

# **Kosten-Wirksamkeitsanalyse für Gewässerstrukturmaßnahmen in Hessen**

## **Endbericht**

**Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovations-  
forschung (ISI), Karlsruhe**

**Juni 2001**

**Thomas Hillenbrand**

**Joachim Liebert**

**unter Mitarbeit von**

**Eberhard Böhm**

**Annette Roser**

**Martina Lechner (Designal, Karlsruhe)**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>6</b>
<b>2. Die typischen Gewässerstrukturgütedefizite in Hessen .....</b>	<b>8</b>
2.1 Analyse der Beispielindikatoren des Hauptparameters 'Laufentwicklung'	9
2.1.1. Natürlicher Zustand: .....	9
2.1.2. Heutiger Zustand .....	10
2.1.3. Auswirkungen des Defizits.....	12
2.2 Analyse der Beispielindikatoren des Hauptparameters 'Längsprofil' .....	12
2.2.1. Natürlicher Zustand .....	12
2.2.2. Auswirkungen des Defizits.....	15
2.3 Analyse der Beispielindikatoren des Hauptparameters 'Querprofil' .....	15
2.3.1. Natürlicher Zustand .....	15
2.3.2. Auswirkungen des Defizits.....	18
2.4 Analyse der Beispielindikatoren des Hauptparameters 'Sohlenstruktur' .....	18
2.4.1. Natürlicher Zustand .....	18
2.4.2. Auswirkungen des Defizits.....	20
2.5 Analyse der Beispielindikatoren des Hauptparameters 'Uferstruktur' .....	21
2.5.1. Natürlicher Zustand .....	21
2.5.2. Heutiger Zustand .....	21
2.5.3. Auswirkungen des Defizits.....	23
2.6 Analyse der Beispielindikatoren des Hauptparameters 'Gewässerumfeld'	23
2.6.1. Natürlicher Zustand .....	23
2.6.2. Heutiger Zustand .....	24
2.6.3. Auswirkungen des Defizits.....	24
2.7 Gliederung und Aggregation der Strukturdefizite .....	25
2.8 Zusammenfassung der Strukturgütedefizite in Hessen .....	28
<b>3. Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerstrukturgüte .....</b>	<b>30</b>
3.1 Zielvorgaben-Konzeption in Hessen .....	30
3.2 Grundprinzipien der Gewässerrenaturierung.....	31
3.3 Festlegung möglicher Renaturierungsansätze .....	32
3.4 Definition und Beschreibung der Renaturierungsansätze .....	32
3.4.1. Gewässerbettmodellierung (Morphologische Umgestaltung).....	32

3.4.2.	Dynamische Gewässerentwicklung mit unterstützenden wasserbaulichen Maßnahmen .....	33
3.4.3.	Eigendynamische Gewässerentwicklung durch modifizierte, extensive Gewässerunterhaltung.....	34
3.4.4.	Gewässerbettaufweitung.....	35
3.4.5.	Lineare Sohlenanhebung .....	35
3.4.6.	Herstellen der linearen Gewässerdurchgängigkeit .....	36
3.4.7.	Verbesserung der Ufer- und Sohlenstrukturen .....	37
3.5	Gewässerspezifische Auswahl eines Renaturierungsansatzes.....	37
3.5.1.	Defizitbasierte Auswahl des Renaturierungsansatzes .....	37
3.5.2.	Randbedingungen basierte Auswahl des Renaturierungsansatzes .....	39
3.6	Entscheidungskriterien zur Einschätzung der Gewässerdynamik bzw. Entwicklungsfreudigkeit eines Gewässerabschnittes .....	40
<b>4.</b>	<b>Kosten-Wirksamkeitsbeziehungen der Renaturierungsansätze .....</b>	<b>46</b>
4.1	Bemerkungen zur Methodik .....	46
4.2	Datengrundlage.....	47
4.2.1.	Kostendaten .....	48
4.2.1.	Wirkungsdaten.....	50
4.3	Ergebnisse der Kosten-Wirksamkeitsanalyse.....	55
4.4	Fazit .....	58
<b>5.</b>	<b>Internetpräsentation ISAR .....</b>	<b>60</b>
5.1	Systemskizze zu den 'Defizit' - Internetseiten .....	61
5.2	Systemskizze zu den 'Renaturierungsansätzen' - Internetseiten .....	62
5.3	Systemskizzen zu den 'Interaktiven Analyse' - Internetseiten.....	63
<b>6.</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>69</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prozentuale Verteilung der primären und sekundären Belastungsfaktoren kleiner Fließgewässer (Strähle, 1996).....	6
Abbildung 2: Korrelation der Taxazahl des Makrozoobenthos und Artenzahl der Fischfauna mit der Gewässerstrukturgüte (verändert nach Haybach, 1995 sowie Schwevers und Adam, 1997 in Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz, 1999).....	7
Abbildung 3: Längszonierung eines Fließgewässers (HMULF, 1999b).....	9
Abbildung 4: Verteilung der Gewässertypen in Hessen.....	10
Abbildung 5: Ergebnisse der Gewässerstrukturgütekartierung in Hessen für den Einzelparameter 'Laufkrümmung'.....	11
Abbildung 6: Gewässertypenspezifische Beurteilung des Beispielindikators 'Laufkrümmung' in Hessen .....	11
Abbildung 7: Typische Formelemente eines Auebachs (Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz, 1999).....	12
Abbildung 8: Ergebnisse der Gewässerstrukturgütekartierung in Hessen für den Einzelparameter 'Strömungsdiversität' .....	13
Abbildung 9: Ergebnisse der Gewässerstrukturgütekartierung in Hessen für den Einzelparameter 'Tiefenvarianz' .....	14
Abbildung 10: Ergebnisse der Gewässerstrukturgütekartierung in Hessen für die Einzelparameter 'Querbauwerke' und 'Verrohrungen' .....	15
Abbildung 11: Ergebnisse der Gewässerstrukturgütekartierung in Hessen für den Einzelparameter 'Profiltyp' .....	16
Abbildung 12: Ergebnisse der Gewässerstrukturgütekartierung in Hessen für den Einzelparameter 'Profiltiefe' .....	17
Abbildung 13: Ergebnisse der Gewässerstrukturgütekartierung in Hessen für den Einzelparameter 'Breitenvarianz' .....	18
Abbildung 14: Ergebnisse der Gewässerstrukturgütekartierung in Hessen für den Einzelparameter 'Sohlenverbau'.....	19
Abbildung 15: Ergebnisse der Gewässerstrukturgütekartierung in Hessen für den Einzelparameter 'Substratdiversität'.....	20

Abbildung 16: Korrelation der Taxazahl des Makrozoobenthos mit der Sohlenstruktur (verändert nach Haybach 1995, in Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz, 1999) .....	21
Abbildung 17: Ergebnisse der Gewässerstrukturgütekartierung in Hessen für den Einzelparameter 'Ufergehölz' .....	22
Abbildung 18: Ergebnisse der Gewässerstrukturgütekartierung in Hessen für den Einzelparameter 'Uferverbau' .....	23
Abbildung 19: Ergebnisse der Gewässerstrukturgütekartierung in Hessen für den Einzelparameter 'Gewässerrandstreifen' .....	24
Abbildung 20: Strukturgüteverteilung in Hessen –Siedlungsbereiche.....	25
Abbildung 21: Strukturgüteverteilung in Hessen – freie Landschaft .....	26
Abbildung 22: Raum-Zeit-Modell der Gewässerentwicklung (Kern, 1994).....	40
Abbildung 23: Trendabschätzung der Entwicklungsfreudigkeit eines Gewässerabschnittes .....	44
Abbildung 24: Grobe Zuordnung der Tendenz der Entwicklungsfreudigkeit auf Basis der typisierten Gewässernachbarschaften in Hessen .....	45
Abbildung 25: Kostenbandbreiten der Beispielrenaturierungsprojekte in Hessen .....	49
Abbildung 26: Durchschnittliche Kostenbandbreiten der Renaturierungsansätze .....	50
Abbildung 27: Durchschnittliche Wirkungsbandbreiten der Renaturierungsansätze für den kurz- bis mittelfristigen Betrachtungszeitraum (1 – 20 Jahre) .....	51
Abbildung 28: Durchschnittliche Wirkungsbandbreiten der Renaturierungsansätze für die längerfristige Tendenz (> 20 Jahre).....	51
Abbildung 29: Durchschnittliche Kosten-Wirksamkeitsbandbreiten der Renaturierungsansätze für einen kurz- bis mittelfristigen Zeitraum sowie eine langfristige Prognose.....	55

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der ausgewählten Beispielindikatoren .....	8
Tabelle 2: Übergeordnete und untergeordnete (abhängige) Strukturdefizite bzw. - parameter.....	27
Tabelle 3: Ergebnisse der GESIS-Kombinationsabfrage zu den Einzelparametern 'Regelprofil', 'beidseitiger Uferverbau' und 'Sohlenverbau' .....	28
Tabelle 4: Ergebnisse der GESIS-Kombinationsabfrage zu den Einzelparametern 'Gewässerrandstreifen' und Ufergehölz' .....	28
Tabelle 5: Zuordnung der Renaturierungsansätze zu den identifizierten Hauptdefiziten der Gewässerstruktur, zunächst unter Nichtberücksichtigung der Randbedingungen .....	38
Tabelle 6: Randbedingungen als Entscheidungskriterien zur Auswahl des Renaturierungsansatzes.....	39
Tabelle 7: Einschätzung der zu erwartenden Selbstentwicklungstendenz von Gewässerstrukturen anhand der breitenspezifischen Strömungsleistung (verändert nach Scherle, 1999) .....	41
Tabelle 8: Einschätzung der zu erwartenden Selbstentwicklungstendenzen von Gewässerstrukturen anhand der Merkmalsausprägungen des anstehenden Ufermaterials (verändert nach Scherle, 1999) .....	42
Tabelle 9: Fragestellungen zu den Geschiebeverhältnissen eines Gewässers und deren Schlussfolgerungen auf die zu erwartenden Entwicklungstendenzen der Gewässerstrukturen (verändert nach Scherle, 1999).....	43
Tabelle 10: Übersicht der Datengrundlage zur Kosten- Wirksamkeitsanalyse .....	48
Tabelle 11: Übersicht der abgeschätzten maximalen und minimalen sowie der durchschnittlichen Wirkungswerte der Renaturierungsansätze .....	52
Tabelle 12: Übersicht der abgeschätzten maximalen und minimalen sowie der durchschnittlichen Wirkungswerte der Renaturierungsansätze .....	53

Tabelle 13: Übersicht der abgeschätzten maximalen und minimalen sowie der durchschnittlichen Wirkungswerte der Renaturierungsansätze .....	54
Tabelle 14: Kosten-Wirksamkeitsbeziehung der Renaturierungsansätze im kurz- bis mittelfristigen Zeitraum (1 – 20 Jahre) .....	56
Tabelle 15: Kosten-Wirksamkeitsbeziehung der Renaturierungsansätze für die langfristige Tendenz (> 20 Jahre) .....	57

## **Zusammenfassung**

Das allgemeine Ziel einer guten ökologischen und chemischen Gewässerqualität für Oberflächengewässer ist nach der Verabschiedung der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, 2000) verbindlich vorgegeben<sup>1</sup>. Dabei kommt der Verbesserung der in unserer heutigen Gewässerlandschaft überwiegend mangelhaften Gewässerstrukturen eine entscheidende Bedeutung zu, wenn die ökologische Funktionsfähigkeit der Gewässer wiederhergestellt werden soll. Durch eine Verbesserung der Gewässerstruktur sollen dem Gewässer Entwicklungsmöglichkeiten entsprechend seiner natürlichen Ausprägung gegeben und eine möglichst natürliche Artenvielfalt am und im Gewässer ermöglicht werden. Maßnahmen müssen daher auf der Grundlage der naturraumtypischen Verhältnisse eines Gewässers konzipiert werden. Der ideale Renaturierungsansatz sieht vor, dem Fließgewässer ausreichend Raum zu überlassen, so dass die naturraumtypische Gewässerdynamik und –entwicklung uneingeschränkt stattfinden kann und sich die Gewässerstrukturen in den natürlichen Abläufen entwickeln können.

Solche 'uneingeschränkten' Möglichkeiten zur Gewässerentwicklung sind in unserem heutigen Landschaftsbild aber aufgrund der beengten räumlichen Verhältnisse (Nutzungsdruck durch Siedlungs-, Gewerbe- und Verkehrsflächen) sowie der zahlreichen zu berücksichtigenden Restriktionen (bspw. Schifffahrt, Wasserkraft und Hochwasserschutz) kaum noch realisierbar. Vielmehr müssen die heutigen Renaturierungsansätze umfeldnah sein und den gesellschaftspolitischen Ansprüchen des Gewässerumfeldes ausreichend Rechnung tragen. In Hessen wird deshalb als langfristiges Sanierungsziel bzw. Entwicklungsziel für Gewässer in der freien Landschaft die Strukturgütekategorie<sup>2</sup> 3 angestrebt (Zielerreichung derzeit ca. 23 %), für Gewässer in bebauten Bereichen als Minimalforderung Strukturgütekategorie 5 (Zielerreichung derzeit ca. 25 %).

### **Defizite der Gewässerstruktur in Hessen**

Die heute vorzufindenden Strukturen sind das Ergebnis eines sehr nutzungsorientierten Gewässerausbaus. Große Teile der heutigen Fließgewässerlandschaft haben dadurch ihre natürliche Form- und Strukturvielfalt verloren und weisen einen gestreckten Gewässerlauf sowie durch Ufer- und Sohlenverbau gesicherte Regelprofile auf. An ungesicherten Gewässerläufen kommt es in Verbindung mit der Hochwasserfreilegung der Gewässerrauen oft zu überhöhten Sohlschleppkräften, die zur Sohlenerosion und Eintiefung der Gewässer führen können. An einer Vielzahl unse-

---

<sup>1</sup> Für erheblich veränderte oder künstliche Gewässer ist als Ziel das gute ökologische Potenzial vorgegeben.

<sup>2</sup> nach der Strukturgüteklassifikation der LAWA (2000)



rer Gewässer ist damit die natürliche Mannigfaltigkeit der Lebensräume verschwunden, die Dynamik der Wasserführung vereinheitlicht, die natürliche Durchgängigkeit unterbrochen und die dynamische Einheit von Fluss und Aue ist massiv eingeschränkt. Ökologische Konsequenz der unzureichenden Gewässerstrukturen ist vielerorts eine Verarmung des ursprünglichen Artenbestandes sowie eine Verschiebung des Artenspektrums, teilweise sind auch negative Auswirkungen auf die Wasserqualität zu beobachten.

Aus der Analyse der Gewässerstrukturgüte der hessischen Gewässer ergaben sich folgende Hauptdefizite:

- naturferner, oft begradigter Gewässerlauf,
- Sohlenerosion,
- technisches Regelprofil ggf. mit Ufer- und / oder Sohlenverbau,
- gestörte Gewässerdurchgängigkeit (Wehre, Abstürze, Verrohrungen) und
- naturraumuntypischer Uferbewuchs und unzureichende Gewässerrandstreifen.

### **Renaturierungsansätze**

Als Grundprinzipien sind bei der Gewässerrenaturierung zu beachten, dass

- ein ganzheitlicher Ansatz gewählt wird (Betrachtung des gesamten Einzugsgebietes),
- die Eigendynamik der Gewässer unter Einbezug der Gewässerrandstreifen soweit möglich genutzt wird,
- Maßnahmen, die gleichzeitig Verbesserungen in verschiedenen Problemfeldern bewirken, vorrangig umgesetzt werden und
- dass entsprechend dem ökologischen Minimum übergeordnete Defizite zuerst zu beheben sind.

Aufbauend auf diesen Prinzipien wurden für die Kosten-Wirksamkeitsanalysen in Abhängigkeit von gewässerspezifischen Randbedingungen die folgenden, aus verschiedenen Teilmaßnahmen bestehenden Renaturierungsansätze festgelegt:

- Gewässerbettmodellierung (morphologische Gewässerumgestaltung),
- dynamische Gewässerentwicklung mit unterstützenden wasserbaulichen Maßnahmen,
- eigendynamische Gewässerentwicklung durch modifizierte, extensive Gewässerunterhaltung,
- Gewässerbettaufweitung (Ausbildung einer Sekundäraue),
- lineare Sohlenanhebung,
- Herstellen der linearen Gewässerdurchgängigkeit,
- Verbesserung der Ufer- und Sohlenstrukturen.

Für die Wirkung von Renaturierungsmaßnahmen, insbesondere für die Geschwindigkeit und den Ablauf morphologischer Regenerationsprozesse ist dabei die Entwicklungsfreudigkeit eines Gewässers besonders bedeutend. Die Mehrzahl der hes-

sischen Fließgewässer sind Mittelgebirgsbäche, die überwiegend als entwicklungs-freudig eingestuft werden können. Ausnahmen sind jedoch die Niederungsbäche des hessischen Rieds und weite Teile der mittelhessischen Senkenlandschaft, die sehr geringe Fließgeschwindigkeiten aufweisen und somit als entwicklungssträge einzustufen sind.

### **Methodik**

Zur Bewertung der Effektivität der verschiedenen Renaturierungsansätze wurde deren Kosten-Wirksamkeit analysiert. Die Wirksamkeit wurde dazu anhand der Verbesserungen der Gewässerstrukturgüte auf Basis des 7-stufigen Klassifizierungsverfahrens der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) bewertet. Die Kostenwirksamkeit wurde somit als Quotient der zusätzlich aufzuwendenden Kosten für die Renaturierungsmaßnahmen und den Veränderungen des Gewässerstrukturgütezustandes ( $\Delta$ SGK) in einem angemessenen Zeitraum (kurz- bis mittelfristiger Zeitraum: 1 - 20 Jahre und längerfristige Tendenz: > 20 Jahre) nach Maßnahmen-durchführung berechnet.

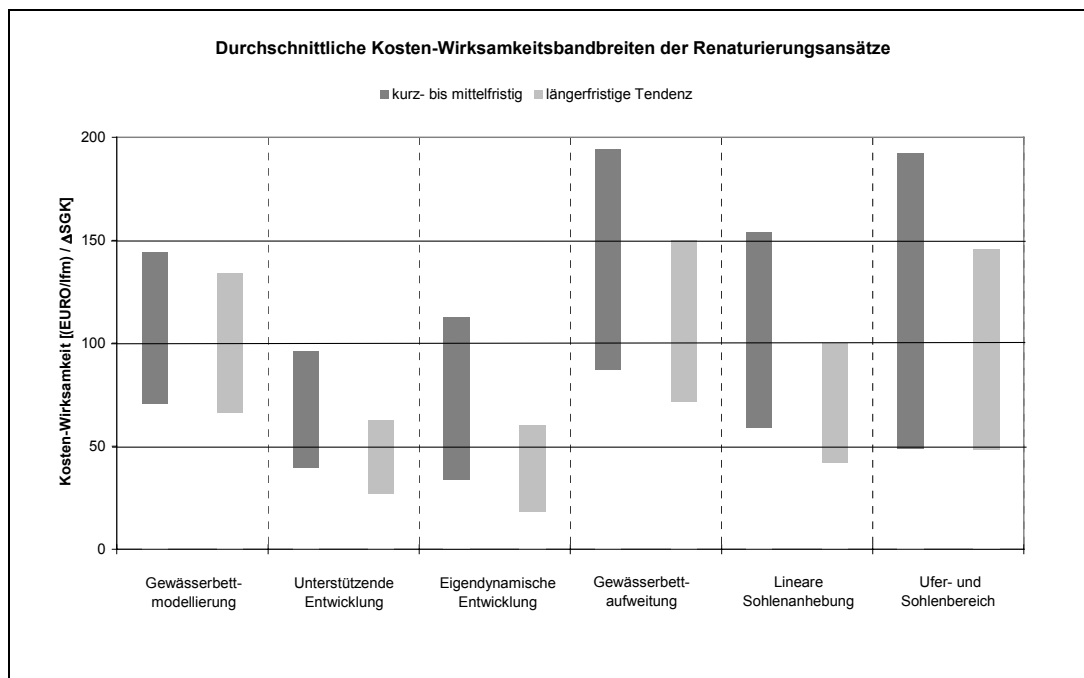
### **Datengrundlage**

Datengrundlage für die Berechnungen sind überwiegend Renaturierungsprojekte in Hessen, die teilweise schon abgeschlossen, teilweise auch erst in Planung sind. Die Kostendaten stützen sich auf die Abschlussrechnungen der Projekte oder auf die Kostenschätzungen aus den Projektanträgen bzw. auf Erfahrungswerte der Staatlichen Umweltämter. Für die Wirkungsdaten wurden soweit möglich Ergebnisse bereits realisierter Projekte verwendet. Teilweise lagen jedoch nur unzureichende Erfahrungen vor, so dass zusätzlich auf szenarienbasierte Prognosen und Schätzungen durch Behörden und Planungsbüros sowie auf Literaturergebnisse zurückgegriffen werden musste.

### **Ergebnisse**

Die resultierenden durchschnittlichen Kosten-Wirksamkeiten für die verschiedenen Renaturierungsansätze zeigt die folgende Abbildung, wobei durch die Länge der Balken die Bandbreite der Ergebnisse wiedergegeben wird. Die Ergebnisse zeigen eine besonders günstige Kosten-Wirksamkeit für die dynamischen Ansätze "Unterstützende Entwicklung" sowie "Eigendynamische Entwicklung". Voraussetzung für eine wirkungsvolle Umsetzung dieser Renaturierungsansätze sind ausreichend breite Gewässerrandstreifen und zusammenhängende Renaturierungsabschnitte. Die Schaffung naturraumtypischer Gewässerrandstreifen sind ein sehr wichtiger Bestandteil jedes Renaturierungsansatzes, denn nur auf Basis der Gewässerrandstreifen können mit Hilfe der naturraumtypischen Gewässerdynamik natürliche Gewässerstrukturen entstehen. Neben der Voraussetzung zur dynamischen Gewässerentwicklung haben Gewässerrandstreifen eine sehr positive Wirkung auf die Minimierung diffuser Stoffeinträge aus der Landwirtschaft sowie eine positive Wirkung auf den Hochwasserabfluss, da sie die natürlichen Retentionsflächen der Fließgewässer

darstellen. In Fällen, in denen aufgrund von Restriktionen (z.B. Siedlungsbereiche, Hochwasserschutzaspekte) eine naturraumtypische Gewässerdynamik nicht möglich ist, können durch kleinräumige Maßnahmen im Ufer- und Sohlenbereich sowie mit Hilfe von Durchgängigkeitsmaßnahmen entscheidende Verbesserungen erreicht werden. Alternativ sind auch umfassende Ansätze wie z.B. Gewässerbettaufweitungen oder Gewässerbettmodellierungen denkbar, mit denen gleichzeitig noch eine deutliche Steigerung der Lebensqualität und des Naherholungswertes im Siedlungsbereich erzielt werden kann. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, geeignete Renaturierungsstrecken mit einem Gewässerlehrpfad zu kombinieren und auf diese Weise die Bevölkerung über die Belange des Schutzgutes Wasser zu informieren und sie hierfür zu sensibilisieren (Beispielhaftes Projekt: Gewässerlehrpfad Fulda-tal).



Bei der Planung von Renaturierungsmaßnahmen ist zu berücksichtigen, dass die zu erzielenden Verbesserungen der Gewässerstrukturen nur in einem gewissen Rahmen prognostiziert werden können. Die Maßnahmen stellen bei gewissen Renaturierungsansätzen nur den Anstoß zur Entwicklung naturraumtypischer Gewässerstrukturen dar. Die dynamische Entwicklung der Strukturen und die dazu notwendigen Entwicklungszeiten hängen dann u.a. von der Zahl und der Intensität von Hochwasserereignissen und von der Uferfestigkeit ab.

### Internetpräsentation ISAR

Abschließend wurden die Projektergebnisse als internetbasiertes Informationssystem aufgearbeitet („ISAR“: 'Informationssystem zur Auswahl effizienter Renaturierungsmaßnahmen für Fließgewässer'), über das insbesondere lokale Entscheidungs-

träger bei der Konzeption effektiver Maßnahmen zur Gewässerstrukturverbesserung unterstützt werden sollen. Neben zwei Informationsbereichen zu den Themen „Defizite“ und „Renaturierungsansätze“ wurde ein interaktiver Abfragebereich erarbeitet, über den sich der Nutzer für einen spezifischen Gewässerabschnitt nach Eingabe der spezifischen Strukturdefizite kostenwirksame Renaturierungsansätze anzeigen lassen kann. Alle Erläuterungsbereiche sind dabei mit aussagekräftigen Beispielbildern unterlegt.

### ISAR-Eingangsseite (internetbasiertes 'Informationssystem zur Auswahl effizienter Renaturierungsmaßnahmen für Fließgewässer'):

**Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten** | ISAR\_schliessen

Adressen Defizite Renaturierungsansätze Interaktive Analyse

## ISAR – Informationssystem zur Auswahl effizienter Renaturierungsmaßnahmen von Fließgewässern

**1 Information**

Informieren sie sich über die [Hauptdefizite](#), [Renaturierungsansätze](#) und deren Kostenwirksamkeit.

**2 Abfragemodus**

Mit unserem interaktiven [Analyse](#) finden Sie den kosteneffizienten Renaturierungsansatz für ihr Gewässer.

| Base Site: <http://www.renatunieruna.de> | © 2001 Design by [Designall](#) |

Kategorie	Prozent
1	1,1%
2	4,4%
3	21,4%
4	22,2%
5	22,5%
6	24,7%
7	16,4%

## 1. Einleitung

Um die entsprechende Zielsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, 2000) "ökologisch gute Gewässer" zu erreichen, ist von entscheidender Bedeutung, in wie weit die natürliche und ökologische Funktionsfähigkeit der Gewässer wiederhergestellt werden kann. Aus Abbildung 1 wird ersichtlich, dass fehlende bzw. mangelhafte Gewässerstrukturen einen entscheidenden Belastungsfaktor in unserer heutigen Gewässerlandschaft darstellen.

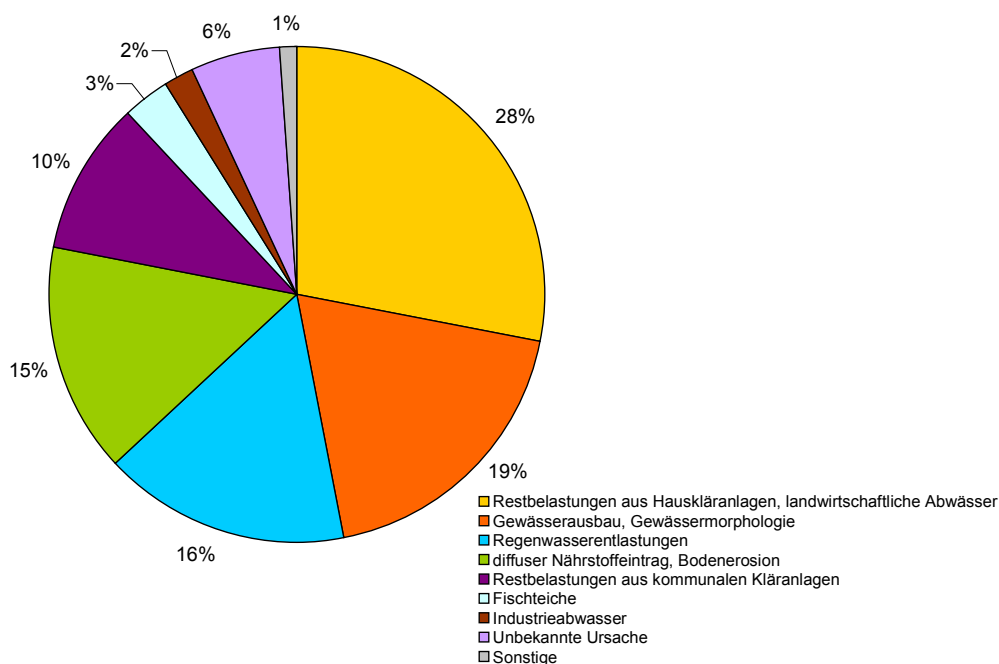


Abbildung 1: Prozentuale Verteilung der primären und sekundären Belastungsfaktoren kleiner Fließgewässer (Strähle, 1996)

Die Gewässerstrukturen beschreiben das ökologisch-morphologische Erscheinungsbild eines Fließgewässers, seiner Ufer und Auen. Mit dem Klassifizierungsverfahren der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser - LAWA wurde ein allgemeingültiges Maß zur Bestimmung der ökologischen Qualität der Gewässerstrukturen und der durch diese Strukturen angezeigten dynamischen Prozesse gefunden (LAWA, 2000). Die Gewässerstrukturgüte entscheidet mit darüber, ob und welche Pflanzen und Tiere sich im Bereich eines Gewässerabschnittes ansiedeln können (vgl. Abbildung 2). Die Daten aus der flächendeckenden Gewässerstrukturgütekartierungen bieten somit zusammen mit den bereits vorliegenden biologischen und chemischen Gewässergüteinformationen eine ideale Plattform, um eine ganzheitliche und nachhaltige Entwicklung der Fließgewässer im Sinne der EU-Wasserrahmenrichtlinie und der Agenda 21 voranzutreiben.

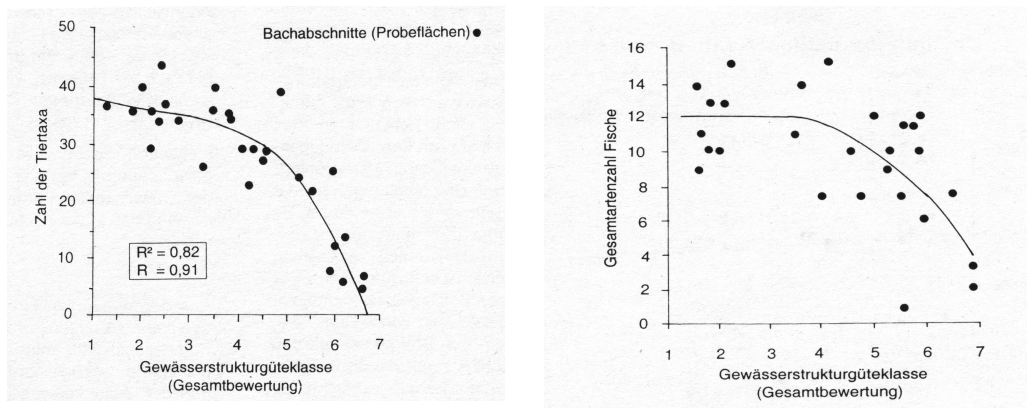


Abbildung 2: Korrelation der Taxazahl des Makrozoobenthos und Artenzahl der Fischfauna mit der Gewässerstrukturgüte (verändert nach Haybach, 1995 sowie Schwevers und Adam, 1997 in Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz, 1999)

## 2. Die typischen Gewässerstrukturgütedefizite in Hessen

Die natürlichen Gewässerstrukturen sind ein sehr komplexes und naturraumspezifisches Gebilde. Der hessischen Strukturgütekartierung (HMULF, 1999) liegt das 7-stufigen Bewertungsverfahren der LAWA zugrunde (LAWA, 2000). Darin werden die Gewässerstrukturen auf Basis eines naturraumspezifischen Leitbildes mit 6 Haupt- bzw. 24 Einzelparametern umfassend beschrieben. Durch eine Analyse der Ergebnisse der hessischen Gewässerstrukturgütekartierung konnten anhand von 12 ausgewählten Beispielindikatoren die typischen Strukturdefizite in Hessen identifiziert werden. Die Zusammenstellung der Beispielindikatoren erfolgte in Abstimmung zu den praxisnahen Einschätzungen der Mitarbeiter der Staatlichen Umweltämter in Hessen.

Tabelle 1: Übersicht der ausgewählten Beispielindikatoren

<b>Parametersystem des 7-stufigen LAWA Bewertungsverfahrens</b>		
<b>Hauptparameter</b>	<b>Ausgewählte Beispielindikatoren</b>	<b>Nicht ausgewählte Einzelparameter</b>
Laufentwicklung	Laufkrümmung	Krümmungserosion Längsbänke besond. Laufstrukturen
Längsprofil	Querbauwerke u. Verrohrung Strömungsdiversität Tiefenvarianz	Rückstau Querbänke
Querprofil	Profiltyp Profiltiefe Breitenvarianz	Breitenerosion Durchlässe
Sohlenstruktur	Sohlenverbau Substratdiversität	Sohlensubstrat besond. Sohlenstrukturen
Uferstruktur	Uferbewuchs Uferverbau	Besondere Uferstrukturen
Gewässerumfeld	Gewässerrandstreifen	Flächennutzung Schädl. Umfeldstrukturen

Die Auswahl der Beispielindikatoren erfolgt so, dass jeder der 6 Hauptparameter durch mindestens eine der ihm untergeordneten Einzelindikatoren berücksichtigt wird und die Bewertung der Parameter soweit möglich unabhängig vom spezifischen Naturraum (Gewässertyp) ist.

## 2.1 Analyse der Beispielindikatoren des Hauptparameters 'Laufentwicklung'

### 2.1.1. Natürlicher Zustand:

An natürlichen Fließgewässern ist die Linienführung der Gewässer das Ergebnis einer kontinuierlichen Laufentwicklung, die durch eine dynamische Gleich-, Über- oder Unterverteilung von Erosion und Sedimentation bestimmt wird. Im Oberlauf ist die Linienführung mehr oder weniger 'gestreckt', der Mittellauf ist 'gewunden' oder 'verästelt' und der Unterlauf zeigt 'mäandrierende' oder 'verzweigte' Laufformen (Abbildung 3).

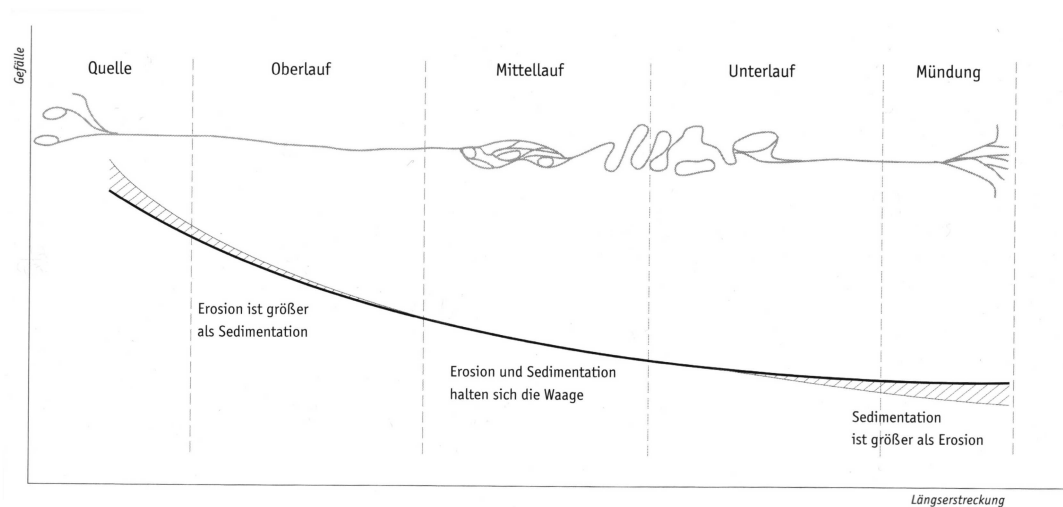


Abbildung 3: Längszonierung eines Fließgewässers (HMULF, 1999b)

Wichtigstes Element der Laufentwicklung stellt die Laufkrümmung dar. Sie reduziert das Gewässergefälle gegenüber dem Talgefälle und vergrößert zugleich die Lauflänge, die Reibungsflächen und die Energieumwandlungsmöglichkeiten im Hochwasserfall so lange, bis die verbleibende Strömungsenergie keine weiteren Krümmungserosionen und Laufveränderungen mehr vollbringen kann. Die natürlichen Formen der Laufentwicklung sind das Ergebnis der Bestrebungen der Fließgewässer einen stabilen und dennoch dynamischen Gleichgewichtszustand zu erreichen, sind aber je nach Gewässertyp, Abfluss- und Geschiebespende des Einzugsgebietes und Vegetation des Tales unterschiedlich.

#### Beispielindikator: Laufkrümmung

Fast alle Fließgewässer haben von Natur aus einen mehr oder weniger intensiv gekrümmten Gewässerlauf. Bei den Gebirgs- und Bergbächen begrenzen die Talform, das Gefälle und der Gesteinsuntergrund den natürlichen Entwicklungsspielraum der Bäche. An den Oberläufen der Mittelgebirgsbäche (Kerb- und Klammtalgewässern) sowie zum Teil an Mäandertalgewässern ist die Laufentwicklung meist nicht frei, sondern wird von den fortlaufenden Richtungsänderungen des Tales erzwungen (Landesamt für Wasserwirtschaft, 1999). An Kerb- und Klammtalgewässern kann



daher auch ein gestreckter Gewässerlauf durchaus als natürlich angesehen werden. Die Sohlenkerbtal-, Muldental-, Auetalbäche dagegen sind in der natürlichen Laufentwicklung recht frei und in der Regel recht ausgiebig gekrümmt. An Flachlandgewässern kommt es dann von Natur aus zu ausgeprägten Mäanderentwicklungen mit häufiger Schlingenbildung und so genannten Krümmungsabschnürungen.

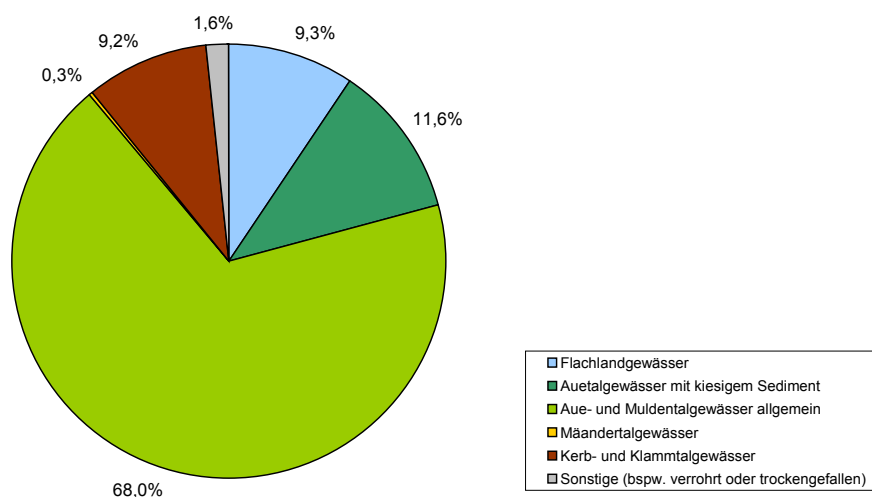


Abbildung 4: Verteilung der Gewässertypen in Hessen

Abgesehen von den 9,2 Prozent Gewässerabschnitten in Hessen, die entsprechend der hessischen Gewässerstrukturgütekartierung den Klamm- und Kerbtalgewässern zugeordnet werden, sind die Merkmalsausprägungen 'schwach geschwungen' bis 'geradlinig' für den ausgewählten Beispielindikator 'Laufkrümmung' als unnatürlich und anthropogen überprägt einzuschätzen.

### 2.1.2. Heutiger Zustand

Die Ergebnisse der hessischen Gewässerstrukturgütekartierung weisen für den Beispielindikator 'Laufkrümmung' 19 Prozent der Gewässer mit der absolut unnatürlichen Merkmalsausprägung 'geradlinig' aus (Abbildung 5).

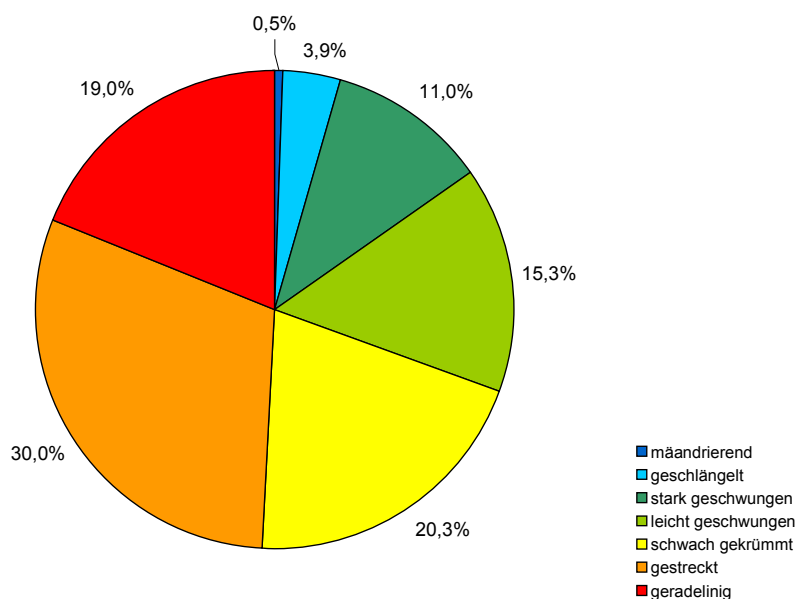


Abbildung 5: Ergebnisse der Gewässerstrukturgütekartierung in Hessen für den Einzelparameter 'Laufkrümmung'

Unter Berücksichtigung der gewässertypenspezifischen Merkmalsausprägungen des Beispielparameters 'Laufkrümmung' sind an etwa 63 Prozent der Gewässer naturferne Verhältnisse (Strukturgüteklasse 5 und schlechter) anzutreffen (Abbildung 6).

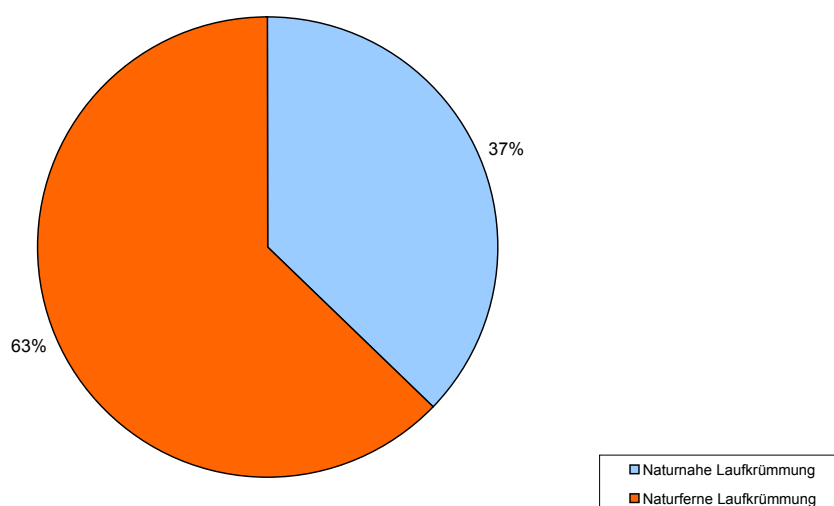


Abbildung 6: Gewässertypenspezifische Beurteilung des Beispielindikators 'Laufkrümmung' in Hessen

### 2.1.3. Auswirkungen des Defizits

Der naturferne, oft begradigte Gewässerlauf stellt für das komplexe Entwicklungsgebilde der Gewässerstrukturen einen übergeordneten Schadparameter dar. In den begradigten Gewässerabschnitten, die oft durch Längsverbau gesichert werden müssen, kann sich kein natürliches Gleichgewicht von Erosion und Sedimentation mehr etablieren. Jegliche Begradigung stellt zudem eine Laufverkürzung und somit eine Erhöhung des Gefälles dar. Viele Gewässer reagieren auf die dadurch zwangsläufig erhöhten Sohlenschubspannungen mit Tiefenerosion. Strukturdefizite im Bereich des Gewässerlängs- und -querprofils können ihre Ursache also durchaus im naturfernen Gewässerlauf haben. Zudem laufen Hochwasserwellen in naturfernen Gewässerläufen deutlich schneller ab und können damit zu einer Erhöhung der Hochwassergefahr für die Unterlieger führen.

## 2.2 Analyse der Beispielindikatoren des Hauptparameters 'Längsprofil'

### 2.2.1. Natürlicher Zustand

Das Längsprofil natürlicher Fließgewässer wird durch eine naturraumtypische Vielfältigkeit unterschiedlichster Strömungsbilder und Formelemente charakterisiert. Ein hoher Natürlichkeitsgrad des Gewässerlängsprofils spiegelt sich in der Vielfältigkeit, Anzahl und der Vergesellschaftung der typischen Formelemente wieder (Abbildung 7).

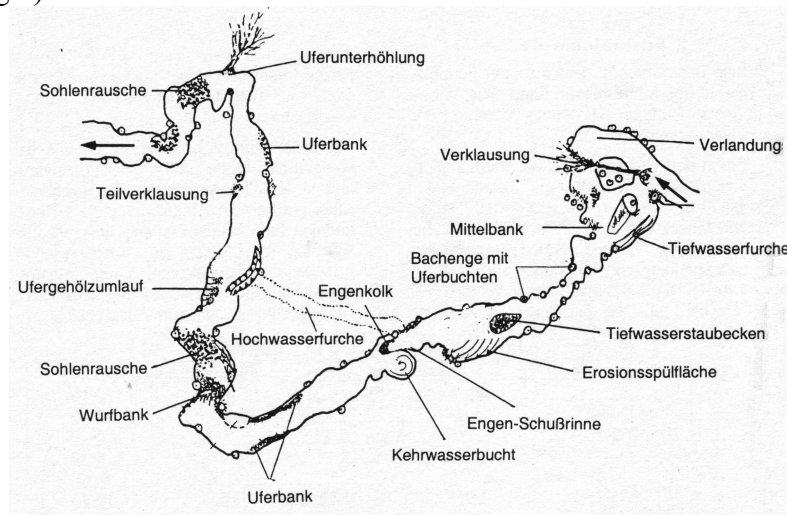


Abbildung 7: Typische Formelemente eines Auebachs (Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz, 1999)

Neben der genannten Strömungsdynamik und Strukturvielfalt spielt für das Gewässerlängsprofil das Prinzip des natürlichen Gewässerkontinuums eine entscheidende Rolle. Die lineare Gewässerdurchgängigkeit ist ein maßgeblicher Parameter für stabile und intakte aquatische Ökosysteme. Denn ohne die Gewässerdurchgängig-

keit können die notwendigen und vielfältigen stofflichen und biologischen Austauschprozesse im Gewässer nicht stattfinden.

#### **Beispielindikator: Strömungsdiversität**

Die Gewässerstrukturgütekartierung in Hessen ergab, dass an gut 51 Prozent der untersuchten Gewässerabschnitte 'keine' bis eine 'geringe' Strömungsdiversität vorzufinden ist (Abbildung 8). Diese Zahlen sind Indizien für einen monotonen, eventuell auch staugeregelten Gewässerlauf.

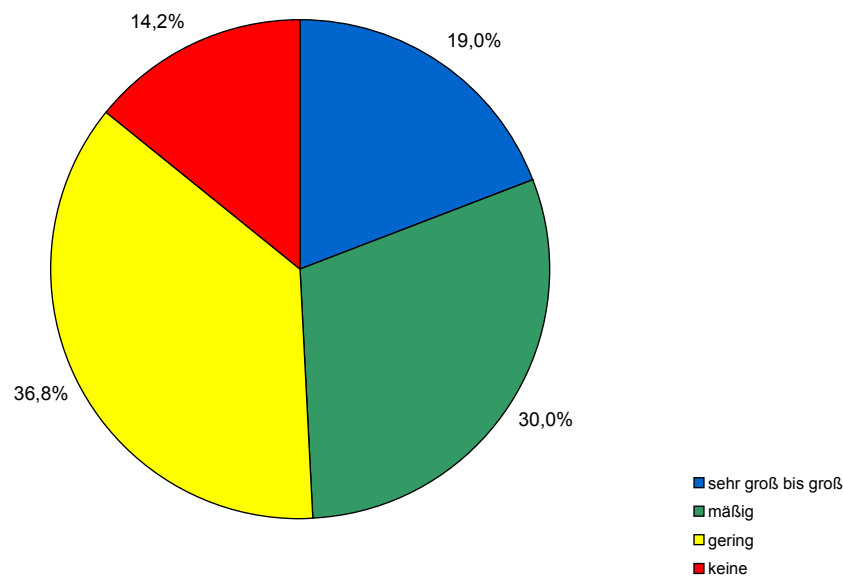


Abbildung 8: Ergebnisse der Gewässerstrukturgütekartierung in Hessen für den Einzelparameter 'Strömungsdiversität'

#### **Beispielindikator: Tiefenvarianz**

Für den Beispielparameter "Tiefenvarianz" sind hessenweit in der Kartierung mehr als 64 Prozent der Gewässerabschnitte mit der Merkmalsausprägung 'keine' bis 'gering' charakterisiert worden (Abbildung 9). Diese Ergebnisse verdeutlichen die heutige Strukturarmut im Gewässerlängsprofil.

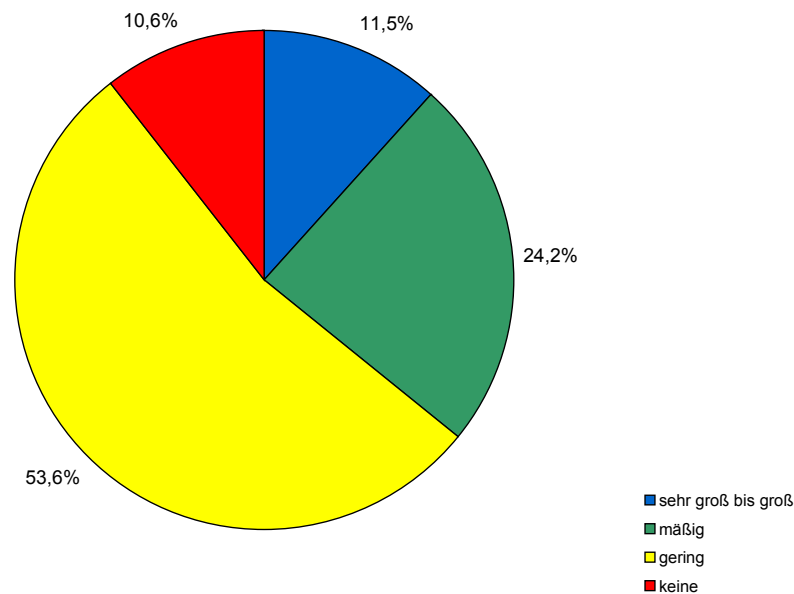


Abbildung 9: Ergebnisse der Gewässerstrukturgütekartierung in Hessen für den Einzelparameter 'Tiefenvarianz'

### **Beispielindikator: Querbauwerke und Verrohrungen**

Entsprechend der hessischen Kartierergebnisse wird das natürliche Gewässerlängskontinuum an fast 8 Prozent der kartierten Gewässerabschnitte durch Querbauwerke (Schwellen, Abstürze und Wehre) und an mehr als 7 Prozent der Gewässerabschnitte durch Verrohrungen be- bzw. verhindert. Nur an 1,7 Prozent der Gewässer konnten Querbauwerke kartiert werden, an denen die Durchgängigkeit in Form von Rampen oder Aufstiegshilfen zumindest teilweise wieder hergestellt sind (Abbildung 10).

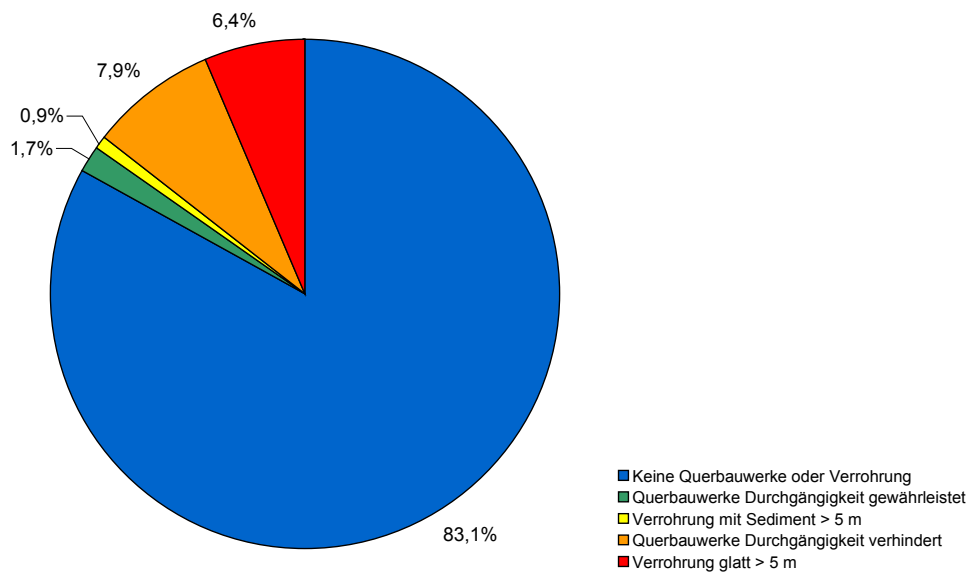


Abbildung 10: Ergebnisse der Gewässerstrukturgütekartierung in Hessen für die Einzelparameter 'Querbauwerke' und 'Verrohrungen'

### 2.2.2. Auswirkungen des Defizits

Die lineare Gewässerdurchgängigkeit sowie die Strömungsdiversität und Tiefenvarianz stellen einen maßgeblichen Faktor für stabile und intakte aquatische Ökosysteme dar. Die negativen Wirkungen des verhinderten Längskontinuums können sich sowohl weit gewässerauf- als auch -abwärts auswirken, so dass teilweise mit nur einem Querbauwerk am Gewässerunterlauf die Wander- und Kompensationsbewegungen der aquatischen Fauna (Fische und Benthos) für ein komplettes Gewässersystem verhindert werden. Die verschiedenen Strömungs- und Tiefenbereiche eines Gewässerabschnittes stellen die jeweiligen Lebensräume und Laichplätze der mannigfaltigen Gewässerfauna dar. Große Querbauwerke halten zudem Geschiebe und Totholz zurück, so dass es unterhalb dieser Querriegel leicht zu Sohlenerosionsproblemen kommen kann.

## 2.3 Analyse der Beispielindikatoren des Hauptparameters 'Querprofil'

### 2.3.1. Natürlicher Zustand

Die naturraumtypischen Querprofile eines natürlichen Gewässerlaufes sind keinesfalls uniform, sondern werden beständig durch die Gewässerdynamik (Erosion und Sedimentation) variiert. Abgesehen vom Oberlauf und Mündungsbereich präsentieren sich die Querprofile als ein mehr oder weniger ausgeprägter Wechsel von Prall-

und Gleitufeln sowie Furten. Während die Querprofile eines Fließgewässers im Gebirgsraum bei rolligen Böden relativ flach und breit sind, tendieren die Flachlandgewässer in kohäsiven Böden zu größeren Wassertiefen bei geringeren Gerinnbreiten (Patt et al., 1998). Zudem führt der naturraumtypische Uferbewuchs zu markanten Unterschieden der natürlichen Querschnittsformen.

### Beispielindikator: Profiltyp

An fast 38 Prozent der hessischen Fließgewässer ist in der Kartierung ein völlig unnatürliches, anthropogenes Regelprofil festgestellt worden (Abbildung 11). Diese Regelprofile weisen eine künstlich festgelegte Geometrie (meist trapezförmig oder rechteckig) auf und werden durch intensive Unterhaltungs- oder Verbaumaßnahmen in ihrer Form gehalten.

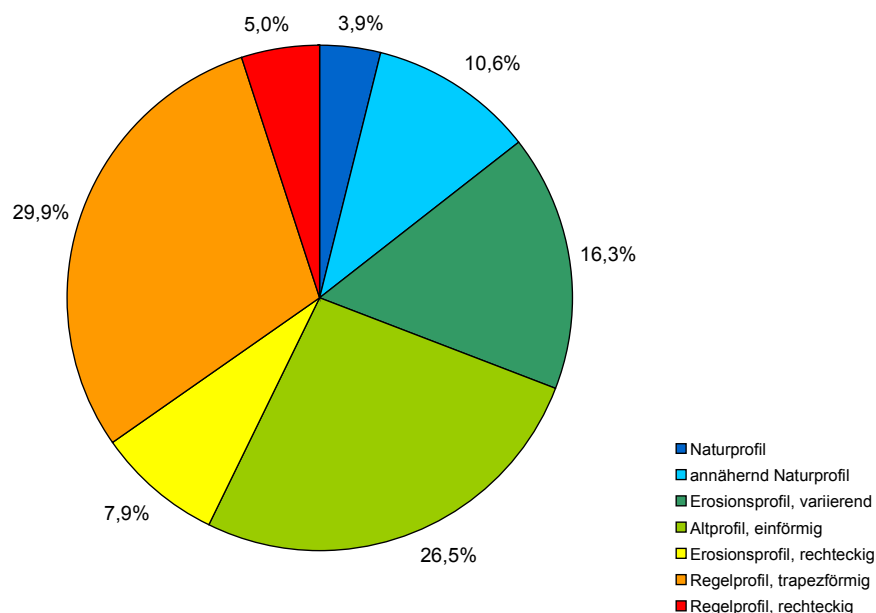


Abbildung 11: Ergebnisse der Gewässerstrukturgütekartierung in Hessen für den Einzelparameter 'Profiltyp'

### Beispielindikator: Profiltiefe

In der Strukturgütekartierung nach dem LAWA-Verfahren wird die Profiltiefe über das Tiefen-/Breitenverhältnis beschrieben (LAWA, 2000). Gemäß der Kartierungsergebnisse in Hessen werden mehr als 65 Prozent der Gewässerabschnitte mit der Merkmalausprägung 'tief' bis 'sehr tief' beschrieben, was einem Tiefen-/Breitenverhältnis von größer 1:4 entspricht (Abbildung 12). Diese unnatürlichen Profiltiefen sind Indikatoren für massive Sohlenerosionsprobleme.

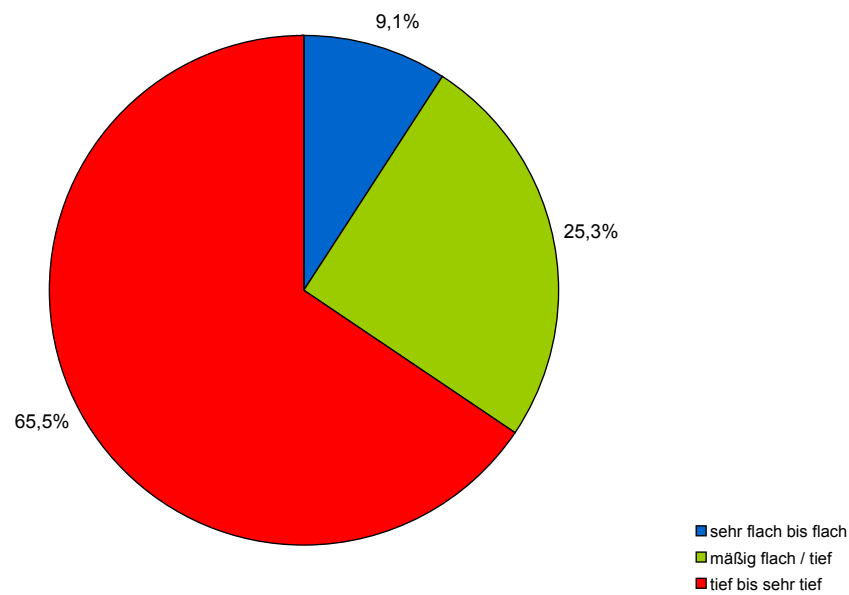


Abbildung 12: Ergebnisse der Gewässerstrukturgütekartierung in Hessen für den Einzelparameter 'Profiltiefe'

### **Beispielindikator: Breitenvarianz**

Die Merkmalsausprägung des Beispielparameters Breitenvarianz wird für ca. 19 Prozent der Gewässer mit 'keine' und für ca. 41 % der Gewässer mit 'gering' beschrieben (Abbildung 13). Diese Zahlen belegen die Uniformität der anthropogen gestalteten Fließgewässer, an denen keinerlei Gewässerdynamik in die Breite (Aue) mehr stattfindet.



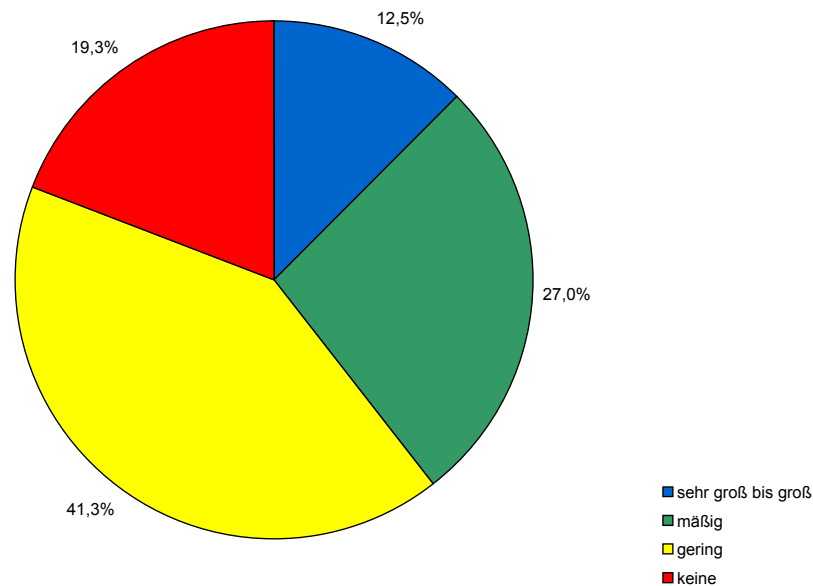


Abbildung 13: Ergebnisse der Gewässerstrukturgütekartierung in Hessen für den Einzelparameter 'Breitenvarianz'

### 2.3.2. Auswirkungen des Defizits

Die festgelegten, technischen Regelprofile lassen keinerlei Entwicklung der wichtigen aquatischen-terrestischen Lebensräumen zwischen Gewässer und Ufer zu. Die Bruthöhlen des Eisvogels liegen bspw. in den Uferabbrüchen der Prallhänge. Durch den übermäßigen Sedimentaustrag, der im Rahmen der Sohlenerosion zu beobachten ist, kommt es zu einer flächenhaften Absenkung der mittleren Höhenlage des Sohlenniveaus. Die Wasserspiegellage sinkt ebenso wie der Grundwasserspiegel ab und das Gewässer verliert seinen natürlichen Kontakt mit der Aue. Dies bedeutet, dass die Gewässeraue immer seltener überschwemmt wird und langfristig mit ihrer einmaligen Artenvielfalt auszutrocknen bzw. auszusterben droht. Zudem wird dadurch das Retentionsvermögen des Gewässers vermindert und damit die Hochwassergefahr für die Unterlieger erhöht.

## 2.4 Analyse der Beispielindikatoren des Hauptparameters 'Sohlenstruktur'

### 2.4.1. Natürlicher Zustand

Die vielfältigen Sohlenstrukturen in einem natürlichen Fließgewässer werden durch die unterschiedlichen Korndurchmesser des Sohlenmaterials, das Fließverhalten und die Transportkapazität des Gewässers im jeweiligen Naturraum bestimmt. Der Natürlichkeitsgrad der Sohlenstrukturen spiegelt sich vornehmlich in der Substratdi-

versität der Gewässersohle wieder. Die räumliche Sedimentdifferenzierung basiert auf einer strömungsabhängigen Körnungsselektion. Die Gewässersohle eines Gebirgsbaches setzt sich vornehmlich aus Blöcken und großen Steinen zusammen, während die Sohle eines Flachlandbaches in Abhängigkeit von der Geomorphologie des Einzugsgebietes aus Kies, Sand oder Auelehm zusammengesetzt ist.

#### **Beispielindikator: Sohlenverbau**

Entsprechend den Kartiererergebnissen weisen mehr als 27 Prozent der hessischen Gewässer keine natürliche Gewässersohle auf. Steinschüttungen und Massivsohlen, teilweise sogar ohne Sedimentauflage fixieren und uniformieren die ursprünglich dynamischen Sohlstrukturen (Abbildung 14).

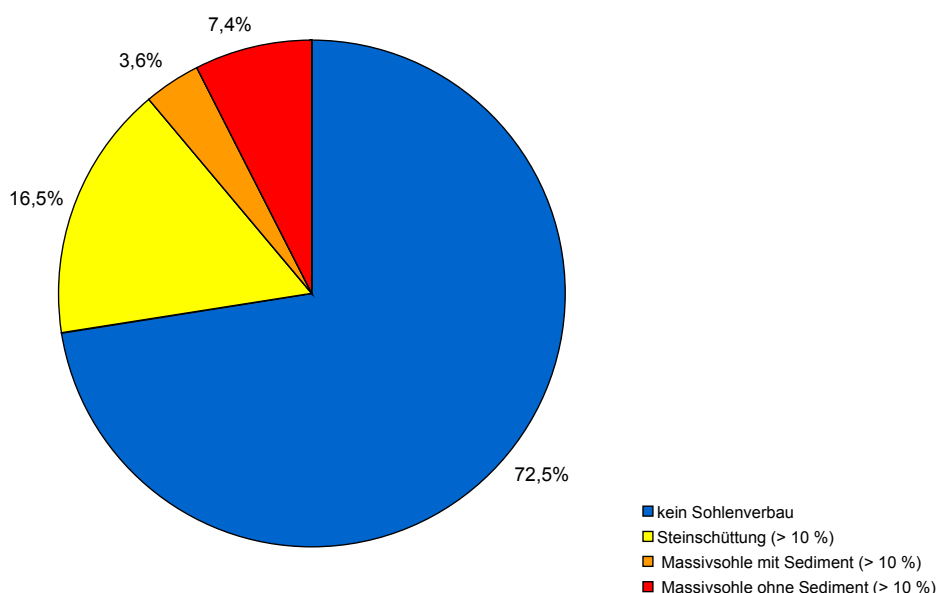


Abbildung 14: Ergebnisse der Gewässerstrukturgütekartierung in Hessen für den Einzelparameter 'Sohlenverbau'

#### **Beispielindikator: Substratdiversität**

Für den Beispielparameter Substratdiversität zeigen die Ergebnisse der hessischen Strukturgütekartierung, dass gut 17 Prozent der Gewässerabschnitte mit der Merkmalsausprägung 'keine' und mehr als 37 Prozent der Abschnitte mit 'gering' beschrieben werden (Abbildung 15). Diese Ergebnisse verdeutlichen eindrucksvoll wie unnatürlich sich die substratgeprägten aquatischen Lebensräume in der heutigen Gewässerlandschaft darstellen.

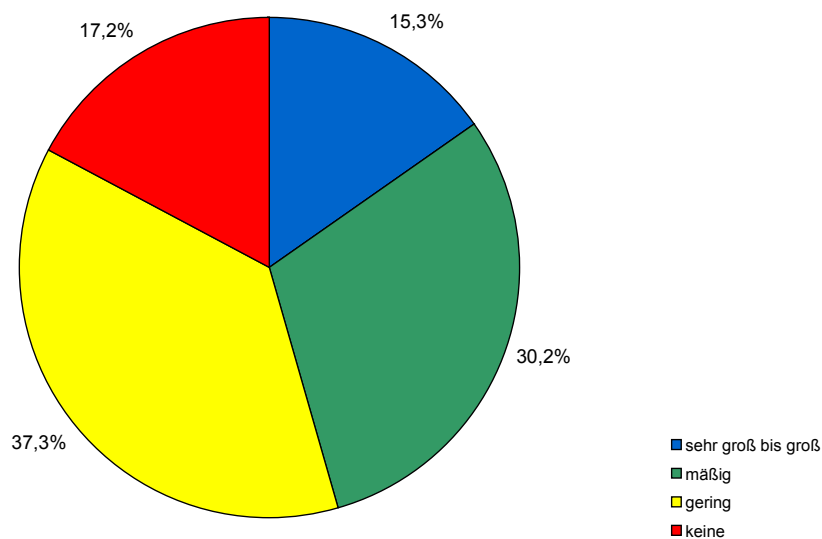


Abbildung 15: Ergebnisse der Gewässerstrukturgütekartierung in Hessen für den Einzelparameter 'Substratdiversität'

#### 2.4.2. Auswirkungen des Defizits

Die Gewässersohle ist der Lebensraum und die Brutstätte unzähliger aquatischer Organismen. Eine intakte und natürliche Sohlenstruktur korreliert daher direkt mit der naturraumtypischen Artenvielfalt der aquatischen Biozönose (vgl. Abbildung 16). Es ist daher leicht abzuleiten, dass diese 'Habitatsparameter' neben mangelnder Wasserqualität den maßgeblichen Defizitfaktor einer natürlichen aquatischen Biozönose darstellen.

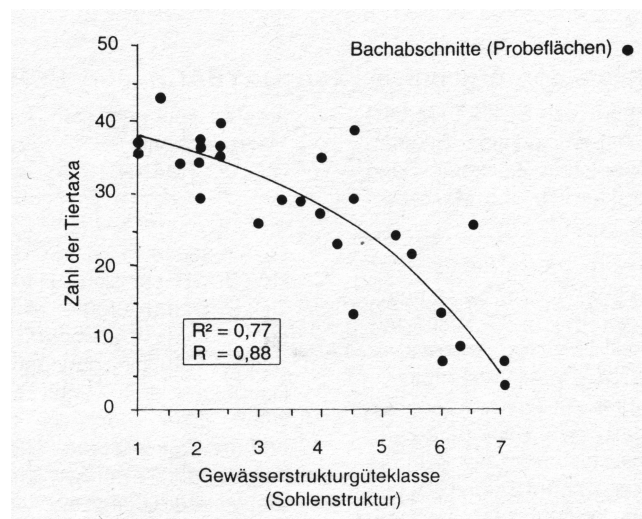


Abbildung 16: Korrelation der Taxazahl des Makrozoobenthos mit der Sohlenstruktur (verändert nach Haybach 1995, in Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz, 1999)

## 2.5 Analyse der Beispielindikatoren des Hauptparameters 'Uferstruktur'

### 2.5.1. Natürlicher Zustand

In natürlichen Gewässerabschnitten unterliegen die Uferstrukturen der natürlichen Gewässerdynamik. Die naturraumtypischen Uferformen hängen im wesentlichen von den Eigenschaften des Ufersubstrates, der Ufervegetation und der hydraulischen Uferbeanspruchung ab. Die Ufer werden nur durch den wichtigen naturraumtypischen Uferbewuchs 'gesichert' und sind daher nicht als statisch anzusehen, sondern unterliegen fortschreitenden Veränderungen.

### 2.5.2. Heutiger Zustand

#### Beispielindikator: Uferbewuchs

Gemäß den Kartierergebnissen weisen mehr als 36 Prozent der Gewässerabschnitte in Hessen keinerlei Ufergehölz auf (Abbildung 17). Dieser Zustand ist als äußerst unnatürlich zu charakterisieren, da nur an ca. 9 Prozent der kartierten Gewässerabschnitte naturbedingt kein Uferbewuchs zu erwarten ist. An 10 Prozent der Gewässer sind Ufergehölze kartiert, die aber als nicht bodenständig anzusehen sind und somit aus ökologischer Sichtweise negativ bewertet werden.

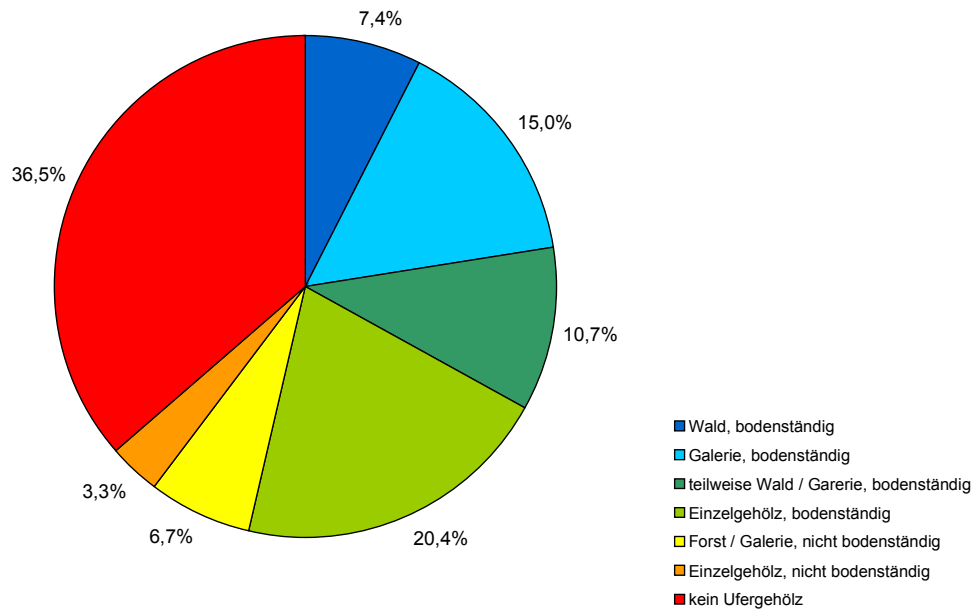


Abbildung 17: Ergebnisse der Gewässerstrukturgütekartierung in Hessen für den Einzelparameter 'Ufergehölz'

### Beispielindikator: Uferverbau

Sehr negativ im Sinne eines naturraumtypischen Gewässerbildes ist die Tatsache, dass an fast 36 Prozent der hessischen Gewässerabschnitte Uferverbau vorzufinden ist (Abbildung 18). Der künstliche Uferverbau verhindert massiv die dynamische Gewässerentwicklung und somit die Ausbildung naturraumtypischer Gewässerstrukturen.

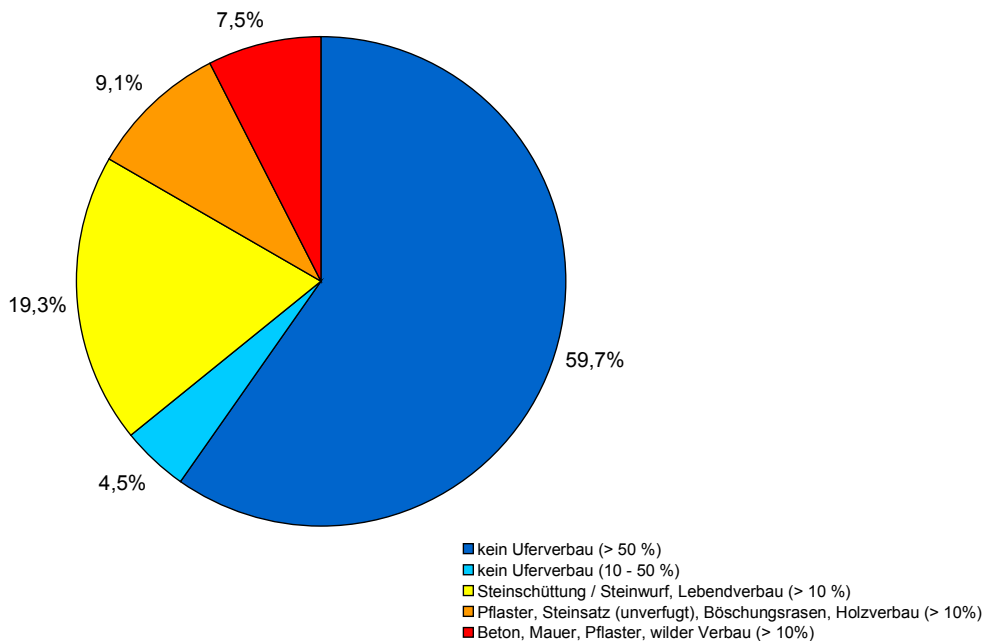


Abbildung 18: Ergebnisse der Gewässerstrukturgütekartierung in Hessen für den Einzelparameter 'Uferverbau'

### 2.5.3. Auswirkungen des Defizits

Natürlicher und bodenständiger Uferbewuchs stellt sowohl für aquatische als auch für terrestrische Lebewesen einen wichtigen Lebens- und Rückzugsraum dar. Zudem dient der naturraumtypische Uferbewuchs der wichtigen Beschattung der Fließgewässer in den Sommermonaten, so dass die Wasserqualität und die aquatische Biozönose nicht durch erhöhte Wassertemperaturen nachteilig beeinträchtigt wird. Außerdem gilt der Eintrag von Totholz aus der Ufervegetation als wichtiger Strukturbildner. Die vielfältigen Formen des künstlichen Uferverbaus verhindern somit die dynamische Gewässerentwicklung. Der Verbau zwingt das Gewässer in sein unnatürliches, anthropogen überformtes Gewässerbett und verhindert die Ansätze einer natürlichen Laufentwicklung (Krümmungserosion, Breitenerosion) sowie untergeordneter Querprofilformen. Weiterhin gilt der Uferbewuchs als wichtiger Puffer für Nähr- und Schadstoffeinträge aus landwirtschaftlichen Flächen in die Fließgewässer.

## 2.6 Analyse der Beispielindikatoren des Hauptparameters 'Gewässerumfeld'

### 2.6.1. Natürlicher Zustand

Ein hoher Natürlichkeitsgrad eines Fließgewässersystems wird durch vielfältige Beziehungen und Rückkopplungen zu seinem Gewässerumfeld und seinen Auen

geprägt. Bei steigenden Wasserständen im Hochwasserfall werden erste Entlastungsrinnen und -furchen geflutet. In einzelnen und besonders tiefen Rinnen und Furchen bleiben dann teilweise auch während einer Trockenperiode Tümpel bestehen, die im Vorland zusammen mit Geschiebeablagerungen und Totholzverkläunungen wertvolle Primärstandorte und Voraussetzung für eine einzigartige Struktur- und Artenvielfalt darstellen.

### 2.6.2. Heutiger Zustand

#### Beispielindikator: Gewässerrandstreifen

Entsprechend der Strukturgütekartierung in Hessen weisen fast 53 Prozent der kartierten Gewässerabschnitte auf Grund direkt am Gewässer beginnender Nutzung (bspw. auch Landwirtschaft) keinerlei Gewässerrandstreifen auf. Für diese Gewässer besteht auf Grund der fehlenden Entwicklungsflächen keinerlei Chance für eine naturnahe Gewässer- bzw. Laufentwicklung.

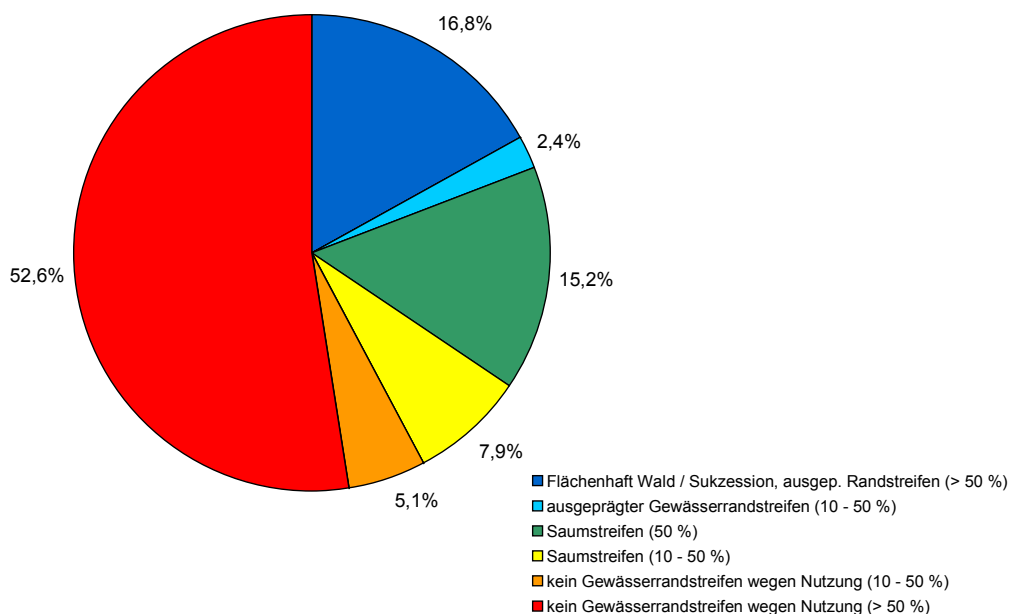


Abbildung 19: Ergebnisse der Gewässerstrukturgütekartierung in Hessen für den Einzelparameter 'Gewässerrandstreifen'

### 2.6.3. Auswirkungen des Defizits

Das Gewässerumfeld und die Auen dienen dem Fließgewässer als wichtiger Retentionsraum und vermindern im Hochwasserfall eine hydraulische Überbelastung der Gewässersohle. Nur so können sich die mikro- und mesoskale Strukturen im Gewässerbett nachhaltig entwickeln und die hydraulischen Belastungen eines Hochwasserereignisses überstehen. Die Gestaltung des Gewässerumfeldes ist ebenso

maßgeblich verantwortlich für den Grad der diffusen Stoffeinträge in die Gewässer aus dem Bereich der unmittelbar angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen. Unter naturraumtypischen Verhältnissen wirken die vielfältigen Vegetationsstrukturen des Gewässerumfeldes als Puffer und können die diffusen Stoffeinträge deutlich reduzieren.

## 2.7 Gliederung und Aggregation der Strukturdefizite

Die dargestellten, weitgehend negativen Beurteilungen der hessischen Gewässerstrukturen sind das Resultat zahlreicher anthropogener Eingriffe in die natürliche Gewässerlandschaft und deren Wasserhaushalt. Der enorme Nutzungsdruck in unserer heutigen Kulturlandschaft lässt nur noch wenig Raum für eine weitgehend unabhängige Gewässerentwicklung bzw. -dynamik. Der negative Einfluss anthropogener Flächennutzungen im Gewässerumfeld spiegelt sich auch in den Kartiererergebnissen in Hessen wieder. Die Gewässerstrukturgüte stellt sich in den urbanen Siedlungsbereichen deutlich schlechter dar, als in den Bereichen der freien Landschaft (vgl. Abbildung 20 und Abbildung 21).

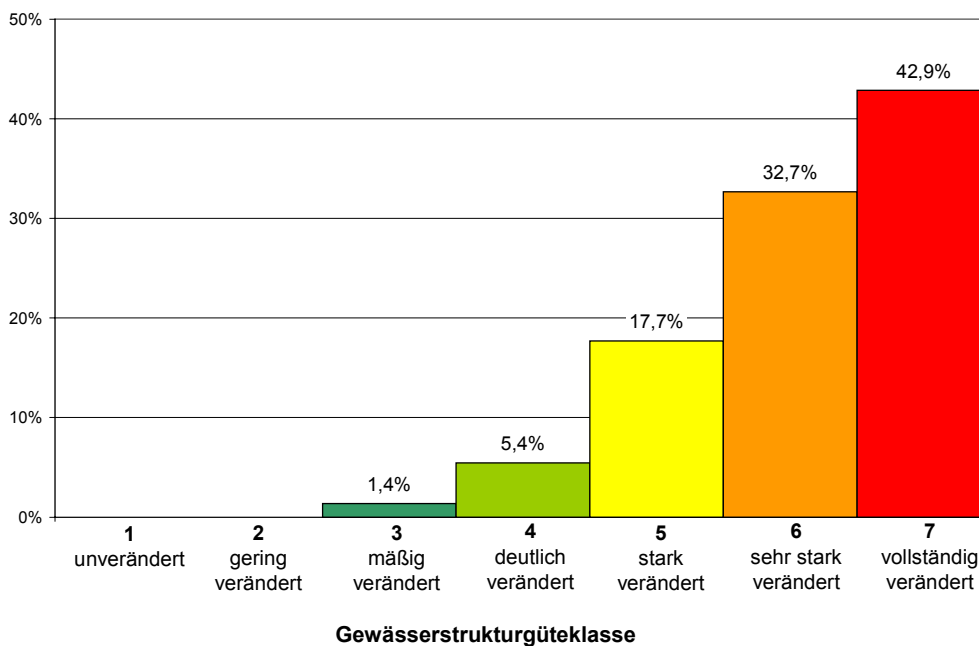


Abbildung 20: Strukturgüteverteilung in Hessen –Siedlungsbereiche



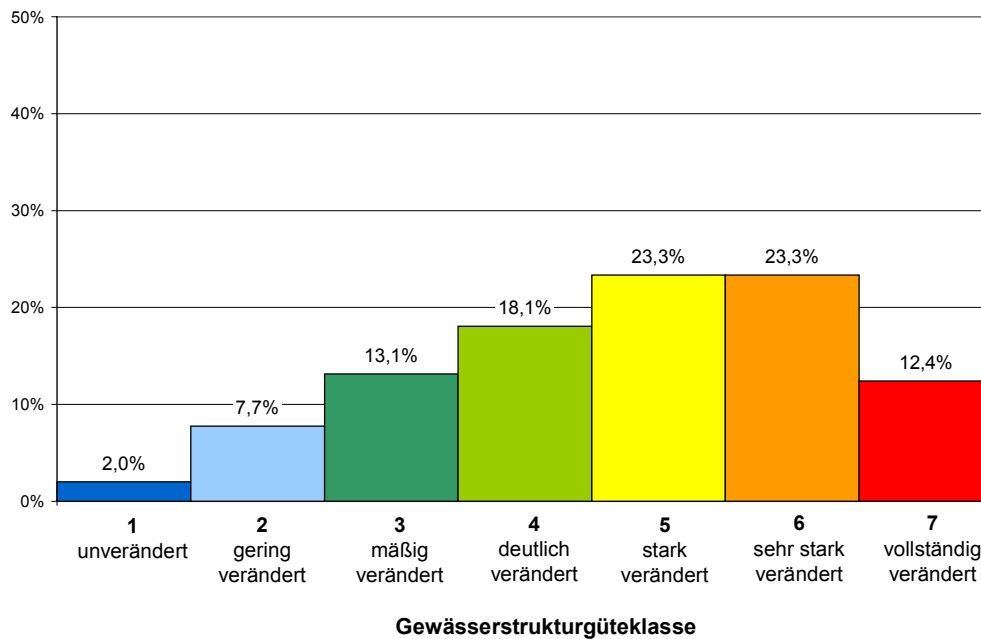


Abbildung 21: Strukturgüteverteilung in Hessen – freie Landschaft

Aufgrund der sehr komplexen Wirkungszusammenhänge im Bereich der Gewässerstrukturen darf man die einzelnen Defizitparameter nicht isoliert betrachten. Die Auswirkungen der unterschiedlichen anthropogenen Eingriffe in die Gewässer werden in verschiedenen und dennoch eng verknüpften Strukturgüteparametern reflektiert. Übergeordnete Strukturdefizite wie bspw. eine naturferne Laufentwicklung begründen u.a. untergeordnete Strukturdefizite in den Bereichen Gewässerlängs- und -querprofil. In einem geradlinigen und im Regelprofil modellierten Gewässerlauf existiert z.B. keine natürliche Gewässerdynamik mehr, in deren Folge sich dann auch keine natürlichen Sohlenstrukturen entwickeln bzw. etablieren können. Tabelle 2 zeigt eine grobe und beispielhafte Zuordnung der übergeordneten und untergeordneten Strukturdefizite.

Tabelle 2: Übergeordnete und untergeordnete (abhängige) Strukturdefizite bzw. -parameter

Übergeordnete Schadstruktur	Resultierende Defizitbereiche	
	direkt	untergeordnet
Anthropogene, hydraulische Belastung	Gewässerumfeld	Laufentwicklung, Querprofil, Längsprofil, Uferstruktur, Sohlstruktur
Naturferner Gewässerlauf	Laufentwicklung	Querprofil, Längsprofil, Uferstruktur, Sohlstruktur
Tiefenerosion	Querprofil	Längsprofil, Uferstruktur, Sohlstruktur
Technisches Regelprofil	Querprofil	Längsprofil, Uferstruktur, Sohlstruktur
Uferverbau	Uferstruktur	Sohlstruktur
Gestörte Durchgängigkeit	Längsprofil	Sohlstruktur
Fehlender Gewässerrandstreifen	Gewässerumfeld	-
Sohlenverbau	Sohlstruktur	-

Mit Hilfe von verknüpften Abfragen der Defizitparameter im Gewässerstrukturgüteinformationssystem von Hessen (GESIS, 2000) lässt sich zeigen, dass gewisse Defizitparameter vornehmlich in Kombination auftreten<sup>3</sup>. Kombinationsabfrage Regelprofil sowie Ufer- und / oder Sohlenverbau

### **Kombinationsabfrage Regelprofil sowie Ufer- und / oder Sohlenverbau**

Die hessenweite Kombinationsabfrage ergab, dass 50 % der Gewässerabschnitte mit Regelprofil auch einen massiven Uferverbau aufweisen. Zudem ergab die Abfrage, dass an mehr als 32 % der Gewässerabschnitte mit Regelprofil auch Sohlenverbau vorzufinden ist. 27 % der hessischen Gewässerabschnitte, an denen ein Regelprofil kartiert wurde, weisen sowohl beidseitigen Uferverbau als auch massiven Sohlenverbau auf (Tabelle 3).

<sup>3</sup> Die Kombinationsabfragen sind aufgrund des enormen Datenumfanges in Zusammenarbeit mit der Hessischen Landesanstalt für Umweltschutz und Geologie durchgeführt worden.

Tabelle 3: Ergebnisse der GESIS-Kombinationsabfrage zu den Einzelparametern 'Regelprofil', 'beidseitiger Uferverbau' und 'Sohlenverbau'

<b>Kombinationsabfrage</b>	<b>Anteil [%]</b>
Regelprofil (Strukturgüteklasse schlechter als 5)	41
davon beidseitiger Uferverbau (Strukturgüteklasse schlechter als 5)	50
davon Sohlenverbau (Strukturgüteklasse schlechter als 5)	32
davon beiseitiger Uferverbau und Sohlenverbau (Strukturgüteklasse schlechter als 5)	27

Die Zahlen belegen, dass bei einer Vielzahl der kartierten Gewässerabschnitte ein technisches Regelprofil in Kombination mit Ufer- und / oder Sohlenverbau auftritt. Bezogen auf Gesamthessen sind an 21 % bzw. 11 % der Gewässerabschnitte Regelprofile in Verbindung mit Ufer- oder bzw. und Sohlenverbau festzustellen.

#### **Kombinationsabfrage Uferbewuchs und Gewässerumfeld**

Die hessenweite Kombinationsabfrage ergab, dass an ca. 67 % der Gewässerabschnitte die keinen Gewässerrandstreifen aufweisen, auch kein bzw. naturraumuntypisches Ufergehölz vorzufinden ist (Tabelle 4).

Tabelle 4: Ergebnisse der GESIS-Kombinationsabfrage zu den Einzelparametern 'Gewässerrandstreifen' und Ufergehölz'

<b>Kombinationsabfrage</b>	<b>Anteil [%]</b>
fehlender Gewässerrandstreifen (Strukturgüteklasse schlechter als 5)	51
davon naturraumuntypische Ufergehölze (Strukturgüteklasse schlechter als 5)	67

Die Zahlen belegen, dass an der Mehrheit der kartierten Gewässerabschnitte, an denen unzureichende Gewässerrandstreifen festgestellt werden, auch keine naturraumtypischen Ufergehölze vorzufinden sind. Bezogen auf Gesamthessen sind an 34 % der Gewässerabschnitte unzureichende Gewässerrandstreifen in Verbindung mit fehlenden bzw. naturraumuntypischen Ufergehölzen festzustellen.

### **2.8 Zusammenfassung der Strukturgütedefizite in Hessen**

Die heute vorzufindenden, häufig schlechten Gewässerstrukturen sind das Ergebnis eines sehr nutzungsorientierten Gewässerausbaus. Zunächst durch Druck von Seiten der Landwirtschaft und später dann vermehrt durch neue Siedlungs- und Verkehrs-

wegeprojekte sowie deren Ansprüche an den Hochwasserschutz sind ehemals natürliche Fließgewässer insbesondere im Zuge der Flurbereinigung einem systematischen Gewässerausbau unterzogen worden. Der Ausbau dieser Gewässer hatte meist zum Ziel, einen sicheren, schnellen und geradlinigen Abfluss herzustellen und somit vermehrt gewässernahe Flächen einer Nutzung zuführen zu können. Um diesen Funktionszustand dauerhaft zu gewährleisten, unterliegen zudem viele Gewässer einer intensiven Gewässerunterhaltung, die eventuell durch Gewässerdynamik entstandene Abweichungen vom Planungszustand korrigiert. Überwiegende Teile der heutigen Fließgewässerlandschaft haben dadurch ihre natürliche Form- und Strukturvielfalt verloren und weisen einen gestreckten Gewässerlauf sowie durch Ufer- und Sohlenverbau gesicherte Regelprofile auf. An ungesicherten Gewässerböschungsläufen kommt es in Verbindung mit der konsequenten Hochwasserfreilegung der Gewässerböschung oft zu überhöhten Sohlschleppkräften, die dann häufig zur Sohlenerosion und Eintiefung der Gewässer führt. Dies bedeutet zusammengefasst, dass an einer Vielzahl der Gewässer die natürliche Mannigfaltigkeit der Lebensräume verschwunden, die Dynamik der Wasserführung vereinheitlicht, die natürliche Durchgängigkeit unterbrochen und die dynamische Einheit von Fluss und Aue massiv eingeschränkt ist. Doch gerade die natürliche Dynamik und Strukturvielfalt ist ein wesentliches Kennzeichen ökologisch intakter Fließgewässer. Nur wenn klein- und großräumig eine große Anzahl unterschiedlicher Strukturen vorhanden sind, kann sich die besonders artenreiche Tier- und Pflanzenwelt der Fließgewässer ansiedeln und entwickeln. Folglich ist als ökologische Konsequenz der unzureichenden Gewässerstrukturen vielerorts eine Verarmung des ursprünglichen Artenbestandes sowie eine Verschiebung des Artenspektrums an Gewässern festzustellen (vgl. Abbildung 2). Zudem sind durch mangelhafte Gewässerstrukturen teilweise auch negative Auswirkungen auf die Wasserqualität zu beobachten.

Unter der Annahme, dass an einem Gewässerabschnitt natürliche Abflussverhältnisse vorherrschen (d.h., dass bspw. keine größeren, nutzungsbedingten Wasserentnahmen oder Abflusserhöhungen durch Hochwasserschutz- bzw. –entlastungsmaßnahmen anzutreffen sind), können folgende Punkte als die Hauptdefizite der Gewässerstrukturgüte in Hessen betrachtet werden:

- **naturferner, oft begradigter Gewässerlauf,**
- **Sohlenerosion,**
- **technisches Regelprofil ggf. mit Ufer- und / oder Sohlenverbau,**
- **gestörte Gewässerdurchgängigkeit (Wehre, Abstürze, Verrohrungen) und**
- **fehlender bzw. naturraumuntypischer Uferbewuchs und unzureichende Gewässerrandstreifen.**

### 3. Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerstrukturgüte

Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerstruktur sollten den Grundsatz verfolgen, degenerierte und monotone Gewässerabschnitte gemäß ihrer natürlichen Ausprägung nachhaltig zu entwickeln und eine möglichst hohe Artenvielfalt am und im Gewässer zu ermöglichen. Maßnahmen zur Wiederherstellung der natürlichen morphologischen Gewässerstrukturen müssen daher auf der Grundlage der naturraumtypischen Verhältnisse (Morphologie, Hydrologie und Biologie) eines Gewässers konzipiert werden. Der ideale Renaturierungsansatz sieht vor, dem Fließgewässer ausreichend Raum zu überlassen, so dass die natürliche Gewässerdynamik uneingeschränkt stattfinden kann und die Gewässerstrukturen sich in ihren natürlichen Abläufen entwickeln können. Solche 'uneingeschränkten' Möglichkeiten zur Gewässerentwicklung sind in unserem heutigen Landschaftsbild aber aufgrund der beengten räumlichen Verhältnisse (Nutzungsdruck durch Siedlungs-, Gewerbe- und Verkehrsflächen) sowie der zahlreichen zu berücksichtigenden Restriktionen (bspw. Schifffahrt, Wasserkraft und Hochwasserschutz) kaum noch realisierbar. Vielmehr müssen die heutigen Renaturierungsansätze umfeldnah sein und den gesellschaftspolitischen Ansprüchen des Gewässerumfeldes ausreichend Rechnung tragen.

#### 3.1 Zielvorgaben-Konzeption in Hessen

Die Strukturgüteklasse 1 (Leitbild) stellt den vom Menschen weitgehend unbeeinflussten Zustand eines Gewässers dar. Dieser natürliche Zustand kann heute eigentlich nur noch ohne sozio-ökonomische Restriktionen erreicht werden und darf daher nicht als allgemeines Renaturierungsziel angesehen werden. In einer dicht besiedelten Kulturlandschaft wie Hessen muss bei der Definition von landesweiten Entwicklungszielen im Gewässerstrukturgütebereich den berechtigten Nutzungsansprüche des Menschen (Restriktionen) ausreichend Rechnung getragen werden. Das Land Hessen hat unter Bezugnahmen dieser Problematik folgende langfristige Zielvorgaben festgelegt:

##### **Strukturgüteklasse 1 (Leitbildgewässer):**

Dieser natürliche und vom Menschen weitgehend unbeeinflusste Gewässerzustand soll soweit noch vorhanden (Anteil zur Zeit 1,5 %) gesichert und als nachhaltiger, schützenswerter Zustand ausgewiesen werden.

##### **Strukturgüteklasse 3:**

Dieser Zustand kann als nachhaltig eingestuft werden und wird als landesweites Sanierungsziel bzw. Entwicklungsziel für Gewässer in der freien Landschaft angestrebt. Die Zielerreichung beträgt zur Zeit ca. 23 % (vgl. Abbildung 21).

##### **Strukturgüteklasse 5:**

Dieser Zustand gewährleistet die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems und führt somit nicht zur Störung der nachhaltigen Entwicklung, sofern die Gewässersohle

durchgängig ist. Die Strukturgüteklasse 5 wird somit als Minimalforderung in bebauten Bereichen (bspw. Ortslagen) angestrebt. Die Zielerreichung beträgt zur Zeit ca. 25 % (vgl. Abbildung 20).

### 3.2 Grundprinzipien der Gewässerrenaturierung

Zur Verbesserung der Gewässerstrukturgüte sind in Abhängigkeit der gewässerspezifischen Defizitsituationen unterschiedlichste Renaturierungsansätze denkbar. Neben dem allgemeinen Grundsatz der Auswahl möglichst effizienter Maßnahmen, sind bei jeder Gewässerrenaturierung folgende **Grundprinzipien** zu beachten (HMULF, 1999a):

#### Prinzip der Ganzheitlichkeit

- Betrachtung des gesamten Einzugsgebietes unter Berücksichtigung der naturräumlichen Verhältnisse und der gesellschaftspolitischen Restriktionen
- Betrachtung von Gewässer, Ufer, Randstreifen und Aue als Einheit
- Problemfelder- sowie fach- und behördenübergreifende Planung
- Öffentlichkeitsbeteiligung

#### Nutzung der Eigendynamik

- Gewässerentwicklung vor Gewässerumgestaltung
- Gewässerrandstreifen als Basis einer naturraumtypischen Gewässerentwicklung
- Unterstützung natürlicher Prozesse durch eine modifizierte, bedarfsorientierte Gewässerunterhaltung

#### Prinzip des Synergismus

- Vorrangige Umsetzung von Maßnahmen, die gleichzeitig Verbesserungen in verschiedenen Problemfeldern bewirken.

*Beispiel:* Verminderung diffuser Stoffeinträge durch naturraumtypische Gewässerrandstreifen, Verbesserung des Hochwasserschutzes durch Gewässerbettaufweitung und Aufwertung des Landschaftsbildes durch einen natürlichen Gewässerlauf

#### Prinzip des ökologischen Minimums

- In der Planungsumsetzung müssen diejenigen Defizite, deren Beseitigung die Voraussetzung für die Behebung anderer Defizite ist, als übergeordnet angesehen und unbedingt zuerst angegangen werden.

*Beispiel:* An Gewässerabschnitten, die den übergeordneten Defizitparameter 'Sohlenerosion' aufweisen, kann aufgrund der unnatürlich hohen Schleppkräfte keine nachhaltige Entwicklung des Längsprofils mit einer naturgemäßen Furt- und Bankabfolge sowie keine naturraumtypische Ausprägung der Ufer- und Sohlstrukturen entstehen. Erst durch ein Beheben des übergeordneten Defizits kann die dauerhafte und naturraumtypische Entwicklung der untergeordneten Strukturparameter beginnen.

### 3.3 Festlegung möglicher Renaturierungsansätze

Die Grundvoraussetzung zur Entwicklung naturraumtypischer Gewässerstrukturen stellen ausreichend Flächen bspw. in Form von Gewässerrandstreifen dar, in denen sich die natürliche Gewässerdynamik im Rahmen der zu beachtenden Restriktionen frei entfalten kann. Lässt sich dieser Ansatz, aufgrund zu weitreichender Restriktionen (bspw. Objektschutz in Siedlungsbereichen, Hochwasserschutz, Wasserkraft, Belange der Schifffahrt u.a.) nicht verwirklichen, können fehlende Gewässerstrukturen auch 'künstlich' durch eine Gewässerbettmodellierung bzw. durch Umgestaltungsmaßnahmen im Ufer- und Sohlenbereich hergestellt werden. In diesem Fall werden entsprechende Sicherungsmaßnahmen (z.B. Steinschüttungen oder Lebendverbau) zum Objektschutz eingebaut. Nachhaltige Verbesserungen im Gewässerlängsprofil lassen sich trotz Restriktionen und intensiver Gewässernutzung mit Maßnahmen zur Herstellung des natürlichen Gewässerkontinuums erreichen. Auf weitergehende Maßnahmen im Bereich des Gewässerumfeldes, d.h. Maßnahmen im Bereich der Siedlungsentwässerung, die vor allem der Verringerung der hydraulischen Belastung von Gewässern dienen, wird im weiteren nicht näher eingegangen.

In Abhängigkeit der gewässerspezifischen Randbedingungen sind folgende Renaturierungsansätze, die sich jeweils aus verschiedenen Einzel- und Teilmaßnahmen zusammensetzen, zur Verbesserung der Gewässerstrukturgüte denkbar:

- **Gewässerbettmodellierung (Morphologische Gewässerumgestaltung),**
- **dynamische Gewässerentwicklung mit unterstützenden wasserbaulichen Maßnahmen,**
- **eigendynamische Gewässerentwicklung durch modifizierte, extensive Gewässerunterhaltung,**
- **Gewässerbettaufweitung (Ausbildung einer Sekundäraue),**
- **lineare Sohlenanhebung,**
- **Herstellen der linearen Gewässerdurchgängigkeit,**
- **Verbesserung der Ufer- und Sohlenstrukturen.**

### 3.4 Definition und Beschreibung der Renaturierungsansätze

#### 3.4.1. Gewässerbettmodellierung (Morphologische Umgestaltung)

Durch morphologische Umgestaltungsmaßnahmen können umfassende Strukturdefizite, wie bspw. auch die Laufentwicklung eines Gewässers, zeitnah in einen naturnahen Zustand gebracht werden. Mit Hilfe von Erdbaumaßnahmen wird die Linienführung sowie das Längs- und Querprofil des Gewässers naturraumtypisch model-

liert. Die Planungsgrundlage der Gewässerbettmodellierung stellt der potentiell natürliche Gewässerzustand dar, der sich anhand von Typisierungsschemata und der Analyse von Referenzgewässern sowie in historischem Kartenmaterial erkennen lässt. Im Zuge der Umgestaltungsmaßnahmen werden wenn möglich ehemalige Altarme und Flutmulden wieder aktiviert. Bei der Modellierung der Ufer- und Sohlstrukturen sollte die Planung zurückhaltend sein und wirklich nur auf naturraumtypische Strukturen zurückgreifen. Nach der Umgestaltung ist es unbedingt notwendig, dem Gewässer gewisse Anpassungs- und Entwicklungszeiten zu gewähren und es nicht sofort durch intensiven Uferverbau und Pflanzmaßnahmen in sein neues 'künstliches' Gewässerbett zentimetergenau festzulegen. Aufgrund des massiven Eingriffes in die Natur sollte eine solch umfangreiche Umgestaltungsmaßnahme nur in Betracht gezogen werden, wenn die Restriktionen im Gewässerumfeld und eine schwach ausgeprägte Gewässerdynamik keine alternative Gewässerentwicklung zulassen.

#### **Einzel- und Teilmaßnahmen des Renaturierungsansatzes:**

- Erdbauarbeiten zur Modellierung des Gewässerlaufes und –bettes sowie ggf. Reaktivierung von Altarmen und Flutmulden
- Grunderwerb von Umgestaltungsflächen (Gewässerrandstreifen)
- Entfernen von massivem Ufer- und Sohlenverbau
- Unterstützende wasserbauliche Maßnahmen  
bspw. Störsteine, Substratschüttungen, Totholz, Grundswellen, Sohlgleiten
- Notwendige Ufersicherungen durch ingenieur-biologische Bauweisen
- Naturraumtypische Pflanzungen
- Bedarfsorientierte Gewässerunterhaltung

#### **3.4.2. Dynamische Gewässerentwicklung mit unterstützenden wasserbaulichen Maßnahmen**

Entwicklungsfreudige Fließgewässer, die eine große Abflussdynamik und ein intaktes Einzugsgebiet aufweisen, können durch eine dynamische Gewässerentwicklung naturraumtypische Ufer- und Sohlstrukturen ausbilden sowie langfristig wieder ihre natürliche Laufform erreichen. Um die zielgerichtete, dynamische Gewässerentwicklung zu ermöglichen, müssen vorhandene massive Uferverbauten entfernt sowie hydraulisch wirksame Einbauten ins Gewässer eingebracht werden. Die wasserbaulichen Maßnahmen wie bspw. Störsteine, Buhnen oder Totholzkonstruktionen lenken die Strömung gezielt auf eine Uferseite und können somit Krümmungserosion und eine Laufentwicklung initiieren. Die Bauweise und Materialien der Einbauten sollten natürlicherweise auch im Gewässer vorkommen können. Im Rahmen der Maßnahmen werden nur Grobstrukturen vorgegeben, die im Laufe der Zeit durch die dynamische Gewässerentwicklung vollendet werden. Voraussetzung



für eine dynamische Gewässerentwicklung ist eine Renaturierungsstrecke von mindestens ca. 500 m, ausreichende Gewässerrandstreifen, auf denen auch Laufentwicklung möglich ist und eine Gewässerunterhaltung, die nur bedarfsorientiert und objektsichernd eingreift. Für eine erfolgreiche Umsetzung der Maßnahmen muss in der Planungsphase eine genaue Analyse der Randbedingungen des Gewässers und des Einzugsgebietes erfolgen.

<b>Einzel- und Teilmaßnahmen des Renaturierungsansatzes:</b>
--

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Unterstützende wasserbauliche Maßnahmen<br/>bspw. Störsteine, Buhnen, Totholz, Grundswellen, Substratschüttungen</li> <li>▪ Grunderwerb von Gewässerrandstreifen zur Gewässerentwicklung</li> <li>▪ Entfernen von massivem Ufer- und event. Sohlenverbau</li> <li>▪ Notwendige Ufersicherungen durch ingenieur-biologische Bauweisen</li> <li>▪ Naturraumtypische Pflanzungen</li> <li>▪ Modifizierte, bedarfsorientierte Gewässerunterhaltung</li> </ul> |
|--|

### **3.4.3. Eigendynamische Gewässerentwicklung durch modifizierte, extensive Gewässerunterhaltung**

Entwicklungsfreudige Fließgewässer, die keine tiefgreifenden Strukturschäden aufweisen, d.h. bspw. nicht in einem befestigten Regelprofil kanalisiert sind, können durch eine eigendynamische Gewässerentwicklung auf Basis einer modifizierten, extensiven Gewässerunterhaltung renaturiert werden. Voraussetzung sind ausreichende Gewässerrandstreifen an beiden Uferseiten und eine dynamische Renaturierungsstrecke von mindestens 500 m. In der extensiven Gewässerunterhaltung wird weitgehend auf folgende Punkte der intensiven Unterhaltung verzichtet:

- Gewässerräumung zur Vorflutererhaltung,
- Erneuerung von Verbau, Uferabbrüchen und Kolken,
- regelmäßiges Schneiden und Auf-den-Stock-setzen von Ufergehölzen.

Notwendige Unterhaltungsmaßnahmen zur Sicherung des Hochwasserabflusses werden strukturunterstützend geplant sowie punktuell und nur bedarfsorientiert eingesetzt. Totholz wird (soweit möglich) als Strukturbildner im Gewässerbett belassen. Aufgrund der eingeschränkten, extensiven und nur punktuellen Unterhaltungsmaßnahmen können Unterhaltungswege teilweise aufgegeben und der Gewässerentwicklungsfläche zugeschlagen werden.

<b>Einzel- und Teilmaßnahmen des Renaturierungsansatzes:</b>
--

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Grunderwerb von Gewässerrandstreifen zur Gewässerentwicklung</li> </ul> |
|--|

- Modifizierte, extensive Gewässerunterhaltung

#### 3.4.4. Gewässerbettaufweitung

Durch eine richtig dimensionierte Gewässerbettaufweitung und die daraus folgende Entwicklung von Gewässerstrukturen und Sekundärauen können uniformierte Regelprofilgewässer dynamisch renaturiert werden. Mit Hilfe der Aufweitung (ein- oder beidseitig) wird dem Gewässer auf einem tieferen Niveau die Möglichkeit zu einer naturraumähnlichen Gewässerentwicklung gegeben. In dem aufgeweiteten Querprofil reduziert sich die Sohlschubspannung und Geschiebmaterial kann abgelagert werden. In der weiteren Entwicklung können Längsbänke entstehen und aus der daraus resultierenden Strömungsumlenkung die Möglichkeit einer eingeschränkten Laufentwicklung, die zur Reduzierung des linearen Gefälles führt. Langfristig wird sich ein dynamisches Gleichgewicht zwischen Sedimentation und Weitertransport mit neuer Sohlenlage einstellen. Die umfassenden Entwicklungsstufen einer Gewässerbettaufweitung sind bis zum Eintreten des langfristigen Gewässergleichgewichtes stetig zu beobachten. Ggf. ist mit Hilfe von wasserbaulichen Maßnahmen korrigierend einzugreifen. Für die erfolgreiche Umsetzung der Maßnahmen muss in der Planungsphase eine genaue Analyse der Randbedingungen des Gewässers und des Einzugsgebietes erfolgen. Wird im Rahmen der Untersuchungen hydraulischer Stress, bspw. hervorgerufen durch einen Regenüberlauf, festgestellt, kommt ggf. zusätzlich der Bau eines Dämpfungsbeckens in Frage.

#### Einzel- und Teilmaßnahmen des Renaturierungsansatzes:

- Erdbauarbeiten zur Gewässerbettaufweitung
- Grunderwerb von Gewässerrandstreifen
- Entfernen von massivem Uferverbau
- Unterstützende wasserbauliche Maßnahmen  
bspw. Störsteine, Substratschüttungen, Totholz, Grundswellen, Sohlgleiten
- Notwendige Ufersicherungen durch ingenieur-biologische Bauweisen
- Naturraumtypische Pflanzungen
- Modifizierte, bedarfsorientierte Gewässerunterhaltung

#### 3.4.5. Lineare Sohlenanhebung

Die erosionsstabile Substratschüttung wirkt bei Ausbildung einer erosionsresistenten Deckschicht gewässerbettstabilisierend und ermöglicht die Wiederherstellung eines natürlichen Sohlenniveaus. Voraussetzung einer langfristigen, stabilen Gewässerentwicklung auf dem erhöhten Sohlenniveau sind ausreichend Gewässerrandstreifen, die als Überflutungsflächen im Hochwasserfall die Strömungskraft des Gewässers vermindern und die natürliche Krümmungs- und Breitenerosion der Ge-

wässerentwicklung erlauben. Durch eine Seitenverlagerung des Gewässers besteht jedoch immer die Gefahr einer neuerlichen Eintiefung der Gewässersohle. Das eingebaute Substrat muss bis zum Eintreten des natürlichen Gewässergleichgewichtes durch geeignete punktuelle Sicherungsmaßnahmen wie bspw. Holzpfahlreihen und Grobsubstratschüttungen vor übermäßiger Erosion geschützt werden. Für eine erfolgreiche Umsetzung der Maßnahmen muss in der Planungsphase eine genaue Analyse der Randbedingungen des Gewässers und des Einzugsgebietes erfolgen. Wird im Rahmen der Untersuchungen hydraulischer Stress, bspw. hervorgerufen durch einen Regenüberlauf festgestellt, kommt ggf. zusätzlich der Bau eines Dämpfungsbeckens in Frage.

#### **Einzel- und Teilmaßnahmen des Renaturierungsansatzes:**

- Erdbauarbeiten zur linearen Sohlanhebung
- Grunderwerb von Gewässerrandstreifen zur Gewässerentwicklung
- Entfernen von massivem Uferverbau
- Sicherungsmaßnahmen (z.B. Holzpfahlreihen) für den Substrateintrag
- Unterstützende wasserbauliche Maßnahmen  
bspw. Störsteine, Substratschüttungen, Totholz, Grundswellen, Sohlgleiten
- Notwendige Ufersicherungen durch ingenieur-biologische Bauweisen
- Naturraumtypische Pflanzungen
- Modifizierte, bedarfsorientierte Gewässerunterhaltung

#### **3.4.6. Herstellen der linearen Gewässerdurchgängigkeit**

Der Renaturierungsansatz beruht auf dem Prinzip des natürlichen Gewässerkontinuums, in dem die vielfältigen Austauschprozesse, die für ein intaktes und stabiles Ökosysteme erforderlich sind, ungehindert stattfinden können. Querbauwerke und Verrohrungen werden so umgestaltet, dass eine naturnahe Gewässerdurchgängigkeit für aquatische Lebewesen entsteht und soweit möglich der natürliche Totholz- und Geschiebetrieb gewährleistet wird. Entscheidende Verbesserungen der Gewässerstrukturgüteklasse werden nur bei umfangreichen Renaturierungsmaßnahmen (bspw. Offenlegung einer Verrohrung) erreicht. Die Minimalforderung sieht den Einbau von natürlichem Sohlensubstrat vor. Die Entfernung von Querbauwerken ist aufgrund restriktiver Randbedingungen nur in selten Fällen möglich und birgt die Gefahr von 'Nebenwirkungen' auf die Gewässersohle (Sohlenerosion).

<b>Einzel- und Teilmaßnahmen des Renaturierungsansatzes:</b>
--

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Umgestaltung von Sohlabstürzen in rauhe Rampen oder Sohlgleiten</li> <li>▪ Bau von Umgehungsgerinnen oder Fischaufstiegsanlagen</li> <li>▪ Abriss von Querbauwerken</li> <li>▪ Entfernen von Verrohrungen, ggf. Umgestaltung in eine Furt</li> <li>▪ Einbau von natürlichem Substrat</li> </ul> |
|--|

### 3.4.7. Verbesserung der Ufer- und Sohlenstrukturen

Maßnahmen wie bspw. strömungswirksame, wasserbauliche Maßnahmen im Gewässerbett sowie kleinräumige Modellierungen von Uferstrukturen und naturraumtypische Pflanzungen bewirken Verbesserungen der Gewässerstrukturen, ohne dass Veränderungen in den übergeordneten Strukturparametern wie bspw. Laufentwicklung notwendig sind. An Gewässerabschnitten, an denen aufgrund von Restriktionen und nicht ausreichend vorhandener Entwicklungsflächen umfassendere Maßnahmen nicht möglich sind, lässt sich so zumindest in Teilbereichen eine nachhaltige Verbesserung des Lebensraums Fließgewässer erwirken.

<b>Einzel- und Teilmaßnahmen des Renaturierungsansatzes:</b>
--

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Uferrandstreifen zur Entwicklung natürlicher Uferstrukturen</li> <li>▪ Ersetzen massiver Uferverbauung durch ingenieurbioologische Maßnahmen</li> <li>▪ Modellierung kleinräumiger Uferstrukturen (Buchten, Bermen, u.a.)</li> <li>▪ Unterstützende wasserbauliche Maßnahmen<br/>z.B. Sohlchikanen, Störsteine, Substratschüttungen, Grundswellen, Totholz</li> <li>▪ Naturraumtypische Pflanzungen</li> <li>▪ Modifizierte, bedarfsorientierte Gewässerunterhaltung</li> </ul> |
|--|

## 3.5 Gewässerspezifische Auswahl eines Renaturierungsansatzes

### 3.5.1. Defizitbasierte Auswahl des Renaturierungsansatzes

In Abhängigkeit der gewässerspezifischen Strukturdefizite (vorhandenen Hauptdefizite) eigenen sind unterschiedliche Renaturierungsansätze zur Behebung der Defizitsituation (Tabelle 5).

Tabelle 5: Zuordnung der Renaturierungsansätze zu den identifizierten Hauptdefiziten der Gewässerstruktur, zunächst unter Nichtberücksichtigung der Randbedingungen

<p><b>Naturferner, (oft begradigter) Gewässerlauf</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gewässerbettmodellierung (Morphologische Umgestaltung)</li> <li>▪ Dynamische Gewässerentwicklung mit unterstützenden wasserbaulichen Maßnahmen</li> <li>▪ Eigendynamische Gewässerentwicklung durch modifizierte, extensive Gewässerunterhaltung</li> </ul>
<p><b>Sohlenerosion</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gewässerbettmodellierung (Morphologische Umgestaltung)</li> <li>▪ Gewässerbettaufweitung</li> <li>▪ Lineare Sohlenanhebung</li> <li>▪ Verbesserung der Sohlenstrukturen</li> </ul> <p><b>nicht geeignet:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Eigendynamische Gewässerentwicklung durch modifizierte, extensive Gewässerunterhaltung</i></li> <li>▪ <i>Dynamische Gewässerentwicklung mit unterstützenden wasserbaulichen Maßnahmen</i></li> </ul>
<p><b>Technisches Regelprofil mit Ufer- und / oder Sohlenverbau</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gewässerbettmodellierung (Morphologische Umgestaltung)</li> <li>▪ Dynamische Gewässerentwicklung mit unterstützenden wasserbaulichen Maßnahmen</li> <li>▪ Verbesserung der Ufer- und Sohlenstrukturen</li> </ul> <p><b>nicht geeignet:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Eigendynamische Gewässerentwicklung durch modifizierte, extensive Gewässerunterhaltung</i></li> </ul>
<p><b>Gestörte lineare Durchgängigkeit</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Herstellen der linearen Gewässerdurchgängigkeit</li> <li>▪ Gewässerbettmodellierung (Morphologische Umgestaltung)</li> </ul>
<p><b>Unnatürlicher Uferbewuchs und fehlende Gewässerrandstreifen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verbesserung der Uferstrukturen</li> <li>▪ Eigendynamische Gewässerentwicklung durch modifizierte, extensive Gewässerunterhaltung</li> </ul>

### 3.5.2. Randbedingungen basierte Auswahl des Renaturierungsansatzes

Um gewisse Renaturierungsansätze umsetzen zu können, müssen teilweise unterschiedliche Randbedingungen erfüllt werden. Tabelle 6 gibt eine Übersicht der zu beachtenden Randbedingungen, die quasi als Voraussetzung zur Umsetzung der verschiedenen Renaturierungsansätze zu sehen sind.

Tabelle 6: Randbedingungen als Entscheidungskriterien zur Auswahl des Renaturierungsansatzes

Renaturierungsansätze	Randbedingungen		
	Restriktionen*	Gewässerrandstreifen**	Gewässerdynamik**
Gewässerbettmodellierung (Morphologische Gewässerumgestaltung)	✓	!	✓
Dynamische Gewässerentwicklung mit unterstützenden wasserbaulichen Maßnahmen	!	!	!
Eigendynamische Gewässerentwicklung durch modifizierte, extensive Gewässerunterhaltung	!	!	!
Gewässerbettaufweitung	✓	!	✓
Lineare Sohlanhebung	✓	!	✓
Herstellen der linearen Gewässerdurchgängigkeit	✓	✓	✓
Verbesserung der Ufer- und Sohlenstrukturen	✓	✓	✓

\*  bedeutet, dass zur Umsetzung des Renaturierungsansatzes keine Restriktionen vorhanden sein dürfen, während mit  gekennzeichnete Ansätze sehr wohl auch in Restriktionslagen ausgeführt werden können.

\*\*  bedeutet, dass Gewässerrandstreifen bzw. eine hohe Gewässerdynamik zur Umsetzung des Renaturierungsansatzes notwendig sind, während mit  gekennzeichnete Ansätze nicht unbedingt Gewässerrandstreifen bzw. eine hohe Gewässerdynamik benötigen.

### 3.6 Entscheidungskriterien zur Einschätzung der Gewässerdynamik bzw. Entwicklungsfreudigkeit eines Gewässerabschnittes

Die Entwicklung naturraumtypischer Gewässerstrukturen vollzieht sich in mehr oder weniger festen Entwicklungszeiträumen. In welchen Zeiträumen genau sich die Gewässerstrukturen in einem geschädigten Gewässer wieder entwickeln können, hängt im wesentlichen von der Dynamik bzw. der sogenannten Entwicklungsfreudigkeit eines Gewässerabschnittes ab. Natürliche Veränderungen der morphologischen Strukturen in den Größenordnungen eines Einzugsgebietes benötigen einen Zeitraum von mehreren hundert Jahren, so dass die Entwicklung eines naturraumtypischen Gewässerlaufes bspw. mehrere Jahrzehnte oder gar ein Jahrhundert dauern kann (Abbildung 22). Die naturgemäßen Formen eines Gewässerbettes dagegen können sich bereits nach wenigen mittleren Hochwasserereignissen entwickeln und Veränderungen in der Mikrohabitatebene stellen sich sogar in Zeitintervallen kleiner als 1 Jahr ein (Kern, 1994).

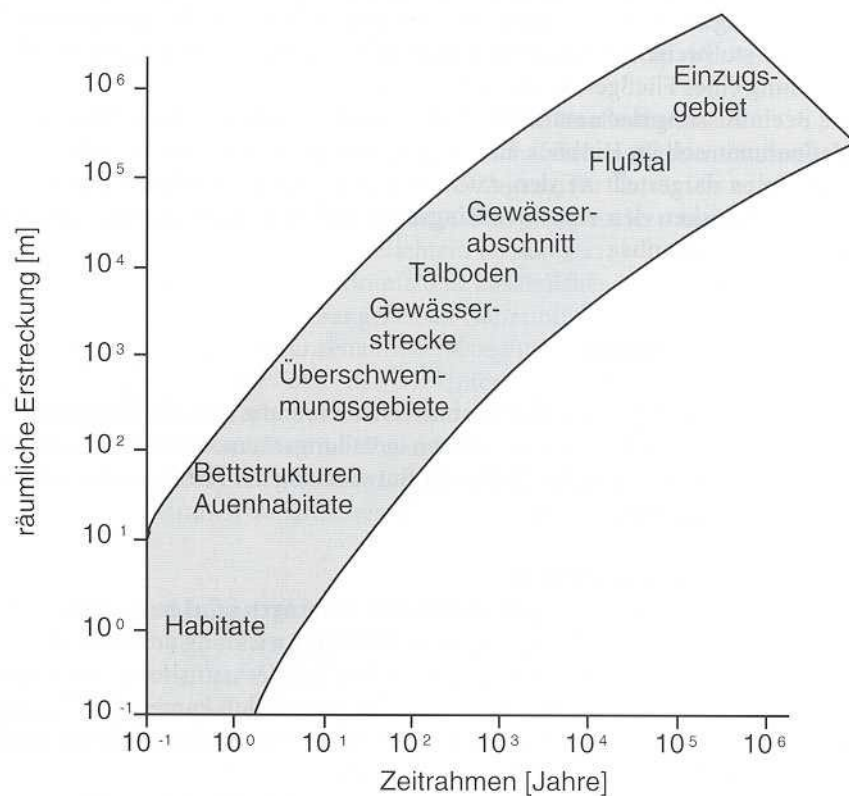


Abbildung 22: Raum-Zeit-Modell der Gewässerentwicklung (Kern, 1994)

Die Beurteilung über den Grad der Entwicklungsfreudigkeit eines Gewässerabschnittes basiert auf komplexen Zusammenhängen und ist von mehreren naturraum-spezifischen Parametern abhängig, die sich nur unzureichend skalar bewerten lassen. Die wesentlichen Kriterien, die zu einer Einschätzung der Entwicklungsfreudigkeit

digkeit eines Gewässers herangezogen werden können sind folgende (Scherle, 1999):

- die breitenspezifische Strömungsleistung,
- die Abflussdynamik / Überschwemmungshäufigkeit,
- die Erosionsresistenz (Festigkeit) des Ufermaterials / Uferbewuchs,
- die Intensität (Umfang) des Feststoff- bzw. Geschiebetransports.

### **Breitenspezifische Strömungsleistung**

Die breitenspezifische Strömungsleistung ist ein Maß für die erosiven Strömungskräfte und somit für die Fähigkeit des Gewässers Ufer zu erodieren und den Gewässerlauf zu verlagern. Mit Hilfe eines definierten bettbildenden Abflusses, dem Gefälle und der Bewässerbreite kann eine Strömungsleistung für einen Gewässerabschnitt errechnet werden (vgl. Gleichung 1).

$$\text{Gleichung 1} \quad P = [\text{Watt} / \text{m}^2] = 9807 \times Q[\text{m}^3 / \text{s}] \times I[-] / b[\text{m}]$$

Zur Beurteilung der Entwicklungsfreudigkeit können die Rechenwerte für die Strömungsleistung wie folgt interpretiert werden:

Tabelle 7: Einschätzung der zu erwartenden Selbstentwicklungstendenz von Gewässerstrukturen anhand der breitenspezifischen Strömungsleistung (verändert nach Scherle, 1999)

<b>Strömungsleistung P</b>	<b>Erwartete Selbstentwicklungstendenzen</b>
unter 10 Watt/m <sup>2</sup>	keine
zw. 10 und 35 Watt/m <sup>2</sup>	geringe
zw. 35 und 100 Watt/m <sup>2</sup>	mittlere
bei mehr als 100 Watt/m <sup>2</sup>	starke

### **Spezifische Abflussdynamik / Überschwemmungshäufigkeit**

Einen wichtigen Punkt zur Beurteilung der eigendynamischen Laufentwicklung eines Gewässerabschnittes spielt die spezifische Abflussdynamik im Bereich der Abflüsse, welche die Größenordnung der mittleren Hochwasserabflüsse besitzen. Geeignete Maßzahlen zur Beschreibung dieser Abflussdynamik müssten die Häufigkeit und Dauer der spezifischen Hochwasserereignisse, die relative Größe der Hochwasserspitzen im Vergleich zu mittleren Abflüssen sowie die Steilheit der Hochwasserwelle, d.h. die Geschwindigkeit der Abflusszunahme und –abnahme, hinreichend charakterisieren. Entsprechende Maßzahlen liegen bisher noch nicht ausreichend vor.



### Erosionsresistenz (Festigkeit) des Ufermaterials / Uferbewuchs

Die Erosionsresistenz des Ufermaterials ist ein wesentlicher Faktor für die zeitliche Entwicklung der Laufkrümmung. Zur einfachen Beurteilung dieses Aspektes können die Ufer vereinfachend in kohäsive, nicht kohäsive und geschichtete Bodenarten (kohäsive Schichten über kohäsionslosen oder umgekehrt) unterteilt werden. Der Erosionsprozess bei kohäsive Ufermaterialien (bspw. Lehm und Ton) wird meistens durch Verwitterung insbesondere in Folge von Forst dominiert. Die nicht kohäsiven Ufermaterialien (Schluff, Sand und Kies) dagegen sind relativ leicht erodierbar und sind - wenn nicht durch Wurzelgeflechte zusammengehalten - 'schutzlos' dem Strömungsangriff ausgesetzt. Neben der Bodenart hängt die Stabilität der Ufer auch von der Lagerungsdichte des Bodenmaterials ab. Die Lagerungsdichte kann auf Basis des spezifischen Gewichtes und in Abhängigkeit der Bodenart folgendermaßen klassifiziert werden: sehr dicht, dicht, mäßig dicht, gering und sehr gering. Bei kohäsionslosen Ufermaterialien wirkt entsprechende Durchwurzelung erosionsverhindernd. Bei kohäsiven Böden wirkt eine Durchwurzelung dagegen nicht zusätzlich stabilisierend, da die Korngrößen größtenteils wesentlich kleiner als die Feinwurzeln sind.

Tabelle 8: Einschätzung der zu erwartenden Selbstentwicklungstendenzen von Gewässerstrukturen anhand der Merkmalsausprägungen des anstehenden Ufermaterials (verändert nach Scherle, 1999)

	Lagerungsdichte				
	sehr dicht	dicht	mäßig	gering	sehr gering
Kohäsives Ufermaterial	keine	keine	keine	keine	geringe
Nicht kohäsives Ufermaterial, ohne Durchwurzelung	mittlere	mittlere	starke	starke	starke
Nicht kohäsives Ufermaterial, mit schwacher Durchwurzelung	keine	keine	geringe	geringe	geringe
Nicht kohäsives Ufermaterial, mit starker Durchwurzelung	keine	keine	keine	keine	keine

### Intensität (Umfang) des Feststoff- bzw. Geschiebetransports

Anhand der Qualität und Quantität des Geschiebetransportes eines Gewässers lässt sich ablesen, ob ein Geschiebedefizit oder annähernd Geschiebegleichgewicht vorhanden ist und ob künftig, bei größerer Bettbreite und beginnender Laufkrümmung, eine Bankbildung möglich wird, welche die Laufentwicklung unterstützen kann. Der Parameter Feststoff- bzw. Geschiebetransport lässt sich nicht skalar erfassen. Aber anhand von spezifischen Fragestellungen zum Geschiebe und der Sohle eines

Gewässers lassen sich Rückschlüsse auf die zur erwartende Entwicklungstendenz von Gewässerstrukturen ziehen.

Tabelle 9: Fragestellungen zu den Geschiebeverhältnissen eines Gewässers und deren Schlussfolgerungen auf die zu erwartenden Entwicklungstendenzen der Gewässerstrukturen (verändert nach Scherle, 1999)

<b>Fragestellung bzw. Feststellung</b>	<b>Zu erwartende Entwicklungstendenzen</b>
Im Gewässerlauf sind deutliche Ufer- und/oder Mittelbankbildungen vorhanden.	starke
Die Gewässersohle ist ohne erkennbare Bankbildung vollständig mit Geschiebe bedeckt und die Gewässerbettbreite ist kleiner als die natürliche Bettbreite.	mittlere
Die Gewässersohle ist ohne erkennbare Bankbildung vollständig mit Geschiebe bedeckt und die Gewässerbettbreite entspricht der natürlichen Bettbreite	geringe
Die Gewässersohle besitzt eine gröbere Geschiebedeckschicht deren kritische Schubspannung kleiner als die bei einem mittleren Hochwasser auftretenden Sohlschubspannungen ist.	geringe
Die Gewässersohle besitzt eine gröbere Geschiebedeckschicht deren kritische Schubspannung größer als die bei einem mittleren Hochwasser auftretenden Sohlschubspannungen ist.	keine
Geschiebe wird in wenigen schmalen Geschieberinnen transportiert oder ist nicht bzw. nur in strömungsberuhigten Bereichen vorhanden.	keine
Geschiebe- und Ufermaterialien bestehen aus vergleichbaren (nicht kohäsiven) Materialien.	mittlere

### **Fazit**

Die Geschwindigkeit und der Ablauf morphologischer Regenerationsprozesse hängen von einer Vielzahl von Faktoren ab und sind schwer zu prognostizieren. Morphologische Prozesse verlaufen in der Regel nicht linear mit gleichbleibender Intensität, sondern z.T. in Form von einzelnen Ereignissen unterschiedlicher Stärke. Die Prozessintensität hängt vor allem von dem Abflussverhalten des Gewässers ab, wobei sich die Häufigkeit und Intensität größerer Hochwasserereignisse nicht vorher-sagen lässt. Eine erste Einschätzung der Entwicklungsfreudigkeit eines Gewässerabschnittes lässt sich anhand pauschaler Abschätzungen der genannten Parameter

herleiten. Die Tendenz der Entwicklungsfreudigkeit ergibt sich wie in Abbildung 23 dargestellt.

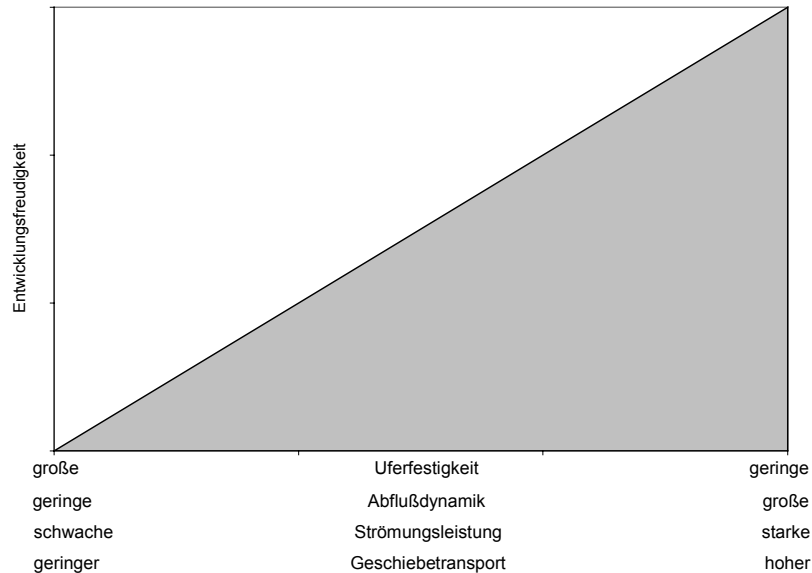


Abbildung 23: Trendabschätzung der Entwicklungsfreudigkeit eines Gewässerabschnittes

Alternativ lassen sich die naturraumspezifischen Parameter der Geologie (Talform, Gefälle und Ufermaterial) und der Hydrologie (Abflussdynamik), welche die Entwicklungsfreudigkeit eines Gewässerabschnittes maßgeblich beeinflussen, auch den Zonierungen der Gewässernachbarschaften zuordnen und somit kann auf die Tendenz der Entwicklungsfreudigkeit eines Gewässers rückgeschlossen werden.

Die Mehrzahl der hessischen Fließgewässer sind dem Typus der Mittelgebirgsbäche zuzurechnen. Diese Gewässeroberläufe zeichnen sich durch hohe Fließgeschwindigkeiten und ausgeprägte Abflussschwankungen aus und können mehrheitlich als entwicklungsfreudig eingestuft werden. Zu beachten gilt, dass bspw. in naturraumtypischen Auetalgewässern der Uferbewuchs mit seinen Wurzeln bis unter die Bachsohle greifen kann und somit die Migration der Laufkrümmung sowie die Veränderlichkeit der Uferstrukturen nur in geringen Maßen stattfinden können (Otto, 1991). Im Gegensatz dazu stehen die Niederungsbäche des hessischen Rieds und weite Teile der mittelhessischen Senkenlandschaft, die sehr geringe Fließgeschwindigkeiten aufweisen und somit als entwicklungsträge einzustufen sind.

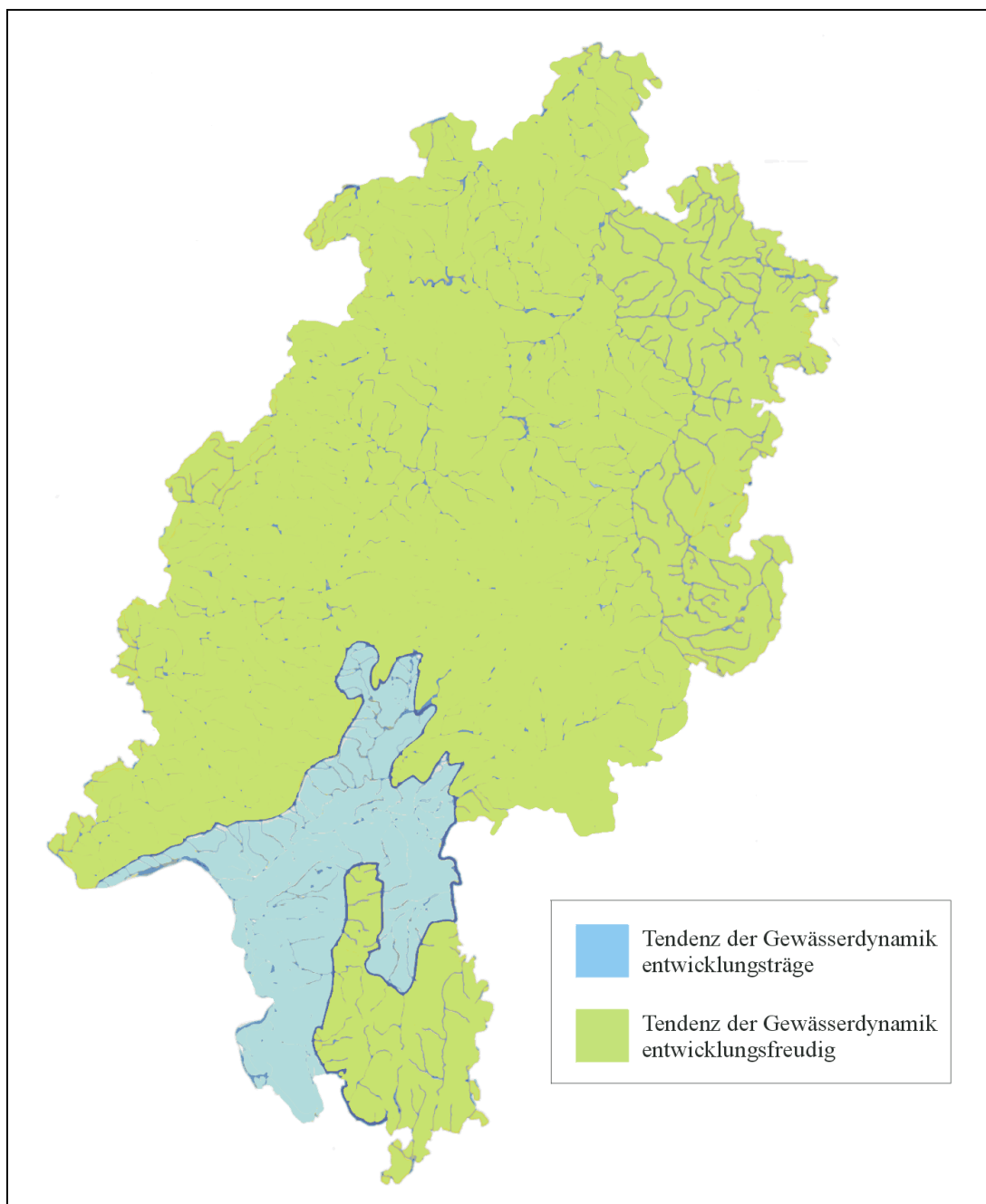


Abbildung 24: Grobe Zuordnung der Tendenz der Entwicklungsfreudigkeit auf Basis der typisierten Gewässernachbarschaften in Hessen

Weiterführende Untersuchungen und gewässerspezifische Analysen müssen diese ersten groben Einschätzungen ergänzen. Nur so kann für die dynamischen Renaturierungsansätze eine gewisse Planungssicherheit gewährleistet werden.

## 4. Kosten-Wirksamkeitsbeziehungen der Renaturierungsansätze

Ziel dieser Betrachtungsweise ist es, die Kosten-Wirksamkeitsbeziehungen verschiedener Renaturierungsansätze anschaulich darzustellen, um die daraus gewonnenen Erkenntnisse als Grundlage für Handlungsempfehlungen und Prioritätenfestsetzungen verwenden zu können. Die Bewertung der Renaturierungsansätze erfolgt mit Hilfe einer Kosten-Wirksamkeitsanalyse. Bei dieser wird im Unterschied zur Kosten-Nutzen-Analyse eine Bewertung in nicht monetären Einheiten vorgenommen (Schleich, 1999).

### 4.1 Bemerkungen zur Methodik

Um in die Analyse mehrdimensionale und multiple Zielwerte einbeziehen zu können, wird die Kosten-Wirksamkeitsanalyse als Kosten-Nutzwert-Analyse durchgeführt. Methodisch wird die Wirksamkeit der Renaturierungsansätze anhand der Verbesserungen der Gewässerstrukturgüte auf Basis des 7-stufigen Klassifizierungsverfahrens der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) bewertet (LAWA, 2000). Die Kostenwirksamkeit (KW) errechnet sich somit aus dem Quotienten der zusätzlich aufzuwendenden Kosten für die Renaturierungsmaßnahmen und den Veränderungen des Gewässerstrukturgütezustandes ( $\Delta SGK$ ) in einem angemessenen Zeitraum nach Maßnahmendurchführung.

In differenzieller Schreibweise:

$$\text{Gleichung 2: } KW = \frac{K}{\Delta SGK}$$

K = aufzuwendende Renaturierungskosten

$\Delta SGK$  = Verbesserung der Gewässerstrukturgüte (7-stufige LAWA-Verfahren)

Aufgrund der dynamischen Entwicklungszeiten der unterschiedlichen Gewässerstrukturen (Abbildung 22) kann man nicht davon ausgehen, dass die Verbesserungen der Gewässerstrukturgüte schon kurz nach Maßnahmendurchführung abgeschlossen sind. Vielmehr stellen die unterschiedlichen Renaturierungsmaßnahmen einen Anstoß für die morphologische Regeneration der Gewässer dar. Die anschließende dynamische Entwicklung naturraumtypischer Gewässerstrukturen nimmt gewisse Zeitspannen in Anspruch, die sich nur unzureichend prognostizieren lassen. Zur vereinfachten Berücksichtigung dieser langfristigen Gewässerentwicklungsperspektiven werden im Rahmen der hier durchgeführten Kosten-Wirksamkeitsanalysen die Ergebnisse für einen kurz- bis mittelfristige Zeitrahmen (1 - 20 Jahre) sowie für eine längerfristige Tendenz (> 20 Jahre) dargestellt.

## 4.2 Datengrundlage

Als Datengrundlage zur Berechnung der Kostenwirksamkeiten der unterschiedlichen Renaturierungsansätze dienen beispielhafte Renaturierungsprojekte in Hessen. Die betrachteten Beispielprojekte in Hessen sind zum größten Teil im Rahmen des Landesprogramms 'Naturnahe Gewässer' gefördert worden. Die betrachteten Projekte sind zum einen Teil Mitte der 90-iger Jahre realisiert worden, einige wenige sogar bereits in den 80-iger Jahren. Der andere Teil befindet sich kurz vor der Realisierung oder ist gerade vor kurzer Zeit fertiggestellt worden. Die Kosten zu den unterschiedlichen Renaturierungsansätzen stützen sich auf die Abschlussrechnungen der Projekte, die Kostenschätzungen aus den Projektanträgen zur Förderung der Maßnahmen im Rahmen des Landesprogramms sowie auf die praxisnahen Erfahrungswerte der Staatlichen Umweltämter in Hessen.

Bis dato sind nur sehr wenige Monitoringprojekte (bspw. Smukalla, 1994; Knott, 1998; König, 2000) zur Entwicklungsbewertung der Gewässerstrukturen nach Durchführung von Renaturierungsmaßnahmen bekannt. Aufgrund der teilweise unzureichenden Datengrundlage konnten nicht für alle Beispielprojekte die Verbesserungen in der Gewässerstrukturgüte im Detail nachvollzogen werden. Die Beurteilung der Wirksamkeit der Renaturierungsansätze beruht bei den bereits realisierten Projekten auf den Ergebnissen der hessischen Gewässerstrukturgütekartierung, die zum Teil den Zustand vor und teilweise auch nach Durchführung der Renaturierungsmaßnahmen aufzeigen. Zur Ergänzung des Vorher-Nachher-Vergleiches sind nicht kartierte Strukturgütezustände aus Karten und Bildmaterial rekonstruiert worden, bzw. es wurde auf die fachkompetenten Einschätzungen der in die Planungsphase involvierten örtlichen Behörden und Planungsbüros zurückgegriffen. Die Renaturierungsansätze "Dynamische Gewässerentwicklung mit unterstützenden wasserbaulichen Maßnahmen" und "Eigendynamische Gewässerentwicklung durch modifizierte, extensive Gewässerunterhaltung" sind bisher nur sehr selten in Hessen durchgeführt worden bzw. befinden sich momentan erst in der Projektierungsphase, so dass für diese Ansätze zur Zeit nur unzureichend Wirkungsdaten vorliegen. Für die Wirkungsabschätzung im Rahmen der Kosten-Wirksamkeitsanalyse sind für diese beiden 'dynamischen' Ansätze zusätzlich Szenarien definiert und in ihrer Wirkungsweise prognostiziert worden. Diese szenarienbasierten Prognosen ergänzen die vorhandenen Datengrundlagen. Die längerfristigen Entwicklungstendenzen für alle Beispielprojekte verstehen sich als Prognose und beruhen auf einer fachlichen Abschätzung des erkennbaren langfristigen Entwicklungspotentials sowie einer Einschätzung zur Entwicklungsfreudigkeit der betrachteten Renaturierungsstrecke. Die Daten der Beispielprojekte werden wiederum durch szenarienbasierte Prognosen ergänzt.

Tabelle 10: Übersicht der Datengrundlage zur Kosten-Wirksamkeitsanalyse

<b>Datengrundlage</b>	
<b>Kosten</b>	Projektabschlussrechnungen Projektangebote Kostenschätzungen der Planer Erfahrungswerte der Behörden Literaturangaben (Gunkel, 1996; Bostelmann et al., 2000; u.a.)
<b>Wirkung</b>	Hessische Gewässerstrukturgütekartierung (GESIS, 2000) Erfolgskontrollen und Monitoring (Smukalla, 1994; Knott, 1998; König, 2000) Planungsunterlagen (Pläne, Karten, Bilddokumente) Erfahrungswerte der Behörden und Planer Literaturangaben (Patt et al., 2000; Kern, 1994; Scherle, 1999) Szenarienbasierte Prognose des Entwicklungspotentials

#### 4.2.1. Kostendaten

In einem ersten Schritt sind ausgewählte Beispielrenaturierungsprojekte den definierten 7 Renaturierungsansätzen zugeordnet worden. Diese Unterteilung ist recht grob, teilweise umfassen Projekte mehrere Renaturierungsansätze gleichzeitig. Diese Projekte werden dann den hauptsächlich verfolgten Ansätzen zugeordnet. Maßgebliche Preissteigerungen für Renaturierungsprojekte hat es nach entsprechenden Angaben der Genehmigungsbehörden für die Zeiträume der betrachteten Beispielprojekte nicht gegeben. Ziel der Gewässerstrukturmaßnahmen ist es, einen dauerhaften renaturierten Gewässerzustand zu erreichen, der zukünftig keine erneuten Investitionsmaßnahmen notwendig macht, d.h. eine (technische) Lebensdauer kann für Renaturierungsmaßnahmen nicht angegeben werden und die Investitionskosten zur Gewässerrenaturierung sind als einmalig anzusehen. Die Betriebs- bzw. Unterhaltungskosten der renaturierten Gewässerabschnitte liegen langfristig in der Regel unter denen der herkömmlich, intensiv bewirtschafteten Gewässer (Bostelmann et al. 2000). Den Berechnungen wird zugrunde gelegt, dass durch die Gewässerstrukturmaßnahmen keine erhöhten Betriebskosten entstehen.

Für eine vergleichbare Kosten-Wirksamkeitsanalyse werden die Projektkosten (Baukosten, Grunderwerb und Planung) auf die renaturierte Gewässerstrecke bezo-

gen [DM/lfm], bzw. für Durchgängigkeitsmaßnahmen auf [DM pro Maßnahme] (Abbildung 25).

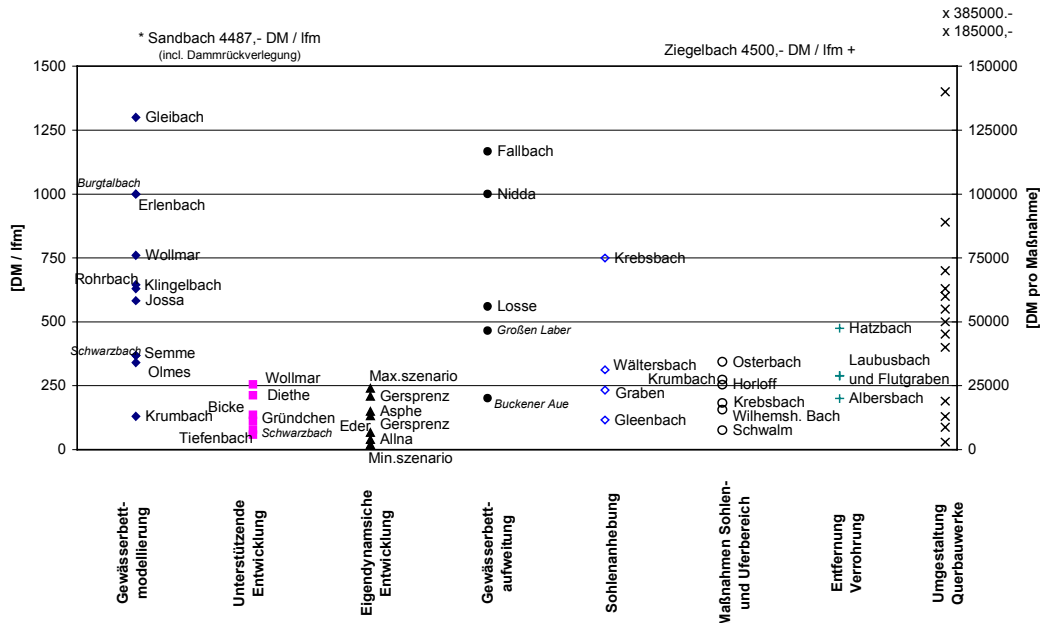


Abbildung 25: Kostenbandbreiten der Beispielrenaturierungsprojekte in Hessen

Entsprechend der regional differenzierten konjunkturellen Situation der Baubranche können die Baupreise sehr unterschiedlich sein. Für Hessen ergab sich bspw. ein deutliches Preisgefälle zwischen Süd- und Nordhessen. Die teilweise enormen Kostenbandbreiten haben außerdem ihre Ursache in projektspezifischen Randbedingungen. Besonders bei Renaturierungsansätzen, die Erdbaumaßnahmen beinhalten, können der Umfang der zu bewegenden Erdmassen und die eventuell notwendigen Transport- und Deponiekosten erheblich differieren. Noch weit größere Kostenbandbreiten bestehen beim Renaturierungsansatz 'Herstellen der Gewässerdurchgängigkeit'. Der Aufwand zur Herstellung der Durchgängigkeit variiert stark in Abhängigkeit der örtlichen Randbedingungen (z.B. Restriktionen, Gewässerbreite, Abflüsse). Die Kosten der 'Durchgängigkeitsmaßnahmen' sind in Bezug auf die Renaturierungsstrecke sehr groß und lassen sich für eine akzeptable Vergleichbarkeit mit den übrigen Renaturierungsansätzen nicht auf eine bestimmte Renaturierungsstrecke beziehen.

Zur Eingrenzung der Kostenbandbreiten wurden in einem zweiten Schritt auf Basis der Erfahrungswerte praxisnahe, mittlere Durchschnittswerte gebildet (Abbildung 26).



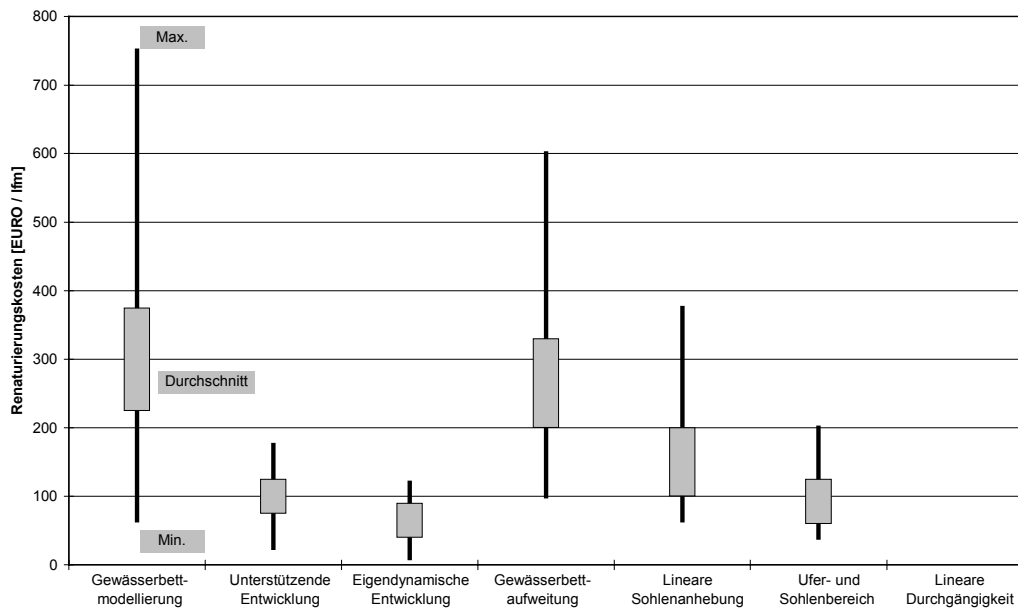


Abbildung 26: Durchschnittliche Kostenbandbreiten der Renaturierungsansätze

#### 4.2.1. Wirkungsdaten

Aus den im Rahmen der Analyse der Beispielrenaturierungsprojekte recherchierten und abgeschätzten Verbesserungen der Gewässerstrukturen [ $\Delta$  SGK] ergeben sich für die definierten Renaturierungsansätze unterschiedliche Bandbreiten bzgl. der potentiellen Wirkung. Für den kurz- bis mittelfristigen Zeitrahmen (1 – 20 Jahre) sowie für die längerfristige Tendenz (> 20 Jahre) lassen sich somit durchschnittliche Wirkungsbandbreiten als Prognosewerte ermitteln (Abbildung 26 und Abbildung 28). Die dargestellten Werte basieren auf Beispielprojekten und Szenarien und gelten für durchschnittliche Verhältnisse.

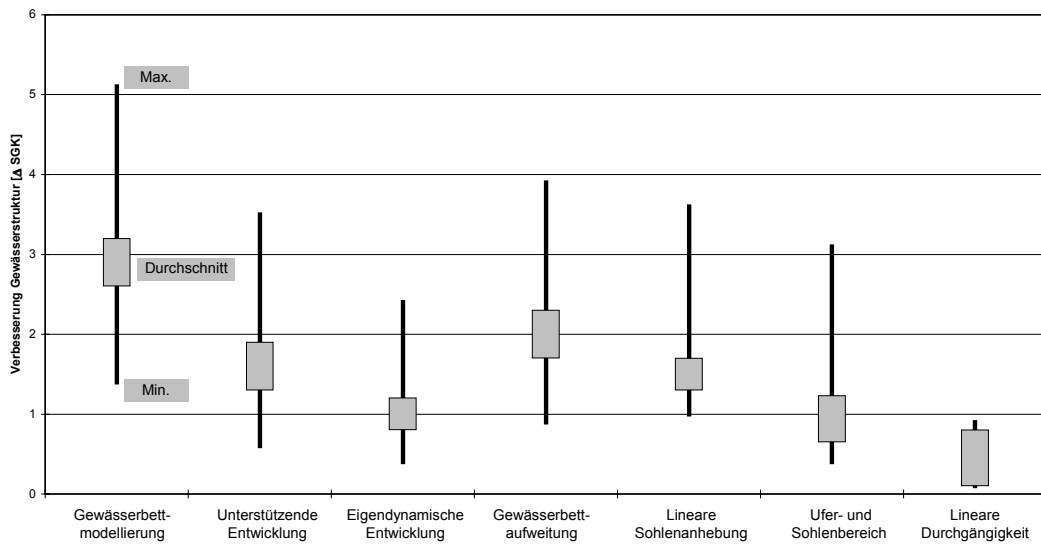


Abbildung 27: Durchschnittliche Wirkungsbandbreiten der Renaturierungsansätze für den kurz- bis mittelfristigen Betrachtungszeitraum (1 – 20 Jahre)

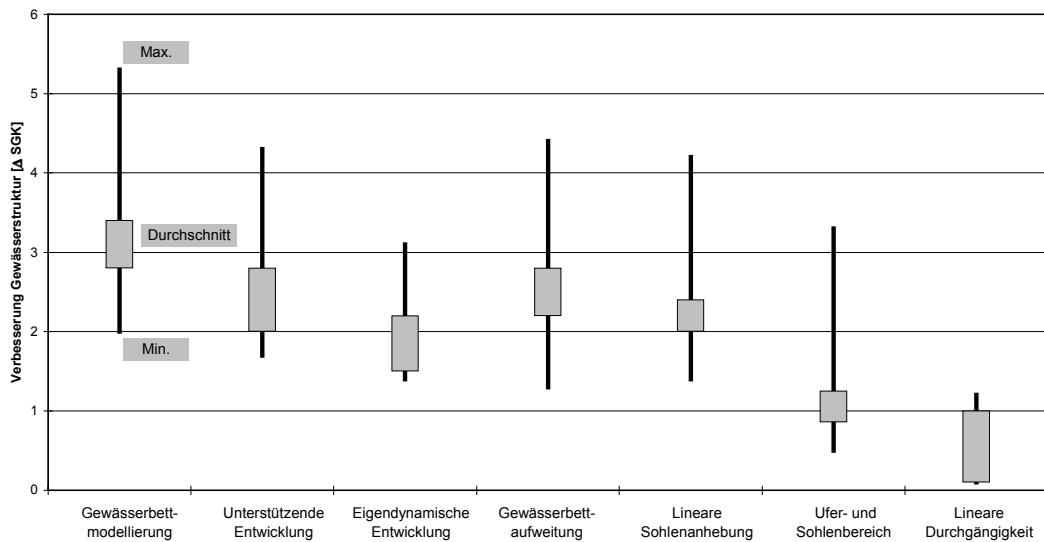


Abbildung 28: Durchschnittliche Wirkungsbandbreiten der Renaturierungsansätze für die längerfristige Tendenz (> 20 Jahre)

Zur Berücksichtigung der Bandbreiten unterschiedlicher gewässerspezifischer Randbedingungen werden die Wirkungswerte in einer differenzierten Darstellung in folgende Abstufungen unterteilt (Tabelle 11):

- abgeschätzte Wirkungswerte unter ungünstigen Randbedingungen,
- durchschnittliche Wirkungswerte,
- abgeschätzte Wirkungswerte unter günstigen Randbedingungen.

Tabelle 11: Übersicht der abgeschätzten maximalen und minimalen sowie der durchschnittlichen Wirkungswerte der Renaturierungsansätze


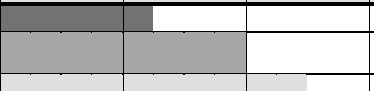
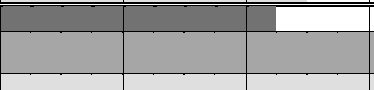

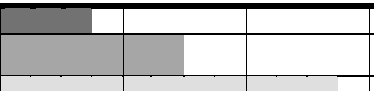
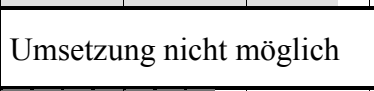

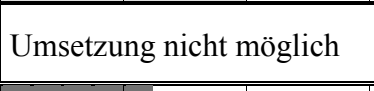
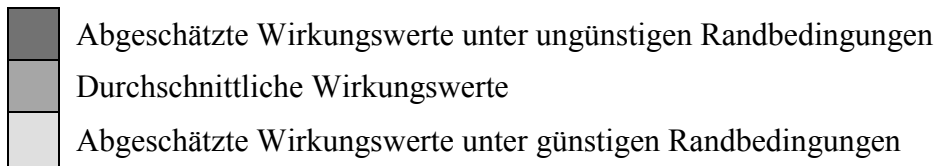
<b>Wirkungswerte der Renaturierungsansätze</b>				
Potentielle Verbesserung der Gewässerstruktur um ... Güteklassen [ $\Delta$ SGK]		[ $\Delta$ SGK]		
		1	2	3
<b>Gewässerbettmodellierung</b>				
kurz – bis mittelfristig	in der freien Landschaft			
	in Restriktionsbereichen			
längerfristige Tendenz	in der freien Landschaft			
	in Restriktionsbereichen			
<b>Unterstützende Entwicklung</b>				
kurz – bis mittelfristig	in der freien Landschaft			
	in Restriktionsbereichen	Umsetzung nicht möglich		
längerfristige Tendenz	in der freien Landschaft			
	in Restriktionsbereichen	Umsetzung nicht möglich		
<b>Eigendynamische Entwicklung</b>				
kurz – bis mittelfristig	in der freien Landschaft			
	in Restriktionsbereichen	Umsetzung nicht möglich		
längerfristige Tendenz	in der freien Landschaft			
	in Restriktionsbereichen	Umsetzung nicht möglich		

Tabelle 12: Übersicht der abgeschätzten maximalen und minimalen sowie der durchschnittlichen Wirkungswerte der Renaturierungsansätze

Potentielle Verbesserung der Gewässerstruktur um ... Güteklassen [ $\Delta$ SGK]		[ $\Delta$ SGK]		
		1	2	3
<b>Gewässerbettaufweitung</b>				
kurz – bis mittelfristig	in der freien Landschaft			
	in Restriktionsbereichen			
längerfristige Tendenz	in der freien Landschaft			
	in Restriktionsbereichen			
<b>Lineare Sohlenanhebung</b>				
kurz – bis mittelfristig	in der freien Landschaft			
	in Restriktionsbereichen			
längerfristige Tendenz	in der freien Landschaft			
	in Restriktionsbereichen			
<b>Gewässerdurchgängigkeit</b>				
kurz – bis mittelfristig	Querbauwerke			
	Verrohrungen = Modellierung			
längerfristige Tendenz	Querbauwerke			
	Verrohrungen = Modellierung			

Tabelle 13: Übersicht der abgeschätzten maximalen und minimalen sowie der durchschnittlichen Wirkungswerte der Renaturierungsansätze

Potentielle Verbesserung der Gewässerstruktur um ... Güteklassen [ $\Delta$ SGK]		[ $\Delta$ SGK]		
		1	2	3
<b>Ufer- und Sohlenbereich</b>				
kurz – bis mittelfristig	in der freien Landschaft			
	in Restriktionsbereichen			
längerfristige Tendenz	in der freien Landschaft			
	in Restriktionsbereichen			



### 4.3 Ergebnisse der Kosten-Wirksamkeitsanalyse

Entsprechend der dargestellten Methodik und auf Basis der genannten Datengrundlage (Durchschnittswerte) ergeben sich folgende Kosten-Wirksamkeitsbeziehungen für die definierten Renaturierungsansätze (Abbildung 29). Die Balkendarstellung gibt die Bandbreite der Ergebnisse wieder.

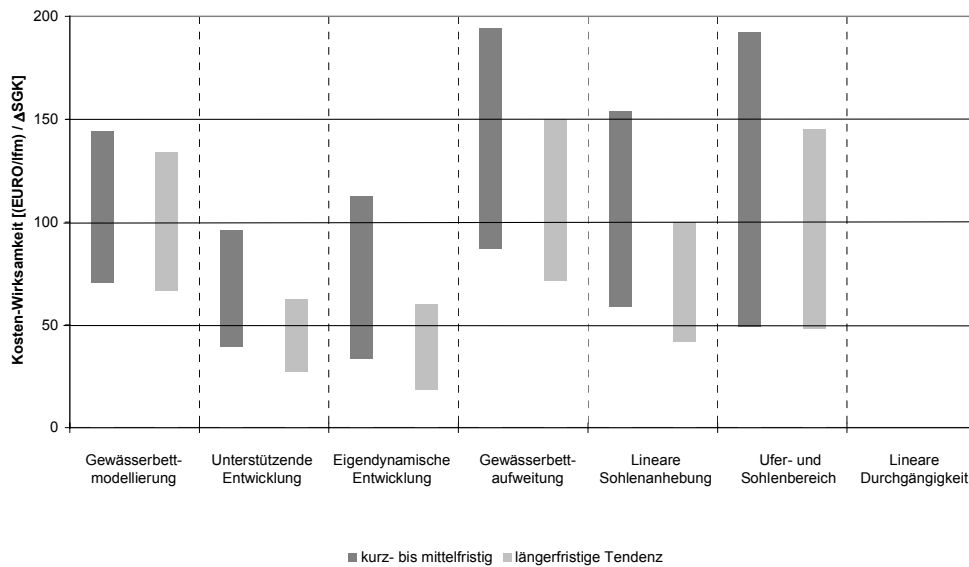


Abbildung 29: Durchschnittliche Kosten-Wirksamkeitsbandbreiten der Renaturierungsansätze für einen kurz- bis mittelfristigen Zeitraum sowie eine langfristige Prognose

In dem kurz- bis mittelfristigen Zeitraum (1 – 20 Jahre) bzw. für die längerfristige Tendenz (> 20 Jahre) können die Renaturierungsansätze entsprechend den errechneten Kostenwirksamkeiten folgenden Kategorien zugeordnet werden (Tabelle 14 und Tabelle 15).

Tabelle 14: Kosten-Wirksamkeitsbeziehung der Renaturierungsansätze im kurz- bis mittelfristigen Zeitraum (1 – 20 Jahre)

SEHR GUT < 50 (Euro/lfm)/Δ SGK	GUT 50 bis 100 (Euro/lfm)/Δ SGK	MITTEL 100 bis 150 (Euro/lfm)/Δ SGK	MÄSSIG > 150 (Euro/lfm)/Δ SGK
Unterstützende Entwicklung			
Eigendynamische Entwicklung			
Gewässerbettmodellierung			
Lineare Sohlenanhebung			
Ufer- und Sohlenbereich			
Gewässerbettaufweitung			

Tabelle 15: Kosten-Wirksamkeitsbeziehung der Renaturierungsansätze für die langfristige Tendenz ( $> 20$  Jahre)

SEHR GUT $< 50$ (Euro/lfm)/ $\Delta$ SGK	GUT 50 bis 100 (Euro/lfm)/ $\Delta$ SGK	MITTEL 100 bis 150 (Euro/lfm)/ $\Delta$ SGK	MÄSSIG $> 150$ (Euro/lfm)/ $\Delta$ SGK
---	--	--	--

Eigendynamische Entwicklung

Unterstützende Entwicklung

Lineare Sohlenanhebung

Gewässerbettmodellierung

Ufer- und Sohlenbereich

Gewässerbettaufweitung



In der kurz- bis mittelfristigen Betrachtungsweise sowie in der längerfristigen Tendenz erreichen die Renaturierungsansätze "Unterstützende Entwicklung" und "Eigendynamische Entwicklung" besonders große Wirkungen in Relation zu den erforderlichen Kosten. Mit dem Renaturierungsansatz "Gewässerbettmodellierung" können zwar sehr gute Verbesserungen der Gewässerstrukturen erreicht werden, die Maßnahmendurchführung ist jedoch sehr aufwendig und mit vergleichsweise hohen Kosten verbunden, so dass die Kosten-Wirksamkeitsrelation nur mittlere bis gute Werte aufweist. Durch die Modellierung der Gewässerstrukturen kann das Verbesserungspotential der Gewässerstrukturen kurzfristig ausgeschöpft werden, aber in der längerfristigen Tendenz sind dann auch keine weiteren maßgeblichen Verbesserungen mehr zu erwarten. Der Renaturierungsansatz "Lineare Sohlenanhebung" kann sehr kurzfristig schwerwiegenden Sohlenerosionsproblemen entgegenwirken. Nachfolgende Verbesserungen der Gewässerstrukturen sind dann maßgeblich von den Restriktionen und der Dynamik des Gewässers abhängig. Die Kosten-Wirksamkeit bewegt sich für den kurz- bis mittelfristigen Zeitraum im Bereich mäßig bis gut und kann sich in der längerfristigen Tendenz bis auf gute bis sehr gute Werte verbessern. Die Maßnahmen des Renaturierungsansatzes "Ufer- und Sohlenbereich" weisen sehr große Kosten-Wirksamkeitsbandbreiten auf. Der Grund hierfür liegt in den, in Abhängigkeit der Restriktionen sehr stark variierenden Wirkungen und Kosten der durchzuführenden Maßnahmen. In der kurz- bis mittelfristigen Betrachtungsweise sind mäßige bis gute Kosten-Wirksamkeiten zu erreichen. Aufgrund der tendenziell eher kleinräumigen Ansatzpunkte der Maßnahmen sind in der längerfristigen Tendenz auch keine größeren Verbesserungen der Gewässerstrukturen mehr zu erwarten. Der Renaturierungsansatz "Gewässerbettaufweitung" weist sowohl in der kurz- bis mittelfristigen Zeitspanne, als auch in der längerfristigen Tendenz relativ schlechte Kosten-Wirksamkeitswerte auf. Grund hierfür sind vor allem die hohen Kosten, welche ursächlich darin begründet sind, dass bei der Maßnahmenausführung Erdbewegungen sowie Transport und eventuell erhebliche Depositionierung der Erdmassen notwendig werden. Der Renaturierungsansatz "Gewässerdurchgängigkeit" gewährleistet, dass die wichtigen und vielfältigen Austauschprozesse im Gewässer stattfinden können. Somit haben die Durchgängigkeitsmaßnahmen, auch wenn sie zur Verbesserung der Gewässerstrukturgüteklasse nur einen geringen Beitrag leisten können, entscheidende Bedeutung für die aquatischen Ökosysteme. Die Umsetzung erfolgt sehr punktuell, so dass sich auch die Kosten der Maßnahmen nur unzureichend auf eine bestimmte Gewässerlänge beziehen lassen und somit eine entsprechende Darstellung der Kostenwirksamkeiten nicht möglich ist.

#### **4.4 Fazit**

Bei der konzeptionellen Planung von Renaturierungsmaßnahmen sind die dynamischen Ansätze "Unterstützende Entwicklung" sowie "Eigendynamische Entwicklung" unter Kosten-Wirksamkeitsgesichtspunkten zu favorisieren. Voraussetzung für eine wirkungsvolle Umsetzung dieser Renaturierungsansätze sind ausreichend breite Gewässerrandstreifen und zusammenhängende Renaturierungsabschnitte, die

ungefähr eine Mindestlänge von ca. 500 m betragen sollten. Die Schaffung naturraumtypischer Gewässerrandstreifen sind ein sehr wichtiger Bestandteil jedes Renaturierungsansatzes, denn nur auf Basis der Gewässerrandstreifen können mit Hilfe der naturraumtypischen Gewässerdynamik natürliche Gewässerstrukturen entstehen. Ohne ausreichend breite Gewässerrandstreifen steht die für die Entwicklung natürlicher Gewässerstrukturen so wichtige Gewässerdynamik immer in Konflikten mit den an die Gewässer grenzenden Nutzungen. Besonders in Bereichen mit landwirtschaftlicher Nutzung sollten alle Möglichkeiten ausgeschöpft werden durchgängige Gewässerrandstreifen zu etablieren. Mit Hilfe unterschiedlicher Regelungen, z.B. den Flurbereinigungsverfahren, Flächenaufkäufe mit Fördermitteln, langfristige vertraglich geregelte Nutzungsänderungen und mit Prämiensystemen sollte auf alle Veränderungen in der Landwirtschaft reagiert werden können und die Ausweisung von Gewässerrandstreifen intensiv vorangetrieben werden. Neben der Voraussetzung zur dynamischen Gewässerentwicklung haben Gewässerrandstreifen eine sehr positive Wirkung auf die Minimierung diffuser Stoffeinträge aus der Landwirtschaft sowie eine positive Wirkung auf den Hochwasserabfluss, da sie die natürlichen Retentionsflächen der Fließgewässer darstellen.

Gewisse Restriktionen wie bspw. in Siedlungsbereichen sowie die wichtigen Aspekte des Hochwasserschutzes lassen in unserer heutigen Kulturlandschaft in vielen Fällen die unbegrenzte, naturraumtypische Gewässerdynamik nicht zu. Die Restriktionsbereiche müssen bei der Gewässerrenaturierung nicht zwangsläufig außen vorgehen werden. Durch kleinräumige Maßnahmen im Ufer- und Sohlenbereich sowie mit Hilfe von Durchgängigkeitsmaßnahmen können für die aquatische und terrestrische Biozönose entscheidende Verbesserungen erreicht werden. Alternativ sind auch umfassende Ansätze wie z.B. Gewässerbettaufweitungen oder Gewässerbettmodellierungen denkbar, mit denen unter Berücksichtigung der Restriktionen auch in Siedlungsbereichen naturraumähnliche Gewässerstrukturen erreicht werden können und gleichzeitig noch eine sehr deutliche Steigerung der Lebensqualität und des Naherholungswertes im Siedlungsbereich erzielt wird. Es besteht zudem die Möglichkeit geeignete Renaturierungsstrecken mit einem Gewässerlehrpfad zu kombinieren und auf diese Weise die Bevölkerung, insbesondere Kinder und Jugendliche in dem angenehmen Umfeld der Naherholung an einem naturnahen Gewässer über die Belange des Schutzgutes Wasser zu informieren und sie hierfür zu sensibilisieren (Beispielhaftes Projekt: Gewässerlehrpfad Fuldata).

Die Verbesserungen der Gewässerstrukturen nach Maßnahmendurchführung lassen sich nur in einem gewissen Rahmen prognostizieren. Die Umsetzung der Renaturierungsmaßnahmen stellen bei gewissen Renaturierungsansätzen nur den Anstoß zur Entwicklung naturraumtypischer Gewässerstrukturen dar. Die dynamische Entwicklung der Strukturen und die dazu notwendigen Entwicklungszeiten hängen dann von mehreren komplexen Gewässerparametern ab. Unter günstigen Randbedingungen, wie bspw. größere und mehrere Hochwasserereignisse und geringe Uferfestigkeit, können die potentiell erreichbaren Verbesserungen der Gewässerstrukturen in relativ kurzer Zeitspanne erreicht werden. Andererseits sind durchaus

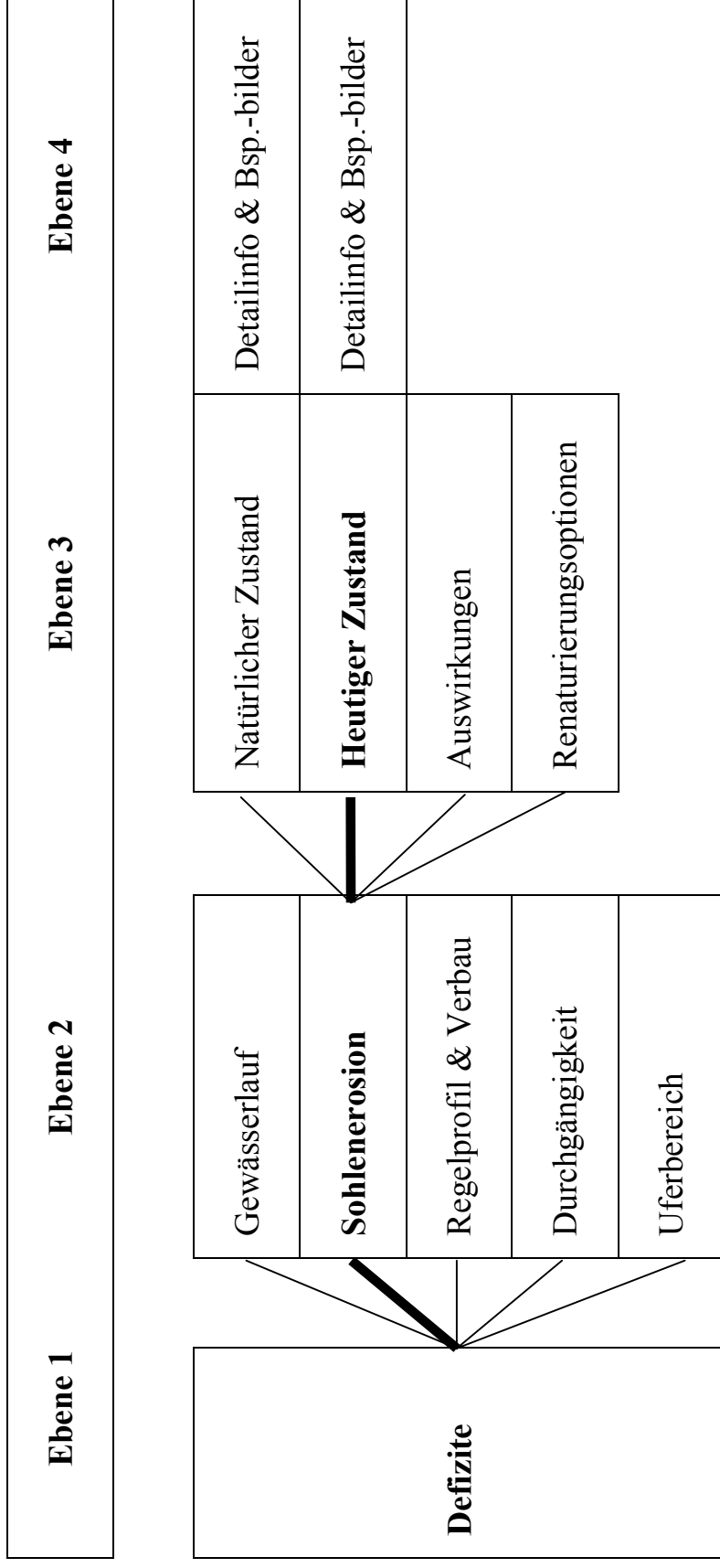
ungünstige Randbedingungen, wie bspw. keine oder nur geringe Hochwasseraktivität sowie intensiver Uferbewuchs denkbar, so dass sich in der gleichen Zeitspanne noch nicht alle potentiell möglichen Verbesserungen der Gewässerstrukturen entwickeln können. Zu beachten gilt bei jeder Renaturierung, dass naturraumtypische Gewässerstrukturen keine statischen Zustände darstellen, sondern eine kontinuierliche Weiterentwicklung und Veränderung beinhalten. Ziel jeder Gewässerrenaturierung muss es daher sein, die Fließgewässer wieder als dynamische Systeme zu etablieren, d.h. Geschiebetransport, Sedimentation und Erosion in ihrer naturraumtypischen Abfolge zu fördern, damit sich die für Gewässerökosysteme so wichtigen morphologischen und biotischen Strukturen in ihrer natürlichen Vielfalt entwickeln können.

## **5. Internetpräsentation ISAR**

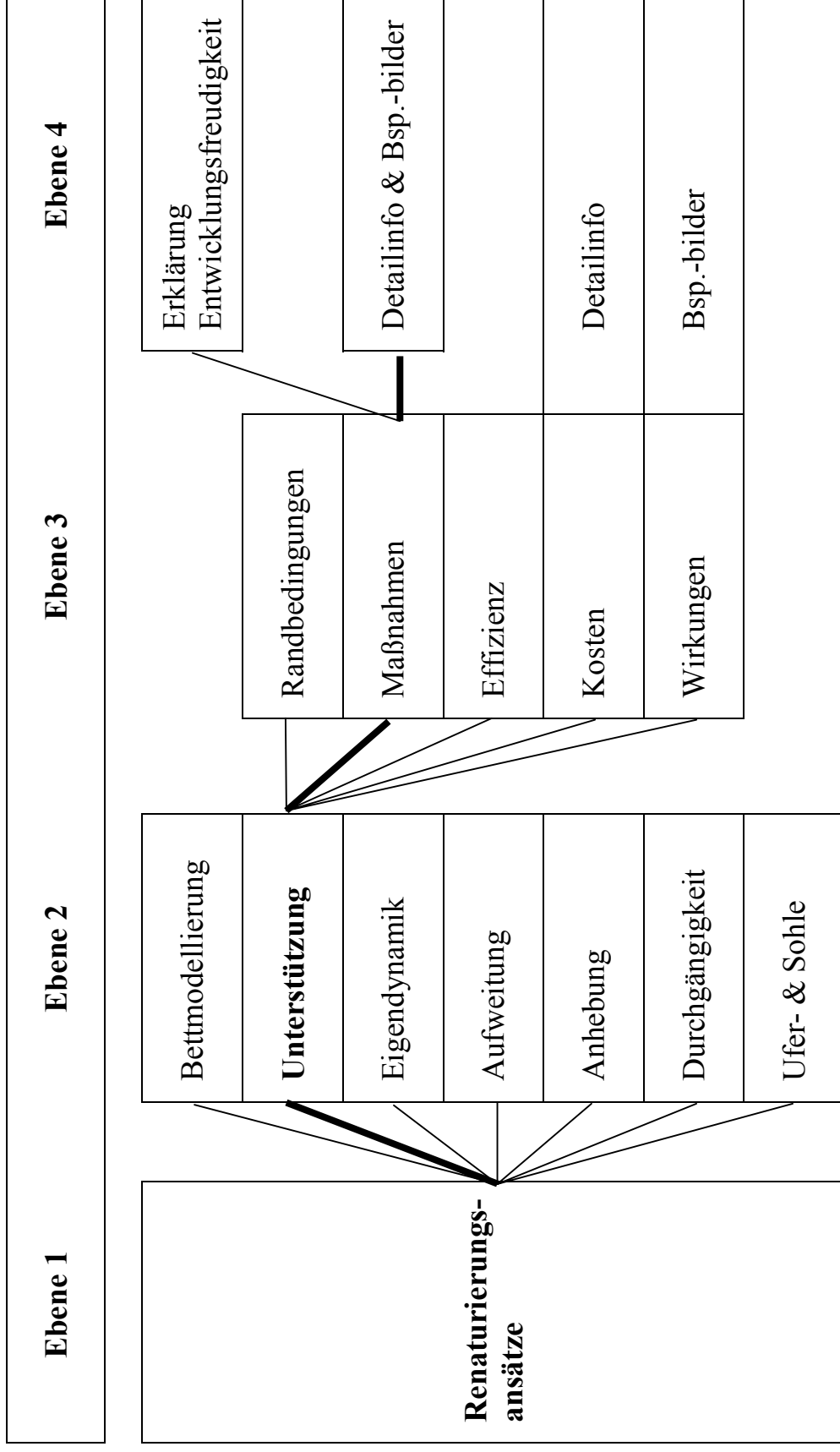
Die Abkürzung ISAR steht für 'Informationssystem zur Auswahl effizienter Renaturierungsmaßnahmen für Fließgewässer'. Mit dieser Internetpräsentation sollen insbesondere lokale Entscheidungsträger Hilfen zur Konzeption konkreter Maßnahmen zur Gewässerstrukturverbesserung gegeben werden. Zur übersichtlichen Darstellung der Inhalte wurde die Internetpräsentation in zwei Informationsbereiche (Defizite und Renaturierungsansätze) sowie einen interaktiven Abfragebereich untergliedert. In den Informationsseiten 'Defizite' finden sich umfassende Angaben (Erläuterungstext, Abbildungen und Beispielbilder) zu den Hauptdefiziten der Gewässerstrukturen und deren Ursachen. Der Informationsbereich 'Renaturierungsansätze' gibt dem Nutzer einen ausführlichen Überblick über mögliche Maßnahmen zur Gewässerrenaturierung, deren Wirkungsweisen und Detailangaben zu den Kosten. Alle Erläuterungsbereiche werden mit aussagekräftigen Beispielbildern unterlegt, so dass die Präsentation trotz der komplexen Thematik sehr anschaulich und praxisnah bleibt. Mit der interaktiven Analyse hat der Nutzer die Möglichkeit, sich für einen bestimmten Gewässerabschnitt nach kurzer Eingabe der spezifischen Strukturdefizite kostenwirksame Renaturierungsansätze anzeigen zu lassen. Neben den Informationen zur Kosten-Wirksamkeit werden auch die notwendigen Randbedingungen zur Maßnahmenumsetzung genannt, so dass mit den interaktiven Ergebnissen die Konzeptionen zur Gewässerrenaturierung vor Ort konkret unterstützt werden, ohne jedoch dem eigentlichen Planungsprozess vorzugreifen.

Die Gestaltung und Ausarbeitung der Internetseiten erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Büro Designal! (Medien- und Webdesign, Schulungen) in Karlsruhe.

5.1 Systemskizze zu den 'Defizit' - Internetseiten



5.2 Systemskizze zu den 'Renaturierungsansätzen' - Internetseiten



## 5.3 Systemskizzen zu den 'Interaktiven Analyse' - Internetseiten

Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Ebene 4	Ebene 5	Ebene 6	Ebene 7
<b>Interaktive Analyse</b>	Situations-abfrage 1					
	JA ?	X				
	NEIN ?	X				
		Situations-abfrage 2				
		JA ?	X			
		NEIN ?	X			
			Situations-abfrage 3			
			JA ?	X		
			NEIN ?	X		
				Situations-abfrage 4		
				JA ?	X	
				NEIN ?	X	
				Situations-abfrage 5		
				JA ?	X	
				NEIN ?	X	
					Ergebnisse	

**Entscheidungsbaum zur Abfrage der Defizitsituation und Zuordnung der Renaturierungsoptionen**

Frage 1	1																
Frage 2	2.a	2.b															
Frage 3	3.a.a	3.a.b	3.b.a	3.b.b													
Frage 4	4.a.a.a	4.a.a.b	4.a.b.a	4.a.b.b	4.b.a.a	4.b.a.b	4.b.b.a	4.b.b.b									
Frage 5	5.a.a.a	5.a.a.b	5.a.a.b	5.a.b.a	5.a.b.a	5.a.b.b	5.b.a.a	5.b.a.a	5.b.a.b	5.b.b.a	5.b.b.b						
Ergebnisse	6.a.a.a.a	6.a.a.a.b	6.a.a.b.a	6.a.a.b.b	6.a.b.a.a	6.a.b.a.b	6.a.b.b.a	6.a.b.b.b	6.b.a.a.a	6.b.a.a.b	6.b.a.a.b	6.b.a.b.a	6.b.a.b.b	6.b.b.a.a	6.b.b.a.b	6.b.b.b.a	6.b.b.b.b

**Fragen zur Identifizierung der spezifischen Defizitsituation**

Situationsabfrage 1	Hat der Gewässerabschnitt einen naturfernen, begradigten Gewässerlauf?
Situationsabfrage 2	Liegt am Gewässerabschnitt Sohlenerosion vor?
Situationsabfrage 3	Hat der Gewässerabschnitt ein technisches Regelprofil und / oder Ufer- und / oder Sohlenverbau?
Situationsabfrage 4	Ist die lineare Gewässerdurchgängigkeit am Gewässerabschnitt verhindert?
Situationsabfrage 5	Hat der Gewässerabschnitt einen naturraumtypischen Uferbewuchs und / oder fehlen die naturraumtypischen Gewässerrandstreifen?





## Skizze einer Beispielergebnisseite 'Interaktive Analyse'

### Spezifische Defizitsituation

Situationsabfrage	JA	NEIN
Naturferner Gewässerlauf	X	-
Sohlenerosion	-	X
Regelprofil & Verbau	X	-
Gestörte Durchgängigkeit	-	X
Naturraumuntypischer Uferbewuchs	X	-

### Mögliche Renaturierungsansätze

Kosten- Wirksam- keit	Renaturierungsoptionen	Randbedingungen		
		Restriktionen*	Gewässerrand- streifen**	Gewässer- dynamik**
++ +	Dynamische Gewässerentwicklung mit unterstützenden wasserbaulichen Maßnahmen	!	!	!
+ o	Gewässerbettmodellierung	✓	!	✓
+ -	Verbesserung der Ufer- und Sohlenstrukturen	✓	✓	✓

++ = sehr gut = kleiner 50 [(Euro/lfm) / Δ SGK]

+ = gut = 50 bis 100 [(Euro/lfm) / Δ SGK]

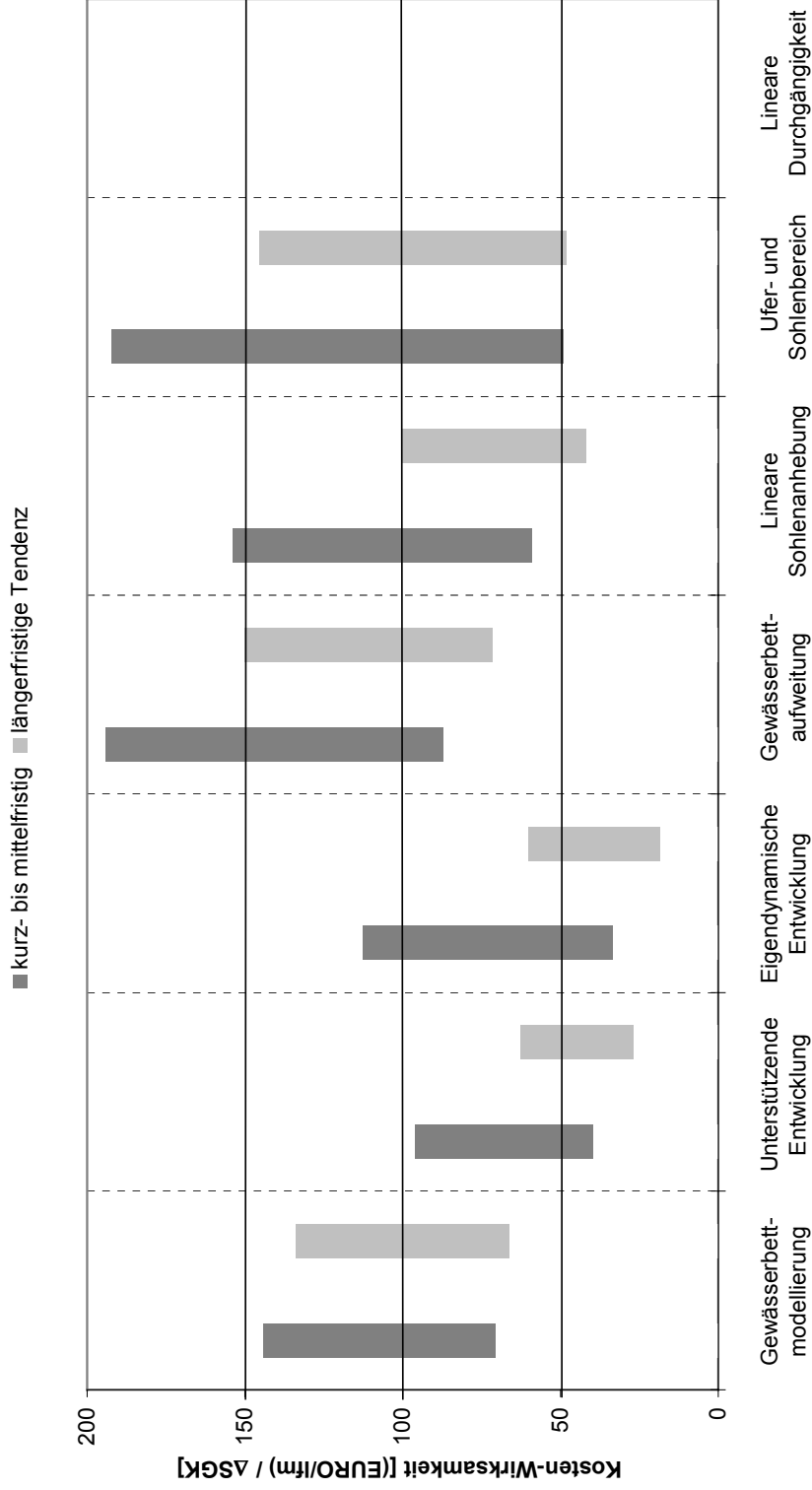
o = mittel = 100 bis 150 [(Euro/lfm) / Δ SGK]

- = mäßig = größer 150 [(Euro/lfm) / Δ SGK]

\*  bedeutet, dass zur Umsetzung des Renaturierungsansatzes keine Restriktionen vorhanden sein dürfen, während mit  gekennzeichnete Ansätze sehr wohl auch in Restriktionslagen ausgeführt werden können.

\*\*  bedeutet, dass Gewässerrandstreifen bzw. eine hohe Gewässerdynamik zur Umsetzung des Renaturierungsansatzes notwendig sind, während mit  gekennzeichnete Ansätze nicht unbedingt Gewässerrandstreifen bzw. eine hohe Gewässerdynamik benötigen.

### Durchschnittliche Kosten-Wirksamkeitsbandbreiten der Renaturierungsansätze



## 6. Literatur

- Blank, M., von Keitz, S., Niehoff, N. (1999): Gewässerstrukturgüte-Management – Herausforderung für die Wasserwirtschaft im 21. Jahrhundert. Wasser und Boden, 51/4, S. 7 – 13. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin.
- Böhm, E., Hillenbrand, T., Walz, R., Henke, S. (1999): Maßnahmenplan Nachhaltige Wasserwirtschaft – Handlungsschwerpunkte für einen zukunftsorientierten Umgang mit Wasser in Deutschland. UBA-Texte 25/99, Umweltbundesamt Berlin.
- Bostelmann, R. et al. (2000): Erfahrungen bei der modifizierten Unterhaltung ausgebauter Fließgewässer im Flachland. KA – Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall, Nr.5, S. 744-751.
- DVWK-GFG (2000): Sohlenerosion und Aueauflandung – Empfehlungen zur Gewässerunterhaltung. DVWK-Gemeinnützige Fortbildungsgesellschaft für Wasserwirtschaft und Landschaftsentwicklung, Mainz.
- DVWK-Materialien 4 (1999): Ökologische Aspekte bei der mechanischen Gewässerunterhaltung. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin.
- DVWK-Merkblätter 244 (1997): Uferstreifen an Fließgewässern – Funktion, Gestaltung und Pflege. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin.
- EPA – U.S. Environmental Protection Agency (1987): EPA's Use of Benefit Cost Analyses: 1981 – 1986. EPA-230-05-87-028, Washington, D.C..
- EPA – U.S. Environmental Protection Agency (1996): Ecological Restoration: A Tool to Manage Stream Quality – Evaluation the Cost Effectiveness of Restoration. Office of Wetlands, Oceans and Watersheds (OWOW). [www.epa.gov/OWOW/], Washington, D.C..
- Gewässerstrukturgüteinformationssystem (GESIS, 2000):  
<http://www.mulh.hessen.de/umwelt/wasser/index.html>
- Gunkel, G. (1996): Renaturierung kleiner Fließgewässer. Verlag Gustav Fischer.
- HMULF (1996): Leitbilder für hessische Fließgewässer – unveröffentlicht. Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten, Wiesbaden.

- HMULF (1999a): Erläuterungsbericht Gewässerstrukturgüte in Hessen 1999. Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten, Wiesbaden.
- HMULF (1999b): Ein Bach ist mehr als Wasser- Materialien für einen fächerverbindenden, projektorientierten Unterricht zum Thema Ökologie und Schutz von Gewässern. Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten, Wiesbaden.
- Kern, K. (1994): Grundlagen naturnaher Gewässergestaltung – Geomorphologische Entwicklung von Fließgewässern. Springer-Verlag, Heidelberg.
- Knott, M (1998): Ökomorphologische Effizienz von Renaturierungsmaßnahmen am Wilhelmshäuser Bachsystem – Exemplarische Untersuchung zweier Bachabschnitte. Universität – Gesamthochschule Paderborn, Abteilung Höxter.
- König, M. (2000): Gewässerökologische Erfolgskontrolle von Renaturierungsmaßnahmen. RPU Darmstadt – unveröffentlicht.
- Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz (1998): Sanierungskonzept Lahn Rheinland-Pfalz Heft 3, Schlussbericht. Aktion Blau – Gewässerentwicklung in Rheinland-Pfalz, Mainz.
- Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz (1999): Gewässerstruktur – Untersuchungen zur Analyse und Bewertung der ökomorphologischen Struktur von Fließgewässern. Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz, Mainz.
- Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz (2000): Gewässertypenatlas. Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz, Mainz.
- LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2000): Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland – Verfahren für kleine und mittelgroße Fließgewässer - Empfehlung. Kulturbuch-Verlag GmbH, Berlin, 2000.
- LfU Handbuch Wasser 2 Heft 17 (1992/93): Morphologischer Zustand der Fließgewässer in Baden-Württemberg. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Karlsruhe.
- LfU Handbuch Wasser 2 Heft 19 (1995): Gesamtkonzept Naturnahe Unterhaltung von Fließgewässern – Möglichkeiten, Techniken, Perspektiven. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Karlsruhe.

- LfU Handbuch Wasser 2 Heft 20 (1995): Naturnahe Umgestaltung von Fließgewässern, Teil III – Dokumentation der Entwicklung ausgewählter Pilotvorhaben. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Karlsruhe.
- Liebert, J. (2000): Darstellung der Kostenwirksamkeitsbeziehungen verschiedener Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerstrukturgüte. Diplomarbeit an der Bauingenieur fakultät der Universität Karlsruhe. Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe, ISI-A-4-00, 129 S. Karlsruhe
- Ministerium für Umwelt und Forsten, Rheinland-Pfalz (1999): Aktion Blau – Gewässerentwicklung in Rheinland-Pfalz, Bilanz und Ausblick 1999, Mainz.
- MUEV (1998): Gewässertypenatlas des Saarlandes. Ministerium für Umwelt, Energie und Verkehr, Saarland. Saarbrücken.
- Otto, A. (1991): Grundlagen einer morphologischen Typologie der Bäche. Mitteilungen des Institut für Wasserbau und Kulturtechnik, Universität Karlsruhe, Heft 180, S. 1-94.
- Otto, A. (1995): Aktion Blau – Gewässerentwicklung in Rheinland-Pfalz. Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz, Mainz.
- Otto, A. (1996): Renaturierung als Teil der ökologischen Fließgewässersanierung. Kasseler Wasserbau-Mitteilungen Nr. 6, S. 25-34, Tönsmann, F. (Hrsg.), Herkules Verlag.
- Patt H., Jürging, P., Kraus, W. (1998): Naturnaher Wasserbau – Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern. Springer-Verlag, Heidelberg.
- Patt H., Städtler, E. (2000): Eigendynamische Entwicklung einer Gewässerstrecke. Wasser und Boden, 52/1+2, S. 44-49. Blackwell Wissenschaftsverlag, Berlin.
- Rosgen, D. (1996): Applied River Morphology. Wildland Hydrology, Pagosa Springs.
- Scherle, J. (1999): Entwicklung naturnaher Gewässerstrukturen – Grundlagen, Leitbilder, Planung. Mitteilungen des Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, Universität Karlsruhe, Heft 199.
- Schleich, J. (1999): Bewertung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen. Arbeitspapier "Kosten-Wirksamkeitsanalyse von nachhaltigen Maßnahmen im Gewässerschutz". Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe.

- Schmidt, T. (1996): Gebietsbezogenes Renaturierungskonzept für einen Mittelgebirgsbach am Beispiel der Losse. In: Sanierung und Renaturierung von Fließgewässern – Grundlagen und Praxis –. Kasseler Wasserbau-Mitteilungen Nr. 6 S. 185-205, Tönsmann, F. (Hrsg.), Herkules Verlag.
- Smukalla, R., Friedrich, G. (1994): Ökologische Effizienz von Renaturierungsmaßnahmen an Fließgewässern. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Materialien Nr. 7, Essen.
- Strähle, H. (1996): Gewässerschutz – auch in Zukunft noch eine Herausforderung. In: Lebensraum Gewässer – nachhaltiger Gewässerschutz im 21. Jahrhundert. Internationales Symposium der LAWA 1996, Heidelberg.
- WRRL – Wasserrahmenrichtlinie (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.10.2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft L 327/1-L327/71.