477 km <sup>2</sup>	$HHQ_{gem}$ = 450 m <sup>3</sup> /s
	$HQ_g$ = 540 m <sup>3</sup> /s
NQ = 1,6 m <sup>3</sup> /s	
MNQ = 5,0 m <sup>3</sup> /s	
MQ = 16,7 m <sup>3</sup> /s	
MHQ = 146,5 m <sup>3</sup> /s	
HQ = 417,6 m <sup>3</sup> /s	

Abbildung 2: Gewässerkenndaten Enz

Stufe 2 bezog sich auf das bepflanzte Modell. Die Untersuchungen zu diesem sog. »Entwicklungszustand« sind für die Gewährleistung der Abflußkapazität (Hochwasserschutz) bei umgestaltetem Flußbett mit voll entwickelter und hydraulisch wirksamer Vegetation erforderlich.

Die Festlegung des Entwicklungszustandes hängt im wesentlichen vom Gewässerpflege- und Unterhaltungsplan ab, der die Gehölzentwicklung lenkt bzw. einschränkt.

## ENZ-UMGESTALTUNG: BAUZUSTAND

VERTEILUNG DER MAXIMALEN STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEITEN ÜBER DEN QUERSCHNITT BEI  $HQ = 450 \text{ m}^3/\text{s}$  (Ausschnitt aus top. Lageplan)

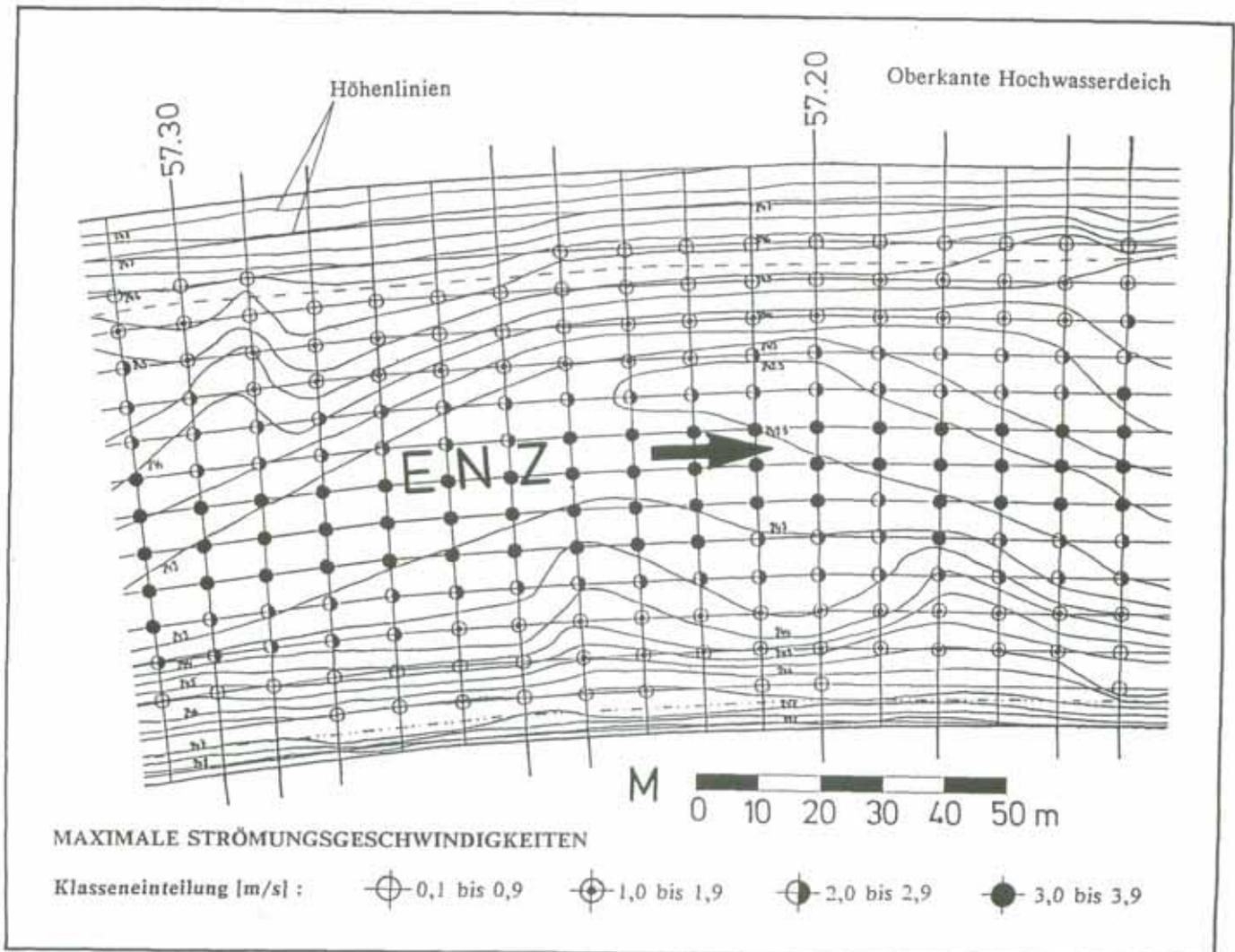


Abbildung 3: Ausschnitt aus Geschwindigkeits-Lageplan, Enz-Modell

### 2.2 Ergebnisse der Modelluntersuchungen

#### 2.2.1 Bauzustand

Die neue Morphologie des Enzbettes wird charakterisiert durch eine pendelnde Linienführung des MW-Bettes, Aufweitungs- und Engstellen, Inseln und abwechslungsreiche Ufermodellierung mit unterschiedlichen Böschungseigungen sowie ausgeprägte Flach- und Stillwasserbereiche.

Demzufolge wird die strenge Geradlinigkeit des Stromstriches und die symmetrische Geschwindigkeitsverteilung des Regelprofils aufgelockert. Die zukünftige Hauptströmung verläuft in geschwungenerer Linienführung, und entsprechend der im Querprofil unterschiedlichen Fließgeschwindigkeitsverteilung und Wassertiefe entstehen abwechslungsreiche Strömungsverhältnisse (s. Abbildung 3).

Die Umgestaltungsmaßnahmen bewirken im Bemessungshochwasserfall ( $540 \text{ m}^3/\text{s}$ ) eine Anhebung des Wasserspiegels um etwa 40 cm.

#### 2.2.2 Entwicklungszustand

Beim Einbau der Modellbepflanzung wurde im wesentlichen zwischen Sträuchern und Bäumen unterschieden. Die Simulation der maßgebenden Vegetationselemente, und das sind die Sträucher, erfolgte beim Enzmodell mit undurchströmbaren Holzwolle-Kegeln (s. Bild 2).

Insbesondere Sträucher können durch Einengung des Fließquerschnitts und durch ihre große hydraulische Rauheit zu einer beachtlichen Anhebung des Wasserspiegels führen.

Die ursprünglich vorgesehene Gehölzpflanzung wurde schrittweise ausgelichtet, bis der Wasserspiegel im



*Bild 2: Strauchsimulation. Enz-Modell*

Bemessungshochwasserfall auf ein tolerierbares Maß gesunken war (s. Bild 3 und 4).

Um den hydraulischen Einfluß der Sträucher möglichst gering zu halten, wurde weiterhin auf eine strömungstechnisch günstigere Anordnung der Gehölze geachtet:

- Dichte strauchartige Bepflanzung wurde nur in den Randbereichen des Abflußprofils vorgesehen.
- Als Querriegel wirkende Gehölzgruppen wurden entfernt und statt dessen in Fließrichtung angeordnete Baumverbände eingesetzt.
- Damit örtliche Aufstaubereiche wieder abklingen können, wurden zwischen Gehölzflächen Freiflächen vorgesehen.

Durch die Bepflanzung (Ausführungsvorschlag) wird der Wasserspiegel für den Bemessungshochwasserfall um etwa 60 cm angehoben. Insgesamt liegt der Wasserspiegel zukünftig also um 1 m höher als bisher und bewirkt einen Rückstau nach oberstrom (s. Abbildung 4).

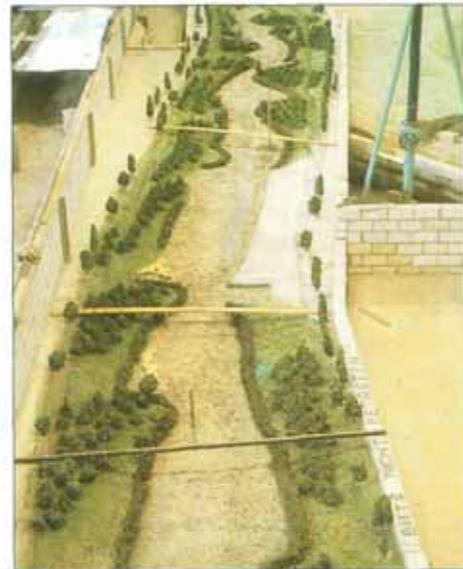
Eine Wasserspiegelberechnung ergab, daß sich dieser Rückstau ca. 600 m nach oberstrom noch auswirkt.

Der ursprünglich angestrebte Freibord von ca. 1 m ( $HQ_B$ ) konnte für den Ausführungsvorschlag nur an wenigen Stellen eingehalten werden (Bestand: 2 m Freibord). Eine Überprüfung des bordvollen Abflusses im Modell ergab jedoch  $670 \text{ m}^3/\text{s}$ , so daß noch eine ausreichende Sicherheit gegeben ist, zumal die Modellpflanzung, die hauptsächlich aus Sträuchern bestand, als nicht durchströmbar simuliert wurde.

Die Gegenüberstellung der Geschwindigkeitsmessungen für die Fälle

- Bestandssituation (Doppeltrapezprofil mit rasenbewachsenen Vorländern und ohne Gehölze) und
- Ausführungsvorschlag (Bau- und Entwicklungszustand)

zeigte, daß sich die maximalen Fließgeschwindigkeiten



*Bild 3: Entwicklungszustand. Ausgangsvariante (Bordvoller Abfluß bereits bei  $350 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Enz-Modell*



*Bild 4: Ausführungsvorschlag »Entwicklungszustand«. Enz-Modell*

bei größeren Abflüssen nur geringfügig ändern. Für den Ausführungsvorschlag lagen die Maximalwerte bei  $3,9 \text{ m/s}$  ( $HQ = 450 \text{ m}^3/\text{s}$ ), traten aber nur an wenigen exponierten Stellen auf. Bisher erreichen die Geschwindigkeiten  $3,5 \text{ m/s}$ , treten dafür aber im gesamten Hauptgerinne auf.

Anders verhält es sich mit der Geschwindigkeitsverteilung: Während heute die maximalen Fließgeschwindigkeiten stets in Flußmitte auftreten, werden nach der Umgestaltung (der Stromstrich verläuft in leicht pendelnder Linienführung) heute weniger stark beanspruchte Bereiche einer größeren Schleppkraft ausgesetzt sein, so daß entsprechende Sicherungsmaßnahmen erforderlich werden.

## WASSERSPIEGEL-LÄNGSPROFILE. ENZ

$$HQ = 540 \text{ m}^3/\text{s}$$

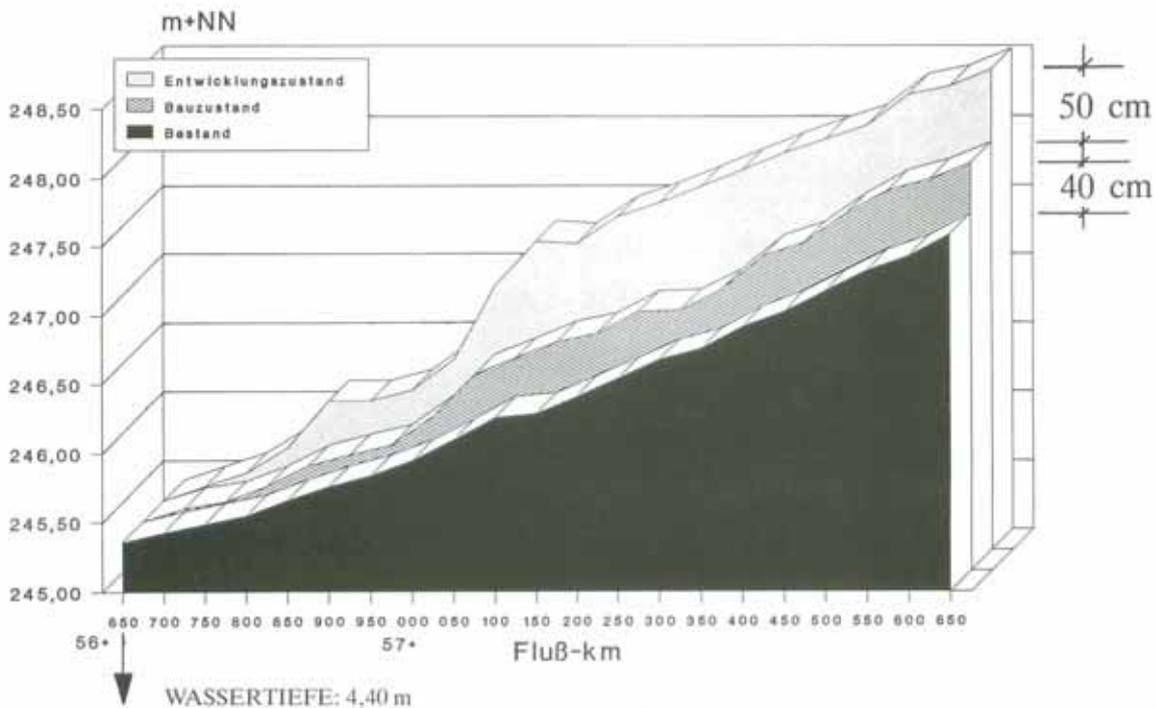


Abbildung 4: Wasserspiegel-Längsprofil für die Bestandssituation (DTP) und den Ausführungsvorschlag im Bau- und Entwicklungszustand bei  $HQ_8$

### 3. Flußbaumodell Dreisam

#### 3.1 Vorgehensweise

Die Modellversuche zur Dreisam hatten zum Ziel, grundsätzliche Aussagen über den Einfluß bestimmter einzelner und miteinander kombinierter morphologischer Gestaltungselemente auf die Strömungsverhältnisse der Dreisam machen zu können.

Für dieses Projekt wurde ein etwa 2 km langer geradliniger Dreisamabschnitt (Regelprofil: Doppeltrapez) oberstrom von Riegel bei Freiburg ausgewählt, der in 5 hintereinanderliegende Teststrecken unterteilt wurde (s. Abbildung 5 und 6).

In jede dieser etwa 300 m langen Teststrecken wurden unterschiedliche morphologische Gestaltungselemente wie z.B. Bühnen, Inseln oder Sporne eingebaut und ihre hydraulische Wirkung im Modell (M 1:30) untersucht. Die einzelnen Streckenabschnitte werden durch 100 m lange Pufferstrecken voneinander abgetrennt, in denen das bestehende Regelprofil beibehalten wird.

Die Umgestaltungsmaßnahmen beschränkten sich hier, wie bei der Enz, auf den Bereich innerhalb der Hochwas-

erschutzdeiche. Da bei der Dreisam der bestehende Freibord von etwa 40 cm auch nach der Umgestaltung so weit wie möglich erhalten bleiben soll, dürfen die Maßnahmen im Gegensatz zur Enz-Umgestaltung, bei der der Freibord um einen Meter reduziert werden durfte, die vorhandene Abflußkapazität möglichst nicht herabsetzen.

GEWÄSSERKENNDATEN DREISAM	
Mittl. Sohlgefälle:	1 ‰
Mittl. Flußbettbreite:	45 m
<b>Jahreshauptwerte – Pegel »Ebnet«</b>	
$A_E = 258 \text{ km}^2$	$HQ_{100} = 185 \text{ m}^3/\text{s}$
	$HQ_{200} = 210 \text{ m}^3/\text{s}$
NQ = 0,0 m <sup>3</sup> /s	
MNQ = 0,5 m <sup>3</sup> /s	
MQ = 5,4 m <sup>3</sup> /s	
MHQ = 61,3 m <sup>3</sup> /s	
HQ = 125,0 m <sup>3</sup> /s	

Abbildung 5: Gewässerkenndaten Dreisam

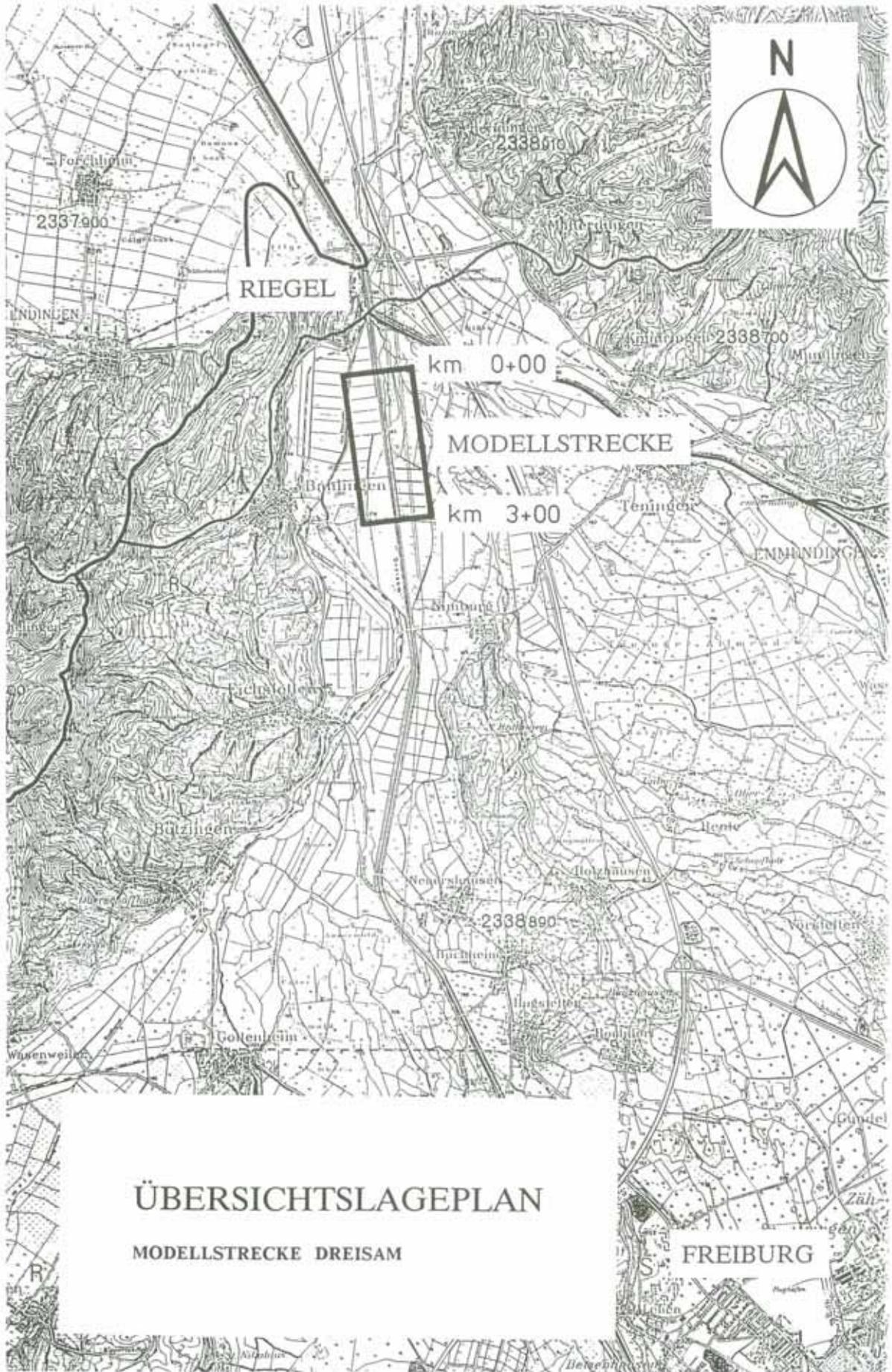


Abbildung 6: Übersichtslageplan

### 3.2 Ergebnisse der Modelluntersuchungen

#### 3.2.1 Bauzustand

Wie beim Enz-Modell wurden jeweils Bau- und Entwicklungszustand getrennt untersucht.

Der Einbau der morphologischen Gestaltungselemente erfolgte in allen Teststrecken bis auf die Höhe des ursprünglichen Vorlandniveaus. Im Querprofil wurde auf Massenausgleich geachtet, und es fanden keine Erdmassenverschiebungen in Längsrichtung statt.

Die Modelluntersuchungen brachten folgende Ergebnisse:

Bei Abflüssen bis zum mittleren jährlichen Hochwasser (etwa  $57 \text{ m}^3/\text{s}$ ) beeinflusst die morphologische Umgestaltung die Strömungsverhältnisse deutlich erkennbar. Der vorher geradlinig verlaufende Stromstrich wird umgelenkt und richtet sich entsprechend der Flußbettmodellierung aus. Dementsprechend verändert sich die Geschwindigkeitsverteilung von Querprofil zu Querprofil und der Wasserspiegel steigt an (s. Abbildung 7 und 8).

Mit steigendem Abfluß bzw. Wasserstand verliert dieser morphologische Einfluß jedoch an Bedeutung. Die vorher pendelnde Strömung richtet sich zunehmend wieder geradlinig aus und gleichzeitig sinkt die Wasserspiegelanhebung. Bei einem Abfluß von  $185 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $HQ_{100}$ ) beeinflusst das neue Relief die Hauptströmungsrichtung bereits kaum noch und die Wasserspiegelanhebung sinkt auf wenige Zentimeter ab (s. Abbildung 9). Die Überströmungshöhe der Vorlandbereiche beträgt bei diesem Abfluß etwa 1 m.

Bei der Dreisam-Umgestaltung kann die Auswirkung der neuen Morphologie auf die Lage des Wasserspiegels



Bild 5: Modell »Buhnen«

folglich für den Bemessungshochwasserfall vernachlässigt werden.

In einem weiteren Modell wurde untersucht, wie sich die Nichteinhaltung von Erdmassenausgleich im Querprofil und eine Erdmassenverschiebung in Längsrichtung auf die Lage des Wasserspiegels auswirkt (s. Bild 5). Die Buhnen wurden senkrecht zur Fließrichtung in Höhe des vorherigen Vorlandniveaus eingebaut.

Bei einem Abfluß von  $185 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $HQ_{100}$ ) verlief die Strömung immer noch leicht pendelnd, die maximale Wasserspiegelanhebung sank hier von 46 cm bei  $57 \text{ m}^3/\text{s}$  auf 16 cm bei  $185 \text{ m}^3/\text{s}$  ab (s. Abbildung 10).

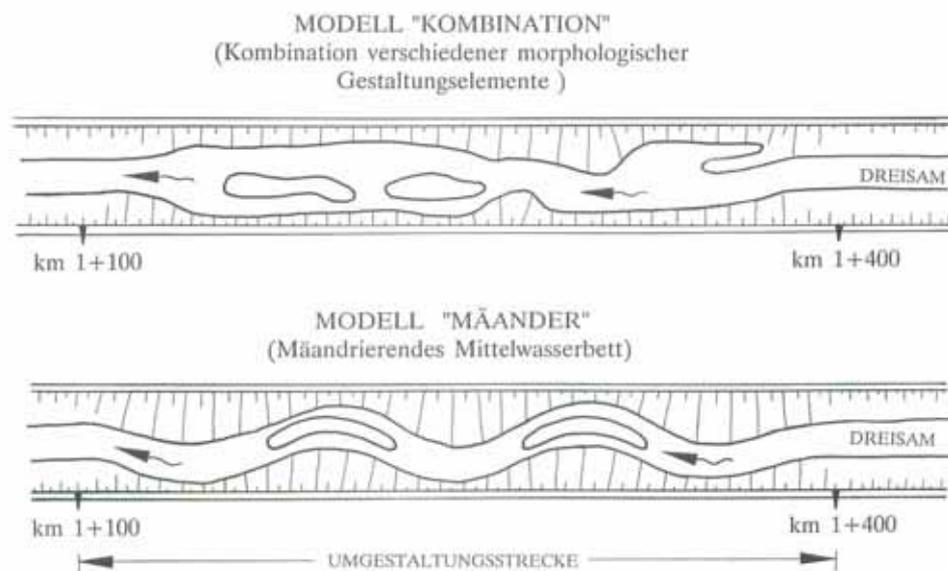


Abbildung 7: Lageplan der Teststrecken »Mäandrierendes Mittelwasserbett« und »Kombination verschiedener morphologischer Gestaltungselemente«

### WASSERSPIEGELANHEBUNGEN

HQ = 57 m<sup>3</sup>/s

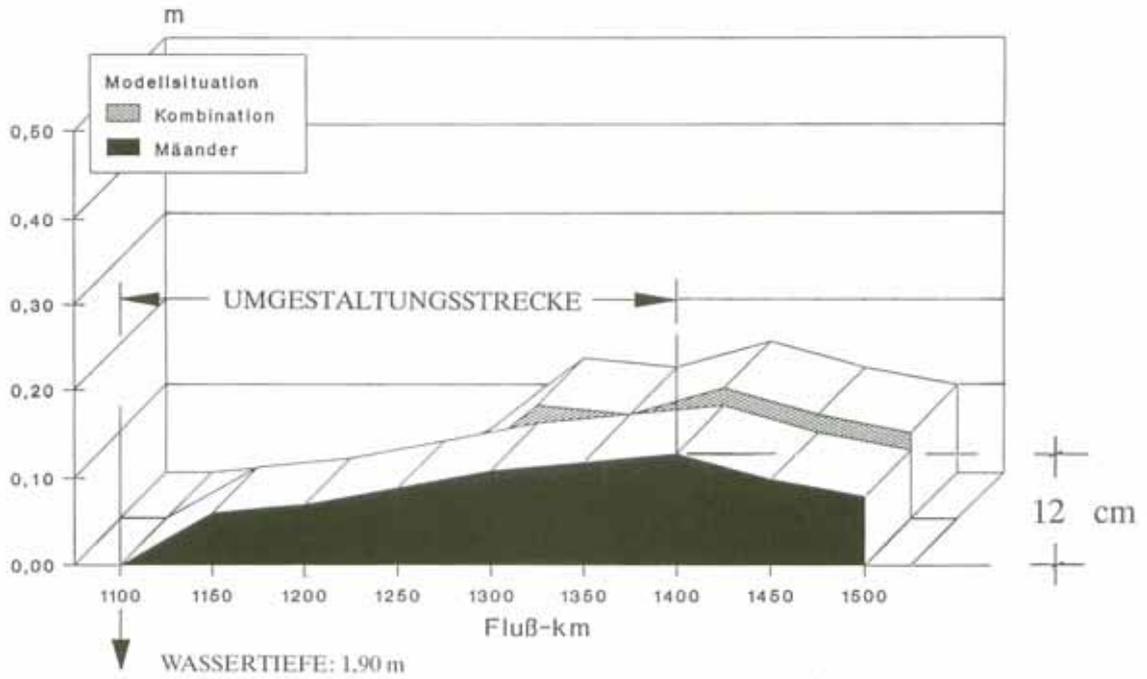


Abbildung 8: Wasserspiegelanhebung bei der »Mäander-« und »Kombinationsstrecke« bei 57 m<sup>3</sup>/s

### WASSERSPIEGELANHEBUNGEN

HQ = 185 m<sup>3</sup>/s

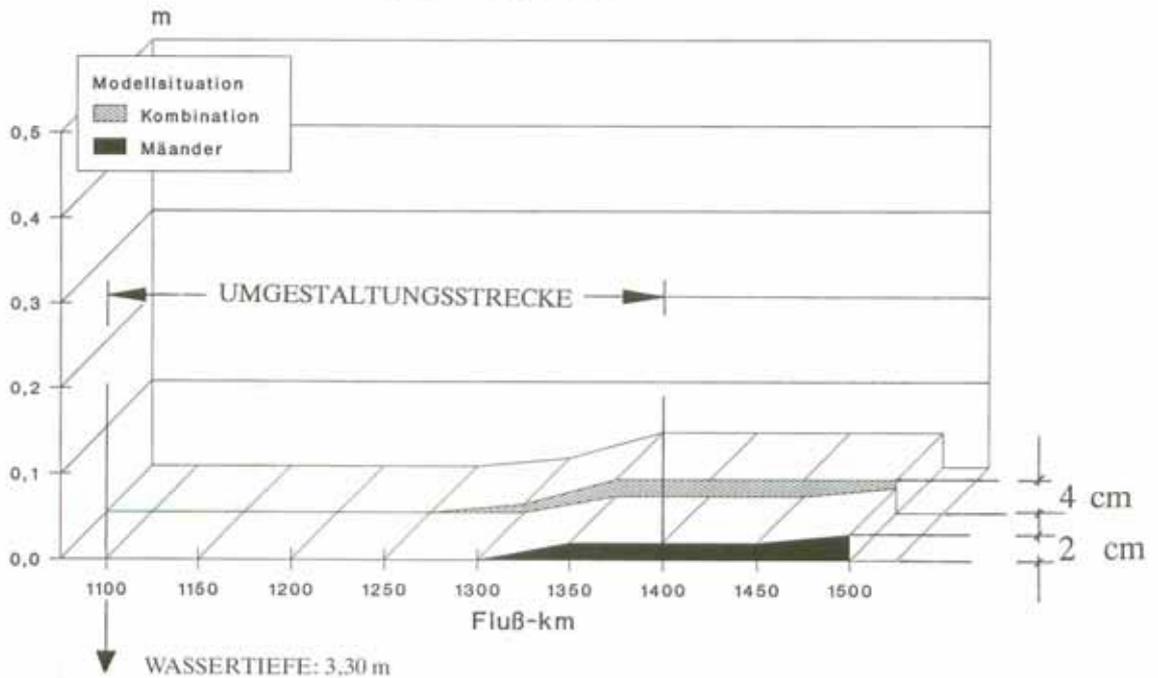


Abbildung 9: Wasserspiegelanhebung bei der »Mäander-« und »Kombinationsstrecke« bei 185 m<sup>3</sup>/s

## WASSERSPIEGELANHEBUNGEN

$$HQ = 185 \text{ m}^3/\text{s}$$

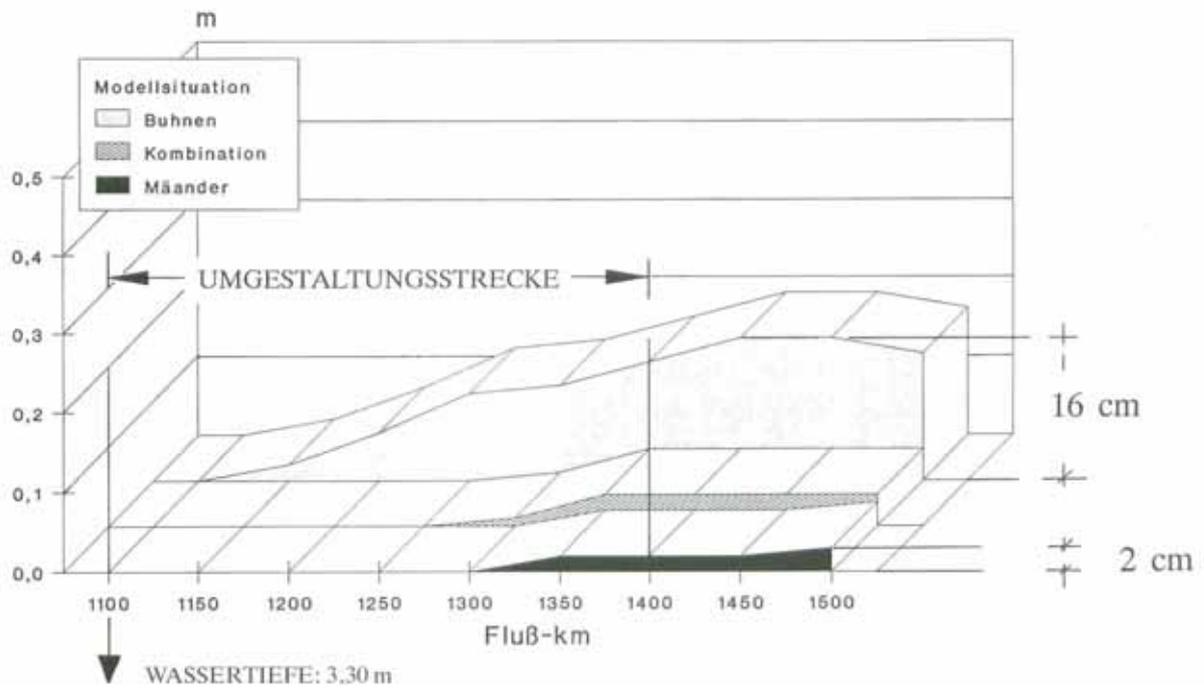


Abbildung 10: Gegenüberstellung der Wasserspiegelanhebung für die Teststrecken »Buhnen«, »Mäander« und »Kombination« bei  $185 \text{ m}^3/\text{s}$

### 3.2.2 Entwicklungszustand

Die 2. Stufe der Modelluntersuchungen beschäftigte sich mit dem hydraulischen Einfluß von Gehölzen in den einzelnen Umgestaltungsstrecken.

Insbesondere die modelltechnische Simulation von Sträuchern wirft bekannterweise Probleme auf, da ihr hydraulischer Einfluß in der Natur von zahlreichen und sich ständig verändernden Parametern abhängt und dementsprechend nicht konstant ist. Maßgebende Parameter sind z.B.:

- Dichte des Ast- und Blattwerks (abhängig von Strauchart und Vegetationsperiode),
- Größen- und Breitenwachstum (abhängig vom Alter des Gehölzes sowie von der Unterhaltung und Pflege),
- Abstände der Sträucher,
- Lage der Sträucher im Abflußprofil

Zudem kann im Hochwasserfall an Sträuchern hängengebliebenes Treibgut ihre Durchströmbarkeit vermindern (s. Bild 6).

Hinzu kommt, daß die zur Modelleichung erforderlichen Naturmessungen nicht vorhanden sind. Der hydraulische Einfluß von Strauchpflanzungen kann demzufolge im Modell nur grob abgeschätzt werden.

Beim Dreisam-Modell wurden die Sträucher wie untenstehend dargestellt simuliert und das Hauptaugenmerk auf die Anordnung (Reihen- und/oder Gruppenpflanzung) und die Gehölzart (Baum oder Strauch) gelegt (s. Bild 7). Die Simulation der Bäume erfolgte wie beim Einzelmodell mit geraden Rundstäben.

Von den umfangreichen Modellversuchen zum Entwicklungszustand der einzelnen Teststrecken soll hier nur auf einen Teil der Untersuchungen zum Modell »Inseln« eingegangen werden.

Bei der »Insel-Teststrecke« wurde der Einfluß linienhafter Strauchpflanzung im Vergleich zur Gruppenpflanzung auf die Lage des Wasserspiegels untersucht (s. Bild 8 und 9).

Die morphologische Umgestaltung dieses Modells bestand darin, daß das bestehende Doppeltrapezprofil durch ein einfaches Trapezprofil ersetzt wurde. Der Einbau der beiden Inseln im Mittelwasserbett erfolgte mit Erdmassenausgleich im Querprofil (»Erdmassenabtrag« von den angrenzenden Vorlandbereichen).

Im Gegensatz zur morphologischen Umgestaltung ohne Bepflanzung (Bauzustand) nimmt der hydraulische Einfluß von Strauchpflanzungen (Entwicklungszustand) mit steigendem Abfluß bzw. Wasserstand zu.

Der durch die morphologische Umgestaltung und die Gehölzpflanzungen hervorgerufene Aufstau erstreckt



**Bild 6:** Mit Treibgut zugesetzter Strauch



**Bild 7:** Strauchsimulation. Dreisam-Modell



**Bild 8:** Modell »Inseln« mit Reihenpflanzung

sich über die Pufferstrecke hinweg bis in die nächste Teststrecke hinein. Hierdurch werden die Möglichkeiten zur Umgestaltung weiter eingeschränkt.

In den Abbildungen 11 und 12 sind die Wasserspiegelanhebungen infolge Reihen- und Gruppenpflanzung gegenübergestellt. Die Wasserspiegelanhebungen beziehen sich dabei auf die umgestaltete Strecke ohne Bepflanzung. Von unterstrom wirkt der Aufstau durch die stromabwärts anschließende Umgestaltungsstrecke.



**Bild 9:** Modell »Inseln« mit Gruppenpflanzung

### WASSERSPIEGELANHEBUNGEN DURCH STRAUCHPFLANZUNGEN

HQ = 57 m<sup>3</sup>/s

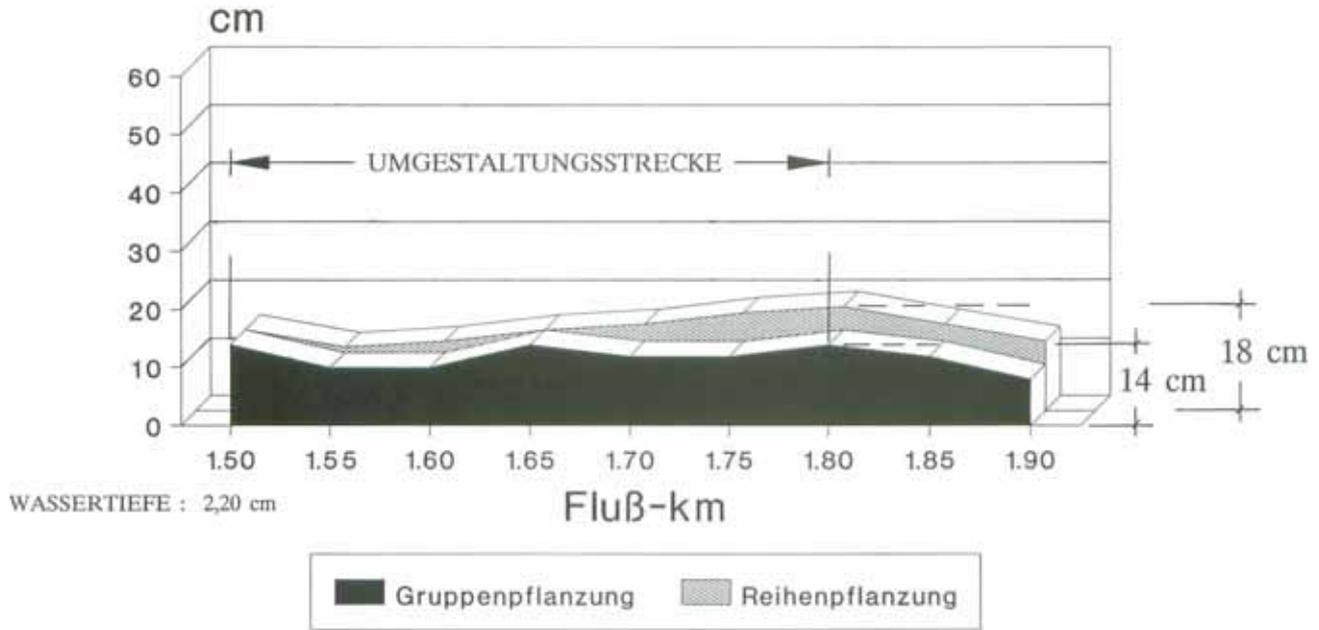


Abbildung 11: Wasserspiegelanhebungen durch Strauchpflanzung bei 57 m<sup>3</sup>/s. »Modell Inseln«

### WASSERSPIEGELANHEBUNGEN DURCH STRAUCHPFLANZUNGEN

HQ = 185 m<sup>3</sup>/s

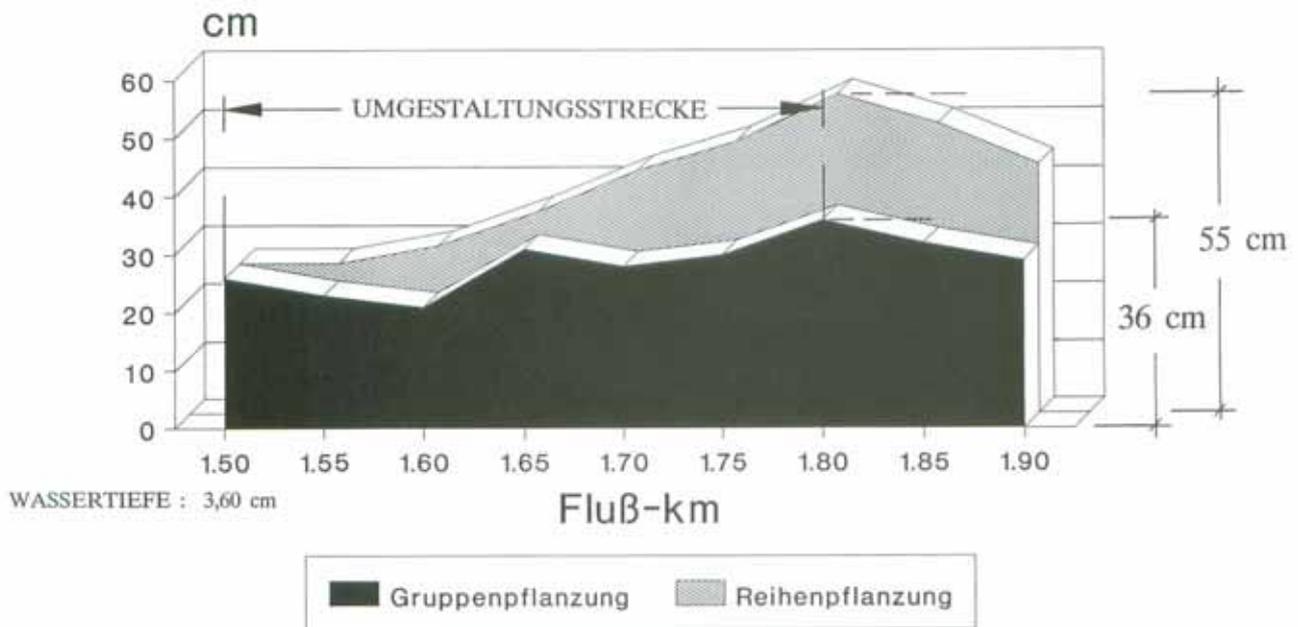


Abbildung 12: Wasserspiegelanhebungen durch Strauchpflanzung bei 185 m<sup>3</sup>/s. »Modell Inseln«

#### **4. Zusammenfassung und Schlußbemerkung**

Ergebnisse der Modellversuche zur Enz- und Dreisam-Umgestaltung zeigen, daß für beide Flüsse trotz der eingeschränkten Platzverhältnisse Wege möglich sind, mit denen die ökologische Situation der bisher monotonen und ökologisch verarmten Gewässer wesentlich verbessert werden kann.

Das Ausmaß dieser Verbesserungen ist allerdings nicht so groß, daß von einer naturnahen Umgestaltung gesprochen werden kann.

Die geplante morphologische Umgestaltung und Bepflanzung der Enz mit abwechslungsreicher Ufermodellierung und pendelndem MW-Bett beeinflusst im Gegensatz zur Dreisam die Strömungsverteilung auch noch im Bemessungshochwasserfall und bewirkt bei diesem Abfluß eine Anhebung des Wasserspiegels um etwa 1 m. Da der bestehende Freibord von 2 m um 1 m reduziert werden darf, kann diese Wasserspiegelanhebung toleriert werden.

Bei der Dreisam ist eine solche Abflußreserve, die durch die Umgestaltungsmaßnahmen aufgebraucht werden könnte, nicht vorhanden. Die morphologische Umgestaltung der einzelnen Teststrecken wurde folglich so ausgeführt, daß sie im Bemessungshochwasserfall die Lage des Wasserspiegels möglichst wenig beeinflusst. Die Sicherung der Ufer kann nicht ausschließlich mit Strauchweiden vorgenommen werden, da sie zu einem erheblichen Aufstau führen. Strauchpflanzungen können also nur in sehr beschränktem Umfang zugelassen werden.

Die Sicherung des umgestalteten Flußbettes soll sowohl an der Enz als auch an der Dreisam mit ingenieurbio-logischen Baumaßnahmen erfolgen. In Abhängigkeit von der gewählten Dimensionierung dieser Sicherungsmaßnahmen, dem flußtypischen Geschiebetrieb und den Unterhaltungsarbeiten wird sich die neue Morphologie des Flußbettes zukünftig verändern.

Diese Entwicklung muß nach der Umgestaltung vorort beobachtet, kontrolliert und erforderlichenfalls durch zusätzliche Sicherungsmaßnahmen und/oder Unterhaltungsarbeiten eingeschränkt bzw. gelenkt werden.

Durch die langjährige Beobachtung der flußmorphologischen Entwicklung können gewässerspezifische Erkenntnisse für weitere Umgestaltungsmaßnahmen an der Dreisam und an der Enz gewonnen werden.

Die Ergebnisse der Modellversuche zur Enz und Dreisam besitzen keine Allgemeingültigkeit. Sie können nur dann auf andere Flüsse übertragen werden, wenn ähnliche geometrische und hydraulische Randbedingungen herrschen (z.B. Geometrie des Flußbettes, Sohlgefälle, Abflußkapazität).

Nach Abschluß der Modellversuche zur Dreisam sollen in einer Modellserie die bis dahin gewonnenen Erkenntnisse vertieft und weitere Parameter wie z.B. das Sohl-

Gefälle, die Geometrie des Doppeltrapezprofils und die Abflußgröße variiert werden.

Mit den Ergebnissen dieser Versuchsserie soll dann ein Rechenverfahren entwickelt werden, das eine bessere Abschätzung der Wasserspiegellagen in umgestalteten und bepflanzten Doppeltrapezprofilen erlaubt.

# Naturnahe Gewässer und Auen – ein Beitrag zu Naturschutz und Landschaftspflege

Minister Dr. Erwin Vetter,  
Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

Sie haben einen langen Arbeitstag hinter sich und haben das Recht, nunmehr bald nach Hause entlassen zu werden. Deswegen habe ich mich entschlossen, meine umfassende Rede etwas abzukürzen.

Unser Anliegen und unser Vorhaben ist die »Ökologisierung des Gewässerbaus«.

Dies hat für Menschen, die in der Rheinebene im Schatten Tullas großgeworden sind, eine besondere Bedeutung.

Als ich dieses Haus betrat und Journalisten mich nach meinen wesentlichen Erkenntnissen von heute fragten, habe ich nur festgestellt, was einem augenfällig wird, wenn man diese schöne Halle in Karlsruhe betritt. Man ist hier eingeladen zu einer gemeinsamen Tagung der Universität, und zwar der althehrwürdigen Fridericiana, und einer politischen Organisation namens Umweltministerium. Die Wurzeln dieser Fridericiana gehen auf 2 Namen zurück, nämlich Weinbrenner und Tulla; der eine mit seiner Ingenieurschule, der andere mit seinem Polytechnikum. Zu Ehren Weinbrenners wurde ein Saal benannt, nicht dagegen für Tulla. Das Nachdenken, warum dies so ist, führt mitten hinein in das Thema, die Vorbehalte gegen Technik. Und wenn ich dies jetzt einmal überdenke, so ist dieser Tag heute, an dem Techniker, Naturschützer, Wissenschaftler und Praktiker bei einer Tagung zusammen sind, ein wichtiges Ereignis. Er markiert, daß Technik sein muß und nicht aus diesem Leben ausgeklammert werden darf.

Die Marschrichtung ist, Technik und Ökologie zusammen zu binden. Beide sind gleichwertig. Es muß statt der Isolation und des Elfenbeinturms Gesamtschau angesagt sein.

Aus dieser Philosophie heraus sind unsere Gesamtkonzepte in Baden-Württemberg entstanden. Das Gesamtkonzept Naturschutz zunächst einmal mit dem Anliegen der Biotopsicherung, wo noch nichts verbraucht ist und mit dem Anliegen, etwa 10 % der Landesfläche unter höherwertigen Naturschutz zu stellen, um die Regeneration der Arten in Flora und Fauna möglich zu machen. Dies gilt auch im Bereich des Wasserbaus: erhalten und sichern was noch da ist, Entwicklung der Auenlandschaften u. a. mit Hilfe eines umfassenden Gewässerrandstreifenprogrammes. Daraus werden Maßnahmen entwickelt wie z. B. eine Novelle des Wassergesetzes von Baden-

Württemberg mit dem Anliegen der verstärkten Betrachtung der ökologischen Funktion der Gewässer. Diese soll auch neue Regelungen zu Gewässerverlagerungen als Folge von Hochwassern und natürlichen Ereignissen enthalten, wo es sicher auch nicht notwendig ist, alle Verlagerungen wieder sauber und ordentlich zu reparieren und gleich mit Baggern und Beton rauszugehen, wenn die Natur einmal einen neuen Weg geschaffen hat. Weiter vorgesehen ist auch eine Neuordnung der Unterhaltung und eine Regelung für Gewässerrandstreifen. Gleichfalls werden wir unser Wasserbaumerkblatt, das bereits 1980 entstanden ist, so ändern, daß es ökologischen Ansprüchen gerecht wird.

Meine Damen und Herren,

zu dieser Allgemeinschau kommen nunmehr die einzelnen Maßnahmen. Gesetze, Verordnungen und Merkblätter sind das eine und die Praxis ist das andere. So haben wir bereits Mitte der 80iger Jahre ein Pilotvorhaben »Naturnahe Umgestaltung ausgebauter Fließgewässer« begonnen. In diesem Rahmen werden in Baden-Württemberg 16 Gewässer II. Ordnung mit einer Gesamtlänge von 50 km zum Teil im Rahmen von Flurbereinigung und Biotopvernetzung umgestaltet. Alle diese Maßnahmen werden von interdisziplinär besetzten Arbeitsgruppen begleitet und dokumentiert.

Weitere Umgestaltungsmaßnahmen werden an vom Land unterhaltenen Gewässern I. Ordnung ausgeführt. Soeben wurde eine Maßnahme am Kraichbach in Hockenheim fertiggestellt. Gerade diese Renaturierung wird auch der Öffentlichkeit ins Bewußtsein dringen, denn der Kraichbach befindet sich im Gelände einer Landesgartenschau, wo Hunderttausende von Menschen die Möglichkeit haben, die Erfolge von Gewässerrenaturierungen zu beobachten und selbst zu beurteilen. So wie in Hockenheim werden wir auch mit der Verbesserung der Enz, dem größten Nordschwarzwaldfluß, im Bereich der Landesgartenschau Pforzheim entsprechende Maßnahmen durchführen. Diese beide Maßnahmen sowie 2 weitere Vorhaben in der Acher-Rench-Korrektion wurden bereits im letzten Jahr begonnen. Weitere Maßnahmen an Gewässern I. Ordnung mit Gesamtkosten von 5 Mio. DM laufen dieses Jahr an. Darüber hinaus werden viele Maßnahmen, welche die Gemeinden zur Renaturierung von Bächen und Flüssen durchführen, vom Umweltministerium finanziell gefördert.

Ein besonders bedeutsames Projekt in diesem Rahmen ist das »Integrierte Rheinprogramm«, das 1988 begonnen worden ist. Dies zeigt schon allein der Umstand, daß sich dessen Kosten auf etwa 600-800 Mio. DM belaufen, die bei uns in einem Regierungsprogramm beschlossene Sache sind. Schon der Name »Integriertes Rheinprogramm« macht deutlich, daß hier etwas zusammengefaßt werden soll. Es sollen der Hochwasserschutz und die Ökologie miteinander verknüpft werden, es sollen die Gesichtspunkte der Wasserwirtschaft, des Natur- und Landschaftsschutzes und der Ökologie miteinander vernetzt werden. Die Fachplanung soll nicht mehr isoliert nebeneinander betrieben, sondern kombiniert werden, so daß ein Optimum an Hochwasserschutz und Ökologie erreicht wird und dabei das Bestmögliche für die Menschen und für die Natur herauskommt.

Dieses Programm sehe ich als eine Nagelprobe des Themas an, das Sie sich heute gestellt haben.

Meine Damen und Herren,

wir werden alle Beteiligten, die Wasserbauer, die Techniker und die Naturschützer, auch wenn die Diskussion bisweilen quälend ist, anhalten dazu, aus diesen Maßnahmen, die bisher isoliert betrieben worden sind, Gesamtkonzepte zu machen. Das Konklave hat bereits begonnen, der weiße Rauch ist noch nicht herausgekommen. Aber die Sitzungen werden andauern und es besteht der politische Wille, dieses Zusammenfügen von Technik und Ökologie permanent zu betreiben und als Grundraster unserer Politik anzusehen.

Dieses Programm wird auch Bedeutung haben für das, was uns in Europa 1992, 1993 im Haus steht. Wenn es uns nicht gelingt, den Rhein, einen europäischen Schicksals- und Symbolfluß, ökologisch in Ordnung zu bringen, dann weiß ich nicht, ob wir damit Europa und seine Herausforderung bestehen können. Nein, umgekehrt muß dann gesagt werden, daß Europa einseitig unter ökonomischen Aspekten stattfindet und die ökologischen Aspekte zu kurz kommen.

Meine Damen und Herren,

diese Maßnahmen werden nunmehr systematisch durchgeführt. Die auetypischen Biosysteme werden Stück um Stück gerettet oder wieder ausgebaut werden.

Ein gleichartiges Programm haben wir vor an der Donau. Wie der Rhein Verbindung und Grenze zu den westlichen Nachbarn ist, so ist es die Donau für die östlichen Nachbarn. Auch hier sind wir gefordert und auch hier findet ein entsprechendes Programm statt. Der Kernbereich der Überlegung erstreckt sich dabei zunächst auf die Strecke zwischen Sigmaringen-Laiz und Zwiefaltendorf, da auf diesem etwa 50 km langen Stück offenkundig die größten Probleme vorhanden sind. Ab 1990 wird in einem 2. Teil der unterhalb liegende Teilbereich bis zur Landesgrenze unterhalb Ulm erfaßt. Im Anschluß daran ist beabsichtigt, die Untersuchung auf Strecken oberhalb von Sigmaringen

auszudehnen. Auch hier gibt, wie beim »Integrierten Rheinprogramm«, das Umweltministerium nur die Marschrichtung an. Die Detailplanung muß von den fachkundigen Stellen vor Ort erledigt werden. Deshalb ist das Regierungspräsidium Tübingen beauftragt, dieses Konzept federführend und in enger Zusammenarbeit mit der Bezirksstelle für Naturschutz und Landschaftspflege voranzubringen.

Die soeben herausgegebene Informationsschrift Donau zeigt dieses Programm. Und ich will meine Bemerkung in Bezug auf die Donau jetzt abschließen und nur sagen, daß wir auch hier mit Pilotvorhaben vorangehen, daß auch hier die Öffentlichkeit miteingeschlossen wird, daß hier das gleiche Prinzip wie beim »Integrierten Programm« angewandt wird. Eines der Pilotvorhaben ist das zwischen Riedlingen und Zwiefaltendorf geplante Naturschutzgebiet »Flußlandschaft Donauwiesen«. Da dort häufig Hochwasser auftritt, ist hier bis heute im wesentlichen nur Grünlandwirtschaft möglich. Eine solche Kulturlandschaft ist heute von hohem Seltenheitswert. Hier finden sich noch immer zahlreiche Zug- und Wintervogelarten ein. Auch befindet sich dort das einzige Storchenbrutgebiet Oberschwabens, das in den letzten Jahren ununterbrochen angenommen wurde. Diese Kulturlandschaft muß erhalten und, wo es notwendig ist, wiederhergestellt werden.

Dazu sollen ehemalige Verzweigungen und Altarme reaktiviert werden, um damit die Vielfalt der Landschaft zum Nutzen der Tier- und Pflanzenwelt zu erhöhen. Um dies zu erreichen, werden die Landwirte für ihre wirtschaftlichen Einbußen entschädigt. Eine Regeneration von Elementen der ursprünglichen Donauaue und eine flußmorphologische Stabilisierung soll bei der Renaturierung der Donau bei Blochingen erreicht werden. Diese Stelle wurde gewählt, da der Landkreis Sigmaringen hier im Rahmen seines Altarmkonzeptes bereits erhebliche Vorarbeiten geleistet hatte. Im Rahmen dieses Projekts soll die Donaurohle wieder angehoben und gleichzeitig ein neues, längeres Donaubett geschaffen werden.

Ein drittes Programm ist das Bodenseeuferprogramm. Die naturnahe Gestaltung unserer fließenden Gewässer ist nur unvollkommen ohne eine Ergänzung bei den stehenden Gewässern. Gerade der Bodensee wurde in den letzten 40 Jahren durch zunehmende Besiedlung und Tourismus erheblich beeinträchtigt. Manche Beeinträchtigung wurde bereits wieder verringert. So wurde durch vorbildliche Abwasserreinigungsmaßnahmen im Bereich des Bodensee-Einzugsgebiets der Phosphatgehalt drastisch reduziert. Dies genügt aber nicht, wir werden weiterhin natürlich unsere Kläranlagen auf den besten Stand der Technik bringen, besonders vordringlich ist nunmehr der Schutz der Flachwasserzonen als einen besonders aktiven Seebereich. Hierzu müssen wir insbesondere Schutzgebiete ausweisen, verbaute Uferstreifen renaturieren und erosionsgefährdete bzw. erodierte Bereiche erhalten und wiederherstellen. Auch dieses Projekt ist inzwischen eingeleitet und wird mit jährlich 2,5 Mio. DM dotiert.

Ein viertes Programm bezieht sich auf die oberschwäbischen Seen, 30 Seen und Weiher. Hier geht es vor allem darum, die Abwasserbelastung zu minimieren, die Zulaufbäche ökologisch aufzuwerten und die Nährstoffeinträge zurückzuführen. Die Konzepte werden in ca. 10 Jahren erstellt sein. Bei 2 Seen wurden die Sanierungskonzepte zwischenzeitlich fertiggestellt und erste Maßnahmen in Angriff genommen.

Wir werden aber nicht nur völliges Neuland betreten, wir werden auch die bereits heute vorhandenen rechtlichen Möglichkeiten mehr ausschöpfen. Vom Mittel der Ausweisung von Überschwemmungsgebieten nach § 32 WHG soll vermehrt Gebrauch gemacht werden. Diese Überschwemmungsgebiete sollen erhalten werden, um der Verschärfung des Hochwasserabflusses, der Gefahr der Erosion und der Verunreinigung der Gewässer durch Hochwasserabflüsse vorzubeugen. Wir werden dort überall diese Gebiete ausweisen, wo dem Erhalt vorhandener natürlicher Überschwemmungsgebiete besondere wasserwirtschaftliche Bedeutung zukommt. Um bei der Ausweisung solcher Gebiete eine einheitliche Handhabung zu erreichen, haben wir eine Verwaltungsvorschrift erlassen, die Hinweise zur praktischen Abgrenzung, zu Verwaltungsverfahren sowie eine Musterverordnung enthält.

Zur Finanzierung: 1988 wurden die Fördermöglichkeiten mit der Novellierung der Förderrichtlinien Wasserwirtschaft erheblich verbessert. Die Regelförderung beträgt nunmehr 50 % bzw. im ländlichen Raum 70 %. Wir haben alleine im letzten Jahr mehr als 15 Mio. DM für naturnahe Umgestaltung einschließlich des Erwerbs von Gewässerrandstreifen ausgegeben. Dieses Jahr wird noch eine weitere Steigerung auf 20 Mio. DM erfolgen. Die Bedeutung der Gewässerrandstreifen hat sich in den letzten Jahren zunehmend gezeigt. Um hier eine Extensivierung zu erreichen, soll der Erwerb von Gewässerrandstreifen durch die Gemeinden und die Entschädigung im Zusammenhang mit der Extensivierung nunmehr förderfähig werden.

Meine Damen und Herren,

Ich will für Baden-Württemberg sagen, daß dieses Thema, Ihr Thema für mich erste politische Priorität hat. Wir werden versuchen – auch dann, wenn die finanziellen Ressourcen knapp werden – uns nicht dem Zwang unterwerfen zu lassen, daß gesagt wird, allein der technische Schutz und der technische Ausbau hat Vorrang. Wer die Natur und ihre Gesetze mißachtet, wird in einer langfristigen Betrachtung, die unserer Politik allzuoft gefehlt hat, mehr Kosten aufwenden müssen als derjenige, der beachtet, was die Natur an Gesetzlichkeit vorgibt. Dies ist die Lebensweisheit, die unsere Generation lernen muß, weil wir gesehen haben, daß wir binnen einer oder zweier kurzen Generationen infolge einer oft falschen Technologiefolgeabschätzung Maßnahmen durchgeführt haben, die uns teuer zu stehen kommen werden. Deswegen ist die Beachtung der ökologischen Gesamtzusammenhänge gleichwertig mit der Technik. Beide Maß-

nahmen sind wichtig und dies zusammenzuführen ist für unser Land existenziell notwendig und eines der wichtigsten Anliegen.

Damit ist die Bedeutung Ihrer Tagung in aller Kürze skizziert. Ich sage Dank all denjenigen, die hier mitgeholfen haben, die Vorträge gehalten haben und eindrucksvoll diskutiert haben. Für mich gehört eine Versammlung, in der Technik und Naturschutz zusammenarbeiten, zu den Schritten, die für unsere Gesellschaft beispielhaft sind. So wird unserer Gesellschaft gezeigt, wie der richtige Weg, nein ich möchte sagen, wie der bessere Weg in eine vernünftige Zukunft des Umweltschutzes geht.

Herzlichen Dank und vielen Dank für Ihre Anwesenheit.

## Diskussion

### Vortrag von Herrn Kern

Herr D r . B e r g :

Im großen und ganzen war es für mich eine interessante Übersicht. Aber in einem Punkt möchte ich doch energisch widersprechen. Sie sprachen in diesem ersten Referat von der Umweltfreundlichkeit der Laufwasserkraftwerke, die zwar kleine Probleme mit sich bringen, aber ansonsten nur umweltfreundlich sind. Als Limnologe kann man das nicht im Raum stehen lassen. Denn im Staubereich des Kraftwerkes finden doch dermaßen elementare Veränderungen statt, daß hier nichts zu erhalten ist, sondern letztlich eine ganz neue Lebensgemeinschaft entsteht und was einmal war, zerstört ist. Und gerade diese Diskussion im Zusammenhang mit den Kleinkraftwerken, die jetzt ganz aktuell ist, bereitet in der Praxis draußen viele, viele Probleme. Dies läuft dem, was hier heute diskutiert wird, genau entgegen.

Herr K e r n :

Ich habe dazu einen sehr klaren Standpunkt. Ich bin der Meinung, daß wir in der intensiv genutzten Landschaft Baden-Württembergs (auch wasserkraftmäßig sind wir gut ausgebaut) nur noch vorhandene Stauhaltungen nutzen sollten, die zur Zeit nicht genutzt werden, aber keine neuen Standorte ausweisen sollten. Dies ist meine persönliche Meinung; im Institut wird der eine oder andere vielleicht anders darüber denken. Ich teile Ihre Ansicht absolut.

Herr L o c h m ü l l e r :

Herr Kern hat sicher recht, wenn er sagt, man soll vorwiegend an Standorte gehen, wo Kraftwerke bereits bestehen oder wo alte Kraftwerke aufgelassen worden sind, wo aber Wehre usw. noch vorhanden sind. Der Schwerpunkt wird sicher auch liegen in der Modernisierung bestehender Anlagen. Ob man neue Kraftwerke im einen oder anderen Fall zuläßt, darüber wird das Rechtsverfahren dann entscheiden.

Herr N N :

Herr Kern zu Ihrem ersten Vortrag. Sie haben gesagt, man solle die Finger von naturnaher Umgestaltung lassen, sofern sich die Gewässergüte nicht sanieren läßt. Ich finde, darüber sollte man nochmal nachdenken. Das bedeutet, daß man den politischen Willen blockiert. Wenn ich das auf andere Biotopgestaltungsmaßnahmen übertrage, hieße das beispielsweise, ich dürfte keine Hecken pflanzen, weil es den sauren Regen gibt. Ich finde, die Gewässergüte ist kein gutes Argument gegen eine Umgestaltungsmaßnahme. Und noch ganz kurz eine

Frage zu dem zweiten Vortrag. Das erste Gewässer, was Sie gezeigt haben, interessiert mich besonders: Haben Sie bei den Pilotstudien des Landes auch eine Erfolgskontrolle, d. h. daß später das Ökosystem daraufhin abgeklopft wird, welche Arten sich eingestellt haben, ob diese Entwicklung den Erwartungen entspricht.

Herr K e r n :

Ich darf die letzte Frage zuerst beantworten. Es wurde bei allen Pilotvorhaben eine Nullaufnahme gemacht, dabei wurden grundsätzlich die Wirbellosen und die Fischfauna untersucht. Es wurden Vegetationsaufnahmen gemacht und es ist beabsichtigt, diese Aufnahmen zu wiederholen. Bodenkäferuntersuchungen wurden auch vorgenommen in einzelnen Projekten. Alle mit dem Ziel, später eine Erfolgskontrolle durchführen zu können. Wir denken momentan an einen Zeitraum von 10 Jahren.

Zur ersten Frage: Die Gewässergüte. Wir haben in dem Pilotvorhaben festgestellt, daß die Umgestaltungsabsicht ein starker Motor sein kann, die Gewässergüte zu sanieren. Wir haben ein Projekt, bei dem wir sehr große Gewässergüteprobleme haben, deren Behebung ohne das Umgestaltungsvorhaben nicht so schnell in Angriff genommen wäre. Man überlegt jetzt eine neue Kläranlage zu erstellen und das Wasser in ein anderes größeres Gewässer einzuleiten, weil die Probleme nicht anders gelöst werden können. Sie haben völlig recht, die Gewässergüte muß überprüft werden und man muß überprüfen, ob sie saniert werden kann. Nur wenn der politische Wille fehlt, die Gewässergüte zu sanieren oder wenn aus anderen Gründen eine Sanierung nicht durchführbar ist, dann ist einer naturnahen Umgestaltung eine geringere Priorität zuzumessen. Man muß das Gewässergüteproblem ernst nehmen. Das ist mein Anliegen.

Herr L o c h m ü l l e r :

Man wird sicher vor allem bei den künftigen Fragen der Unterhaltung nicht nur den Gewässerlauf, sondern die Gewässerlandschaft als solche anschauen müssen und in dieser Betrachtung auch die Selbstreinigungskraft der Gewässer miteinbeziehen müssen. Man wird dazu kommen müssen, das Ökosystem des Gewässers als Gesamtes zu betrachten und die Maßnahmen sowohl einer Umgestaltung, aber auch der Unterhaltung an diesen Forderungen orientieren müssen.

Herr S c h e r e r, Bund für Umwelt und Naturschutz in Frankfurt am Main:

Herr Kern, zunächst einmal möchte ich Ihre Erfahrung bestätigen, daß Ausbaumaßnahmen tatsächlich einen Druck auf die Verbesserung der Gewässergüte ausüben. Das ist also sehr positiv zu sehen. Ich habe eine Frage: Sie haben bei den Kleingewässern Bilder gezeigt, die ganz

erhebliche Sohlsicherungsmaßnahmen vorgesehen haben und ausweisen. Sind die ökologisch und auch ökonomisch sinnvoll? Ist es denn nicht billiger, eventuelle Schäden nachher zu ersetzen, also Leistungen dann zu erbringen, wenn Schäden eingetreten sind? Wäre es nicht wesentlich günstiger, weniger Zwangsmaßnahmen in die Sohle hineinzugeben. Etwas symptomatisch dafür, daß offenbar Naturschutz immer noch viel Geld kosten muß, sind z. B. die Bäumchen, die angepflanzt sind. Alle Bäumchen erhalten einen Stab und Anbindung. Das ist alles nicht notwendig, die Bäume wachsen auch so. Die kommen auch von alleine. Es ist immer noch der Geist dabei: es muß was kosten, damit es was ist.

Herr Kern:

Das Thema Sohlsicherungen in meinem ersten Beitrag fiel vorhin ad hoc den Kürzungen zum Opfer, die schriftliche Fassung wird diesen Abschnitt enthalten. Sohlsicherungen sind ein sehr schwieriges Kapitel. Den Seitenschurf brauchen wir unbedingt für die Gewässerdynamik. Ein Gewässer, das in Jahrzehnten erodiert, ein solches Phänomen ist auf anthropogene Einflüsse zurückzuführen. Die Erosions- und Akkumulationsvorgänge in Gewässern geschehen auf natürliche Weise in geologischen Zeiträumen. Wir können vom Standpunkt des Ökosystemschutzes her eine Tiefenerosion nicht zulassen, denn dabei wird ständig entweder die Sohle von Geschiebe freigeräumt (z. B. entspricht nackter Lehmuntergrund nicht dem Gewässer in Natura) oder das Sediment wird in tieferen Schichten ständig bewegt, was auch nicht der Fall wäre in natürlichen Ökosystemen. Ein Patentrezept dazu gibt es nicht. Wir können einerseits eine Sohldeckschicht aufbringen, dies ergibt einen Abpflasterungseffekt ähnlich dem in der Natur durch eine sortierte Kornbewegung. Die größeren Körner bleiben an der Oberfläche liegen. Dadurch kann eine Gewässersohle bis zu einem gewissen Grenzabfluß stabil bleiben. Diese Sohldeckwerke müssen allerdings so beschaffen sein, daß sie in etwa der natürlichen Sohle in der Kornzusammensetzung entsprechen. Das ist eine völlig neue Fragestellung und dazu existieren kaum Erfahrungen und somit keine sicheren Dimensionierungen; hier liegt ein Forschungsbedarf.

Ein Projekt, bei dem ähnliches gemacht wurde, wäre der Holzbach. Dr. Otto, der dieses Projekt wesentlich betreut und geplant hat, ist hier im Saal anwesend. Sie können sich mit ihm gern mal kurzschließen. Herr Gebler wird nachher auch noch über Sohlgleiten und Sohlrampen als punktuelle Sicherungen sprechen. Solche Bauwerke entsprechen in aller Regel nicht dem natürlichen Gewässertyp, sind aber oft ein notwendiges Übel, um der Erosion überhaupt Einhalt gebieten zu können. So sehen wir das übrigens auch an der Donau. Ich habe dieses Konzept mit 2 Sohlrampen gezeigt. Diese sind ein notwendiges Übel. Von Natur gab es dort keine solchen Sohlrampen, also Stromschnellen mit einem Höhenunterschied von 1,50 m, aber wir brauchen sie, um die übrigen Ziele zu erreichen.

Bäume pflanzen war das weitere Stichwort. Ich würde mir auch wünschen, daß wir soviel Geduld haben, die Sukzession abzuwarten. Bäume pflanzen müssen wir, weil es ansonsten 10 Jahre dauern kann bis z. B. Erlensamen tatsächlich auskeimen und hochkommen. Damit werden Schäden verringert und die Strukturen durch die Wurzel als sehr wichtige Biotopfunktion können sich entwickeln; so daß ich durchaus meine, daß man Gehölze pflanzen sollte. Auf alles andere sollte man verzichten, bis auf gewisse Bauweisen, über die wir noch sprechen.

Herr Lochmüller:

Es lassen sich auch die ökologischen Interessen nicht nur mit Entschädigungsfragen lösen. Ein gewisser Aufwand ist vom Träger der Unterhaltungslast an den Gewässern mit Rücksicht auf die Anlieger, auf die Bevölkerung und deren Interessen zu bringen.

Herr Scherle, Wasserwirtschaftsamt Karlsruhe:

Ich würde mir wünschen, daß zwei Grundsätze, die Sie vorhin genannt haben, Herr Kern, etwas aufgeweicht werden. Zum ersten, ab Gewässergüte III aufwärts sollten zwar alle Möglichkeiten der Verbesserungen versucht werden. Man sollte aber bei Gewässergüte III z. B. nicht sagen, wenn sie nicht zu verbessern ist, lehnt man eine Renaturierung ab. Und zwar deshalb, weil man in die Breite geht und wieder eine Aue schafft. Mit der Gewässerrenaturierung werden Landschaftselemente wieder geschaffen, die sich nicht nur auf den Wasserkörper und somit auf die Gewässergüte beziehen. Deshalb sollte man ab Gewässergüte III kompromißbereit sein.

Und zum zweiten, das Leitbild, das nach dem Sachverständigenrat auf die Kulturlandschaft bezogen ist.

Das halte ich in dieser puren Aussage für einen grundlegenden Fehler. Die Kulturlandschaft ist bei unserer heutigen Nutzung und Umwelt kein stabiles ökologisches Element, während ich einer Naturlandschaft, zumindest in dem Bereich Gewässer, mehr ökologische Stabilität zugestehen würde. Selbstverständlich sollen in einem naturlandschaftlich ausgebildeten Bachlauf auch kulturlandschaftliche Elemente eingestreut werden, um dem Artenschutz, der sich dominant auf Kulturlandschaft bezieht, entgegenzukommen. Aber das Gewässer nur auf kulturlandschaftliche Elemente auszulegen wäre, meiner Meinung nach, zu instabil.

Herr Kern:

Wir sind uns da einig. Ich habe das Leitbild nicht nur auf die Kulturlandschaft bezogen. Ein Faktor war der natürliche Gewässer- und Auenzustand aus der Urlandschaft vor menschlicher Besiedlung. Der zweite Punkt, der dazu kam, waren die nicht regenerierbaren Eingriffe, die am Standort zu finden sind. Und der dritte Punkt war dann diese Berücksichtigung der kulturhistorischen Landschaftsentwicklung. Alle drei Punkte gehören zusammen. Da sind wir uns einig.

Zur Gewässergüte, siehe auch die Antwort von Dr. Braukmann.

Herr Dr. Otto:

Naturgemäß, naturnahe. Ich hab vermißt, wodurch sich denn nun das Naturgemäße vom Naturnahen unterscheiden soll. Ich möchte dies präzisieren. Ein natürlich funktionierendes Gewässersystem, das auf natürliche Weise funktioniert und dynamisch stabil ist, ist u. a. durch sehr flache Profile, durch extrem ungleichförmige Profile gekennzeichnet. Die Varianz der Profiltiefe korreliert, wie Sie wissen, sehr eng mit der Artenvielfalt und ist zugleich Faktor für die hydraulische Retentionswirkung. Die freie Laufentwicklung, der Hochwasserabfluß in der Aue und nicht im Profil und die vernähten Auen machten die Natur eines Gewässers aus. Das zusammen ist alles das, was früher der Kulturwasserbau systematisch, aus gutem Grund, beseitigt hat. Wenn Sie darüber nachdenken, was man früher als Kulturwasserbau gemacht hat und das Gegenteil nehmen, müßten Sie eigentlich dahin kommen, was der naturgemäße Wasserbau oder naturgemäße Gestaltung ist.

Herr Kern:

Wir bauen naturgemäß, versuchen es zumindest und hoffen auf eine naturnahe Entwicklung.

---

### Vortrag von Frau Becker

---

Herr Dr. Otto:

Was glauben Sie, wenn Sie den Lauf so umgestalten, wie lange er, ohne daß der Bagger alle 10 Jahre wiederkehrt, so bleiben wird?

Frau Becker:

Nach jedem Hochwasser wird sich das Bett ändern. Das ist so gewollt. Die Wartungsarbeiten werden sich erhöhen, davon muß man ausgehen. Die ökologischen Verbesserungen haben ihren Preis.

Herr Dr. Otto:

Es ist zu befürchten, daß sich wieder ein Flußschlauch einstellt, also eine Gleichförmigkeit. Es ist in Ordnung, daß es sich verändert. Aber da Sie eine gleichförmige Rahmenbedingung schaffen, haben Sie oft den Trend zu einer Gleichförmigkeit, im Gegensatz zu dem, was Sie jetzt vorhaben.

Frau Becker:

Die Gleichförmigkeit wird sich nicht einstellen, weil Sicherungsmaßnahmen an örtlich hydraulisch stark beanspruchten Stellen keine geradlinige Entwicklung zulassen, auch nicht durch Anlandung. Diese Maßnahmen sollen nach der Umgestaltung weiter beobachtet werden.

Herr Scherle:

Werden Modellversuche über längere Zeit gefahren, wo überprüft wird, ob sich aus dem Impuls des Mäanders ein mehr oder weniger stabiles Mäandersystem entwickelt, das sich zwar geringfügig umlagert, das aber in sich den Trend zu mäandrieren hat?

Frau Becker:

Anfangs habe ich gesagt, daß diese Modellversuche mit unbeweglichem Flußbett ausgeführt werden, d. h. solche Veränderungen sind nicht Gegenstand der Modellversuche. Hier müßten Langzeitversuche gefordert werden, um diese Tendenzen zu untersuchen. Man kann aufgrund der Geschwindigkeitsmessung sagen, in diesen Bereichen hab ich Stillwasserbereiche oder niedrige Geschwindigkeiten, hier wird sich in absehbarer Zeit eine Anlandung entwickeln.

Herr Kern:

Es gibt eine ganze Reihe Modellversuche zur Mäanderentwicklung. Hier wurden Gerinne mit einer bestimmten Kornstruktur vorgegeben. Man hat dann beobachtet, was sich im weiteren Verlauf ergibt. Wenn man ein konkretes Gewässer modelltechnisch simulieren will, kommt man in große Schwierigkeiten, denn man muß den Geschiebetransport eichen können. Hierzu gibt es keinerlei Eichdaten und weitere modelltechnische Probleme mit Korngröße und Maßstab. Deshalb haben wir diese Überlegungen aufgegeben und sind auf Modelle mit fester Sohle übergegangen, um dann über einfache Abschätzungen das Erosionsverhalten und die notwendigen Sicherungsmaßnahmen bewerten zu können.

Herr Dr. Westrich:

Es wird entscheidend sein, welche Jährlichkeit der bordvolle Abfluß haben wird. Bei Hochwasserabfluß in parallelen Vorländern dominiert dies gegenüber der mäandrierenden Struktur im Mittelwasserbett. Hinzu kommt der Feststofftransport; für mich ist es nicht ganz einsichtig, auch wenn Sie noch keine Naturmessungen haben, daß Sie ein Modell bauen, ohne den Versuch zu machen, Geschiebe einzubauen und damit das Transportverhalten qualitativ zu studieren. Ich will damit die Bedeutung des Feststofftransportes und die Dynamik des Hochwasserabflusses unterstreichen.

Herr Kern:

Wir haben Auflandungsversuche durchgeführt mit Sägemehl. Damit kann man qualitativ feststellen, in welchen Bereichen sich voraussichtlich Anlandungen ergeben. Sie kennen die Versuche, die bei Prof. Vollmers laufen; es gibt große modelltechnische Schwierigkeiten. Wir konnten im Rahmen dieser Versuche solche Untersuchungen nicht vornehmen; das war wegen des Aufwandes nicht möglich. Wir müßten dazu Forschungsprojekte in Gang setzen und wir haben zur Sedimentbewegung bei der DFG jetzt einen solchen Forschungsantrag laufen.

---

## Vortrag von Herrn Hauck

---

Frau Z e h :

Herr Hauck, ich habe mich sehr gefreut, daß Sie so viele ingenieurbioologische Bauweisen erwähnt haben; aber Sie haben nicht die kombinierten Verfahren erwähnt. Es gibt ja eine ganze Menge Kombinationen von Pflanzen mit einigen Hilfsstoffen, die uns erlauben, auch in Wildbächen Lebendbauten weit rauf bis in die Gebirge durchzuführen und da wäre es vielleicht ganz gut, wenn Sie das kurz ergänzen könnten.

Herr H a u c k :

Zur ersten Frage, kombinierte Bauweisen. Wir stellen uns vor, daß das Bauwerk Ufersicherung immer eine Kombination verschiedener Bauweisen ist. Beispielsweise die Böschungsfußsicherung: Variante vorübergehende Sicherung mit Tot- oder Lebendbaustoffen, ich hatte Ihnen das Beispiel des aus ausschlagfähigen Weiden gebildeten Flechtzaunes genannt. Für vorübergehende Böschungssicherung ist zum Beispiel die Weidenspreitlage oder die Fichtenspreitlage eine Kombination mit der Bauweise Gehölzpflanzung. Unsere Intention war gewesen, diese einzelnen Bausteine herauszuarbeiten, herauszustellen in ihrer Eigenheit und dann die Kombination den Anwendern zu überlassen.

Herr D r. W a g n e r, Bezirksstelle für Naturschutz Stuttgart:

Herr Hauck, Sie hatten einige Dias gezeigt von einem kleinen Bach, der auf der einen Seite im Wald verlief und ich hatte den Eindruck, auf der anderen Seite war eine ungenutzte Wiese und hier waren die Ufer intensiv gesichert. Ich frage mich, ist es wirklich notwendig an solchen Stellen?

Herr H a u c k :

Die Frage ist berechtigt. Ich habe eigentlich darauf gewartet, daß sie gestellt wird. Die Ufersicherung, die ich in diesem Beispiel gezeigt habe, ist gestellt. Wir wollten kalkulieren: d. h. wie lange brauchen die Leute, wieviel Stunden Baggereinsatz benötigen wir. Ein Demonstrationsobjekt sozusagen.

---

## Vortrag von Herrn Ness

---

Herr S c h u l z von der Arbeitsgemeinschaft für Fischökologie in Langenargen:

Ich möchte erst Herrn Ness zu seinem Vortrag gratulieren; er ist von der Form her hervorragend. Aber ich möchte anmerken, daß viele Fischereibiologen, die ich kenne, mit den Inhalten überhaupt nicht einverstanden sind. Dabei geht es mir speziell um folgendes: Der Ausgangspunkt

Ihres Auswertungsverfahrens ist die Feststellung der potentiellen Fischfauna eines Gewässers und Sie sind recht nonchalant über eine Schwierigkeit hinweggegangen, die jeden Fischereibiologen beschäftigt: die Autökologie der Arten. Sie haben gesagt, die Autökologie der Arten, die hier in Deutschland vorkommen, ist bekannt. Wenn man das so vereinfachend darstellt, ist es schlicht und einfach falsch. Von daher bin ich der Meinung, daß die Vorstellung einer potentiellen Fischfauna eines Gewässers nicht haltbar ist oder zumindest zu einem großen Grad der Spekulation unterworfen ist. Diesen Spekulationsansatz unterziehen Sie danach aber einer sehr eingehenden mathematischen Behandlung und das halte ich unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten nicht für haltbar.

Herr N e s s :

Diese Beurteilung der Fischfauna bzw. des Natürlichkeitsgrades fußt auf Erfahrungen, die wir an diesen speziellen Gewässern gemacht haben. Ich gebe Ihnen vollkommen recht und hatte da eben in dem Vortrag auch schon darauf hingewiesen, daß der Knackpunkt die Festlegung dieses potentiell natürlichen Zustandes und damit eben auch die Festlegung der potentiell natürlichen Fauna ist. Ich hatte auch darauf hingewiesen, konnte das angesichts der Zeitknappheit nicht intensiv ausführen. Ich werde gerne erläutern, wie man diesen Zustand ermittelt. Einen ersten Punkt hatte ich ausführlich genannt und der war bei diesen Gewässern im Regelfall auch derjenige, auf den ich mich bezogen hatte: dies sind naturnahe Vergleichsstrecken in der Gegend. Ihnen ist sicherlich mein Bericht bekannt, so daß ich voraussetzen kann, daß Sie auch festgestellt haben, daß diese Strecken jeweils explizit vermerkt sind. Wenn die Fischfauna anderweitig eingeschätzt wurde, habe ich explizit darauf hingewiesen, warum ich der Meinung bin, und ich gebe zu, das kann umstritten sein, daß bestimmte Arten da vorkommen oder nicht vorkommen können. Wir haben uns nicht nur auf diesen Datensatz beschränkt, sondern dazu im Moment umfangreiche Untersuchungen zur Typologie dieser Gewässer laufen. Wir hatten die Möglichkeit, im Odenwald Erfahrungen an diesen Gewässern und an dieser Einstufung zu erfassen. Wir haben dort mittlerweile 131 Probestellen nach diesem Verfahren vorher abgecheckt, die potentielle Fischfauna prognostiziert und dann befischt und, ich kann Sie beruhigen, die Korrelationen sind so, daß alles, was sich daran anschließt, aufrechtzuerhalten ist. Die Clusteranalyse, die ich danach gezeigt hatte, hat mit der eigentlichen Bewertung nichts zu tun, d. h. dies und die Hauptkomponentenanalysen in meinem Bericht dienen zur Untermauerung genau dieser Frage, die Sie gestellt haben, ob sich eine potentiell natürliche Fischfauna trotz der teilweise recht mangelhaften Kenntnis einzelner Arten aufstellen läßt. Zur einführenden Feststellung von Ihnen, daß viele Fischereibiologen in Baden-Württemberg diese Einstufung nicht akzeptieren, möchte ich feststellen, daß ich bisher von keinem, mit denen ich mich ausführlich auseinandersetzen konnte, grundsätzliche Kritik erfahren habe.

Herr Schulz:

Ich gebe Ihnen recht, daß Ihr Verfahren auf Gewässer anzuwenden ist, die relativ klein sind. Glauben Sie, daß Ihr Verfahren bei Gewässern anwendbar ist, das in einem relativ kurzem Abschnitt eine Artenzahl von ca. 20 Fischarten beinhaltet?

Herr Ness:

Das kann ich nicht beurteilen. Mir fehlen Erfahrungen an diesen Gewässertypen und es erscheint mir auf jeden Fall deutlich schwieriger, weil dort größere Wanderungen von Fischarten zu berücksichtigen sind; d. h. die potentielle Fischfauna eines 100 m langen Abschnittes im Rhein ist sicherlich extrem wechselhaft. Dort glaube ich, ist dieses Verfahren nicht anwendbar. Für die Bewertung der kleinen Gewässer, und ich würde Gewässer bis zu einer Breite von 5–10 m als klein bezeichnen, glaube ich, ist dieses Verfahren geeignet. Im Bereich größerer Gewässer, also von Flüssen ab der Barbenregion, in der Brachsenregion, fehlen mir die notwendigen Erfahrungen. Ich nehme aber an, daß es dort nicht funktionieren wird.

---

### Vortrag von Herrn Dr. Braukmann

---

Frau Zeh:

Ich möchte noch die Begrenzung der Revitalisierung auf die Gewässergüteklasse II ansprechen. Dies leuchtet mir absolut nicht ein; ich bin der Auffassung, alle Gewässer haben darauf Anspruch, gleichgültig welche Gewässergüteklasse sie haben.

Herr Dr. Braukmann:

Aus der Sicht des aquatischen Organismus ist es, abgesehen von ganz extremen Fällen, relativ belanglos, ob das Gewässer, in dem es sich befindet, ausgebaut ist oder nicht, solange die Belastung ein erhebliches Maß überschreitet. Und ich habe vorhin bei meinem Vortrag gesagt, daß ich der Meinung bin, daß die Gewässergüteklasse II-III sehr wohl noch tolerabel ist. Es ist aber auf jeden Fall sinnvoll, bei denjenigen Gewässern mit einer Optimierung des Zustandes zu beginnen, bei denen sich die Gewässerqualität in dem besseren Bereich befindet, weil es sich dort am meisten lohnt. Ich sage nicht, man darf stärker belastete Gewässer nicht renaturieren. Es geht zunächst darum, möglichst optimal vorzugehen und sowohl ökologisch als auch ökonomisch, d. h. kostengünstig, eine Verbesserung des Zustandes herbeizuführen.

Herr Dr. Wagner, BNL Stuttgart:

Ich hätte zu den Bewertungsmaßstäben eine Frage in eine ähnliche Richtung wie die vorhin an Herrn Ness gestellte. Wenn ich es richtig verstanden habe, sagten Sie, daß für Sie die Artenvielfalt und Individuenhäufigkeit eine Rolle spielt. Zählt nun ganz pauschal nur die Arten-

vielfalt oder beziehen Sie sich auf den potentiell natürlichen Zustand, und wenn Sie sich dann auf die potentiell natürliche Situation beziehen, dann ist wieder die Frage, woher nimmt man bei den vielen Einflußfaktoren, die auf die Besiedlung eine Rolle spielen, dann die Aussage und die Sicherheit zu sagen, die und die müßten eigentlich da sein?

Herr Dr. Braukmann:

Die Sicherheit habe ich nicht und ich habe auch mich bemüht, dies nicht zur Schau zu stellen. Ich habe darauf hingewiesen, daß es außerordentlich schwierig ist, über den naturnahen oder natürlichen ökologischen Zustand unserer Fließgewässer Aussagen zu treffen. Da gibt es leider herzlich wenig Informationen darüber, weil man es bisher nicht für nötig gehalten hat, das was scheinbar selbstverständlich ist, genauer unter die Lupe zu nehmen. Deshalb gibt es einen sehr großen Kenntnismangel diesbezüglich und mir liegt es fern, so zu tun, als wisse man da etwas und könne ohne weiteres weitschweifende Prognosen stellen. Ich warne im Gegenteil davor, dies zu tun. Ich habe auch nicht behauptet, daß die Artenvielfalt das Maß aller Dinge sei. Das wäre auch nicht richtig, denn es gibt sehr wohl natürliche Fließgewässer in bestimmten Gegenden, die von Natur aus artenarm sind.

Also es ist nicht so, daß die Artenzahl das Maß aller Dinge sei, sondern sie ist eine von mehreren Größen, die man zur Bewertung von ökologischen Zuständen oder ökologischen Verbesserungen verwenden und heranziehen kann.

Herr Schmidt, Institut Dr. Jäger, Tübingen:

Auch auf die Gefahr hin, daß jetzt eine Thematik wiederholt wird, haben Sie mit Gewässerrenaturierungen und Gewässergüte doch ein Reizthema angesprochen. Ich will jetzt noch einen Punkt ansprechen, der meines Erachtens bisher noch gar nicht betrachtet wurde, nämlich die Selbstreinigungskraft der Gewässer. Ich könnte mir durchaus vorstellen, daß ein renaturiertes Gewässer eine größere Selbstreinigungskraft hat als eine Betonhalbschale. Wenn ich jetzt aus diesen Gesichtspunkten heraus argumentiere, dann würde ich sagen, ausgerechnet die stark belasteten Gewässer bedürfen sogar einer Verbesserung der Selbstreinigungskraft, damit evtl. Dinge, die von der Kläranlage nicht geschafft werden können, vielleicht im Verlauf einiger Kilometer wieder geschafft werden. Wie stehen Sie dazu? Gibt es Erfahrungen, oder können Sie Meßwerte oder dergleichen benennen?

Herr Dr. Braukmann:

Ich finde diesen Ansatz gefährlich. Unsere Fließgewässer dürfen nicht die Funktion von Kläranlagen übernehmen, auch nicht die Funktion von nicht ausreichenden Kläranlagen, das ist ganz deutlich festzustellen. Das anfallende Abwasser muß möglichst an der Quelle reduziert werden und darf unsere Gewässer nicht belasten. Der zweite Teil Ihrer Frage zielt auf Untersuchungsergebnisse über die ominöse Selbstreinigungskraft, die sicherlich in be-

stimmter Form vorhanden ist. Da gibt es sehr wenige fundierte und stichhaltige Untersuchungen darüber, in welchem Maße ein natürliches, morphologisch vielfältig strukturiertes Gewässer eher zu einer Selbstreinigung beiträgt als ein monotones, naturfernes Gewässer und ich möchte mich an weiteren Spekulationen diesbezüglich nicht beteiligen. Man sollte die Fähigkeit zur Selbstreinigung nicht unnötig in Anspruch nehmen und strapazieren.

Herr **F r a n k**, Ulm, Laboratorium für angewandte Biologie:

Die mikrobielle Belastung stellt auch einen ökologischen Zustand dar, der leider bei den meisten Fließgewässern inzwischen als sehr schlecht zu beurteilen ist. Und da Fließgewässer für die Erlebnisfunktion Leben mit dem Wasser, am Wasser eine wichtige Bedeutung haben, ist meine Frage: Wie können Sie sich eine Berücksichtigung der mikrobiologischen Zustände in Fließgewässern in einer ökologischen Bewertung vorstellen?

Herr **D r. B r a u k m a n n**:

Das ist eine Frage, die ich nicht so leicht beantworten kann. Ich gebe Ihnen recht, daß dieser Aspekt der Gewässerbewertung sehr stark vernachlässigt wird. Aber ich bin auch da der Meinung, daß man mit einer guten Klärung der Abwässer einiges zum Gewässerschutz beitragen kann und die Gewässer möglichst nicht diesbezüglich belasten sollte. Wie eine mikrobielle Bewertung oder die Hereinnahme von mikrobiologischen Aspekten in eine generelle Gewässergütebewertung von statten gehen könnte, kann ich hier aus dem Stand nicht sagen. Ich fände diesen Aspekt durchaus überlegenswert, aber ich kann hier kein Patentrezept liefern. Sie sollten zumindest bei Gewässern, die güttemäßig nach wie vor Brennpunkte sind, und ganz wesentlich bei stehenden Gewässern, für die ich aber nicht zuständig bin, stärkere Berücksichtigung finden.

---

### Vortrag von Herrn Dr. Konold

---

Herr **W o l f**, Regierungspräsidium Tübingen:

Sie haben in Ihrem Vortrag den Begriff Potentialanalyse verwandt. Könnten Sie bitte diesen Begriff etwas erläutern.

Herr **D r. K o n o l d**:

Ich habe den Begriff verwandt im Zusammenhang mit dem Bodenwasserhaushalt, der möglicherweise aus den Infrarotluftbildern bewertet werden kann. Es ist meines Erachtens ein Begriff, der beschreibt, daß in einer Landschaft ein ganz bestimmtes Potential stecken kann bzgl. eines differenzierten Bodenwasserhaushaltes. Dies wird

erst dann offensichtlich, wenn beispielsweise eine Flächenextensivierung stattfindet. Durch intensive Bewirtschaftung wird sehr viel nivelliert in der Landschaft, auch geomorphologische Unterschiede, Bodenwasserhaushaltsunterschiede werden nivelliert und wenn man eine Extensivierung durchführt, kommt dies wieder stärker in den Vordergrund. Man könnte den Begriff auch übertragen auf fließende Gewässer, indem man z. B. sich beschränkt auf eine morphologische Kartierung von Gewässern und feststellt, in dem abotischen Teil eines Gewässers steckt sehr viel Potential. Wenn beispielsweise die Gewässergüte schlecht ist, habe ich trotz allem ein relativ großes Potential an Besiedlungsflächen in einem Gewässer. Also ich verstehe den Begriff als etwas, was man aus einer Fläche oder aus einer Struktur herauslocken kann.

---

### Vortrag von Herrn Gebler

---

Herr **W e l t i n**, Landesfischereiverband:

Ich wüßte gern von Ihnen, ob Sie bei Ihren Modellen zu Sohlrampen auch die jahreszeitlich unterschiedlichen Wanderungsbedürfnisse der Lebewesen berücksichtigen; d. h. können Sie mit Ihren Überlegungen verhindern, daß diese Sohlrampen das gleiche Schicksal erleiden wie die meisten Fischtreppe? Dort fließt dann, wenn die Fische wandern sollten, zu wenig Wasser.

Herr **G e b l e r**:

Hierzu muß man eindeutig sagen, wenn kein Wasser fließt, habe ich auch keine Durchgängigkeit. Das ist bei Fischtreppe dasselbe wie bei Sohlstufen. Besonders gravierend ist diese Problematik bei Ausleitungsstrecken. Hier ist auch von seiten des Umweltministeriums beabsichtigt, zukünftig einen Mindestabfluß in den Ausleitungsstrecken festlegen zu können. Und hier kann man nur versuchen, durch eine Strukturvielfalt in dem Gewässer, wo also auch tiefere Gumpen vorhanden sind, wohin sich die Gewässerfauna notfalls kurzfristig bei Austrocknung zurückziehen kann, eine gewisse Abhilfe zu schaffen.

Herr **S c h e r l e**, WWA Karlsruhe:

Bei offenen, nicht gedichteten Sohlrampen, gerade wenn die Steine 3- bis 4lagig liegen, tritt eine Durchströmung dieses Steinkörpers auf. Und wenn diese Durchströmung zu groß ist, ist bei Niedrigwasser keine Überströmung mehr vorhanden. Man müßte hier noch das Problem der Abdichtung lösen, um auch bei möglichst geringen Abflüssen noch eine Überströmung zu bekommen.

Herr **G e b l e r**:

Das ist ein Problem, das gerade bei Sohlrampen bei extremen Niedrigwasserabflüssen und einem relativ großräumigen Lückensystem immer wieder auftaucht. Die Erfah-

rung hat aber gezeigt, daß es nicht so problematisch ist wie es zunächst scheint. Sie haben vielleicht noch dieses Bild in Erinnerung von der Donaurampe. Bei niedrigem Abfluß erfolgt der Hauptabfluß nur in der Bootsgasse; trotzdem waren zwischen den Steinen die Steinlücken durchströmt, obwohl die Steine bei 1,2 m Höhe ein relativ großes Lückensystem aufwiesen. Es wird vielfach so sein, daß sich dieses Lückensystem nach einer gewissen Zeit teilweise zusetzen wird und wir evtl. auch nachhelfen können, indem wir zwar nicht die ganzen Lücken verfüllen, aber zumindestens etwas Feinmaterial einschwemmen.

Herr Dr. Konold:

Eine Frage eines Naturwissenschaftlers an einen Bauingenieur. Sie haben diese Sohlrampen gezeigt, zum einen die lockere Bauweise und dann die Schlichtbauweise. Bei der lockeren Bauweise war der Untergrund unter der Rampe irgendein gepunktetes gerastertes Substrat. Wie sieht das in Wirklichkeit aus? Sie haben einen Höhenunterschied zu überwinden zwischen Oberwassersohle und Unterwassersohle und wie sieht das zwischendrin aus? Wird irgendwelches spezielle Material angefüllt oder wird unten mit Beton ausgekleidet? Wird die Rampe selbst bei dieser lockeren Bauweise noch in irgendeiner Weise gesichert durch Spundwände oder ähnliches und zwar am oberen Ende der Rampe und am unteren Ende der Rampe? Wenn man nur schüttet, hält das wohl nicht?

Herr Gebler:

Die Bettung dieser lockeren Bauweise ist so, daß die Sohle etwas gereinigt wird von Feinmaterial. Wenn dann das anstehende Sohlmaterial relativ grobkiesig ist und so verhindert werden kann, daß das Feinmaterial durch die Lücken der Steine ausgeschwemmt werden kann, was zu einer Zerstörung der Rampe führen kann, dann kann man das auf das anstehende Sohlmaterial betten. So ist es z. B. an den Argenrampen gemacht worden. Ist es aber relativ feinkörniges Material, so ist ein Filter, der auch als Arbeitsschicht gilt, einzubauen. Das geschieht dann meist mit Bruchsteinmaterial feinerer Art. Zu den Spundwänden. Die Stabilität dieser Schüttsteinrampe beruht auf der Stabilität des Einzelsteines. Die Steinstabilität ist nicht der maßgebende Faktor. Für die Zerstörung der Rampe treten andere Mechanismen in Kraft, z. B. starke Auskolkung im Unterwasser, so daß das Material nachrutscht und dies langsam zur Zerstörung der Rampe führt. In der Praxis ist zu beobachten, daß diese Kolkwirkung bei Unterwasserspundwänden stärker zutage tritt, als wenn wir einen allmählichen Übergang der Steinschüttung in das Fließgewässer haben. Das ist auch hydraulisch begründbar. Wir haben ein starres Bauwerk als Abgrenzung, anschließend das Sohlmaterial oder eine Steinschüttung. Das Sohlmaterial wird sich etwas setzen. Daraus ergibt sich ein Absatz zwischen Spundwand und Unterwassersohle. Die Wirkung der abgelösten Walze wird zu Auskolkung führen, die sich immer tiefer einarbeitet. Deswegen hat sich bewährt, einen allmäh-

lichen Übergang, evtl. mit einer massiveren tiefgegründeten Dammfußsicherung in das Unterwasser, zu schaffen. Ich kann als Beispiel die Vils in Bayern bei Passau nennen. Dort hatte man mit der alten Bauweise immense Probleme. Hier sind Kolke von bis 6 Metern Tiefe entstanden, wo nach jedem Hochwasser Tausende Kubikmeter abgetragen wurden. Dort hat man die Bauweise geändert. Die Elastizität dieses Bauwerks, das ein bißchen nachrücken, sich setzen kann, ist von Vorteil. Wenn irgendwann die Höhe nicht mehr ausreicht, kann es nachgebessert werden.

Herr Dr. Gäbler, Umweltministerium Schleswig-Holstein:

Ist das letzte nicht eine Frage des Geschiebetriebes, oder anders gefragt, kann man diese Blocksteinrampen erstellen bei Flüssen, die keinen natürlichen Geschiebetrieb haben? Im übrigen wäre so ein Kolk im Unterwasser ja etwas sehr Gutes; eine Art Tosbecken, das den Wechselsprung erzwingt und die erosive Wirkung des gewellten Abflusses verhindern würde. Aber das ist alles zweitrangig, wenn man einen geschiebeführenden Fluß hat.

Herr Gebler:

Es wäre positiv, hier einen Kolk zu haben, solange dies die Stabilität des Bauwerkes nicht in Frage stellt. Bei feinkörnigem Material kann ich zum Beispiel die Standfestigkeit der Rampen an der Murr anführen. Dort ist ein sehr erosiver Talraum vorhanden. Wer die Murr vor diesem ökologischen Ausbau kennt, der weiß, daß hier immens tiefe Kolke und Böschungsabbrüche auftraten, die durch diesen ökologischen Ausbau und u. a. auch durch diese Blocksteinrampen eingegrenzt werden konnten.

Herr Dr. Westrich:

Unabhängig von der Geschiebeführung des Flusses benötigen Sie in jedem Falle eine Unterbettsicherung. Denn Sie wissen nicht genau, wann der Geschiebetrieb kommt; gerade diese Nachbettsicherungen sind unheimlich teuer. Sie betragen etwa die Hälfte der Gesamtkosten. In der Regel ist, um eine grobe Zahl zu nennen, eine Nachbettsicherung vorzusehen, die der Länge des Rampenbauwerkes entspricht. Diese sehr starke Sohlsicherung in Form eines natürlichen Kolkes muß vorgesehen werden, um ein Wasserpolster zu erzeugen, das eine möglichst rasche Energieumwandlung sicherstellt. Die Energieumwandlung auf der Rampe ist überraschend gering. Sie beträgt nur 40–60 %, weitgehend unabhängig davon, ob Niedrigwasser oder Hochwasser abfließt, d. h. die restlichen 40 % der Strömungsenergie sind im Nachbett umzuwandeln. Hierfür ist eine ausreichende Sicherung vorzusehen, sonst treten unkalkulierbare Auskolkungen auf und das kann die Standsicherheit des Bauwerks beeinträchtigen; auch bei Spundwandsicherung.

Herr Gebler:

Ich kann Herrn Dr. Westrich da nur zustimmen.

Herr D r . B e r g , Fischereiforschungsstelle des Landes:

Wir sehen durchaus einen Gewinn in einer derartigen massiven Bauweise mit rauhen Rampen. Denn uns ist eine raue Rampe, die vielleicht einige Tage im Jahr kein Wasser führt und nur dann den Fischaufstieg verhindert, wesentlich lieber, als ein Fischpaß oder eine Fischtreppe, die 365 Tage im Jahr verstopft und untauglich ist. Und wenn Sie mal in Mittelgebirge oder Gebirge gehen und einen natürlichen Bach anschauen, der unbeeinflusst ist, so werden Sie feststellen, daß es dort Strecken gibt, die über einige Tage im Jahr nicht durchströmt und nicht durchflossen und damit für Fische nicht durchwanderbar sind; von daher sehe ich absolut kein Handicap. Ich sehe ein anderes Problem. Herr Gebler, wie sehen Sie den Wasserbedarf für einen mittelgroßen Durchschnittsfluß, um derartige Fischpässe überhaupt realisieren zu können? Ich denke hierbei an die Studie des Wirtschaftsministeriums von 1987, wo ermittelt wurde: welches Wasserkraftpotential haben wir noch, wo können wir noch überall Kraftwerke hinbauen. Es steckt zwar nicht mehr Energie dahinter als bei einem mittelgroßen Kohlekraftwerk, aber dafür kann man ruhig die Flüsse zupflastern. Wenn wir dies im Hinterkopf haben, dann ist die Frage, was ist hier an Ausgleichsmaßnahmen möglich? Wieviel Restwasser brauchen wir? Sind derartige Lösungen, wie Sie sie hier skizziert haben, überhaupt noch realisierbar? Nachdem das Umweltministerium die Fahne etwas hoch gehalten hat für diese Kleinkraftwerke, möchte ich hier doch noch einmal nachhaken.

Herr G e b l e r :

Ich möchte folgendes ergänzen: Grundsätzliche Zielsetzung sollte sein, eben die Querbauwerke an sich durchgängig zu gestalten. Erst wenn dies aus irgendwelchen Gründen nicht möglich ist, sollten wir diese sogenannten Fischaufstiege als getrennte Bauwerke errichten. Das ist ein wichtiger Punkt, den auch Herr Dr. Berg hier erläutert hat. Ein weiterer Vorteil von solchen Rampen, den man vielleicht auch nicht unterschätzen sollte, ist, daß sie geeigneten Lebensraum für typische Fließgewässerorganismen bieten, woran es uns in erster Linie mangelt. Ich könnte mir durchaus vorstellen, daß gerade solche rauhen Rampen mit einer vielfältigen Fließstruktur für extrem strömungsliebende Arten auch als Lebensraum genutzt werden. Zur letzten Frage: wieviel Wasser braucht ein durchschnittlicher Fluß für einen Fischaufstieg? Das ist sehr schwierig zu beantworten. Für einen Fischaufstieg als getrenntes Bauwerk sollten das mindestens 250 l/s sein. Für einen Fischaufstieg, den man als raue Rampe gestalten will, ist es wesentlich mehr.

Herr K e r n :

Noch eine Bemerkung zur Wasserkraftstudie. Vor Ihnen steht der Verfasser dieser Studie. Diese Potentialstudie über das nutzbare Wasserkraftpotential des Landes Baden-Württemberg hat ergeben, daß es sich nicht lohnt, die kleinen Wasserkraftwerke in Baden-Württemberg bis zum letzten Prozentpunkt auszunützen. Wir müßten die gesamte Landschaft zubauen, und das will niemand von uns.