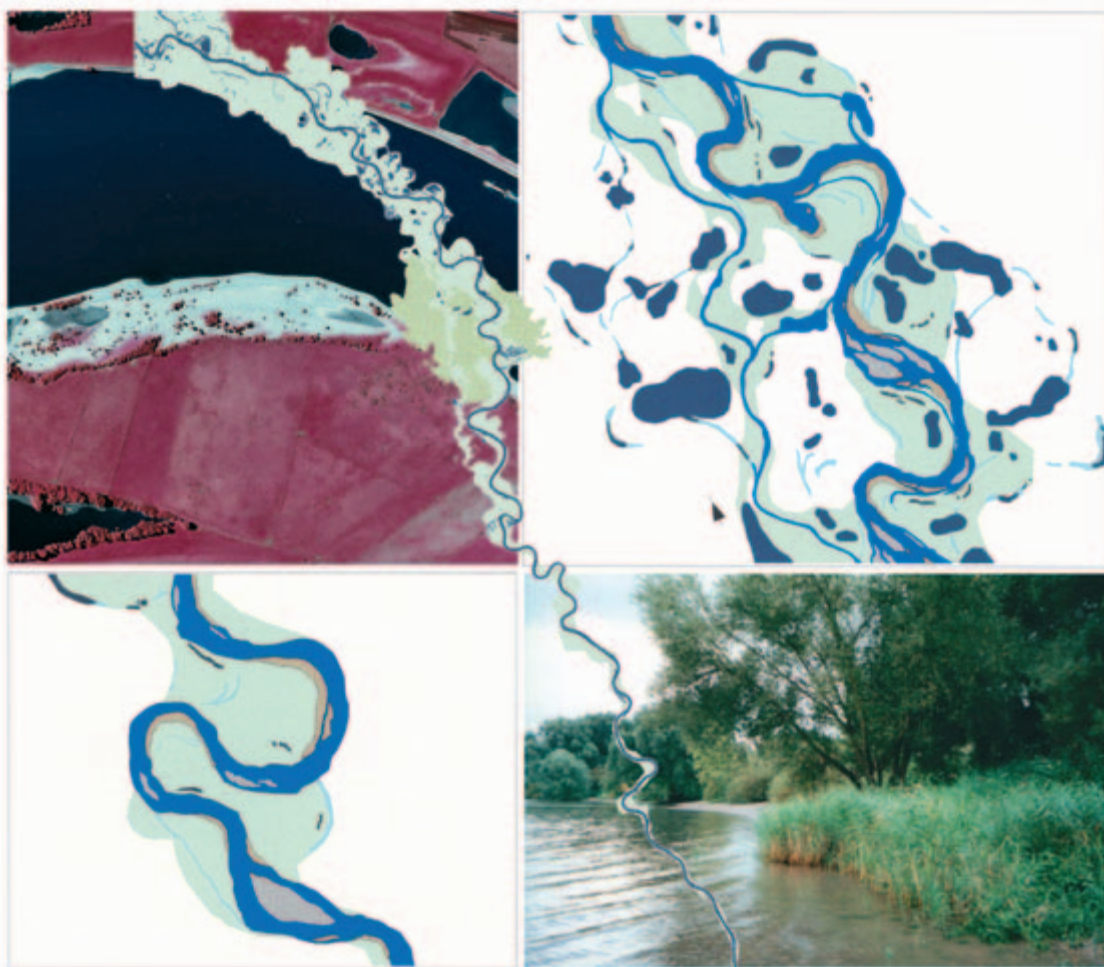


# Merkblätter

Nr. 41

## Morphologisches Leitbild Niederrhein

Wasser



Boden

Abfall

---

# Merkblätter

---

Nr. 41

Morphologisches Leitbild Niederrhein

---

Essen, 2003

---

Das vorliegende Merkblatt wurde mit finanzieller Unterstützung des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen erstellt.

#### IMPRESSUM

- Herausgeber: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen  
Wallneyer Str. 6, 45133 Essen  
Telefon: (0201) 79 95 - 0  
Email: [poststelle@lua.nrw.de](mailto:poststelle@lua.nrw.de)
- Projektleitung: Prof. Dr. Günther Friedrich, vormals Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen  
Stefan Meyer-Höltzl, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen
- Bearbeitung: Ina A. Ihben  
Geographisches Institut der Universität zu Köln  
Abteilung für Angewandte Geomorphologie und Landschaftsforschung, Köln  
und Planungsbüro Koenzen – Wasser & Landschaft, Hilden
- Satz, Layout: Helga Friedrich
- ISSN: 0947-5788
- Informationsdienste: Aktuelle Umweltdaten aus NRW:  
(u.a. aktuelle Luftqualitäts-, Gewässergüte- und Wasserstandsdaten der Fließgewässer)  
  
Fachinformationen:  
Internet unter [www.landesumweltamt.nrw.de](http://www.landesumweltamt.nrw.de)  
  
Aktuelle Luftqualitätsdaten NRW:  
WDR-Videotext (3. Fernsehprogramm), Tafeln 177 bis 179  
Telefonansagedienst unter (0201) 19 700
- Bereitschaftsdienst: Nachrichtenbereitschaftszentrale des LUA NRW  
(24-Std.-Dienst): Telefon (0201) 71 44 88

Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur unter Quellenangaben und Überlassung von Belegexemplaren nach vorheriger Zustimmung des Herausgebers gestattet. Die Verwendung für Werbezwecke ist grundsätzlich untersagt.

## Vorwort

In Nordrhein-Westfalen sind in den Jahren 1991 – 1998 von der Universität Essen im Rahmen des „Interdisziplinären Forschungsvorhabens zur Typologieentwicklung und Leitbildfindung“ die Fließgewässer vom Bach bis zum Fluss typologisch bearbeitet worden, mit Ausnahme des Rheins.

Unter den Fließgewässern in Nordrhein-Westfalen nimmt jedoch der Rhein eine Sonderstellung ein. Als Strom ist er das einzige Gewässer mit Anschluss an den Alpenraum und somit einem komplexen Abflussregime, das von glazialen, nivalen und pluvialen Regimeeinflüssen geprägt wird.

Analog zu den bisherigen Forschungsprojekten wurde das morphologische Leitbild Niederrhein erarbeitet. Die Veröffentlichung basiert auf der Dissertation der Autorin Ina A. Ihben mit dem Titel „Geomorphologisches Leitbild des Niederrheins als Grundlage für die Gewässerstrukturgütebewertung“, die am Geographischen Institut der Universität zu Köln in der Abteilung für Angewandte Geomorphologie und Landschaftsforschung angefertigt wurde. In der methodischen Vorgehensweise und zur Terminologie orientiert sich die Leitbildentwicklung zum Niederrhein an dem LUA-Merkblatt Nr. 34, den Leitbildern für mittelgroße bis große Fließgewässer. Es ergänzt und komplettiert somit die Studien zur Leitbildfindung für Fließgewässer in Nordrhein-Westfalen.

Mit dem morphologischen Leitbild Niederrhein besteht nunmehr eine landesweit einheitliche Basis für die vollständige typologische Zuordnung, Erfassung und Bewertung sämtlicher Fließgewässer in Nordrhein-Westfalen, gemäß den Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie.

Essen, im Juni 2003



*Harald Irmer*

Dr. Harald Irmer  
Präsident des Landesumweltamtes  
Nordrhein-Westfalen



## Inhalt

	Vorwort .....	3
<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>7</b>
1.1	Leitbild .....	8
1.2	Ziel der Leitbilderstellung .....	9
<b>2</b>	<b>Niederrhein .....</b>	<b>11</b>
2.1	Lage und Abgrenzung .....	11
2.2	Landschaftsgenese und Relief .....	13
2.3	Hydrologische Verhältnisse .....	15
<b>3</b>	<b>Morphologisches Leitbild Niederrhein .....</b>	<b>19</b>
3.1	Typologische Zuordnung .....	19
3.2	Morphologische Stromabschnittstypen des kiesgeprägten Tieflandstromes Niederrhein .....	19
3.2.1	Gewässermorphologische Parameter .....	22
3.2.2	Totholzsituation .....	25
3.2.3	Anthropogene Faktoren .....	25
3.2.3.1	Sondersituation Bergbauregion .....	26
3.2.4	Tabellarische Übersicht Leitbild Niederrhein – morphologische Charakterisierung – .....	28
3.3	Heutige potenziell natürliche Vegetation .....	46
<b>4</b>	<b>Beispiele für die Anwendung im Gewässerschutz .....</b>	<b>49</b>
4.1	Veränderungen in historischer Zeit .....	49
4.2	Gewässerstrukturgütekartierung .....	51
4.3	Biotopverbund .....	53
	Danksagung .....	54
	Abbildungs- und Tabellennachweis .....	54
	Literatur .....	55



## 1 Einleitung

Innerhalb der Jahre 1991 bis 1994 wurden in Nordrhein-Westfalen im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft an der Universität GH Essen Leitbilder für Tieflandbäche entwickelt. Zwischen 1995 und 1998 folgten Leitbilder für Mittelgebirgsbäche (LUA NRW 1999 a u. b). Von 1999 bis 2001 sind die mittelgroßen bis großen Fließgewässer im Rahmen des Interdisziplinären Forschungsvorhabens zur Typologieentwicklung und Leitbildfindung bearbeitet worden (LUA NRW 2001 d). Auch für die Weser wurde eine Leitbildermittlung vorgenommen (KOENZEN 2001).

Das morphologische Leitbild Niederrhein wurde analog zu den bisherigen Forschungsprojekten erarbeitet. Es ergänzt und vervollständigt die Studien zur Leitbildfindung für Fließgewässer in Nordrhein-Westfalen. Mit dem hier vorgelegten morphologischen Leitbild für den Niederrhein besteht nunmehr eine vollständige, landesweit einheitliche Basis für die komplette, typologische Zuordnung, Erfassung und Bewertung sämtlicher Fließgewässer.

Die Leitbildentwicklung orientiert sich in der methodischen Vorgehensweise und Terminologie insbesondere an den Arbeiten für mittelgroße bis große Fließgewässer (LUA NRW 2001 d).

Der Rhein nimmt eine Sonderstellung unter den Fließgewässern in Nordrhein-Westfalen ein. Er ist das einzige Gewässer mit Anschluss an den Alpenraum

und somit einem komplexen Abflussregime, das von glazialen, nivalen und pluvialen Regimeeinflüssen geprägt wird. Ebenso ist der Rhein aufgrund seiner Größendimension den anderen nordrhein-westfälischen Fließgewässern gegenüberzustellen. Als Strom mit einer Lauflänge von insgesamt 1.320 km weist er gegenwärtig an der deutsch-niederländischen Grenze einen mittleren Abfluss von 2.200 m<sup>3</sup>/s auf. Es handelt sich bei mittelgroßen bis großen Fließgewässern des Landes zum Vergleich um Fließgewässer mit einem Mittelwasserabfluss von 100 – 200 m<sup>3</sup>/s nach der Gewässergütekarte des Landes Nordrhein-Westfalen 1995. Zudem ist die Verminderung der Sohlenerosion des Rheins eine bisher beständige Aufgabe, die eine gesonderte Betrachtungsweise erfordert.

Als **Niederrhein** wird die Laufstrecke vom Eintritt des Rheins in die Niederrheinische Bucht bei den Inseln Nonnenwerth und Grafenwerth (Abb. 1) auf Höhe der rheinland-pfälzischen Landesgrenze (Rheinkilometer 640) bis zur deutsch-niederländischen Staatsgrenze bei Rheinkilometer 865,5 unmittelbar unterhalb der früheren Stromspaltung in Waal und Nederrijn bezeichnet. Dieser Rheinabschnitt ist mit dem Rhein in Nordrhein-Westfalen identisch. Da der Terminus Niederrhein anhand des Rheinverlaufs durch den Naturraum der Niederrheinischen Bucht charakterisiert und der heutige potenziell natürliche Gewässerzustand geschildert wird, ist der Begriff Niederrhein zu verwenden.



Abb. 1: Bei den Inseln Nonnen- und Grafenwerth am Austritt des Rheins aus dem Rheinischen Schiefergebirge beginnt der Niederrhein.



Die vorliegende Veröffentlichung basiert auf der Dissertation der Autorin Ina A. Ihben mit dem Titel „Geomorphologisches Leitbild des Niederrheins als Grundlage für die Gewässerstrukturgütebewertung“, die am Geographischen Institut der Universität zu Köln in der Abteilung für Angewandte Geomorphologie und Landschaftsforschung bei Prof. Dr. Brunotte angefertigt wurde (IHBEN 2003; BRUNOTTE & IHBEN 2001). Das „Morphologische Leitbild Niederrhein“ stellt eine Zusammenfassung der Ergebnisse dar, die für die Gewässerstrukturgütekartierung des Rheins in Nordrhein-Westfalen (LUA NRW 2001 e; IHBEN 2000) bereits herangezogen wurden.

## 1.1 Leitbild

Das **Leitbild** beschreibt den heutigen potenziell natürlichen Gewässerzustand (**hpnG**), der sich nach Herausnahme jeglicher Verbauungen sowie Auflassung sämtlicher anthropogener Nutzungen im und am Fließgewässer und seiner Aue und im gesamten Einzugsgebiet unter den gegenwärtigen klimatischen Verhältnissen einstellen würde. Das Leitbild orientiert sich an dem gegenwärtigen Wissensstand über die natürlichen Funktionen eines Gewässerökosystems entsprechend dem heutigen Naturpotenzial (LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER 1999). Es illustriert ein dynamisches Klimaxstadium, in dem sich der Naturhaushalt weitgehend unabhängig von menschlichen Eingriffen regenerieren konnte.

Es bestehen jedoch auch irreversible Veränderungen der naturräumlichen Rahmenbedingungen. Diese können die Ausprägung des heutigen potenziell natürlichen Gewässerzustandes bestimmen. Im Rahmen der Leitbildprojekte in Nordrhein-Westfalen werden folgende anthropogen bedingte Veränderungen der naturräumlichen Rahmenbedingungen als irreversibel benannt (MUNLV NRW 2002, IHBEN 2003):

- Auenlehmsedimentation
- Modifizierte Nährstoffsituation
- Mineralisierung organischer Böden
- bergbaulich induzierte Reliefveränderungen (Steinkohle- und Steinsalzabbaufolgelandschaft mit großflächigen Geländeabsenkungen, Braunkohletagebau)
- Aufschüttungen (Halden)
- künstliche Verfüllungen in der Aue (u. a. Bauschutt, Bergematerial, Schlacke)

- Sohleneintiefung des Rheins mit Erreichen und Ausräumung des tertiären Untergrundes

Auf die Ausprägung des morphologischen Leitbildes Niederrhein haben vor allem die großräumigen Geländedepressionen als Folge des Steinkohlenbergbaus einen erheblichen Einfluss. Das Gelände wird neben dem Hauptstrom von einer bergsenkungsbedingten Seenlandschaft geprägt, die eine Aufweitung der Aue in dieser Region bewirkt (s. Kap. 3.2).

Das Leitbild ist daher nicht mit dem natürlichen (Ur-) oder historischen Zustand gleichzusetzen, denn es handelt sich um die Konstruktion von Verhältnissen, die vorhandene irreversible naturräumliche Veränderungen einschließt; es besitzt folglich einen aktualistischen Ansatz. Es stellt das maximale Sanierungsziel dar, bei dem sozio-ökonomische Beschränkungen außer Acht gelassen werden und Kosten-Nutzen-Betrachtungen unberücksichtigt bleiben. Das Leitbild skizziert einen Zustand, dessen Merkmalsausprägungen innerhalb gewisser Spannweiten variabel sind.

Zur Formulierung naturraumspezifischer und gewässertypischer Leitbilder eignen sich untersuchte natürliche oder naturnahe Referenzgewässer bzw. -abschnitte. Da diese für große, u. a. durch Schifffahrt genutzte Ströme kaum mehr existieren, müssen die typspezifischen Referenzbedingungen überwiegend theoretisch hergeleitet werden (LUA NRW 1996, 2001 b).

Mittels umfangreicher Datenauswertungen lassen sich die Eigenschaften darlegen, die dem Niederrhein nach der Leitbilddefinition eigen wären. Zu nennen sind z. B. Auswertungen zu klimatischen, hydrologischen, geologischen und pedologischen Verhältnissen, Höhenlagen, Neigungsverhältnissen, historischen Fließgewässerzuständen, von topographischen Karten, flussmorphologischen Grundlagen, naturräumlich-heimatkundlichen Beschreibungen, morphologisch-sedimentologischen Untersuchungen etc. (IHBEN 2003).

Das morphologische Leitbild Niederrhein behandelt ausschließlich die Abiotik. Es erhebt nicht den Anspruch eines ganzheitlichen, die Bioökologie implizierenden Leitbildes. Es schildert die typischen und regional unterschiedlichen Ausprägungen der geomorphologischen Formen und Strömungsverhältnisse, welche u. a. die Voraussetzungen für eine charakteristische Flora- und Faunabesiedlung bilden. Die hydromorphologischen Strukturen des hpnG werden anhand

eines Parametersystems beschrieben, das sich aus den wichtigsten abiotischen und strukturell relevanten Haupt- und Einzelparametern zusammensetzt und an die Gewässerstrukturgütekartierung angelehnt ist (s. Kap. 3.2). Die heutige potenziell natürliche Vegetation (Kap. 3.3) bezieht sich auf Vegetation unter strukturellen Aspekten. Vegetationskundliche Leitbilder des Niederrheins sind derzeit in Vorbereitung (LUA NRW 2002 b).

## 1.2 Ziel der Leitbilderstellung

Ziel der morphologischen Leitbilderstellung ist die Deskription und Illustration der individuellen Ausprägung des Leitbildzustandes vom Niederrhein.

Die Beschreibung des hpnG für die laufabschnittsbezogenen Strom- und Auetyphen steht im Mittelpunkt. Sie ermöglicht es, die heutige potenziell natürliche Vielfalt des Niederrheins zu veranschaulichen und erkennen zu können. Eine Leitbildbeschreibung ist die Voraussetzung, entsprechende Schritte für die (Wieder-)Herstellung leitbildkonformer Zustände bzw. Erhaltung solcher Gewässerzustände einleiten zu können.

In erster Linie dient das Leitbild als Grundlage für die Bewertung eines Gewässerökosystems. Es stellt den Bewertungsmaßstab für den Ist-Zustand dar, dessen Ausprägung durch vielfältige Einzelfaktoren – wie z.B. Gewässergüte, Gewässerstrukturgüte, Abflussverhältnisse, Nutzungen im und am Gewässer, Makrozoobenthos- und Fischbesiedlung sowie Vegetation – bestimmt wird.

Desweiteren dient das Leitbild als Basis für die Definition des Referenzzustandes im Sinne der EU-

Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), die seit Dezember 2000 in Kraft und somit verbindlich ist. Mittelfristig soll ein zumindest „guter ökologischer Zustand“ sämtlicher Gewässer bzw. für erheblich veränderte oder künstliche Gewässer (heavily modified and artificial waterbodies) ein „gutes ökologisches Potenzial“ in Europa erreicht werden. Um die Qualitätskriterien zu kennen, die der Ausprägung des sehr guten ökologischen Zustandes bzw. Potenzials eigen sind, ist das Leitbild zu definieren. Es kann als Entscheidungsgrundlage herangezogen werden, an ihm können sich die Abstufungen des ökologischen Zustandes orientieren, (WRRL 2000).

Eine ökologische und nachhaltige Wasserwirtschaft und die Umgestaltung naturfern ausgebauter Fließgewässer in ihr naturnahes Erscheinungsbild ist auch von seiten der nationalen Gesetzgebung festgeschrieben (Wasserhaushaltsgesetz – WHG).

Der Begriff der Nachhaltigkeit entstammt der Agenda 21, deren Grundlage das Konzept des sustainable development (nachhaltige, zukunftssichernde Entwicklung) ist. Ein Handeln im Einklang mit der Natur ist notwendig, damit die Umwelt nicht geschädigt oder zerstört wird. Nachhaltige Entwicklung soll die natürliche Erneuerungsfähigkeit des Naturkapitals und somit den dauerhaften Erhalt verschiedener Ökosystemfunktionen gewährleisten. Dieses Ziel ist an Gewässern nur mit Hilfe der Kenntnis des Leitbildzustandes möglich (MUNLV NRW 2002).

Konkrete Beispiele für die Anwendung des morphologischen Leitbildes Niederrhein im Gewässerschutz finden sich in Kap. 4.



## 2 Niederrhein

### 2.1 Lage und Abgrenzung

Das heterogene **Einzugsgebiet** des Rheins wird mit einer Gesamtfläche von 185.300 km<sup>2</sup> von den Alpen bis zur Nordsee in fünf Teileinzugsgebiete unterteilt; dem obersten Rhein-Aare-Gebiet folgen bis zur Mündung die Teileinzugsgebiete Rhein-Neckar-Main, Rhein-Lahn-Mosel, Rhein-Ruhr-Lippe sowie Rijn (Abb. 2).

streckt sich östlich des Rheins und umfasst vor allem die Einzugsgebiete seiner rechtsrheinischen Hauptzuflüsse Sieg ( $A_{E_0} = 2.861 \text{ km}^2$ ), Wupper ( $A_{E_0} = 827,34 \text{ km}^2$ ), Ruhr ( $A_{E_0} = 4.485 \text{ km}^2$ ), Emscher ( $A_{E_0} = 858 \text{ km}^2$ ) und Lippe ( $A_{E_0} = 4.882 \text{ km}^2$ ). Größtes linksrheinisch zufließendes Nebengewässer ist die Erft ( $A_{E_0} = 1.828 \text{ km}^2$ ) (KHR 1993; HSG NRW 2002).

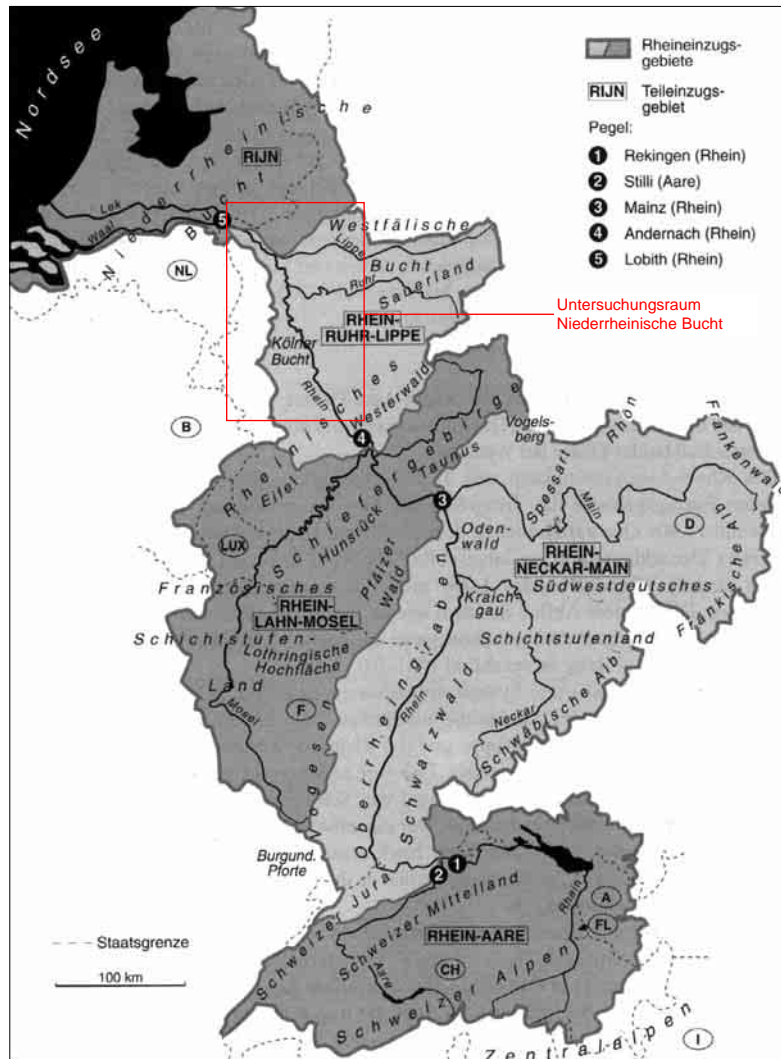


Abb. 2: Das Einzugsgebiet des Rheins und seine Teileinzugsgebiete sowie Lage des Untersuchungsraumes Niederrheinische Bucht.

Die Einzugsgebietsgröße des Rheins beim Übertritt in die Niederlande und damit am Niederrhein beträgt 160.800 km<sup>2</sup>, das entspricht einem Anteil von 87,5 % an der Gesamtfläche des Rheineinzugsgebietes.

Auf Nordrhein-Westfalen entfallen mit 22.795 km<sup>2</sup> ohne Ijsselmeerzuflüsse ca. 12 bis 13 % des Rheineinzugsgebietes. Der hauptsächliche Gebietsanteil er-

Der Rhein wird in seinem Verlauf von den Quellen bis zum Mündungsdelta in verschiedene **Rheinabschnitte** untergliedert. In den Zentralalpen entspringen Vorder- und Hinterrhein, die sich bei Chur zum Alpenrhein vereinigen, der in den Bodensee mündet. Beim Durchfluss des Bodensees handelt es sich um den Seerhein, vom Bodensee bis nach Basel um den Hoch-

rhein. Der Rheinabschnitt von Basel bis Bingen entlang des Oberrheingraben wird Oberrhein genannt. Ab Bingen durchfließt der Rhein das Rheinische Schiefergebirge, hier wird der Stromverlauf als Mittelrhein bezeichnet. Der Niederrhein erstreckt sich entlang der Niederrheinischen Bucht vom Austritt aus dem Mittelgebirge bis zur deutsch-niederländischen Grenze. Die Teilstrecke des Rheins in den Niederlanden bis Pannerdense Kop wird als Bovenrijn bezeichnet, unterhalb beginnt das Rheindelta: Der Strom verzweigt sich in seine Hauptarme Waal und Nederrijn bzw. Lek, die in die Nordsee münden, und IJssel, die dem IJsselmeer zufließt (BRUNOTTE 1995; KHR 1993).

Bei der Betrachtung des morphologischen Leitbildes Niederrhein ist zu beachten, dass der Strom hier dem Typ „kiesgeprägter Tieflandstrom“ zugehört. Seine

Stromabschnittstypen sind nicht auf die anderen Rheinabschnitte zu übertragen. Von den Quellen bis zur Mündung gehört der Strom je nach durchflossenem Landschaftsraum zu unterschiedlichen Flusstypen, u.U. kann der Gewässertyp auch innerhalb einer naturräumlichen Einheit wechseln. Um Aussagen zum hpnG anderer Teilstrecken des Rheins zu erhalten, ist jeweils eine individuelle Leitbildermittlung erforderlich.

Die **Niederrheinische Bucht** bildet die naturräumliche Einheit, in der sich das Untersuchungsgebiet befindet (Abb. 3) (s. Kap. 2.2). Sie wird im Süden von Eifel sowie Hohem Venn und im Osten vom Bergischen Land und Münsterland umrahmt. Im Westen ist die Begrenzung neben tektonischen Gegebenheiten aus quartärgeologischer Sicht von den Westlichen Randstaffeln bis westlich der Stauch-

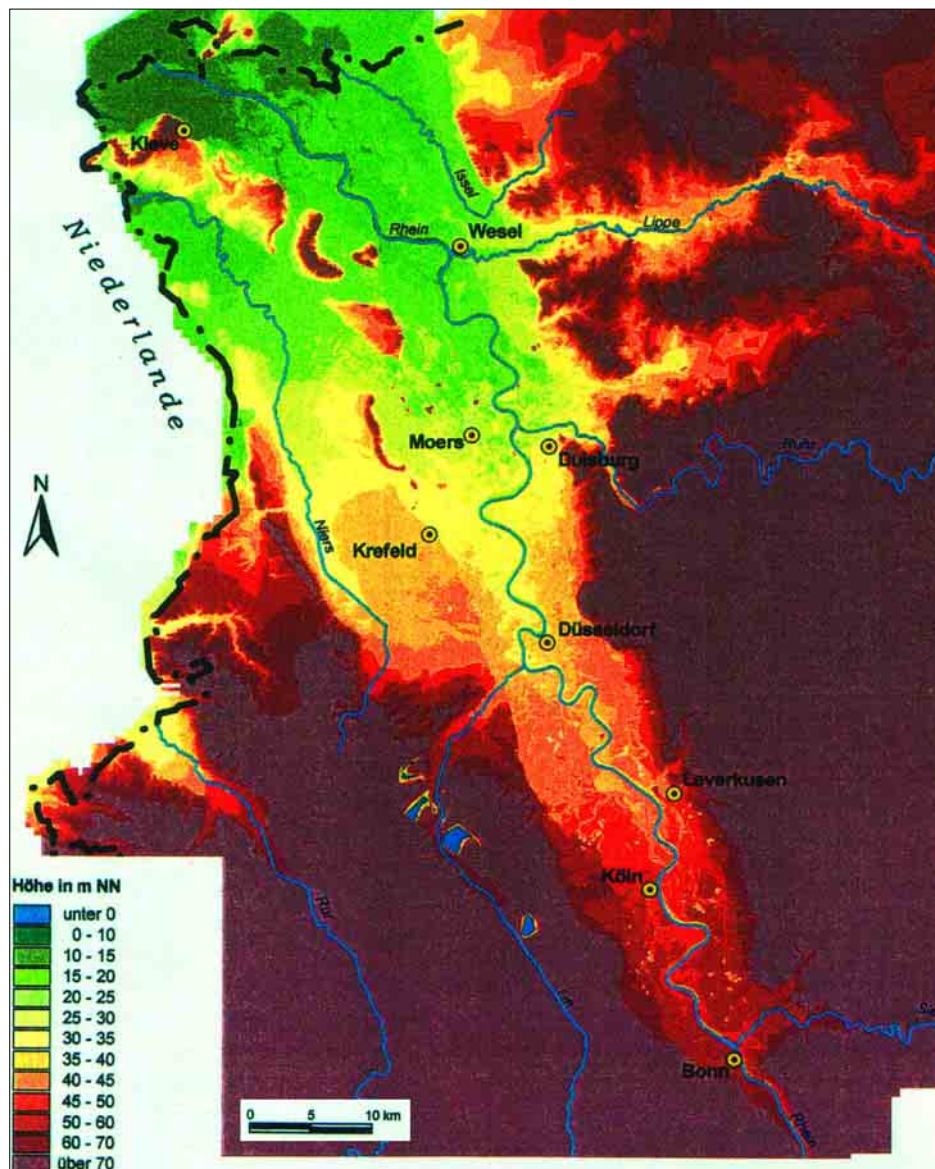


Abb. 3: Niederrheinische Bucht: Digitales Geländemodell, Darstellung als Höhenkarte.

moräne bei Kleve zu ziehen, im Norden bilden die Stauchmoränenzüge des Gelderlandes den Abschluss. Die Landhöhen des Rheinhochflutbettes (Holozän) sinken von ca. 58 m ü.NN im Süden auf bis zu 12 m ü.NN auf Höhe der Staatsgrenze ab. Maas und Rhein sind die landschaftsprägenden Elemente der Niederrheinischen Bucht, letzterer durchströmt die östliche Hälfte, die in zwei weitere Teilgebiete segmentiert werden kann. Südlich erstreckt sich die Kölner Bucht, etwa auf Höhe der Erftmündung beginnt das Niederrheinische Tiefland (KLOSTERMANN 1992).

Das **Untersuchungsgebiet** für die Entwicklung des morphologischen Leitbildes Niederrhein stimmt im Wesentlichen mit der Verbreitung des Holozäns am Niederrhein überein (s. Abb. 7 und Abb. 10). Seitlich wird der Betrachtungsraum von den Niederterrassen des Rheins (Stromablagerungen der Weichsel-Kaltzeit) begrenzt bzw. am Oberen Niederrhein lokal auch von devonischen Schichten, vulkanischen und vulkanogen-sedimentären Gesteinen aus dem Tertiär, der Unteren Mittelterrasse, Löß und Lößlehm sowie am Unteren Niederrhein lokal auch von Stauchmoränen und Sandern (Eis- und Schmelzwasserablagerungen der Saale-Kaltzeit) (Abb. 4). Im Leitbildzustand würde der Strom die nacheiszeitliche Talniederung sowohl überformen als auch darüber hinausgehend rezente Niederterrassenflächen erodieren und infolgedessen regional eine Erweiterung des aktuellen Holozäns herbeiführen.



Abb. 4: Am Unteren Niederrhein begrenzen Stauchmoränen und Sandern die Aue, so dass extrem hohe Steilufer ausgebildet werden können.

Besonders zu erwähnen ist die bergsenkungsbedingte Aufweitung des Untersuchungsgebietes im Duisburger Raum. Die durch Steinkohle- und Steinsalzabbau induzierten großräumigen Geländeabsenkungen würden gegenwärtig Überflutungshöhen bis über 10 m auf-

weisen, wenn die anthropogenen Grundwasserableitungen, Uferbefestigungen sowie infolge des Bergbaus örtlich bis zu 15 m hohen Deiche (HSG NRW 2002) nicht mehr existieren würden. Im hpnG würde es in diesen Reliefvertiefungen zu Grundwasseransammlungen kommen, zudem können die Senkungsbereiche durch Lateralverlagerungen des Rheins angeschnitten oder bei Hochwasserereignissen überformt werden. Das Resultat wäre eine Seenlandschaft, die sich beiderseits des Hauptstromes erstreckt und sich aus einem kleinräumigen Wechsel zwischen tieferen Seen, flach überschwemmten Gebieten, Aufschüttungen (Halden), inselartigen Niederterrassenarealen, Stauchmoränen und Sandern im Westen, Dünen und Hochflutrinnen zusammensetzt (s. Kap. 3.2).

Die Abgrenzung des Untersuchungsgebietes basiert auf hydromorphologischen Parametern (z.B. geologische Verhältnisse, Pedologie, Relief, Überschwemmungen) und unterscheidet sich daher von den Betrachtungsräumen der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR 1998 a u. b) und der Forschungsstudie „Hochwasserschadenspotenziale am Rhein in Nordrhein-Westfalen“ (MUNLV NRW 2000 a u. b). Die IKSR orientiert sich am Niederrhein an der Verbreitung des Hochwassers von 1926, die MUNLV-Forschungsstudie ermittelt für extreme Hochwasser-Szenarien u.a. die räumliche Verteilung der Wassermengen sowie Überflutungshöhen unter heutigen Bedingungen.

## 2.2 Landschaftsgenese und Relief

Seit dem **Paläozoikum** ist das Gebiet der Niederrheinischen Bucht ein Senkungsfeld, das dem westlichen Ast der Mittelmeer-Mjösen-Zone (benannt nach dem Mjösa-See in Norwegen bei Oslo) zuzuordnen ist. Es handelt sich um eine große europäische Bruchzone, die Mitteleuropa auf einer Länge von 2.000 km durchzieht. Sie erstreckt sich vom Mittelmeer über den Rhônegraben durch die Burgundische Pforte in den Oberrheingraben, von dort setzt sie sich über das Neuwieder Becken, die Niederrheinische Bucht und den Holländischen Zentralgraben bis in den Nordatlantik fort (BRUNOTTE et al. 1994). In der paläozoischen Geosynklinale sind Sedimentschichten mehrmaliger Meeresbedeckungen und Abtragungsmaterial benachbarter Hochgebiete abgelagert worden (GLA NRW 1978, 1988; DROZDZEWSKI et al. 1998).

Im **Mesozoikum** wechselten häufig terrestrische und marine Sedimentation, ebenso wurde die Niederrheinische Bucht während des **Tertiärs (Känozoikum)**

wiederholt von Meerestransgressionen unterschiedlicher Ausdehnungen erfasst. Über den paläozoischen Festgesteinen und mesozoischen Vorkommen des tieferen Untergrundes lagern daher beträchtliche tertiärzeitliche Schichten.



Abb. 5: Zahlreiche Flutrinnen prägen das Relief der Aue. Bei höheren Abflüssen zeichnen sich diese Rheinlaufstrukturen deutlich in der Aue ab.

Die gegenwärtige Gestalt der Niederrheinischen Bucht begann sich mit einem Absenkvorgang im späten Miozän vor rd. 10 Mio. Jahren herauszubilden. Die tektonischen Vorgänge führten zum Auseinanderdriften des heutigen Bergischen Landes und der Eifel, die Erdkruste zerbrach entlang NW-SO streichender Verwerfungen in verschiedene Bruchschollen (BRUNOTTE et al. 1994; KLOSTERMANN 1991). Die geologisch-tektonische Groseinheit der Niederrheinischen Bucht greift keilförmig in das Rheinische Schiefergebirge hinein, nach Norden öffnet sich die Bucht trichterförmig. Der im Verlauf des *Quartärs* über die tertiäre Füllung geschüttete Schuttfächer von Maas und Rhein ist flach nach Norden geneigt, seine Korngrößendurchmesser verringern sich stromabwärts zunehmend. Die natürliche Reliefgestaltung des mit tertiären und quartären Sedimenten gefüllten Senkungsraumes vollzog sich in erster Linie durch den früheren und heutigen oberflächlichen Wasserabfluss.

Das Quartär ist in Pleistozän (Eiszeitalter) und Holozän (Nacheiszeit, Postglazial) gegliedert. Das Quartär wird durch eine Wechselfolge von Glazial- und Interglazialzeiten charakterisiert. Während der Kaltzeiten schottern die Fließgewässer den ihnen

durch physikalische Verwitterung (Frostsprengung), Abspülung und Solifluktion zugeführten Schutt vorwiegend auf, da das für den Transport großer Schutt- und Feinmaterialmengen erforderliche Wasser in Form von Eis und Schnee gebunden ist. Bei Schneeschmelzen werden die Schuttmassen von den ausufernden Gewässern aufgenommen, die aufgrund des starken Geschiebetriebes ein verzweigtes Gerinnebettmuster ausbilden. Der Rhein war ein breiter, in unzählige Rinnen zerfasertes und mit zahlreichen Bänken durchsetzter Strom, der einer fortwährenden Veränderung unterlag. Insbesondere im Übergang zu Interglazialzeiten schnitt sich der Rhein infolge veränderter Abflussverhältnisse in die Schotter des letzten Glazials ein und formte so seine in Alter und Höhenlage differierenden Terrassen heraus (vgl. Abb. 7). Primär wird das natürliche Relief der Niederrheinischen Bucht von quartärzeitlichen Terrassenkörpern gekennzeichnet, im nordwestlichen Bereich prägen zudem glaziäre und glazigene Ablagerungen mit Sandern und Stauchmoränen aus den vorstoßenden Inlandeismassen der Saale-Eiszeit das Landschaftsbild. Grundrisse, Höhen und innere Strukturen der Moränenwälle zeichnen die Vorstoßrichtungen und -energien des nordischen Inlandeises nach (THOME 1959, 1961, 1991; KLOSTERMANN 1992). Während anderer Kaltzeiten wurde das nordrhein-westfälische Tiefland nicht vom Eis überprägt, sondern es herrschte ein periglaziales und deshalb vegetationsarmes, trockenes und windreiches Klima. Löß und Flugsande wurden aus den Schottermassen von Rhein und Maas sowie glaziären Ablagerungen während der trockenkalten Perioden ausgeweht. Die äolischen Sedimente lagerten sich auf höher gelegenen Terrassenflächen und Bergländern ab. Im Windschatten der Mittelgebirge finden sich bevorzugt Lößakkumulationen, in den windexponierten Zonen der Niederrheinischen Bucht lagerten sich vor allem Flugsande und Dünen ab (BRUNOTTE et al. 1994; LUA NRW 1999 b).

Mit dem Beginn der Erwärmung im Holozän – der jüngsten und derzeit andauernden Warmzeit – vor ungefähr 11.000 Jahren stellten sich veränderte Abflussbedingungen ein. Der Niederrhein entwickelte sich infolge seines verringerten Laufgefälles durch den Meeresspiegelanstieg, der reduzierten Materialzufuhr sowie geringeren und regelmäßig abfließenden Abflussmenge vom verwilderten Abflusssystem über den Furkationstyp (einem schwach mäandrierenden Hauptstrom mit ihm begleitenden Furkationen) zu einem mäandrierenden Strom. Das nacheiszeitliche Hochflutbett des Rheins wurde geschaffen.

Das **Feinrelief der Rheinaue** wird von Auenterrassen geringer Höhe gebildet, die seit der ausgehenden Weichsel-Kaltzeit entstanden sind. In ihrer Höhenlage unterscheiden sie sich oftmals nur um einige Dezimeter. Im Allgemeinen befinden sich die ältesten Auenterrassen am höchsten und die jüngsten am niedrigsten, verschieden alte Terrassen können jedoch auch auf gleicher Höhe liegen. Jede Terrassengeneration wird an ihrem stromfernen Rand von Senken begleitet (SCHIRMER 1983, 1990, 1995; SCHIRMER et al. 1990; KLOSTERMANN 1992). Ebenfalls sind z.B. Uferwallablagerungen am Gleit- sowie Prallhang, Flutrinnen (Abb. 5), Altwasser (Abb. 6) und Dünen in der Aue vorhanden.



Abb. 6: Zahlreiche Altrheinläufe durchziehen die Niederrheinaue.

Geomorphologisch gliedert sich die Niederrheinlandschaft in mehrere annähernd rheinparallele **Formenkomplexe** (s. Abb. 7). An die Rheinaue schließen sich links- und rechtsrheinisch Niederterrassen an, die z.T. von kleineren Gewässern überformt werden. Auf der östlichen Rheinseite finden sich bis auf Höhe der Emschermündung Mittelterrassen und angrenzend stark zerteilte Hauptterrassenreste. Nördlich der Emscher herrschen Hauptterrassenflächen in weiten Gebieten an der Oberfläche vor. Der Westen der Niederrheinischen Bucht wird neben Sandern und Stauchmoränen von einem langgezogenen Mittelterrassenareal geprägt, das sich von Süden bis zum Wembschen Hees bei Kevelaer zieht. Die Rhein-Maas-Hauptterrassen bilden im Anschluss an die Mittelterrassen ein großes, spitzwinkeliges Dreieck, das sich von der Spitze beim Wembschen Hees über den Viersener Höhenzug bis zum Eifelrand erstreckt. Die weitflächigen und überwiegend eben wirkenden Terrassenlandschaften am Niederrhein sind i.d.R. durch bis zu mehrere Meter hohe Geländestufen voneinander getrennt. Wegen den tektonischen Bewegun-

gen in der Niederrheinischen Bucht können sich auch zeitgleich gebildete Terrassen in ihrer Mächtigkeit sowie Höhenlage unterscheiden, Terrassenflächen ungleichen Alters zusammenlaufen oder konvergieren, so dass ältere in begrabener Lagerung statt höherer Position innerhalb der Terrassentreppe vorliegen. Regional reliefieren horst- sowie grabenartige Bruchschollen, durch Geländestufen sichtbare Verwerfungslinien und glazial überformte Bereiche – die ein flachwelliges bzw. im Bereich von Moränenwällen hügeliges Relief aufweisen – die Landschaft am Niederrhein.

Heute wird die Landschaft am Niederrhein stark vom Menschen geprägt. Ein besonderes Charakteristikum der Gegenwart stellt u.a. das lokal durch die Rheinsohlenerosion freigeräumte Tertiär dar (vgl. Kap. 1.1, 3.2.1, 3.2.3, 4.1, IHBEN 2003).

## 2.3 Hydrologische Verhältnisse

Das gesamte Einzugsgebiet des Rheins und auch die Rheinaue selbst sind im hpnG bedeutend wasseraufnahmefähiger als heutzutage, da keine anthropogenen Beeinflussungen wie z.B. Flächenversiegelungen und Laufbegradigungen existieren, die zur Abflussverschärfung bei Hochwasser führen.

Im Leitbildzustand treten Rheinhochwasser i.d.R. mit geringeren Abflussspitzen auf. Aufgrund der erhöhten Rauheit von Aue und Gewässer ufern Hochwasser häufiger und weiter aus und überfluten das Gelände flacher und länger als bei heutigen Hochwassern.

Es sind im hpnG auch singuläre Extremereignisse wie Eisstau möglich, die dramatische Laufveränderungen bedingen können. Bei extremen Hochwassern können Hochflutrinnen in Niederterrassen und Niederterrassenbereiche wiederholt überschwemmt werden.

Das **Klima** des Rheineinzugsgebietes ist bis nach Süddeutschland maritim beeinflusst, im Sommer wie im Winter sind auch trocken-warme bzw. trocken-kalte Einflüsse kontinentaler Hochdruckwetterlagen feststellbar. Die Niederrheinische Bucht liegt im Bereich des gemäßigt humiden Klimas, charakteristisch sind ausgeglichene Temperaturverhältnisse. Die Sommer sind kühl, die Winter mild. Der mittlere Jahresniederschlag der Niederrheinischen Bucht variiert aufgrund der überwiegend advektiven Niederschläge und reliefbedingter Staueffekte räumlich stark. Im jährlichen Durchschnitt liegen die Niederschläge zwischen 600 und 750 mm.



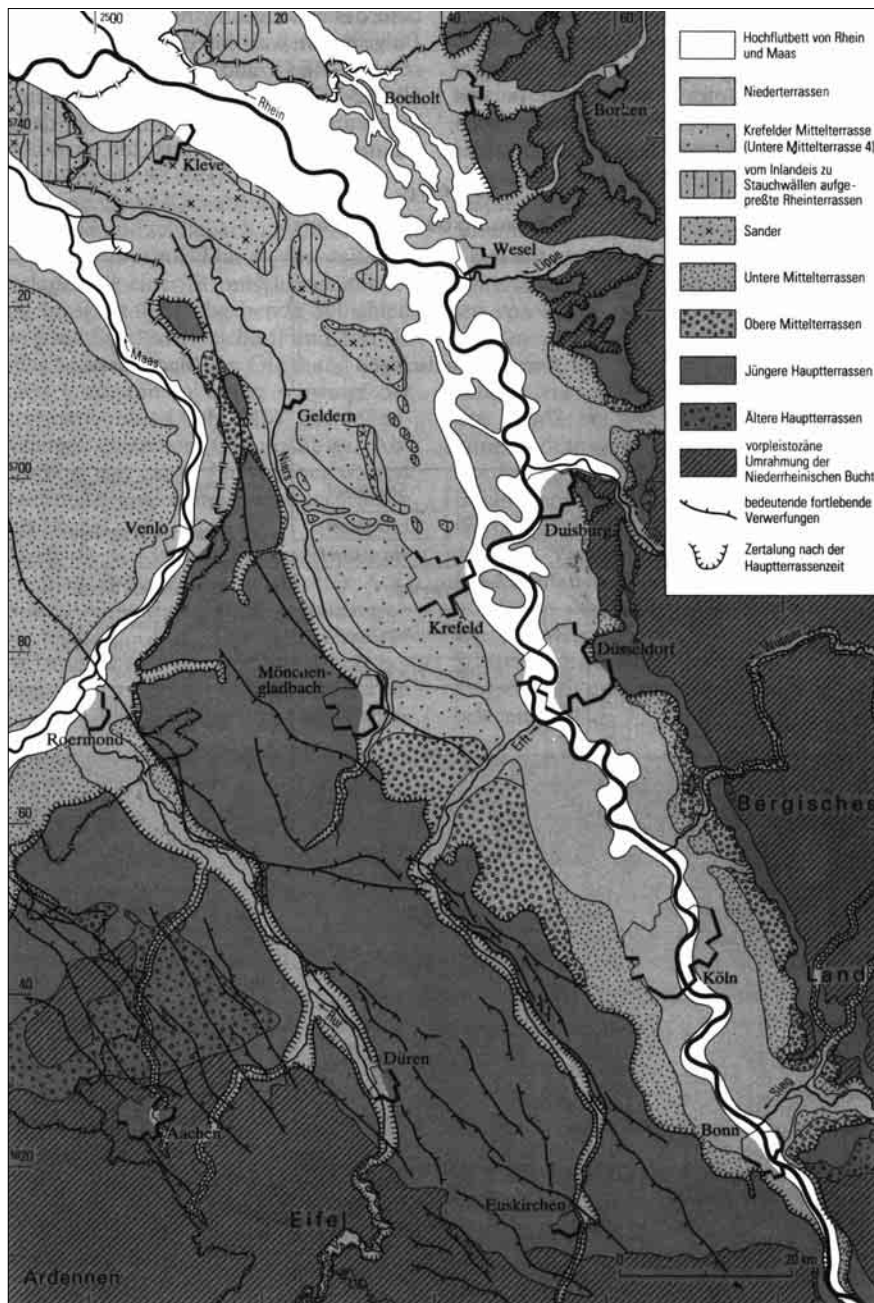


Abb. 7: Terrassengliederung in der Niederrheinische Bucht.

Der Niederschlag ist die wichtigste hydrologische Eingangsgröße, er bestimmt maßgeblich die Abflusscharakteristika der Rhein Nebenflüsse. Für den mittleren Jahresgang des Abflusses sind jahreszeitliche Verteilung, Höhe und Häufigkeit des Niederschlags, Verdunstung sowie die Teileinzugsbereiche, die entsprechend ihrer naturräumlichen Ausstattung (Höhenlagen, Relief, Gesteinsuntergrund) unterschiedlich auf Niederschläge reagieren, relevant. Intensität und Dauer, Form und flächenhafte Verteilung der Niederschläge machen sich vor allem in Extremfällen bemerkbar (DLR et al. 1999; BRUNOTTE 1995; MURL NRW & WSD WEST 1992).

Der Rheinstrom insgesamt besitzt ein komplexes **Abflussregime**, das sich aus den mittleren jährlichen Abflussgängen seiner Nebenflüsse zusammensetzt. Im Rhein-Aare-Gebiet mit der höchsten Abflussspende dominieren glaziale, nivale und nivo-pluviale Abflussregime. Im Teileinzugsgebiet Rhein-Neckar-Main sowie Rhein-Lahn-Mosel überwiegen pluviale, nur in höheren Mittelgebirgen sind auch pluvio-nivale Abflussregime kennzeichnend. Die Fließgewässer der beiden unteren Teilgebiete sind pluvial geprägt, an der Küste treten gezeitenbedingt auch Speicherregime auf. Überwiegend beeinflussen pluviale Regimeeinflüsse die Fließgewässer im Rheineinzugsgebiet.

Die mittleren jährlichen Abflussspenden der Teileinzugsgebiete divergieren stark (BRUNOTTE et al. 1994; BRUNOTTE 1997). Es zeigt sich im Verlauf des Rheins eine deutliche Verschiebung der mittleren Hochwasserabflussverhältnisse (MHQ) (s. Abb. 8): Am Hochrhein und südlichen Oberrhein treten die größeren Abflüsse im Sommer auf, am nördlichen Oberrhein beginnt sich das Verhältnis umzukehren (HSG NRW 2002), bis schließlich am Niederrhein ein Abflusscharakter mit niedrigen sommerlichen und hohen winterlichen Beträgen (Dezember bis Februar) vorherrscht.

Sommerhochwasser sind am Niederrhein sehr selten. Durchschnittlich stammt fast die Hälfte des Abflussvolumens im Niederrhein aus dem Alpengebiet. Über 70 % beträgt der Anteil im Sommer, im Winter liegt er dagegen unter 30 %, da die Niederschläge zu dieser Jahreszeit in Form von Schnee und Eis gebunden sind. Im Herbst ist die abflussärmste Periode des Niederrheins zu verzeichnen, das Maximum fällt in den Februar (KHR 1993) (s. Abb. 9).

Die pluvialen, nivalen und glazialen Regimeeinflüsse wirken durch Überlagerung und Verschneidung aus-

gleichend auf das allgemeine Abflussregime des Rheins. Der Strom profitiert hydrologisch von der Komplexität seines Einzugsgebietes, da alpinen Schmelzwässern im Sommer hohe Abflüsse aus den niederschlagsreichen Mittelgebirgen im Winter und Frühjahr gegenüberstehen. Zudem wirkt der Bodensee ausgleichend auf den Abflussgang des Rheins (Seeretention), ebenso kompensieren die zahlreichen Seen im Einzugsgebiet der Aare nach den Juragewässerkorrekturen als Retentionsbecken (Alpenspeicher) den Abfluss des Rheins. Im langjährigen Mittel resultiert daher eine ausgeglichene Wasserführung.

Die ausgeglichene Wasserführung wird durch das Verhältnis vom niedrigsten (NQ) zum mittleren (MQ) zum höchsten Abfluss (HQ) verdeutlicht. Beispielsweise ist am Pegel Rees für die Jahresreihe 1951 bis 1970 ein Verhältnis von NQ : MQ : HQ = 1 : 3,2 : 13,3 beobachtet worden. Im Vergleich dazu ergab sich an der Ruhr am Pegel Wetter ein Verhältnis von NQ : MQ : HQ = 1 : 19 : 350 für die gleichen Jahre. Wechsel der Wasserführung sind am Rhein – vor allem gegenüber seinen Zuflüssen – gering ausgeprägt (AG RHEIN-SOHLENEROSION 1997; KHR 1978).

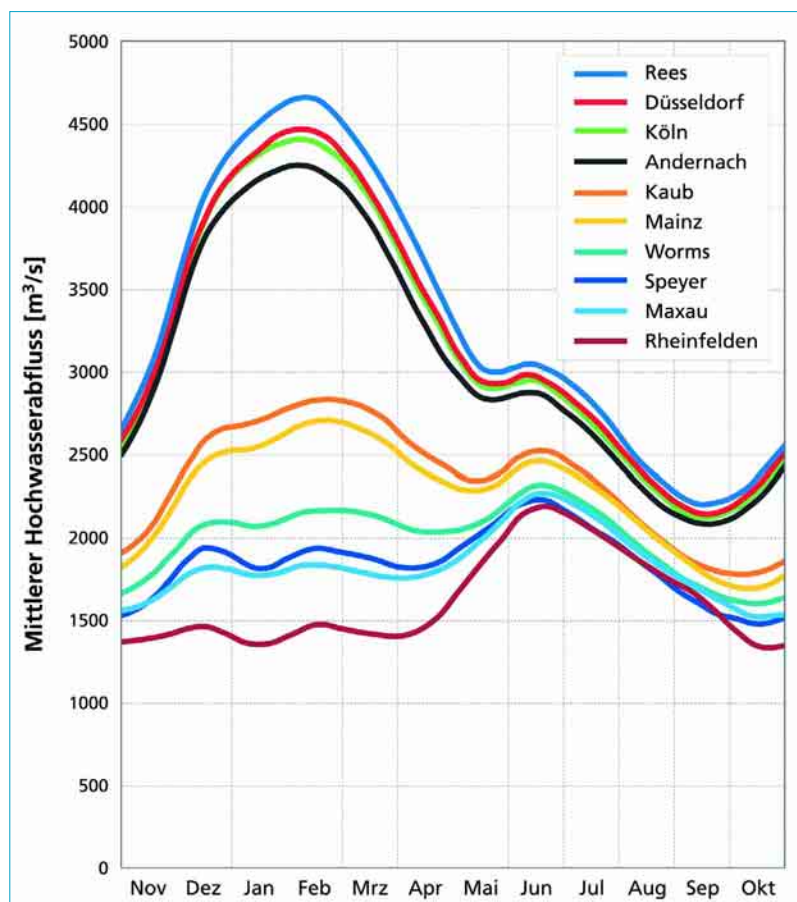


Abb. 8: Vieljährige mittlere Hochwasserabflüsse (MHQ) verschiedener Rheinpegel, Jahresreihe 1930 – 1996.

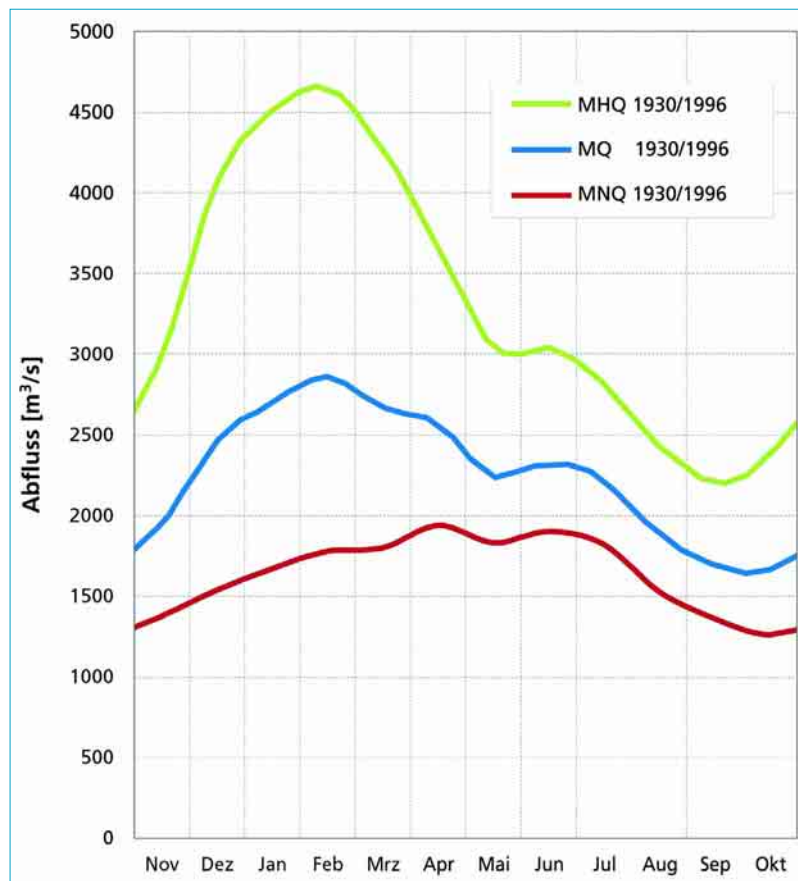


Abb. 9: Mittlerer Niedrigwasserabfluss (MNQ), Mittelwasserabfluss (MQ) und mittlerer Hochwasserabfluss (MHQ) des Pegels Rees am Rhein, Jahresreihe 1930 – 1996.

Anthropogene Eingriffe wie Wasserkraftwerke am Alpen- und Hochrhein, Staustufenbau, Laufbefestigungen und -begradigungen, Flächenversiegelungen usw. haben jedoch zu erheblich beschleunigten Abflüssen am Rhein geführt. Der mittlere **Abfluss** des Rheins beträgt an der deutsch-niederländischen Grenze 2.200 m³/s. Seit den 50er Jahren ist eine ansteigende Tendenz der mittleren Abflüsse (MNQ, MQ, MHQ) am Niederrhein festzustellen (ENGEL et al. 1988).

Die Niederrheinische Bucht ist eine besonders grundwasserreiche Teillandschaft des Rheingebietes. Aufgrund der wechselnden Meeres- und Kontinentalablagerungen und Klimaschwankungen (s. Kap. 2.2) ist eine typische Abfolge von wasserdurchlässigen und wasserstauenden Schichten entstanden, die mehrere **Grundwasserstockwerke** übereinander ausbilden.

Die fluviatilen Lockersedimente der Terrassen enthalten bedeutende Grundwassermengen. Hauptvorfluter ist der Rhein. Zwischen ihm und dem obersten Grundwasserstockwerk bestehen hydraulische Verbindungen, die in ständiger Wechselbeziehung stehen. Bei Hochwasser kann es zu einem Übertritt von Rhein-

in das Grundwasser kommen, das durch Zurückdrängen in Geländemulden zutage tritt (Qualmwasser).

Am Niederrhein sind sehr ergiebige, teilweise übereinander liegende Porengrundwasserleiter im Bereich der holozänen Aue und Niederterrassen verbreitet. Bei den Inlandeisablagerungen, Mittel- und Hauptterrassen finden sich dagegen Porengrundwasserleiter mit mäßig bis gering ergiebigen Grundwasservorkommen (GLA NRW 1988, 1999). Das Stauchmoränengebiet besitzt kleinräumig Grundwasserlinsen in der Stauchzone und Überlaufquellen an Schichtgrenzen. Für die Ausbildung kleinerer, lokaler Grundwasserfließsysteme ist das Feinrelief der Rheinaue von Bedeutung. Uferwälle und Dünen speisen solche flachen Grundwasserfließsysteme, die auf dem großräumigen Grundwassersystem des Rheintals aufgesetzt sind (WERNEKE et al. 2000). Im Ruhrgebiet sind die Grundwasserverhältnisse infolge des Steinkohlen- und Steinsalzbergbaus nachhaltig verändert, desgleichen im Städtedreieck Köln, Mönchengladbach und Aachen durch Braunkohlenabbau.

## 3 Morphologisches Leitbild Niederrhein

### 3.1 Typologische Zuordnung

Durch die enge Anlehnung an die bisherige typologische Bearbeitung und gezielte Fortführung dieser Arbeiten lässt sich der Niederrhein in den existierenden Kontext der Fließgewässertypologie Nordrhein-Westfalens einordnen: der gesamte Rhein in Nordrhein-Westfalen ist dem Fließgewässertyp **Kiesgeprägter Strom des Tieflandes** zuzuordnen und erstreckt sich in der Fließgewässerlandschaft „Niederungsgebiet des nordrhein-westfälischen Tieflandes“.

Als Fließgewässertyp werden in relativ homogene Gruppen zusammengefasste Gewässer bzw. Laufabschnitte bezeichnet, die eine typologisch gleichartige Ausbildung besitzen. Eine Typologie stellt ein Grundgerüst zur Ordnung und Gliederung der Erscheinungsvielfalt natürlicher und naturnaher Fließgewässer dar. Wesentliche gewässermorphologische, -hydrologische und -ökologische Grundlagendaten werden zusammengetragen und generalisiert dargestellt. Da es sich bei einem Typus um einen idealisierten Zustand handelt, der in der Natur in individueller Ausprägung auftreten kann, stellt die Ausweisung von Fließgewässertypen allgemein die Vereinfachung und Schematisierung der bestehenden Verhältnisse dar.

Die Namensgebung des Fließgewässertyps spiegelt zum einen die Großlandschaft im Namen wider und ermöglicht damit die Zuordnung in den naturräumlichen Kontext. Zum anderen sind für die Namensgebung die beiden Gliederungsebenen Sohlsubstrate sowie Hydrologie als typologisch relevante, übergeordnete Gliederungskriterien ausgewiesen worden.

Mit der ersten Gliederungsebene wird das prägende Sohlsubstrat erfasst. Es wird von dem vorherrschenden Größtkorn charakterisiert, d.h. von der größten Korngrößenklasse, die mehr als 15 % der gesamten Korngrößenzusammensetzung der Gewässersohle ausmacht. Es vermittelt eine Vorstellung von den hydraulischen Bedingungen im Gerinnebett sowie der zu erwartenden Dynamik. Zudem ist das Gerinnebettmaterial für die Ausformung morphologischer Charakteristika sowie die Ausprägung der Biozönose maßgebend.

Neben den natürlich vorkommenden Substrattypen eines Gerinnebettes ist die Hydrologie als zweite Gliederungsebene zu nennen. Der hydrologische Typ kennzeichnet das übergeordnete Abflussverhalten. Er wirkt in vielfältiger Weise modifizierend auf den

Lebensraum Fließgewässer und prägt daher die abiotischen Parameter und Lebensgemeinschaften grundlegend (LUA NRW 2000; 2001 d). Der Niederrhein ist als permanenter, wasserreicher Strom mit ausgeglichener Wasserführung zu bezeichnen, den jedoch auch ausgeprägte Extremabflüsse kennzeichnen (vgl. Kap. 2.3).

### 3.2 Morphologische Stromabschnittstypen des kiesgeprägten Tieflandstromes Niederrhein

Der Niederrhein fließt in einem flachen Sohltal, das einen längszonalen Wechsel von fünf differierenden Talbodenformen aufweist. Einhergehend mit diesen unterschiedlichen Talbodenformen lassen sich fünf verschiedene morphologisch begründete **Stromabschnittstypen** ausweisen, die im Längsverlauf wechselnden Leitbildzuständen des Stromes und seiner Aue entsprechen:

#### **Stromabschnittstyp I:**

Vorherrschend unverzweigter, gestreckter, kiesgeprägter Strom des Tieflandes (Rolandseck bis Bonn / Rheinkilometer 640 bis 654)\*

#### **Stromabschnittstyp II:**

Vorherrschend unverzweigter, schwach gewundener, kiesgeprägter Strom des Tieflandes (Bonn bis Leverkusen / Rheinkilometer 654 bis 701,5)\*

#### **Stromabschnittstyp III:**

Überwiegend unverzweigter, teilweise mit einzelnen Nebengerinnen, mäandrierender, kiesgeprägter Strom des Tieflandes (Leverkusen bis Duisburg / Rheinkilometer 701,5 bis 775)\*

#### **Stromabschnittstyp IV:**

Teilweise verzweigter, nebengerinnereicher, mäandrierender, kiesgeprägter Strom des Tieflandes mit bergbaulich bedingter Seenlandschaft (Duisburg bis Wesel / Rheinkilometer 775 bis 813)\*

#### **Stromabschnittstyp V:**

Häufig verzweigter, nebengerinnereicher, mäandrierender, kiesgeprägter Strom des Tieflandes (Wesel bis Kleve-Bimmen / Rheinkilometer 813 bis 865,5)\*

\* Städtenamen wie auch aktuelle Rheinkilometrierungen dienen lediglich der Orientierung, sie sind im Leitbild nicht von Belang.

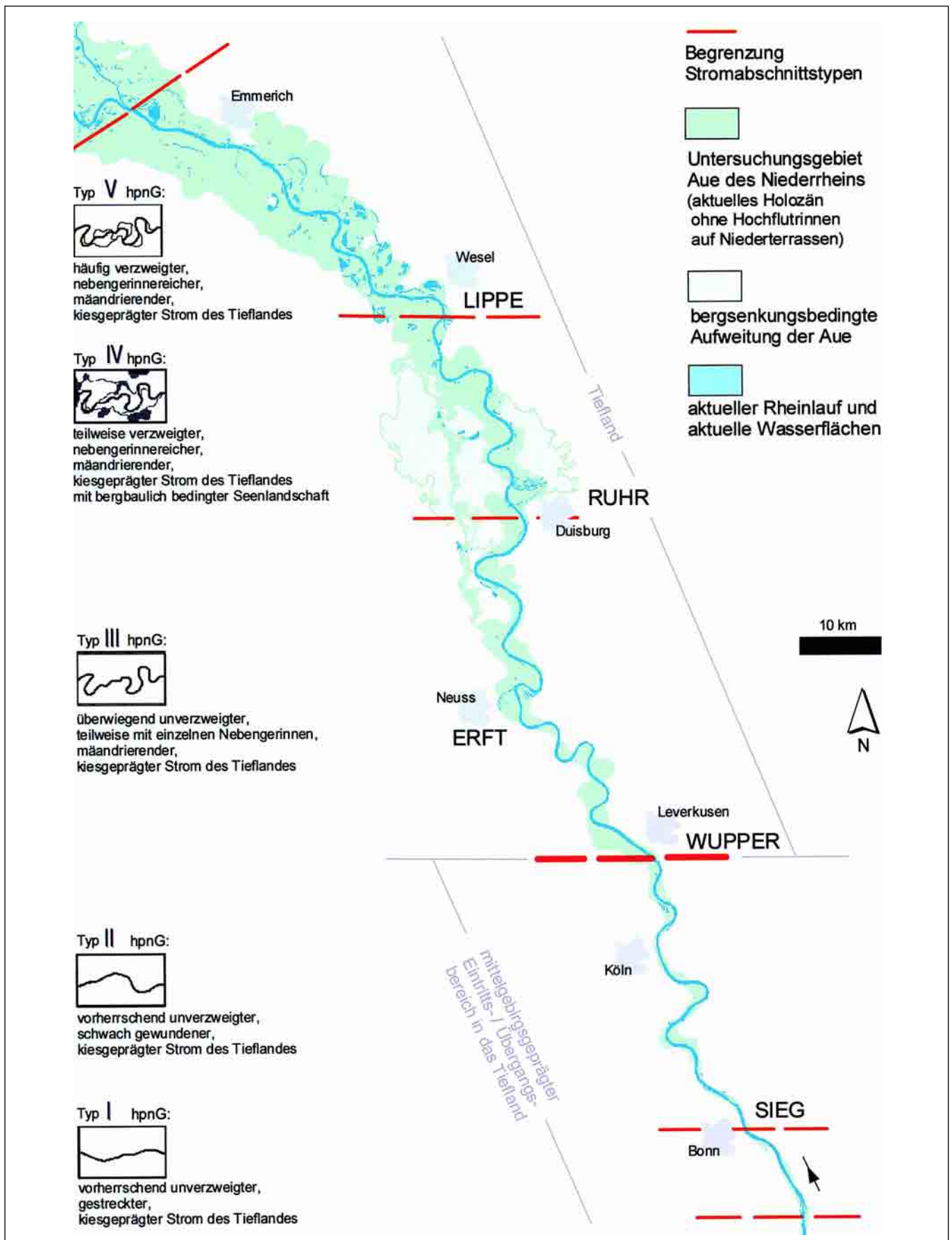


Abb. 10: Morphologische Stromabschnittstypen des Kiesgeprägten Tieflandstromes Niederrhein – Lage und Erstreckung.

Abschnittstypen sind primär Ausdruck der vorhandenen Talbodenform sowie der Gefällesituation. Zusätzliche Abgrenzungskriterien bestehen durch gewässermorphologische Parameter, die anhand ähnlicher bzw. verschiedenartiger Ausprägungen verdeutlichen, weshalb die homogenen Lauf- und Auenabschnitte voneinander abzugrenzen sind (s. Kap. 3.2.4 Tab. 2).

Die Namen der Stromabschnittstypen sind Erweiterungen des Fließgewässertyps um die Ausprägungen von Lauftyp und Windungsgrad. Der **Lauftyp** gibt an, ob es sich um ein Ein- oder Mehrbettgerinne handelt. Der **Windungsgrad** gibt das Verhältnis der Gewässerlauflänge zur Tallänge (Talbodenmittenlinie) des betrachteten Abschnittes wieder (Tab. 1). Beide Parameter werden vor die Bezeichnung des Fließgewässertyps gestellt (LUA NRW 2000; 2001 d). Der erste Stromabschnittstyp ist z.B. als „Vorherrschend unverzweigter, gestreckter, kiesgeprägter Strom des Tieflandes“ zu benennen (Lauftyp, Windungsgrad, Fließgewässertyp). Die vorangestellten Charakterisierungen „vorherrschend“, „überwiegend“, „teilweise“ und „häufig“ sind speziell für den nordrhein-westfälischen Strom hinzugefügt worden. Sie sollen den hauptsächlich vorkommenden Lauftyp verdeutlichen und stellen Erweiterungen der Namensgebung der morphologisch-hydrologischen Typologien mittelgroßer, bis großen Fließgewässer dar. Das Gleiche gilt für den dritten wie vierten Stromabschnittstypen, in dessen Namensgebung das Auftreten einzelner Neben-

gerinne und der bergbaulich bedingten Seenlandschaft niederrhein-spezifisch festgehalten werden.

Tab. 1: Windungsgradklassen.

Windungsgradklassen	
1,01 – 1,05	gestreckt
1,06 – 1,25	schwach gewunden
1,26 – 1,5	gewunden
1,51 – 2,0	mäandrierend
> 2,0	stark mäandrierend

Abb. 10 zeigt neben der Aue die morphologischen Stromabschnittstypen des Niederrheins mit Hilfe von Piktogrammen, die den jeweilig vorherrschenden Lauftyp sowie Windungsgrad des entsprechenden Abschnittes visualisieren und verbalisieren. Die Piktogramme korrespondieren mit den Symbolen der Typologie der mittelgroßen bis großen Fließgewässer in NRW (Abb. 11). Für den vierten Stromabschnittstyp wurde das Piktogramm wegen der Sondersituation der bergbaulich induzierten Aufweitung wie Ausprägung des Untersuchungsraumes neu entworfen. Für den fünften Stromabschnittstyp wurde das Piktogramm stark mäandrierend und nebengerinnereich ergänzt (s. Tab. 2). In dem Fließgewässertypenatlas Nordrhein-Westfalens (LUA NRW 2003 a) ist der Rhein kartographisch sowohl durch das substratspezifische Farbband für den kiesgeprägten Tieflandstrom als auch mit den

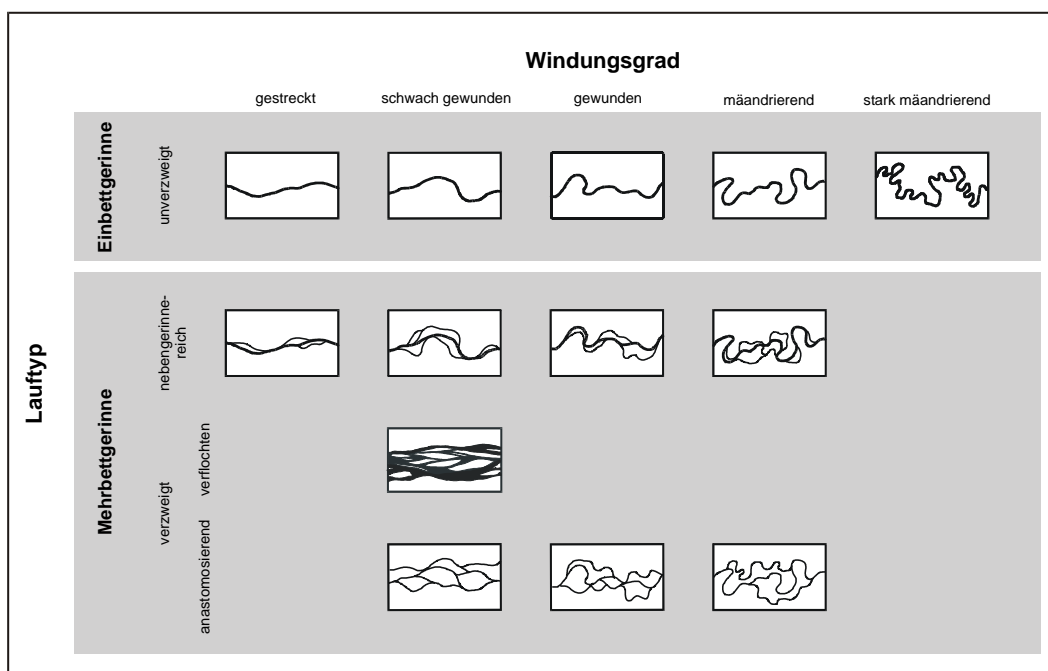


Abb. 11: Parameter der Abschnittstypen - Lauftyp und Windungsgrad.

Piktogrammen der Stromabschnittstypen in der analogen Kartenversion sowie in digitaler Version (CD-ROM) abgebildet (LUA NRW 2003 a). Abb. 17 bis 21 verdeutlichen den hpnG der einzelnen Stromabschnittstypen jeweils anhand der Laufform und dem Gewässer- bzw. Auenquerprofil.

Die folgenden textlichen Erläuterungen beinhalten die gesamte Bandbreite der möglichen heutigen potenziell natürlichen Eigenschaften des Niederrheins. Die beschriebenen Charakteristika der im Stromlängsverlauf wechselnden Leitbildzustände überschneiden sich teilweise in den angegebenen Spannweiten der morphologischen Parameter. Diese fließenden Übergänge und daher teilweisen Wiederholungen unterstreichen den langsamen, kontinuierlichen und nicht sprunghaft ausgebildeten Wechsel zwischen den einzelnen Stromabschnittstypen. Die Beschreibungen veranschaulichen in Kombination mit den spezifischen Illustrationen (Abb. 17 – 21) den heutigen potenziell natürlichen Gewässerzustand der verschiedenen Stromabschnittstypen. In ihrer Gesamtheit ergeben sie das morphologische Leitbild Niederrhein.

Kapitel 3.3 beschäftigt sich mit der heutigen potenziell natürlichen Vegetation des Niederrheins. Im beschriebenen hpnG sind die Vegetationseinheiten ebenso wie die fluvialen Formen potenziell zu erwarten, ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

### 3.2.1 Gewässermorphologische Parameter

Mittels an die Gewässerstrukturgütekartierung angelehnten gewässermorphologischen Parametern werden in Tab. 2 die charakteristischen Eigenschaften der Stromabschnittstypen präzisiert (bezüglich der methodischen Vorgehensweise zur Herleitung der Parameter sowie den jeweiligen Quellen siehe IHBEN 2002. Definitionen gewässermorphologischer Begriffe finden sich u.a. in LUA NRW 1998, 2001 a u. d, BRUNOTTE et al. 2001, IHBEN 2003). Im Folgenden wird jedoch zunächst auf die **am gesamten Niederrhein vorherrschende Ausprägung der gewässermorphologischen Parameter** eingegangen:

Die **Talform** definiert den Raum, der von einem Gewässer zur Laufentwicklung genutzt werden kann. Dieser Raum entspricht dem Untersuchungsgebiet für die Entwicklung des morphologischen Leitbildes. Der Niederrhein hat ein sich nach Norden zunehmend aufweitendes Sohlental herausgeformt, das einen längszonalen Wechsel von fünf differierenden *Talbodenformen* erkennen lässt. Die Breite der für Laufver-

lagerungen zur Verfügung stehenden Talbodenform ist von großer Bedeutung, da das Verhältnis der Gerinnebettbreite zur Talbodenbreite für die Entwicklungsfähigkeit eines Fließgewässers entscheidend ist (LUA NRW 2001 d). Die Ausweisung der fünf Stromabschnittstypen geht mit jeweils unterschiedlich ausgeprägten *Talbodencharakteristiken* sowie *Talbodengefällewerten* einher. Das Talbodengefälle schwankt nicht nur zwischen den einzelnen Stromabschnittstypen, sondern auch kleinräumig z.T. erheblich.

Entlang des Niederrheins variiert die **Laufform** von einem gestreckten Lauf im Süden der Niederrheinischen Bucht über schwach gewunden, gewunden und mäandrierend bis stark mäandrierend im nördlichsten Stromabschnitt. Neben der stromabwärts zunehmenden *Laufentwicklung*, d.h. dem sich kontinuierlich erhöhenden *Windungsgrad*, ist auch der *Laufstyp* der einzelnen Abschnitte von „vorherrschend unverzweigt“ entlang der ersten beiden Stromabschnittstypen bis zur Wuppermündung über „überwiegend unverzweigt, teilweise mit einzelnen Nebengerinnen“, „teilweise verzweigt, nebengerinnereich, mit bergbaulich bedingter Seenlandschaft“ bis „häufig verzweigt, nebengerinnereich“ sehr unterschiedlich ausgeprägt. *Laterale Erosion* und ein talabwärts gerichtetes *Verlagerungsverhalten* des Stromstrichs herrschen vor. Die Wandergeschwindigkeit der Rheinlaufbögen nimmt nach Norden mit zunehmender Auenbreite, zurücktretenden Niederterrassenrändern und geringeren Korngrößen zu. Bei extremen Hochwasserereignissen sind außerordentlich hohe Verlagerungsgeschwindigkeiten möglich, die bis zum Durchbruch von einem oder mehreren Mäanderbögen bei einem einzigen Hochwasserereignis führen können (Abb. 12).



Abb. 12: Mäanderdurchbrüche lassen Altwasser entstehen, die zunächst an der stromaufwärts gelegenen Einmündung einer ehemaligen Laufschnge verlanden.

In einer solchen Situation kann sich statt eines gewundenen, mäandrierenden oder stark mäandrierenden Laufes ein gestreckter bis schwach gewundener Stromlauf vom Furkationstyp ausbilden, der erst allmählich im Laufe der Zeit wieder sein gewässerabschnittstypisches Erscheinungsbild ausformt. Ebenso sind bei Extremereignissen unregelmäßige Verlagerungen möglich, d.h. Ausbrüche des Hauptlaufes. Als *Besondere Laufstrukturen* sind am gesamten Niederrhein erhebliche Gerinnebettbreitenschwankungen (Laufweitungen und -verengungen), Totholzvorkommen, Auengewässer (Abb. 13) und häufige Laufspaltungen typisch. Nebengewässer weisen i.d.R. stromabwärts verschleppte Einmündungen auf.



Abb. 13: Auengewässer sind typische besondere Laufstrukturen des heutigen potenziell natürlichen Gewässerzustandes.

Das **Längsprofil** des Rheins vom Austritt aus dem Rheinischen Schiefergebirge bis zur Stromspaltung in Waal und Nederrijn besitzt ein stark variierendes *Sohlgefälle*. Die *Sohlgefällestruktur* ist vor allem mit *Querbänken* vielgestaltig ausgeformt. Bei natürlichen Querbänken handelt es sich um lokale Akkumulationen von groben Korngrößen der Gewässersohle. Zumeist erstrecken sie sich senkrecht oder diagonal zur Fließrichtung über die gesamte Gewässersbreite. Querbänke (riffle-Strukturen) sind bei Mittelwasser vorwiegend überströmt. Am Niederrhein finden sich diese morphologischen Formen in Form von Furten, die den gesamten Strom von Ufer zu Ufer als langgezogene Kiesbänke, -rippen, -schwelen oder auch -rücken durchsetzen. Furten zeigen sich durch Wasserspiegelraunungen („Schnelle“) oder Aufweitungen der Wasserspiegelbreiten, die Wassertiefe über ihnen ist erheblich verringert (LUA NRW 2001 a). Stromabwärts der Querbänke findet häufig örtlich Tiefenerosion der Gewässersohle statt. Im Strombett

oder am Gewässersohlenrand sind z.T. auch Tiefenrinnen vorhanden, die ebenfalls diagonal verlaufen können. Der Tendenzwechsel zwischen Akkumulation und Erosion entsteht natürlicherweise in relativ regelmäßiger räumlicher Abfolge. Laufstrecken mit geringerem Gefälle im Bereich von Querbänken folgt daher im Allgemeinen unmittelbar stromabwärts eine Laufstrecke mit stärkerem Gefälle (Versteilungstrecken). Folge dieser charakteristischen Ablagerungs- und Eintiefungssequenzen sind stark differierende Fließverhältnisse, die u.a. verschiedene *Strömungscharakteristiken* bzw. *Strömungsbilder* bedingen. Die *Strömungsdiversität / Tiefenvarianz* gibt die räumliche Differenziertheit der Strömung sowie Häufigkeit und Ausmaß des räumlichen Wechsels der Wassertiefe wieder. Strömung und Tiefenunterschiede der Gewässersohle sind am gesamten Niederrhein „mäßig“ bis „sehr hoch“ ausgeprägt. Bei allen fünf morphologischen Stromabschnittstypen herrscht ein vielfältiges Strömungsmosaik vor, so dass sämtliche Kombinationen aus den Strömungsklassen (langsam, d.h.  $< 0,3$  m/s oder schnell, d.h.  $> 0,3$  m/s) und Tiefenklassen (flach, d.h.  $< 0,5$  m oder tief, d.h.  $> 0,5$  m) mehrfach vorhanden sind. Im hpnG ist die Schleppkraft im Vergleich zum aktuellen Zustand wesentlich geringer. Daher setzen sich sowohl der Feststofftransport als auch Substrate der Gewässersohle aus erheblich mehr feineren und weniger größeren Komponenten zusammen.

Der Strom fließt vornehmlich in seinen eigenen Aufschüttungen. Insgesamt reicht das Korngrößenspektrum der **Sohlenstruktur** von der Ton- bis zur Stein-/Schotterfraktion, vorherrschend ist gut gerundeter Kies. Der mittlere Korngrößendurchmesser der Stromsohle nimmt von ober- nach unterstrom ab. Am südlichen Niederrhein herrscht grobkörniges und ungleichförmiges Sohlenmaterial vor, stromabwärts wird es zunehmend feinkörniger. Einhergehend mit den abnehmenden Korngrößen verringert sich auch die Sohlenstabilität in Fließrichtung. Das heterogene *Sohlsubstrat* bedingt lokal sowohl mobile wie auch stabile Sohlenbereiche. Beispielsweise sind Feinsande extrem erosionsanfällig, wohingegen kiesig-steinige Sedimente erosionswiderstandsfähig sind und bei geeigneter Kornzusammensetzung zur Abpflasterung tendieren; örtlich ist am Niederrhein eine solche Selbststabilisierung durch Sohlenpflasterung bzw. -panzerung möglich. Höhere Abflüsse können diese Vergrößerung der Gewässersohle aufreißen und das Material wieder mobilisieren. Umlagerung, d.h. Geschiebetransport in Wechselwirkung mit der Sohle,



kann in mobilen Bereichen bis in mehrere Meter Tiefe unter dem mittleren Sohlenniveau stattfinden. Dieser Prozess ist infolge Auskolkung und anschließender Wiederverfüllung zu erklären (AG RHEINSOHLENEROSION 1997). Häufig sind isolierte große Blöcke von Tertiärquarziten und -sandsteinen in der Niederrheinischen Bucht zu finden. Vor allem in Bereichen, in denen der tertiäre Untergrund oberflächennah ansteht, können sie Bestandteil der Sohle sein. Sie liegen aber auch innerhalb der Terrassenschotter oder in unmittelbarer Stromnähe (Driftblöcke), so dass sie bei Stromstrichverlagerungen sohlsubstratbildend werden können. Die Blöcke sind in der Tertiär-Zeit durch Infiltration von Kieselsäure in lockere Sande unter subtropischen Klimabedingungen entstanden (GLA NRW 1988). Die Quarzit- und Sandsteinblöcke können vor allem im dritten, vierten und fünften Stromabschnitt öfter auftreten. Zudem stehen tertiäre Sedimente besonders oberflächen- bzw. sohlennah an. Es handelt sich überwiegend um glaukonitführende Feinsande mit einem variablen Gehalt an Ton und Schluff, die extrem erosionsanfällig sind. Anschneidungen von Halden oder künstlichen Verfüllungen in der Aue (u.a. Schlacke) durch den Strom bedingen auch anthropogenes Geschiebe im Gewässerbett und der Aue. Ebenso kann es zu teilorganischen Ausprägungen durch Niedermoore kommen. Der Niederrhein weist eine „geringe“ bis „mäßige“ *Substratdiversität* auf. Insgesamt ist die *Substratverteilung* des größtenteils kiesigen Strombettes von einem relativ häufigen Wechsel der Substrattypen geprägt. Totholz- und Treibselansammlungen finden sich in großer Anzahl bei allen Stromabschnittstypen im Uferbereich, lokal treten Festgesteinsbänke (Tertiärquarzite und -sandsteine, Tonsteine), Steine, Schotter, Sand (z.T. tertiäre Feinsande), Schluff, Ton, anthropogenes Geschiebe und organische Substrate auf. Bank- und Inselstrukturen besitzen im stromaufwärtigen Bereich größere Korndurchmesser als im stromabwärtigen. Zu den *Besonderen Sohlenstrukturen* zählen entlang des gesamten Stromlaufes Kolke, Tiefenrinnen, Anlandungen im Hauptarm sowie Laufspaltungen. Hinter Sohlenstrukturen können sich in großer Ausdehnung langgezogene, hohe Kiesakkumulationen befinden. Unterhalb von Nebengewässermündungen erfährt die Stromsohle lokal Aufhöhungen durch Geschiebe- und Schwebstoffeintrag aus den Teileinzugsgebieten.

Als **Querprofil** herrscht am Niederrhein im hpnG grundsätzlich wie in allen naturnahen Flüssen ein sehr flaches und sehr breites Naturprofil vor. Die *Breitenvarianz*, bei der die bordvolle Breite des

Strombettes einschließlich sämtlicher Inseln und Bänke maßgebend ist und die das Verhältnis der kleinsten zur größten Gerinnebreite beschreibt, schwankt ungefähr zwischen Werten von 1 : 3 bis 1 : 23. Am gesamten Strom liegt die *Einschnittstiefe* bei ca. 1 bis 3 m. Mit diesem Parameter wird die Lage des Mittel- bzw. Niedrigwasserspiegels unter Gelände ausgedrückt. Bei der *Profiltiefe* handelt es sich um die Höhendifferenz zwischen der Gewässersohle und der Böschungsoberkante. Sie schwankt bei dem vorherrschend flachen und breiten Querprofil des Niederrheins von 0 m (z.B. in Ufer-, Bank- oder Inselbereichen) bis zu maximal ~ 20 m lokal im Bereich von extremen Auskolkungen, im Durchschnitt beträgt die Profiltiefe ca. 4 m.

Am gesamten Strom ist ein unregelmäßig ausgebildetes Naturufer charakteristisch für die **Uferstruktur**. Kennzeichnend sind starke Uferabbrüche, die vor allem an Prallhängen steil und vegetationsfrei ausgeprägt sind. Laterale Erosion hat durch Uferunterpülungen und -absackungen zu Uferrückverlegungen, u.a. in Form von weiten, tief einspringenden Uferbuchten geführt, auch Ufervorsprünge kommen vor. Bei Abtragungen der Niederterrassenränder können sehr hohe Steilböschungen entstehen, die die Rheinniederung scharf umrahmen. Oftmals sind diese Abgrenzungen zwischen Aue und angrenzenden Niederterrassen bogenförmig ausgebildet, so dass die Niederterrassen in Spornen gegen die Aue vorspringen. Am Oberen Niederrhein herrschen steile Uferkanten vor, am Unteren Niederrhein sind im Allgemeinen sehr geringe Uferhöhen vorhanden. In flach geneigten Naturuferbereichen (Abb. 14) finden sich zahlreiche besondere Uferstrukturen wie Sturzbäume, Totholz- und Treibselansammlungen.



Abb. 14: Flachwasserzonen und schlammgeprägte Standorte prägen häufig die Uferstruktur.

Die **Aue** des Niederrheins ist durch unbeeinträchtigte *Ausuferung* gekennzeichnet, gleiches gilt für die *Ausuferungshäufigkeit*. Typisch ist eine ungehinderte Auenüberflutung mit flächenhaften Überschwemmungen im Winter und Frühjahr, die kleinräumig auch stagnieren können. Eine Überformung der Hochflutrinnen in den Niederterrassen ist möglich. Der *Formenschatz der Aue* ist äußerst divers sowohl hinsichtlich der Anzahl der auftretenden Formen als auch der Ausprägung und Größe entwickelt (s. Abb. 15). Uferwälle, die nach Norden an Mächtigkeit gewinnen, begleiten den Gerinnelauf. Uferstreifen sind lückenlos vorhanden und stehen uneingeschränkt wie die gesamte Talform für die Gewässerentwicklung zur Verfügung. In der Niederrheinaue dominieren sandig-lehmige, ca. 1 bis 2 m mächtige Talbodensedimente über den Kiesen die *Substratdiversität und -verteilung*. In Rinnen und Niederungen treten die sandig-lehmigen Sedimente in Vergesellschaftung mit Gleyen, Anmoorgleyen und Niedermooren auf. Flutrinnen in der Aue und Hochflutrinnen in Niederterrassen sind mit Auenlehmauflagen bedeckt. Bei Anschneidung der Auensubstrate können große Mengen an feinkörnigem Material freigesetzt werden, die sich z.T. stromabwärts im Gerinnebett und am Ufer akkumulieren.



Abb. 15: Bespannte Flutrinne und Flutrinnenrand höherer Abflüsse.

### 3.2.2 Totholzsituation

Der gesamte Strom wird im heutigen potenziell natürlichen Gewässerzustand von **Totholz** geprägt. Totholzvorkommen sind unter strukturellen und habitatspezifischen Aspekten von großer Wichtigkeit für die morphologische Ausprägung eines Fließgewässers (LUA NRW 2001 a). An großen Strömen wie dem Rhein besitzt Totholz jedoch kaum gewässerbettbildende Kraft; es hat z.B. keinen direkten Einfluss auf

Laufverlagerungen. Erhebliche Totholzansammlungen, die räumlich wie zeitlich stark variieren können, sind im Gerinne und in der Aue zu erwarten. Eine typusspezifische Beschreibung der Totholzsituation ist am Niederrhein jedoch aufgrund des aktuellen Kenntnisstandes nicht möglich. Es gibt bislang zu wenige Untersuchungen, um genaue Aussagen über Menge und Häufigkeit des Eintrages von Totholz ableiten zu können. Aber es ist beispielsweise von der Oder bekannt, dass früher jährlich sehr große Mengen Baumstämme dem Gewässer entnommen wurden. Die in der Anleitung für die Kartierung mittelgroßer bis großer Fließgewässer (LUA NRW 2001 a) geschätzten Werte von > 20 Stämme je Laufkilometer ohne Verzweigung und > 40 Stämme je Laufkilometer bei Verzweigungsstrecken sind mindestens für das Zustandsmerkmal „häufig“ zu erwarten.

### 3.2.3 Anthropogene Faktoren

Die bisher erfolgte **Sohlenerosion** des Rheins ist reversibel, da sie unter potenziell natürlichen Bedingungen infolge lateraler Stromverlagerungen und autogener Sohlaufhöhung ausgeglichen wird (LUA NRW 2001 d): Zu Beginn der Auflassung sämtlicher Nutzungen und Herausnahme jeglicher Verbauungen wird der Niederrhein mit seiner Lateralerosion existente Altformen abschneiden und eine tiefergelegene Sekundäraue ausbilden. Im Laufe der Zeit führt die massive Seitenerosion zu erheblichen Materialumlagerungen, zusätzlich erfolgt ein erheblicher Feststofftransporteintrag aus Nebengewässern. Umfangreiche Geschiebeakkumulationen im Gewässerbett folgen, die eine selbständig initiierte Sohlaufhöhung bewirken. Es wird sich – unabhängig von der Sohlhöhenlage – ein Gewässer- und Auensystem mit entsprechendem Formeninventar entwickeln, das sowohl neue Strukturen als auch hydromorphologisch reaktivierte historische Rheinlaufstrukturen umfassen kann. Das entstandene Auenniveau bleibt gegen ältere, höher gelegene Bereiche abgegrenzt.

**Auskiesungen bzw. Baggerseen (Abgrabungen) in Stromnähe** sind als reversibel anzusehen (s. Kap. 3.2.3.1). Der irreversible Faktor **Auenlehmsedimentation** kann unter morphologischen Aspekten weitgehend unberücksichtigt bleiben. Die Lateralerosion des Stromes setzt unterhalb der bindigen und relativ erosionsstabilen Auenlehme an, so dass diese daher keine Einschränkung der seitlichen Stromverlagerungen darstellen. Bezüglich der veränderten standörtlichen Verhältnisse durch **Mineralisation organischer**

**Böden** lässt sich festhalten, dass bei oberflächennahen Grundwasserständen mit einer Revitalisierung der Niedermoore zu rechnen ist (LUA NRW 2001 d). Ferner können sich Niedermoore in Rinnen, Flutmulden, Niederungen oder im Bereich von Quellwasserausstritten im Übergang zu Niederterrassen und Stauchmoränen neu bilden, ebenso treten sie als Verlandungsstadien von Seen auf. Bei Anschneidung der Niedermoorvorkommen in der Aue durch seitliche Laufverlagerungen können diese erodiert werden und zu teilorganischen Ausprägungen des Sohlsubstrates führen. Die **Nährstoffsituation** ist im hpnG zwar verändert, jedoch ist eine Abnahme des Nährstoffgehaltes zu erwarten. Zudem finden sich auch natürlicherweise nährstoffärmere Standorte (LUA NRW 2001d). Unter morphologischen Gesichtspunkten kann die modifizierte Nährstoffsituation zudem vernachlässigt werden, da das Angebot an Nährstoffen in erster Linie Einfluss auf biotische Faktoren nimmt. **Künstliche Verfüllungen** und **Halden** in der Aue (u.a. Bauschutt, Bergematerial, Schlacke) werden vom Rhein angeschnitten und erodiert. Sie prägen als anthropogenes Geschiebe das Substrat. Die Möglichkeit der Anschneidung und Abtragung des **Tertiärs** ist anthropogen bedingt erhöht (IHBEN 2003). Neben den sohlsubstratbildenden tertiären Gesteinen prägen die tertiären Feinsande eher die Substratverhältnisse im und vor allem am Gewässer mit.

### 3.2.3.1 Sondersituation Bergbauregion

Die Steinkohlenvorkommen liegen im westlichen Areal des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenreviers, das sich vom linken Niederrheingebiet bis in den Raum Hamm – Ahlen erstreckt (GLA NRW 1988). Die Kohlegewinnung führt unter Tage zur Entstehung von Hohlräumen, die zusammenbrechen. Die Erdoberfläche bildet anhand von Brüchen und Senkungen diese zusammengesackten Hohlräume nach. Die Absenkungsbeträge können im Bereich des Gerinnebettes und Gewässerumfeldes 1 m im Jahr überschreiten. Aktuell liegen die Gesamtsenkungen bereits bei über 8 m (AG RHEINSOHLENEROSION 1997).

Oberhalb der Ruhrmündung beginnt ein sich signifikant von den am Niederrhein im Längsverlauf wechselnden Leitbildzuständen absetzender Landschaftsraum, der sich bis oberhalb Lippemündung erstreckt. Der Strom, der hier teilweise verzweigt und nebengerinnereich mäandriert, durchfließt eine ausgedehnte Seenlandschaft. Ursache dieser Landschaftsform ist der Bergsenkungstrichter des Ruhrgebietes,

der sich in seiner Längenerstreckung von Duisburg bei Rheinkilometer 775 bis Wesel bei Rheinkilometer 813 ausspannt. In den als Folge des Bergbaus entstandenen Reliefvertiefungen kommt es im hpnG zu Grundwasseransammlungen, ferner können die Senkungsbereiche durch Lateralverlagerungen des Niederrheins angeschnitten oder bei Hochwasserereignissen überformt werden. Infolgedessen erstreckt sich eine bergsenkungsbedingte Seenlandschaft beiderseits des Hauptstromes, die eine Aufweitung der Aue in dieser Region bewirkt. Im hpnG ist daher mit einer Verlagerung der Hauptwasserscheide Rhein – Maas bis zu 5 km nach Westen zu rechnen (vgl. Kap. 2.1 u. 2.3 sowie GLA NRW 1988).

Die durch Steinkohle- und Steinsalzabbau induzierten Geländeabsenkungen haben zu erheblichen Modifikationen der leitbildrelevanten Rahmenbedingungen geführt. Insbesondere großräumige Geländedepressionen als Folge des Steinkohlenbergbaus nehmen auf die Ausprägung des morphologischen Leitbildes einen entscheidenden Einfluss.

Nördlich dieser Region schließt sich eine Steinsalzlagerstätte aus der Zechstein-Zeit an, die sich von Rheinberg im Süden bis nach Winterswijk im Norden ausdehnt. Im Westmünsterland sowie auf niederländischem Gebiet setzt sich das Zechstein-Becken nach Norden und Nordosten fort (GLA NRW 1988). Im nördlichen Bereich des vierten Stromabschnittstyp werden Stromsohle wie auch Aue durch Einwirkungen des Salzbergwerkes Borth zwischen Rheinkilometer 810 und 813 abgesenkt. In diesem Streckenabschnitt sind von heute an weitere langsame Senkungen von 1 bis 3 cm jährlich zu erwarten, bis die Hohlräume unter Tage nach ungefähr 100 bis 600 Jahren zusammengedrückt sein werden. Die dellenförmigen Depressionen der Erdoberfläche werden voraussichtlich bis zu 5 oder 6 m Tiefe betragen (AG RHEINSOHLENEROSION 1997).

Aus den Bergsenkungen resultieren veränderte Gefälleverhältnisse, die bis zu Gefälleumkehr reichen können. Aktuell zeigt die Sohlgefällestruktur im Längsprofil beträchtliche **Sohlenabsenkungen**, die durch Sohlenerosion sowie Bergsenkungen erfolgt sind. Derzeit dehnt sich der Bergsenkungstrichter bedingt durch Steinkohlenabbau von Rheinkilometer 775 bis 805 aus. Bergsenkungen erstrecken sich innerhalb dieser Region jeweils von Rheinkilometer 775 bis 778, 780 bis 783, 785,5 bis 788, 790 bis 793 und 795 bis 805. Nachfolgend befindet sich in dem Bereich von Rheinkilometer 810 bis 813 eine Sohlabsenkung infolge Steinsalzabbaus (AG RHEINSOHLENEROSION 1997).

Derzeit besteht zudem eine Absichtsbekundung der Zeche Walsum, in Zukunft weitere Steinkohlenvorkommen unter dem Rhein abzubauen. Rheinkilometer 775 und 813 stellen die Begrenzungen des Stromabschnittstyp IV dar, da sich die aktuellen Sohlenabsenkungen wegen ihrer extremen Eintiefungen u.U. auch im Leitbildzustand noch abzeichnen können und sich durch bergbauliche Aktivitäten verursachte irreversible Geländedepressionen des Talbodens von Süden nach Norden annähernd zwischen den gleichen naturräumlichen Grenzen oberhalb Ruhr- bis Lippe-mündung erstrecken.

Die Sohlgefällestruktur ist im stromaufwärtigen Bereich großräumiger Geländedepressionen der Steinkohle- und Steinsalzabbaufolgelandschaft von rückschreitender Erosion gekennzeichnet. Auch stromabwärts von Sohlensenkungen wird die Gewässersohle erodiert, in den Senkungsmulden dagegen wird Material abgelagert. Die das Längsprofil aktuell prägende Stromsohle erfährt somit im hpnG einen Reliefenergieausgleich. Teilweise können die Senkungsregionen noch von Sohlen- wie Wasserspiegellagen nachgezeichnet werden. Die Einschnittstiefe des sehr flachen Naturprofils kann im Bereich der Bergsenkungen größer sein. Mit den Sohlensenkungen einhergehende Wasserspiegelsenkungen zeichnen die Lage der Stromsohle zwar nach, jedoch sind sie wegen der ausgleichenden Wirkung des Wasserspiegels bei weitem nicht so beträchtlich wie mögliche Vertiefungen der Gewässersohle. Ferner befinden sich die abgesenkten Wasserspiegellagen gegenüber den Senkungsbereichen der Sohle leicht stromaufwärts verschoben (vgl. Abb. 16) (MURL NRW & WSD WEST 1992). Wegen der teilweisen Verfüllung der Senkungswannen wird ein besserer Geschiebedurchgang im Gerinne erreicht. Veränderte Sohlenlagen führen zu einer gegenüber den natürlichen Verhältnissen modifizierten

Erosionsbasis für zufließende Gewässer, so dass die natürliche Vorflut verändert sein kann.

Die irreversiblen **Geländedepressionen des Talbodens** fungieren ebenso wie anthropogen induzierte Rheinsohlenvertiefungen als Sedimentfallen, so dass es im Laufe der Jahre zu einer Aufhöhung kommt. Allerdings ist die Sedimentation in den großräumigen Talbodenabsenkungen wegen der z.T. erheblichen Entfernung zum mäandrierenden Hauptstrom bei weitem nicht so beträchtlich wie im Gerinnebett sowie im unmittelbaren Gewässerumfeld des Stromes. Bei direkter Lateralerosion durch den Strom ist ein Zusedimentieren möglich, an anderer Stelle können sich jedoch auch neue Seen bilden, wenn Hohlräume unter Tage zu einem späteren Zeitpunkt zusammenbrechen bzw. -sacken. So bleiben die Seenflächen bei insgesamt geringem Gefälle mit entsprechend geringen Strömungsgeschwindigkeiten sowie Ablagerungsbeträgen erhalten. Durch ständige Sedimentzufuhr können kleinere deltaartige Geschiebefächer in den Seen entstehen. Die höchsten Ablagerungsbeträge finden sich am Übergang zwischen den Stromabschnittstypen III und IV am Beginn der Senkungsbereiche.

**Auskiesungen bzw. Baggerseen** (Abgrabungen) in **Stromnähe** sind dagegen anthropogen geschaffene temporäre, also reversible Erscheinungen in der Aue. Bei Anschneidung durch den Hauptstrom kommt es relativ schnell zu Umlagerungen des anstehenden Materials und anschließender Aufhöhung dieser Reliefvertiefungen. Die bei Auskiesungen auf **Niederterrassen** entstandenen großen und tiefen Seen bleiben in diesen erosionswiderstandsfähigeren, von dem mäandrierenden Hauptstrom entfernteren Arealen erhalten und ergänzen, bergbaulich bedingten Formenschatz stehenden oberirdischen Gewässer in der Aue.

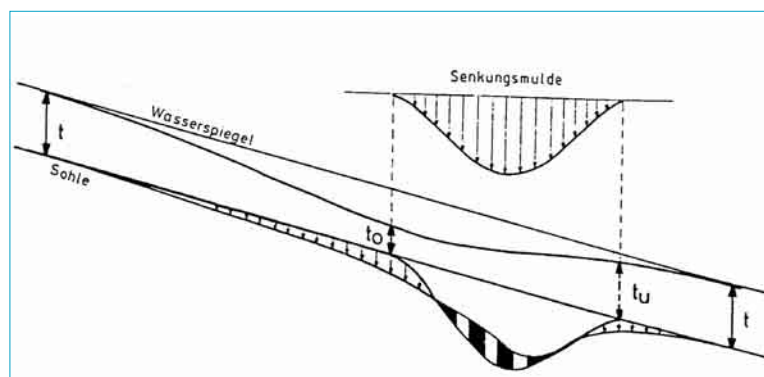
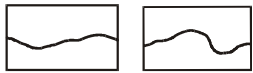
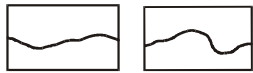
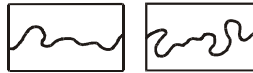




Abb. 16: Auswirkungen einer Bergsenkung auf den Wasserspiegel und die Sohlenerosion (Pfeile) und Akkumulation (Balken) des Rheins.

### 3.2.4 Tabellarische Übersicht für das Leitbild Niederrhein – morphologische Charakterisierung – (Tab. 02)

Fließgewässertyp	Kiesgeprägter Strom des Tieflandes				
Hydrologischer Typ	Permanent, abflussreich, ausgeglichen				
Parameter					
Stromabschnittstyp	Stromabschnittstyp I	Stromabschnittstyp II	Stromabschnittstyp III	Stromabschnittstyp IV	Stromabschnittstyp V
Lage und Erstreckung	Rolandseck bis Bonn Rheinkilometer 640 – 654  <i>Austritt des Rheins aus dem Rheinischen Schiefergebirge auf Höhe der Inseln Nonnenwerth und Grafenwerth bis oberhalb Siegmündung</i>	Bonn bis Leverkusen Rheinkilometer 654 – 701,5  <i>Siegmündung bis oberhalb Wuppermündung</i>	Leverkusen bis Duisburg Rheinkilometer 701,5 – 775  <i>Wuppermündung bis oberhalb Ruhrmündung</i>	Duisburg bis Wesel Rheinkilometer 775 – 813  <i>Oberhalb Ruhrmündung bis oberhalb Lippemündung</i>	Wesel bis Kleve-Bimmen Rheinkilometer 813 – 865,5  <i>Lippemündung bis Stromspaltung in Waal und Nederrijn</i>
Sohlbreite	ca. 300 – 1.000 m	ca. 200 – 1.000 m	ca. 150 – 3.700 m	ca. 320 – 8.000 m (inkl. Seenflächen)	ca. 270 – 3.100 m
Quellentfernung	> ca. 925 km – ca. 940 km	> ca. 940 km – ca. 990 km	> ca. 990 km – ca. 1.080 km	> ca. 1.080 km – ca. 1.140 km	> ca. 1.140 km – ca. 1.240 km
Talform	flaches Sohlental mit längszonalem Wechsel von fünf differierenden Talbodenformen				
Talbodenformen	mittelgebirgsgeprägter Eintritts- / Übergangsbereich in das Tiefland		Tiefland		
	enger Talboden	schmalere Talboden	aufgeweiteter Talboden	breiter Talboden	sehr breiter Talboden
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Talbodenbreite (min / max): ~ 540 m – ~ 1.500 m</li> <li>Gerinnebettbreite / Talbodenbreite: <math>\varnothing</math> 1: 1,4 min./max.: 1:1,3 – 1:4,3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Talbodenbreite (min / max): ~ 490 m – ~ 3.000 m</li> <li>Gerinnebettbreite / Talbodenbreite: <math>\varnothing</math> 1: 2,6 min./max.: 1:2 – 1:12</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Talbodenbreite (min / max): ~ 590 m – ~ 5.800 m</li> <li>Gerinnebettbreite / Talbodenbreite: <math>\varnothing</math> 1: 1,6 min./max.: 1:1,4 – 1:29</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Talbodenbreite (min / max): ~ 3.250 m – ~ 10.000 m (bis ~ 20.000 m inkl. bergsenkungsbedingter Aufweitung der Aue)</li> <li>Gerinnebettbreite / Talbodenbreite: <math>\varnothing</math> 1: 1,6 min./max.: 1:1,2 – 1:57</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Talbodenbreite (min / max): ~ 4.000 m – ~ 14.000 m</li> <li>Gerinnebettbreite / Talbodenbreite: <math>\varnothing</math> 1: 5,1 min./max.: 1:4,2 – 1:46</li> </ul>
	Die Aue wird seitlich von den Niederterrassen des Rheins (Stromablagerungen der Weichsel-Kaltzeit) begrenzt, am Oberen Niederrhein lokal auch von devonischen Schichten, vulkanischen und vulkanogen-sedimentären Gesteinen aus dem Tertiär, Löß und Lößlehm aus der Unteren Mittelterrasse, am Unteren Niederrhein lokal auch von Stauchmoränen und Sandern (Eis- und Schmelzwasserablagerungen der Saale-Kaltzeit)				
Talbodengefälle	$\varnothing$ 0,81 ‰	$\varnothing$ 0,13 ‰	$\varnothing$ 0,29 ‰	$\varnothing$ 0,07 ‰	$\varnothing$ 0,18 ‰

Stromabschnittstyp	Stromabschnittstyp I	Stromabschnittstyp II	Stromabschnittstyp III	Stromabschnittstyp IV	Stromabschnittstyp V
<b>Talbodencharakteristik</b>	gefällestarker, enger, nahezu ebener holozäner Talboden mit verlagerbaren Substraten	gefälleschwächerer, schmaler, nahezu ebener, teilweise terrassierter holozäner Talboden mit verlagerbaren Substraten	gefällestärkerer, aufgeweiteter, nahezu ebener, terrassierter holozäner Talboden mit verlagerbaren Substraten und eingeschalteten inselartigen Niederterrassenarealen	gefälleschwacher, breiter, nahezu ebener, terrassierter holozäner Talboden mit relativ leicht verlagerbaren Substraten und einem kleinräumigen Wechsel zwischen tieferen Seen, flach überschwemmten Gebieten, Aufschüttungen (Halden), inselartigen Niederterrassenarealen, Stauchmoränen und Sandern im Westen, Dünen und Hochflutrinnen	gefälleschwächerer, sehr breiter, nahezu ebener, terrassierter holozäner Talboden mit sehr leicht verlagerbaren Substraten
<b>Laufform</b>					
<b>Stromabschnittstypen</b> (siehe Abb. 10, Abb. 17 - 21)	vorherrschend unverzweigter, gestreckter, kiesgeprägter Strom des Tieflandes	vorherrschend unverzweigter, schwach gewundener, kiesgeprägter Strom des Tieflandes	überwiegend unverzweigter, teilweise mit einzelnen Nebengerinnen, mäandrierender, kiesgeprägter Strom des Tieflandes	teilweise verzweigter, nebengerinnereicher, mäandrierender, kiesgeprägter Strom des Tieflandes mit bergbaulich bedingter Seenlandschaft	häufig verzweigter, nebengerinnereicher, mäandrierender, kiesgeprägter Strom des Tieflandes
					
<b>Laufentwicklung</b>	gestreckt bis schwach gewunden		gewunden bis mäandrierend		mäandrierend bis stark mäandrierend
<b>Windungsgrad</b>	~ 1,01 – ~1,06 zumeist ~ 1,02 – ~ 1,04	~ 1,01 – ~1,26 zumeist ~ 1,04 – ~ 1,18	~ 1,35 – ~ 1,68 zumeist ~ 1,35 – ~ 1,62	~ 1,27 – ~ 1,76 zumeist ~ 1,4 – ~ 1,54	~ 1,67 – ~ 2,19 zumeist ~ 1,69 – ~ 2,07
<b>Laufotyp</b>	vorherrschend unverzweigt, durch Bank- und Inselbildungen entstehen Laufspaltungen, sehr selten bilden sich lokal Verzweigungen aus		überwiegend unverzweigt, durch Bank- und Inselbildungen entstehen Laufspaltungen, selten bilden sich lokal Verzweigungen aus, teilweise mit einzelnen Nebengerinnen	teilweise verzweigt, durch Bank- und Inselbildungen entstehen Laufspaltungen, öfter bilden sich lokal Verzweigungen aus, nebengerinnereich, wassererfüllte Senkungsbereiche	häufig verzweigt, durch Bank- und Inselbildungen entstehen Laufspaltungen, häufig bilden sich lokal Verzweigungen aus, nebengerinnereich

Stromabschnittstyp	Stromabschnittstyp I	Stromabschnittstyp II	Stromabschnittstyp III	Stromabschnittstyp IV	Stromabschnittstyp V
<p><b>laterale Erosion / Verlagerungsverhalten</b></p> <p><b>Besondere Laufstrukturen</b></p>	<p>Strom nimmt große Bereiche des Talbodens ein  unregelmäßige Verlagerungen möglich (Ausbrüche des Hauptlaufes)  erhebliche Strombettbreitenschwankungen (Laufweitungen, Laufverengungen)  Laufspaltungen häufig durch Bank- und Inselbildungen  Totholzvorkommen  Nebengerinne sind i.d.R. bereits bei geringen Abflüssen mit Wasser erfüllt; flachere Nebengerinne werden jedoch ebenso wie Rinnensysteme in der Aue erst bei höheren Abflüssen bespannt; stromabwärts verschleppte Nebengewässermündungen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• das Verlagerungspotenzial ist im Vergleich zum gesamten Niederrhein gering; das anstehende Substrat bedingt einen hohen Erosionswiderstand der Aue und Niederterrassen sowie eine hohe Sohlenstabilität; Abtragungen des Ufers und der Niederterrassen sind jedoch lokal möglich</li> </ul> <p>Durchschnittswerte (Wandergeschwindigkeit einer Schlinge kann stark variieren)</p> <p>bei extremen Hochwasserereignissen sind auch deutlich höhere Verlagerungsgeschwindigkeiten möglich, die bis zum Durchbruch von einem oder mehreren Laufbögen bei einem Hochwasserereignis führen können, so dass sich ein vergleichsweise gestreckter Stromlauf vom Furkationstyp ausbildet (gestreckter bis schwach gewundener Lauf mit ihm begleitenden Furkationen), der erst allmählich im Laufe der Zeit wieder sein gewässerabschnittstypisches Erscheinungsbild ausformt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Migration und Abschnürung</li> <li>• Prallufererosion und Gleituferanlandung</li> <li>• laterale und talabwärts gerichtete Verlagerung der Laufbögen; Wandergeschwindigkeit der Rheinmäander nimmt von S nach N zu; <ul style="list-style-type: none"> <li>Ø 5 - 6 m jährlich Stromabschnittstyp III</li> <li>Ø 5 - 9 m jährlich Stromabschnittstyp IV</li> <li>Ø 9 - 60 m jährlich Stromabschnittstyp V</li> </ul> </li> </ul> <p>zahlreiche Auengewässer in permanenter oder temporärer Verbindung zum Hauptlauf</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verlagerungspotenzial hoch; die Mäanderbögen schneiden sich zumeist in Niederterrassenränder und haben daher einen relativ großen Widerstand zu überwinden; die Niederterrassen stellen den begrenzenden Faktor für die Lateralverlagerung dar</li> <li>• Verlagerungspotenzial hoch; die Mäanderbögen schneiden sich zumeist in Niederterrassenränder und haben daher einen relativ großen Widerstand zu überwinden; die Niederterrassen stellen den begrenzenden Faktor für die Lateralverlagerung dar</li> <li>• Verlagerungspotenzial sehr hoch; das anstehende feinkörnige, sandreiche Substrat (geringe Sohlen- und Uferstabilität) kann durch massive Seitenerosion leicht erodiert werden</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kaum Nebengerinne</li> <li>• kaum Auengewässer</li> <li>• wenige Nebengerinne</li> <li>• einige Auengewässer in permanenter oder temporärer Verbindung zum Hauptlauf</li> <li>• der mäandrierende Hauptstrom kann die bergbaulich bedingten Geländedepressionen lokal durch Lateralverlagerung anschneiden oder bei Hochwasserereignissen überformen; Seenlandschaft (teilweise abseits des Hauptstromes)</li> <li>• Abtragung von Niederterrassen, Stauchmoränen u. Sandern möglich</li> <li>• typisch ist eine stetige Umwandlung der Stromsohlenform durch die in diesem Raum besonders prägnant ausgebildete Migration und Abschnürung</li> <li>• zahlreiche Nebengerinne</li> <li>• natürliche Stromspaltung in Waal und Nederrijn</li> </ul>				

Stromabschnittstyp	Stromabschnittstyp I	Stromabschnittstyp II	Stromabschnittstyp III	Stromabschnittstyp IV	Stromabschnittstyp V
<b>Besonderheiten</b>		Aufweitungen des Talbodens durch schwach gewundenen bis gewundenen Lauf möglich	<p>die Breite des Talbodens wird von der Auflösungszone des Niederterrassenfeldes (Einschneidung in die Jüngere Niederterrasse) aufgeweitet; hier erstreckt sich ein westlicher Rheinlauf, der vor allem bei Hochwasser als Hochflutbett fungiert; die Aue umschließt inselartige Niederterrassenareale</p> <p>im nördlichen Bereich beginnt der Übergang zur bergsenkungsbedingten Auenaufweitung</p>	<p>bergsenkungsbedingte Auenaufweitung;</p> <p>in den aufgrund anthropogen bedingter Massenverlagerungen entstandenen Reliefvertiefungen (Bergsenkungstrichter des Ruhrgebietes) kommt es zu Grundwasseransammlungen, ferner können die Senkungsbereiche durch Lateralverlagerungen angeschnitten oder bei Hochwasserereignissen überformt werden; infolgedessen erstreckt sich eine bergsenkungsbedingte Seenlandschaft beiderseits des Hauptstromes, die eine erhebliche Auenaufweitung in dieser Region bedingt (siehe Kap. 3.2.3.1)</p>	<p>steinsalzabbaubedingte Bergsenkungen bestimmen im südlichen Bereich die natürlichen Reliefstrukturen und Grundwasserhältnisse;</p> <p>in den Reliefvertiefungen kommt es zu Grundwasseransammlungen, ferner können die Senkungsbereiche durch Lateralverlagerungen angeschnitten oder bei Hochwasserereignissen überformt werden; einige Seen im Süden sind die Folge</p>
<b>Längsprofil</b>					
<b>Sohlgefälle</b>	Ø 0,69 ‰	Ø 0,10 ‰	Ø 0,27 ‰	Ø 0,02 ‰	Ø 0,07 ‰
<b>Sohlgefällestruktur / Querbänke</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>sehr häufiges Auftreten von Furten in relativ regelmäßigen Abständen in Form von Wasserspiegelrauhungen über den Querbänken oder in Form von Aufweitungen der Wasserspiegelbreiten; die Furten erstrecken sich senkrecht oder diagonal zur Fließrichtung und können den gesamten Strom von Ufer zu Ufer als langgezogene Kiesbänke, -rippen, -schwelen oder auch -rücken durchsetzen, die Wassertiefe über ihnen ist erheblich verringert;</li> <li>lokal Tiefenerosion der Gewässersohle hinter den Querbänken;</li> <li>Laufstrecken mit geringerem Gefälle im Bereich von Querbänken folgt im Allgemeinen unmittelbar stromabwärts eine Laufstrecke mit stärkerem Gefälle (Versteilungsstrecken);</li> <li>teilweise im Strombett oder am Gewässersohlenrand Tiefenrinnen, auch diagonal verlaufend möglich;</li> </ul>				
	<ul style="list-style-type: none"> <li>die Furten wechseln sich mit engen, tiefen Bogenscheitelbereichen relativ regelmäßig in Abhängigkeit des Windungsgrades ab; je stärker die Stromkrümmung, desto größer die Tiefe; häufig liegt die größte Tiefe unterhalb der Lage des Scheitelpunktes; häufig liegen die Furten unterhalb des Wendepunktes der Stromachse</li> </ul>				



Stromabschnittstyp	Stromabschnittstyp I	Stromabschnittstyp II	Stromabschnittstyp III	Stromabschnittstyp IV	Stromabschnittstyp V
<b>Sohlgefällestruktur / Querbänke</b> (Fortsetzung)			<ul style="list-style-type: none"> <li>rückschreitende Erosion im Bereich großräumiger Geländedepressionen möglich (nördlicher Abschnitt)</li> <li>Sohlenstufen möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>rückschreitende Erosion im Bereich großräumiger Geländedepressionen möglich</li> <li>veränderte Gefälleverhältnisse, die bis zu einer Gefälleumkehr reichen können</li> <li>Sohlenabsenkungen</li> <li>stromabwärts von Sohlen-senkungen wird die Gewässer-sohle erodiert, in den Senkungsmulden wird Material abgelagert</li> <li>Geländedepressionen des Talbodens fungieren als Sedimentfallen, kleinere deltaartige Geschiebefächer in den Seen möglich</li> <li>Sohlenstufen möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>rückschreitende Erosion im Bereich großräumiger Geländedepressionen möglich (südlicher Abschnitt)</li> <li>veränderte Gefälleverhältnisse, die bis zu einer Gefälleumkehr reichen können</li> <li>der Rhein hat das Bestreben, sein aus dem Bergbau-senkungsgebiet mitgebrachtes Geschiebedefizit wieder aufzufüllen; große Mengen an Sanden und Kiesen werden freigesetzt, die wegen des geringen Talgefälles nicht in ausreichendem Maße weitertransportiert werden können; vielfältige Sohlenstrukturen sind die Folge</li> <li>Sohlenstufen möglich</li> </ul>
<b>Strömungscharakteristik</b> <b>Strömungsbild</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>vorherrschend schnell fließend</li> <li>kleinräumig turbulent</li> <li>Kehrwasser</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>vorherrschend schnell fließend</li> <li>kleinräumig turbulent</li> <li>Kehrwasser</li> <li>auch ruhig fließende Abschnitte</li> <li>kleinräumig Stillenabschnitte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>überwiegend schnell fließend</li> <li>teilweise turbulent</li> <li>Kehrwasser</li> <li>ruhig fließende Abschnitte</li> <li>kleinräumig Stillenabschnitte</li> <li>in Nebengerinnen verschiedenste Strömungsmuster</li> <li>bei lokaler Durchsetzung der Stromsohle mit tertiären Quarzit- oder Sandsteinblöcken oder großen Steinen können kleine Stromschnellen (Sohlenstufen) auftreten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>vorherrschend langsam</li> <li>abschnittsweise stagnierend</li> <li>Kehrwasser</li> <li>ruhig fließende Abschnitte</li> <li>kleinräumig Stillenabschnitte</li> <li>auf gefällereichen Strecken schneller</li> <li>kleinräumig turbulent</li> <li>in Nebengerinnen verschiedenste Strömungsmuster; überwiegend ruhig</li> <li>bei lokaler Durchsetzung der Stromsohle mit tertiären Quarzit- oder Sandsteinblöcken oder großen Steinen können kleine Stromschnellen (Sohlenstufen) auftreten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>vorherrschend langsam</li> <li>abschnittsweise stagnierend</li> <li>Kehrwasser</li> <li>ruhig fließende Abschnitte</li> <li>kleinräumig Stillenabschnitte</li> <li>schneller fließende Abschnitte</li> <li>kleinräumig turbulent</li> <li>in Nebengerinnen verschiedenste Strömungsmuster; überwiegend ruhig</li> <li>bei lokaler Durchsetzung der Stromsohle mit tertiären Quarzit- oder Sandsteinblöcken oder großen Steinen können kleine Stromschnellen (Sohlenstufen) auftreten</li> </ul>

Stromabschnittstyp	Stromabschnittstyp I	Stromabschnittstyp II	Stromabschnittstyp III	Stromabschnittstyp IV	Stromabschnittstyp V
<b>Strömungsdiversität / Tiefenvarianz</b>	mäßig bis sehr hoch				
	bei allen Stromabschnittstypen herrscht ein vielfältiges Strömungsmosaik vor, so dass sämtliche Kombinationen mehrfach vorhanden sind				
<b>Häufigkeit und räumliche Verteilung</b> (Erläuterung in absteigender Häufigkeit)	<p><b>schnell</b> (&gt; 0,3 m/s) u. <b>tief</b> (&gt; 0,5 m) vorherrschend; in gestreckteren Laufabschnitten, in gefällereicheren Laufabschnitten, Kolken</p> <p><b>schnell</b> (&gt; 0,3 m/s) u. <b>flach</b> (&lt; 0,5 m) untergeordnet; in Furtbereichen, gestreckteren Laufabschnitten</p> <p><b>langsam</b> (&lt; 0,3 m/s) u. <b>tief</b> (&gt; 0,5 m) untergeordnet; in Tiefenrinnen, Pools, Kolken, Kehrwassern</p> <p><b>langsam</b> (&lt; 0,3 m/s) u. <b>flach</b> (&lt; 0,5 m) untergeordnet; in Flachwasserzonen, Bank- und Inselbereichen, Verzweigungsstrecken</p>	<p><b>schnell</b> (&gt; 0,3 m/s) u. <b>tief</b> (&gt; 0,5 m) vorherrschend; in gestreckteren Laufabschnitten, in gefällereicheren Laufabschnitten, Kolken, Bogenscheitelbereichen</p> <p><b>schnell</b> (&gt; 0,3 m/s) u. <b>flach</b> (&lt; 0,5 m) häufig; in Furtbereichen, gestreckteren Laufabschnitten, teilweise Gleithangbereichen</p> <p><b>langsam</b> (&lt; 0,3 m/s) u. <b>tief</b> (&gt; 0,5 m) untergeordnet; in Tiefenrinnen, Pools, Kolken, Kehrwassern, Altwassern, Stillenabschnitten und Nebengerinnen</p> <p><b>langsam</b> (&lt; 0,3 m/s) u. <b>flach</b> (&lt; 0,5 m) untergeordnet; in Flachwasserzonen, Bank- und Inselbereichen, Verzweigungsstrecken, Gleithangbereichen, gefälleärmeren Laufabschnitten, Altwassern, Nebengerinnen, Stillenabschnitten</p>	<p><b>schnell</b> (&gt; 0,3 m/s) u. <b>tief</b> (&gt; 0,5 m) vorherrschend; in gestreckteren Laufabschnitten, in gefällereicheren Laufabschnitten, Kolken, Bogenscheitelbereichen</p> <p><b>schnell</b> (&gt; 0,3 m/s) u. <b>flach</b> (&lt; 0,5 m) häufig; in Furtbereichen, gestreckteren Laufabschnitten, teilweise Gleithangbereichen</p> <p><b>langsam</b> (&lt; 0,3 m/s) u. <b>tief</b> (&gt; 0,5 m) untergeordnet; in Seen, Tiefenrinnen, Pools, Kolken, Kehrwassern, Altwassern, Stillenabschnitten und Nebengerinnen</p> <p><b>langsam</b> (&lt; 0,3 m/s) u. <b>flach</b> (&lt; 0,5 m) untergeordnet; in Seen, Flachwasserzonen, Bank- und Inselbereichen, Verzweigungsstrecken, Gleithangbereichen, gefälleärmeren Laufabschnitten, Altwassern, Nebengerinnen, Stillenabschnitten</p>	<p><b>langsam</b> (&lt; 0,3 m/s) u. <b>tief</b> (&gt; 0,5 m) vorherrschend; in Seen, flach überschwemmten Gebieten, Tiefenrinnen, Pools, Kolken, Kehrwassern, Altwassern, Stillenabschnitten, Nebengerinnen, Bank- und Inselbereichen, Verzweigungsstrecken</p> <p><b>langsam</b> (&lt; 0,3 m/s) u. <b>flach</b> (&lt; 0,5 m) häufig; in Seen, flach überschwemmten Gebieten, Flachwasserzonen, Bank- und Inselbereichen, Verzweigungsstrecken, Gleithangbereichen, gefälleärmeren Laufabschnitten, Altwassern, Nebengerinnen, Stillenabschnitten</p> <p><b>schnell</b> (&gt; 0,3 m/s) u. <b>flach</b> (&lt; 0,5 m) untergeordnet; in Furtbereichen, gestreckteren Laufabschnitten, teilweise Gleithangbereichen</p> <p><b>schnell</b> (&gt; 0,3 m/s) u. <b>tief</b> (&gt; 0,5 m) untergeordnet; in gestreckteren Laufabschnitten, in gefällereicheren Laufabschnitten, Kolken, Bogenscheitelbereichen</p>	<p><b>langsam</b> (&lt; 0,3 m/s) u. <b>tief</b> (&gt; 0,5 m) vorherrschend; in Seen, Tiefenrinnen, Pools, Kolken, Kehrwassern, Altwassern, Stillenabschnitten, Nebengerinnen, Bank- und Inselbereichen, Verzweigungsstrecken</p> <p><b>langsam</b> (&lt; 0,3 m/s) u. <b>flach</b> (&lt; 0,5 m) häufig; in Seen, Flachwasserzonen, Bank- und Inselbereichen, Verzweigungsstrecken, Gleithangbereichen, gefälleärmeren Laufabschnitten, Altwassern, Nebengerinnen, Stillenabschnitten</p> <p><b>schnell</b> (&gt; 0,3 m/s) u. <b>flach</b> (&lt; 0,5 m) untergeordnet; in Furtbereichen, gestreckteren Laufabschnitten, teilweise Gleithangbereichen</p> <p><b>schnell</b> (&gt; 0,3 m/s) u. <b>tief</b> (&gt; 0,5 m) untergeordnet; in gestreckteren Laufabschnitten, in gefällereicheren Laufabschnitten, Kolken, Bogenscheitelbereichen</p>

Stromabschnittstyp	Stromabschnittstyp I	Stromabschnittstyp II	Stromabschnittstyp III	Stromabschnittstyp IV	Stromabschnittstyp V
<b>Sohlenstruktur</b>					
<b>Sohlenstruktur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>der Niederrhein fließt vornehmlich in seinen eigenen Aufschüttungen (kiesige Talfüllung)</li> <li>der mittlere Korngrößendurchmesser der kiesigen Stromsohle nimmt von oberstrom nach unterstrom ab; am südlichen Niederrhein herrscht grobkörniges und ungleichförmiges Sohlenmaterial vor, stromabwärts wird es zunehmend feinkörniger</li> <li>die Sohlenstabilität verringert sich stromabwärts</li> <li>bereichsweise kann es zur Anschneidung tertiärer Feinsande kommen, die relativ dicht unter der Gewässersohle anstehen; diese sind extrem erosionsanfällig, so dass es lokal zu tiefen Auskolkungen kommen kann</li> <li>das heterogene Sohlensubstrat bedingt örtlich sowohl mobile wie auch stabile Sohlenbereiche; Umlagerung kann bis in mehrere Meter Tiefe unter dem mittleren Sohlenniveau stattfinden; natürliche Sohlenpflasterung im Gewässerbett möglich</li> </ul>				
<b>Sohlssubstrat</b>	Dominanz von Kies, vorherrschend gut gerundet				
<b>Sohlssubstrattypen in absteigender Häufigkeit</b>	<p>mittlerer Korngrößendurchmesser der kiesigen Stromsohle: <math>\varnothing</math> 32 mm (Einzelwerte schwanken ca. zw. 20 – 50 mm; Grobkies)</p> <p>erhöhter Schotteranteil (&gt; 63 mm), da die im Mittelgebirge aufgenommene grobkörnige Geschiebefracht nicht vollständig weitertransportiert werden kann</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kies</li> <li>Sand</li> <li>Steine / Schotter</li> <li>Schluff</li> <li>Ton</li> <li>organische Substrate</li> <li>Totholz- und Treibselansammlungen</li> </ul>	<p>mittlerer Korngrößendurchmesser der kiesigen Stromsohle: <math>\varnothing</math> 30 mm (Einzelwerte schwanken ca. zw. 15 – 45 mm; Mittel- bis Grobkies)</p> <p>erhöhter Schotteranteil (&gt; 63 mm), da die im Mittelgebirge aufgenommene grobkörnige Geschiebefracht nicht vollständig weitertransportiert werden kann</p>	<p>mittlerer Korngrößendurchmesser der kiesigen Stromsohle: <math>\varnothing</math> 20 mm (Einzelwerte schwanken ca. zw. 10 – 35 mm; Mittel- bis Grobkies)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kies</li> <li>Sand</li> <li>Steine, / Schotter</li> <li>Schluff</li> <li>Ton</li> <li>organische Substrate</li> <li>Totholz- und Treibselansammlungen</li> </ul>	<p>mittlerer Korngrößendurchmesser der kiesigen Stromsohle: <math>\varnothing</math> 17 mm (Einzelwerte schwanken ca. zw. 5 – 30 mm; Feinkies bis Grobkies)</p>	<p>mittlerer Korngrößendurchmesser der kiesigen Stromsohle: <math>\varnothing</math> 12 mm (Einzelwerte schwanken ca. zw. 3 – 25 mm; Fein- bis Grobkies)</p>
<b>Besonderheiten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>die Substratverhältnisse im Gewässer können auch durch großflächige Erdmassenumlagerungen entstandene Halden beeinflusst werden</li> <li>ebenso können künstliche Verfüllungen aus den Auen als anthropogenes Geschiebe die Gewässersohle prägen</li> </ul> <p>die Sohlenstabilität ist wegen der groben Korngrößen hoch</p> <p>Durchsetzung des Strombettes mit großen Steinen lokal möglich</p>		<p>dicht unter der Gewässersohle können tertiäre Schichten (Feinsande) anstehen, die bei Anschneidung erheblich ausgeräumt werden und zu spontanen Kolkbildungen führen können</p> <p>isolierte tertiäre Quarzit- und Sandsteinblöcke können sohlsubstratbildend sein</p>		

Stromabschnittstyp	Stromabschnittstyp I	Stromabschnittstyp II	Stromabschnittstyp III	Stromabschnittstyp IV	Stromabschnittstyp V
<p><b>Besonderheiten</b> (Fortsetzung)</p>	<p>kiesig-steinige Sedimente sind erosionswiderstandsfähig und können bei geeigneter Kornzusammensetzung zur Abpflasterung tendieren; örtlich ist eine solche Selbststabilisierung durch natürliche Sohlenpflasterung bzw. -panzerung möglich. Höhere Abflüsse können diese Vergrößerung der Gewässersohle aufreißen</p> <p>feinkörnigere Substrate kommen aufgrund der vergleichsweise hohen Schleppkraft untergeordnet vor</p> <p>eine Transportkörperbildung tritt im grobkörnigen Sohlenmaterial des südlichen Niederrheins kaum auf, daher existieren nur wenige temporäre Sohlenstrukturen</p>		<p>Durchsetzung des Strombettes mit großen Steinen lokal möglich</p>	<p>das Strombett besteht vorwiegend aus Kies, der an einzelnen Stellen verhältnismäßig grob und festgelagert ist; der Kies enthält nur an besonders geschützten Stellen stärkere Beimischungen von Sand</p> <p>die Gewässersohle kann lokal aus einem teilweise recht festem Boden aus tonreichem Gestein (Pelosol) bestehen, der sehr erosionswiderständig ist</p> <p>Niedermoore sind in die Auen eingelagert; bei Anschneidung sind teilorganische Ausprägungen des Sohlsubstrates wahrscheinlich</p> <p>feinkörnigeres Ablagerungsmilieu in den Seen (Sedimentfallen)</p> <p>bei Verlagerungen des Stromstrichs in Bergbauseen kann auch gröberes Niederterrassenmaterial angeschnitten und abgetragen werden, so dass größere Substratverhältnisse herbeigeführt werden</p> <p>auch Eis- und Schmelzwasserablagerungen der Saale-Kaltzeit können die Substratverhältnisse im Gewässer beeinflussen</p>	<p>im Bereich der Stromspaltung in Waal und Nederrijn stehen dicht unter der Gewässersohle Schluff- und teilweise Torflinsen an</p> <p>die Sohlenstabilität ist wegen der zunehmend geringeren Korngrößen-durchmesser deutlich geringer</p> <p>ausgedehnte Sandfelder an den Ufern und auf der Stromsohle</p> <p>auch Eis- und Schmelzwasserablagerungen der Saale-Kaltzeit können die Substratverhältnisse im Gewässer beeinflussen</p>
<p><b>Substratdiversität und -verteilung</b></p>	<p>geringe bis mäßige Substratdiversität</p>				
<p><b>Gewässerbett</b></p>	<p>Kies dominiert</p> <p>die Gewässersohle wird von einem häufigen Wechsel der Substrattypen geprägt</p> <p>Bank- und Inselstrukturen weisen im stromaufwärtigen Bereich größere Korndurchmesser auf, ziehen ausgedehnte Kiesakkumulationen hinter sich her</p> <p>Totholz- und Treibselansammlungen</p> <p>lokale Vorkommen von Festgesteinsbänken (Tertiärquarzite und -sandsteine, Tonsteine), Steinen, Sand (z.T. tertiäre Feinsande), Schluff, Ton, organischen Substraten</p>				

Stromabschnittstyp	Stromabschnittstyp I	Stromabschnittstyp II	Stromabschnittstyp III	Stromabschnittstyp IV	Stromabschnittstyp V
<p><b>Besondere Sohlenstrukturen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kolke, Tiefenrinnen</li> <li>• hinter den Sohlenstrukturen können sich Kiese akkumulieren; vor allem die Ausläufer von Inseln, aber auch von Bankstrukturen ziehen sich häufig stromabwärts in großer Ausdehnung als langgezogene Mittengründe hin</li> <li>• bei Niedrigwasser finden sich Laufspaltungen durch Kiesgründe</li> <li>• Anlandungen in Gleituferebenen, Nebengerinnen, teilweise auch im Hauptarm</li> <li>• unterhalb von Nebengewässermündungen finden sich Akkumulationen, die die Sohle des Niederrheins lokal aufhöhen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ausgedehnte Kiesgründe, -bänke und -inseln, die fest gelagert, vielfach mit Steinen durchsetzt und somit meist lagestabil sind; sie bedingen als Ufer- und Mittensohlenstrukturen lokal Gewässerbettaufweitungen und Laufspaltungen</li> <li>• kaum temporäre Sohlenstrukturen</li> <li>• wenige angelandete Sohlenstrukturen</li> <li>• Kolkbildungen in Form langgestreckter Sohleintiefungen möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zahlreiche Kiesgründe, -bänke und -inseln, die fest gelagert, vielfach mit Steinen durchsetzt und somit meist lagestabil sind; sie bedingen als Mitten-, Ufer- und Mündungssohlenstrukturen lokal Gewässerbettaufweitungen und Laufspaltungen; seltener auch Gleitufersohlenstrukturen möglich</li> <li>• an Nebengewässermündungen Bildung von Spornbänken möglich</li> <li>• wenige temporäre Sohlenstrukturen</li> <li>• teilweise angelandete Sohlenstrukturen</li> <li>• im Siegmündungsbereich befinden sich ausgedehnte Sandablagerungen auf der Gewässersohle unterhalb des Mittelwasserspiegels; z.T. befinden sich sandreiche Kiesbänke und -inseln im Mündungsbereich, die mit Steinen durchsetzt sind</li> <li>• Kolkbildungen vor Prallufren</li> <li>• Gleithänge mit Flutrinnen, ebenso Bänke und Inseln mit Flutrinnen; sind häufig stromabwärts mit Wasser erfüllt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zahlreiche Kiesgründe, -bänke und -inseln, die teilweise mit Steinen durchsetzt und relativ lagestabil sind; sie bedingen als Gleitufer-, Mitten-, Ufer- und Mündungssohlenstrukturen lokal Gewässerbettaufweitungen und Laufspaltungen und können auch zu Laufverzweigungen führen; die Sohlenstrukturen treten häufig unmittelbar hintereinander auf</li> <li>• an Nebengewässermündungen Bildung von Spornbänken möglich</li> <li>• einige temporäre Sohlenstrukturen</li> <li>• einige angelandete Sohlenstrukturen</li> <li>• Kolkbildungen, besonders tief ausgebildet in engen Bogenscheiteln oder bei Anschneiden des Tertiärs</li> <li>• Gleithänge mit Flutrinnen, ebenso Bänke und Inseln mit Flutrinnen; sind häufig stromabwärts mit Wasser erfüllt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zahlreiche Kiesgründe, -bänke und -inseln, die mit groben Komponenten durchsetzt sein können und daher meist lagestabil sind; sie bedingen als Gleitufer-, Mitten-, Ufer- und Mündungssohlenstrukturen lokal Gewässerbettaufweitungen und Laufspaltungen und können auch zu Laufverzweigungen führen; die Sohlenstrukturen treten häufig unmittelbar hintereinander auf</li> <li>• an Nebengewässermündungen Bildung von Spornbänken möglich</li> <li>• einige temporäre Sohlenstrukturen</li> <li>• viele angelandete Sohlenstrukturen</li> <li>• Kolkbildungen, besonders tief ausgebildet in engen Bogenscheiteln oder bei Anschneiden des Tertiärs</li> <li>• Gleithänge mit Flutrinnen, ebenso Bänke und Inseln mit Flutrinnen; sind häufig stromabwärts mit Wasser erfüllt</li> <li>• Seen fungieren als Sedimentfallen; Bildung kleiner deltaartiger Geschiebefächer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sehr zahlreiche Kiesgründe, -bänke und -inseln, die häufig allmählich stromabwärts wandern; sie bedingen als Gleitufer-, Mitten-, Ufer- und Mündungssohlenstrukturen lokal Gewässerbettaufweitungen und Laufspaltungen und können zu Laufverzweigungen führen; die Sohlenstrukturen treten häufig unmittelbar hintereinander auf; vor allem abwärts der Lippe-mündung bis ungefähr zur Höhe des Fürstenberges finden sich wandernde Sandbänke, die relativ regelmäßig zu Tal ziehen, aber auch bis zur Stromspaltung in Waal und Nederrijn verlegen sich die Sandbänke in oft nur kurzer Zeit</li> <li>• oft temporäre Sohlenstrukturen</li> <li>• zahlreiche angelandete Sohlenstrukturen</li> <li>• Kolkbildungen, besonders tief ausgebildet in engen Bogenscheiteln oder bei Anschneiden des Tertiärs</li> <li>• starke Versandungen und Verlandungen in Altläufen</li> <li>• starke Versandung im Bereich der Stromspaltung in Waal und Nederrijn</li> <li>• Gleithänge mit Flutrinnen, ebenso Bänke und Inseln mit Flutrinnen; sind häufig stromabwärts mit Wasser erfüllt</li> </ul>

Stromabschnittstyp	Stromabschnittstyp I	Stromabschnittstyp II	Stromabschnittstyp III	Stromabschnittstyp IV	Stromabschnittstyp V
<b>Querprofil</b>					
<b>Querprofil</b>	Naturprofil; der gesamte Niederrhein ist von Natur aus sehr flach und sehr breit mit unregelmäßig ausgebildeten und buchtenreichen Ufern; der Strom besitzt zahlreiche Untiefen, so dass bei geringen Abflüssen eine Überquerung an Furten möglich ist die Ufer werden von Uferwällen begleitet, die nach Norden allmählich an Mächtigkeit gewinnen Prallhang-Gleithang-Profile und Furtprofile herrschen vor und wechseln einander ab				
			Bergsenkungsseen im Norden	Bergsenkungsseen	Bergsenkungsseen im Süden
<b>Breitenvarianz</b>	~ 1: 3	~ 1: 5	~ 1: 18	~ 1: 23	~ 1: 10
<b>Einschnittstiefe</b>	~ 100 – 300 cm, im Bereich der Sohlensenkungen kann sie größer sein				
<b>Profiltiefe</b>	vorherrschend sehr breit und sehr flach, Profiltiefe schwankt von 0 bis zu max. ~ 20 m, die durchschnittliche Profiltiefe liegt bei ca. 4 m, im Bereich der Sohlensenkungen kann sie größer sein				
	sehr flach durchschnittl. Profiltiefe: ~ 3 m	sehr flach durchschnittl. Profiltiefe: ~ 3,75 m	sehr flach durchschnittl. Profiltiefe: ~ 4,5 m	sehr flach durchschnittl. Profiltiefe: ~ 3,75 m	sehr flach durchschnittl. Profiltiefe: ~ 4,15 m
<b>Uferstruktur</b>					
<b>Uferstruktur</b>	<p>Naturufer unregelmäßige Ufergestalt: starke Uferabbrüche, vor allem an Prallhängen steil und vegetationsfrei (Steilwände) weite, tief einspringende Uferbuchten laterale Erosion (Uferunterspülungen, Uferabsackungen; Uferzurückverlegungen) Ufervorsprünge Flachwasserzonen weit vortretende Landzungen vor Gleitufern Flutrinnenbildung über flach geneigten Gleithängen Uferwälle besondere Uferstrukturen wie Sturzbäume oder Totholz- und Treibselansammlungen</p> <p>am Oberen Niederrhein herrschen steile Uferkanten vor, am Unteren Niederrhein sind im Allgemeinen sehr geringe Uferhöhen vorhanden</p> <p>bei lateraler Erosion der Niederterrassenränder oder der Unteren Mittelterrasse sehr hohe Steilufer, stark abfallend</p> <p>Felsprallhänge / extrem hohe Steilufer bei lateraler Erosion der devonischen Schichten sowie der vulkanischen und vulkanogen-sedimentären Gesteine; bis zu ~ 200 m hoch (Drachenfels) bei lateraler Erosion der Stauchmoränen und Sander extrem hohe Steilufer; ~25 - ~70 m hoch durch Lateralerosion am Fuß mit nachbrechendem Ufermaterial (z.B. Fürstenberg, Eltenberg)</p>				

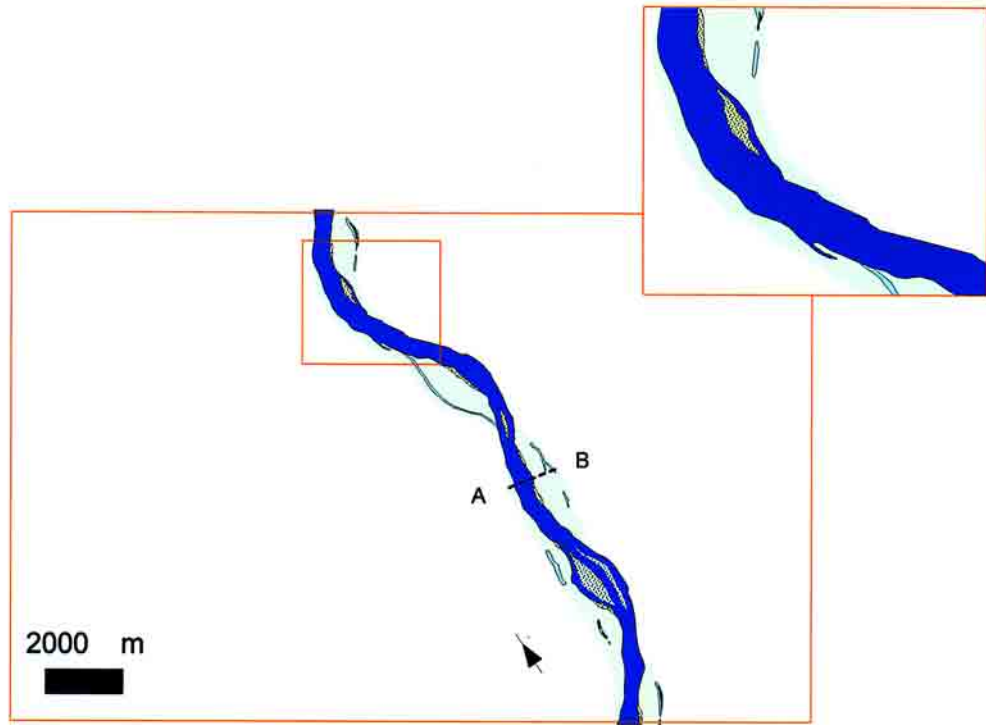
Stromabschnittstyp	Stromabschnittstyp I	Stromabschnittstyp II	Stromabschnittstyp III	Stromabschnittstyp IV	Stromabschnittstyp V
<b>Aue</b>					
<b>Ausuferungscharakteristik</b>	<p>flächenhafte Überflutungen kleinräumig stagnierende Überflutungen</p> <p>im nördlichen Bereich dieses Stromabschnittes sind bei Hochwasser auch Überprägungen der Hochflutrinnen in den Niederterrassen möglich</p>	<p>flächenhafte Überflutungen kleinräumig stagnierende Überflutungen</p> <p>Überflutung der Hochflutrinnen in den Niederterrassen</p>	<p>flächenhafte und langanhaltende Überflutungen</p> <p>kleinräumig stagnierende Überflutungen</p> <p>Überflutung der Hochflutrinnen in den Niederterrassen</p>	<p>sehr großflächige Ausuferungen bedingt durch großräumige Geländedepressionen / Seenlandschaft</p> <p>flächenhafte und langanhaltende, kleinräumig stagnierende Überflutungen</p> <p>Überflutung der Hochflutrinnen in den Niederterrassen</p> <p>Überflutung Niersgebiet / Issumer Fleuth (bis ins Einzugsgebiet der Maas) bei extremen Hochwasserereignissen möglich</p>	<p>flächenhafte Überflutungen, die sich vor allem auf die zahlreichen Altläufe verteilen</p> <p>kleinräumig stagnierende Überflutungen</p> <p>Überflutung der Hochflutrinnen in den Niederterrassen</p> <p>Überflutung Oude IJssel und Kranenburger Bruch bei extremen Hochwasserereignissen möglich</p>
unbeeinträchtigte Ausuferungshäufigkeit, ungehinderte Auenüberflutung, flächenhafte Überflutungen im Winter und Frühjahr					
<b>Formenschatz der Aue</b>  (s. Abb. 22 und 23)	<p>der enge Talboden lässt nur einen schwach ausgebildeten Formenschatz zu</p> <p>vereinzelt: Flutrinnen, Flutmulden Uferwälle</p> <p>steile und teilweise vegetationsfreie Böschungen an den Ufern</p> <p>Strudellöcher</p> <p>Qualmgewässer</p> <p>Felshänge</p> <p>Randsenken vor den Niederterrassenrändern</p> <p>Dünen</p>	<p>der schmale Talboden lässt nur einen gering ausgebildeten Formenschatz zu</p> <p>teilweise: Flutrinnen, Flutmulden Uferwälle</p> <p>steile und teilweise vegetationsfreie Böschungen an den Ufern</p> <p>Strudellöcher</p> <p>Qualmgewässer</p> <p>Randsenken vor den Niederterrassenrändern</p> <p>Auenterrassen</p> <p>Altarme, Altwasser verschiedener Generationen</p> <p>Dünen</p>	<p>der aufgeweitete Talboden besitzt einen vielfältig ausgebildeten Formenschatz, ausgeprägte Formen</p> <p>häufig: Flutrinnen, Flutmulden Uferwälle</p> <p>steile und teilweise vegetationsfreie Böschungen an den Ufern</p> <p>Strudellöcher</p> <p>Qualmgewässer</p> <p>Randsenken vor den Niederterrassenrändern</p> <p>Auenterrassen</p> <p>Altarme, Altwasser verschiedener Generationen</p> <p>Dünen</p>	<p>der breite Talboden besitzt einen vielfältig ausgebildeten Formenschatz, ausgeprägte Formen</p> <p>häufig: Flutrinnen, Flutmulden Uferwälle</p> <p>steile und teilweise vegetationsfreie Böschungen an den Ufern</p> <p>Strudellöcher</p> <p>Qualmgewässer</p> <p>Randsenken vor den Niederterrassenrändern</p> <p>Auenterrassen</p> <p>Altarme, Altwasser verschiedener Generationen</p> <p>Dünen</p>	<p>der sehr breite Talboden besitzt einen vielfältig ausgebildeten, stark ausgeprägten Formenschatz, größere Formen möglich</p> <p>sehr häufig: Flutrinnen, Flutmulden Uferwälle,</p> <p>starke Uferwallbildungen (Kies, zunehmend Sand und Schluff) im Stromspaltungsbereich Waal / Nederrijn</p> <p>steile und teilweise vegetationsfreie Böschungen an den Ufern</p> <p>Strudellöcher</p> <p>Qualmgewässer</p> <p>Randsenken vor den Niederterrassenrändern</p> <p>Auenterrassen</p> <p>Altarme, Altwasser verschiedener Generationen</p>

Stromabschnittstyp	Stromabschnittstyp I	Stromabschnittstyp II	Stromabschnittstyp III	Stromabschnittstyp IV	Stromabschnittstyp V
<b>Formenschatz der Aue</b> (Fortsetzung)			Niedermoore in der Aue, zumeist in Randsenken Aufschüttungen / Halden im Norden Seen, flach überschwemmte Gebiete, Moorbildungen, vernässte Standorte, insuläre Niederterrassenflächen	Niedermoore in der Aue, zumeist in Randsenken und Seenähe Aufschüttungen / Halden Seen, flach überschwemmte Gebiete, Moorbildungen, vernässte Standorte, insuläre Niederterrassenflächen Geländeabstufungen infolge aneinandergewachsener Sohlenstrukturen Stauchmoränen und Sander (im Westen)	Dünen Niedermoore in der Aue, zumeist in Randsenken Aufschüttungen / Halden im Süden Seen, flach überschwemmte Gebiete, Moorbildungen, vernässte Standorte, insuläre Niederterrassenflächen Geländeabstufungen infolge aneinandergewachsener Sohlenstrukturen
<b>Substratdiversität und –verteilung Aue</b>	in der Aue dominieren sandig-lehmige Stromablagerungen über Kieseln, in Rinnen und Niederungen treten die sandig-lehmigen Stromablagerungen in Vergesellschaftung mit Gleyen, Anmoorgleyen und Niedermooren auf über trockeneren Standorten Parabraunerden Flutrinnen in der Aue und Hochflutrinnen in Niederterrassen sind mit Auenlehmauflagen bedeckt bei Anschneiden der Auensubstrate durch Lateralerosion können große Mengen an feinkörnigem Material freigesetzt werden, die sich teilweise stromabwärts im Strombett und am Ufer akkumulieren; schlammgeprägte Pionierstandorte Uferwälle am Gleithang weisen geringere Korngrößendurchmesser auf als am Prallhang, beide weisen zum gewässerfernen Bereich zunehmend kleinere Korngrößen auf				
	ca. 1 - 2 m mächtige Talbodensedimente über den Kieseln aus:  vorherrschend Auenlehm (Schluff und Ton, sandig, z.T. kalkhaltig, stellenweise unter geringmächtigem Auensand)  begleitend Auensand (Feinsand bis Mittelsand, schluffig, z.T. unter geringmächtigem Schluff)	ca. 1 - 2 m mächtige Talbodensedimente über den Kieseln aus:  vorherrschend Auensand (Feinsand bis Mittelsand, schluffig, z.T. kalkhaltig, z.T. unter geringmächtigem Schluff)  begleitend Auenlehm (Schluff und Ton, sandig, z.T. kalkhaltig, stellenweise unter Auensand)	ca. 1 - 2 m mächtige Talbodensedimente über den Kieseln aus:  vorherrschend Auensand (Feinsand bis Mittelsand, schluffig, z.T. kalkhaltig, unter geringmächtigem Schluff)  begleitend Auenlehm (Schluff und Ton, sandig, z.T. kalkhaltig, stellenweise unter Auensand)  lokal Auenkies (Kies, sandig, schluffig, unter geringmächtigem Auensand und Auenlehm)	ca. 1 - 2 m mächtige Talbodensedimente über den Kieseln aus: (ungefähr gleichanteilig):  Auenlehm (Schluff und Ton, sandig, z.T. kalkhaltig, stellenweise unter geringmächtigem Auensand)  Auensand (Feinsand bis Mittelsand, schluffig, z.T. kalkhaltig, z.T. unter geringmächtigem Schluff)	ca. 1 - 2 m mächtige Talbodensedimente über den Kieseln aus:  vorherrschend Auenlehm (Schluff und Ton, sandig, z.T. kalkhaltig, stellenweise unter geringmächtigem Auensand)  begleitend Auensand (Feinsand bis Mittelsand, schluffig, z.T. kalkhaltig, z.T. unter geringmächtigem Schluff)  lokal ausgedehnte Uferwallbildungen (Schluff, sandig und Sand, schluffig)



**Abb. 17: Stromabschnittstyp I:**  
Vorherrschend unverzweigter,  
gestreckter, kiesgeprägter Strom des Tieflandes

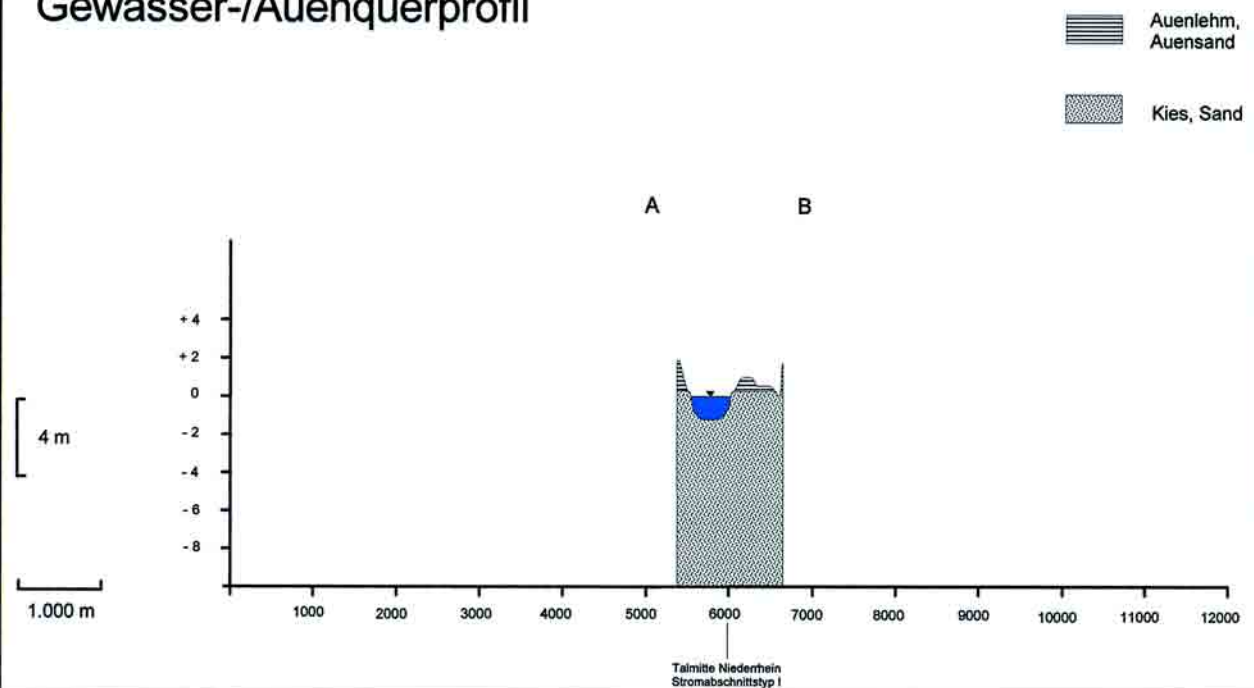
**Laufform**



- Fließgewässer
- Rinne
- Stillgewässer
- Kiesbank\*
- Insel
- Aue

\* vorherrschendes Größtkorn

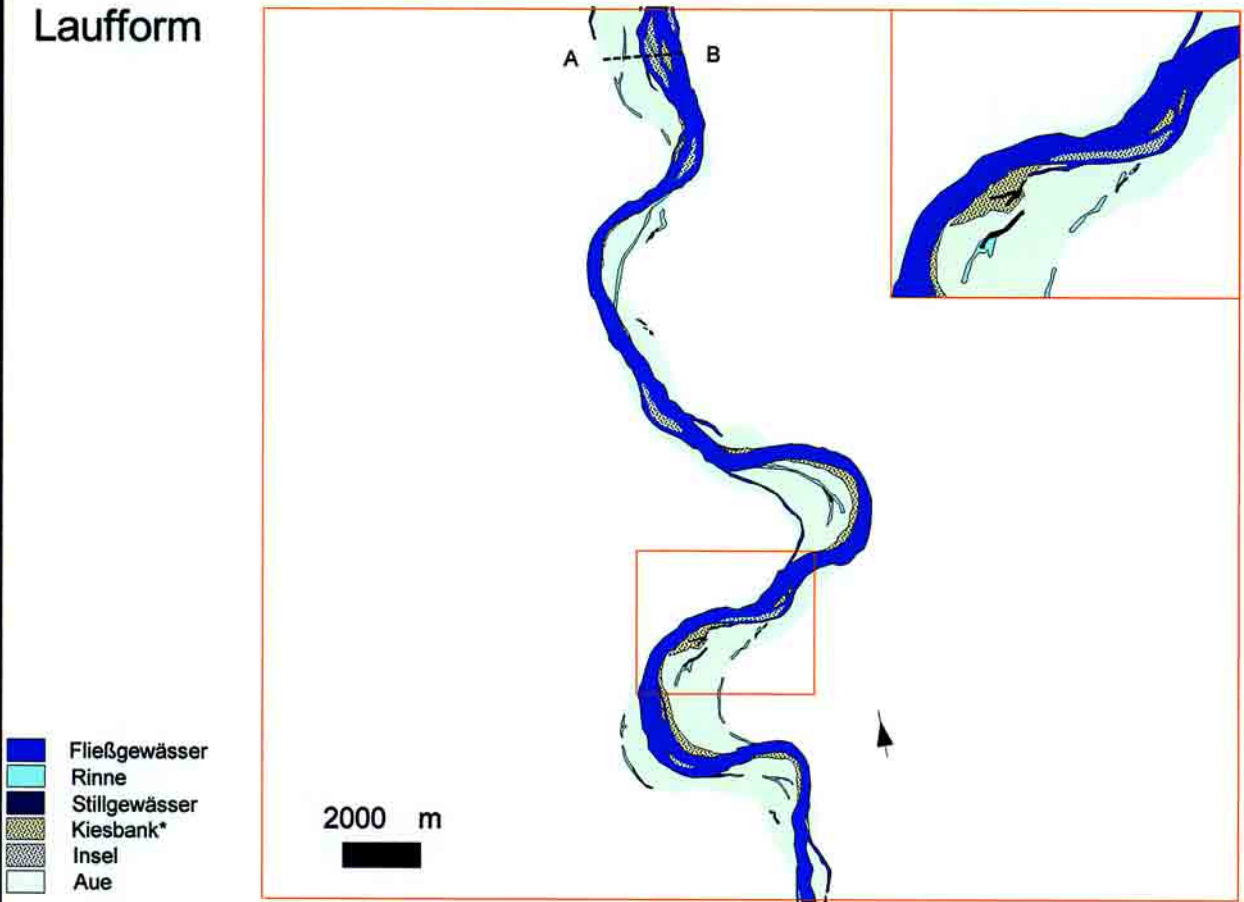
**Gewässer-/Auenquerprofil**



Talmitte Niederrhein  
Stromabschnittstyp I

**Abb. 18: Stromabschnittstyp II:**  
 Vorherrschend unverzweigter,  
 schwach gewundener, kiesgeprägter Strom des Tieflandes

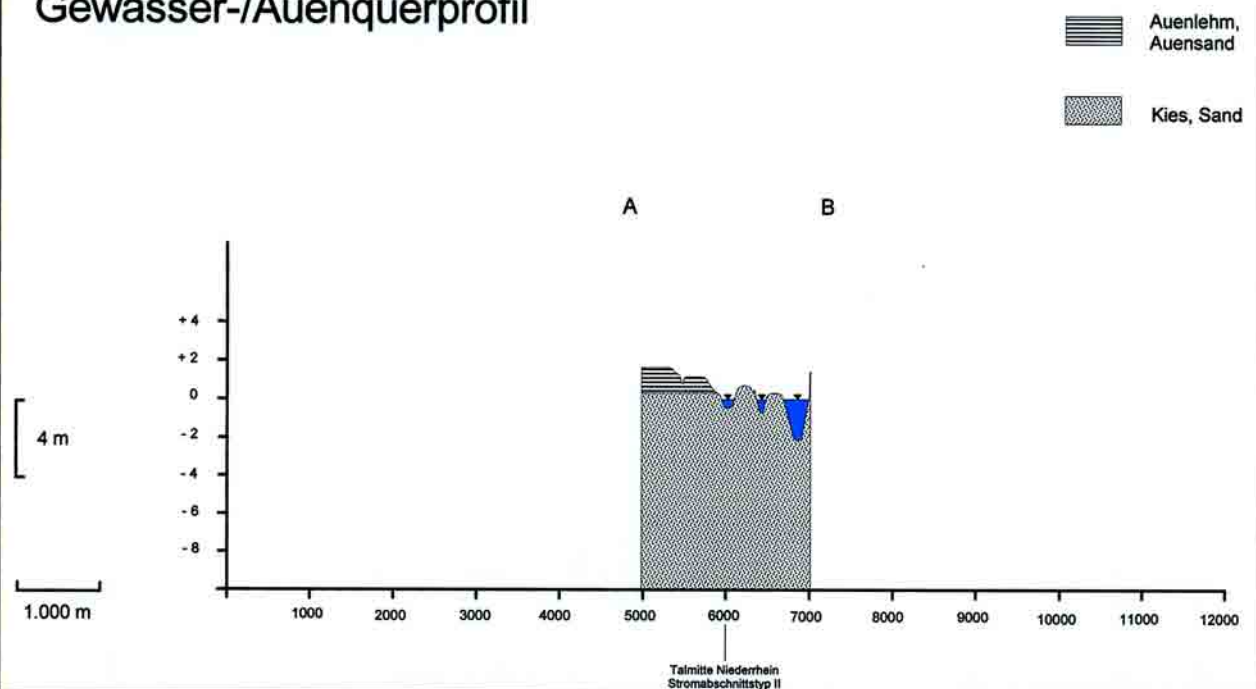
**Laufform**



- Fließgewässer
- Rinne
- Stillgewässer
- Kiesbank\*
- Insel
- Aue

\* vorherrschendes Größtkorn

**Gewässer-/Auenquerprofil**

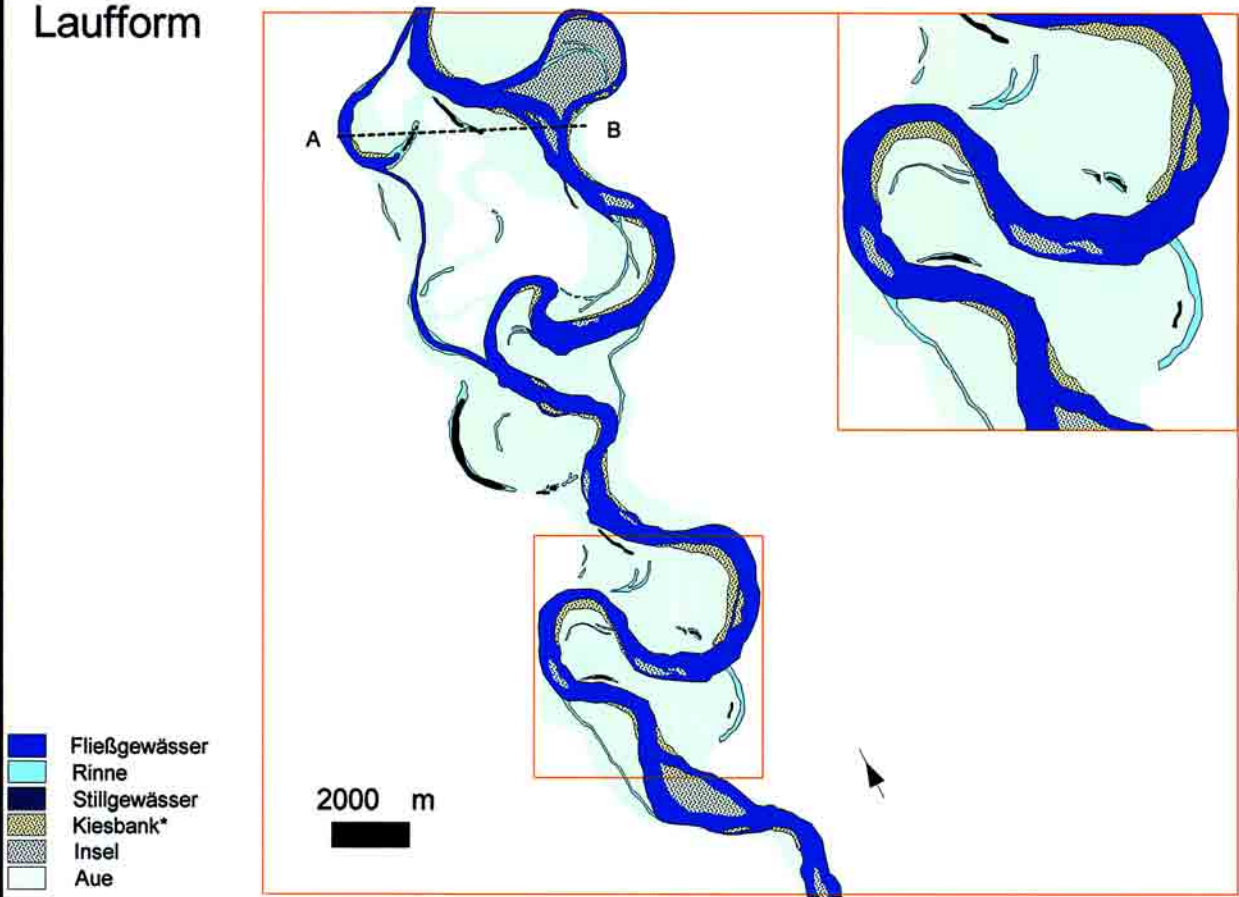


- Auenlehm, Auensand
- Kies, Sand

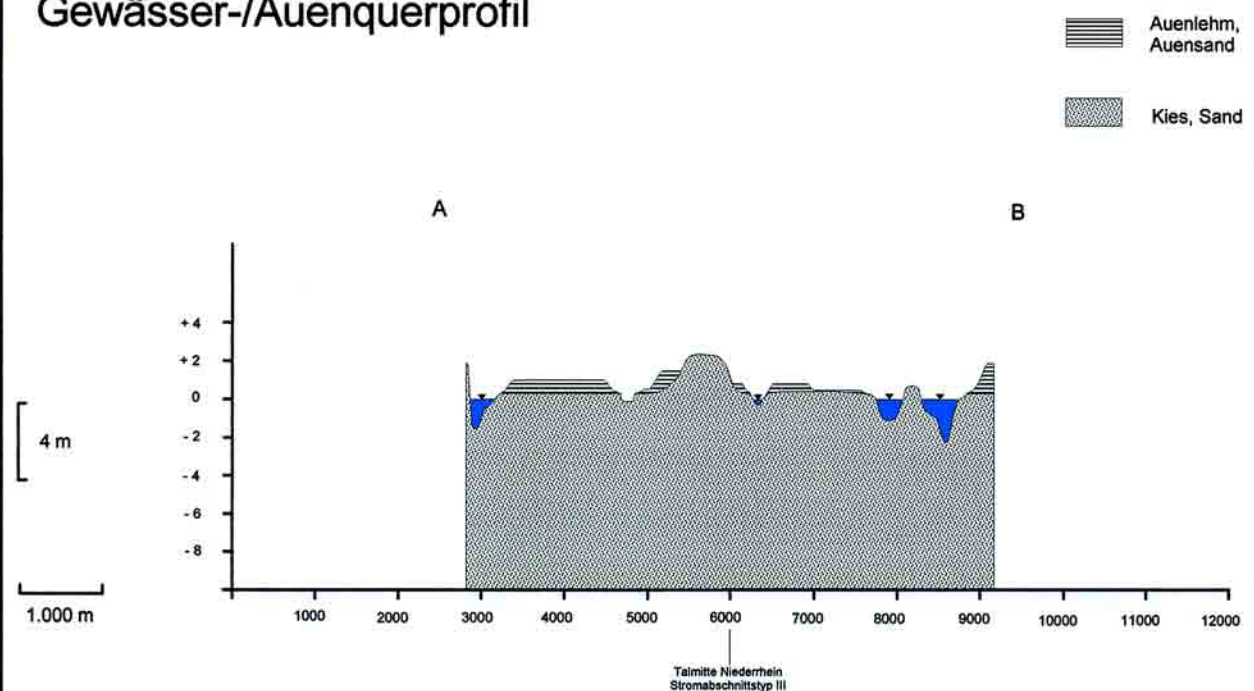
Talmitte Niederrhein  
 Stromabschnittstyp II

**Abb. 19: Stromabschnittstyp III:**  
 Überwiegend unverzweigter, teilweise mit einzelnen Nebengerinnen, mäandrierender, kiesgeprägter Strom des Tieflandes

**Laufform**



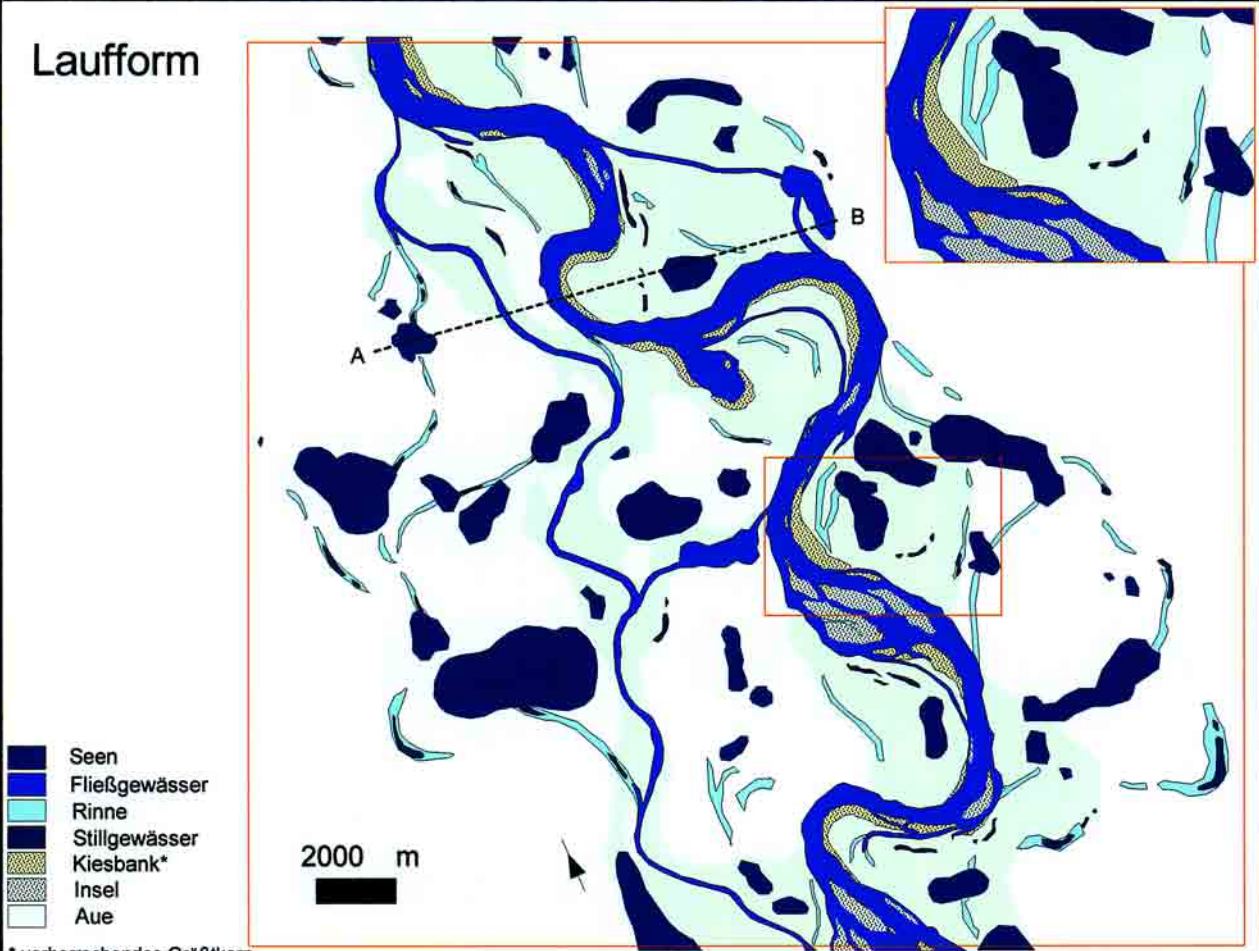
**Gewässer-/Auenquerprofil**



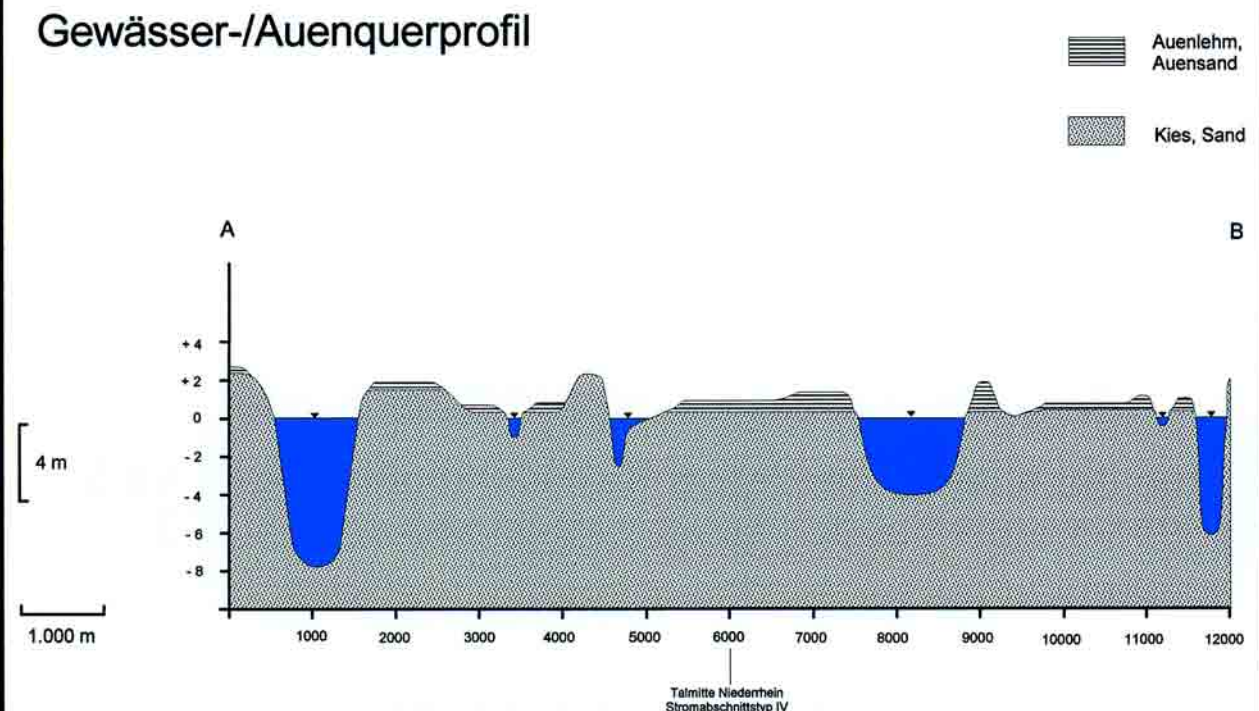
**Abb. 20: Stromabschnittstyp IV:**

teilweise verzweigter, nebengerinnereicher, mäandrierender, kiesgeprägter Strom des Tieflandes mit bergbaulich bedingter Seenlandschaft

**Laufform**

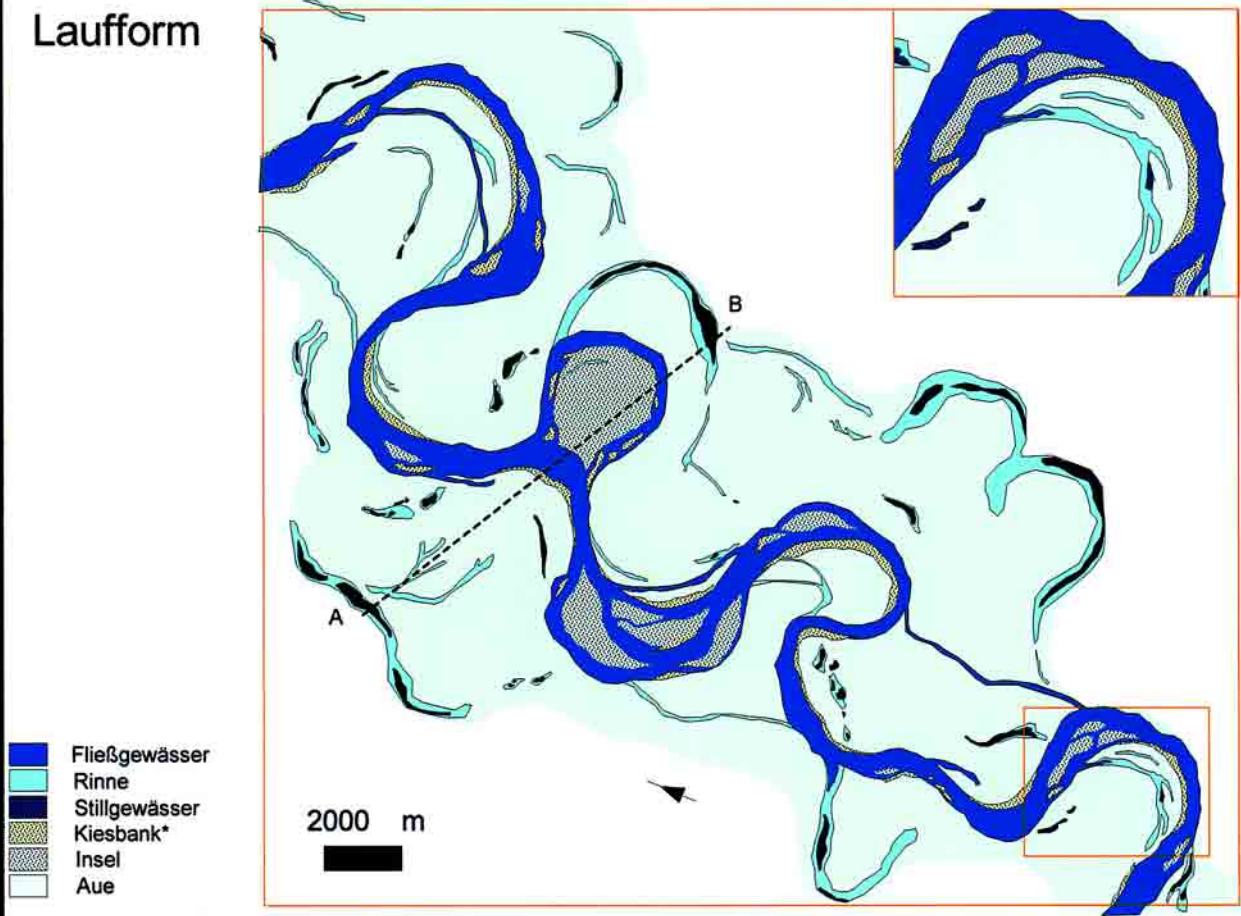


**Gewässer-/Auenquerprofil**



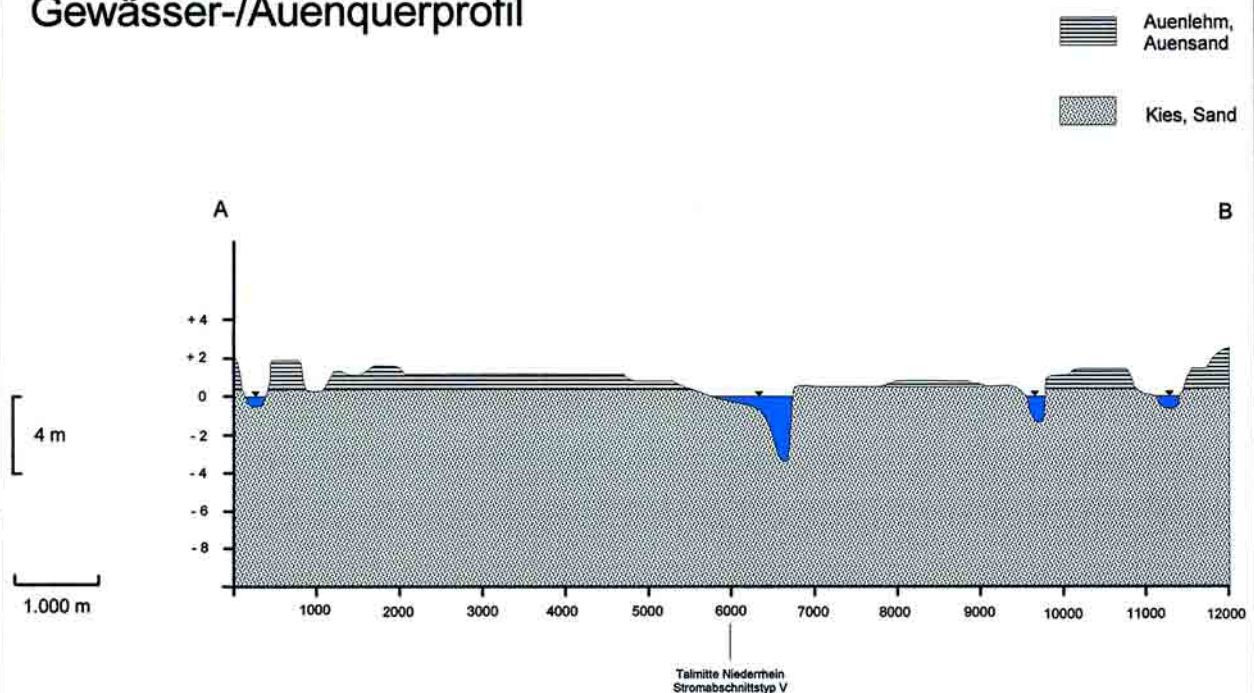
**Abb. 21: Stromabschnittstyp V:**  
 Häufig verzweigter, nebengerinnereicher,  
 mäandrierender, kiesgeprägter Strom des Tieflandes

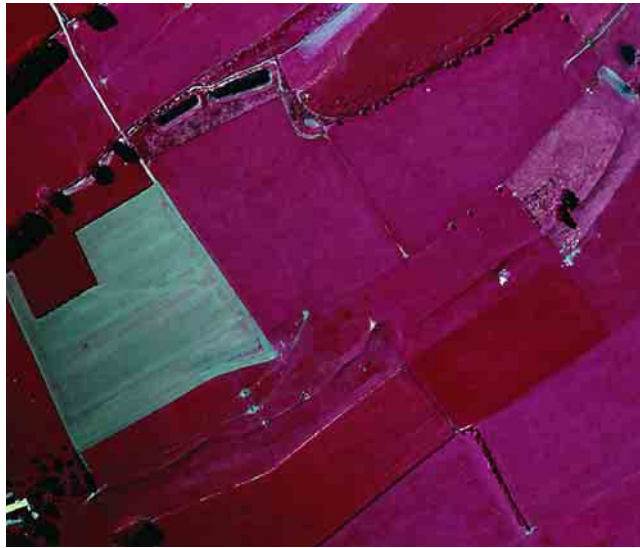
**Laufform**



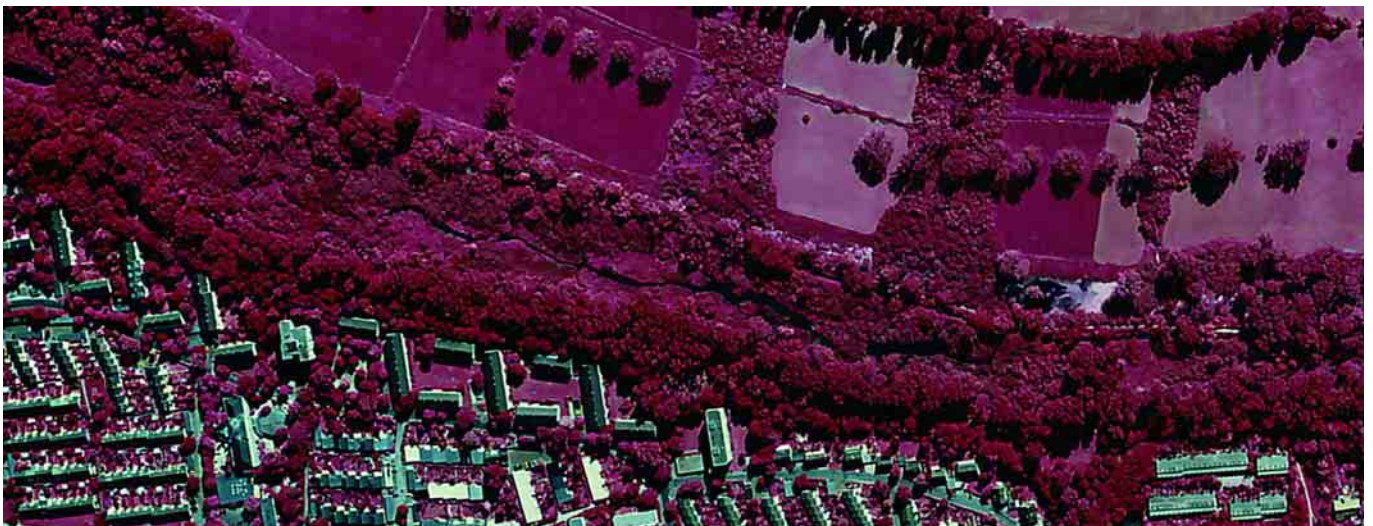
\* vorherrschendes Größtkorn

**Gewässer-/Auenquerprofil**





*Abb. 22: Flutrinnen in der Rheinaue.*



*Abb. 23: Randsenken vor höher liegenden Niederterrassenrändern bilden vernässte Standorte in der Rheinaue. Häufig durchfließen kleinere Nebengewässer vor der Einmündung in den Strom diese Altrheinstrukturen.*

### 3.3 Heutige potenziell natürliche Vegetation

Die heutige potenziell natürliche Vegetation wird in charakteristischer Weise von den besonderen standörtlichen Verhältnissen in der Rheinaue bestimmt. Schwankende Wasserstände des Stromes und Grundwassers, Dauer sowie Zeitpunkt von Überflutungen und Trockenfallen, Trockenperioden, häufige Stromstrichverlagerungen, Sedimentationsverhalten, Strömungsgeschwindigkeiten, Bodentyp, Nährstoffgehalt sowie Höhenlage (Geländegestalt) bedingen verschiedenartigste Standorte und Ausprägungen der Ufer- und Auenvegetation (LUA NRW 2001 c, d). Die natürliche Auenlandschaft zeichnet sich durch eine große Struktur- wie Biotopvielfalt aus, bei der sich Flora und Fauna an die Extremsituationen in der Aue angepasst haben.

Höhe und Dauer der Überflutungen üben einen limitierenden und selektierenden Einfluss auf den Vegetationsbestand der Rheinniederung aus. Die Laichkrautzone besitzt eine Überflutungsdauer von 300 bis 360 Tagen, die Überflutungsdauer der Röhrichtzone beträgt 150 bis 300 Tagen. Die beiden Waldgesellschaften Weichholz- und Hartholzauenwälder bilden den Auenwald, die flächenmäßig bedeutendste Pflanzengesellschaft der ungestörten Aue. Mit seinen Pionier- und Sukzessionsstadien bedeckt er fast den gesamten terrestrischen Bereich der Aue. Die in tief liegenden Bereichen der Rheinniederung verbreitete Weichholzaue wird an 30 bis zu 200 Tagen im Jahr überflutet (Abb. 24), für die anschließende Hartholzaue an höheren Standorten ist eine Überflutungsdauer von weniger als 30 Tagen jährlich typisch (BRUNOTTE et al. 1994; TITTIZER & KREBS 1996; IHBEN 2003).



Abb. 24: Unter anderem prägen Röhrichte und Weidengebüsche die kies- und sandreichen Auenrohböden am Ufer.

Die Überflutungstoleranz der Gehölze kann allerdings – je nachdem, ob die Überschwemmungen vorwiegend im Winter oder während der Vegetationszeit stattfinden, ob das Wasser steht oder fließt und ob es zum kompletten Sauerstoffverlust im Wurzelraum kommt – erheblich variieren.

Auch naturbedingt offen, gehölzfreie Standorte sind in der Aue möglich. Infolge der kontinuierlichen Stromdynamik und insbesondere nach Hochwassern werden wiederholt offene, unbewachsene Rohböden geschaffen. Eisgang, lang anhaltende Hochwasser, Unwetter, Großherbivore sowie Bibertätigkeit können zu Gehölzbeschädigungen und zu deren Absterben führen. Waldfreie Landschaftskomplexe bzw. natürliche Freiflächen sind auf Sand- und Kiesbänken, Uferwällen, Dünen, im Verlandungsbereich von Altwassern sowie desweiteren in Moorgebieten und an Seen anzutreffen; hier ersetzen Schilfröhrichte und Seggenrieder großflächig die Auenwald-Gehölzsäume.

In Bereichen mit hoch anstehendem Grundwasser finden sich häufig Niedermoore, die beständig wasserdurchtränkt sind und vor allem in Randsenken an Terrassenkanten, Flutrinnen bzw. -mulden oder an Altwassern vorkommen (Abb. 25). Bruchwälder besiedeln die entstandenen nährstoffreichen Torfe. Wegen der langen Überstauung ist der Wurzelraum in den Bruchwäldern nahezu sauerstofffrei, jedoch nährstoff- und stickstoffreich (IHBEN 2003; LUA NRW 2001 d; WERNEKE et al. 2000) (Abb. 26).

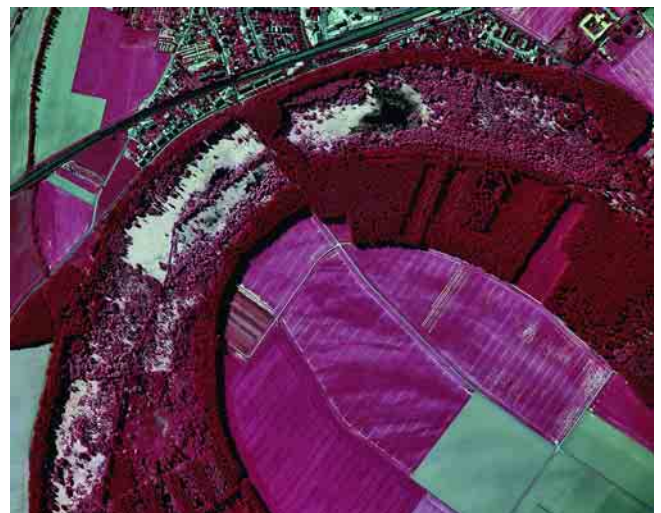


Abb. 25: Altwasser werden u.a. durch hoch anstehendes Grundwasser, Bruchwälder sowie waldfreie Standorte geprägt.



Abb. 26: Erlenbruchwald in einem verlandetem Altrheinlauf.

Auch Neophyten und Neozoen sind Bestandteil des Leitbildes, sofern sie sich als beständig fortpflanzungs- und konkurrenzfähig erweisen.

Die im Folgenden beschriebenen kennzeichnenden Vegetationseinheiten sind für die Gewässerstruktur-gütekartierung des Rheins in Nordrhein-Westfalen ausgewiesen worden (IHBEN 2000). Sie besitzen keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Für nähere Ausführungen zur potenziell zu erwartenden Vegetation des Niederrheins wird an dieser Stelle insbesondere auf die Arbeit von VAN DE WEYER verwiesen, die bezeichnende Pflanzen, Standortbedingungen, beispielhafte rezente Vorkommen und Referenzabschnitte für die leitbildkonforme potenziell natürliche Ufer- und Auenvegetation des Rheins in Nordrhein-Westfalen behandelt (LUA NRW 2002 b). Mit den im Leitbild auftretenden Biotoptypen und Standortbedingungen beschäftigen sich ebenfalls folgende Arbeiten: IKS 2001 b, LUA NRW 2001 c & d.

### **Leitarten bzw. -gesellschaften der Ufer- und Auenvegetation des Niederrheins:**

#### **dominant:**

#### **Hartholzau**

Stieleichen-Ulmenwald (*Quercus-Ulmetum*) auf Braunen Auenböden, die nur episodisch überflutet werden.

- Bäume:** Stieleiche (*Quercus robur*), Feldulme (*Ulmus minor*), Esche (*Fraxinus excelsior*), Flatterulme (*Ulmus laevis*), Feldahorn (*Acer campestre*)
- Sträucher:** Eingrifflicher Weißdorn (*Crataegus monogyna*), Zweigrifflicher Weißdorn (*Crataegus laevigata*), Pfaffenhütchen (*Euonymus europaeus*), Rote Johannisbeere (*Ribes rubrum*), Bluthartriegel (*Cornus sanguinea*), Schwarzer Holunder (*Sambucus nigra*)
- Krautschicht:** Moschuskraut (*Adoxa moschatellina*), Waldrebe (*Clematis vitalba*), Große Brennessel (*Urtica dioica*), Mittlerer Lerchensporn (*Corydalis solida*), Hopfen (*Humulus lupulus*), Scharbockskraut (*Ranunculus ficaria*), Hohler Lerchensporn (*Corydalis cava*), Aronstab (*Arum maculatum*), Gudelreben-Stauden-Gesellschaften (*Glechometalia hederaceae*), Echte Nelkwurz (*Geum urbanum*), Riesen-Schwingel (*Festuca gigantea*), Goldnessel (*Lamium maculatum*), Gemeines Hexenkraut (*Circaea lutetiana*), Wald-Zwenke (*Brachypodium sylvaticum*), Kratzbeere (*Rubus caesius*)
- Lianen:** Efeu (*Hedera helix*), Waldgeißblatt (*Lonicera periclymenum*), Gefleckte Taubnessel (*Lamium maculatum*) und Knoblauchrauke (*Alliaria petiolata*)

#### **Weichholzau**

Silberweidenwald (*Salicetum albae*) und Mandelweiden-Korbweidengebüsch (*Salicetum triandro-viminalis*) auf kies- und sandreichen Auenrohböden, die häufig und langanhaltend überflutet werden.

- Bäume:** Silberweide (*Salix alba*), Bruchweide (*Salix fragilis*), Fahlweide (*Salix rubens*), Schwarzpappel (*Populus nigra*)
- Sträucher:** Purpurweide (*Salix purpurea*), Mandelweide (*Salix triandra*), Korb- oder Hanfweide (*Salix viminalis*)
- Krautschicht:** Wasserdarm (*Myosoton aquaticum*), Rohrglanzgras (*Phalaridetum arundinaceae*), Große Brennessel (*Urtica dioica*), Kratzbeere (*Rubus caesius*), Kletten-Labkraut (*Galium aparine*), Knoblauchrauke (*Alliaria petiolata*), Bittersüßer Nachtschatten (*Solanum dulcamara*), Zaunwinde (*Calystegia sepium*), Gemeines Rispengras (*Poa trivialis*)



**kleinflächig:**

**Laichkrautzone** im und am Wasser: Wasserpflanzengesellschaften (z.B. Potamogetonum lucentis, Potamogetonum trichoides), Wasserfeder-Gesellschaft (Hottonietum palustris), Gesellschaften der Charetea, wie z.B. Armleuchteralgen-Rasen (Charetea fragilis), Spreizhahnenfuß-Gesellschaft (Ranunculetum circinati)

**Röhrichtzone** entlang des Ufers mit Rohrglanzgras-Röhricht (Phalaridetum arundinaceae), Staudenfluren, Großröhricht-Gesellschaften (Phragmitetalia), Schlankseggenried (Caricetum gracilis)

**Pioniergesellschaften** feuchter bis nasser Standorte (Chenopodion rubri, Bidention tripartitae)

**feuchte bis nasse Standorte** wie Randsenkenbereiche, Rinnensysteme, Altwasser sowie gefällearme Abschnitte mit stagnierenden Überflutungen: Erlenbruchwälder (Carici elongatae-Alnetum medioeuropaeum), teilweise Walzenseggen-Erlenbruchwald auf nassen Anmoor- und Moorböden sowie Gleyböden, Wasserlinsen- und Schwimmblatt-Gesellschaften wie z.B. Seekannen-Gesellschaft (Nymphoidetum peltatae), Gesellschaft der Krebschere (*Stratiotes aloides*), Röhrichte (Phragmitetalia) wie Rohrglanzgras-Röhricht (Phalaridetum arundinaceae), Schilfröhricht (*Phragmites australis*), Wasserschwadenröhricht (Glycerietum maximae), Großseggenrieder (Magnocaricion), Pionierfluren feuchter bis nasser Standorte; Zweizahn-Gesellschaften (Bidentetalia tripartitae), z.T. auch Zwergbinsengesellschaften (Nanocyperion flavescens)

**trockene Standorte** auf ufernahen Kies- und Sandwällen, Binnendünen: Flechten (Lichenes), Gesellschaften der Sandtrockenrasen, amphibische Moosgesellschaften auf grobem Kies

**Quellfluren** bspw. im Bereich von Terrassenkanten durch fortdauernd austretendes Grundwasser

## 4 Beispiele für die Anwendung im Gewässerschutz

Das Leitbild nimmt als anwendungsorientierte Beschreibung des heutigen potenziell natürlichen Gewässerzustandes (LUA NRW 2001 d) sowohl in der wasserwirtschaftlichen Planung und Praxis als auch im Naturschutz eine elementare wie notwendige Stellung ein. Neben den bereits erwähnten Funktionen des Leitbildes (s. Kap. 1.2) gibt es als verbindlicher Verfahrensschritt zur Förderung der naturnahen Entwicklung von Fließgewässern leitbildspezifische Handlungsanweisungen im gesamten wasserwirtschaftlichen Planungs- und Umsetzungsprozess (MUNLV NRW 2002 & 2001; MURL NRW 1999). Ferner dient es der Identifizierung schutzwürdiger Strukturen und damit dem Erhalt naturraumtypischer Fließgewässer mit ihrem morphologischen Formenschatz und naturnahen Abflussgeschehen einschließlich standortgerechter Biozönosen. Defizitäre Strukturen können erkannt und verändert bzw. beseitigt werden, wenn die heutige potenziell natürliche Strukturvielfalt eines Fließgewässers bekannt ist.

### 4.1 Veränderungen in historischer Zeit

Das Ökosystem Strom setzt sich aus dem Fließgewässer und seiner Aue zusammen, sie bilden eine ökologische Einheit. Mit dem steigenden Nutzungsanspruch des Menschen erfolgte schrittweise eine Entkoppelung von Gerinnebett und Überflutungsraum, so dass die natürliche Vielfalt der Fließgewässer in den vergangenen Jahrhunderten vielfach verloren gegangen ist. Die folgenden Ausführungen geben einen kurzen Überblick über die umfangreichen **Strombaumaßnahmen** und ihre **Auswirkungen** speziell am Niederrhein:

Trotz zahlreicher bereits in historischer Zeit stattgefundener Entwässerungs- und Uferbefestigungsarbeiten, Kanal- und Deichbauten sowie dem Ausbau der Leinpfade (angelegte Wege entlang der Ufer, um Schiffe durch Zugtiere oder Menschen an Seilen ziehen zu können) konnte der Rhein bis ins 15. Jahrhundert seinen Gerinnegrundriss überwiegend frei gestalten.

Aus dem am Niederrhein bereits wohl im 10. Jahrhundert begonnenen, lokal begrenzten Deichbau erfolgte ab etwa 1500 n.Chr. der allmähliche Zusammenschluss zu einem geschlossenen Deichzug. Der regellose Verlauf des Deichsystems wies einen stark in der Breite variierenden Hochwasserabflussbereich auf. In der folgenden Zeit wurde dieses System von

Deichverbänden erhöht und zu stromparallelen Banndeichen ausgebaut (GELINSKY 1951; KHR 1993). Mit dem Übergang zu diesem Banndeichsystem verstärkte sich der Hochwasserabfluss beträchtlich.

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.

1711 brach der Oude Rijn (Verlauf des ehemaligen Deltaarmes Niederrhein) in die Waal ein und das alte Gewässerbett fiel trocken. Der 1707 für diese Situation angelegte Pannerdensche Kanal führt weiter stromabwärts dem Alten Niederrhein wieder Wasser zu, so dass die schiffbare Verbindung zu Arnheim aufrecht erhalten werden konnte. Die heutige Stromspaltung in Waal und Nederrijn und damit der Beginn des Rheindeltas ist seither vom Menschen künstlich angelegt (HOPPE 1970).

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. Neunzehn Inseln des Niederrheins wurden im Zuge dieser Regulierungsarbeiten mit dem Ufer verbunden, insbesondere um das Fahrwasser im verbleibenden Hauptstrom zu verbessern (KHR 1993).

Weitere Durchstiche wurden an der Oude Waal (1770), an der Büdericher und der Bislicher Insel (1788) und beim Grietherorter Mäanderbogen in Form des Griether Kanals (1819) durchgeführt (HOPPE 1970). Durch Strombegradigungen wurde die Lauflänge des Niederrheins insgesamt um ca. 23 km gekürzt.

Mit dem Auftreten der Dampfschiffahrt 1841 galt die Korrektur nicht mehr primär dem Uferschutz und der Landgewinnung, sondern der Stromlauf selbst sollte eine der Schiffahrt angemessene Tiefe, Breite und Begrenzung erhalten und eine schnelle Wasserabführung gewährleisten. 1851 wurde die Rheinstrombauverwaltung eingerichtet, die mit der systematischen Normierung des Niederrheins begann (KHR 1993). Als Regulierungsziel galt die Herstellung einer 150 m breiten Schiffahrtsrinne 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 (TITTIZER & KREBS 1996).

Gegen 1880 waren zahlreiche Buhnsysteme an die Korrektilenlinien 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 Rheins zur Bundeswasserstraße gilt im Wesentlichen auch heute noch als Soll-Zustand (Abb. 27).



Abb. 27: Durch anthropogene Eingriffe im Zuge der Strombaumaßnahmen angelandete, ehemalige Insel des Niederrheins.

Der Einfluss des Menschen auf den Niederrhein und seine Aue ist weit zurück zu datieren. Bereits gegen Ende des 13. Jahrhunderts waren die ursprünglichen Auenwaldbestände nahezu flächendeckend gerodet (IKSR 1998 b) und im Zuge der fortschreitenden Ausweitung landwirtschaftlicher Nutzflächen in eine Wiesenlandschaft umgewandelt worden. Die extensiv genutzten Wiesen wurden ab dem 18. Jahrhundert bis heute zu intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen, Siedlungs-, Verkehrs- und Industrieflächen sowie Rohstoffentnahmequellen (Sand, Kies, Steinkohle und Steinsalz) umgeformt.

Der Großteil natürlicher Überschwemmungsflächen des Rheins ist verloren gegangen, ebenso an seinen ausgebauten Nebengewässern. Die Laufverkürzung führte zu einem erhöhten Gefälle und einer gesteigerten Abflussgeschwindigkeit. Oberflächenversiegelungen, Abholzungen, Flurbereinigungen, Anbau von nicht bodendeckenden Fruchtarten etc. im Einzugsgebiet und auf ehemaligen Retentionsflächen verschärfen den Abfluss. Diese Faktoren bewirken eine

Verstärkung der Abflussspitzen und Beschleunigung der Hochwasserwelle.

Ab etwa 1800 bis um 1970 trat im Rhein durch stoffliche Einflüsse (u.a. ungereinigte und gereinigte Abwässer von Siedlungen, 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 Biozöten und Lebensgemeinschaften der Auen geführt (s. Abb. 28).



Abb. 28: Buhnenausbau bei Zons.

Da die Ufer befestigt wurden, können sich die Angriffskräfte des Rheins nur noch an der Gewässer- sohle auswirken. Anstelle der früheren Tendenz zur Seitenerosion ist die verstärkte Tiefenerosion getreten, die mit einiger Phasenverzögerung zu den wasserbaulichen Eingriffen eine Tieferlegung der Rheinsohle nach sich zog. Dieser Prozess wird von der Aufhöhung der Aue verstärkt, da hier überwiegend nur noch Sediment abgelagert statt abgetragen wird (WERNEKE et al. 2000). Kombiniert mit Trink- und Brauchwasserentnahmen führen diese Erscheinungen zu einem Absinken des Rheinwasserspiegels einhergehend mit einer Grundwasserabsenkung in der Rheinebene.

Auch die Feststofftransportverhältnisse sind massiv verändert. Durch Kiesentnahmen aus dem Strombett, Staustufenbau am Oberrhein, Uferbefestigungen (Abb. 29) und ausgebaute Nebengewässer mit Wehren



Abb. 29: Verbaute Ufer wie hier bei Leverkusen unterbinden eine Lateralerosion des Stromes vollständig.

und Talsperren herrscht ein Geschiebedefizit vor. Der Strom wird gezwungen, Geschiebe aus der eigenen Sohle aufzunehmen. Die Folge ist eine weitere Verschärfung der Sohlenerosion, die außerdem eine tiefer liegende Erosionsbasis für zufließende Nebengewässer bedingt.

Dem Geschiebedefizit wird durch Geschiebezugaben bei Iffezheim und am Unteren Niederrhein bei Wesel mit einem Pilotversuch zur Geschiebezugabe durch die Außenstelle Wesel der Wasser- und Schifffahrtsämter Köln und Duisburg-Rhein versucht, entgegenzuwirken.

Zusätzlich verstärken Bergsenkungen durch Steinkohle- und Steinsalzabbau die Sohlenerosion. Sie bewirken stellenweise eine weitere Versteilung des Gefälles sowie Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten und damit ein zuzügliches Eingraben in die Gewässer-sohle. Außerdem entstehen durch Absenkungen des Untergrundes und Reliefs veränderte Grundwasser- verhältnisse. Um den Grundwasseranstieg in diesen Gebieten zu verhindern, werden lokal gezielte Grundwasserableitungen durchgeführt.

Zur Kompensation der Bergsenkungen am Niederrhein ist der Bergbau seit Mitte der 70er Jahre verpflichtet, durch Verklappen von Bergematerial die Sohlaufrhöhung entsprechend der eintretenden Absenkungen herbeizuführen. Auch Vorland-, Bühnen-, Deckwerks- und Deichaufrhöhungen werden im Nachhinein getätigt. Ein Ausgleich für früher verursachte Senkungstrichter mit einem Sohlenvolumenverlust von rd. 10 Mio. m<sup>3</sup> erfolgte nicht, da der Ausgleich nicht rechtlich abgesichert war. Etwa seit 1976 steht die Sohlenstabilisierung (AG RHEINSOHLENEROSION 1997) mittels Sohlensicherung, Kolk- und

Bühnenverbau, Grundschwellen, Geschiebeumlagerungen und Stromsohlenufrhöhungen im Vordergrund. So ist es gelungen, in Duisburg Erosionsraten von 40 mm/Jahr bis Mitte der 60er Jahre auf 0 bis 10 mm/Jahr zu senken. Die Sohle bei Emmerich weist Erosionsraten von über 20 mm/Jahr auf (HSG NRW 2002). Die rezente Eintiefungsrate des Niederrheins liegt durchschnittlich bei 10 bis 20 mm jährlich. Im Vergleich dagegen lag die durchschnittliche Eintiefungsrate in den letzten 10.000 Jahren zwischen < 0,5 bis 1 mm pro Jahr, am Unteren Niederrhein bei < 0,5 mm pro Jahr (AG RHEINSOHLENEROSION 1997). Aufgrund der bis heute erfolgten Rheinsohlenerosion steht der tertiäre Untergrund der Niederrheinischen Bucht stellenweise oberflächennah unterhalb der Gewässersohle an. Gegenwärtig hat der Niederrhein bereits lokal die quartäre Talfüllung durchschnitten, so dass die tertiäre Unterlage erodiert wird. Die hohe Teritürlage kann die anthropogen ausgelöste, rezente Sohleneintiefung daher noch verstärken (GÖLZ 1987).

## 4.2 Gewässerstrukturgütekartierung

Die Gewässerstrukturgütekartierung des nordrhein-westfälischen Rheins wurde zu Beginn des Jahres 2001 durchgeführt. Neben den in erster Linie durch die Nutzung als Bundeswasserstraße und intensive Umlandnutzungen bedingten Defiziten der gegenwärtigen strukturellen Ausstattung ließen sich auch kleinräumig bessere Beurteilungen feststellen. Diese sind jedoch nur lokal auf kurze Uferabschnitte, vereinzelt vorhandene Uferstreifen oder das Gewässerumfeld beschränkt. Sie sind bei der Visualisierung aller Hauptparameter einschließlich Unterteilung in linkes und rechtes Ufer bzw. Gewässerumfeld sichtbar (vgl. Abb. 30). Dagegen fallen diese begrenzt hervorhebenswerten gewässerökomorphologischen Wertstrukturen, die auf das Entwicklungspotenzial des Niederrheins hinweisen, bei der Aggregation der Bewertungsergebnisse kaum ins Gewicht (LUA NRW 2001 e).

Am Hauptparameter Gewässerumfeld soll eine dieser kleinräumig positiven Gewässerstrukturgütebewertungen exemplarisch vorgestellt werden: Das Gewässerumfeld des Niederrheins unterliegt annähernd flächendeckend der intensiven Nutzung durch Siedlungs-, Verkehrs-, Industrie- oder landwirtschaftliche Nutzflächen. Die Aue ist zu großen Teilen durch Deiche von Überflutungen abgekoppelt, die Aus-

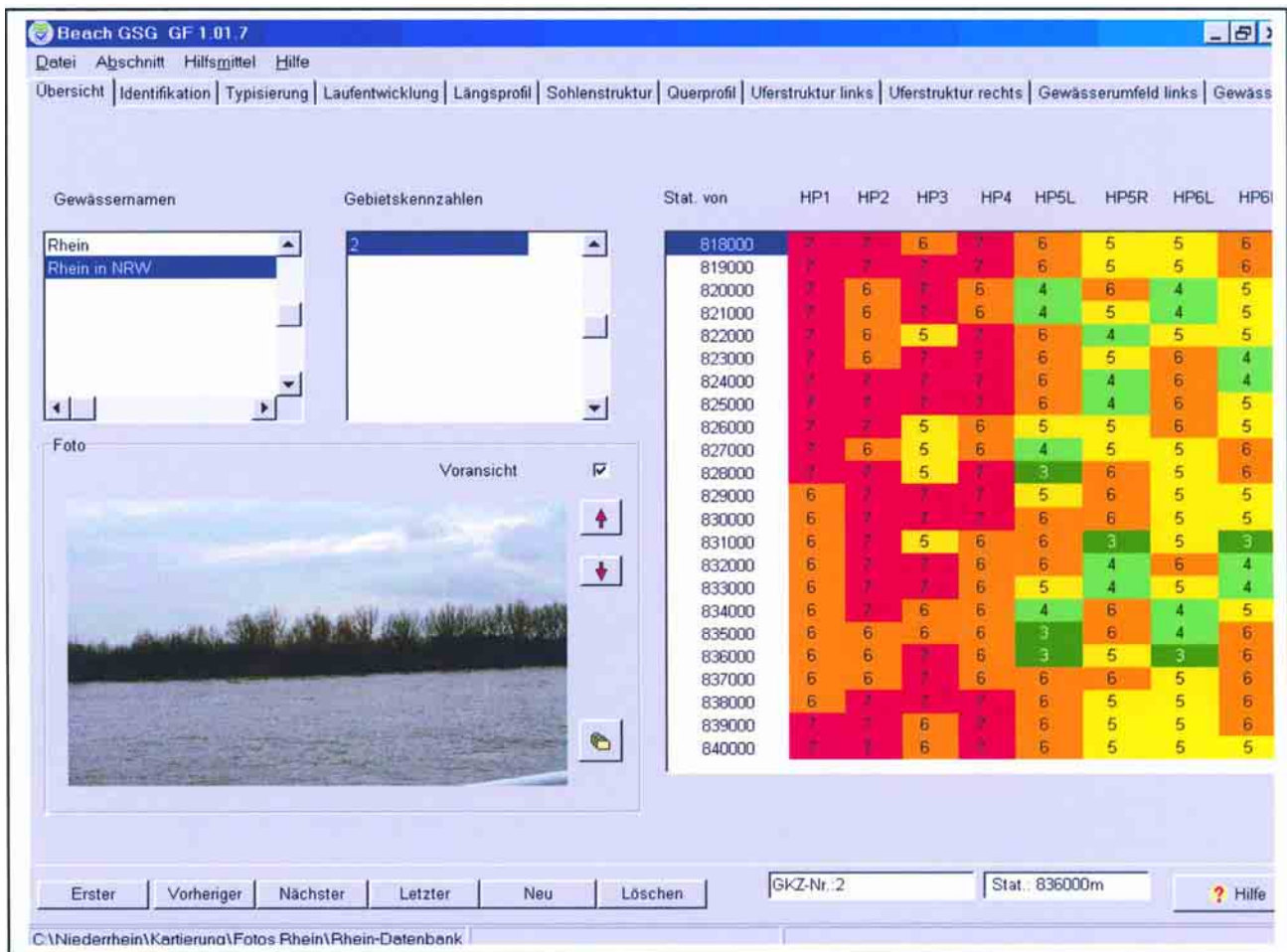


Abb. 30: Gewässerstrukturgütekartierung Rhein in NRW 2001 von Rheinkilometer 818 bis 840 (unterhalb Wesel bis unterhalb Rees) – Screenshot Beach-Programm –.

- HP1: Laufentwicklung
- HP2: Längsprofil
- HP3: Sohlenstruktur
- HP4: Querprofil
- HP5L: Uferstruktur links
- HP5R: Uferstruktur rechts
- HP6L: Gewässerumfeld links
- HP6R: Gewässerumfeld rechts

Tab. 3: Gewässerstrukturgüteklassen

Struktur-güteklasse	Grad der Beeinträchtigung	farbige Kartendarstellung	Einstufung des ökologischen Zustands gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie
1	unverändert	dunkelblau	sehr guter Zustand
2	gering verändert	hellblau	
3	mäßig verändert	grün	guter Zustand
4	deutlich verändert	hellgrün	mäßiger Zustand
5	stark verändert	gelb	mangelhafter Zustand
6	sehr stark verändert	orange	schlechter Zustand
7	vollständig verändert	rot	

uferungshäufigkeit des Stromes ist infolge der Eintiefung der Gewässersohle grundsätzlich „erheblich eingeschränkt“. Dennoch finden sich auentypische Strukturen in der Rheinniederung, zumeist Altwasser und kleinere Auenwaldrelikte. Insbesondere am Unteren Niederrhein kommen ausgedehnte Altarmstrukturen, die z.T. unter Naturschutz gestellt sind, oder feinreliefierte Auenbereiche (Besondere Umfeldstrukturen) vor. Wegen der erheblichen anthropogenen Einflüsse ist eine bessere Beurteilung des Hauptparameters jedoch kaum möglich. Zudem wird das Gewässerumfeld bei der Bewertung der funktionalen Einheiten zur Hälfte von einem Uferstreifen bestimmt. Diese sind jedoch lediglich in räumlich eng begrenzten Bereichen anzutreffen. Abb. 31 zeigt einen Uferstreifen bei Rheinkilometer 831 am unverbauten Gleitufer stromaufwärts Rees (Hübscher Grindort). Aufgrund des gut ausgebildeten Gewässerrandstreifens erhielt das rechtsrheinische Gewässerumfeld, in dessen Umland u.a. auentypische Biotope und besondere Umfeldstrukturen zu finden sind, an diesem Laufabschnitt insgesamt die Gewässerstrukturgüteklasse 3 „mäßig verändert“ (vgl. Tab. 3).

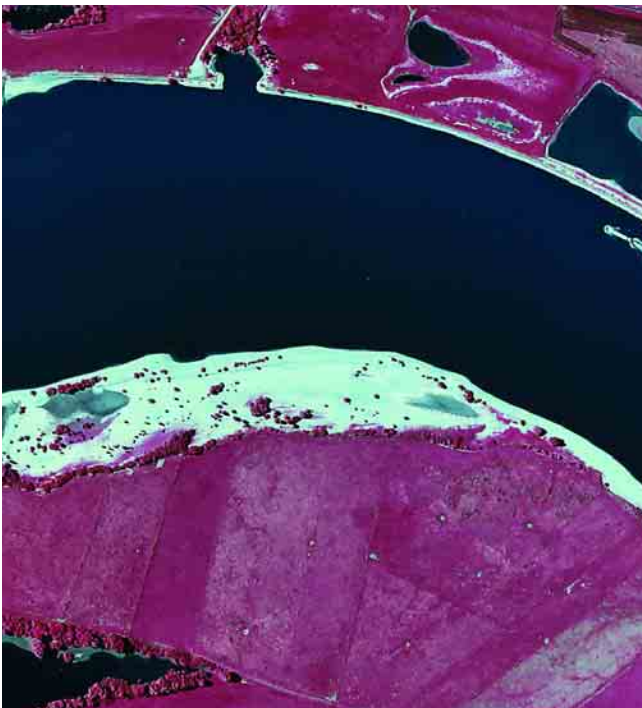


Abb. 31: Gleithang stromaufwärts Rees bei Rheinkilometer 831:  
Uferstreifen mit Wald und Sukzession.

Der Strom nimmt mit seiner Aue dank der z.T. erhaltenen auentypischen Strukturen eine wichtige Stellung für Natur- und Landschaftsschutz ein. Beträchtliche Teile des Niederrheins sind als Natur-

schutzgebiete und als Feuchtgebiete internationaler Bedeutung gemäß der RAMSAR-Konvention ausgewiesen (NATURSCHUTZZENTRUM IM KREIS KLEVE E.V. 1997).

### 4.3 Biotopverbund

Als weiteres Beispiel für die Anwendung des Leitbildes im Gewässerschutz ist der Biotopverbund am Rhein zu nennen. Neben dem landschaftsprägenden Charakter des Rheins und seiner Auen kommt vor allem seiner Biotop- und Vernetzungsfunktion ein hoher Stellenwert zu.

Auentypische Lebensräume und angepasste Lebensgemeinschaften sind in der Vergangenheit durch anthropogene Einwirkungen vernichtet bzw. erheblich verkleinert worden, so dass eine starke Biotopverinselung besteht. Heute steht die Wiederherstellung des Rheinökosystems als Lebensraum für Flora und Fauna mittels Vernetzung isolierter Biotopbestände entlang des Stromes und in der gesamten Rheinniederung sowie die Aufwertung der ökologisch wichtigen Gebiete im Mittelpunkt. Eine nachhaltige, naturnahe Entwicklung des Rheinökosystems ist notwendig, um die Lebensqualität für Flora, Fauna wie auch Menschen zu steigern. Angestrebt wird die ökologische Durchgängigkeit des Fließgewässers in seiner Längen- (Gewässer), Tiefen- (Interstitial) und Breitenausdehnung (Aue), so dass die funktionsfähige Verbindung unterschiedlicher Habitats entstehen kann (IKSR 1998 b; 2001 b).

Die geschützten und ökologisch wertvollen Gebiete am Rhein werden im Rhein-Atlas (IKSR 1998 a) kartographisch veranschaulicht, desweiteren werden Planungen für Renaturierungen, bei extremen Hochwasserereignissen gefährdete Gebiete und der Betrachtungsraum für die Biotopvernetzung visualisiert. Im zeitgleich publizierten IKSR-Bericht (1998 b) werden die Inhalte des Atlas u.a. gemeinsam mit Planungen zur Biotopvernetzung geschildert. Zur Konkretisierung der Angaben über die ökologisch wertvollen Gebiete sollen zukünftig als Weiterentwicklung des Rhein-Atlas Biotoptypenkarten und eine Biotopverbundkarte erstellt werden. Letztere wird vom Bodensee bis zur Nordsee notwendige Maßnahmen und Entwicklungen für die Herstellung des Biotopverbundes darstellen (IKSR 2001 a). Beschreibungen der Biotoptypen in Form von Steckbriefen befinden sich derzeit mit Angaben zur Morphologie,

Flora, Fauna und zu Biotopverbundaspekten, Beeinträchtigungen sowie Anforderungen an Schutz und Entwicklung aus Biotopschutz- und Biotopverbund-sicht in Bearbeitung (IKSR 2001 b). Diese Steckbriefe bilden Zielformulierungen für den Biotopverbund am Rhein. Eine Weiterentwicklung des im Jahr 1998 erschienenen Rhein-Atlas stellt der „Neue Rhein-Atlas 2001“ der IKSR dar (IKSR 2001c).

Heutige potenziell natürliche Zustände wie aktuelle Aspekte der Kulturlandschaft sind im Biotopverbund miteinander verzahnt. Er ist Bestandteil des Programms „Rhein 2020 – Programm zur nachhaltigen Entwicklung des Rheins“, das das Ziel verfolgt, die natürlichen Funktionen des Stromes auf möglichst vielen Rheinstrecken wiederherzustellen. Die Verbesserung des Ökosystems soll durch die Realisierung des Biotopverbundes in Kombination mit den Anforderungen der Flora-Fauna-Habitat- und Vogelschutzrichtlinie sowie der ökologischen Durchgängigkeit des Rheins vom Bodensee bis zur Mündung und der im Wanderfischprogramm enthaltenen Nebengewässer (IKSR 2001 a) erreicht werden.

Am Niederrhein werden im Rahmen der Biotopverbundplanung gegenwärtig die aktuelle Überflutungs-aue innerhalb der Deiche sowie die möglichen Polderflächen differenziert betrachtet. Darüber hinaus sollen zukünftig Wechselwirkungen mit der gesamten Aue berücksichtigt werden, so dass das morphologische Leitbild des Niederrheins als Abgrenzungsgrundlage für den Betrachtungsraum des Biotopverbundes in Nordrhein-Westfalen fungieren kann. Ebenso sind die morphologischen Stromabschnittstypen des Niederrheins sehr wichtig. Derzeit wird der Rhein in fünf Planungsabschnitte unterteilt, die mit den morphologischen Stromabschnittstypen des Niederrheins weitgehend identisch sind (LÖBF NRW 2001).

Das biozönotische und morphologische Leitbild des Niederrheins gibt vor, wie der Biotopverbund im Idealfall aussehen würde. Das morphologische Leitbild beschreibt die abiotischen Faktoren und damit morphologische und hydrologische Grundlagen, die sowohl Existenz als auch Verbreitung stromtypischer Pflanzen- und Tiergemeinschaften bedingen.

## Danksagung

Für die fachliche Unterstützung möchte ich folgenden Personen herzlich danken: Prof. Dr. Ernst Brunotte, Uwe Koenzen und seinen Mitarbeitern, Daniel Quick, Prof. Dr. Günther Friedrich, Stefan Meyer-Höltzl, Klaus van de Weyer und Thomas Hübner.

## Abbildungs- und Tabellennachweis

BMV (1987):	Abb. 16
BRUNOTTE, E. (1997):	Abb. 2
GLA NRW (1988):	Abb. 7 – veröffentlicht mit Genehmigung des Geologischen Dienstes NRW vom 7. Oktober 2002
HSG NRW (2002):	Abb. 8, 9
IHBEN, I. (2003):	Titelbild, Abb. 4, 5, 6, 10, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 24, 26, 29, Tab. 2
LUA NRW (Luftbilder):	Abb. 1, 22, 23, 25, 27, 28, 31
LUA NRW (2001 a):	Tab. 01, Tab. 03
LUA NRW (2001 d):	Abb. 11
LUA NRW (2001 e):	Abb. 30
LUA NRW (2000 b):	Abb. 3

## Literatur

- AG RHEINSOHLENEROSION (*Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Binnenschifffahrt und Wasserstraßen, Arbeitsgruppe „Rheinsohlenerosion“*) [Hrsg.] (1997): Sohlengleichgewicht am Rhein. Bestandsaufnahme und Maßnahmenprogramm. Bericht der Arbeitsgruppe „Rheinsohlenerosion“. Textbd. u. Anlagenbd. Münster / Mainz.
- BMV (*Bundesminister für Verkehr*) (1987): Untersuchung der Abfluss- und Geschiebeverhältnisse des Rheins. Schlussbericht. Bonn.
- BRUNOTTE, E.; IMMENDORF, R.; SCHLIMM, R. (1994): Die Naturlandschaft und ihre Umgestaltung durch den Menschen. In: Kölner Geographische Arbeiten. Heft 63. Köln.
- BRUNOTTE, E. (1995): Naturkatastrophen selbstgemacht? Ursachen und Konsequenzen von Hochwässern am Rhein. In: Universität im Rathaus. Eine Schriftenreihe der Stadt Köln und der Universität zu Köln. Veranstaltungen im akademischen Jahr 1994/95. Bd. 3, S. 75-86. Köln.
- BRUNOTTE, E. (1997): Das Einzugsgebiet des Rheins – ein geographischer Überblick. In: IMMENDORF, R. [Hrsg.], Hochwasser. Natur im Überfluss? Heidelberg.
- BRUNOTTE, E.; IHBEN, I. (2001): Geomorphologische Leitbildentwicklung in NRW für mittelgroße bis große Fließgewässer sowie für den Niederrhein. In: FISCHER, H.; GRAAFEN, R. [Hrsg.] (2001): Koblenzer Geographisches Kolloquium. Themenheft „Flusslandschaften zwischen Persistenz und Überformung“. 23. Jg., Jahresheft. Zugl. Kulturlandschaft. Zeitschr. f. Angewandte Historische Geographie. Jg. 10. H. 1 (2000). S. 200-208. Koblenz.
- BRUNOTTE, E. et al. [Hrsg.] (2001): Lexikon der Geographie. 4 Bd. Heidelberg.
- DLR (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*); CEO (*Center for Earth Observation*); GEOSYSTEMS (1999): Rhein-GIS. GIS-Datensatz für das Rheineinzugsgebiet. CD-rom. Köln, Germering.
- DROZDZEWSKI et al. (1998): Sedimentation und Tektonik im Paläozoikum und Postpaläozoikum der Niederrheinischen Bucht. In: GLA NRW (*Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen*) [Hrsg.], Der Untergrund der Niederrheinischen Bucht. Ergebnisse eines Bohrprogramms im Raum Krefeld. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. Bd. 37. S. 573-583. Krefeld.
- ENGEL, H.; THIELEMANN, T.; TIPPNER, M. (1988): Die Wasserstandsentwicklung des Niederrheins. In: Dt. Gewässerkd. Mitt. 32. Jg. H. 3, S. 53-59. Koblenz.
- GELINSKY, P. (1951): Ausbau des Rheines vom Main bis zur niederländischen Grenze. In: Wasser- und Schifffahrtsdirektion Duisburg [Hrsg.], Der Rhein – Ausbau, Verkehr, Verwaltung. S. 147-206. Duisburg.
- GLA NRW (*Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen*) [Hrsg.] (1978): Geologie am Niederrhein. Krefeld.
- GLA NRW (*Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen*) [Hrsg.] (1988): Geologie am Niederrhein. 4. Aufl. Krefeld.
- GLA NRW (*Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen*) (1999): Im Grunde Wasser. Hydrogeologie in Nordrhein-Westfalen. Krefeld.
- GÖLZ, E. (1987): Zur Sohlenerosion des Niederrheins. In: Wasserwirtschaft. 77. Jg. H. 7/8, S. 432-436. Stuttgart.
- HSG NRW (*Hochwasserstudien-Gruppe für den Rhein in Nordrhein-Westfalen*) (2002): Bericht der Hochwasserstudien-Gruppe für den Rhein in Nordrhein-Westfalen. Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit  $H_{QT}$  an den Pegeln des Rheins in NRW. Düsseldorf.
- HOPPE, C. (1970): Die großen Flussverlagerungen des Niederrheins in den letzten zweitausend Jahren und ihre Auswirkungen auf Lage und Entwicklung der Siedlungen. In: Forschg. dt. Landeskde. Bd. 189. Bonn, Bad Godesberg.
- IHBEN, I. (2000): Leitbild Niederrhein – Arbeitshilfe für die Gewässerstrukturgütekartierung. Abt. f. Angewandte Geomorph. u. Landschaftsforschung. Geogr. Inst. d. Univ. zu Köln. Köln. [unveröff.]
- IHBEN, I. (2003): Geomorphologisches Leitbild des Niederrheins als Grundlage für die Gewässerstrukturgütebewertung. Diss. Abt. f. Angewandte Geomorph. u. Landschaftsforschung. Geogr. Inst. d. Univ. zu Köln. Köln. [in Vorbereitung]
- IKSR (*Internationale Kommission zum Schutz des Rheins*) [Hrsg.] (1998 a): Rhein-Atlas. Ökologie und Hochwasserschutz. Koblenz.
- IKSR (*Internationale Kommission zum Schutz des Rheins*) (1998 b): Bestandsaufnahme der ökologisch wertvollen Gebiete am Rhein und erste Schritte auf dem Weg zum Biotopverbund. Bericht der Arbeitsgruppe Ökologie. Koblenz.



- IKSR (*Internationale Kommission zum Schutz des Rheins*) (2001 a): Rhein-Ministerkonferenz. 29.01.2001. Strassburg.
- IKSR (*Internationale Kommission zum Schutz des Rheins*) (2001 b): Biotopverbund am Rhein. Einleitung und Steckbriefe für die Biotoptypen. Entwurf vom 28. Februar 2001. Koblenz. [unveröff.]
- IKSR (*Internationale Kommission zum Schutz des Rheins*) (2001 c): IKS-Rheinatlas 2001. Koblenz.
- KHR (*Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes*) [Hrsg.] (1978): Le bassin du Rhin. Monographie hydrologique / Das Rheingebiet. Hydrologische Monographie. 's Gravenhage.
- KHR (*Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes*) [Hrsg.] (1993): Der Rhein unter der Einwirkung des Menschen – Ausbau, Schifffahrt, Wasserwirtschaft. KHR-Arbeitsgruppe „Anthropogene Einflüsse auf das Abflussregime“. Lelystad.
- KLOSTERMANN, J. (1991): Die Wanderung der Kontinente. Grundlagen der Plattentektonik und die junge Beanspruchung der Niederrheinischen Bucht aus heutiger Sicht. In: KLOSTERMANN et al. [Hrsg.], Natur und Landschaft am Niederrhein. Naturwissenschaftliche Beiträge. Niederrheinische Landeskunde. Schriften zur Natur und Geschichte des Niederrheins. Bd. 10, S. 61-98. Krefeld.
- KLOSTERMANN, J. (1992): Das Quartär der Niederrheinischen Bucht. Ablagerungen der letzten Eiszeit am Niederrhein. GLA NRW (*Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen*). Krefeld.
- KOENZEN, U. (2001): Morphologisches Leitbild für die Weser in NRW. Gutachten im Auftrag des StUA Minden. 17 S. [unveröff.]
- LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA) [Hrsg.] (1999): Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland. Übersichtsverfahren.
- LÖBF NRW (*Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen*) (2001): Charakterisierung der Planungsabschnitte am Niederrhein/Nordrhein-Westfalen. Recklinghausen. [unveröff.]
- LUA NRW (*Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen*) [Hrsg.] (1996): Naturraumspezifische Leitbilder für kleine und mittelgroße Fließgewässer in der freien Landschaft. Eine vorläufige Zusammenstellung von Referenzbach- und Leitbildbeschreibungen für die Durchführung von Gewässerstrukturgütekartierungen in Nordrhein-Westfalen. Materialien Nr. 23. Essen.
- LUA NRW (*Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen*) [Hrsg.] (1998): Gewässerstrukturgüte in Nordrhein-Westfalen. Merkblätter Nr. 14. Essen.
- LUA NRW (*Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen*) [Hrsg.] (1999 a): Referenzgewässer der Fließgewässertypen Nordrhein-Westfalens. Teil 1: Kleine bis mittelgroße Fließgewässer. Merkblätter Nr. 16. Essen.
- LUA NRW (*Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen*) [Hrsg.] (1999 b): Leitbilder für kleine bis mittelgroße Fließgewässer in Nordrhein-Westfalen. Gewässerlandschaften und Fließgewässertypen. Merkblätter Nr. 17. Essen.
- LUA NRW (*Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen*) [Hrsg.] (2000): Arbeitshilfe für die Gewässerstrukturgütekartierung 2000/2001. Morphologische Leitbilder für mittelgroße bis große Fließgewässer in Nordrhein-Westfalen – Flusstypen und Flussabschnittstypen –. CD-ROM. Essen. [unveröff.]
- LUA NRW (*Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen*) [Hrsg.] (2001 a): Gewässerstrukturgüte in Nordrhein-Westfalen. Anleitung für die Kartierung mittelgroßer bis großer Fließgewässer. Merkblätter Nr. 26. Essen.
- LUA NRW (*Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen*) [Hrsg.] (2001 b): Referenzgewässer der Fließgewässertypen Nordrhein-Westfalens. Teil 2: Mittelgroße bis große Fließgewässer – Gewässerabschnitte und Referenzstrukturen –. Merkblätter Nr. 29. Essen.
- LUA NRW (*Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen*) [Hrsg.] (2001 c): Vegetationskundliche Leitbilder und Referenzgewässer für die Ufer- und Auenvegetation der Fließgewässer von Nordrhein-Westfalen. Merkblätter Nr. 32. Essen.
- LUA NRW (*Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen*) [Hrsg.] (2001 d): Leitbilder für die mittelgroßen bis großen Fließgewässer in Nordrhein-Westfalen. Flusstypen. Merkblätter Nr. 34. Essen.
- LUA NRW (*Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen*) [Hrsg.] (2001 e): Gewässerstrukturgütekartierung Rhein in Nordrhein-Westfalen. Abschlussbericht. Essen. [unveröff.]
- LUA NRW (*Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen*) [Hrsg.] (2002 a): Fließgewässertypenatlas Nordrhein-Westfalens. Merkblätter Nr. 36. Essen.
- LUA NRW (*Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen*) [Hrsg.] (2003 b): Vegetationskundliche Leitbilder und Referenzabschnitte für die Ufer- und Auen-

- vegetation des Rheins in Nordrhein-Westfalen. Merkblätter Nr. 40. Essen
- MUNLV NRW (*Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen*) [Hrsg.] (2001): Leitfaden zur Aufstellung eines Konzeptes zur naturnahen Entwicklung von Fließgewässern. Düsseldorf. [unveröff.]
- MUNLV NRW (*Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen*) [Hrsg.] (2002): Handbuch: Naturnahe Entwicklung der Fließgewässer in NRW. Düsseldorf. [unveröff.]
- MURL NRW (*Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen*); WSD WEST (*Wasser- und Schifffahrtsdirektion West*) [Hrsg.] (1992): Gesamtkonzept Rhein in Nordrhein-Westfalen: Hochwasserschutz, Schifffahrt, Ökologie. Grundlagen. Düsseldorf.
- MUNLV NRW (*Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen*) [Hrsg.] (2000 a): Potenzielle Hochwasserschäden am Rhein in NRW. Kurzfassung der Forschungsstudie „Hochwasserschadenspotenziale am Rhein in Nordrhein-Westfalen“. Düsseldorf.
- MUNLV NRW (*Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen*) [Hrsg.] (2000 b): Abschlussbericht Hochwasserschadenspotenziale am Rhein in Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf. [unveröff.]
- MURL NRW (*Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen*) [Hrsg.] (1999): Richtlinie für naturnahe Unterhaltung und naturnahen Ausbau der Fließgewässer in Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf.
- NATURSCHUTZZENTRUM IM KREIS KLEVE E.V. [Hrsg.] (1997): Feuchtgebiete internationaler Bedeutung. Schwerpunkt „Unterer Niederrhein“. Tagung vom 27. bis zum 29. November 1996. Tagungsband 25 Jahre RAMSAR-Konvention. Rees-Bienen.
- PFLUG, R. (1982): Bau und Entwicklung des Oberreingrabens. Darmstadt.
- SCHIRMER, W. (1983): Die Talentwicklung an Main und Regnitz seit dem Hochwürm. In: Geol. Jb. Bd. A 71. S. 11-43. Hannover.
- SCHIRMER, W. (1990): Der känozoische Werdegang des Exkursionsgebietes. In: SCHIRMER, W. [Hrsg.], Rheingeschichte zwischen Mosel und Maas. Deutsche Quartärvereinigung (DEUQUA) - Führer. S. 9-32. Hannover.
- SCHIRMER, W. et al. (1990): Flussgeschichte um Düsseldorf. In: SCHIRMER, W. [Hrsg.], Rheingeschichte zwischen Mosel und Maas. DEUQUA-Führer. S. 228-262. Hannover.
- SCHIRMER, W. (1995): Valley bottoms in the late Quaternary. In: HAGEDORN, J. [Hrsg.], Late Quaternary and present-day fluvial processes in Central Europe. Zeitschr. f. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. 100, S. 27-51. Berlin, Stuttgart.
- THOME, K.N. (1959): Eisvorstoß und Flussregime an Niederrhein und Zuider-See im Jungpleistozän. In: GLA NRW (*Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen*) [Hrsg.], Pliozän und Pleistozän am Mittel- und Niederrhein. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. Bd. 4, S. 197-246. Krefeld.
- THOME, K.N. (1961): Das Entstehen der natürlichen Landschaftsformen unserer Heimat. In: Heimatbuch Grenzkr. Kempen-Krefeld f.d. Jahr 1962. S. 13-24. Kempen.
- THOME, K.N. (1991): Die Basis der quartären Schichten am Niederrhein (zwischen Neuss, Rheinberg, Geldern) und ihre Entstehung durch Rhein- und Gletschererosion. In: KLOSTERMANN et al. [Hrsg.], Natur und Landschaft am Niederrhein. Naturwissenschaftliche Beiträge. Niederrheinische Landeskunde. Schriften zur Natur und Geschichte des Niederrheins. Bd. 10, S. 109-130. Krefeld.
- TITTIZER, T.; KREBS, F. [Hrsg.] (1996): Ökosystemforschung: Der Rhein und seine Auen. Eine Bilanz. Koblenz.
- WASSERRAHMENRICHTLINIE (WRRL) Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates: Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften vom 23. Oktober 2000. L 327.
- WERNEKE, U.; SCHWÖPPE, M.; AHRENDT, W.; BREMER, G. (2000): Natur und Landschaft im Kreis Kleve. In: Festschr. des Kreises Kleve. Kleve.