



Internationale Kommission zum Schutz des Rheins
Commission Internationale pour la Protection du Rhin
Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn

Gewässerstrukturkarte Rhein

Begleitbericht

Herausgeberin:

Internationale Kommission
zum Schutz des Rheins (IKSR)
Postfach 20 02 53
D-56002 Koblenz

Tel.: +49-(0)261-12495

Fax: +49-(0)261-36572

E-mail: sekretariat@iksr.de

Internet: www.iksr.org

Arbeitsgruppe Ökologie – Mitglieder der Expertengruppe:

P. Goetghebeur, Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Metz; Jan Kändler, Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg, Karlsruhe; Christoph Linnenweber, Landesamt für Wasserwirtschaft, Rheinland-Pfalz, Mainz; Herr Loy, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz; Stefan Meyer-Höltzl, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen; Dr. Agnes Rosso-Darmet, Direction Régionale de l'Environnement d'Alsace, Strasbourg; Margriet Schoor, Rijkswaterstaat (RIZA), Arnhem; Dr. Ulrich Sieber, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern; Monika Sommer, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz; Dr. W. Teichmann, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden; Dr. Anne Schulte-Wülwer-Leidig, IKSR-Sekretariat, Koblenz

© IKSR-CIPR-CIBR 2003

Zusammenfassung

- 1 Zweck der Gewässerstrukturkartierung und Auftrag**
- 2 Übersicht der angewandten Methoden**
- 3 Ergebnisse für die Rheinabschnitte**
 - 3.1 Hochrhein
 - 3.2 Südlicher Oberrhein
 - 3.3 Nördlicher Oberrhein
 - 3.4 Mittelrhein
 - 3.5 Niederrhein
 - 3.6 Rheindelta
- 4 Gesamtbewertung**
- 5 Verbesserungen von Struktur und Dynamik des Rheins**
 - 5.1 Allgemeine Vorschläge**
 - 5.2 Laufende und geplante Arbeiten an den Rheinabschnitten**
- 6 Geschiebehaushalt und Sohlenerosion**
- 7 Literatur**

Zusammenfassung

Die Plenarsitzung der IKSR hatte ihrer Arbeitsgruppe Ökologie 1999 den Auftrag erteilt, die Gewässerstruktur zu beschreiben und kartografisch im Maßstab 1: 100.000 darzustellen. Diese Beschreibung ergänzt die im Jahr 2000 durchgeführten biologischen Bestandsaufnahmen im Rhein. Sie untermauert und vervollständigt die Bestrebungen zur Schaffung eines Biotopverbundes am Hauptstrom Rhein. Der Biotopverbund - wie im Programm "Rhein 2020" niedergelegt - wird künftig mittels einer Biotopverbundkarte für den Rheinstrom visualisiert.

Die europäische Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL), die vergleichbare Qualitätsziele für die Gewässer der EU festlegt, fordert die Erfassung und Bewertung ökomorphologischer Merkmale von Fließgewässern.

Ziel von Strukturkartierungen ist die objektive und nachvollziehbare Bewertung der ökologischen Funktionsfähigkeit der Struktur von Fluss und Aue anhand von ausgewählten Indikatoren (Strukturparametern). Da die ökologische Funktionsfähigkeit maßgeblich von der morphologischen Form und Struktur des Gewässerbettes und der Aue abhängt, sind die Kriterien der Gewässerstruktur entscheidend bei der ökologischen Bewertung des Gewässerzustands.

Der Zweck dieser Erhebungen geht über die reine Bewertung und Dokumentation des ökomorphologischen Gewässerzustands hinaus. Vielmehr sollen Grundlagen z.B. für Planung und Bewertung von Ausbau- und Renaturierungsmaßnahmen, Pflege und Entwicklung sowie Umweltverträglichkeitsuntersuchungen geschaffen werden.

Die Staaten am Rhein verfügen seit langem über Verfahren zur Bewertung der Gewässergüte. Untersuchungen zur Struktur der Gewässer werden jedoch erst seit Mitte der neunziger Jahre schwerpunktmäßig an kleineren Fließgewässern durchgeführt. Die entsprechenden Methoden wurden in vielen Ländern seit Beginn der achtziger Jahre entwickelt. Umfangreiche nationale Vorarbeiten, die jeweilige Gewässerstruktur zu bewerten, sind hiermit erstmals international für einen großen grenzüberschreitenden Strom, den Rhein, zusammen geführt worden.

Trotz unterschiedlicher Beschreibungsmethoden der Gewässerstruktur in den Rheinanliegerstaaten sind die angewandten Merkmale vergleichbar und beschreiben drei Kompartimente: Sohle (Gewässerbett), Ufer und Gewässerumfeld (Teile der Aue). Einige methodische Unterschiede werden hervorgehoben; sie betreffen die Erfassung und Bewertung sowie die Definition des Referenzzustands (siehe S. 9).

Die Ergebnisse der Untersuchung der Gewässerstruktur des Rheins werden in Güteklassen (5 Klassen) dargestellt. In Kapitel 4 wird die Gesamtbewertung für jeden betrachteten Rheinabschnitt als prozentuale Verteilung der 5 Strukturklassen dargestellt. Dieses erlaubt einen direkten Vergleich der Abschnitte untereinander.

Auffälligstes Ergebnis ist, der, mit Ausnahme des Deltarheins, hohe Prozentsatz an Abschnitten mit „unbefriedigendem“ und „schlechtem“ Zustand, und zwar für alle betrachteten Gewässerkompartimente Sohle, Ufer und Umfeld. Dies gilt in besonderem Maße für Oberrhein, Mittelrhein und Niederrhein, während der Hochrhein eine gleichmäßigere Verteilung über alle 5 Güteklassen zeigt; hier ist im übrigen bemerkenswert, dass im Umfeld fast 40% der Abschnitte die Bewertung „sehr gut“ und „gut“ erhalten und bedeutende ökologische Defizite vor allem im Bereich der Gewässersohle zu finden sind. Beim Deltarhein hingegen verteilt sich die Bewertung überwiegend auf die Strukturklassen „gut“ bis „unbefriedigend“, mit Schwerpunkt (> 50%) auf „gutem“ und „mäßigem“ Zustand.

Auch hier ist der hohe Prozentsatz an Umfeld- (ca. 40%) und Sohlabschnitten (ca. 50%) mit „sehr guten“ und „guten“ Ergebnissen beachtlich. Diese positive Bewertung des Deltarheins ist insbesondere methodisch bedingt. Mehrere Faktoren sind für die relativ gute Bewertung des Deltarheins verantwortlich: zum einen wird der Zustand um 1850 als Referenz des potenziell natürlichen Zustandes gesehen, zum damaligen Zeitpunkt gab es bereits das Deichsystem, zum anderen werden alle Parameter durch Mittelwertbildung aggregiert und nicht durch die schlechteste Bewertung bestimmt, d.h. dass die Werte daher höher liegen als beim deutschen Verfahren.

Bei der Bewertung für den gesamten Rheinstrom vom Auslauf des Bodensees bis zur Mündung in die Nordsee zeigt sich ein deutliches Überwiegen der Strukturklassen „mäßig“ bis „schlecht“. Es spiegelt die heutige Situation der vielfältigen und zahlreichen Nutzungsansprüche am Hauptstrom wider. Das Ergebnis signalisiert die großen ökologischen Defizite in der Gewässerstruktur entlang des gesamten Rheins.

1 Zweck der Gewässerstrukturkartierung und Auftrag

Die Gewässerstruktur des Rheins ist im Jahr 2000 bzw. 2001 ergänzend zu den biologischen Untersuchungen der IKSR erhoben worden. Die Plenarsitzung 1999 hatte ihrer Arbeitsgruppe Ökologie den Auftrag erteilt, die Ergebnisse dieser Erhebung auch kartografisch im Maßstab 1 : 100.000 darzustellen.

Die Beschreibung der Gewässerstruktur untermauert und vervollständigt die Bestrebungen zur Schaffung eines Biotopverbundes am Rhein. Der Biotopverbund - wie im Programm "Rhein 2020" niedergelegt - wird ab 2004 mittels einer Biotopverbundkarte für den Rheinstrom visualisiert.

Die europäische Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL), die vergleichbare Qualitätsziele für die Gewässer der EU festlegt, fordert, dass die Gewässer (Wasserkörper) einen „guten ökologischen Zustand“ (Stufe 2) erreichen. Die Beurteilung der Gewässerstruktur ist obligatorisch, wenn der „gute ökologische Zustand“ nicht erreicht werden kann, was bei großen Flüssen und Wasserstraßen sehr häufig der Fall ist. Die Gewässerstruktur einschließlich der ökologischen Durchgängigkeit ist als Hilfsparameter in Zukunft alle 6 Jahre zu untersuchen. Für den Fall, dass Gewässer (Wasserkörper) als "erheblich verändert" oder „künstlich“ eingestuft bzw. ausgewiesen ist, ist das "gute ökologische Potenzial" zu erreichen.

Ziel von Strukturkartierungen ist die objektive und nachvollziehbare Bewertung der ökologischen Funktionsfähigkeit der Struktur von Fluss und Aue anhand von ausgewählten Indikatoren (Strukturparametern). Da die ökologische Funktionsfähigkeit maßgeblich von der morphologischen Form und Struktur des Gewässerbettes und der Aue abhängt, sind die Kriterien der Gewässerstruktur entscheidend bei der ökologischen Bewertung des Gewässerzustands.

Der Zweck dieser Erhebungen geht über die reine Bewertung und Dokumentation des ökomorphologischen Gewässerzustands hinaus. Vielmehr sollen Grundlagen z.B. für Planung und Bewertung von Ausbau-, Renaturierungs-, Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen geschaffen werden. Sie können auch im Rahmen von Umweltverträglichkeitsuntersuchungen herangezogen werden.

Die Staaten am Rhein verfügen seit langem über Verfahren zur Bewertung der Gewässergüte, Untersuchungen zur Struktur der Gewässer werden jedoch erst seit Mitte der neunziger Jahre schwerpunktmäßig an kleineren Fließgewässern durchgeführt. Die entsprechenden Methoden wurden in vielen Ländern seit Beginn der achtziger Jahre entwickelt. Umfangreiche nationale Vorarbeiten, die Gewässerstruktur zu bewerten, werden hiermit erstmals international für einen großen grenzüberschreitenden Strom, den Rhein, zusammen geführt.

Der Geschiebehaushalt des Flusses geht in die Beschreibung der Gewässerstruktur des Rheins nicht ein. Jedoch ist dieser für ökologische Prozesse sehr wichtig. Ein gesondertes Kapitel ist eingefügt worden, das zusätzliche Angaben zum Geschiebehaushalt und zur Sohlenerosion in einigen Rheinabschnitten enthält.

2 Übersicht der angewandten Methoden

(Liste umfassender Methodenbeschreibungen in Kapitel 7)

2.1 Vorgehen in Frankreich

Die am Rhein angewandte Methode basiert auf dem Verfahren „Système d' Evaluation de la Qualité du milieu physique (SEQ) [1]. Damit werden Funktion und natürliche Dynamik der Fließgewässer auf der Basis einer geomorphologischen Typisierung beurteilt; im Rhein-Maas-Einzugsgebiet werden sieben dieser Typen unterschieden (Agence de l' Eau Rhin-Meuse; 1996).

Bei dieser Methode werden zunächst anhand von Karten und auf der Grundlage grober abiotischer Merkmale homogene Streckenabschnitte definiert. Fünf grundlegende Parameter werden angewandt: Fließgewässertypologie, Ökoregion, Substratdurchlässigkeit, Gefälle, Zuflüsse. Diese Aufteilung hat für den französischen Oberrhein zu 25 Abschnitten geführt (Agence de l'Eau Rhin-Meuse). Anschließend wurden in einer eingehenden Ortsbegehung die Abgrenzungen vervollständigt und bestätigt.

In einem zweiten Schritt wird eine Feinaufteilung vorgenommen. Diese berücksichtigt anthropogen bedingte Änderungen des Fließgewässers (Ausbaumaßnahmen, Bodennutzung im Gewässerumfeld, Vorkommen von Gewässer begleitenden Gehölzsäumen ...) und topographische Landesaufnahmen. Auf diese Weise entstanden für den französischen Oberrhein 55 homogene Abschnitte mit einer Durchschnittslänge von 4,9 km. Die Länge der Abschnitte liegt zwischen 0,7 km und 13,5 km.

Die Arbeit besteht in der Beschreibung jedes einzelnen der 55 Abschnitte vor Ort. Diese wurde im Sommer 2000 durchgeführt. Ein Erhebungsbogen, in dem die 40 festgelegten Parameter erfasst werden, wird für jeden Abschnitt ausgefüllt. N.B: Für die vorliegende Studie war eine Anpassung der Methode an die Besonderheiten des Rheins (aufgrund seines stark künstlichen Charakters verglichen mit seinem natürlichen Zustand und dieses über den gesamten untersuchten Längsverlauf) erforderlich.

Anschließend werden die Erhebungsbögen digital erfasst; die Daten werden mittels Software aufgearbeitet. Die Parameter werden mittels Baumdiagramm identifiziert und geordnet. Jeder Parameter wird auf der Grundlage des Gewässertyps gewichtet. Für jeden Gewässertyp entspricht der Referenzzustand praktisch dem natürlichen Zustand (vor der industriellen Entwicklung); extensive Nutzung der Aue wird als unschädlich betrachtet. Im Untersuchungsbereich gehört der Rhein zum Referenztyp „submontanes Fließgewässer mit beweglicher Sohle“. Ein zusammenfassender zahlenmäßiger Index, genannt „Gewässerstrukturindex“ wird berechnet. Das Ergebnis wird als Prozentsatz ausgedrückt und liegt zwischen 0 (Qualität 0) und 100 % (maximale Qualität). Auch die Bildung von „Teilindizes“ ist möglich, getrennt für Gewässerumfeld, Ufer und Sohle.

Die so erlangten Indizes werden in fünf Strukturklassen aufgeteilt.

2.2 Vorgehen in Deutschland und der Schweiz

In Deutschland und der Schweiz wurde das „LAWA-Verfahren für die Kartierung mittelgroßer bis großer Fließgewässer“ [3] (Entwurf liegt der LAWA zur Zustimmung vor) angewandt.

Die Erhebung erfolgt in 1000-m-Abschnitten, die sich an der amtlichen Kilometrierung ausrichten

Die Erhebung und Bewertung der Gewässerstruktur beruht sowohl auf Geländebegehungen als auch auf der Auswertung vorhandener Daten im Büro.

Erfasst werden Strukturelemente (Einzelparameter) und ihre Ausprägung anhand vorgegebener Merkmalsreihen (Indexunterstützte Bewertung) bzw. es wird der „Natürlichkeitsgrad“ ermittelt (Bewertung anhand funktionaler Einheiten). Bei den ausgewählten Merkmalen (Parameter) handelt es sich um besonders bewertungsrelevante Indikatoren der ökologischen Funktionsfähigkeit von Fließgewässern. Sie können natürlicherweise entstanden (Wertparameter, z.B. Sandbänke) oder vom Menschen geschaffen sein (Schadparameter, z.B. Stauwehre). Sie sind je nach Naturraum und menschlichem Einfluss unterschiedlich ausgeprägt.

Die Erfassung erfolgt teilweise qualitativ (z.B. Sohlsubstrat) größtenteils jedoch quantitativ (z.B. Rückstau)

Die Bewertung erfolgt durch Kombination der „indexgestützten Bewertung“ und der „Bewertung anhand funktionaler Einheiten“.¹

Indexgestützte Bewertung: die Strukturzustandsbestimmung erfolgt mit Hilfe eines Indexsystems. Die Bewertung setzt auf der Ebene der Einzelparameter an. Jedem Zustandsmerkmal eines Einzelparameters ist eine Indexziffer zwischen 1 und 7 zugeordnet, die das Ausmaß der Veränderung des jeweiligen Einzelparameters anzeigt. Die Zuordnung der Indexziffern zu bestimmten Zustandsmerkmalen erfolgt in Abhängigkeit vom jeweiligen Gewässertyp und der dazugehörigen Bewertungsreferenz (Leitbild /Referenzgewässer).

Aus diesen Einzelparameterbewertungen werden nach vorgegebenen Rechenregeln zusammenfassend die Bewertung für die Bereiche Sohle, Ufer, Gewässerumfeld sowie die Gesamtbewertung errechnet.

Bewertung anhand funktioneller Einheiten: auf Basis der naturraumspezifischen Leitbilder und des ganzheitlichen Eindrucks vor Ort bewertet der Kartierer 14 funktionale Einheiten in Hinblick auf deren Abweichung vom natürlichen Zustand

¹ In Deutschland wird die Gewässerstruktur nach LAWA in 7 Stufen bewertet, in Frankreich und in den Niederlanden in 5 Stufen. Die Strukturkartierung des Rheins im Rahmen der IKSR erfordert für den Vergleich der Bewertung und für eine gemeinsame Darstellung der Ergebnisse in Karten eine einheitliche Bewertungsgrundlage. Die Vertreter der beteiligten deutschen Bundesländer haben sich für dieses Projekt auf die Umrechnung der Daten mittels nachfolgendem Schema geeinigt:

Stufe	7-stufig	5-stufig
1	1,0-1,7	1,0-2,1
2	1,8-2,6	2,2-3,3
3	2,7-3,5	3,4-4,5
4	3,6-4,4	4,6-5,7
5	4,5-5,3	5,8-7,0
6	5,4-6,2	
7	6,3-7,0	

(Leitbild / Referenzgewässer). Anschließend erfolgt die Zusammenfassung der funktionalen Einheiten durch arithmetische Mittelwertbildung.

Die Plausibilisierung erfolgt durch den Vergleich der Ergebnisse der „indexgestützten Bewertung“ und der „Bewertung anhand funktionaler Einheiten“.

Maßstab der Bewertung ist der heutige potenziell natürliche Gewässerzustand (hpnG): Es handelt sich um den Zustand, der sich nach Auflassung vorhandener Nutzungen in und am Gewässer und seiner Aue sowie nach Entnahme sämtlicher Verbauungen einstellen würde. Die höchste Bewertung (Zustandsklasse 1) ist an diesem Leitbild ausgerichtet, wobei naturraumabhängige Unterschiede zu berücksichtigen sind (naturraumspezifische Leitbilder).

2.3 Vorgehen in den Niederlanden

In den Niederlanden gab es bisher keine validierte Methodik für die Bewertung der Gewässerstruktur großer Flüsse. Die niederländische Bewertungsmethode [4] Schoor & Stouthamer, 2003)² ist die Weiterentwicklung einer deutschen Methode für Wasserstraßen [6] (Fleischhacker u.a., 2001) für das Rheindelta. Sie hat durch die aus Modellen und aus dem GIS stammenden Daten (z.B. Ökotoptkartierung) einen spezifisch niederländischen Charakter erhalten. Dabei wurde versucht, die niederländische Bewertung möglichst weitgehend auf die deutsche Bewertung abzustimmen.

Für die Kartierung wurden die Flussarme (einschließlich Sohle, Ufer und Gewässerumfeld) in 1000 m lange Kartierabschnitte auf der Basis der amtlichen Kilometrierung aufgeteilt³.

Die Kartierung erfolgt in Form einer Bürostudie. Dazu werden Kartenwerke und Gewässer bezogene Daten wie z.B. historische Karten und Wasserstandsreihen, topografische und naturschutzfachliche Karten, Daten eines hydrodynamischen Modells, Angaben zu Baggerungen, Daten der europäischen Landnutzungsdatenbank CORINE ausgewertet.

Die Bewertung erfolgt mit der Indexmethode analog zum deutschen Verfahren, wobei jedoch eine fünfstufige Klassifizierung benutzt wird. Die Bewertung von Sohle, Ufer und Gewässerumfeld ergibt sich durch Mittelwertbildung der bewerteten Parameter und nicht durch die schlechteste Bewertung wie bei der deutschen Methode.

Als Vergleichsmaßstab für den "ökologischen Zustand" gilt der heutige potenziell natürliche Zustand. Damit ist der Zustand gemeint, der sich einstellt, wenn Flüsse und Auen nicht mehr intensiv genutzt werden. Dieser Zustand gilt als vergleichbar mit dem Zustand der niederländischen Flussgebiete um 1850. Damals waren die Flüsse bereits eingedeicht und wurden die Auen mit ihrem artenreichen Grasland

² Die niederländische Bewertungsmethode ist seitdem weiter entwickelt worden, um die Anpassung an die niederländische Situation zu verbessern. Diese verbesserte Methodik soll künftig für Maas, Schelde, Ems und Rhein angewendet werden. Sie ist kürzlich abgeschlossen worden und führt zu Änderungen der in diesem Bericht dargestellten Ergebnisse. Nach entsprechender Rückfrage in der Arbeitsgruppe wurde jedoch wegen der definitiven Fertigstellung der Karten beschlossen, die neuen Ergebnisse nicht mehr aufzunehmen. Für die neueren Ergebnisse zum Deltarhein wird daher auf Schoor & Jesse, 2003, verwiesen. Die hier vorliegende Beschreibung beruht somit auf den „alten“ Ergebnissen. Die neuen Ergebnisse für den Deltarhein weichen wesentlich geringer von den übrigen Rheinabschnitten ab.

³ Fehlende Kilometer sind die Folge von Laufverkürzungen durch Flussbegradigungen

(u.a. Stromtalgrasland, strukturreiches Grasland), ihrer Ried- und Binsenvegetation und ihren Bruch- und Waldgebieten extensiv landwirtschaftlich genutzt. Offene Gewässer wie Altarme und Seen kamen häufig vor. Das Grasland wurde naturnah bewirtschaftet (ohne Kunstdünger und Schädlingsbekämpfungsmittel). Den Pannerdenschen Kanal gab es bereits, aber ansonsten hatte die systematische Regelung der Flussläufe noch nicht eingesetzt.

2.4 Tabellarische Übersicht der angewandten Methoden

Die nachfolgende Übersicht der deutsch-schweizerischen, französischen und niederländischen Methoden zeigt, dass alle drei auf einem vergleichbaren Spektrum an Merkmalen basieren, das die Beschreibung der drei Kompartimente ermöglicht: Sohle (Gewässerbett), Ufer und Gewässerumfeld (Teile der Aue).

Die Hauptunterschiede betreffen die Erfassung und Bewertung. Der Bewertungsmaßstab, d.h. der Referenzzustand für die Bewertung weist folgende Unterschiede auf. Im deutschen und schweizerischen Verfahren wird der ‚potenziell natürliche Gewässerzustand‘ als der Zustand definiert, der sich einstellen würde, wenn alle menschlichen Aktivitäten eingestellt würden, d.h. Ufer und Gewässerumfeld (Aue) wären weitgehend bewaldet. Das französische und niederländische Verfahren dagegen lassen eine extensive landwirtschaftliche Nutzung des Gewässerumfeldes (Aue) im Referenzzustand zu; in den Niederlanden wird hierbei der Zustand um 1850 zu Grunde gelegt.

Die Abgrenzung des Gewässerumfeldes schwankt stark zwischen den Methoden. In Baden-Württemberg z. B. wurde der Betrachtungsraum hinsichtlich einiger Parameter des Gewässerumfeldes auf einen etwa 400 m breiten Streifen begrenzt. In der französischen Methode wird ein wesentlich breiterer Streifen (Überschwemmungsgebiet vor den Tulla'schen Ausbauarbeiten) berücksichtigt.

Außerdem weichen die französische und die deutsche Methode erheblich in der Beurteilung der Güte dieses Kompartiments von einander ab. Laut französischer Position ist der Rhein aufgrund seines Ausbaus völlig von seinem Umfeld abgetrennt; daher ist es unmöglich, die Nutzung des Gewässerumfeldes als natürlich einzustufen, auch wenn es Wälder und Wiesen aufweist. Bodennutzung, Überschwemmbarkeit und eventuell hinter den Deichen vorhandene Restbestände von Nebengewässern werden also systematisch als verändert eingestuft.

Hingegen beurteilt die deutsche Methode (LAWA) eine derartige Bodennutzung (Wiesen, Auwälder) im Gewässerumfeld positiver, da Entwicklungsflächen „freigehalten“ werden (das Umfeld verfügt über ein Entwicklungspotential und Verbesserungsmöglichkeiten).

	BRD, Schweiz	Frankreich	Niederlande
Zweck/Ziel	Bewertung des Zustands von morpholog. Gewässermerkmalen	Beurteilung der Fließgewässerstruktur	Bewertung des Zustands von hydromorphologischen Gewässermerkmalen
Gewässergröße	mittelgroße bis große Fließgewässer (> 10m Wasserspiegelbreite)	alle Fließgewässer (kleine, mittlere und große)	große Fließgewässer (> 50 m Wasserspiegelbreite)
Betrachtete Gewässerkompartimente	Sohle, Ufer, Gewässerumfeld	Sohle, Ufer, Gewässerumfeld	Sohle, Ufer, Gewässerumfeld
Art der Erhebung	überwiegend quantitativ	quantitativ und qualitativ	quantitativ
Abschnittsbildung	1000 m / 100 m	homogene Abschnitte nach Fluss- und Ausbaugegebenheiten festgelegt, am Rhein durchschnittlich ca. 4,9 km	1000 m
Anzahl der Merkmale (Parameter)	Sohle: 14 Ufer: 10 Gewässerumfeld: 6	Sohle: 15 Ufer: 19 Gewässerumfeld: 6	Sohle: 8 (4 Subparameter) Ufer: 4 (2 Subparameter) Gewässerumfeld: 4
Bewertungsmaßstab	potentiell natürlicher Gewässerzustand / typbezogenes Leitbild (Naturnähe)	Leitbild (Naturnähe) definiert auf der Grundlage des Fließgewässertyps	Gewässerzustand um 1850 / typbezogenes Leitbild
Bewertungsmethode	Bewertung von Merkmalsausprägungen mit Indexziffern von 1 bis 7 oder Expertenurteil nach vorgegebenem Aggregationsmuster; Prinzip der pessimalen Bewertung, Aggregation über Mittelwertbildung	Bestimmung des Gewässerstrukturindex 0 bis 100%, basierend auf einer nicht linearen Kombination der Basisparameter mit Gewichtung in Abhängigkeit vom Fließgewässertyp; (Aggregation auf der Basis einer Baumstruktur). Definition der spezifischen Gewichtung pro Fließgewässertyp.	Bewertung von Merkmalsausprägungen mit Indexziffern von 1 bis 5, Aggregation über Mittelwertbildung
Klassifikation	Strukturklassen 1 bis 7, je Klasse Zuordnung einer bestimmten Indexspanne (für den Rhein in 5 Klassen)	5-stufiger Qualitätsindex, je Stufe Zuordnung von je 20 Prozentpunkten	Bewertungsklassen 1 bis 5, je Klasse Zuordnung einer bestimmten Indexspanne

Tab. 1: Gegenüberstellung der Methoden der Rheinanliegerstaaten nach ausgewählten Kriterien

Sohle	Deutschland, Schweiz	Frankreich	Niederlande
	Laufform (Krümmung, Verzweigung, Verkürzung)	Laufkrümmung	Flusslauf (Krümmungsgrad, Laufverkürzung)
			Laufotyp (unverzweigt, verzweigt)
	Krümmungserosion		
	Besondere Laufstrukturen (u.a. Inselbildung, Laufgabelungen, Totholz)	Inselbildungen, Laufgabelungen, Verlandungsbereiche	
	Querbauwerke	Querbauwerke (Anzahl, Passierbarkeit)	Querbauwerke
	Rückstau		
	Strömungsdiversität, Tiefenvarianz	Tiefenvarianz, Strömungsdiversität	Breiten-Tiefenverhältnis
	Querbänke		
	Ausleitung	Abflussstörungen	Ausleitung
	Sohlensubstrat	Sohlensubstrat, Wasserpflanzen	Substrataufwirbelung, Baggerung
	Sohlenverbau		Sohlenverbau, aktuelle Eintiefung
	Substratdiversität	Substratdiversität	
	Besondere Sohlstrukturen		
	Besondere Sohlbelastungen	Verkrautungen, Ablagerungen	
			Meereseinfluß oder Tidevolumen

Ufer	Deutschland, Schweiz	Frankreich	Niederlande
	Profiltyp		
	Profiltiefe/Eintiefung		
	Breitenerosion		
	Breitenvarianz (bei MW)	Breitenvarianz (bei NW)	
	Durchlass, Brücke		
	Verengung, Weitung		
	Uferbewuchs	Uferbewuchs (Vegetationszusammensetzung, Bedeutung, Zustand))	Uferbewuchs
	Uferverbau	Uferdynamik, -gefälle	Uferverbau, Ufererosion
	Besondere Uferstrukturen	Uferart	
	Besondere Uferbelastungen	Uferart (Materialien) Uferbeeinträchtigung	
			Flachwasserzone (Binnenbereich) Tidehub (Tidebereich)
			Salzgehalt

Tab. 2: Vergleichende Analyse der Methoden – Beschreibung der berücksichtigten Merkmale

Gewässerumfeld	Deutschland, Schweiz	Frankreich	Niederlande
	Flächennutzung	Flächennutzung, Verkehrsachsen, Auegewässer	Flächennutzung
	Gewässerrandstreifen		Gewässerrandstreifen
	Besondere Umfeldstrukturen		
	Schädliche Umfeldstrukturen	Dämme und Aufschüttungen	
	Überflutungsfläche	Überflutbarkeit (Flächen und Frequenz)	Überflutungsfläche (1850: heute)
			Überflutbare Fläche bei mittlerem Hochwasser
	Ausuferungshäufigkeit		

Tab. 2 Fortsetzung: Vergleichende Analyse der Methoden – Beschreibung der berücksichtigten Merkmale

3 Ergebnisse pro Rheinabschnitt

3.1 Hoahrhein (Rhein-km 23,6 – 168,45 (I.U), 170 (r.U))

3.1.1 Historische Entwicklung

Der Hoahrhein umfasst den 145 km langen Rheinabschnitt zwischen dem Ausfluss aus dem Bodensee-Untersee und Basel. Dieser Rheinabschnitt, in welchen größere Zuflüsse aus dem Schweizer Mittelland (Thur, Töss, Aare, Birs) und dem süddeutschen Raum (Wutach, Alb, Wiese) münden, ist weitgehend ein Engtalfluss, der sich mehr oder weniger tief in alte Terrassen aus Eiszeitschottern eingefressen hat. Die untersten Flusskilometer der Schweiz liegen eigentlich schon im breiten Oberrheintal. Der Hoahrhein war ursprünglich ein relativ stark fließender Fluss mit nur wenigen Überflutungsflächen. Vom Bodensee-Untersee (Rh-km 24) bis zur Thurmündung (Rh-km 65) war der Hoahrhein immer weitgehend geschiebelos. Zwischen der Thurmündung und Basel jedoch führten die Zuflüsse im ursprünglichen Zustand bei Hochwasser dem Hoahrhein viel Geschiebe zu, welches im eingeschnittenen Flussbett abwärts transportiert und an den Oberrhein weitergegeben wurde. Die ständig sich wiederholende Umlagerung von Kiesbänken führte zu einer Strukturvielfalt, die einer Vielzahl von einheimischen Fließwasserorganismen Lebensraum bot.



Koblenzer Laufen, km 99 (natürlicher Abschnitt mit typischer Laufenstruktur)

Quelle: HYDRA, Bern, V. Maurer, 2001

Bis gegen Ende des 19. Jahrhunderts war der Hoahrhein kaum von menschlichen Eingriffen betroffen. Seine Charakteristik wurde aber mit dem Bau von 12 Flusskraftwerken (inkl. Kembs) nachhaltig verändert. Die zwischen 1895 und 1966 entstandenen Kraftwerke unterteilen den Hoahrhein in mehr oder weniger lange Abschnitte, deren Rückstaubecken in der Regel die Stauwurzel kurz unterhalb des oberliegenden Stauwehrs haben. Der Lebensraumfaktor Strömung wurde weitgehend ausgeschaltet, der Geschiebetrieb unterbunden und das Kontinuum unterbrochen. Die frei fließenden Strecken wurden auf ein Minimum reduziert und auf rund 80% der Hoahrheinstrecke verschwanden die ehemals flusstypischen Biotopstrukturen weitgehend. Größere Eingriffe wie zum Beispiel lokale Flusskorrekturen, Hoahrheinschiffahrt und Hafenanlagen (Rheinfelden), ausgedehnte Uferverbauungen infolge Kraftwerken und Wellenschlag der Schiffe und die Erstel-

lung zahlreicher Bauten im ufernahen Bereich trugen ebenfalls zum weitgehenden Verlust der am Hochrhein ehemals typischen Strukturen des Flusslebensraumes bei.

3.1.2 Heutige Situation

Der Hochrhein ist heute eine Abfolge von Flusstauseen. Günstige Bedingungen bezüglich der Strömungsverhältnisse und der Sohlenbeschaffenheit für die erfolgreiche Fortpflanzung der kieslaichenden, rheophilen Fischarten und weiteren strömungsangepassten Arten sind im Hochrhein selten geworden. Naturnahe Gebiete sind heute hauptsächlich noch im Hochrheinabschnitt oberhalb der Aaremündung zu finden. Diese Strecken weisen im Uferbereich noch fluss- und auentypische Lebensräume auf. Nur sehr lokal sind breitere Auen vorhanden in Verbindung mit großen Zuflüssen wie Thur, Wutach und Aare, die aktuell (Thur) und historisch (Aare) für eine erhöhte Geschiebezufuhr und damit auch für alluviale Ablagerungen verantwortlich sind.

Besondere Bedeutung haben die Strecken, welche nicht in einen Staubereich fallen und deren Flussbett noch Fließwassercharakter hat. Die wichtigsten freien Fließwasserstrecken sind: Bodensee-Untersee bis Gailingen (Rh-km 25 – 34), Rheinau bis Thurmündung (Rh-km 59.5 – 65.6) und Kraftwerk Reckingen bis Aaremündung (Rh-km 90 – 102).

3.1.3 Ergebnisse der Bewertung der Gewässerstruktur

Die Linienführung und die Laufform entsprechen bis auf die Auengebiete fast vollständig der historisch überlieferten Lage (Dufour- und Siegfriedkarten, um 1840 und 1880). Auch wesentlich weiter zurück hat sich der Hochrhein kaum verlagert. Einzig in den beiden Auengebieten bei der Thurmündung (Rh-km 65) und bei "Albruck-Dogern" im Bereich der Aaremündung (Rh-km 109 – 113) wurde der Lauf des Hochrheins kanalisiert.

Die dominante Beeinträchtigung des Hochrheins bilden die 12 Wasserkraftwerke durch Stau oder Ausleitung. Durch dieses massiv veränderte Längsprofil bzw. den Gefälleverlust werden das Abflussverhalten, die Dynamik und die Sohlenstruktur deutlich verändert. So erwies sich auch in der vorliegenden Untersuchung die Sohle als Bereich mit der schlechtesten Bewertung.



Stauraum Albruck-Dogern, km 108 (typische Situation für künstliche Ufer in Stauraum am Hochrhein)
Quelle: HYDRA Bern, V. Maurer, 2001

Die Reduktion der Abflussgeschwindigkeit führt auch im Bereich der Ufer zu einer deutlich geringeren Dynamik und wesentlich schwächerer Erosion, die Glättung der Hochwasserdynamik zu einer geringeren Überflutungshäufigkeit im Umland. Die Ufer sind zudem über große Abschnitte verbaut. Leider lässt die verwendete Methode keine quantitative Abschätzung dieses Parameters zu.



Rhein bei Basel, km 165 (typische Situation für den kanalisierten Fluss im Stadtgebiet)

Quelle: HYDRA Bern, V. Maurer, 2001

Am Hochrhein fällt die Bewertung des Gewässerumfeldes relativ günstig aus. Fast 40% dieses Rheinabschnittes weisen bei diesem Parameter die Bewertung „sehr gut“ bis „gut“ (Index 1 und 2) auf. Die Bewertung der Ufer liegt für 10 – 20% der Abschnitte im Bereich des „sehr guten“ bis „guten“ Zustandes (Index 1 und 2). Bedeutende ökologische Defizite sind am Hochrhein im Bereich der Gewässersohle zu finden, wo über 80% der Strecke mit „schlechten“ bzw. „unbefriedigendem“ Zustand (Index 4 und 5) beurteilt werden.

3.1.4 Besonderheiten

Wertvolle, naturnahe Abschnitte sind sehr selten. Eigentlich können nur noch der Untersee-Ausfluss ab Stein am Rhein und die Koblenzer Laufen (inkl. Auengebiet Rietheim, Rh-km 97 - 100) als solche bezeichnet werden. Diese sind auf jeden Fall zu schützen und allenfalls aufzuwerten. Punktuell zeigen weitere Abschnitte wertvolle Elemente. Beispiele sind der Rheinfluss (Sohle, Landschaft, Rh-km 43), Thurmündung (Auen), Tössegg (Landschaft, Rh-km 70), Wallbach – Rheinfeldern (waldiges Südufer, Rh-km 136 - 148). Hier sind Anstrengungen in Richtung Schutz und Verbesserung ebenfalls sehr wichtig.

3.2 Südlicher Oberrhein (km 170 – 353; Basel bis Lauterbourg)

3.2.1 Historische Entwicklung

Der südliche Oberrhein umfasst eine Strecke von etwa 180 km zwischen Basel und Lauterbourg (Rh-km 170 - 353). Die starken Veränderungen am Oberrhein ergaben sich durch die schon in früherer Zeit erfolgte Nutzbarmachung des Rheins für Schifffahrt, Wasserkraftnutzung, Landwirtschaft, Siedlung und nicht zuletzt aus dem Schutzbedürfnis des

immer näher an den Fluss rückenden Menschen vor Hochwasserfluten. Diese Eingriffe waren schwerwiegend und die damit einhergehende starke bis vollständige Veränderung der Gewässerstruktur spiegelt sich in den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung wider.

Der südliche Oberrhein wurde im Gegensatz zum Hochrhein in seinem linearen Lauf erheblich verändert und verkürzt. Die Wasserkraftnutzung (10 Wasserkraftwerke) bedingt auf rund 40 % der betrachteten Strecke Rückstau mit seinen negativen Auswirkungen auf Geschiebetrieb, Sohle, Fließverhalten und Uferdynamik. Weitere Sohlenbelastungen ergeben sich durch die Schifffahrt. Diese erfordert die Freihaltung einer Fahrrinne und den Einbau von Buhnen.



Kanalisierte Oberrhein, oberhalb Staustufe
(Quelle: Agence de l'Eau Rhin-Meuse)



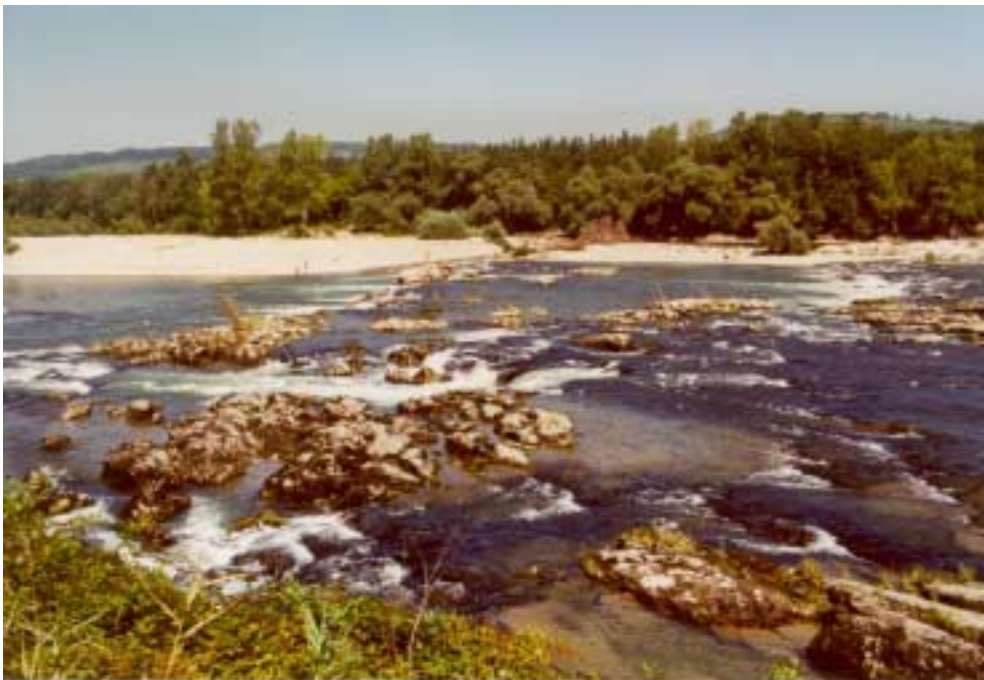
Kanalisierte Oberrhein, Einlauf Wasserkraftwerk
(Quelle: Agence de l'Eau Rhin-Meuse)

Der Ausbau des Oberrheins brachte die Ausbildung eines Querprofils mit regelprofilierten Ufern mit sich. Die Ufer wurden durchgehend befestigt. Dadurch sind auch dynamische Vorgänge am Ufer wie Erosion und Akkumulation stark bis vollständig beeinträchtigt.

3.2.2. Heutige Situation

Als Folge dieser Ausbauarbeiten können heute verschiedene homogene Streckenabschnitte des südlichen Rheins unterschieden werden:

- Von der schweizerischen Grenze (Basel, Rhein-km 168) bis Rhein-km 226 (Vogelsheim/Breisach): Zwei Rheinarme verlaufen parallel: der Rheinseitenkanal "aus einem Guss" mit Schleusen und Staustufen zur Wasserkraftnutzung sowie das alte Rheinbett, Restrhein genannt.



Restrhein (Quelle: Agence de l'Eau Rhin-Meuse)

- Das etwa 50 km lange alte Rheinbett wird mit einer extrem geringen Restwassermenge gespeist, die bei Niedrigwasser einen deutlich begrenzenden Faktor darstellt. In Verbindung mit der rückschreitenden Erosion ist es zu einer erheblichen Eintiefung gekommen. Trotzdem legt der Restrhein ein gutes Zeugnis davon ab, wie das Flussbett des Rheins vor der Kanalisierung ausgesehen haben mag.
- In den Abschnitten des Restrheins ist noch eine gewisse morphologische Variabilität im Gewässerbett und an den Ufern gegeben, da der Restwasserabfluss in einem wesentlich breiteren Bett abfließt. Hier kann sich auch eine spontane Vegetation entwickeln. Die Entwicklung dieser Abschnitte verläuft also häufig wesentlich positiver als die der Abschnitte mit Vollabfluss.



Restrhein bei Märkt, Quelle: LfU B.-W., U. Braukmann

- Vom Zusammenfluss des Restrheins (Rhein-km: 226) bis zur Höhe der Straßburger Insel (Rhein-km 291) ist der kanalisierte Rhein in Höhe der 4 Inseln oder der Schlingenlösung (Marckolsheim, Rhein-km 234 bis 242; Rheinau, Rhein-km 249 bis 260; Gerstheim, Rhein-km 268 bis 274 und Straßburg, Rhein-km 284 bis 291), ständig in zwei Arme geteilt (einen kanalisierten und einen etwas natürlicheren, dessen Ausmaß verglichen mit dem ursprünglichen Altrhein aber eher gering ist).
- Die geringe Breite der Altrheinschlingen ermöglicht nur eine minimale Vielfalt und Dynamik. Der kanalisierte Rhein ist direkt an seinen Ufern durch Deiche begrenzt.
- Von der Straßburger Insel (Rhein-km 291) ab bis zum Verlassen des französischen Hoheitsgebiets (Rhein-km 353), fließt der Rhein "frei". Die Staustufen Gamsheim und Iffezheim bilden Hindernisse (ohne Seitenarme zu schaffen). Die Deiche sind weiter zurückgesetzt und niedriger als weiter stromaufwärts, das gilt insbesondere für die unterhalb gelegenen Abschnitte.

3.2.3. Ergebnisse der Bewertung der Gewässerstruktur

Die im Rahmen dieser Studie durchgeführte Bestandsaufnahme der Gewässerstruktur des Rheins zwischen Basel und Lauterbourg zeigt einen praktisch auf der gesamten Länge degradierten Fluss, wobei diese Degradierung im Rheinseitenkanal am deutlichsten ist. Diese Degradierungen sind häufig unumkehrbar und führen zu erheblichen Störungen der Gewässerstruktur und der natürlichen Funktionsfähigkeit des Fließgewässers.

Die Eindeichung, Kanalisierung und der Bau von Staustufen zur Wasserkraftgewinnung haben zu einer Degradierung sowohl der Aue, die völlig vom Strom abgetrennt ist, als auch der Ufer und des Gewässerbettes geführt.

Die **bemerkenswertesten Abschnitte finden sich im Abschnitt des Restrheins** (Rhein-km 174 – 226) und weisen innerhalb der drei großen Kompartimente "Aue, Ufer, Niedrigwasserbett" des Fließgewässers die größte Vielfalt auf. Auch wenn er von der Regulierung der Staustufe Kembs abhängig und zwischen zwei Deichen "eingeklemmt" ist, hat sich der Restrhein ein "Mini-Hochwasserbett" schaffen können, mit der Möglichkeit der Gewässerbettverlagerung in Niedrigwasserphasen. Hier kann man auch noch Mäan-

derbildungen, eine Strömungsdiversität sowie eine gewisse Tiefen- und Breitenvarianz erkennen. Der Restrhein stellt aus biologischer Sicht einen interessanten Bereich dar, den es zu schützen gilt.

Auch die **abgetrennten Rheinschlingen**, (die schnell fließenden Arme, die den Entlastungsarmen der Staustufen Marckolsheim, Rheinau, Gerstheim und Straßburg entsprechen) weisen noch eine größere Vielfalt auf. Die Gesamtqualität zeigt (im Mittel), dass diese Abschnitte noch natürliche Aspekte aufweisen (z.B. mit dem Rhein in Verbindung stehende Nebengewässer, Vielfalt bezüglich der Ufer und der Sohle).

Die übrigen Rheinabschnitte sind stark von den Ausbaumaßnahmen geprägt, die erhebliche Auswirkungen auf die Struktur haben. Diese Bereiche weisen eine starke Vereinheitlichung aller Parameter der drei Kompartimente (Aue, Ufer, Sohle) auf. Dennoch können drei Situationen unterschieden werden:

1. kanalisierter frei fließender Rhein mit gewisser Vielfalt (vgl. unterhalb von Gamsheim; Rhein-km 309):

Werte in den Klassen "unbefriedigend" (4) und "mäßig" (3). Keine Staustufen, das Vorhandensein anbindbarer Altarme in der Aue und die Vielfalt der Uferstrukturen ermöglichen noch den Erhalt einer Mindestqualität.



Kanalisierte Rhein mit gewisser Vielfalt (Quelle: Agence de l'Eau Rhin-Meuse)

2. kanalisierter Rhein oder Kanal mit fast vollständig monotoner Struktur

Werte in den Klassen "schlecht" (5) beziehungsweise im Übergang zu "unbefriedigend" (4). Fast die Hälfte aller Abschnitte auf über mehr als 104 km fallen in diese Kategorie. In diesen Bereichen gibt es nur noch in sehr begrenztem Umfang Überreste einer Vielfalt; es sind künstlich gestaltete Bereiche, die weit entfernt vom natürlichen Zustand sind. Ein Großteil der Aue ist mit Siedlungen oder Industriegebieten überbaut.



Rheinseitenkanal (Quelle: Agence de l'Eau Rhin-Meuse)

Lediglich einige abgetrennte Altwässer ohne massiv befestigte Ufer bieten noch begrenzte Möglichkeiten für Verbesserungen.

3. kanalisierter Rhein oder Kanalbereiche oberhalb von Staustufen

Der Gewässerstrukturindex liegt im schlechtesten Bereich der Klasse 5 "schlecht". Alle Kompartimente (Aue, Ufer, Gewässerbett) sind erheblich beeinträchtigt. In völlig betonierten und voll eingedeichten Bereichen ist keinerlei Variation erkennbar und im Gegensatz zu den anderen Abschnitten auch keine Verbesserung mehr möglich. Die meisten Veränderungen sind irreversibel.

Die Bewertung spiegelt den derzeitigen Zustand des Rheins mit seinen verschiedenen Abschnitten gut wider, die Qualität schwankt zwischen "schlecht" bis hin zu "mäßig", wobei die Mehrzahl der Abschnitte (25) in die Klasse 5 (schlecht) fällt.

3.2.4. Methodische Besonderheiten

Für die die deutsch-französische Grenze bildenden Rheinabschnitte sind die jeweiligen nationalen Methoden angewandt worden. Die Beurteilung der Ufer und des Gewässerumfeldes ergibt sich aus der Anwendung dieser Methoden (linkes Rheinufer: französische Methode, rechtes Rheinufer: deutsche Methode). Auf der anderen Seite ist die Beurteilung der Sohle das Ergebnis einer Synthese der beiden Beurteilungen (französische und deutsche).

3.3 Nördlicher Oberrhein (km 354-529,1)

3.3.1 Historische Entwicklung

Der Oberrhein war vor der Durchführung der sogenannten Rheinkorrektur (ab 1817), ein Wildfluss.

Während der Strom oberhalb der Mündung der Ill in zahlreiche Arme aufgespalten war, die immer wieder ihren Lauf veränderten, floss er unterhalb in einem geschlossenen Profil und durchzog in weit ausholenden Mäanderschleifen die Rheinniederung. Auch diese

veränderten immer wieder ihre Lage. Entlang des Oberrheins nehmen Gefälle, Sohl-schubspannung und mittlerer Korndurchmesser des Geschiebes bis zur Erosionsbasis "Nackensteiner Schwelle" kontinuierlich ab. Am Oberrhein vom Neckar bis zur Nahe haben sich, insbesondere linksseitig, schon frühzeitig viele Siedlungen entwickelt. Ihre Bewohner nahmen Anteil am Schiffsverkehr auf dem Rhein, der Fischerei und Energienutzung durch Schiffsmühlen. Die Gestalt der Rheinufer begünstigte die Anlage von Treidelwegen, was der Bergfahrt zugute kam. Ein gravierendes Schifffahrtshindernis bestand nur an der Nackensteiner Schwelle. Unter Hochwasser und unter mangelnder Binnenentwässerung litten tiefliegende Teile des Rheintales, am ausgedehntesten rechtsseitig im Ried. Die seit dem Mittelalter gebauten örtlichen Deichanlagen wurden bei großen Hochwassern und Eisgängen immer wieder beschädigt oder durch Grundbrüche zerstört.

In Mainz wendet sich der Strom nach Westen und fließt parallel zum Taunusrand. Hier im Rheingau bildeten und verlagerten sich in den Überbreiten des vielfach gespaltene Stromes immer wieder Sandbänke. Dieser "Inselrhein" bildet die Übergangsstrecke zum Schiefergebirge und zeichnet sich durch geringes Gefälle, große Gerinnebreite kombiniert mit geringer Wassertiefe und Geschiebe, in Sand- bis Feinkiesgröße aus.



Altrhein bei Lingenfeld, Rheinauen, 1987, Quelle: IMZ RP/R

3.3.2 Heutige Situation

Der Rhein bildet in Nord-Südrichtung die Hauptachse für Siedlung und Verkehr. Es finden sich aber auch noch Altrheine und Auenreste sowie einige reizvolle Landschaften außerhalb der Industriezentren. Das Mittelrheintal mit seinen Schlössern und Burgen der Rheinromantik und der Loreley beispielsweise ist ein besonderer Anziehungspunkt für Touristen aus der ganzen Welt. Der Rhein ist zugleich die am stärksten befahrene und am intensivsten ausgebaute Wasserstraße. Er ist zugunsten der Schifffahrt mit Buhnen und Leitwerken, mit Anlagen zum Güterumschlag der Schiffsfracht und Häfen ausgebaut und seine Überschwemmungsgebiete sind meist ausgedeicht.

Bei Rheinkilometer 355,4 in Neuburg, unterhalb der letzten Staustufe zur Wasserkraftnutzung, beginnt der Rhein seine Reise in Rheinland-Pfalz als Auetalgewässer durch den Oberrheingraben. Die ersten 70 Flusskilometer bis vor die Tore Mannheims und Ludwigshafens sind stark geprägt von den Eingriffen des Oberrheinausbaues durch Tulla (1817) und Max Honsell (1860). Die Begradigung des Oberrheins und anschließende Schiffbar-

machung durch Max Honsell haben den vielfältig mäandrierenden Rhein zu einem eintönigen Schifffahrtsgerinne werden lassen. Die Neuordnung der Flussverläufe bescherte Mannheim den Industriehafen und eine neue Einmündung des Neckars in den Rhein.



Firma BASF Ludwigshafen, 1968, Quelle: LMZ RP/W. Lemp

Die zwei, weithin sichtbaren Großkraftwerke Neckarau markieren den Beginn der Industrieregion Ludwigshafen/Mannheim. Die prägenden Strukturen sind hier Häfen, Güterumschlag, Verkehrswege und Industrieansiedlung direkt am Gewässer. Die Uferstruktur ist durch Mauerverbau und Steinschüttungen vollständig verändert.

In diesem vorgenannten Abschnitt zwischen Iffezheim und Mainz findet eine künstliche Geschiebeabgabe statt, die einer weiteren Tiefenerosion des Rheins vorbeugen soll.

Mit den Ortslagen von Mainz und Wiesbaden wird das Rhein-Main-Gebiet erreicht, dessen Umfeld ebenfalls durch dichte Industrieansiedlung und Hafenanlagen gekennzeichnet ist. Stromabwärts schließt sich der "Inselrhein" bzw. "Rheingau" mit Weinbergen, bewaldeten Hängen, Bergen und einer im allgemeinen reizvollen Landschaft an.

3.3.3 Ergebnisse der Bewertung der Gewässerstruktur

Der nördliche Oberrhein weist eine in hohem Maße naturferne Struktur auf. Sowohl an der Schifffahrtsstraße Rhein als auch an den noch vorhandenen Auengewässern und im Gewässerumfeld sind erhebliche Strukturdefizite vorhanden.

Dies führt am nördlichen Ober- und Mittelrhein zu einer überwiegenden Zuordnung in die Strukturklassen "unbefriedigend" und „schlecht“ (Index 4 und 5).

Als Folge findet man insgesamt schlechte Rahmenbedingungen für die Gewässerstrukturparameter insbesondere Längsprofil, Sohle, Ufer und Querprofil.

Die zahlreichen, an beiden Seiten des Rheins anliegenden Altrheine werten das Gewässerumfeld auf und führen dort zu besseren Bewertungen durch fehlenden Uferverbau, Straßen, Häfen und das Vorhandensein von Auewaldfragmenten, Deichrückverlegungen etc. Das vorherrschende Regelprofil ist immer wieder mit Bühnenfeldern durchsetzt.

Breitenerosion und Varianz sind nicht vorhanden. Der überwiegende Teil des Rheins bis unterhalb von Worms ist hier mit der schlechtesten Strukturklasse (Index 5) bewertet. Der Gewässerabschnitt zwischen Worms und Mainz weist eine sehr heterogene Verteilung der drei schlechtesten Strukturklassen auf. Linksrheinisch sind Wochenendgebiete vor dem Rheindeich und die Ortslagen Oppenheim/Nierstein sowie Weinanbau zu finden. Rechtsrheinisch sind die Ufer weniger stark genutzt. Die Bebauung ist deutlich geringer, Auewaldreste sind vermehrt vorhanden, Naturschutzgebiete wie Kühkopf, Knoblochsau und Hessenaue führen zu einer vielfältigeren Struktur.

3.3.4 Besonderheiten

Da das Hauptgerinne des Rheins primär als Schifffahrtsstraße genutzt wird, bestehen dort nur in sehr begrenztem Umfang Möglichkeiten der Gewässerstrukturverbesserung. Umso wichtiger ist es die Struktur der Auengewässer, die in der schmalen rezenten Überschwemmungsaue des Rheins noch vorhanden sind, in ihrer ökologischen Funktionsfähigkeit zu sichern und zu entwickeln.



Altrheingewässer nördlich von Speyer,
Angelhofer Altrhein und Binsfeld, 1993, Quelle: LMZ RP/
M. Czerwinzki, Nördlicher Oberrhein

Zwischen den Ballungszentren Karlsruhe und Ludwigshafen sowie Worms und Mainz befinden sich noch einige wertvolle Abschnitte, die meist im Zusammenhang mit Altrheinen bzw. Altrheinfragmenten oder Inseln auftreten. Ähnliches gilt für den Inselrhein zwischen Mainz und Bingen. Auch hier finden sich noch intakte Auen deren Entwicklung und Schutz besonders wichtig ist.

Im Gewässerabschnitt zwischen Ingelheim und Bingen befindet sich ein ornithologisches Schutzgebiet („Feuchtgebiet mit internationaler Bedeutung“ gemäß Ramsar Konvention), welches durch seine zahlreichen Inseln, insbesondere im Winter, für Zug- und Strichvögel aus dem hohen Norden relevant ist.

3.4 Mittelrhein (km 529,2 – 639,28)

3.4.1 Historische Entwicklung

Das nur zwischen Koblenz und Neuwied aufgeweitete Felsental des Mittelrheins, das sich von Bingen bis Bonn erstreckt, ist seit alter Zeit besiedelt.

Die Römer haben es vier Jahrhunderte lang beherrscht. Die alten Ansiedlungen lagen im wesentlichen hochwasserfrei. Dagegen waren die Talstraßen auf beiden Stromseiten über lange Strecken den Hochwassern ausgesetzt.

Das vielfach felsige und gewundene Bett des Rheins stellte die Schifffahrt vor große Probleme. Das Hauptschiffahrtshindernis des Mittelrheins, ja des gesamten schiffbaren Rheins, war das Quarzitriff im Binger Loch beim heutigen Rhein-km 530,7, das sich unterhalb der Mäuseturminsel ursprünglich ohne Unterbrechung von einem Ufer zum anderen erstreckte. Es war gleichsam ein von der Natur geschaffenes Wehr, das bei niedrigen Wasserständen früher für die Schifffahrt unpassierbar war. In der Gebirgsstrecke zwischen Bingen und St. Goar ragten aus der felsigen Stromsohle zahlreiche Riffe und Felsrücken in die Höhe. Dies galt z.B. für den Rhein zwischen Bacharach und Kaub, wo das Strombett durch viele Felsrücken zerrissen und durch zwei Inseln, das Bacharacher und das Kauber Werth, gespalten war, wobei sich zwischen den beiden Inseln eine Stromschnelle, das "Wilde Gefähr" ausbildete.



Die Loreley von St. Goar, 1951, Quelle: LMZ RP

Unterhalb von St. Goar war der Strom durch das enge Tal weitgehend festgelegt, wies allerdings wechselnde Sandbänke, Inselbildungen und einzelne Verlagerungen, insbesondere im Neuwieder Becken, auf.

3.4.2 Heutige Situation

Mit einem starken Gefällesprung beginnt bei Bingen der Mittelrhein. Von hier aus nehmen Gefälle und Sohlschubspannung generell ab, doch ist der Verlauf nicht so kontinuierlich wie am Oberrhein. Mit entsprechender Schwankungsbreite folgt auch die mittlere Korngröße des Geschiebes ab Koblenz der allgemeinen Tendenz.



Rheinschleife bei Boppard, Entwicklungsraum für Ufer und Aue durch Siedlung und Nutzungen überprägt, 1986, Quelle: LMZ RP/G. Rittstieg

Der Mittelrhein weist eine sehr naturferne Struktur auf. Im Mittelrheintal zwischen Bingen und Koblenz wird der Rhein zu einem engen Kerbtalgewässer. Der hohe Nutzungsdruck durch Verkehr, Tourismus und Siedlung in Verbindung mit der engen Talsohle lassen dem Rhein keinen Raum zur Ausbreitung bzw. Entwicklung eigener Strukturen. Das Gewässerbett wurde für die Schiffbarkeit und Wasserführung optimiert, Felssprengungen, Buhnen und Leitwerke sowie Uferbefestigungen führten zum vollständigen Verlust natürlicher Ufer. Die eigentlichen, natürlichen Wasserwechselzonen, Uferstreifen und Überschwemmungsgebiete sind praktisch vollständig durch Verkehrswege bzw. Siedlungen genutzt und überbaut. Daraus resultiert die "schlechte" Strukturbewertung, trotz der allgemein schönen Landschaft.

Nach dem Zufluss von Lahn und Mosel tritt der Rhein ins Neuwieder Becken ein, wird merklich breiter und passiert den Ballungsraum Neuwied/Andernach mit seinen Häfen, Lösch- und Verladerrampen. Im weiteren Verlauf an Bad Hönningen und Bad Breisig vorbei nähert der Rhein sich der Landesgrenze zu Nordrhein-Westfalen in Oberwinter/Bad Honnef. In diesem Teilabschnitt wird der Rhein zum Mäandertalgewässer.

3.4.3 Ergebnisse der Bewertung der Gewässerstruktur

Das Mittelrheintal zwischen Bingen und Koblenz lässt dem Rhein bedingt durch das enge Kerbtal und die Geomorphologie des rheinischen Schiefergebirges wenig Raum. Breitenerosion und Breitenvarianz finden nicht statt. Bühnen und Leitwerke zwingen den Strom in die Fahrrinne. An beiden Rheinufern sind Bundesstraßen und Bahnlinien durchgehend vorhanden.

Die ersten 40 Rheinkilometer unterhalb von Bingen bis nach St. Goar sind noch durch zahlreiche Inseln als besondere Laufstrukturen (z. B. Clemensgrund, Bacharacher-, Tauber Werth und Geisenrücken) hervorgehoben und führen in diesem Abschnitt zu einer Aufwertung des Gewässerumfeldes d. h. die schlechteste Strukturklasse (schlechter Zustand, Index 5) fehlt fast durchgehend.



Personenschiffahrt an der Loreley im Mittelrheintal, Bundesstraßen, Bahnlinien, 1988, Quelle: LMZ RP/G. Rittstieg

Auf den nachfolgenden 40 Flusskilometern bis nach Koblenz fehlen diese Inseln mit ihren Auen gänzlich und führen zusammen mit dem starken Verbau und der engen Schifffahrtsrinne zur schlechtesten Gewässerstrukturbewertung.

Im Teilabschnitt zwischen Koblenz und der nordrhein-westfälischen Landesgrenze wechseln die beiden schlechtesten Strukturklassen wieder sehr häufig mit besonders schlechter Struktur im Ballungsraum Neuwied/Andernach. Die Ursachen liegen im starken Mauererbau, in der Industrieansiedlung und im Güterumschlag. Drei vorhandene Inseln lockern das sonst monotone Umfeld etwas auf.



Das Deutsche Eck im Jahrhundert Hochwasser
Blick zur Festung Ehrenbreitstein Koblenz, 1993, Quelle: LMZ RP/G

3.4.4 Besonderheiten

Im engen Kerbtal des Mittelrheins sind keine Altrheinarme zu finden. Auch Auewälder sind lediglich nur noch sehr kleinräumig vorhanden.

Erst wieder im unteren Mittelrheintal zwischen Koblenz und Bad Honnef sind wenn auch nur kleinräumig noch Altgewässer bzw. Rheinauen erhalten wie z. B. die Rheinlache bei Koblenz, Namedyer Werth und Urmitzer Werth.



Mittelrheintal bei St. Goarshausen,
Talverengung von 300-450 Meter auf 130 Meter Breite,
1986, Quelle: LMZ RP/G. Rittstieg

Am 27.06.2002 hat die UNESCO das Mittelrheintal zwischen Bingen/Rüdesheim und Koblenz zum Weltkulturerbe erklärt. Dieser rund 65 km lange Abschnitt des oberen Mittelrheintales, ist eine Kulturlandschaft von großer Vielfalt und Schönheit.

Die Anerkennung bedeutet: Diese Landschaft ist von außergewöhnlich universellem Wert, authentisch, einzigartig und damit schützens- und erhaltenswert.

3.5 Niederrhein (km 639,29-857,7 linkes Ufer; 865,5 rechtes Ufer)

3.5.1 Historische Entwicklung

Der Rhein konnte bis ins 15. Jahrhundert seinen Gerinnegrundriss überwiegend frei gestalten. Ein begrenzter Deichbau setzte ab etwa 1500 n. Chr. mit einem allmählichen Zusammenschluss zu einem geschlossenen Deichzug ein.

Bereits im 16. und 17. Jahrhundert erfolgten vereinzelt anthropogene Laufverkürzungen durch Mäanderhalsdurchstiche. Vor Emmerich wurde 1588 vergeblich eine solche Laufbegradigung getätigt, die 1644 gelang. 1654 missglückte ebenso ein Durchstich vor Rees, der um 1670 realisiert werden konnte.

Die uneinheitliche Ausführung der Strombaumaßnahmen nach den jeweiligen lokalen Bedürfnissen wurde erstmals während der Jahre 1750 bis 1780 unter preußischer Herrschaft abgelöst. Die Linienführung, das Profil und die Befestigung des Stromes wurden vereinheitlicht. Durch Strombegradigungen wurde die Lauflänge des Niederrheins insgesamt um ca. 23 km gekürzt.



Unverbautes Gleitufer in Köln, weißer Rheinbogen (Infrarotbild)

Mit dem Auftreten der Dampfschiffahrt 1841 galt die Korrektur nicht mehr primär dem Uferschutz und der Landgewinnung, sondern der Stromlauf selbst sollte eine der Schifffahrt angemessene Tiefe, Breite und Begrenzung erhalten und eine schnelle Wasserabführung gewährleisten. Als Regulierungsziel galt die Herstellung einer 150 m breiten Schifffahrtsrinne bei einer Zusammenfassung der Strombreite auf 300 m bei Mittelwasser. Bei mittlerem Niedrigwasser wurde bis Köln eine Fahrwassertiefe von 2,10 m und ab Köln von 2,50 m angestrebt, bezogen auf den gleichwertigen Wasserstand 1982.

Gegen 1880 waren zahlreiche Buhnsysteme an die Korrektionslinien angepasst und Böschungen durch Steindeckungen befestigt. Der Schwerpunkt der Strombaumaßnahmen fand in den folgenden Jahren statt und war bis 1900 vollständig beendet. Dieser bereits um die Jahrhundertwende realisierte Ausbauzustand des Niederrheins zur Bundeswasserstraße gilt im Wesentlichen auch heute noch als Soll-Zustand.

Der Einfluss des Menschen auf den Niederrhein und seine Aue ist weit zurückzudatieren. Bereits gegen Ende des 13. Jahrhunderts waren die ursprünglichen Auenwaldbestände nahezu flächendeckend gerodet und im Zuge der fortschreitenden Ausweitung landwirtschaftlicher Nutzflächen in eine Wiesenlandschaft umgewandelt worden.

Der Großteil natürlicher Überschwemmungsflächen des Rheins ist verloren gegangen. Die Laufverkürzung führte zu einem erhöhten Gefälle und einer gesteigerten Abflusssgeschwindigkeit. Oberflächenversiegelungen, Abholzungen, Flurbereinigungen, Anbau von nicht bodendeckenden Fruchtarten etc. im Einzugsgebiet und auf ehemaligen Retentionsflächen verschärften den Abfluss.

Ab etwa 1800 bis um 1970 trat im Rhein durch stoffliche Einflüsse (u.a. Einträge aus der Landwirtschaft, Einleitungen von Industrieabwässern, diffuse Stoffeinträge) eine erhebliche Gewässerverschmutzung ein. Nicht nur die Verschlechterung der Wasserqualität, sondern ebenso die durch den Gewässerausbau verursachten Veränderungen der morphologischen Strukturen und Strömungsverhältnisse haben zum Verschwinden zahlreicher aquatischer Biozöosen und Lebensgemeinschaften der Auen geführt.

3.5.2 Heutige Situation

Der Rhein durchfließt Nordrhein-Westfalen von Rolandseck bis Bimmen, d.h. von der Rheinkilometrierung 639,3 bis km 865,5. Während der vergangenen Jahrtausende hat sich das Erscheinungsbild dieses Flusses entscheidend verändert. Der sogenannte Niederrhein sowie das Gewässerumfeld sind durch eine immer mehr steigende Nutzung geprägt. Gab es früher noch ausgedehnte Auen- und Altarmstrukturen, so wurde es durch Eindeichungen, Laufverkürzungen und Befestigungen möglich, immer mehr Siedlungs-, Industrie-, Verkehrs- und landwirtschaftlich genutzte Flächen entlang des Rheins zu schaffen. Die durchgehend große Bedeutung des Rheins für die Menschen ist nicht nur darin begründet, dass viele Städte auf römischen Ursprung zurückgehen, sondern auch damit, dass sich der heute größte Binnenhafen der Welt in Duisburg befindet. Die Nutzbarkeit des Rheins als Wasserstraße hat demnach hohe Priorität.



Buhnenausbau bei Düsseldorf – Kaiserswerth (Infrarotbild)

3.5.3 Ergebnisse der Bewertung der Gewässerstruktur

Von Rolandseck bis Bonn (Rh-km 639,3–654) ist der Rhein dem Leitbild nach ein mittelgebirgsgeprägter, gestreckter und vorherrschend unverzweigter, kiesgeprägter Tieflandstrom. Durch starken Uferverbau wird die Entwicklungsmöglichkeit in diesem Abschnitt unterbunden, eine Krümmungserosion kann nicht stattfinden. Als besondere Laufstrukturen treten die Inseln Grafenwerth und Nonnenwerth auf. Der Anteil des Schotters ist durch den Einfluss des Mittelgebirges höher als in den folgenden Flussabschnitten; das Sohlmaterial ist dem Leitbild entsprechend überwiegend Kies, es finden sich keine Kolke und Tiefrinnen. Vor allem Buhnenausbau und Verfüllung der Tiefrinnen durch ufernahes Sohlsubstrat, zur Sicherung der Befahrbarkeit, führen zu einem „schlechten“ Strukturzustand. Ebenso negativ auf die Bewertung wirkt sich die Eintiefung, entgegen dem flachen Naturprofil, aus. Bis auf das Stadtgebiet von Bonn und die o.g. Inseln ist der Rhein mit Buhnen ausgebaut. Es findet sich im gesamten Abschnitt eine massive Uferverbauung, in Bonn selbst auch durch Mauerwerk, sonst vor allem durch Steinschüttungen.

Der nachfolgende Laufabschnitt von Bonn bis Leverkusen (Rh-km 654-701,5) ist dem Leitbild zufolge ein mittelgebirgsgeprägter, schwach gewundener, vorherrschend unverzweigter, kiesgeprägter Tieflandstrom. Nach einer anfänglichen gestreckten Laufkrümmung entwickelt sich stromabwärts ein schwach gewundener Fluss. Eine mäßige Eintiefung und weitgehender Uferverbau lassen keine gute Bewertung der Laufentwicklung zu.

Natürliche Sohlstrukturen liegen nicht vor, nur bei Bühnenfeldern sind Anlandungen zu finden. Die Sohle wird bei Godorf durch Kolkverbau belastet. Auch hier führt eine mäßige Eintiefung gegenüber dem flachen Naturprofil, neben der fehlenden Breitenerosion und -varianz, der Regelprofilierung und dem Bühnenausbau zu einer schlechten Einstufung des Querprofils. Vor allem in den Stadtbereichen von Bonn und Köln, aber auch in den Bereichen der Industrieflächen Köln-Godorf, Köln-Niehl und Leverkusen ist die Uferstruktur durch Mauerverbau vollständig verändert.

Unterhalb von Leverkusen beginnt der nächste Laufabschnitt, der bis Duisburg reicht (Rh-km 701,5-775). Dem Leitbild nach ist der Rhein hier ein mäandrierender, überwiegend unverzweigter, kiesgeprägter Tieflandstrom, teilweise mit Nebengerinnen. Aufgrund der vorherrschenden Laufkrümmung, gestreckt bis gewunden, selten mäandrierend und des massiven Uferverbaus sowie einer dominierenden starken Eintiefung, erhält die Laufentwicklung eine abwertende Klassifikation. Im Raum Düsseldorf, Krefeld-Uerdingen und Duisburg sind die Ufer regelprofiliert und stark bis gänzlich verbaut, es herrschen Bühnen vor. Nur selten sind unverbaute Uferstrukturen zu finden, die auch naturraumtypische Vegetation aufweisen. Dies sind vor allem weitläufige Gleitufer mit bewachsenen Kiesflächen. Das Gewässerumfeld ist geprägt durch ausgedehnte Altarmstrukturen, so bei Meerbusch, Urdenbach und Worringen; sie werden zum Teil landwirtschaftlich genutzt oder sind unter Naturschutz gestellt.

Der Laufabschnitt von Duisburg bis Wesel (Rh-km 775-813) entspricht dem Leitbild nach einem mäandrierenden, nebengerinnreichem, teilweise verzweigtem, kiesgeprägtem Tieflandstrom, mit angrenzender, bergbaubedingter Seenlandschaft. Diese Bergsenkung resultiert aus dem Steinkohle- und Steinsalzbergbau, infolgedessen die Stromsohle durch Sohlenaufhöhungen wieder erhöht wurde. Abschnittsweise befindet sich der Rhein in Hochlage. Die Sohlenstruktur ist häufig durch eine Massivsohle charakterisiert, die durch Waschbergeverklappungen nach Bergsenkungen und Kolkverbau entstanden ist. Ebenso finden sich Grundswellen und lokale Geschiebeentnahmen in diesem Abschnitt. Das Querprofil ist im gesamten Bereich vollständig verändert, es herrscht ein Regelprofil vor, neben den Eintiefungen >2m finden sich umfangreiche Verengungen sowie fehlende Breitenvarianz und -erosion. In wenigen Fällen konnte die Uferstruktur als mäßig verändert angesehen werden, hierbei handelte es sich um unverbaute Gleitufer, die bodenständige Gehölze, Schotter- und Pionierfluren oder auch naturbedingt keine Vegetation aufweisen. Seltener finden sich geschlossene bodenständige Ufergehölzsäume. Signifikant für das Gewässerumfeld sind großräumige Geländedepressionen als Folge der Bergsenkungen im Bereich des Ruhrgebietes, sowie zahlreiche Auskiesungsflächen zu beiden Seiten des Rheins.

Der letzte Rheinabschnitt auf deutscher Seite reicht von Wesel bis Bimmen (Rh-km 813 - 865,5). Dem Leitbild nach stellt der Fluss hier einen mäandrierenden, nebengerinnreichen und häufig verzweigten, kiesgeprägten Tieflandstrom dar. In diesem Bereich wurden intensive Laufverkürzungen durchgeführt, der Rhein ist hier überwiegend schwach gewunden. Es wurden mehrere Durchstiche realisiert, sechs davon schon in historischer Zeit. Aktuell kommen keine Verzweigungen oder Nebengerinne vor, sehr selten sind auch besondere Laufstrukturen. Um so häufiger finden sich besondere Sohlbelastungen, z.B. Grundswellen, gleichzeitig fehlen aber Lauf- und Sohlstrukturen. Das überwiegende Regelprofil wird stromabwärts immer mehr vom Profil mit Bühnenausbau abgelöst. Auch hier ist der Rhein tief eingeschnitten, merklich verengt und Breitenerosion und -varianz finden nicht statt. Die schlechte Bewertung ist vor allem auf den Verbau und fehlende geschlossene Ufergehölzsäume zurückzuführen.

Die zusammenfassende Betrachtung der Gewässerstruktur des Niederrheins in Nordrhein-Westfalen zeigt die Defizite der aktuellen strukturellen Ausstattung gegenüber den Leitbildzuständen deutlich auf. Trotz der vorherrschenden – im Wesentlichen durch die intensive Schifffahrt und Umlandnutzung bedingten – Defizite treten kleinräumig hervorhebenswerte positive Bewertungen auf. Diese sind jedoch auf kurze Gleituferabschnitte beschränkt, weisen aber auf das Entwicklungspotenzial des festgelegten Stromes hin. Bei der Aggregation der Bereiche Sohle, Ufer und Land zu einer Strukturklasse bewegt sich die morphologische Struktur des Niederrheins in Nordrhein-Westfalen innerhalb der Spanne „mäßig“ (Klasse 3) bis „schlecht“ (Klasse 5), bei Vorherrschen der Klasse 4 „unbefriedigend“.

3.6 Rheindelta (km 857,8 (l. U.), 865,5 (r. U.) – 1 bzw. 12 Seemeilen außerhalb der Basislinie

3.6.1 Historische Entwicklung

Das Rheindeltagebiet ist seit langem besiedelt und vom Menschen beeinflusst. Erste Deichsysteme wurden bereits vor 1000 Jahren errichtet, im 15. Jahrhundert war die gesamte Aue eingedeicht. Die Hauptdeiche wurden am Übergang zwischen Mäandergürtel und Überschwemmungszone errichtet. Als Folge militärischer und ökonomischer Auseinandersetzungen wurden Flussschleifen und –arme abgeschnitten. Die eingedeichten Überschwemmungsflächen verschlickten und es wurden Bühnen zur Gewinnung von landwirtschaftlich nutzbaren Flächen gebaut. Diese Bühnen konnten eine Erosion der Ufer und die Ablagerung von Sandbänken durch den Fluss nicht verhindern, so dass Flussbettverlagerungen zwischen den Deichen nach wie vor stattfanden. Da die IJssel zur Auflandung tendierte und um die Abflussverteilung zwischen Nederrijn/IJssel und Waal zu verbessern, wurde 1707 der Pannerdensche Kanal gebaut. Die ausgedehnt und hoch eingedeichten Überschwemmungsflächen verringerten die Abflusskapazität des Flusses und in Wintern kam es im Bereich von Sandbänken häufig zu Eisstau. Dies verursachte Deichbrüche und schwere Überflutungen im 17. Jahrhundert. Von 1830 an wurden in allen Rheinarmen und der Maas Regulierungsarbeiten durchgeführt. Hauptidee dabei war, den Abfluss ins Meer durch Verschließen der Flutrinnen zu beschleunigen und den Fluss durch den Bau von Bühnen zu zwingen, in einem schmaleren und tieferen Bett abzufließen.

Im Westen Hollands wurden der Nieuwe Waterweg und die Nieuwe Merwede gebaut und in Mittelholland wurden Maas und Waal durch das Verschließen der Heerewaarden Flutrinne getrennt und für die Maas wurde ein neuer Weg ins Meer gebaut. Die Arbeiten wurden 1920 beendet. Später in den 50er und 60er Jahren wurde die Schifffahrtsrinne vertieft. Dies hatte eine Absenkung der Wasserspiegel bei niedrigen und mittleren Abflüssen zur Folge. Um die Abflussmenge der IJssel bei niedrigen Abflüssen zu erhöhen, wurden in den 70er Jahren drei Wehre im Nederrijn und im Lek errichtet. Ebenfalls in den 70er Jahren wurde der Haringvliet durch einen Damm zum Meer hin verschlossen. Auf den Überschwemmungsflächen wurden Ziegelproduktion, Sand- und Kiesabbau sowie Landwirtschaft die Hauptbodennutzung. In den 90er Jahren wurde die "Renaturierung" von Flüssen und ihren Auen ein wichtiges Ziel und nach der katastrophalen Flut von 1995 wurde die Vergrößerung der Abflusskapazität bei Hochwasser das wichtigste Ziel der Flussunterhaltung, welches durch Abgrabungen zur Tieferlegung der Überschwemmungsflächen und der Anlage von Seitenkanälen erreicht werden soll.

3.6.2 Heutige Situation

Der Rhein erreicht die Niederlande bei Lobith. Der Abschnitt zwischen Lobith und Millingen am Rhein (Flusskilometer 858-867) wird Boven-Rijn genannt. Das linke Ufer und die Auen des Boven-Rijn gehören auf 7 km Länge zu Deutschland. Bei Millingen am Rhein teilt sich der Rhein in den Pannerdenschen Kanal und den Waal. Der Waal mit 67% des Bovenrijn Abflusses und dem höchsten Schifffahrtsaufkommen fließt in westliche Richtung. Von dem Punkt an, wo die Afgedamde Maas in den Waal mündet, heißt dieser Arm Boven-Merwede.

Südlich von Arnheim verzweigt sich der Pannerdensche Kanal in den Nederrijn/Lek und die IJssel. Der Nederrijn/Lek fließt in westliche Richtung und geht im Unterlauf in die Nieuwe Maas bzw. den Nieuwe Waterweg über. Der Nederrijn/Lek ist über die volle Länge gestaut. Die übrigen Flussarme sind freifließend.

Die IJssel fließt in nördliche Richtung und mündet in das IJsselmeer.



Stau am Nederrijn bei Amerongen (km 922, Foto: RWS/MD)

Etwa hundert Kilometer von Lobith stromabwärts, im Unterlaufgebiet des Rheins (Benedenrivierengebied), verzweigen sich Waal/Boven-Merwede und Lek in mehrere Arme, die sich teilweise wieder zu anderen Armen vereinigen. Hier werden die Wasserstände von den Gezeiten bestimmt. Das Rheinsystem geht im Unterlaufgebiet zusammen mit der Maas ins Hollandsch Diep/Haringvliet über. Weil Hollandsch Diep und Haringvliet offiziell zum Einzugsgebiet der Maas gehören, wurden diese nicht in die Kartierung der Rheinarme einbezogen. Nur der Nieuwe Waterweg hat noch einen freien Abfluss ins Meer. Da das Haringvliet 1970 mit einem Damm verschlossen wurde, ist der Gezeiteneinfluss am Südrand des Unterlaufgebiets sehr klein geworden.

Im Deltarhein betrug die Erosion der Flusssohle im vergangenen Jahrhundert bis zu 1 Meter, hat sich aber in den letzten 10 Jahren stark verringert. An vielen Stellen ist die Sohle nun stabil. Heutzutage ist Baggern nur dann erlaubt, wenn der entnommene Sand dem Fluss an anderen Stellen wieder zugeführt wird. Dies hat einen positiven Einfluss auf die Sohlstabilität und den Feststoffhaushalt. In der vorliegenden Kartierung wurde nur die aktuelle Erosion berücksichtigt.

3.6.3. Ergebnisse der Bewertung der Gewässerstruktur

Trotz der vielen Änderungen wird die Gewässerstruktur des Deltarheins als relativ gut bewertet. Das wird zum großen Teil durch die Methodik verursacht, die den Zustand des Gewässersystems um 1850 als Referenz zugrunde legt. Die Linienführung des Gewässersystems, die Ausdehnung der Überflutungsfläche und ihre Überflutbarkeit bei Hochwasser haben sich seit 1850 nur wenig verändert. Der Waal ist in den Niederlanden der naturnahste Flussarm.



Naturschutzgebiet Ewijk an der Waal mit natürlicher Auenbegrünung und Sedimentation nach Hochwasser 1993/94 (Foto: RWS/MD)

Sohle

Im Rheindelta sind die Gewässersohlen zu 50 % im „guten“ Zustand (Bewertung 2) und 50 % „mäßig“ bis „unbefriedigend“. Die einzelnen Parameter haben z. T. sehr extreme Einstufungen:

- Linienführung und Lauftyp sind zu 40 % „sehr gut“ und zu 60 % „mäßig“ bis „schlecht“ bewertet
- Breiten-Tiefenverhältnis und Substrataufwirbelung/Baggerung sind über 80% „mäßig“ bis „schlecht“ und 20 % „gut“ bis „sehr gut“
- Sohlenverbau/aktuelle Eintiefung sind in Boven-Rijn, Waal, Pannerdens Kanaal, Nederrijn und Lek „schlecht“ bewertet (zusammen 60% der Flussarme) und in der IJssel und im Unterlaufgebiet „sehr gut“.
- Querbauwerke und Ausleitung gibt es nur am Nederrijn/Lek, 20% der Flussarme sind daher „schlecht“ und 80 % „sehr gut“ bewertet.
- Der Parameter horizontale Tide im Unterlauf ist zu 50 % „gut“ bis „sehr gut“ und zu 50% „mäßig“ bis „schlecht“ bewertet.

Insgesamt ist die Sohle von IJssel und Unterlaufgebiet zu über 75 % als „gut“ bewertet worden. Die Sohle von Boven-Rijn, Waal, Pannerdens Kanaal, Nederrijn und Lek sind überwiegend als „mäßig“ bewertet worden. 30% von Nederrijn/Lek ist als „unbefriedigend“ eingestuft.



Naturschutzgebiet Ewijk an der Waal, große und flache Buhnenfelder und natürliche Auenbegrünung, Situation 2003 (Foto: G. Geerling)

Ufer

Die Ufer sind insgesamt zu 25 % im „guten“ oder „sehr guten“ Zustand (Bewertung 1 oder 2), zu 40% in einem „mäßigen“ und zu 35% in einem „unbefriedigenden“ oder „schlechten“ Zustand. Zwischen den einzelnen Rheinarmen bestehen jedoch bedeutende Unterschiede.

- Die Ufer von Boven-Rijn und Waal werden mit „gut“ bewertet (40% Bewertung 1, 40% Bewertung 2), weil sie sich im Vergleich zum Zustand um 1850 wenig verändert haben. Entlang des Waal gibt es große unbefestigte Buhnenabschnitte mit leicht abfallenden Stränden und natürlichem Uferbewuchs.
- Die Ufer von Pannerdens Kanaal, Nederrijn und Lek sind in einem „mäßigen“ bis „schlechten“ Zustand (47% Bewertung 3, 28 % Bewertung 4 und 8% Bewertung 5). Durch den Aufstau sind die Wasserstandsschwankungen gering (80% „unbefriedigend“ und „schlecht“), so dass die Übergangszone vom Wasser zum Land schmal ist. Zudem sind ca. 50 % der Ufer mit Steinwurf befestigt. Uferbewuchs wird bei 50 % als „gut“ und „sehr gut“ bewertet.
- Die Ufer der IJssel werden am schlechtesten bewertet (39% „mäßig“, 55% „unbefriedigend“ und 5% „schlecht“). 90 % der Ufer sind verbaut und weil es oft keine Buhnen gibt sind die Flachwasserzone klein (90% „unbefriedigend“ bis „schlecht“). Der Uferbewuchs wird für 45 % als „gut“ bewertet.
- Die Parameter der Ufer im Unterlauf variieren stark in der Bewertung. In „unbefriedigendem“ Zustand sind die Ufer von Nieuwe Merwede, Beneden-Merwede, Dordtsche Kil und Noord sowie die Ufer im Bereich der städtischen Zonen entlang der Nieuwe Maas, des Oberlaufs des Spui und des Oberlaufs der Oude Maas (34 % des Gebiets, Bewertung 4). Ursache dafür ist einerseits u.a. die Befestigung der Ufer (nördliche Arme), andererseits die Abnahme des Gezeiteinflusses (südliche Arme). In den städtischen Zonen war eine vollständige Veränderung der Ufer- und Auenparameter erwartet worden, aber da sich die Parameter vertikale Tide, Salzgehalt, Vorlandfläche und Eintiefung nicht verändert haben und daher als relativ „gut“ bewertet werden, ergibt die Gesamtbewertung 4 anstelle von 5. Die Ufer am Unterlauf des Spui sind durch die sehr starke Abnahme des Gezeiten-

einflusses infolge der Abdämmung des Haringvliet in schlechtem Zustand (Bewertung 5). Die Ufer der Hollandsche IJssel, des Unterlaufs der Oude Maas und des Nieuwe Waterweg (40 % des Gebiets) sind alle „mäßig“ (Bewertung 3). Weil hier nach wie vor Gezeiteneinfluss herrscht, werden die Ufer dieser Flussabschnitte besser bewertet als die südlichen Arme.



Auch im industriereichen Unterlaufgebiet (z.B. Rozenburg am Nieuwe Waterweg) gibt es selten natürliche Ufer und natürliches Gewässerumfeld wie Groden Rozenburg am Nieuwe Waterweg, km 1019 (Foto: C. Storm)

Gewässerumfeld

Das Gewässerumfeld des Deltarheins wird zu 41 % als „gut“ oder „sehr gut“ bewertet. Das wird teils durch den gewählten Referenzzustand um 1850 verursacht, da die Deiche bereits vorhanden waren. Die verschiedenen Parameter werden, wie bei der Sohle, aber teils „gut“ und teils „mäßig“ bis „schlecht“ beurteilt:

- Flächennutzung und Gewässerrandstreifen werden nur für 20% „gut“ oder „sehr gut“ beurteilt. An der IJssel ist die Situation am schlechtesten und am Waal am besten. Da die IJssel-Auen außerdem relativ groß sind, hat der natürliche Auenbewuchs auf Teilen der Überflutungsflächen prozentual weniger Einfluss.
- Die Parameter Überflutungsfläche (1850: heute) und überflutbare Fläche bei Hochwasser werden zu ca. 80% mit „sehr gut“ und „gut“ bewertet. Nur am Unterlauf liegen die Auen sehr hoch und nur 25% der Flächen werden gut überflutet.

Insgesamt werden 70 % der Waal-Auen als „gut“ bewertet, ebenso 60 % der Pannerdensch Kanaal-, Nederrijn- und Lek-Auen und 25 % der IJssel-Auen sowie der Auen im Unterlaufgebiet.

3.6.4 Besonderheiten²



IJssel km 952, Großes, wasserreiches Gewässerumfeld und mit Schotter befestigte Ufer entlang der IJssel, km 952 (Foto: RWS/MD)

Auffallend ist die relativ gute Bewertung des Deltarheins, was nicht mit dem tatsächlichen Zustand der Flussarme des Deltarheins übereinstimmt: Die Sohle ist mit Buhnen befestigt, so dass sie sich nicht auf natürliche Weise verlagern kann. Manche Arme, wie Pannerdensch Kanaal, Nieuwe Waterweg und Nieuwe Merwede sind künstlich entstanden und besonders entlang der IJssel wurden viele Laufverkürzungen (Durchstiche) vorgenommen. Die ehemals vorhandene Verbindung zwischen Maas und Waal wurde geschlossen. Durch die Stauerrichtung im Nederrijn/Lek und die Abdämmung des Haringvliet ist die Durchgängigkeit für Fische verschlechtert worden. Die Sohle hat sich eingetieft und ist im Vergleich mit dem Referenzzustand 1850 viel schmaler geworden, wodurch der Biototyp des langsam fließenden Gewässers so gut wie verschwunden ist.

Auch die Ufer und das Gewässerumfeld werden relativ gut bewertet. Obwohl die Buhnenfelder oft schotterfrei sind, stellen Buhnenfelder keine natürlichen Ufer dar, weil sie die Strömung stark beeinflussen und die seitliche Sohlenverlagerung verhindern. Eindeichungen und das Abtrennen von Auengebieten sind nicht natürlich, sind aber in den Niederlanden in die Referenzsituation aufgenommen worden, da diese Veränderungen schon vor 1850 stattgefunden haben.

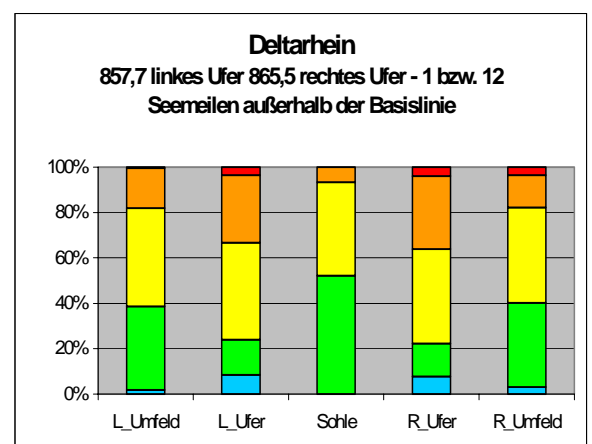
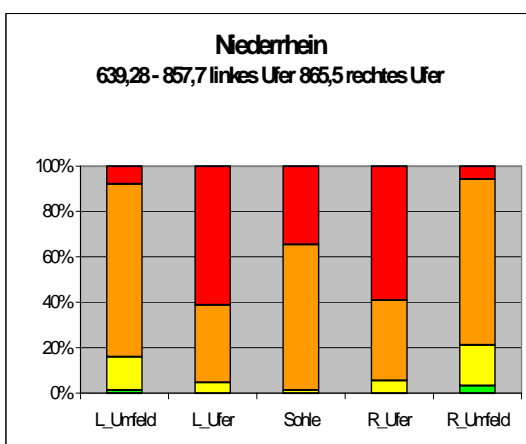
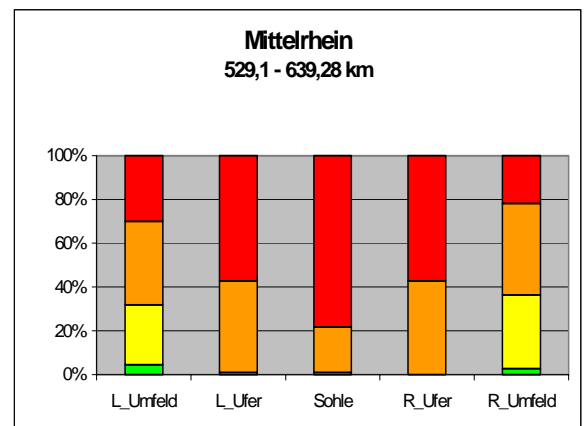
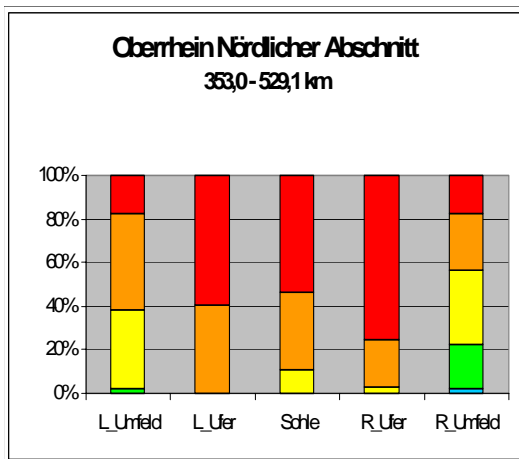
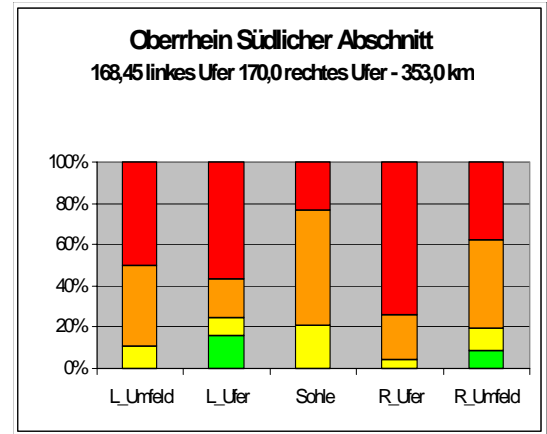
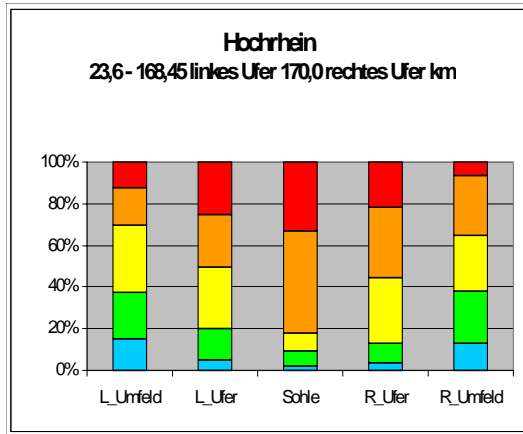
Der Unterschied zwischen Bewertungsergebnis und dem tatsächlichen ökologischen Zustand wird hauptsächlich durch die positive Bewertung einiger Parameter verursacht, die den Mittelwert hochtreiben. So werden viele Arme durch das Fehlen von Aufstau, Sohlverbau, Wasserentnahmen sowie unveränderte Linienführung, Gewässerumfeld, Salzge-

² Die niederländische Bewertungsmethode ist seitdem weiter entwickelt worden, um die Anpassung an die niederländische Situation zu verbessern. Diese verbesserte Methodik soll künftig für Maas, Schelde, Ems und Rhein angewendet werden. Sie ist kürzlich abgeschlossen worden und führt zu Änderungen der in diesem Bericht dargestellten Ergebnisse. Nach entsprechender Rückfrage in der Arbeitsgruppe wurde jedoch wegen der definitiven Fertigstellung der Karten beschlossen, die neuen Ergebnisse nicht mehr aufzunehmen. Für die neueren Ergebnisse zum Deltarhein wird daher auf Schoor & Jesse, 2003, verwiesen. Die hier vorliegende Beschreibung beruht somit auf den „alten“ Ergebnissen. Die neuen Ergebnisse für den Deltarhein weichen wesentlich geringer von den übrigen Rheinabschnitten ab.

halt und Tide gut bewertet. Daneben werden Eingriffe, die vor 1850 stattgefunden haben, wie der Bau der Deiche und des Pannerdensch Kanaal nicht als negativ berücksichtigt. Die niederländische Bewertungsmethodik wird 2003 überprüft und anschließend verbessert. Dabei werden die Relevanz der Parameter und die Berechnungsmethodik aufs Neue abgewogen, so dass der tatsächliche Zustand der Sohle besser zum Ausdruck kommt. Zusätzlich wird eine Vereinfachung der Methode angestrebt, dabei muss jedoch eine Beeinträchtigung des Anwendungsziels und der internationalen Richtlinien (z.B. EG-WRRL) ausgeschlossen sein.

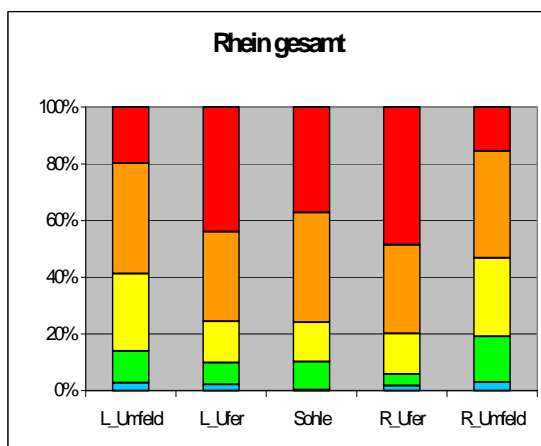
4 Gesamtbewertung

Die Gesamtbewertung für die großen Rheinabschnitte (Hochrhein, Oberrhein, Mittelrhein, Niederrhein und Rheindelta) gibt einen Überblick über die Gewässerstruktur des Hauptstroms. Die Abbildung (Verhältnisse der 5 Klassen pro Abschnitt) zeigt Folgendes auf:



Mit Ausnahme des Deltarheins weist ein hoher Prozentsatz an Abschnitten einen „unbefriedigenden“ und „schlechten“ Zustand auf. Das gilt für alle betrachteten Kompartimente (Sohle, Ufer und Gewässerumfeld), in besonderem Maße für Oberrhein, Mittelrhein und Niederrhein, während der Hochrhein eine gleichmäßigere Verteilung über alle 5 Güteklassen zeigt. Beim Hochrhein ist im übrigen bemerkenswert, dass im Gewässerumfeld fast 40% der Abschnitte die Bewertung „sehr gut“ und „gut“ erhalten und ökologische Defizite vor allem im Bereich der Gewässersohle zu finden sind.

Beim Deltarhein verteilt sich die Bewertung überwiegend auf die Strukturklassen „gut“ bis „unbefriedigend“, mit einem hohen Anteil (>50%) „gut“ bis „mäßig“. Auch hier ist der hohe Prozentsatz an Gewässerumfeld- (ca. 40%) und Sohlabschnitten (ca. 50%) mit „sehr guten“ und „guten“ Ergebnissen beachtlich. Zwei Faktoren sind für die relativ gute Bewertung des Deltarheins verantwortlich: zum einen wird der Zustand um 1850 als Referenz des „potenziell natürlichen Zustandes“ gesehen, zum damaligen Zeitpunkt gab es bereits das Deichsystem, zum anderen werden alle Parameter durch Mittelwertbildung aggregiert und nicht durch die schlechteste Bewertung bestimmt, d.h. dass die Werte daher höher liegen als beim deutschen Verfahren.



■	schlechter Zustand
■	unbefriedigender Zustand
■	mäßiger Zustand
■	guter Zustand
■	sehr guter Zustand

Diese Grafik fasst die Bewertungen für den gesamten Rhein zusammen: hier zeigt sich ein deutliches Überwiegen der Strukturklassen „mäßig“ bis „schlecht“. Dieses Ergebnis signalisiert die großen ökologischen Defizite der Gewässerstruktur des gesamten Rheins. Sie spiegeln die heutige Situation der vielfältigen und zahlreichen Nutzungsansprüche am Hauptstrom wider.

5 Verbesserungen von Struktur und Dynamik des Rheins

Derzeit werden in allen Ländern ehrgeizige Programme zur Wiederherstellung oder Renaturierung des Rheins entwickelt oder geplant.

Wegen der erheblichen Nivellierung des Rheins und der mit ihm verbundenen Ökosysteme bieten diese Programme in den meisten Fällen nur **eine begrenzte Verbesserung der Gewässerstruktur** und der gesamten Lebensraumdynamik.



Schaffung einer offenen Verbindung,
Altrhein Ballauf bei Mannheim, Quelle: LfU B.-W.,



Einbau von Durchlässen in den Leinpfad,
Steinmetz bei Eggenstein,
Quelle: Fa.Wald & Corbe, Hesch

Die Umkehrbarkeit dieser Degradierungen hängt von dem betroffenen Bereich ab. Häufig bietet die Sohle nur äußerst geringfügige Verbesserungsmöglichkeiten während Auen und Ufer lokal erheblich verbessert werden können, auch wenn die Rückkehr zur natürlichen Funktionsfähigkeit oft schwierig bleibt.

Die Wiederanbindung alter Rheinarme ermöglicht **sehr wertvolle Verbesserungen der biologischen Funktionsfähigkeit der Fließgewässer**. Diese Maßnahmen tragen zur Entwicklung reicher und vielfältiger Habitats sowie von Fauna und Flora bei. Dadurch gelingt es, die Populationen bedrohter Arten zu stabilisieren oder bereits verschollene Arten wiederanzusiedeln.

Dieses ist von umso grundlegenderer Bedeutung, da für die Wasserrahmenrichtlinie der biologische Zustand ein wesentlicher Bestandteil der Beurteilung ist (die Gewässerstruktur stellt lediglich ein erklärendes Element dar).

Ein Großteil der im Gewässerumfeld geplanten Maßnahmen (Deichrückverlegungen ...) ist gleichzeitig von **ausschlaggebender Bedeutung für die Hochwasservorsorge**. Positive biologische und ökologische Auswirkungen solcher Maßnahmen sind bereits belegt.

Nachfolgend sind zunächst die denkbaren Verbesserungsmöglichkeiten für den Rhein zusammengefasst. Hierbei sind spezielle Randbedingungen oder Zwangspunkte, die sich aus den Gewässernutzungen ergeben, nicht berücksichtigt. Die Umsetzung der Vorschläge muss Einzelfall bezogen geprüft und geplant werden.

5.1 Allgemeine Vorschläge

Maßnahmen im eigentlichen Flussbett

- In staugeregelten Abschnitten: Erhaltung vorhandener freier Fließwasserstrecken - Beseitigung bzw. Verminderung vorhandener Beeinträchtigungen, wo immer möglich
- Gewährleistung der Durchgängigkeit für Fische bei Querbauwerken: Bau von Umgehungserinnen, Fischpässen usw.
- Temporäre Stauabsenkungen um Geschiebeweitergabe zu ermöglichen
- Zulassen natürlicher morphodynamischer Prozesse (z.B. Bankbildungen), wo immer möglich
- In Teilstrecken ohne natürliche Morphodynamik vielfältige Gestaltung des Flussraumes, um unterschiedliche Strömungs- und Wassertiefenverhältnisse zu schaffen
- Rekonstruktion bzw. Neuschaffung von Flachwasserzonen und Kieslaichplätzen.
- Weitestgehende Beschränkung von Kies- bzw. Sandentnahmen (auf das für die Funktion der Gewässernutzungen unbedingt erforderliche Maß)
- Zur Vermeidung von Sohlenerosion: Aufweitung des Flussbettes zur Herabsetzung der Fließgeschwindigkeit
- Künstlichen Sohlenverbau vermeiden, bestehende durch geeignete Substrate ersetzen

Maßnahmen im Ufer- und Auenbereich

- Erhaltung von naturnahen Ufer- und Auebereichen
- Wiederanbindung von Altarmen
- Reaktivierung verlandeter Altarme
- Schaffung von Umgehungsgewässern
- Rückbau bzw. naturnahe Umgestaltung technischer Uferverbauungen, Gehölzbewuchs entwickeln
- Wo harter Verbau unverzichtbar ist, diesen nur bis zum Mittelwasserstand anlegen, oberhalb lebende Bauweisen anwenden
- Uferböschungen abflachen
- Aufbau von Kontaktzonen zwischen Rhein und Land (Gewässerandstreifen, Ufergehölze, Rückbau von Versiegelungen, Anlagen usw.)
- Anlage von Flutmulden bzw. Flussbettaufweitungen als Initialzündung für die Auenbildung
- Renaturierung von Überschwemmungsbereichen durch Nutzungsextensivierung und Bestimmung als ökologische Sukzessionsflächen
- Deichrückverlegungen, Vergrößerung von Überschwemmungsräumen (Polder)
- Bei bestehenden Dämmen: Schaffung von Überlaufmöglichkeiten zur Anbindung von Auenflächen, die dem natürlichen Überschwemmungsregime unterliegen.

Maßnahmen an den Nebengewässern

- Wiederanbindung der Nebengewässer an den Rhein (naturnahe Mündungsbereiche, Beseitigen von Wanderhindernissen, Durchgängigkeit auch in Siedlungsbereichen wiederherstellen etc.)
- Technische (Ufer-)Verbauungen in natürlichere Ufer zurückführen
- Natürliche Laufentwicklung zulassen
- Renaturierung und langfristige Entwicklung von strukturreichen Uferzonen, Vernetzung mit dem Hinterland (Gewässerrandstreifen, Saumstreifen)
- Bestehende Geschiebesammler aufheben oder regelmäßige Weitergabe des Materials nach unterstrom ermöglichen
- Renaturierung von Querprofilen
- Umgestaltung bestehender Querbauwerke (Sohlgleiten, rauhe Rampen, etc.)
- Regulierung der Verkrautung durch naturnahen Uferbewuchs (Beschattung)

Sonstiges

- Berücksichtigung ökologischer Belange bei der Gewässerunterhaltung
- Schleusenöffnungen Haringvliet zur Verbesserung der Durchgängigkeit für (Wander-)fische und Verbesserung des Tideeinflusses und des Salzgehaltes im Deltarhein

5.2 Vorgesehene Maßnahmen an den einzelnen Rheinabschnitten

Hochrhein

Auf Schweizer Seite wurden in den 90er Jahren Projektskizzen für die Realisierung von 12 lokalen Renaturierungsprojekten ausgearbeitet, welche nun von den Rheinanliegerkantonen schrittweise umgesetzt werden. Die darin enthaltenen Maßnahmen umfassen Ufer-Renaturierungen, die Schaffung von Flachufern und Flachwasserzonen, die Reaktivierung von Altarmen (Weidegrin, Riethem), die naturnahe Gestaltung von Stauräumen, die Renaturierung der Mündungsgebiete von Zuflüssen (Wutach, Thur) und die Schaffung von Kiesinseln.

Das "Ökologische Gesamtkonzept für den Hochrhein" von 1998 stellt auf der deutschen Hochrheintseite gezielte Maßnahmen für eine ökologische Aufwertung des Hochrheins und seiner Uferbereiche vor. Auf Grundlage des naturraumtypischen Zustandes und unter Berücksichtigung der historisch gewachsenen Nutzungen werden ein Leitbild und Entwicklungsziele für die ökologische Verbesserung formuliert. Aus der Gegenüberstellung von Bestandsaufnahme und Entwicklungszielen werden konkrete Maßnahmenvorschläge abgeleitet, um die ökologische Wertigkeit des Hochrheins und seiner Uferbereiche zu erhalten und zu verbessern. Für die Umsetzung des ökologischen Gesamtkonzeptes am Hochrhein werden Modellstrecken ausgewiesen, in denen relativ kurzfristig realisierbare Maßnahmen vorgeschlagen werden.

Die aus den Studien zur Verbesserung des Geschiebehaushalts (vgl. Kapitel 6) hervorgehenden Erkenntnisse bezüglich wirksamer Maßnahmen werden im Rahmen laufender und zukünftiger Konzessionsverhandlungen bei den Hochrheinkraftwerken berücksichtigt. Die vorgeschlagenen Maßnahmen haben insbesondere im Abschnitt zwischen Thur- und Aaremündung ein hohes Potenzial bezüglich einer Aufwertung der Gewässerbettstruktur.

Oberrhein -Südlicher deutsch-französischer Streckenabschnitt

Weil ein Großteil der Veränderungen irreversibel ist, sind die Wiederherstellungsmöglichkeiten in den meisten Bereichen recht begrenzt. Dennoch werden einige Projekte (Wiederanbindung von Seitengewässern, Flutung von Auen, Wiederherstellung der Ufer oder Schaffung natürlicher Rückhalteräume) ins Auge gefasst und umgesetzt.

Im Durchschnitt verbessert sich dadurch nach französischer Methode das Gesamtergebnis um 10 % (d.h. um eine halbe Qualitätsklasse).

Am Rhein gibt es mehrere mehr oder weniger ehrgeizige Projekte. Das angestrebte Ziel ist nicht, den ursprünglichen Zustand zu erreichen, wie er vor den Tulla'schen Ausbaumaßnahmen existierte. Dies erscheint aufgrund der Schifffahrt und Wasserkraftnutzung nicht mehr möglich. Es geht vielmehr darum, den biologischen Zustand der Auengebiete und deren Anbindung an den Rhein so weit wie möglich zu verbessern.

Simulationsstudien (Betrachtung verschiedener Szenarien in einem Simulationsmodell) zur Auswirkung mehr oder weniger langfristiger Wiederherstellungsprojekte können bei der Entscheidungsfindung helfen. Diese Modellberechnungen führen meist nur zu geringfügigen Änderungen des Index „Struktur“, zeigen aber auch, dass bereits geringe Änderungen erhebliche Auswirkungen auf die Fließgewässerökologie haben können.

Langfristig ist vorgesehen, Änderungen des Gewässer begleitenden Gehölzsaums zu modellieren, der in den frei fließenden, also weniger stark ausgebauten Flussabschnitten denkbar ist. Eine festgestellte erhebliche Verbesserung (von fast einer Klasse, d.h. 20%) bestätigt die Bedeutung und das Wiederherstellungspotenzial des Rheins.

Die kurz- oder langfristig vorgesehenen Maßnahmen können die biologische Vielfalt und Funktionsfähigkeit des Flusses stark verbessern, auch wenn die Bewertung der Gewässerstruktur maximal die Stufe „mäßig“ erreicht. Es ist jedoch sehr wichtig, dass dieses ausgehend von der erheblichen, teilweise nicht mehr rückgängig zu machenden Degradierung zu sehen ist und die Qualitätsverbesserung eines Streckenabschnitts von 10 auf 15 Punkte eine Verbesserung der Note zwischen 20 und 100 % bedeutet.

Die auf den Rhein bezogenen Maßnahmen müssen für den ganzen Fluss mit seinem Einzugsgebiet gesehen werden. Aus diesem Grund ist die Beurteilung der Gewässerstruktur auf Einzugsgebietsebene erforderlich, um zu einer kohärenten internationalen Flussbewirtschaftung zu kommen.

Oberrhein -Nördlicher Streckenabschnitt

Viele der in Rheinland-Pfalz laufenden Aktivitäten zur Verbesserung der Strukturqualität am Rhein sind an Projekte zum Hochwasserschutz gekoppelt. Häufig kommen hier Deichrückverlegungen (z.B. Speyer „Im Kirchengrün“ ca. 22 ha; Worms Bürgerweide: 70 ha Auen bereits reaktiviert, Rheinauen zwischen Leimersheim und Sondernheim, ca 2000 ha, Sondernheim ca. 11,5 ha, Mainz-Ingelheim, Deichrückverlegung Worms „Mittlerer Busch“, ca. 65 ha), und Polder (z.B. Kollerinsel, ca. 232 ha, Abschluss bis 2004) oder eine Kombination von beiden Maßnahmen zum Tragen (z.B. bei der Hochwasserrückhaltung Waldsee/Altrip/Neuhofen ca. 332 ha, soll bis 2008 realisiert werden; Rückhaltung Wörth/Jockgrim ca. 420 ha, soll bis 2006 realisiert werden). Darüber hinaus werden derzeit und in den nächsten Jahren vom Land Rheinland-Pfalz im Rahmen der „Aktion Blau“ abschnittsweise Gewässerentwicklungspläne für die gesamte rheinland-pfälzische Rhein-strecke (Leimersheimer Altrhein „Frisches Wasser für die Auen“) aufgestellt.

Mittelrhein

Zur Zeit wird linksrheinisch ein „Rahmenkonzept Mittelrhein – für eine nachhaltige Entwicklung der Rheinnahen Bereiche im Mittelrheintal von Bingen/Rüdesheim bis Koblenz“ vorbereitet, von dem Impulse zur Verbesserung der Strukturqualität am Rhein zu erwarten sind.

Niederrhein

Verschiedene Deichrückverlegungen am Niederrhein zur Auenreaktivierung und Verbesserung der Hochwasservorsorge sind bereits erfolgt (z.B. Orsoy-Land, ca. 220 ha; Mon-

heimer Rheinbogen, ca. 200 ha, Bislicher Insel ca. 1.100 ha, Niederkassel ca. 35 ha) bzw. geplant (Itter-Himmelgeist ca. 60 ha, Lohrward ca. 500 ha, Mündelheim ca. 150 ha). Weitere Rückhalteräume in Form von Taschenpoldern sind geplant (Köln-Langel ca. 500 ha, Worringer-Bruch, Ilvericher Altrhein-Schlinge ca. 600 ha, Bylerwardt).

Am Biener Praest sollen Altarme wieder an die Rhein verbunden werden und im Rahmen des laufenden Gewässerauenprogramm werden große Überschwemmungsgebiete an niederrheinischen Nebenflüssen renaturiert. Des Weiteren wird derzeit ein Wehrkataster erstellt, um die Durchgängigkeit der Gewässer für die Fischfauna zu erfassen und Gegenmaßnahmen gegen Störungen der Durchgängigkeit planen zu können.

Deltagebiet des Rheins

Um den ökologischen Zustand des Flussbettes von Nederrijn/Lek zu verbessern, werden in die Stauwerke bei Amerongen und Hagestein Fischpässe eingebaut. Im Mündungsbe- reich wird durch die Änderung des Offenstellungsregimes der Haringvlietschleusen die Durchgängigkeit für (Wander)fische und der Tideeinfluss verbessert. Die bereits geplan- ten Renaturierungsprojekte werden um Hochwasserschutzziele erweitert. Momentan lau- fen Studien, um den Hochwasserschutz auch in Zukunft gewährleisten zu können. Vor allem Maßnahmen wie die Schaffung von Nebenrinnen, Vorlandvertiefung und Deichrück- verlegung bieten gute Möglichkeiten für die Verknüpfung mit Renaturierungszielen und die Verbesserung der Gewässerstruktur.

6 Geschiebehaushalt und Sohlenerosion

Als Ergänzung zur Gewässerstrukturkarte Rhein beschreibt dieses Kapitel vorliegende Untersuchungen zur Problematik des Geschiebehaushaltes und der Sohlenerosion im Rhein [6], [9]. Diese Phänomene sind sehr eng mit der Struktur verknüpft, werden aber mit den zuvor beschriebenen Methoden der Erhebung der Gewässerstruktur nicht erfasst.

Ein natürliches Gewässer ist geprägt durch einen gewässertypischen Feststoffhaushalt. Die zahlreichen Veränderungen der Gewässerstrukturen, insbesondere der Aufstau des Rheins haben zu erheblichen Veränderungen des rheintypischen Feststoffhaushalts geführt, was zu Problemen sowohl für die gewässerabhängigen Nutzungen als auch für die Ökologie führt. Nutzungsbezogene Probleme entstehen vor allem durch Eintiefungen der Sohle infolge der Geschiebedefizite, wie sie z.B. unterhalb von Staustufen, -ketten auftreten. Damit verbunden sind i.d.R. Grundwasserabsenkungen in der Aue, was wiederum unerwünschte ökologische Folgen hat. Um Kenntnisse über diese Veränderungen zu erlangen und die mit dem veränderten Geschiebehaushalt verbundenen Probleme zu lösen, wurden am Hochrhein Untersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse im folgenden zusammengefasst werden. Des Weiteren liegen zu dieser Thematik Angaben zum Nördlichen Oberrhein und Mittelrhein vor.

Ergebnisse aus der Studie "Geschiebehaushalt im Hochrhein"

Aktueller Zustand [7]

Die Studie wurde mit dem Ziel erarbeitet, die ökologischen Auswirkungen der Stau- und der Energieerzeugung zu erfassen und Möglichkeiten der Optimierung zu untersuchen.

Der aktuelle Geschiebehaushalt des Hochrheins ist geprägt durch

- die stark reduzierte Geschiebezufuhr aus den Zuflüssen,
- das eingeschränkte Geschiebetransportvermögen in den Stauhaltungen und
- die vielen Uferverbauungen.

Auf rund der Hälfte des Hochrheins, davon in 2 freien Fließstrecken, wird kein Geschiebe mehr transportiert. In den übrigen Strecken (u.a. in der freien Fließstrecke bei Zurzach, Rhein-km 90 - 102) wird lediglich noch ein Bruchteil der ursprünglichen Geschiebefrachten transportiert. Die Sohle des Hochrheins ist aufgrund der stark eingeschränkten Geschiebezufuhr aus den Zuflüssen größtenteils gepflastert und kolmatiert (wird durch Taucheraufnahmen bestätigt). Wegen der reduzierten Fließgeschwindigkeiten in den Stauhaltungen ist die ursprüngliche Kiessohle in den tieferen Staubereichen durch Sandablagerungen überdeckt.

Gelänge es, alles aus den Zuflüssen heute noch verfügbare Geschiebe durch die Stauhaltungen stromabwärts zu transportieren, so könnte die heute unbedeutende Geschiebefracht auf einen maximalen Wert im Bereich von 10'000 m³/a erhöht werden. Im Vergleich zu den Verhältnissen um 1900 entspricht dies je nach Abschnitt etwa einem Drittel bis einem Fünftel der ursprünglichen Geschiebefracht.

Die in der Studie "Geschiebehaushalt Hochrhein" durchgeführten Berechnungen zeigen, dass bei zwei Kraftwerken (Eglisau und Ryburg-Schwörstadt) kein Geschiebe durch die Stauhaltungen transportiert werden kann. Bei drei Kraftwerken (Rheinau, Reckingen, Birsfelden) ist ein Geschiebetransport durch die Stauhaltungen erst ab Abflüssen, die über dem 10-jährigen Hochwasser liegen (d.h. seltener als alle 10 Jahre) möglich. Bei drei Kraftwerken (Albbruck-Dogern inkl. Restwasserstrecke, Säckingen, Augst-Wyhlen) sind ebenfalls große Abflüsse im Bereich des 10-jährigen Hochwassers erforderlich, um das Geschiebe durch die Stauhaltungen zu transportieren. Drei Kraftwerke (Schaffhausen, Laufenburg, Rheinfelden) bieten bezüglich Geschiebetransport durch die Stauhaltungen keine Probleme.

Empfohlene Maßnahmen

Mit der Reaktivierung des Geschiebehaushalts können die ökologischen Verhältnisse am Hochrhein in den frei fließenden Strecken sowie in den erweiterten Stauwurzelbereichen (oberes Drittel bis Hälfte der Stauhaltungen) aufgewertet werden.

Die vorgeschlagenen Maßnahmen zur Reaktivierung des Geschiebehaushaltes am Hochrhein können in drei Kategorien eingeteilt werden:

Zu lokalen Maßnahmen gehören die Aufweitung und Vernetzung der kleineren Seitengewässer, die das Geschiebe im Mündungsbereich ablagern sowie lokale Uferanrisse im Rhein mit begrenzter Ausdehnung. Maßnahmen dieser Art führen zu keiner Erhöhung der Geschiebefracht. Sie zielen jedoch auf eine Erhöhung der Uferstrukturierung ab und führen zu einer punktuellen Verbesserung der ökologischen und morphologischen Verhältnisse. Sie sind dann von Bedeutung, wenn sie rasch und ohne größere Aufwendungen umgesetzt werden können (vgl. u. a. 12 Renaturierungsprojekte gemäß Anh. II des Rhein-Ministerkommuniqués von Bern 1994).

Zu regionalen Maßnahmen gehören Maßnahmen an Seitengewässern, die zu regelmäßigen größeren Geschiebeeinträgen führen sowie die Schaffung von ausgedehnten Uferanrissen, die über längere Zeit aktiv bleiben. Das zugeführte Geschiebe wird bei häufig auftretenden Hochwasserereignissen flussabwärts transportiert und führt zu vielfältigen lockeren Sohlenstrukturen. Die Wirkung einer einzelnen Maßnahme endet meistens im tieferen Stauraum des nächstfolgenden Kraftwerks.

Durch regionale Maßnahmen können dem Rhein die heute fehlenden Geschiebemengen nachhaltig zugeführt werden. Sie bilden die Basis für die Reaktivierung des Geschiebehaushalts des Hochrheins. Regionale Maßnahmen können ohne Kombination mit übergreifenden Maßnahmen relativ rasch zu Hochwasserschutzproblemen führen.

Die übergreifenden Maßnahmen ermöglichen es, das zugeführte Geschiebe durch eine oder mehrere Stauhaltungen rheinabwärts zu verlagern, so dass das Geschiebe die gewünschte morphologische und ökologische Wirkung über eine längere Strecke ausüben kann. Übergreifende Maßnahmen betreffen vor allem temporäre Stauabsenkungen bei den Kraftwerken im Hochwasserfall. Sie kommen in der Regel nach einigen Jahren zum Tragen und haben daher mittel- bis langfristigen Charakter.

Nur durch die Kombination von regionalen und übergreifenden Maßnahmen lässt sich im Hochrhein ein durchgehender Geschiebetransport wiederherstellen. Dabei erfolgt bei Hochwasserabfluss der Geschiebetransport durch die Wehre der Kraftwerke (Unterströmen der angehobenen Wehrschütze, Geschiebeweitergabe). Das Geschiebe wird insbesondere in den frei fließenden Strecken und den Stauwurzelbereichen umgelagert.

Aufgrund der Ergebnisse der Studie "Geschiebehaushalt Hochrhein" wurden verschiedene Folgearbeiten bereits durchgeführt oder sind geplant:

- Erarbeitung von Vorschlägen für kleinräumige Sofortmaßnahmen zur lokalen Verbesserung der morphologische Situation
- Durchführung einer Studie zur Abschätzung des ökologischen Verbesserungspotenzials aus den vorgeschlagenen Maßnahmen zur Reaktivierung des Geschiebetriebes im Hochrhein (Juni 2001 bis März 2002)
- Vertiefte Betrachtungen des Verbesserungspotenzials bei den Kraftwerken Eglisau und Ryburg-Schwörstadt
- Ermittlung der Kosten- und Risikogrößen zur Konkretisierung der technisch-wirtschaftlichen Machbarkeit

Geschiebehaushalt nördlicher Oberrhein, Mittel- und Niederrhein [9]

Die Untersuchungen wurden aufgrund der negativen Auswirkungen der Sohlerosion auf die Schifffahrt und die Grundwasserstände durchgeführt.

Dem Rhein ist die Zufuhr von natürlichem Geschiebe von oberstrom durch die Staustufen am Oberrhein bis Iffezheim bei Rhein-km 334 sowie durch die ebenfalls staugeregelten Nebenflüsse Neckar, Main, Mosel und Ahr abgeschnitten. Um dieses Defizit auszugleichen, wurden dem Rhein unterhalb der Staustufe durchschnittlich 170.000 m³ Geschiebe pro Jahr zugeführt.

Der Strom nimmt das sandarme, gut sortierte Material auf und transportiert es talab. Wie die Abnahme der Geschiebefrachten unterhalb Karlsruhe zeigt, wird ein Großteil des kiesigen Materials infolge nachlassender Transportkraft wieder abgelagert. Dafür nimmt der Strom unterhalb von Mannheim feinkörniges Material – vor allem Sand und Feinkies – auf. Das aus Sand und Fein-Mittelkies bestehende Geschiebe passiert ohne größere Verluste die Nackenheimer Schwelle, um sich danach im Mainzer Bereich und im Rheingau (Inselrhein) wieder abzulagern. Hier kommt es u.a. zur Bildung von Dünen über einem relativ festen, grobkörnigen Untergrund, aber auch über freiliegendem Tertiär. Sie müssen zur Einhaltung der Fahrwassertiefe häufig gebaggert werden. So erreicht nur ein Teil der bei Mainz (ca. 110.000 m³/Jahr) im langjährigen Mittel gemessenen Geschiebefracht das Schiefergebirge bei Bingen. Hier geht aufgrund der veränderten Fließbedingungen ein Teil der bisherigen Bodenfracht in Suspension über.

Der Rest der Geschiebefracht wird an der zunächst felsigen, später aus grobem Lockermaterial gebildeten Sohle weiterbefördert, wobei jedoch auch in der Gebirgsstrecke bereichsweise Geschiebe zur Ablagerung kommt, z.B. am Gleithang der Bopparder Schleife. Hier wurden jährlich mindestens ca. 30.000 m³ Geschiebe gebaggert, eine Menge, die bei einer Geschiebebilanzierung des ohnehin defizitären unteren Mittelrheins in Betracht gezogen werden muss. Durch den Ausbau der Mosel und Lahn mit Staustufen entfallen zwei weitere Geschiebelieferanten.

Wenn unterhalb Koblenz trotzdem nur eine Erosion von rd. 4mm/Jahr zu verzeichnen ist, liegt dies hier an der Fähigkeit der Sohle, sich selbst zu stabilisieren. Die quartären Lockergesteine des Neuwieder Beckens und des unteren Mittelrheintales sind so stark von Steinen und Blöcken durchsetzt, dass sich bei Entfernung der Feianteile von selbst eine gepflasterte bzw. gepanzerte Sohle einstellen kann. Wie ein Bilanzierungsversuch zeigte, dürfte der Rhein auf der Strecke Koblenz-Bonn derzeit etwa 55.000 m³ Geschiebe pro Jahr aus der Sohle aufnehmen (einschließlich geringer Nebenflussanteile). Im unterhalb anschließenden Kölner Raum kann der Strom dieses grobkörnige Material nicht in vollem Umfang weitertransportieren; sowohl Geschiebemessungen wie auch Sohlenpeilungen zeigen hier Akkumulationstendenz. Das sich im Bereich Köln ablagernde Geschiebe fehlt der anschließenden Strecke, die sich nun durch Erosion auszeichnet. Die erosive Tendenz verstärkt sich nach unterstrom und führt zwischen Düsseldorf und Krefeld zu hohen Geschiebefrachten (im Mittel ca. 160.000 m³/Jahr).

Hier hat sich der Rhein bereits bis auf das liegende Tertiär eingeschnitten. Dessen feinsandige Ausbildung begünstigt die Erosion so stark, dass es lokal zu großen Auskolkungen kommt.

Im Duisburger Raum wurde die Sohle durch den untertägigen Kohleabbau um mehrere Meter abgesenkt. Diese Senkungswannen wirken wie Geschiebefallen, die trotz Verklappung von Bergematerial auch heute noch einen großen Teil der von oberstrom kommenden Geschiebefracht auffangen. Dementsprechend stark, nämlich mit Erosionsraten bis zu 3 cm/Jahr und mehr, nimmt der Strom unterhalb des Bergsenkungsgebietes Material aus der Sohle auf und transportiert es, teilweise in Form von Dünen, bis über den Bereich der deutsch-niederländischen Grenze.

Maßnahmen zur Problemlösung:

- Geschiebezugabe von außerhalb des Gewässers
- Unterhaltungsbaggerungen und Verwenden des Baggergutes als Geschiebezugabe
- Bühnenbau/Leitwerksbau
- Kolkverbau

7. Literatur

7.1 Erhebungsmethoden

- (1) Agence de l'Eau Rhin-Meuse, ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement: Système d'évaluation de la qualité du milieu physique des cours d'eau, Metz, 1996
- (2) Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland Pfalz, (Hrsg.): Gewässerstrukturgütekartierung - Verfahren für kleine und mittelgroße Fließgewässer, Verfahrensbeschreibung LfW-Bericht Nr. 221/96, Mainz 1996
- (3) Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA): Gewässerstrukturkartierung in der Bundesrepublik Deutschland – Verfahren für mittelgroße bis große Fließgewässer (Entwurf 2002)
- (4) Schoor, M.M. & E. Stouthamer 2003: Ecomorfologische kartering van de Rijntakken in Nederland. RIZA rapport 2003.009. Lelystad/Arnhem, 60 Seiten
- (5) Schoor, M.M. & P. Jesse, 2003: Herziening methodiek hydromorfologische kartering rivieren. RIZA Werkdocument 2003.194x.
- (6) Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (Hrsg): Gewässerstrukturgüte in Nordrhein-Westfalen. Anleitung für die Kartierung mittelgroßer bis großer Fließgewässer. LUA-Merkblätter Nr. 26, 2001.

7.2 Sonstige Literatur

- (7) Fleischhacker, T., Sommer, M., Kern, K.: Strukturgüte-Kartierverfahren für Wasserstraßen. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, Januar 2001
- (8) Schälchli, Abegg & Hunzinger, Zürich/Universität Karlsruhe, Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, 2000: Geschiebehalt Hochrhein. Studie im Auftrag von Bundesamt für Wasser und Geologie, CH-2503 Biel und Regierungspräsidium Freiburg, D-79083 Freiburg i.Br.
- (9) BUWAL,2001: Gewässerstruktur des Hochrheins, Erhebung 2001. Interner Bericht
- (10) Ökon, 2002: Potenzial der ökologischen Verbesserungen durch Reaktivierung des Geschiebes im Hochrhein. Studie im Auftrag von Bundesamt für Wasser und Geologie, ch-2503 Biel und Regierungspräsidium Freiburg, D-79083 Freiburg i.Br.
- (11) Bundesminister für Verkehr, Abteilung Binnenschifffahrt und Wasserstraßen: Untersuchung der Abfluss- und Geschiebeverhältnisse des Rheins – Schlussbericht, Bonn, 1987
- (12) Agence de l'Eau Rhin-Meuse, DIREN Alsace: Qualité du milieu physique du Rhin,, Metz, 2000/2001
- (13) Gewässerdirektion Südl.Oberrhein/Hochrhein : Ökologisches Gesamtkonzept Hochrhein, (Band 1), 1998

- (14) Landesanstalt für Umweltschutz Ba.-Wü./Gewässerdirektion
Südl.Oberrhein/Hochrhein: Konzeption zur Entwicklung und zum Schutz der südl.
Oberrheinniederung (Textband und Kartenatlas, Bd. 10), 1999
- (15) Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland Pfalz und Landesamt für
Wasserwirtschaft Rheinland Pfalz, (Hrsg.): "Gewässerstrukturgüte 2000" und
"Gewässerstrukturgütekarte 2001"