

BfG-2033

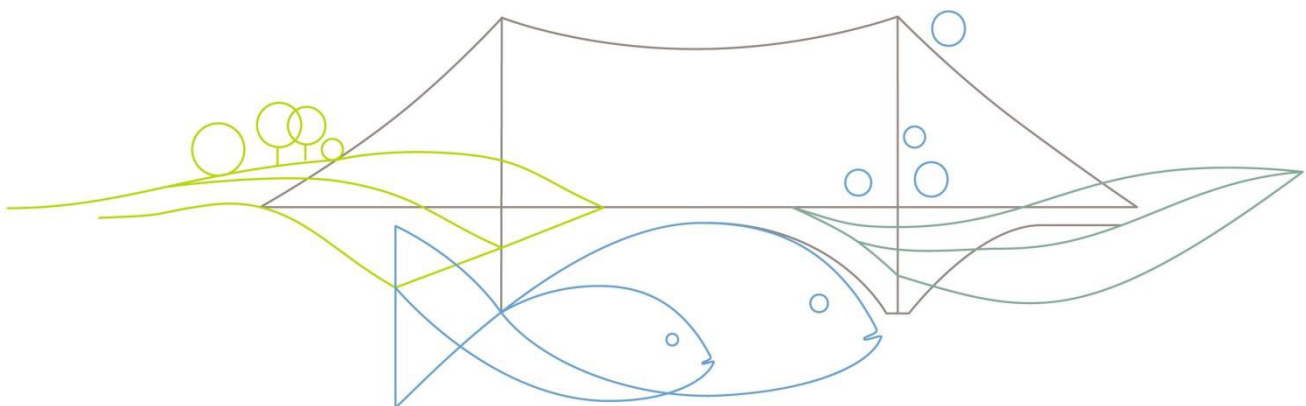


# Bericht

Monitoring Hydromorphologie im Rahmen der  
Erfolgskontrolle des Modellprojekts „Uferrenaturierung  
Kühkopf-Knoblochsau“ des Bundesprogramms  
Blaues Band Deutschland

—

Erfassung des Ist-Zustands vor Maßnahmenumsetzung



Bundesanstalt für  
Gewässerkunde

**Erfassung des Ist-  
Zustands Hydro-  
morphologie im  
BBD-Modell-pro-  
jekt „Kühkopf-  
Knoblochsau“**

BfG-2033

BfG-2033

# Bericht

Monitoring Hydromorphologie im Rahmen der  
Erfolgskontrolle des Modellprojekts  
„Uferrenaturierung  
Kühkopf-Knoblochsau“ des Bundesprogramms  
Blaues Band Deutschland

—

Erfassung des Ist-Zustands vor Maßnahmenumsetzung

Oktober 2024

Auftraggeber: WSA Mannheim

SAP-Nr.: M39630104057

Anzahl Seiten: 73

Der Bericht darf nur ungekürzt vervielfältigt werden.

Die Vervielfältigung und eine Veröffentlichung bedürfen der schriftlichen Genehmigung der BfG.

## Bearbeiter in der BfG:

### Federführung

Christine Borgsmüller

zuvor:

Dr. Dorothea Gintz

Melanie Lütz

### Bearbeitung

David Range

Christine Borgsmüller

Sönke Schriever

Malte Kügler

Frederik Kathöfer

zuvor:

Dr. Dorothea Gintz

Melanie Lütz

Dr. Ina Quick

Sönke Schriever

Yannik Baulig

Susanne Kranz

Dr. Frauke König

DOI: 10.5675/BfG-2033

URL: <http://doi.bafg.de/BfG/2024/BfG-2033.pdf>

### Zitiervorschlag:

*Borgsmüller, C., Range, D., Schriever, S., Kügler, M., Kathöfer, F., Gintz, D., Lütz, M., Quick, I., Baulig, Y., Kranz, S., König, F. (2024): Monitoring Hydromorphologie im Rahmen der Erfolgskontrolle des Modellprojekts Uferrenaturierung Kühkopf-Knoblochsau des Bundesprogramms Blaues Band Deutschland – Erfassung des Ist-Zustands vor Maßnahmenumsetzung, BfG-Bericht 2033 Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.*

DOI: 10.5675/BfG-2033

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Veranlassung</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Projektgebiet „Uferrenaturierung Kühkopf-Knoblochsau“</b> .....	<b>5</b>
2.1	Lage der Maßnahmenstrecke.....	5
2.2	Fluss- und Auentypologie, naturschutzfachliche Leitbilder und Entwicklungsziele.....	6
<b>3</b>	<b>Hydromorphologische Entwicklungsziele</b> .....	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Erfassungs- und Bewertungsgrundlagen</b> .....	<b>9</b>
4.1	Indikatoren, Bewertungsziele und -kriterien .....	9
4.2	Monitoringdesign, -zeitraum und -häufigkeit.....	12
4.3	Bezugsräume der hydromorphologischen Indikatoren .....	13
4.4	Erfassungsmethoden.....	14
<b>5</b>	<b>Ist-Zustandserfassung der Indikatoren 2017/2018</b> .....	<b>16</b>
5.1	Indikator Sohlstrukturen.....	17
5.1.1	Sohlstrukturen – gesamt, großräumige Strukturen.....	18
5.1.2	Sohlstrukturen – ufernah, Detailstrukturen .....	20
5.2	Indikator Tiefenvariation.....	27
5.3	Indikator Uferstruktur .....	32
5.3.1	Quantitative Bewertung des Indikators Uferstruktur nach Valmorph.....	33
5.3.2	Flächenhafte Erfassung der Uferstruktur .....	34
5.4	Indikator Breitenvariation .....	40
5.5	Indikator Uferlinienlänge .....	43
5.6	Indikator Substrat (Sohl- und Ufersubstrat) .....	47
5.6.1	Oberflächensubstrate der ufernahen Sohle.....	47
5.6.2	Oberflächensubstrate des Ufers.....	49
5.6.3	Substratbeprobung (Korngrößenanalysen).....	51
<b>6</b>	<b>Diskussion der Unsicherheiten</b> .....	<b>57</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>58</b>
<b>8</b>	<b>Anlage</b> .....	<b>61</b>
	<b>Danksagung</b> .....	<b>62</b>
	<b>Verzeichnisse</b> .....	<b>63</b>
	Literaturverzeichnis .....	63
	Abbildungsverzeichnis.....	65
	Tabellenverzeichnis .....	67
	Abkürzungsverzeichnis .....	68

Bundesanstalt für  
Gewässerkunde

**Erfassung des Ist-  
Zustands Hydro-  
morphologie im  
BBD-Modell-pro-  
jekt „Kühkopf-  
Knoblochsau“**

BfG-2033

# 1 Veranlassung

Im Koalitionsvertrag für die 18. Legislaturperiode haben sich die Regierungsparteien darauf geeinigt, ein Bundesprogramm „Blaues Band Deutschland“ zu etablieren, um damit die Renaturierung von Fließgewässern und Auen zu fördern.

Im Rahmen der Umsetzung des Bundesprogramms „Blaues Band Deutschland“ wurde am 08.12.2015 zwischen dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMU) und dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI, jetzt BMDV) die 2. Ressortvereinbarung über die Planung, Begleitung und Durchführung von Modellprojekten beschlossen. Mit dieser Ressortvereinbarung wird die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) beauftragt, mit Unterstützung der Oberbehörden Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) und Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) sowie „gemeinsam mit zahlreichen Projekt- und Kooperationspartnern Modellprojekte (MP) als „ökologische Trittsteine“ im Kernnetz der Bundeswasserstraßen zu planen, zu begleiten und durchzuführen“ (Gerisch et al. 2017).

Ziel der Modellprojekte ist es, anhand beispielhafter Maßnahmen den zukünftigen Umsetzungsprozess des Bundesprogramms „Blaues Band Deutschland“ exemplarisch abzubilden. Während in einem längerfristig angelegten Prozess zur Entwicklung der Nebenwasserstraßen regionale Nutzungskonzepte unter Beteiligung aller Interessensvertreter erstellt werden sollen, kann die Umsetzung von Renaturierungsmaßnahmen als sog. „ökologische Trittsteine“ im Kernnetz sofort beginnen. Hierzu wurden insgesamt fünf Modellprojekte ausgewählt (Gerisch et al. 2017). Das MP „Uferrenaturierung Kühkopf-Knoblochsau“ ist eines der drei am Rhein geplanten Modellprojekte, das zum Zeitpunkt dieses Berichts bereits umgesetzt wurde.

Ziel des MP Kühkopf-Knoblochsau war die Wiederherstellung eines naturnahen Ufers durch Rückbau der vorhandenen Ufersicherung und Zulassen der natürlichen Morphodynamik. Wo ein vollständiger Rückbau der Ufersicherung nicht möglich war, wurde diese durch technisch-biologische Ufersicherung ersetzt.

Im Rahmen der MP sind Erfolgskontrollen der umgesetzten Maßnahmen vorgesehen. Für das MP „Uferrenaturierung Kühkopf-Knoblochsau“ wurde ein fachdisziplinübergreifendes Untersuchungskonzept erarbeitet, dem der Bewertungsrahmen für die durchzuführenden Erfolgskontrollen im MP sowie die Methodik der Datenerhebung und mögliche Datenauswertungen zu entnehmen sind (Gerisch et al. 2017). Teil des fachdisziplinübergreifenden Untersuchungskonzeptes ist das hydromorphologische Monitoring zur Gewässerentwicklung im Rahmen des Modellprojekts, welches die abiotischen Lebensraumvoraussetzungen und -ausprägungen sowie deren Veränderungen anhand ausgewählter hydromorphologischer Indikatoren abbildet. Habitatangebot, -vielfalt und -erreichbarkeit werden von der Hydromorphologie entscheidend mitbestimmt. Sie ist für eine nachhaltige Gewässerbewirtschaftung und zur Unterstützung der Erreichung der gesetzlich vorgegebenen Bewirtschaftungsziele der Oberflächengewässer eine bedeutende Grundlage. Sie entspricht den wesentlichen Voraussetzungen für eine Besiedlung von Gewässern mit gewässertypspezifischer Flora und Fauna (z. B. EEA 2018; Quick et al. 2019).

Der vorliegende Bericht enthält die Ergebnisse der Ist-Zustandserhebung nach der fachwissenschaftlichen Empfehlung zur Vorgehensweise bei der Durchführung eines

hydromorphologischen Monitorings in und an Bundeswasserstraßen (Quick et al. 2019) als Basis für die spätere Beurteilung des Erfolgs der Maßnahmenumsetzung mit Hilfe von ausgewählten Indikatoren (vgl. Tab. 1, Kap. 4.1).

## 2 Projektgebiet „Uferrenaturierung Kühkopf-Knoblochsäue“

### 2.1 Lage der Maßnahmenstrecke

Das MP erstreckt sich auf ca. 2,50 km Länge am rechten Rheinufer im Landkreis Groß-Gerau, Regierungsbezirk Darmstadt, Land Hessen (Rhein-km 474,00 - 476,50, Abb. 1). Oberstrom am rechten Rheinufer befindet sich die Binneninsel „Kühkopf“, deren Ausläufer in Abb. 1 rechts unten zu erkennen sind (Rhein-km 468,40 – 473,40). Die nächstliegenden hessischen Gemeinden sind Stockstadt am Rhein und Riedstadt, die nächstliegende rheinland-pfälzische Gemeinde ist Oppenheim. Die Projektfläche liegt an einem Ufergleithang.

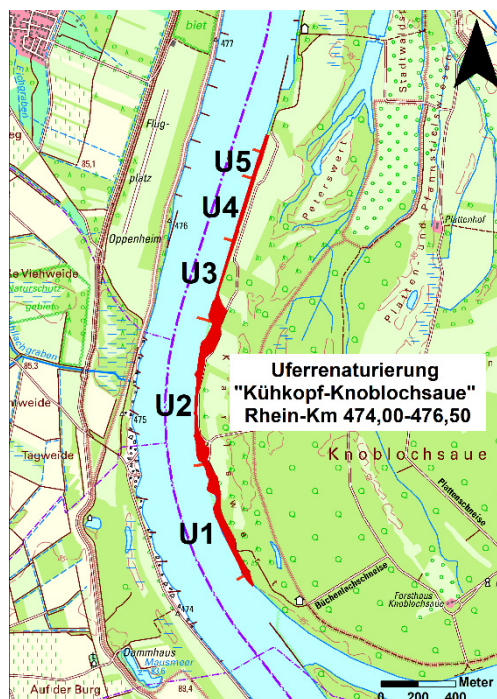


Abb. 1: Lage des Maßnahmensgebietes

Quelle: Geobasisdaten: © Geobasis-DE / BKG 2024

Die Maßnahmenstrecke besteht aus drei morphologisch unterschiedlichen Abschnitten: einem naturnahen Abschnitt (U1), einem Abschnitt mit teilentsteinten Bereichen (U2) und einem Abschnitt mit durchgehender Steinschüttung (U3-U5) (siehe Abb. 2).

**U1 Rh-km 474,000 - 474,700:** 0,700 km langer naturnaher Abschnitt mit flacher Böschung und Substrat aus Sand und Kies, z. T. mit der Auflage einzelner Steine einer historischen Ufersicherung (genannt „Stickung“) (Längenanteil: 27,2 %). Im Uferabschnitt 1 (U1) sollen im Rahmen der Renaturierungsmaßnahme noch vorhandene Betonreste unterhalb Mittelwasser (MW) entnommen werden.

**U2 Rh-km 474,700 - 475,550:** 0,850 km langer heterogener Abschnitt mit acht teilentsteinen Buchten mit steilen Böschungen und vorgelagerten flachen Böschungen bis zur Sohle, die z. T. mit Resten der Ufersicherung bedeckt sind, dazwischen mäßig steile Böschungen mit Schüttsteinen gesichert (Längenanteil: 33,1 %). Im teilweise bereits rückgebauten Uferabschnitt 2 (U2) soll im Rahmen der Maßnahme das gesamte restliche Deckwerksmaterial bzw. Reste davon ober- und unterhalb der Mittelwasserlinie vollständig entnommen werden.

**U3 Rh-km 475,550 - 476,00:** 0,450 km langer Abschnitt, mit Schüttsteinen verbaute Böschung. In diesem Abschnitt ist eine Entsteinung oberhalb der MW-Linie geplant.

**U4 Rh-km 476,00 - 476,350:** 0,350 km langer Abschnitt, mit Schüttsteinen verbaute Böschung. In diesem Abschnitt ist eine buchtenartige Entsteinung oberhalb der MW-Linie geplant.

**U5 Rh-km 476,350 - 476,500:** 0,150 km langer Abschnitt, mit Schüttsteinen verbaute Böschung. In diesem Abschnitt ist eine Teilentsteinung und Ufersicherung durch technisch-biologische Bauweisen (Weidenspreitlagen und begrünte Steinschüttungen) geplant.

## 2.2 Fluss- und Auentypologie, naturschutzfachliche Leitbilder und Entwicklungsziele

Der Oberrhein im Projektgebiet wird gemäß der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) charakterisiert als Gewässertyp 10 „Kiesgeprägte Ströme“ (LAWA 2016; Pottgießer 2018). Für den sehr guten ökologischen Zustand wird der Gewässertyp in Bezug auf den Gewässerverlauf als meist unverzweigt, geschwungen bis mäandrierend beschrieben; das Sohls substrat wird dominiert von dynamischem Kies und Schotter, abschnittsweise auch Sand und Steine, untergeordnet treten feinere mineralische und organische Substrate sowie Fels oder Geröll auf. Große Tiefen und starke Strömungen sowie eine große bis sehr große Breiten- und Tiefenvarianz sind für das Längs- und Querprofil charakteristisch; häufig queren Bänke den Strom und es gibt mehrere bis viele Längsbänke im Gerinne und am Ufer (UBA 2014). Weitere Details sind der deutschen Fießgewässertypologie (Pottgießer 2018) und den Hydromorphologischen Steckbriefen der deutschen Fließgewässertypen (UBA 2014) zu entnehmen. Es ist jedoch bei den Bewertungen zu beachten, dass der Rhein als „erheblich verändertes Gewässer“ (HMWB) ausgewiesen ist (WasserBLIcK 2016).

Der entsprechende Auentyp wird charakterisiert als „gefällearme Stromaue mit Sommerhochwassern“. Aus auenökologischer Sicht ist das Naturschutz- sowie das Flora-Fauna-Habitat (FFH)-Gebiet „Kühkopf-Knoblochsau“ trotz der erheblich reduzierten morphologischen Aue aufgrund eines vergleichsweise hohen Anteils und des guten Zustandes der verbliebenen rezenten Auenflächen national bedeutsam (Gerisch et al. 2017). Weitergehende Details zu Auentypologie und –zustand sind Koenzen (2005) bzw. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2009) und Bundesamt für Naturschutz (BfN) (2009) zu entnehmen.

Das Projektgebiet ist Teil des Naturschutz- und FFH-Gebietes "Kühkopf-Knoblochsau". Die nachfolgend genannten Projektziele beschreiben eine allgemeine Zielkonzeption der Renaturierungsmaßnahmen im Kontext der naturschutzfachlichen Leitbilder und Entwicklungsziele für den entsprechenden Naturraum.

Das allgemeine Leitbild des Schutzgebietes gemäß FFH-Maßnahmenplanung (MaP, RP Darmstadt 2011) beinhaltet folgende Zielvorstellungen:

- Erhaltung und Entwicklung eines im Naturraum nördliche Oberrheinniederung gelegenen Rheinauenökosystems als Lebensraum autotypischer Lebensgemeinschaften
- Erhaltung oder Wiederherstellung der natürlichen Rheinauedynamik als Grundlage für eine Förderung und Entwicklung der angepassten Tier- und Pflanzenwelt
- Stärkung des überregionalen Auen- und Stromtalverbunds als Grundlage für die regelmäßige Anwesenheit einer Vielzahl seltener, hochgradig gefährdeter und landesweit bedeutsamer Vogelarten
- Sicherung als Keimzelle eines hessischen Auenverbundsystems

Der Uferbereich des Rheins wurde als ein wesentlicher Schwerpunkt von Erhaltungs- und Entwicklungsmaßnahmen identifiziert. Der MaP (RP Darmstadt 2011) konkretisiert dies mit der Zielaussage, „...die Reste naturnaher Ufer [...] zu erhalten, zu optimieren und in Teilen wiederherzustellen.“

Entsprechender Bedarf besteht hierbei insbesondere für die FFH-Lebensraumtypen LRT 3270 (Flüsse mit Schlammflächen mit Vegetation des *Chenopodium rubri* p.p. und des *Bidens p.p.*) sowie für LRT 91E0 (Auenwälder mit *Alnus glutinosa* und *Fraxinus excelsior*). Außerdem sind u. a. Arten der FFH- und Vogelschutz-Richtlinie, wie z. B. Maifisch, Steinbeißer, Grüne Keiljungfer, Eisvogel, Alpenstrandläufer und Flussregenpfeifer zu fördern.

Dazu müssen laut MaP (RP Darmstadt 2011) u. a.:

- Gewässersohlbereiche aus unverfestigten, sandigen und feinkiesigen Sedimenten geschaffen,
- Kies-, Sand- und Schlammflächen im Uferbereich geschaffen bzw. entwickelt und
- Ufergehölze, Steilwände und Abbruchkanten entwickelt und erhalten werden

Wesentliche Maßnahmen gemäß MaP (RP Darmstadt 2011) zur Umsetzung dieser Ziele sind:

- Zulassen der natürlichen Sukzession in Teilflächen; Erhalt der Schilfröhrichte und Schlammflächen als Rückzugs-, Brut- und Nahrungshabitate für Vogelarten, Amphibien, Fische etc.
- Beseitigen von Uferverbauungen; Rückbau der Uferbefestigungen im Bereich des Altrheins und am Neurhein im Bereich des Planungsraums, Erhöhung der Dynamisierung für das FFH/VS-Gebiet, Förderung der Habitateigenschaften für Vogelarten (MaP RP Darmstadt 2011, Gerisch et al. 2017)

### 3 Hydromorphologische Entwicklungsziele

An den teilweise stark verbauten Uferabschnitten zwischen Rh-km 474,700 und 476,500 sollen sich naturnahe Uferstrukturen mit Sand- und Kiesanlandungen, naturnahen Böschungen und Abbruchkanten als gewässertypspezifischer Lebensraum für ufertypische Flora und Fauna entwickeln. Es sollen durch die Förderung der gewässertypischen Eigendynamik vielfältige Sohl- und Uferstrukturen geschaffen werden, in denen natürliche Verlandungs-, Erosions- und Sukzessionsprozesse stattfinden können. Innerhalb Hessens größtem Naturschutzgebiet (NSG) „Europareservat Kühkopf-Knoblochsaue“ soll damit ein naturnaher Übergang zum Rhein geschaffen und die laterale Vernetzung zwischen Fluss und Aue verbessert werden (GDWS 2016, Gerisch et al. 2017). Geplante Maßnahmen zur Erreichung dieser Ziele sind vereinzelt Beseitigung der Schüttsteine unter Mittelwasser (MW) in Abschnitt U1, Entfernung der Steinsicherung oberhalb und unterhalb MW in Abschnitt U2, Entsteinung oberhalb MW in Abschnitt U3 und U5, „buchtenartige“ Entsteinung oberhalb MW in Abschnitt U4 sowie die Sicherung eines entsteineten Abschnitts mit technisch-biologischen Bauweisen in U5 (siehe auch Abb. 2).

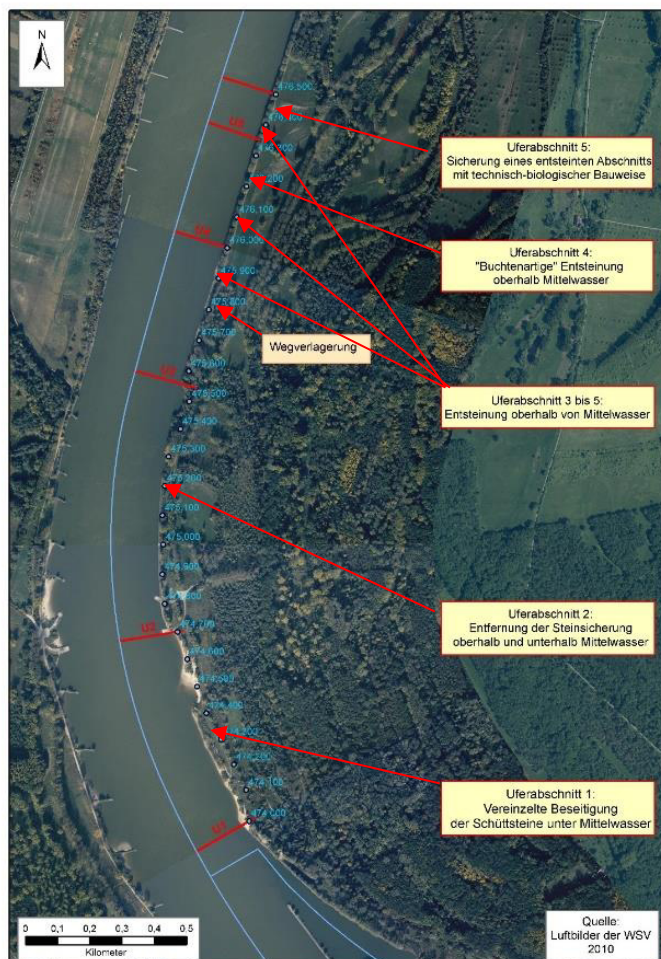


Abb. 2: Darstellung der geplanten Maßnahmen

Quelle: Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt (WSA) Mannheim, Stand: 04.12.2017, bearbeitet BfG\_Kranz

## 4 Erfassungs- und Bewertungsgrundlagen

### 4.1 Indikatoren, Bewertungsziele und -kriterien

In Tab.1 werden die fachspezifischen Bewertungsziele „Hydromorphologie“ definiert und hydromorphologische Indikatoren<sup>1,2</sup> benannt, die für die Ermittlung der Zielerreichung der Maßnahmenumsetzung genutzt werden. Mit Hilfe der Indikatoren lassen sich gewässertypspezifische Eigenschaften eines Gewässers sowie deren Wirkungszusammenhänge hinsichtlich der hydrologischen/hydrodynamischen, sedimentologischen und strukturellen Charakteristik erfassen und bewerten. Dazu gehören für die Gewässer- und Uferbereiche die natürliche zeitliche und räumliche Entwicklung, Variabilität und Dynamik sowie die durch anthropogene Eingriffe erfolgten Veränderungen und vielfältige zusätzliche Einflussfaktoren wie z. B. der Klimawandel. Die Hydromorphologie bildet eine wichtige Schnittstelle zur Gewässerökologie und Gewässerchemie und ist ein essentieller Bestandteil für das benötigte Systemverständnis und die benötigte Systemkenntnis im Rahmen der Gewässerentwicklung und des Monitorings (Quick et al. 2019).

Ein „Bewertungsziel“ ist in diesem Kontext ein aus den allgemeinen Projektzielen abgeleiteter, messbarer Bewertungsmaßstab hinsichtlich des Aspekts „Hydromorphologie“. Dabei werden im Rahmen des hydromorphologischen Monitorings die allgemeinen Projektziele in Bezug auf die hydromorphologischen Ziele indikator- und prozessspezifisch<sup>3</sup> konkretisiert (vgl. Tab. 1). Im vorliegenden Bericht werden zunächst die Ist-Zustände vor Maßnahmenumsetzung indikatorspezifisch erfasst. Damit wird die Grundlage für eine Bewertung der Zielerreichung auf Basis von geplanten Folgeuntersuchungen erstellt.

Die Kombination aus Zeit- und Orts-Vergleich folgt dem BACI-Design (Stewart-Oaten & Bence 2001) (vgl. Kap. 4.2).

Die Indikatoren werden so gewählt, dass die Komplexität der Gewässerabschnitte möglichst umfangreich abgedeckt wird. Die eigentliche Messung bzw. Beurteilung der Zielerreichung erfolgt mittels messbarer Kriterien (vgl. Tab. 1), welche stellvertretend für die vorherrschenden hydromorphologischen Gegebenheiten des zu untersuchenden und zu beurteilenden Gewässers stehen. Es handelt sich um aussagekräftige „Zeiger“, die sensitiv gegenüber anthropogenen Eingriffen in ein Gewässersystem und gegenüber entsprechenden Beeinflussungen des Wasser- und Sedimenthaushaltes reagieren. (Quick et al. 2017).

Als Bewertungsmatrix für die Zielerreichung der Maßnahme selbst soll zukünftig ein „Ampel-System“ mit drei Klassen genutzt werden:

<sup>1</sup> Zu den hydromorphologischen Indikatoren gehören z. B. Mittlere Sohlhöhenänderungen, Breitenvariation, Uferlinienlänge, Durchgängigkeit für Sedimente, Auenstrukturen, -relief, Schwebstoffgehalt, Tiefenvariation, Sohl- und Uferstrukturen, Substratzusammensetzungen, Laufentwicklung, usw. (s. z. B. Quick et al. 2017, 2019)

<sup>2</sup> Der Begriff Indikator ist synonym zu dem Begriff Parameter, wobei ‚Indikator‘ dem von Veränderungen betroffenen genannten ‚aussagekräftigen Zeiger‘ mehr im Sinne einer stellvertretend repräsentativen Auswahl aus hydromorphologischen Parametern entspricht.

<sup>3</sup> Zu den hydromorphologischen Prozessen zählen z. B. Erosionen, Sedimentationen, Erosions- und Sedimentationsraten, Abflussdynamik, Veränderungen der Strukturvielfalt, Zunahmen / Abnahmen von Variabilitäten, Höhen- und Lageveränderungen, Verlagerungsraten, Volumen-, Flächenänderungen usw. (s. z. B. Quick et al. 2019).

- a) „positive Veränderung“ = grün,
- b) „keine Veränderung“ = gelb und
- c) „negative Veränderung“ = rot

Damit ist die Darstellung der Ergebnisse angelehnt an das bereits im Hintergrunddokument „Bewertung von Vorhaben und Maßnahmenvorschlägen (Biotopverbund)“ zum „Fachkonzept Biotopverbund Gewässer und Auen“ des BBD (FG-BBD 2020) dargestellte „Ampel-System“. Diese Darstellung lässt sich für jeden Indikator nutzen und bietet somit die Möglichkeit, aggregiert die Gesamtbewertung des Projektes je Untersuchungszyklus darzustellen. Dabei erfolgt die Beurteilung jedoch auf der Auswertung quantitativ erhobener Daten, wodurch weitergehende Aussagen möglich werden.

Diese Darstellung wird zum ersten Mal bei der Bewertung der Maßnahmen nach der vollständigen Umsetzung erfolgen. Zusätzlich ist angedacht, während der weiteren Monitoringkampagnen (Gerisch et al. 2017) andauernde Trends durch Pfeile darzustellen. Damit soll ermöglicht werden, Veränderungen über einen längeren Zeitraum nachvollziehen zu können (vgl. FG-BBD, i. B.).

Tab. 1: Bewertungsrahmen „Hydromorphologie“ für die Erfolgskontrollen im Modellprojekt „Uferrenaturierung Kühkopf-Knoblochsau“ (modifiziert nach Gerisch et al. 2017)

Bewertungsziel (Z), abgeleitet aus allgemeinen Projektzielen		Indikator zur Messung der Zielerreichung	Kriterien für die Zielerreichung im maßnahmenrelevanten Bereich
Z1	Entwicklung und Förderung von gewässertypspezifischen Sohlausprägungen insbesondere im ufernahen Bereich des Rheins (Kies- und Sandbänke, Flachwasserzonen etc.)	Sohlstrukturen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vorkommen prozentual erhöhter Flächenanteile gewässertypspezifischer Sohlstrukturen</li> <li>- erhöhte Strukturvielfalt</li> <li>- erhöhte Eigendynamik</li> </ul>
		Tiefenvariation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verbesserung der Tiefenvariation</li> <li>- erhöhte Eigendynamik</li> </ul>
		Sohlsubstrat	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vorkommen und Annäherung an gewässertypspezifische Zusammensetzungen des Sohlsubstrates</li> <li>- erhöhte Substratvielfalt</li> <li>- erhöhte Eigendynamik</li> </ul>
Z2	Entwicklung und Förderung von gewässertypspezifischen Uferausprägungen entlang des Rheins (Sand- und Kiesufer, Abbruchkanten, Böschungen, Uferliniengestalt etc.) u. a. durch verbesserte Ausuferungsfähigkeit und -dynamik	Uferstruktur	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vorkommen prozentual erhöhter Flächen-, Höhen- und Längenanteile gewässertypspezifischer Uferstrukturen</li> <li>- erhöhte Strukturvielfalt</li> <li>- erhöhte Eigendynamik</li> <li>- verbesserte Ausuferungsfähigkeit und -dynamik (Konnektivität Gewässer-Ufer-Aue)</li> </ul>
		Breitenvariation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verbesserung der Breitenvariation</li> <li>- erhöhte Eigendynamik</li> <li>- verbesserte Ausuferungsfähigkeit und -dynamik (Konnektivität Gewässer-Ufer-Aue)</li> </ul>
		Ufersubstrat	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vorkommen und Annäherung an gewässertypspezifische Zusammensetzungen des Ufersubstrates</li> <li>- erhöhte Eigendynamik</li> </ul>
		Uferlinienlänge und -verbauungsgrad	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vorkommen prozentual erhöhter Längenanteile gewässertypspezifischer Ufer entlang des Rheins</li> <li>- erhöhte Eigendynamik</li> </ul>

## 4.2 Monitoringdesign, -zeitraum und -häufigkeit

Das in dem Untersuchungskonzept (Gerisch et al. 2017) festgelegte Erhebungsprogramm zur Erfolgskontrolle im MP für die Fachdisziplin „Hydromorphologie“ basiert methodisch auf dem „Bevor-After-Control-Impact“ (BACI)-Design (Stewart-Oaten & Bence 2001). Zur Beurteilung des Maßnahmenenerfolgs im MP wird ein Zeitvergleich durchgeführt, indem die Maßnahmenstrecke vor und nach Maßnahmenumsetzung betrachtet wird (vgl. Quick et al. 2019).

Eine erste Kartierung zur Erfassung des Ist-Zustands als Vergleichs-Zustands-Dokumentation für die kommenden Jahre wurde zwischen März und November 2017 durchgeführt. Um den Einfluss der Maßnahmen zu beurteilen und eine Herstellungs- bzw. Funktionskontrolle durchzuführen, kann ein zweites Monitoring der Hydromorphologie z. B. bereits im ersten Jahr unmittelbar nach Umsetzung einer Maßnahme umgesetzt werden. Um die zeitliche Variabilität und die in unterschiedlichen Zeitskalen ablaufenden möglichen Veränderungen und die Ausbildung hydromorphologischer Strukturen zu erfassen, sollten entsprechend wiederholende Untersuchungen angesetzt werden; als weitere Zeitfenster für das hydromorphologische Monitoring können z. B. 3, 5 und 10 Jahre nach Fertigstellung einer Maßnahme anvisiert werden. Kurzfristig sollte ggf. nach größeren Hochwasserereignissen ein zusätzliches Monitoring der hydromorphologischen Gewässerentwicklung erfolgen können (Quick et al. 2019).

### 4.3 Bezugsräume der hydromorphologischen Indikatoren

Im MP Kühkopf werden die Indikatoren im Bereich der Gewässersohle und des Ufers betrachtet. Die äußere Begrenzung für die Erfassung der Indikatoren stellt somit die Böschungsoberkante bzw. in einigen Abschnitten die durch Interpolation ermittelte Böschungsoberkante dar. Der Bereich der Aue östlich der Böschungsoberkante wurde im Rahmen der Ist-Zustandserfassung nicht berücksichtigt da die Maßnahmen nur den Bereich unter und über der Mittelwasserlinie (MW-Linie) betreffen (Uferentsteinung). Auch die hydromorphologischen Maßnahmenziele des MP beziehen sich auf das Ufer und auf das Gewässerbett.

Die MW-Linie bildet definitionsgemäß die Abgrenzung zwischen den Teilbereichen „Ufer“ und „Gewässersohle“ (Quick et al. 2019), so dass die Uferzone nur bei Abflüssen, die höher sind als MW, überströmt wird. Die landseitige obere Begrenzung des Ufers bildet die Böschungsoberkante (BOK) (vgl. Abb. 3). Bei Naturuferabschnitten, die eine fehlende deutliche Böschungsoberkante im Gelände aufweisen, wie z. B. im Abschnitt U1 und U2, wird das Ufer vom Ausuferungswasserstand entsprechend der mittleren Hochwasserlinie (MHW) begrenzt (vgl. WaStrG § 1 Abs. 2) (Quick et al. 2019).

Für die verschiedenen hydromorphologischen Indikatoren können sich die Erfassungsräume unterscheiden: die Kartierung und Luftbildauswertung des Indikators Uferstruktur und -substrat auf der Basis von Luftbildauswertungen fand zwischen der MW-Linie und der BOK statt. Die Ermittlung der Korngrößenverteilung der Sedimente entlang von Transekten fand für den Ufer- und Sohlbereich zusammen zwischen dem jeweiligen Hektometerstein und der unteren Grenze der vom Ufer noch einsehbaren Sohle statt. Für die Erfassung der Sohlstruktur und des -substrates (ufernah) auf Basis von Luftbildern bildet der zum Zeitpunkt der Erfassung noch vom Ufer einzusehende Bereich des Gewässerbettes die untere Begrenzung der Erfassung (siehe Abb. 3).

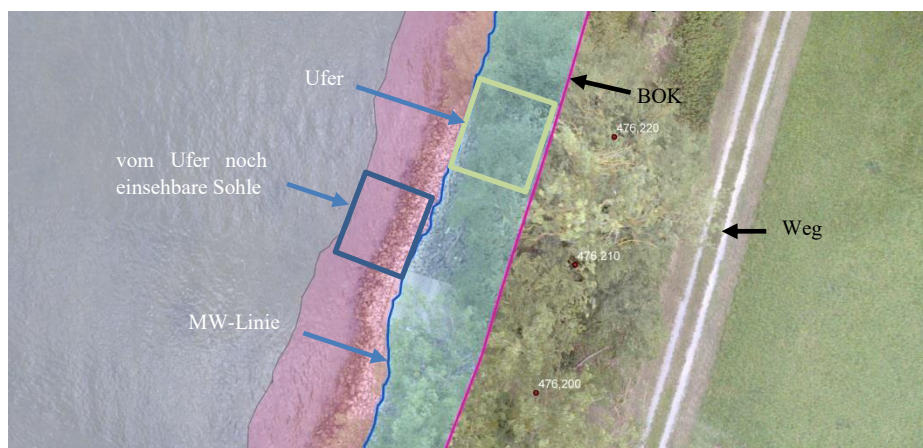


Abb. 3: Bezugsraum der Kartierung und Luftbildauswertungen in GIS

Quelle: Orthophoto der UAV-Befliegung durch das BfG-Referat M5, August 2018, bearbeitet BfG\_Lütz

Zur Erfassung des Indikators „Breitenvariation“ ist der genutzte Bezugsraum die Fläche zwischen der Mittelwasserlinie (Uferlinie) und einer in 50 m Abstand parallel zur Flusslängsachse verlaufenden Linie.

Der Bezugsrahmen im MP ist für die Indikatoren „Sohlstrukturen gesamt“ (hier: bezogen auf die gesamte Sohle im Gegensatz zu o.g. Indikator „ufernahe Sohlstrukturen“) auf der Grundlage der Peildaten (nach Quick & Schriever 2018) der Gewässerbettbereich zwischen Fahrinnenrand und der uferseitigen Begrenzung des digitalen Geländemodells.

Für den Indikator Tiefenvariation wurde die gesamte durch das DGM-W abgedeckte Gewässersohle im Maßnahmenbereich berücksichtigt, die seitliche Begrenzung stellt jeweils die uferseitige Begrenzung des DGM-Ws dar.

Die beiden Indikatoren Uferlinienlänge sowie Uferverbau werden auf Höhe der MW-Linie ermittelt.

## 4.4 Erfassungsmethoden

Die Erfassung der hydromorphologischen Indikatoren (vgl. Tab. 1 und 2) basiert auf rechnergestützten Auswertungen, Gelände- und Laborarbeiten. (Quick et al. 2019).

Dazu wurden folgende durch das WSA und die Landesämter zur Verfügung gestellte Grundlagendaten sowie Auswertungen von Web-Map-Service (WMS)-Diensten genutzt:

- Luftbilder
- turnusmäßige Sohlpeilungen des WSA (Linienpeilungen)
- Digitale Geländemodelle DGM-W 2017
- Digitale Bundeswasserstraßenkarte (1:2000) (DBWK-2)
- FLYS (Flusshydrologische Software der BfG)
- Orthophotos, Vermessungen mit Hilfe von Multikoptereinsätzen „unmanned, aerial vehicle“ (UAV) am 23.01.2017 von „Geo Ingenieurservice Süd GmbH & Ko.KG“

Die Durchführung eigener Erhebungen und von Laboranalysen bezieht sich auf:

- Kartierungen des hydromorphologischen Formenschatzes vor Ort
- Sedimentprobenahmen und Korngrößenanalysen der Sohl- und Ufersubstrate
- Orthophotos, Vermessungen mit Hilfe von Multikoptereinsätzen „unmanned, aerial vehicle“ (UAV) am 31. August 2018 durch BfG Referat M5 (ehemals M4)

Für jeden Indikator wird eine Erfassungsmethodik festgelegt, die über das gesamte Monitoring beibehalten wird um die Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten.

Die Definitionen und detaillierte Beschreibungen (Steckbriefe) mehrerer Indikatoren sowie der Erfassungs- und Auswertungsmethoden (siehe Tab. 2) sind Gerisch et al. (2017) sowie Quick et al. (2017, 2019) zu entnehmen.

Tab. 2: Erfassungs- und Auswertemethoden der hydromorphologischen Indikatoren im MP

Indikator	Erfassungsmethode	Auswertemethode	Ergebnis
Sohlstruktur	Höheninformationen aus DGM-W und Peildaten („Sohlstrukturen gesamt“) Kartierung vor Ort und Vermessung mit GNSS Befliegung mit UAV („Sohlstrukturen ufernah“)	Angepasste Valmorph-Methode (Quick et al. 2017, Quick & Schriever 2018) Kombination von Kartierung und Vermessung mit den georeferenzierten UAV-Aufnahmen in (Arc-) GIS Ermittlung der Sohlböschungeneigung auf Basis des DGM-Ws	Erfassung der Strukturen in maßnahmenrelevanten Teilbereichen des Gewässerbetts [m <sup>2</sup> ]
Tiefenvariation	Auswertung von Peildaten	Angepasste Valmorph-Methode (Quick et al. 2017)	Beschreibung und Quantifizierung der Tiefenvariation vor Maßnahmenumsetzung anhand des DGM-W 2017, ergänzend Beschreibung der Neigungen (Steilheit des Terrains)
Sohlsubstrat	punktueller Beprobung von Transekten	Siebung und Korngrößenanalysen	Ermittlung der Korngrößenverteilung (KGV) in den Proben
Ufersubstrat	Befliegung mit UAV	Kombination von Kartierung und Vermessung mit den georeferenzierten UAV-Aufnahmen in (Arc-) GIS	Erfassung der Substratflächen [m <sup>2</sup> ]
Uferstruktur	Kartierung vor Ort und Vermessung mit GNSS Befliegung mit UAV („Flächenhafte Erfassung“)	Kombination von Kartierung und Vermessung mit den georeferenzierten UAV-Aufnahmen in (Arc-) GIS	Erfassung der Strukturen [m <sup>2</sup> ]
Breitenvariation	Auswertung der Gewässerbreiten zwischen Flusslängsachsen Parallele und MW-Linie im Maßnahmengebiet	Angepasste Valmorph-Methode (Quick et al. 2017)	Gewässerbreiten in 10 m Schritten, abschnittsweise mittlere Gewässerbreiten sowie Breitenvariation
Uferlinienlänge und Uferverbau	Informationen aus „FLYS“, DGM-W und „DBWK-2“	Angepasste Valmorph-Methode (Quick et al. 2017) Längenerfassung in (Arc-) GIS	Ermittlung des Quotienten Uferlinienlänge sowie des prozentualen Anteils des verbauten Ufers bezogen auf die Gesamtlänge

## 5 Ist-Zustandserfassung der Indikatoren 2017/2018

Die in diesem Kapitel dargestellte Erfassung und Auswertung der hydromorphologischen Indikatoren bildet die Datengrundlage für eine spätere Bewertung der Maßnahme im Sinne der im Monitoringkonzept festgelegten Bewertungsziele (Z1 und Z2, siehe Tab. 1) (Gerisch et al. 2017). Zur Beurteilung wurden messbare Kriterien für die Zielerreichung im Gewässerbett, insbesondere im ufernahen Bereich, und am Ufer festgelegt. Die Bewertung orientiert sich dabei an den anvisierten Projektzielen.

Im maßnahmenrelevanten Bereich des Rheins sollen sich die Flächenanteile gewässertypspezifischer Strukturen, wie z. B. Kies- und Sandbänke und Flachwasserzonen, prozentual erhöhen. Eine Struktur- und Substratvielfalt soll sich durch die Förderung von gewässertypspezifischen Uferausprägungen wie z. B. Sand- und Kiesufer, Abbruchkanten und Böschungen, u. a. durch verbesserte Ausuferungsfähigkeit und -dynamik (Eigendynamik) ausbilden. Um die Erreichung der vorgenannten Ziele überprüfen zu können, wurde im Maßnahmenbereich in einem ersten Schritt der Ist-Zustand (2017) der Valmorph Indikatoren „Breiten-“ und „Tiefenvariation“, „Uferlinienlänge“ sowie „Sohlstrukturen“ ermittelt. Nach Maßnahmenumsetzung kann die quantitative Veränderung dieser Indikatoren zur Ermittlung der Auswirkungen der Maßnahmen genutzt werden. Der zusätzlich genutzte Valmorph Indikator „Uferstruktur“ eignet sich gut zur Bewertung der Effekte einer Uferentsteinung und auch die Substratverteilung wurde für den Ist-Zustand ermittelt. Im nachfolgenden Abschnitt werden die genannten Indikatoren detailliert ausgewertet.

## 5.1 Indikator Sohlstrukturen

Steckbrief: Sohlstrukturen	
Definition	Temporäre Formelemente des Oberflächenreliefs der Gewässersohle, entstehen durch fluviale (natürliche, naturnahe oder anthropogen initiierte) hydromorphologische Rückkopplungsmechanismen und können permanent oder zeitweise mit Wasser bespannt sein (Quick et al. 2019).
Zeiger	Das Vorhandensein und die Ausprägung von gewässertypspezifischen Sohlstrukturen wie z. B. Längs- und Querbänke, Gleithang- bzw. Prallhangböschung, Rinnen, Hauptgewässerbett und Kolk, stellt ein Maß für die Strukturgüte eines Gewässers dar (Quick et al. 2017), gewässertyp-spezifische Sohlstrukturen tragen z. B. zur Erhaltung der biologischen Vielfalt durch Vielfalt an Lebensräumen (Habitaten) bei (Quick et al. 2019).
Bezugsraum im MP	<b>Sohlstrukturen gesamt:</b> Ermittelt und bewertet im maßnahmenrelevanten Sohlbereich zwischen Fahrrinnenrand und rechtem Ufer (begrenzt durch die uferseitige Ausdehnung des DGM-W) in Kapitel 5.1.1 <b>Sohlstrukturen ufernah:</b> in Kapitel 5.1.2, nur einsehbarer Bereich unterhalb der MW-Linie. Hier zusätzlich Betrachtung der Neigung der ufernahen Sohlböschung auf Basis des DGM-W bis MW-Linie Getrennte Betrachtung mit unterschiedlicher Detailtiefe
Datengrundlagen	Sohlstrukturen gesamt: DGM-W 2017: Raster aus einer Vielpunkt-Echolotvermessung mit einer Auflösung von 1 x 1 Meter Kartierung vor Ort im Frühjahr 2017 Sohlstrukturen ufernah: Orthophotos aus Befliegungen mit UAVs: 23.01.2017 von „Geo Ingenieur-service Süd GmbH & Ko.KG“ <sup>4</sup> (Pegel Worms <sup>5</sup> : 36 cm) und 29. und 31. August 2018 durch das BfG Referat M5 (ehemals M4) <sup>6</sup> (Pegel Worms: 60 cm bzw. 56 cm) Neigung der ufernahen Sohlböschung auf Basis des DGM-W bis MW-Linie
Methodik Sohlstrukturen gesamt: Quick & Schriever 2018	Den Höheninformationen (Peildaten) aus den Digitalen Geländemodellen werden bestimmten Sohlstrukturen zugewiesen. Die Auswahl der jeweiligen Struktur erfolgt anhand bestimmter Grenztiefen und teilautomatisierter Bildung von Höhenklassen und nach Experteneinschätzung. Sohlstrukturen, die im Maßnahmensgebiet auftreten, wie z. B. Hauptgewässerbett, Tiefenrinnen, Seitenrinnen, Gleithangböschung und Längsbank (siehe Abb. 6), werden im GIS quantitativ in ihrer Flächenausdehnung [m <sup>2</sup> ] erfasst. Auf der Grundlage der klassifizierten Polygone (Abb. 6) lassen sich quantitative Aussagen über die vorhandenen Sohlstrukturen treffen (siehe Tab.3).
b) Sohlstrukturen ufernah:	Ermittlung der Strukturflächen durch Digitalisieren i. d. R. im Maßstab 1:250 - 1:400

<sup>4</sup> UAV: „DJI Phantom 3 professional“ Flughöhe 21,4 m, die Bodenauflösung 8.47 mm pro Pixel

<sup>5</sup> Zum Vergleich und zur Einordnung der Wasserstände zum Zeitpunkt der Befliegungen: der mittlere (MW) und mittlere Niedrigwasserstand (MNW) am Pegel Worms (Zeitspanne 01.11.2000 - 31.10.2010) beträgt für MW: 210 cm und MNW: 64 cm (Elektronischer Wasserstraßen-Informations-Service, www.elwis.de).

<sup>6</sup> UAV: „DJI Phantom 4“; Flughöhe von 40 m, die „Ground Sample Distance“ (GSD) des Orthophotos der BfG (M5), beträgt 1,75 cm pro Pixel.

Auswertung von Orthophotos und ufernahen Böschungsneigungen durch Digitalisieren aus dem DGM-W 2017.

### 5.1.1 Sohlstrukturen – gesamt, großräumige Strukturen

Der nachfolgenden Abbildung sind die flächenhaften Ausdehnungen der jeweiligen Sohlstrukturen im maßnahmenrelevanten Bereich des MP zu entnehmen. Die Höhenlagen ergeben sich aus den mit ArcGIS reklassifizierten Polygonen der Umwandlung von Rasterdaten des DGM-W 2017. Anhand dieser Polygone werden die Sohlstrukturen klassifiziert und die Flächeninformationen abgeleitet. In dem als „erheblich veränderter Wasserkörper“ (HMWB) ausgewiesenen Rhein sind rezent die Sohlstrukturen „Tiefenrinne“, „Seitenrinne“, „Längsbank“, „Hauptgewässerbett“ und „Gleithang“ im maßnahmenrelevanten Abschnitt des MP vorhanden (vgl. Abb. 4: Sohlstrukturen im maßnahmenrelevanten Bereich (rechts der Fahrrinne bis zum Ufer)

und Tab. 3). Diese wurden bestimmt über die in Tab. 3 angegebenen Grenztiefen und eine visuelle Überprüfung. Die vorkommenden Strukturen entsprechen auch den Sohlstrukturen, die typischerweise in einem Gewässer des Typ 10 „Kiesgeprägte Ströme“ zu erwarten sind, wie z. B. lagestabile Längsbänke, lange Gleituferbänke und Seitenrinnen, (UBA 2014, Pottgießer 2018). Die dynamischen Bereiche mit flächenhaften Veränderungen liegen im „Hauptgewässerbett“ sowie an der lagestabilen Längsbank im Gleithangbereich (siehe Tab. 3 und Abb. 7).

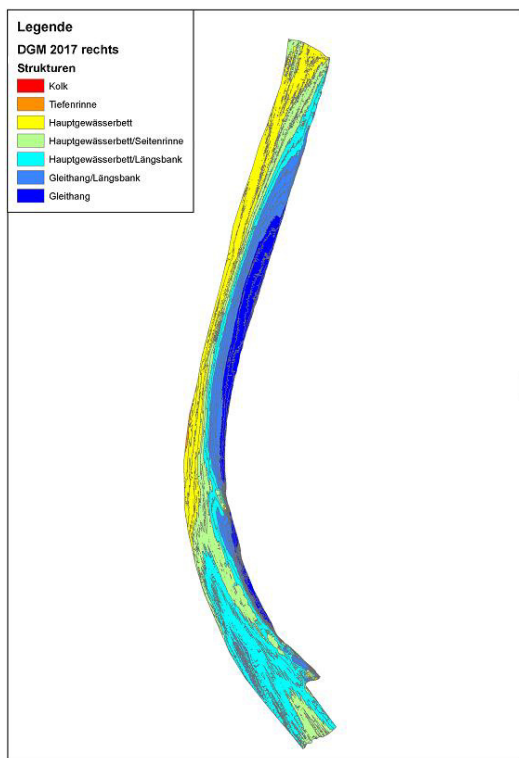


Abb. 4: Sohlstrukturen im maßnahmenrelevanten Bereich (rechts der Fahrrinne bis zum Ufer)

Quelle DGM: 3-D-Datenarchiv BWastr. BfG i.A. des WSA Mannheim, bearbeitet BfG\_Schriever 2020

Die anhand der Klassifizierung im GIS ermittelten Strukturflächen [m<sup>2</sup>] des DGM-W im maßnahmenrelevanten Bereich des MP (vgl. Abb. 4) sind in Tabelle 3 zusammenfassend dargestellt:

Tab. 3: Flächensummen und prozentuale Anteile der Sohlstrukturen im DGM-W 2017

Sohlstrukturen	Ist-Zustand 2017		
	Grenztiefe (m)	[m <sup>2</sup> ] (gerundet)	[%]
Tiefenrinne	< 78,50	1.591	0,20
Seitenrinne	79-79,50	38.579	5,00
Längsbank	79,50-80,60	117.005	15,10
„Hauptgewässer- bett“	79,50-80,60	407.049	52,50
Gleithang	>81,20	211.013	27,20

Zu beachten ist hier, dass bei gleichen Grenztiefen nach visueller Überprüfung auch unterschiedliche Sohlstrukturen zugeordnet werden können, dies wird durch Experteneinschätzung vorgenommen. Die prozentuale Verteilung der Sohlstrukturen im Ist-Zustand (rechts der Fahr-  
rinne) wird in Tabelle 3 und Abb. 5 gezeigt. Etwa die Hälfte der Gesamtfläche des untersuchten Abschnittes wird im Ist-Zustand von der Struktur „Hauptgewässerbett“ eingenommen (siehe Tab. 3 und Abb. 7, Quick und Schriever 2018).

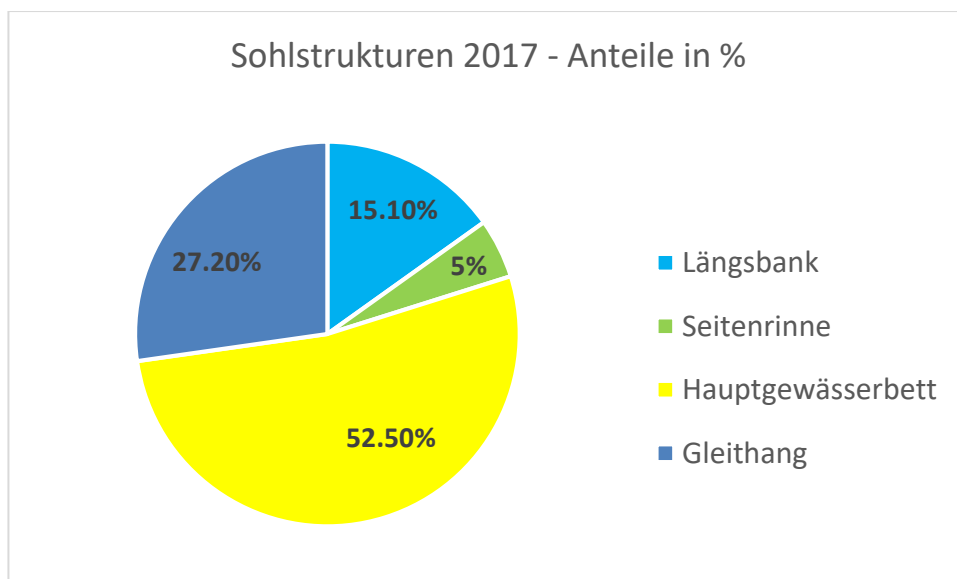


Abb. 5: Prozentuale Verteilung der Sohlstrukturen in der maßnahmenrelevanten Gewässerbettfläche 2017.

Quelle: Auswertung BfG\_Schriever 2020

Das hochaufgelöste DGM-W 2017 (1 m-Raster) stellt den IST-Zustand vor Maßnahmenumsetzung dar und eignet sich somit sehr gut als Grundlage zur weiteren Auswertung des Indikators „Sohlstrukturen“ im Rahmen von zukünftigen Erfolgskontrollen der Maßnahme in Bezug auf das Bewertungsziel Z1 (Tab. 1). Hierzu sollten nach Maßnahmenumsetzung vergleichbare, hochaufgelöste Sohltaufnahmen dieser Art erstellt werden, sodass ein quantitativer Vergleich der Flächen bzw. Anteile der Sohlstrukturen Aufschluss über die Dynamik bzw. Veränderungen im Bereich der Gewässersohle gibt.

### 5.1.2 Sohlstrukturen – ufernah, Detailstrukturen

Die flächenhafte Erfassung der rezent vorhandenen ufernahen Sohlstrukturen erfolgte aus den Orthophotos von 2017 und 2018 mittels GIS-Digitalisierung. Sie umfasst den in Abb. 3 markierten Bereich des Gewässerbettes ab der Mittelwasserlinie, welcher auf den Orthophotos noch einsehbar ist. Wasserseitig gibt es somit keine festgelegte Begrenzungslinie, wie es landseitig mit der Mittelwasserlinie der Fall ist. Diese Festlegung des Untersuchungsgebietes ist auch in Folgeuntersuchungen zu berücksichtigen und entsprechend zu übernehmen. Diese im MP im ufernahen Bereich der Sohle liegende Fläche steht im besonderen Fokus des Monitorings, da in diesem Korridor Veränderungen in der Sohlstruktur durch die Maßnahmenumsetzung und den sich anschließenden morphologischen Nachlauf zu erwarten sind, z. B. eine Veränderung der Böschungsneigung des Gewässerbettes (nachfolgend: „Sohlböschung“). Beispielhaft sind die Detailkarten der digitalisierten Flächen aus U1 Rh-km 474,000 - 474,700 (links) und für die Abschnitte U4 und U5, Rh-km 476,000 - 476,500, der Abb. 8 zu entnehmen. Der Sohlbereich im Untersuchungsabschnitt U1 ist flach, „naturnah“ und ohne Verbau mit einer flachen Bucht und Flachwasserbereichen. Die Sohlabschnitte in U4 und U5 haben eine mäßig geneigte Böschung und sind im ufernahen Bereich durchgehend verbaut. Zur Beurteilung des Verbaugrades der ufernahen Sohle wird die Länge der Abschnitte mit und ohne Verbau erfasst. Die Sohlstrecke unter MW ist zu 37 % mit geschütteten Wasserbausteinen (Böschungsfußsicherung) verbaut, 63 % der ufernahen Sohlstrecke sind unverbaut (mit unterschiedlichen Oberflächensubstraten wie z. B. Kiese, Sande und Feinsedimente, organische Ablagerungen wie Muschelschalen und Totholz, teilweise auch mit lückig aufliegenden Resten von historischem Verbau (Stickungssteinen).

Die Ergebnisse der Digitalisierung der Sohlstrukturen aus den Orthophotos können als Grundlage genutzt werden, um nach Maßnahmenumsetzung eine Veränderung hinsichtlich prozentual erhöhter Flächenanteile gewässertypspezifischer Sohlstrukturen wie z. B. Kies- und Sandbänke und Flachwasserzonen zu erfassen. Rezent sind einige gewässertypische Sohlstrukturen wie z. B. Längsbänke im angrenzenden Bereich zum Ufer vorhanden.

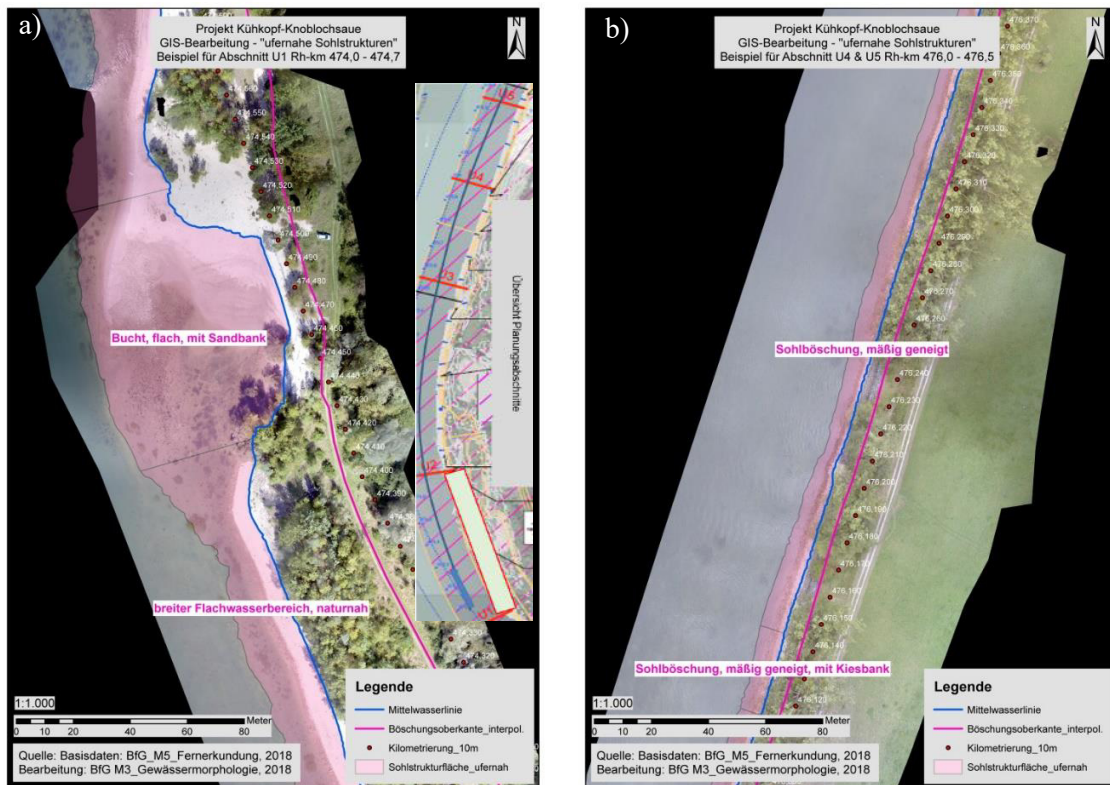


Abb. 6: ArcGIS Bearbeitung „Sohlstrukturen“ im ufernahen Bereich – a) Beispiel für Abschnitt U1 Rh-km 474,000 - 474,700 und b) für die Abschnitte U4 und U5, Rh-km 476,000 - 476,500

Quelle: Basisdaten: BfG\_M5\_Fernerkundung 2018, bearbeitet BfG\_Lütz

Die digitalisierte Gesamtfläche der ufernahen Sohle im Bereich zwischen Rh-km 474,000 - 476,500 beträgt rund 4,1 ha. Der ufernahe Sohlbereich ist trotz der anthropogenen Überprägung durch den Verbau unter Mittelwasser (Böschungsfußsicherung) kleinräumig strukturiert (vgl. Abb. 8). Breite Flachwasserbereiche, Kiesbank, Buchten und mäßig geneigte Sohlböschungen prägen den MP-Abschnitt. Mehr als ein Drittel der Flächen (38 %) sind mäßig geneigte Sohlböschungen, wovon ca. 7 % der Fläche von einer Muschelbank bzw. Kiesbank überdeckt sind. Etwas mehr als ein Drittel der Fläche (36 %) wird durch einen breiten Flachwasserbereich geprägt (29 % naturnah, 7 % teilweise mit Wasserbau- und Stickungssteinen gesichert), 13 % der Sohlfläche weisen eine flache Neigung auf und 4 % sind mäßig geneigte Buchten.

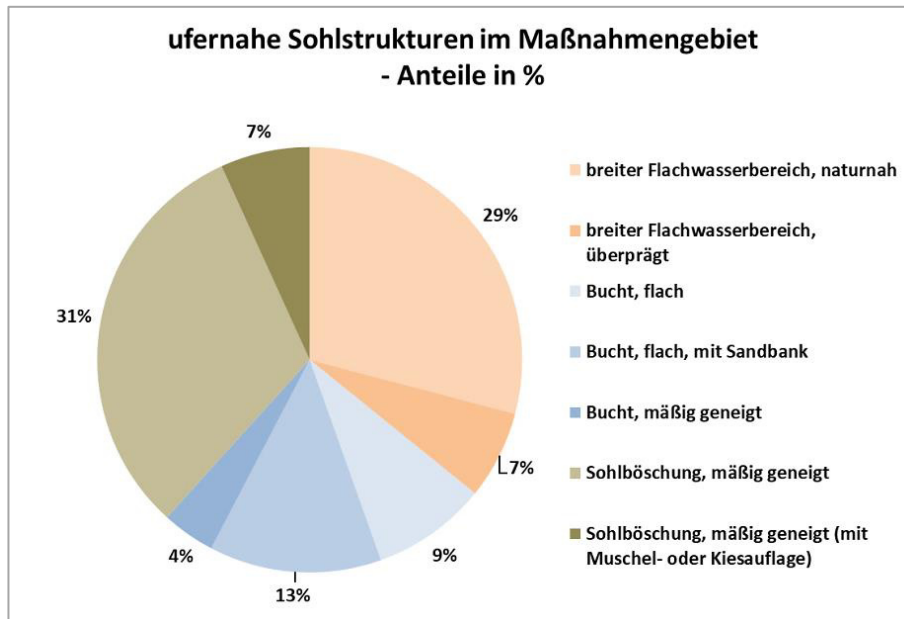


Abb. 7: Prozentuale Verteilung der digitalisierten Flächen der „ufernahen Sohlstrukturen“ (Gesamtfläche ca. 4 ha)

Quelle: BfG\_Lütz 2019

Die Verteilung der Sohlstrukturen in den einzelnen Planungsabschnitten U1 bis U5 sind der Tab. 4 zu entnehmen. Die Sohle der nördlichen Planungsabschnitte U3 - U5 ist geprägt von mäßig geneigten Sohlböschungen als Folge des Verbaus ober- und unterhalb der MW-Linie. Die südlichen Planungsabschnitte U1 - U2 sind von naturraumtypischen Neigungen der Sohlböschung geprägt, die sich auf Grund der Uferdynamik, die das Entstehen von Buchten und Flachwasserbereichen ermöglicht, einstellen können. Diese Auswertung der Strukturflächen bildet eine gute Grundlage der späteren Bewertung des Maßnahmenziels „Entwicklung und Förderung von gewässertypspezifischen Sohlausprägungen insbesondere im ufernahen Bereich des Rheins (Kies- und Sandbänke, Flachwasserzonen etc.).

Tab. 4: Flächenausdehnung und prozentuale Anteile der Sohlstrukturen (ufernah) in den Teilabschnitten U1 - U5 vor Maßnahmenumsetzung (2017)

Quelle: BfG\_Lütz 2019

Maßnahmen- abschnitt	"ufernahe Sohlstrukturen"	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Fläche- Abschnitt [m <sup>2</sup> ]	Anteil [%] bezogen auf den jeweiligen Maßnahmenabschnitt
U5	Sohlböschung, mäßig ge- neigt	776,00	1.019	76
	Sohlböschung, mäßig ge- neigt, mit Kiesbank	243,00		24
U4	Sohlböschung, mäßig ge- neigt	2.586,00	2.830	91
	Sohlböschung, mäßig ge- neigt, mit Kiesbank	244,00		9
U3	Sohlböschung, mäßig ge- neigt	3.012,00	5.305	57
	Sohlböschung, mäßig ge- neigt, mit Muschelbank	2.293,00		43
U2	breiter Flachwasserbereich	1.937,00	13.645	14
	Sohlböschung, mäßig ge- neigt	6.480,00		48
	Bucht, mäßig geneigt	1.658,00		12
	Bucht, flach	3.570,00		26
U1	breiter Flachwasserbereich, naturnah	11.884,00	18.052	66
	Bucht, flach, mit Sandbank	5.359,00		30
	breiter Flachwasserbereich	809,00		4
	<b>Gesamtfläche</b>		<b>40.851</b>	

Zur besseren Veranschaulichung und vertieften Betrachtung der Böschungsneigungen des ufernahen Sohlbereichs wurde für jeden Planungsabschnitt jeweils ein repräsentativer Flusskilometer ausgewählt, der den entsprechenden Abschnitt im DGM-W 2017 gut charakterisiert (U1: km 474,5, U2: km 475,3, U3: km 475,7, U4: km 476,24, U5: km 476,45). Für diese Flusskilometer wurde von der Flussachse bis zur MW-Linie (horizontale, gestrichelte Linie) ein Querprofil des DGM-W 2017 des Flussschlauchs und des ufernahen Bereichs erzeugt (Abb. 8-12). Innerhalb der Querprofile lässt sich anhand der unterschiedlichen Steigung jeweils der Übergang von Gerinnebett hin zu den ufernahen Sohlbereichen abbilden. Die ufernahen Bereiche wurden entsprechend mittels vertikaler gestrichelter Linie markiert und für den uferseitigen Bereich wurde die mittlere Steigung berechnet.

Sehr gut zu erkennen ist hier der Unterschied des naturnäheren Planungsabschnitts 1 zu den 4 anderen Abschnitten, welche durch anthropogenen Uferverbau (verbaut bzw. teilentsteint) geprägt sind: In U1 bei Flusskilometer 474.5 beträgt die Steigung im Ufernahen Bereich 1,35 % bzw. 0,77°, wohingegen die Steigung in U2-U5 22,65 % (12,76°), 7,33 % (4,2°), 24,59 % (13,82°) und 21,23 % (11,99°) betragen. Des Weiteren ist im Querprofil in U1 auch die vorge-lagerte Längsbank mit der ufernah dahinter liegenden Rinne deutlich sichtbar, die größere Naturnähe des Ufer- und Sohlbereichs dieses Abschnitts wird hier sowohl durch die flachere

Böschungsneigung als auch durch das Auftreten gewässertypspezifischer Strukturen sichtbar. Für einen Vergleich der Entwicklung nach Maßnahmenumsetzung lassen sich diese Profile in ihrem Verlauf bei entsprechender Datenlage am selben Flusskilometer direkt vergleichen, so dass hieraus Rückschlüsse auf die Entwicklung der ufernahen Sohlneigung gezogen werden können. Diese Betrachtung eignet sich folglich sehr gut, um Effekte von geplanten Uferentsteinungen auf die ufernahe Gewässersohle zu erfassen.

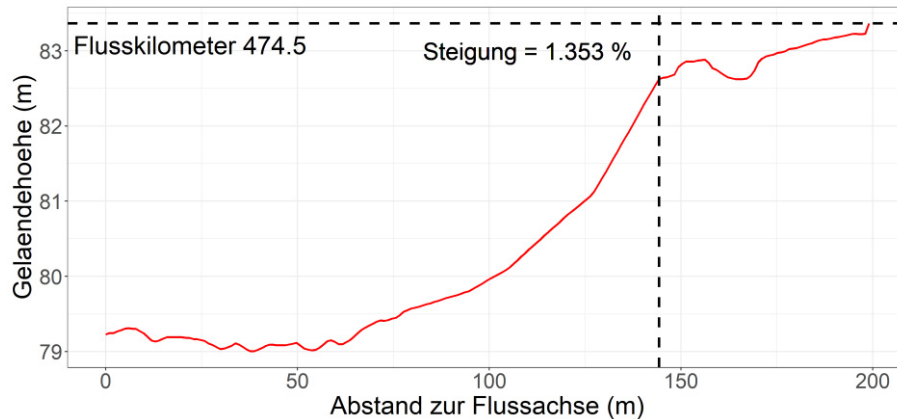


Abb. 8: Sohlprofil der rechten Flusshälfte am Flusskilometer 474,5, repräsentativ für die Sohlneigung im U1. Die gestrichelte horizontale Linie zeigt die Geländehöhe der MW-Linie an, die gestrichelte vertikale Linie markiert den ufernahen Sohlbereich, für den die Steigung angegeben ist.

Quelle: BfG\_Range 2024

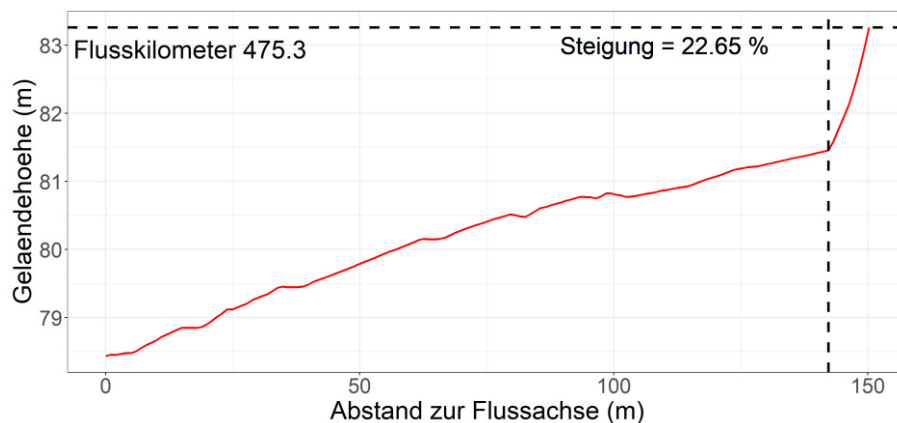


Abb. 9: Sohlprofil der rechten Flusshälfte am Flusskilometer 475,3, repräsentativ für die Sohlneigung im U2. Die gestrichelte horizontale Linie zeigt die Geländehöhe der MW-Linie an, die gestrichelte vertikale Linie markiert den ufernahen Sohlbereich, für den die Steigung angegeben ist.

Quelle: BfG\_Range 2024

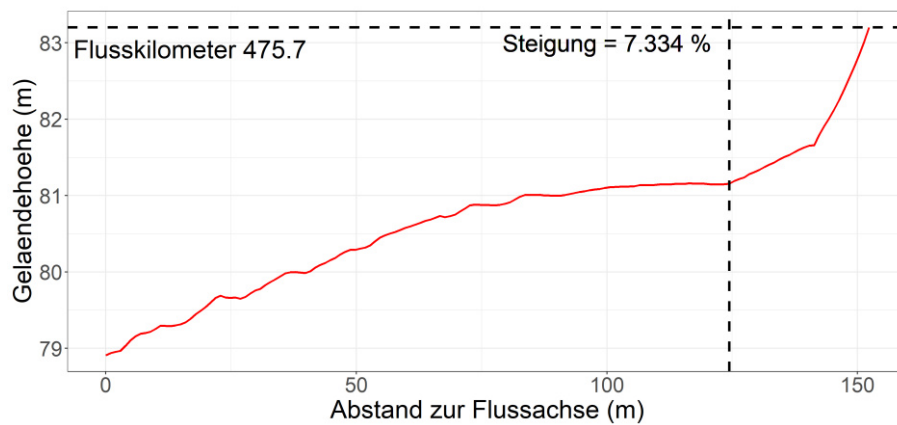


Abb. 10: Sohlprofil der rechten Flusshälfte am Flusskilometer 475,7, repräsentativ für die Sohlneigung im U3. Die gestrichelte horizontale Linie zeigt die Geländehöhe der MW-Linie an, die gestrichelte vertikale Linie markiert den ufernahen Sohlbereich, für den die Steigung angegeben ist.

Quelle: BfG\_Range 2024

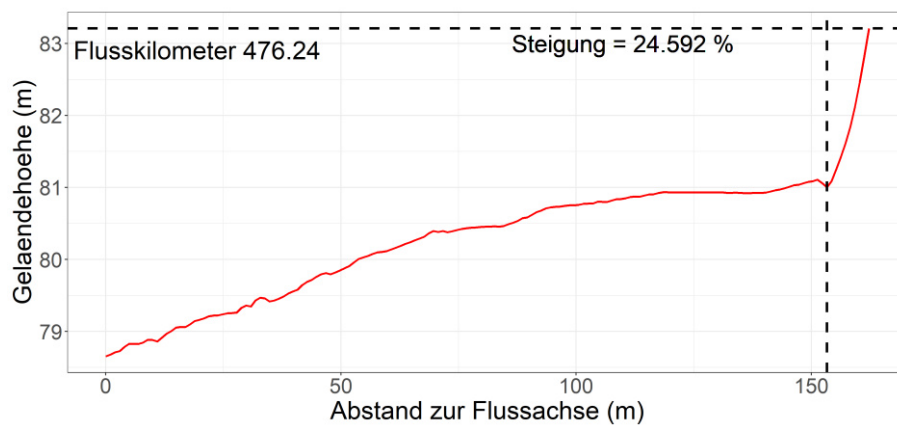


Abb. 11: Sohlprofil der rechten Flusshälfte am Flusskilometer 467,24, repräsentativ für die Sohlneigung im U4. Die gestrichelte horizontale Linie zeigt die Geländehöhe der MW-Linie an, die gestrichelte vertikale Linie markiert den ufernahen Sohlbereich, für den die Steigung angegeben ist.

Quelle: BfG\_Range 2024

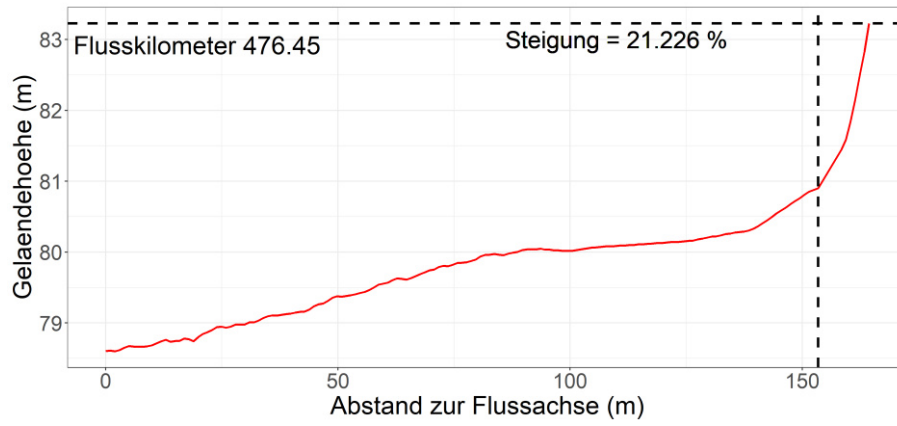


Abb. 12: Sohlprofil der rechten Flusshälfte am Flusskilometer 476,45, repräsentativ für die Sohlneigung im U5. Die gestrichelte horizontale Linie zeigt die Geländehöhe der MW-Linie an, die gestrichelte vertikale Linie markiert den ufernahen Sohlbereich, für den die Steigung angegeben ist.

Quelle: BfG\_Range 2024

## 5.2 Indikator Tiefenvariation

Steckbrief: Tiefenvariation	
Definition	Häufigkeit und Ausmaß des räumlichen Wechsels der Wassertiefe bei mittleren Abflüssen (Quick et al. 2017).
Zeiger	Differenziertheit des Gewässerbettes, Breite des Habitatangebotes, Je häufiger und stärker die Tiefe des Mittelwasserbettes wechselt, umso größer sind z. B. die Variabilität der vorkommenden Sedimentfraktionen und die Strömungsdiversität sowie die zur Verfügung stehenden Habitats. Weist z. B. durch die Anzahl an Mesohabitats (Pool und Riffle, etc.) auf die ökologische Qualität eines Gewässers hin (Quick et al. 2017).
Bezugsraum im MP	Ermittelt und bewertet im gesamten Sohlbereich des MPs.
Datengrundlagen	DGM-W 2017: Raster aus einer Vielpunkt-Echolotvermessung mit einer Auflösung von 1 x 1 Meter.
Methodik	Verbal-argumentative Beschreibung des digitalen Höhenmodells des Ist-Zustands (DGM-W 2017) im Bezugsraum, Beschreibung anhand statistischer Kennwerte (mittlere Tiefe, min./max. Tiefe).  Generierung eines Neigungsrasters auf Basis des digitalen Höhenmodells (DGM-W 2017) in ArcGIS zur unterstützenden Identifizierung der Variabilität von Tiefen. Hierbei wird die maximale Neigung einer Rasterzelle als Gradient in ° zur unmittelbaren Nachbarzelle angegeben, Neigungen von 0° (flach) bis 90° (senkrecht) sind hierbei theoretisch möglich.
Bewertung	Anhand der verbal-argumentativen Beschreibung des Höhenmodells und der quantitativ vorliegenden Neigungen der einzelnen Zellen des Neigungsrasters kann eine Beschreibung des Ist-Zustands erfolgen. Hieraus ergibt sich für nachfolgende Untersuchungen die Grundlage für eine zukünftige Bewertung nach Maßnahmenumsetzung. Durch einen vorher-nachher Vergleich im Rahmen der Erfolgskontrolle können so Veränderungen der Tiefenvariation detektiert und bewertet werden.

Für den Gewässertyp „Typ 10: Kiesgeprägte Ströme“, zu denen der Rhein im Bezugsraum gezählt wird, ist im sehr guten ökologischen Zustand im Längsprofil eine „große bis sehr große Tiefenvarianz“ zu erwarten (UBA 2014). Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass es sich beim Rhein um einen „erheblich veränderter Wasserkörper“ (HMWB) handelt, in dem auf Grund anthropogener Veränderungen die Gewässersohle eine geringe Tiefenvariation aufweist. Dies ist vor allem auf Unterhaltungsmaßnahmen zur Bereitstellung einer planfestgestellten Fahrrinntiefe sowie auf die Einschränkung morphologischer Umlagerungsprozesse durch Ufersicherung und weitere strombauliche Maßnahmen wie Buhnen zurückzuführen. Die Morphodynamik ist im Maßnahmenbereich stark eingeschränkt.

Für den Indikator Tiefenvariation im Ist-Zustand wird zunächst das mittels Vielpunkt-Echolotvermessung erzeugte digitale Höhenmodell (DGM-W 2017) des Bezugsraums dargestellt und beschrieben (vgl. Abb. 13). Zu beachten ist hierbei, dass nachfolgende Beschreibungen auf Höhen bezogen sind, da sich die Angaben des digitalen Höhenmodells als absolute Höhe über NHN darstellen. Die Geländehöhe gibt im Umkehrschluss Einblick in die Wassertiefen bzw.

deren Variation. Große Höhen entsprechen also nachfolgend geringen Wassertiefen und niedrige Höhen entsprechen höheren Wassertiefen. Das DGM-W 2017 liegt in einer Auflösung von 1 x 1 m Rasterzellen vor.

Im Bezugsraum liegen die maximalen Höhen bei 82,85 m, die niedrigste Höhe beträgt 73,87 m. Die Spannweite der betrachteten Wassertiefen beträgt also > 9 m. Die mittlere Höhe beträgt 79,13 m und die Standardabweichung, also die Streuung der Höhenwerte um den Mittelwert, beträgt 1,40 m. Der Mittelwasserspiegel liegt im Maßnahmenbereich bei 83,2 m, somit beträgt die mittlere Wassertiefe im Bezugsraum 4 m, in den tiefsten Bereichen knapp 10 m.

Wie dem Höhenmodell zu entnehmen ist, sind im Maßnahmenbereich vor allem auf der rechten Flussseite in den Uferabschnitten U3-U5 geringere Wassertiefen vorzufinden. Auf der gegenüberliegenden Flussseite hingegen lassen sich die größten Wassertiefen erkennen, die im Bereich der Bühnenköpfe als Bühnenkopfkolke sowie im Bereich des Prallhanges gegenüber des Uferabschnitts U3 auftreten. In den südlicheren Bereichen des Maßnahmengbietes (U1-U3) sind die Wassertiefen bereits in der Nähe des Ufers schon größer, hier ist ein stärkerer Tiefengradient vom Ufer hin zur Gewässersohle ersichtlich. Die Tendenz zu geringeren Tiefen entlang des rechten Ufers und höheren Tiefen entlang des linken Ufers entspricht der Flusskrümmung, typischerweise fallen Ufer an Gleithängen (hier die rechte Seite, das geplante Maßnahmengbiet) flacher zur Gewässermittle hin ab und sind gekennzeichnet von Sedimentakkumulation, wohingegen an Prallhängen verstärkt Erosion und größere Wassertiefen zu erwarten sind.

Im Längsverlauf ist in der Mitte des Flusses auf Höhe der Fahrrinne eine relativ konstante Höhe erkennbar, welche im betrachteten Ausschnitt nur leicht abnimmt. Hier ist zu berücksichtigen, dass der Fluss in seinem Verlauf auch selbst ein Gefälle aufweist, welches sich in den absoluten Höhen des DGM widerspiegelt. Da auch die Wasserspiegellage diesem Gefälle folgt, spiegelt sich diese hierdurch bedingte geringe Verringerung der Höhe im Längsverlauf nicht zwingend in veränderten Wassertiefen wider.

Eine kleinräumigere Variabilität der Wassertiefen ist vor allem im Bereich des südlichen Bühnenfeldes bzw. dem Übergangsbereich hiervon nach Norden zu erkennen. Hier sind, bedingt durch die Bühnen, sowohl sehr hohe, als auch sehr geringe Wassertiefen in flächenhaft kleinen Anteilen häufig zu erkennen.

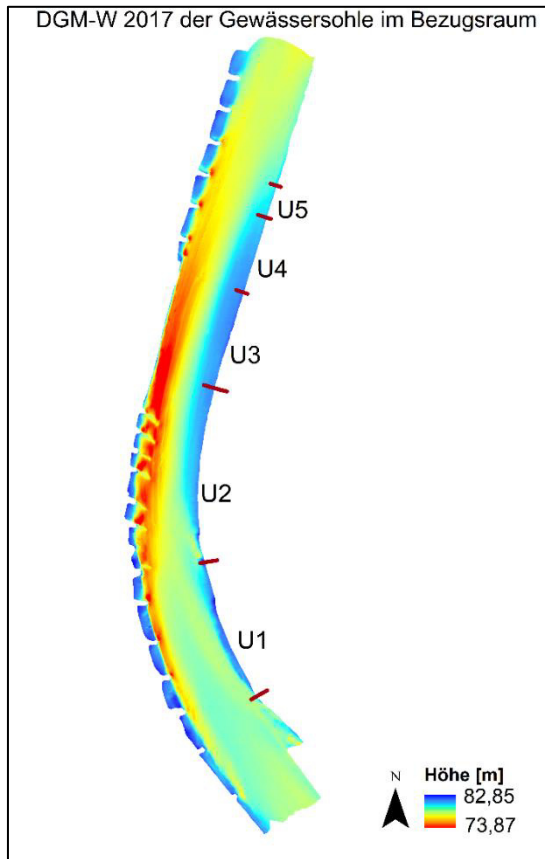


Abb. 13: Digitales Höhenmodell des Bezugsraums auf Basis des DGM-W 2017 der Gewässersohle. Angegeben sind hier die absoluten Höhen über NHN, sodass blau geringen Wassertiefen und rot größeren Wassertiefen entspricht.

Quelle: BfG\_Range 2024

Unterstützend wird nachfolgend neben den absoluten Tiefen auch die Neigung in Grad [°] zur Beschreibung des Ist-Zustands der Tiefenvariation hinzugezogen (siehe Abb. 14). Diese wird berechnet über das Tool „Neigung“ der Toolbox „Spatial Analyst“ in ArcGIS. Hierbei wird in einem beweglichen 3x3 Rasterfenster die maximale Änderungsrate eines Höhenwertes zu den unmittelbaren Nachbarzellen ermittelt. Mindestens 7 der 8 umgebenden Zellen müssen hierbei Werte enthalten, damit der zentralen Zelle ein Neigungswert zugewiesen wird, ansonsten wird der Zelle kein Wert zugewiesen.

Die Neigung zeigt somit an, wie stark Tiefengradienten der jeweiligen Rasterzellen zu ihren Nachbarzellen ausgeprägt sind (Steilheit des Terrains) und ist folglich ergänzend sinnvoll für die Beschreibung des Indikators Tiefenvariation, da sie Aussagen zum räumlichen Wechsel der Wassertiefen ermöglicht. Ein Vergleich mit einem DGM-W nach Umsetzung der Maßnahmen ermöglicht es dann auch, die Änderung der Tiefenvariation auf diese Weise zu quantifizieren.

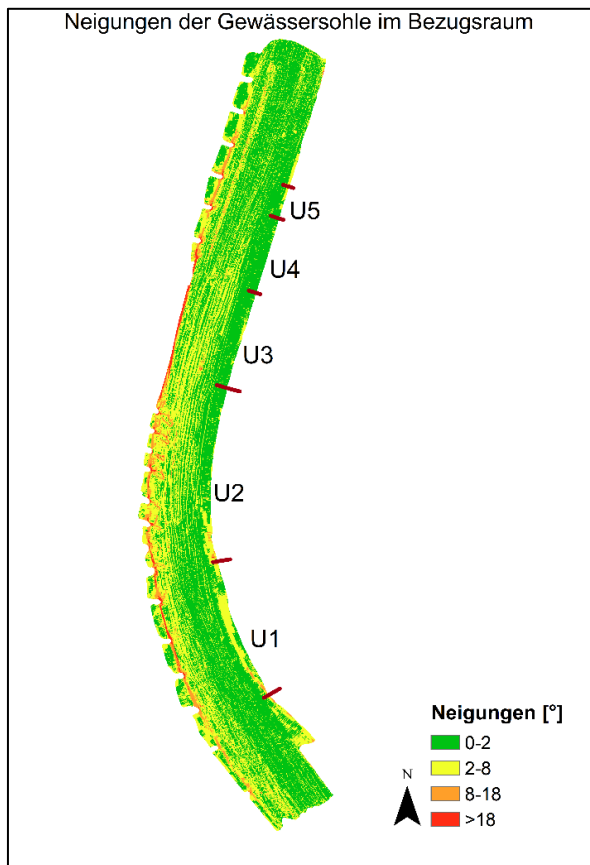


Abb. 14: Auf Basis des DGM-W 2017 berechnete Neigungen der Gewässersohle im Bezugsraum, angegeben in °.

Quelle: BfG\_Range 2024

Im betrachteten Bezugsraum herrschen generell nur geringe Neigungen von meist 0-2° vor, die meisten Höhenänderungen der Sohle sind über längere Distanzen ausgeprägt und wenig abrupt. Vor allem in den Uferabschnitten U2-U5 sind die Neigungen hin zu den Ufern sehr gering, wohingegen die Neigungen auf der gegenüberliegenden Flussseite hin zum Ufer teils über 18° betragen. Dies spiegelt auch die zuvor beschriebene Lage des Bezugsraums in der Flusskrümmung wider, wo auf der innenliegenden Seite (Gleithang) gleichmäßig abfallende Ufer vorzufinden sind und auf der außenliegenden Seite (Prallhang) steilere Ufer zu erwarten sind. Im Uferabschnitt U1 und anteilig auch im Uferabschnitt U2 sind etwas steilere Uferkanten vorzufinden, hier betragen die Neigungen 2-8° bzw. punktuell auch 8-18°. Im Bereich der Fahrrinne ist die Gewässersohle überwiegend flach, lediglich am südlichen Rand des Uferabschnitts 3 ist eine punktuell stärkere Neigung zu verzeichnen, die auf eine kleinräumige Sohlstruktur hinweist. Tabelle 5 zeigt die flächenhafte Ausdehnung der vier Neigungsklassen im betrachteten Ausschnitt und die entsprechende prozentuale Verteilung. Hier bestätigt sich, dass der Anteil der geringen Neigungen stark überwiegt.

Tab. 5: Flächen der verschiedenen Neigungsklassen und die entsprechende prozentuale Verteilung dieser Flächen.

Neigung [°]	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Anteil [%]
0-2	0,6954344	58,8
2-8	0,4342052	36,7
8-18	0,0420455	3,6
>18	0,0114447	1

Im vorliegend beschriebenen Ist-Zustand vor Maßnahmenumsetzung ist der Betrachtungsraum folglich durch tendenziell geringe Tiefenvariationen im Längsprofil gekennzeichnet. Im Teilabschnitt U1 führen die vorgelagerten Längsbankstrukturen zu mehr Strukturvielfalt und somit auch zu einer etwas höheren Tiefenvariation genauso wie eine kleine Kolkstruktur in U2. Das Ufer im Maßnahmenbereich U3 bis U5 ist ein klassisches gesichertes Gleithangufer mit einer konstanten Neigung (siehe Kapitel „ufernahe Sohlstrukturen“), welches eine sehr geringe Tiefenvariation aufweist. Gewässertypspezifische Sohlstrukturen, die mit häufigen Wechseln der Gewässertiefe und variierenden Neigungen an der Gewässersohle einhergehen sind hier nicht zu finden.

Bezogen auf die Beschreibung des Gewässertyps 10 im Leitbild der hydromorphologischen Steckbriefe (UBA 2014) ist hier folglich eine Verbesserung möglich, da im sehr guten ökologischen Zustand im Längsverlauf eine „große bis sehr große Tiefenvarianz“ vorzufinden ist. Deutlich ausgeprägt sind vorliegend nur die durch die Flusskrümmung bedingten Prall- und Gleithangstrukturen im Querschnitt.

Die vorliegende Auswertung des Höhenmodells vor Maßnahmenumsetzung bildet die Grundlage für ein Monitoring der Veränderung der Tiefenvariation im Betrachtungsraum nach Maßnahmenumsetzung.

### 5.3 Indikator Uferstruktur

Steckbrief: Uferstruktur	
Definition	Uferstruktur kann einerseits als Verbauungsgrad und -art der Böschung im Maßnahmenbereich sowie im Verhältnis Naturuferlänge rezent gegenüber einem Vergleichs-Zustand beschrieben werden oder als Flächeninformationen von (gewässertypischen) Uferstrukturen wie z. B. Böschungen, Buchten, Steilufer (unterschiedliche Abbruchsformen), Anlandungen wie z. B. Uferrehnen, Uferbänke (Sand, Kies) usw. (Quick et al. 2017, 2019)
Zeiger	Zeiger für die Naturnähe eines Uferabschnittes und laterale Vernetzung von Gewässerbett und Aue sowie für die Bereitstellung von diversen Habitaten.
Bezugsraum im MP	Zwischen der BOK bzw. dem uferbegleitenden Weg und der MW-Linie
Datengrundlagen	Geländekartierung vor Ort, DBWK-2, Orthophoto der UAV-Befliegung vom 23.01.2017 (Geo Ingenieur Service Süd GmbH & Co. KG) und der UAV-Befliegung 2018 (BfG)
Methodik	Für den Indikator wird die Länge des natürlichen bzw. naturnahen Ufers erhoben. Die Abweichung der Naturuferlänge gegenüber einem Vergleichs-Zustand wird berechnet. Dies erfolgt entlang der untersuchten Gewässerabschnitte. Zum Naturufer <sup>7</sup> werden alle nicht verbauten und nicht profilierten Uferabschnitte gezählt. Damit einhergehend werden auch die verbauten Uferanteile <sup>8</sup> ermittelt
a) Valmorph (Quick et al. 2017)	
b) Digitalisierung	Kombination der Kartierung vor Ort und Digitalisierung der Orthophotos im GIS
Berechnung	$Bew\_US = \left(1 - \left(\frac{L_{Ist}}{L_{Ver}}\right)\right) * 100 \%$ <p>Bew_US = Berechnung der Abweichungen der Naturuferlänge in %  L<sub>Ist</sub> = Länge Naturuferabschnitte im Ist-Zustand in [m]  L<sub>Ver</sub> = Länge Naturuferabschnitte im Vergleichs-Zustand in [m]</p>
Bewertung	Das Ergebnis wird mit einer Bewertungsmatrix (s. Quick et al. 2017) abgeglichen.

Der gesamte Uferabschnitt des MP liegt an einem Gleithang, im nördlichen Teilabschnitt (U4 - U5) mit Übergang zum folgenden Prallhang. Der Verbauungsgrad der Uferstrecke im MP liegt im Ist-Zustand bei ca. 64 %. Dabei werden als verbaute Uferabschnitte die Abschnitte mit durchgehendem Verbau (ca. 59 %) sowie die Bereiche des buchtenartigen entsteinen Teilrückbaus (ca. 5 %) eingestuft (vgl. Abb. 15). Der restliche Bereich der Uferlänge (ca. 36 %) ist unverbaut mit gewässertypischen Strukturen wie Sandbänken und flachen Uferbereichen und kann als naturnaher Uferabschnitt bezeichnet werden (vgl. Abb. 15). Die Neigung der Uferböschungen orientiert sich am Verbauungsgrad; im verbauten Bereich ist die Böschung mäßig

<sup>7</sup> Uferareale, die zwar ursprünglich befestigt waren, deren Uferbefestigung allerdings in so starkem Grad zerstört ist, dass eine Naturufer-ähnliche Form dominiert, werden ebenfalls als Naturufer kartiert (Quick et al. 2017)

<sup>8</sup> Als veränderte Ufer werden mittels Steinschüttungen, Buhnen, Spundwänden usw. befestigte oder künstlich gestaltete (profilerte) Uferabschnitte verstanden

steil, im teilentsteinen Bereich sind Steilufer vorhanden und im unverbauten naturnahen Abschnitt sind die Uferflächen flach geneigt.

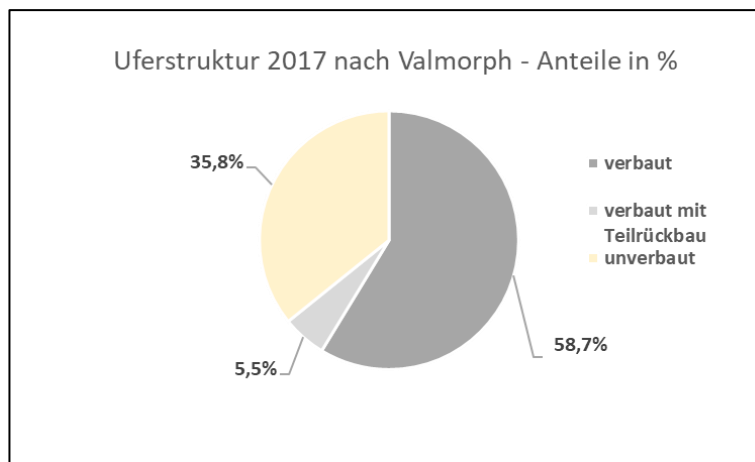


Abb. 15: Prozentualer Verbaugungsgrad des Ufers 2017 (bezogen auf die Uferlänge)

Quelle: BfG\_Gintz 2019

### 5.3.1 Quantitative Bewertung des Indikators Uferstruktur nach Valmorph

Zur Bewertung des Indikators „Uferstruktur“ nach Valmorph (Quick et al. 2017) wird das Verhältnis „Naturuferlänge rezent“ gegenüber einem unverbauten „Vergleichs-Zustand“ ermittelt. Für die Bewertung des Indikators im MP wird die Valmorph-Methode jeweils für die Teilabschnitte U1 bis U5 am rechten Ufer angewendet. Die Valmorph-Methode zur Bewertung des Indikators „Uferstruktur“ ist sehr gut geeignet, um zukünftige Änderung in der Bewertung des Indikators im MP-Abschnitt nach Maßnahmenumsetzung abbilden zu können. Wie in Kap. 4.1. bereits erwähnt, eignet sich für den Indikator „Uferstruktur“ der Referenz-Zustand „unverbaut“, d.h. 100 % Naturuferlänge, sehr gut als Bezugspunkt. Bei der Berechnung wird der jeweilige prozentuale Anteil des Verbaugungsgrades je Gewässerabschnitt ermittelt. Im Ergebnis wird der Ist-Zustand im MP (2017) im Vergleich mit einem „Naturufer“ mit den Kategorien „verbessert/unverändert bis sehr gering negativ verändert“ bis „extrem negativ verändert“ bewertet (vgl. Tab. 6). Nur der Abschnitt U1 erreicht schon vor Maßnahmenumsetzung die Bewertung „verbessert/unverändert bis sehr gering negativ verändert“, die anderen Abschnitte erreichen „stark bis sehr stark negativ verändert“ bzw. in den Bereichen mit durchgehendem Verbau „extrem negativ verändert“. Hierbei bedeutet „extrem negativ verändert“, dass das gesamte Ufer im betrachteten Abschnitt mit Wasserbausteinen gesichert ist, „verbessert/unverändert bis sehr gering negativ verändert“ bedeutet, dass es sich um ein naturnahes Ufer ohne Uferverbau handelt.

Tab. 6: Bewertung des Indikators „Uferstruktur“ abschnittsweise nach Valmorph im Ist-Zustand (2017) mit einem Vergleichs-Zustand ohne Nutzungsprägung

Quelle: BfG-Bericht 1910, verändert BfG-M3

Abschnitt	bis Rh-km	Uferlänge (verbaut) [m]	Uferstruktur (verbaut) %	Bewertungsklasse
U5	476,50 – 476,35	150	100	extrem negativ verändert
U4	476,35 - 476,000	350	100	extrem negativ verändert
U3	476,000 - 475,550	450	100	extrem negativ verändert
U2	475,550 - 474,700	630	74	stark bis sehr stark negativ verändert
U1	474,700 - 474,000	0	0	verbessert/unverändert bis sehr gering negativ verändert

Die Bewertungsmatrix nach Valmorph wird im Zuge der Erfolgskontrollen genutzt, um den Grad der Verbesserung zu quantifizieren.

### 5.3.2 Flächenhafte Erfassung der Uferstruktur

Die Uferstruktur der Maßnahmenabschnitte U1 bis U5 werden im Folgenden im Detail beschrieben, die Auswertung mit GIS ist den Abb. 17 bis Abb. 20 zu entnehmen. Die flächenhafte Auswertung der Uferstrukturen erfolgt anhand der Kartierung vor Ort in Kombination mit der GIS Auswertung (Digitalisierung) der Orthophotos vor Maßnahmenumsetzung und ist als %-Anteile der gesamten Uferfläche von ca. 4,3 ha in Abb. 16 zusammengefasst.

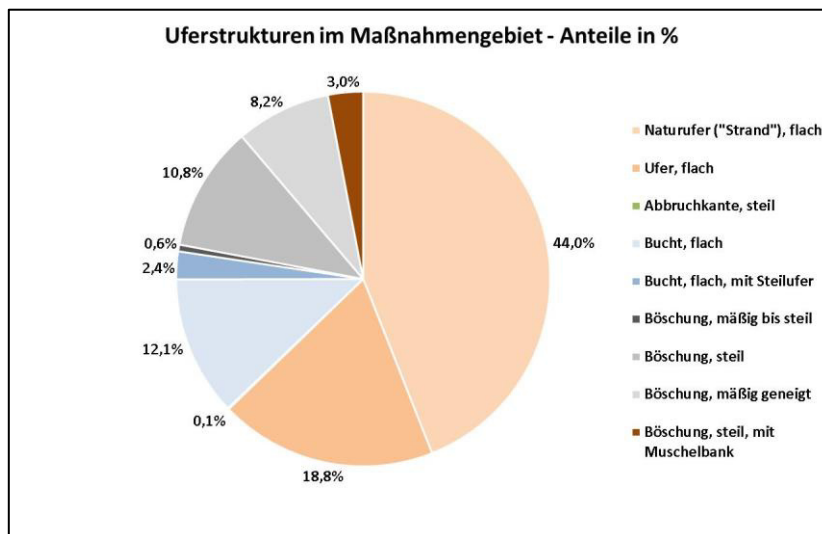


Abb. 16: Prozentuale Verteilung der digitalisierten Flächen der Uferstrukturen

Quelle: BfG\_Lütz 2021

Der digitalisierte Uferbereich im MP wird von unterschiedlichen fluvialen und anthropogen bedingten Strukturen gebildet. Besonders hervorzuheben ist das naturnahe flache Ufer (Neigung <math><15^\circ</math>) im Süden, das ca. 44 % der Fläche einnimmt. Die restliche Maßnahmenfläche wird von einem flachen Uferbereich oberhalb der Steinschüttung (18,8 %) und von den Buchten (14,5 %) sowie von Böschung (22,1 %) gebildet (vgl. Abb. 16).

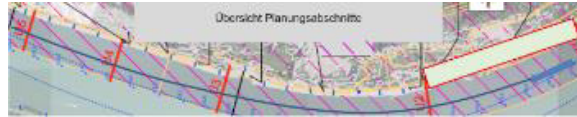
In Tab. 7 sind die Flächen [m<sup>2</sup>] der Uferstrukturen innerhalb der Teilabschnitte U1 - U5 sowie die jeweiligen prozentualen Anteile der Strukturen innerhalb der Teilabschnitte zusammengefasst. Der Abschnitt U1 wird hauptsächlich durch den flachen naturuferähnlichen Bereich gebildet (99 %), U2 ist geprägt von einem Wechsel aus mäßig geneigten Böschungen (23 %) und flachen Buchten (38 %), während der Bereich U3 hauptsächlich charakterisiert wird durch flache Uferbereiche oberhalb der Steinschüttung (58 %); U4 und U5 werden maßgeblich durch die steilen Böschungen (je 100 % der Uferfläche) geprägt.

Tab. 7: Flächenausdehnung und prozentuale Anteile der Uferstrukturen in den Teilabschnitten U1-U5 vor Maßnahmenumsetzung (2017)

Quelle: BfG\_Lütz 2021

Maßnahmenabschnitt	Uferstrukturen je Maßnahmenabschnitt	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Fläche Abschnitt [m <sup>2</sup> ]	Anteil [%] bezogen auf den jeweiligen Maßnahmenabschnitt
U5	Böschung, steil	1.004	1.004	100
U4	Böschung, steil	2.359	2.359	100
U3	Ufer oberhalb Steinschüttung, flach	3.952	6.823	58
	Böschung, mäßig geneigt	307		5
	Böschung, steil, mit Muschelbank	1.308		19
	Böschung, steil	1.256		18
U2	Ufer, flach	447	13.785	3
	Böschung, mäßig geneigt	3.125		23
	Bucht, flach, mit Steilufer	1037		7
	Böschung, mäßig bis steil	249		2
	Bucht, flach	5.215		38
	Ufer oberhalb Steinschüttung, flach	3.712		27
U1	Naturufer ("Strand"), flach	18.994	19.206	99
	Böschung, steil	52		<1
	Uferabbruch, steil	47		<1
	Böschung, mäßig geneigt	113		1
	<b>Gesamtfläche</b>		<b>43.177</b>	

## Abschnitt U1



Der Abschnitt U1 im Bereich des Gleithangs (Rh-km 474,000 - 474,700) kann als naturnahes Ufer beschrieben werden. Dieser Uferabschnitt weist naturnahe Strukturen wie z. B. flache Uferbereiche, Kies- und Sandbänke, Weichholzauenstandorte, Totholz und Geschwemmsel-säume sowie Uferkanten von einigen Dezimetern auf (vgl. Abb. 17). Vereinzelte Bereiche des Ufers sind mit Steinen der historischen Ufersicherung „Stückung“ bedeckt.

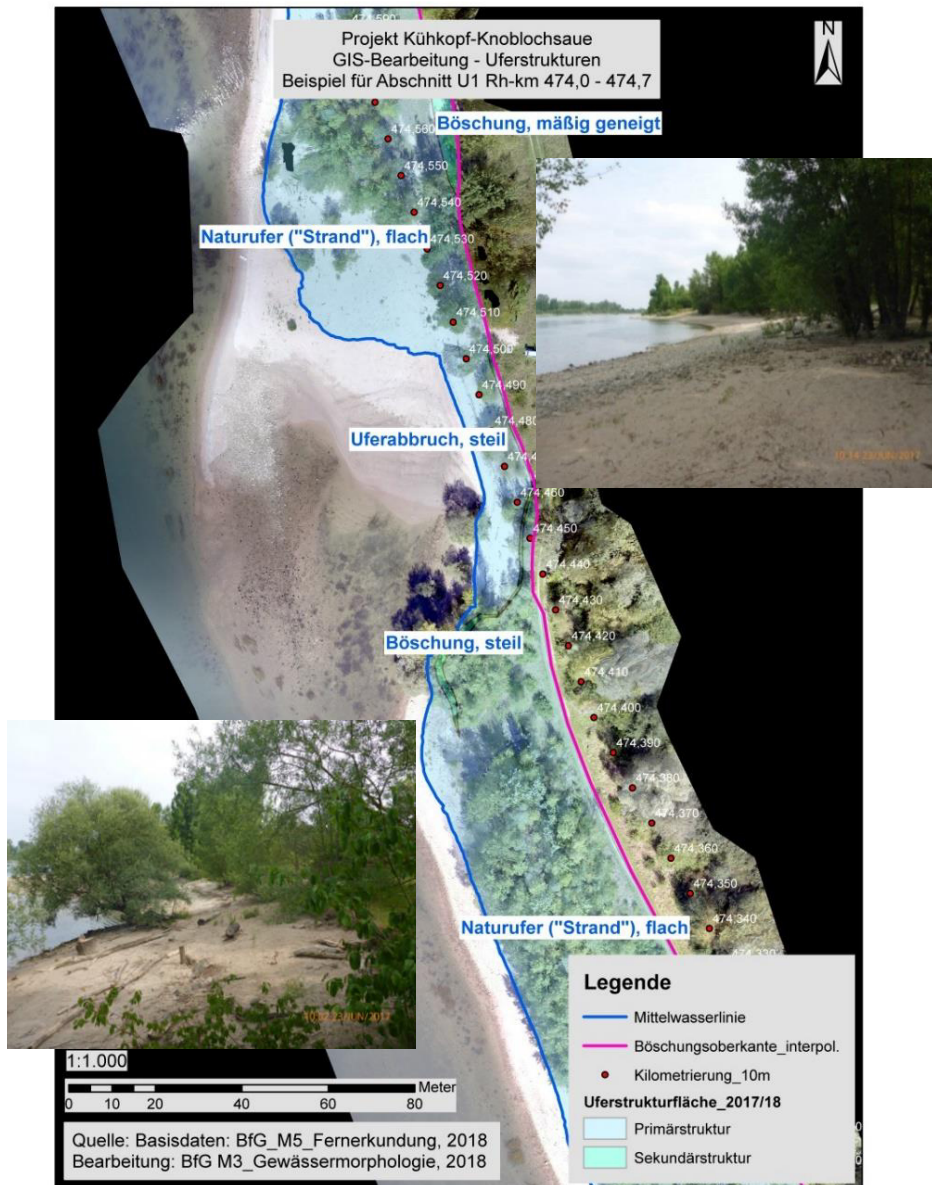
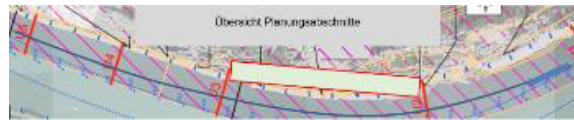


Abb. 17: ArcGIS Bearbeitung Uferstrukturen, Beispiel für Abschnitt U1 Rh-km 474,000 - 474,700  
Quelle: Basisdaten: BfG\_M5\_Fernerkundung 2018, bearbeitet Lütz, Gintz 2018/2019

## Abschnitt U2



Der Abschnitt U2 (Rh-km 474,700 - 475,550) schließt direkt an den Abschnitt U1 im Bereich des Gleithangs an. Im Rahmen des Rückbaus der NATO-Rampen (2012/13) wurde die Ufersicherung in diesem Abschnitt teilweise entfernt, in der Folge entstanden mehrere Buchten mit Steilufer (s. Abb. 18). Zwischen den Buchten wurde die darunterliegende historische Ufersicherung aus rötlichem Pflaster und „Stickungssteinen“ am Uferbereich belassen, dadurch bildeten sich zwischen den Buchten mäßig steile Böschungen aus. Die Uferfußsicherung über MW wurde bis auf den Abschnitt zwischen km 474,980 und km 475,025 belassen.

Erfassung des Ist-Zustands Hydro-morphologie im BBD-Modell-projekt „Kühkopf-Knoblochsau“

BfG-2033

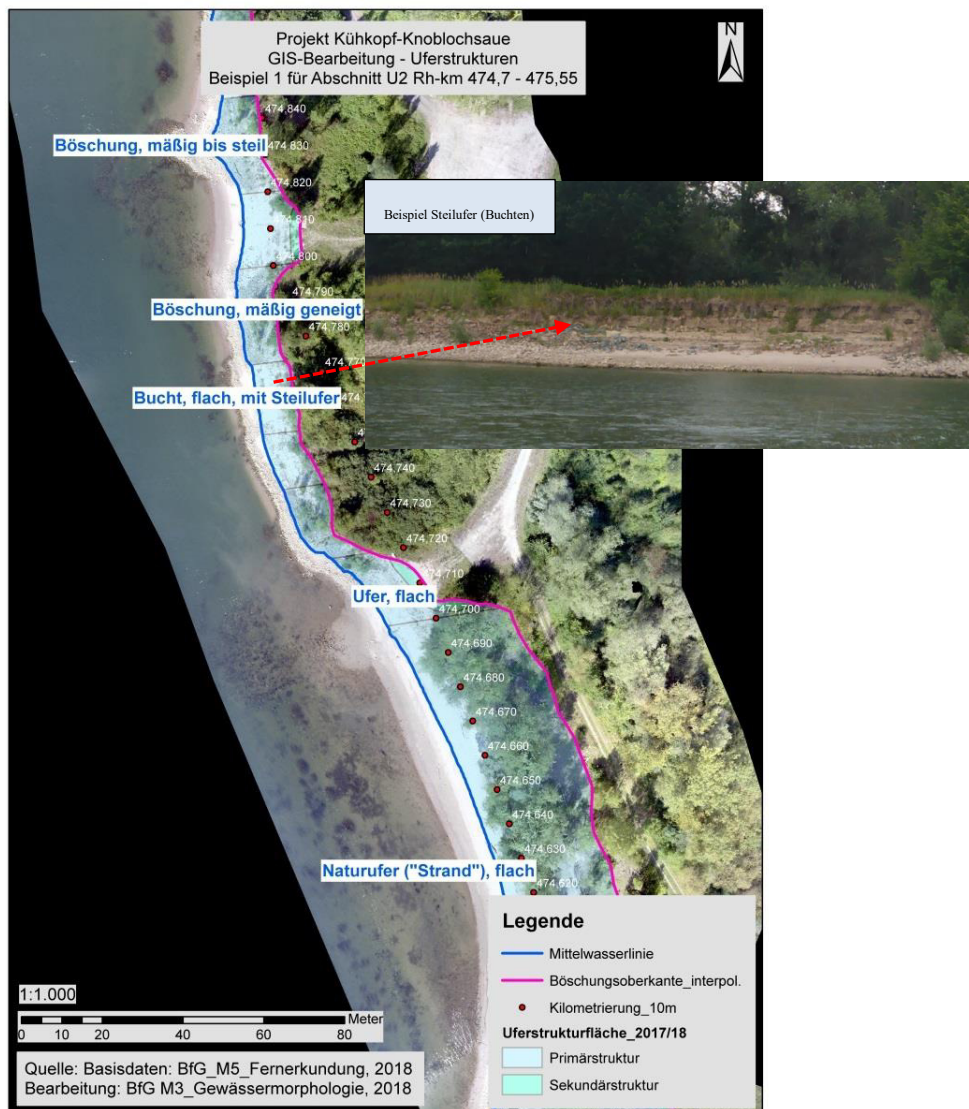
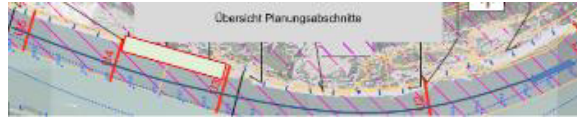


Abb. 18: ArcGIS Bearbeitung Uferstrukturen, Beispiel für Abschnitt U2, Bereich Nato-Rampen, Rh-km 474,700 - 475,550

Quelle: Basisdaten: BfG\_M5\_Fernerkundung 2018, bearbeitet Lütz, Gintz 2018/2019

### Abschnitt U3



Die Böschung im Abschnitt U3 (Rh-km 475,600 - 476,000) ist durchgehend mit Steinschüttung oder Pflaster und Stickung gesichert (Abb. 19). Dieser Abschnitt liegt im eher gestreckt verlaufenden Bereich ab Rh-km 475,850. In diesem Abschnitt bei Rh-km 475,800 befindet sich auf einer der Ufersicherung aufliegenden Kiesbank eine mehrere Dezimeter hohe Auflage aus Muschelschalen.

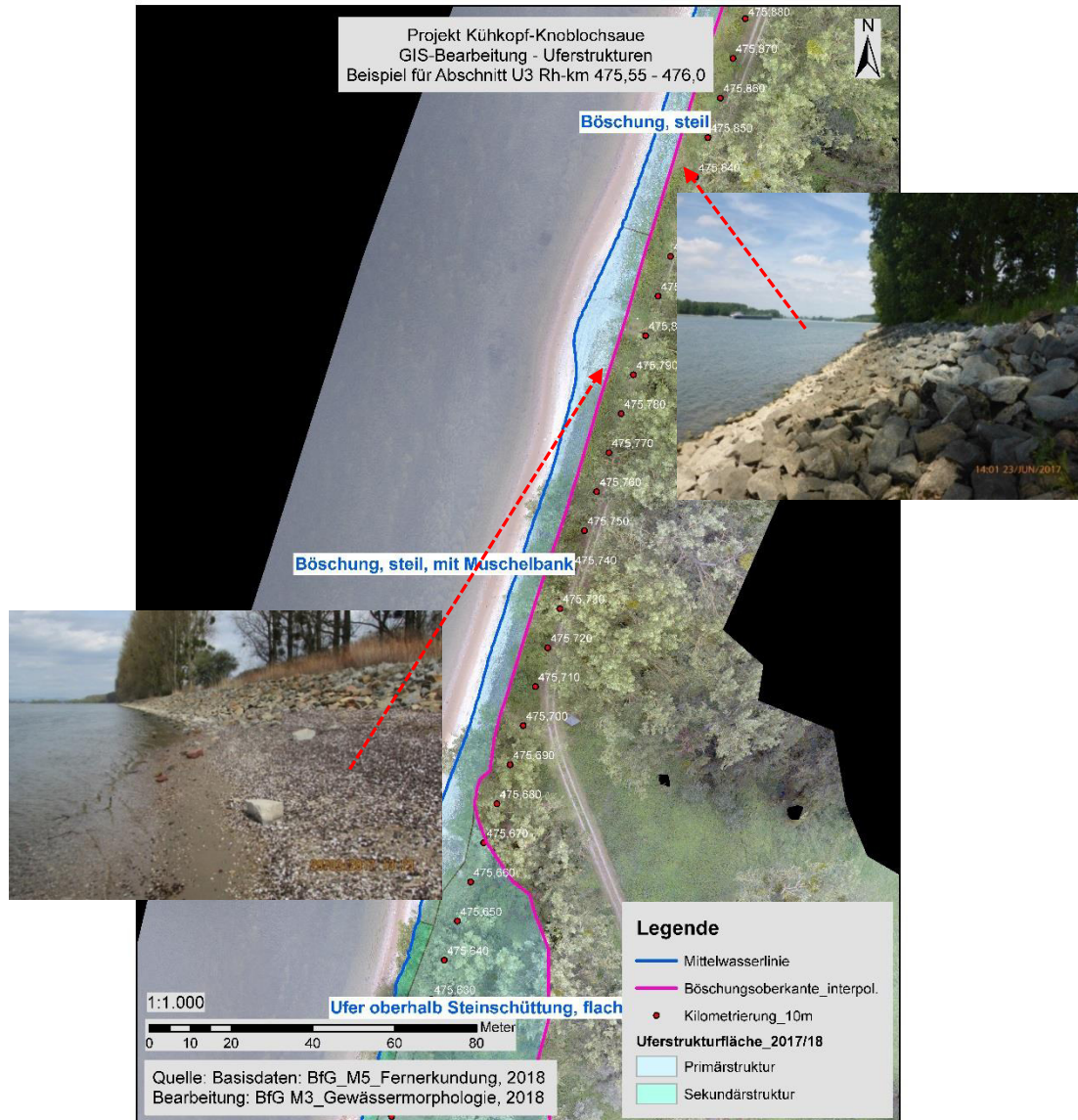


Abb. 19: ArcGIS Bearbeitung Uferstrukturen, Beispiel für Abschnitt U3, Rh-km 475,550 - 476,000  
Quelle: Basisdaten: BfG\_M5\_Fernerkundung 2018, bearbeitet Lütz, Gintz 2018/2019

## Abschnitt U4 und U5



Am unterstromigen Ende des MP zwischen Rh-km 476,000 und 476,500 befinden sich die strukturell identischen Abschnitte U4 und U5. Die steile Uferböschung sowie die Sohle unter MW ist durchgehend mit einer Steinschüttung gesichert. Unmittelbar an der Böschungsoberkante befindet sich ein kleiner Uferwall mit einreihigem Baumbestand (Abb. 20). Die Unterteilung wurde aufgrund der unterschiedlichen Maßnahmenplanungen vorgenommen.

Erfassung des Ist-Zustands Hydro-morphologie im BBD-Modell-projekt „Kühkopf-Knoblochsau“

BfG-2033

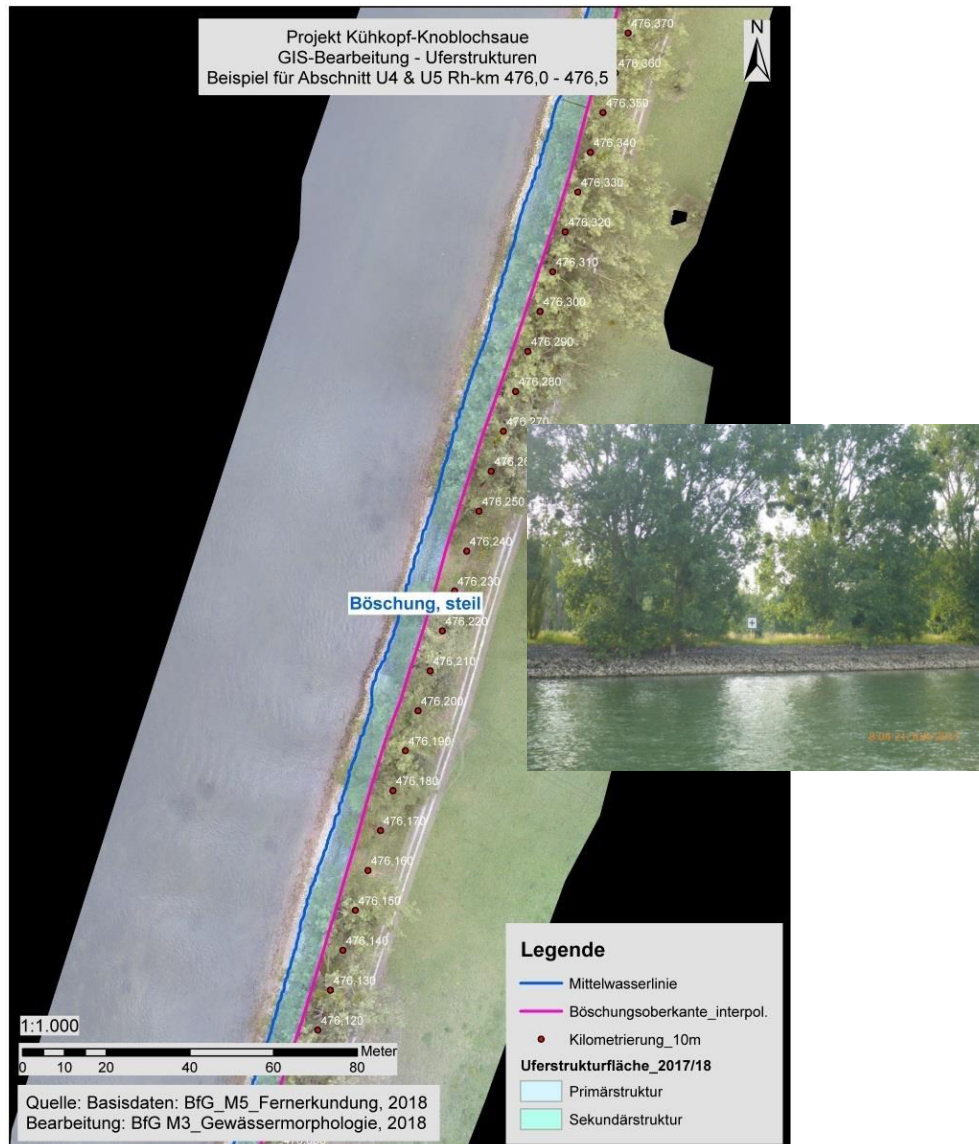


Abb. 20: ArcGIS Bearbeitung Uferstrukturen Beispiel für Abschnitt U4 und U5; zwischen Rh-km 476,000 und 476,500

Quelle: Basisdaten: BfG\_M5\_Fernerkundung 2018, bearbeitet Lütz, Gintz 2018/2019

## 5.4 Indikator Breitenvariation

Steckbrief: Breitenvariation	
Definition	Die Breitenvariation variiert gewässertypspezifisch im Längsverlauf eines Gewässers sowie im abflussspezifisch wechselnden Rhythmus. Die Variation der Breite des Wasserspiegels wird mittels der Breitenvariation bestimmt.
Zeiger	Veränderungen in den Breitenverhältnissen spiegeln den gewässerkundlichen Zustand (wie z. B. Habitatverfügbarkeit und -diversität im Uferbereich und laterale Vernetzung mit der Aue in Abhängigkeit des Abflusses) sowie den Grad möglicher anthropogener Beeinflussungen direkt wider. (Quick et al. 2017)
Bezugsraum im MP	Die Breitenvariation wird bei kleinräumigen Maßnahmen nur für die Gewässerseite bestimmt, auf der die Maßnahme stattfindet, da nur dort mit maßnahmenbedingten Änderungen der Gewässerbreiten zu rechnen ist. Deshalb wird die Gewässerbreite sowie die Breitenvariation im Maßnahmengebiet für die jeweiligen Maßnahmenabschnitte zwischen der Mittelwasserlinie (Uferlinie) und (in diesem Fall) einer in 50 m Abstand parallel zur Flusslängsachse verlaufenden Linie ermittelt.
Datengrundlagen	DGM-W 2017: benetzte Fläche basierend auf Vermessungen aus dem Jahr 2017 zwischen Uferlinie (MW-Linie) und parallel zur Flusslängsachse verlaufenden Linie.
Methodik (Quick et al. 2017)	<p>Benötigte Shapes in Arc-GIS:</p> <p>a) Ein Polygon entsprechend der benetzten Fläche bei Mittelwasser (hier z. B. MQ am Pegel Worms=1420 m<sup>3</sup>/s),</p> <p>b) Querprofilinien orthogonal zur Flussachse in gleichbleibenden Abständen (hier alle 10 Meter)</p> <p>Anmerkung zu Buhnen: die Buhnen wurden übermessen, die Polygone folgen in diesen Bereichen der Uferlinie</p> $BV = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$ <p><math>\bar{x}</math> = Mittelwert aus allen Wasserspiegelbreiten eines Abschnittes</p> <p><math>x_i</math> = jeweilige Wasserspiegelbreite, z. B. je 100 m</p> <p>n = Anzahl der addierten Wasserspiegelbreiten innerhalb eines Abschnittes</p> <p>BV = Breitenvariation</p>
Bewertung	Die Bewertung der Breitenvariation wird durch den Abgleich zwischen Ist-Zustand (DGM-W 2017) und dem Zustand nach Maßnahmenumsetzung durchgeführt. Die Bewertung orientiert sich dabei an den gewässertypspezifischen Gewässerbreiten sowie der gewässertypspezifischen Breitenvariation. Im Ist-Zustand findet somit keine Bewertung, sondern lediglich eine Beschreibung der Gewässerbreiten und der daraus resultierenden abschnittswisen Breitenvariation statt, deren gewässertypspezifische Ausprägung verbalargumentativ bewertet wird.

Im Bereich des MP Kühkopf ist der Rhein ein kiesgeprägter Strom in einem breiten Sohllental, der naturraumtypisch vielfältige Laufstrukturen wie Nebengerinne, Altgewässer sowie Längsbänke aufweisen würde. In einem ökologisch sehr guten Zustand wären die Ufer ungesichert und würden eine meist hohe Dynamik mit zahlreichen Uferabbrüchen und differenzierten Uferstrukturen sowie Totholzvorkommen mit den entsprechenden Ausbuchtungen, Kolken und Stillwasserbereichen im Uferbereich aufweisen. Dies würde sowohl großräumig (flussgebietsübergreifend) als auch kleinräumig im Bereich der Maßnahme zu einer hohen bis sehr hohen Breitenvariation führen. Im Ist-Zustand ist der Rhein in diesem Abschnitt allerdings stark anthropogen überprägt und morphodynamische Umlagerungsprozesse werden vor allem dort, wo das Ufer mit Wasserbausteinen befestigt ist, komplett unterbunden. Um zu quantifizieren, wie sich die Gewässerbreiten sowie die Breitenvariation kleinräumig in den verschiedenen Abschnitten U1 bis U5 des Maßnahmegebietes im Ist-Zustand darstellen, wurde jeweils in einem Abstand von 10 m orthogonale Querprofilinien auf eine im Abstand 50 m parallel zur Flussachse verlaufende Linie konstruiert (Abb. 21). Diese Auswertung stellt sicher, dass sowohl im Ist-Zustand als auch bei nachfolgenden Analysen nach Maßnahmenumsetzung nur die Auswirkungen der Maßnahmen auf die Breitenvariation ermittelt werden, da bei dieser Methode das gegenüberliegende Ufer unberücksichtigt bleibt.

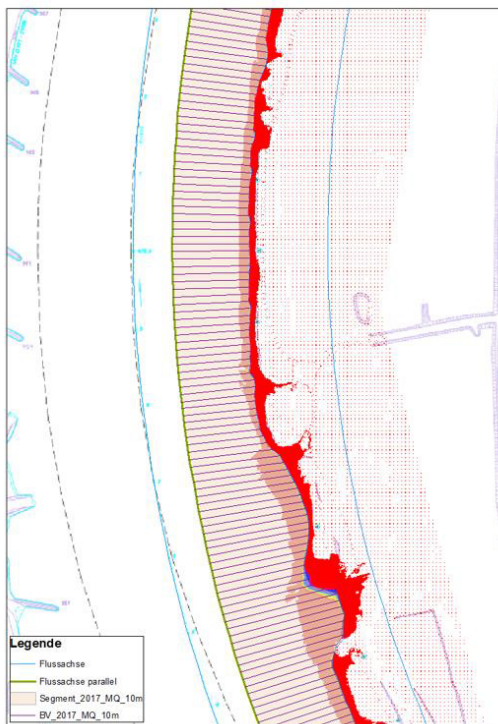


Abb. 21: Querprofilinien zur Ermittlung der Breitenvariation

Quelle: BfG\_Schriever 2024

Für jede Querprofilinie wurde jeweils die Länge bis zur 50m-Parallele zur Mittelwasserlinie ermittelt (in der folgenden Grafik als Breite-Ist bezeichnet) sowie der Mittelwert der Breite und die Breitenvariation für jeweils 100 m lange Abschnitte. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Breite und die Breitenvariation nicht als absolute Werte betrachtet werden dürfen, sondern nur als relative Änderung zwischen den jeweiligen betrachteten Abschnitten U1 bis U5, was

vor allem auch eine wichtige quantitative Grundlage für den Vergleich vor und nach Maßnahmenumsetzung darstellt.

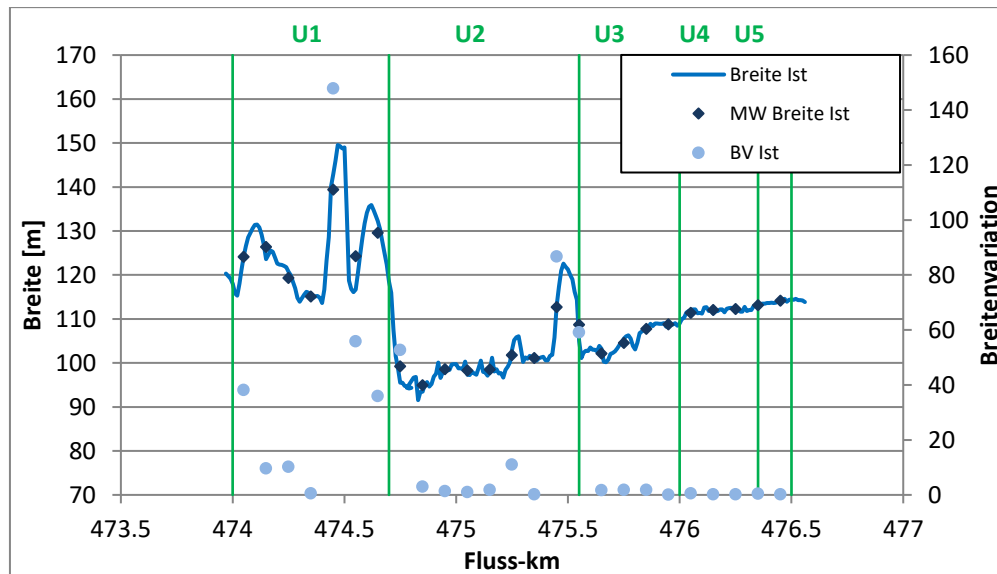


Abb. 22: Breite Istzustand, Mittelwert der Breiten im Istzustand sowie Breitenvariation für den Istzustand

Quelle: BfG\_Schriever 2024

Die betrachteten Abschnitte U1 bis U5 unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Gewässerbreite, vor allem aber in Bezug auf die Breitenvariation deutlich (Abb. 22). Im Abschnitt U1 ist das Ufer naturnah, da diese Strecke nicht mit Wasserbausteinen gesichert ist und naturnahe Strukturen, wie z.B. Kiesbänke, Weichholzauneninitiale und Flachwasserzonen aufweist. Diese diverse Uferstruktur spiegelt sich auch in den Gewässerbreiten zwischen 115 m und 150 m wieder, auch die Breitenvariation ist in diesem Abschnitt vergleichsweise groß und stark schwankend. Im nächsten Abschnitt U2 wurde die Ufersicherung bereits im Rahmen des Rückbaus der NATO-Rampen teilweise entfernt, wodurch der buchtenartige Charakter dieses Abschnittes entstanden ist. In den Bereichen, wo das Ufer weiterhin gesichert ist, ist die Gewässerbreite homogen und die Breitenvariation gering, dort wo die Uferentsteinung bereits durchgeführt wurde kommt es durch den buchtenartigen Charakter zu einer größeren Breitenvariation. In den weiter stromab gelegenen Abschnitten U3 bis U5 ist das Ufer im Ist-Zustand ober- und unterhalb der MW-Linie mit Wasserbausteinen gesichert. Eine natürliche Uferdynamik wird hier vollständig unterbunden. Das ist auch an den Gewässerbreiten und der Breitenvariation sichtbar: Insbesondere in Abschnitt U4 und U5 sind die Gewässerbreiten völlig homogen, eine Breitenvariation ist dort praktisch nicht vorhanden.

Das Bewertungskriterium für den Indikator Breitenvariation ist das Erreichen einer „Verbesserung der Breitenvariation“ (vgl. Tab. 1). Durch die Rückbaumaßnahmen im Uferbereich sowie den Einbau von Totholz ist zu erwarten, dass sich die Maßnahmen bei der nächsten Bewertung des Indikators in der gewünschten Änderung widerspiegeln. Die Ergebnisse der Auswertung bilden eine gute Grundlage, um spätere Veränderungen der Breitenvariation mit den MP-Maßnahmen in Beziehung zu setzen und das MP-Ziel „Entwicklung und Förderung von gewässertypspezifischen Uferausprägungen entlang des Rheins“ zu bewerten.

## 5.5 Indikator Uferlinienlänge

Steckbrief: Uferlinienlänge	
Definition	Mit dem Indikator Uferlinienlänge wird das Verhältnis zwischen der tatsächlichen Länge und der gestreckten Länge des Ufers in einem definierten Abschnitt bezeichnet (Quotient Uferlinienlänge). Die tatsächliche Uferlinie verläuft entlang aller Strukturen wie Buchten und Landzungen, die gestreckte Uferlinie ignoriert alle kleinräumigen Strukturen und wird durch eine Gerade zwischen dem Anfangs- und Endpunkt (hier: die beiden aufeinanderfolgenden Hektometersteine) des Abschnittes definiert.
Zeiger	Der so ermittelte Quotient ist ein Maß für die Natürlichkeit der Gewässerbett- und Uferdynamik, der Strukturvielfalt sowie des Habitatangebots des betrachteten Abschnitts. Abhängig vom Gewässertyp entwickelt sich das Ufer eines Fließgewässers in seinem natürlichen Zustand dynamisch. Naturraumtypische Strukturen wie Buchten oder Landzungen tragen hierbei zu einer Verlängerung der tatsächlichen Uferlinie bei.
Bezugsraum im MP	Mittelwasserlinie im MP
Datengrundlagen	DGM-W 2017
Methodik	Die Ermittlung des Quotienten aus der tatsächlichen und der gestreckten Uferlinienlänge für die jeweiligen Abschnitte zwischen zwei aufeinanderfolgenden Hektometersteinen wird im GIS durchgeführt.
Bewertung	<p>Quotient Uferlinienlänge = Tatsächliche Länge Uferabschnitt [m]/ gestreckte Länge Uferabschnitt [m]</p> <p>Ein Quotient von 1 entspricht hierbei einem unnatürlichen Uferverlauf, da die tatsächliche Uferlinie in dem Fall der gestreckten Uferlinie entspricht.</p>

**Legende**

- **Schnittpunkte Hektometertransekte Uferlinie 2017**
- **Abschnitte**
- **Liniensegmente tatsächliche Uferlinie**
- **Transekte - 100m Abstand**

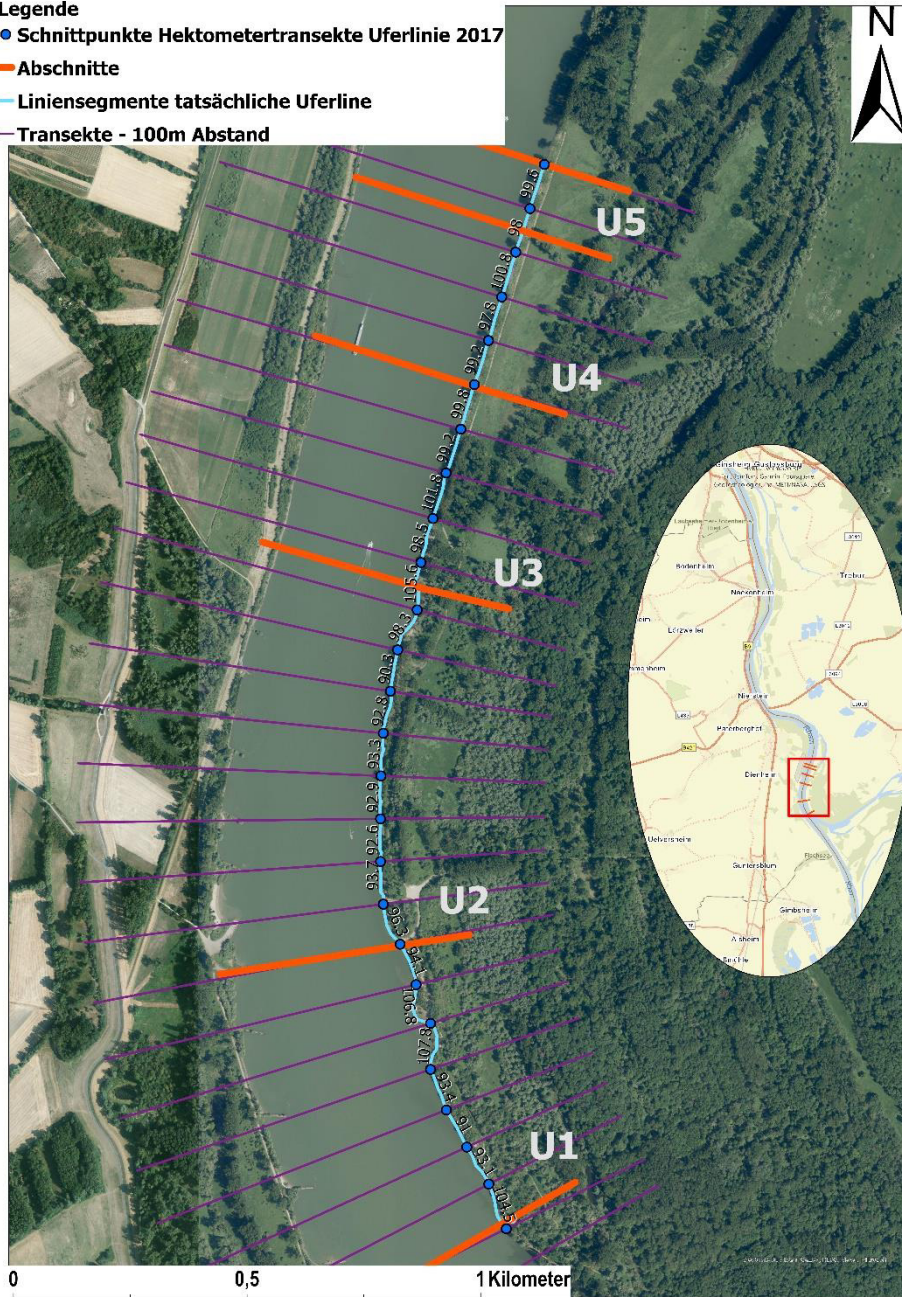


Abb. 23: Untersuchungsgebiete und Abschnitte zwischen den Hektometersteinen mit der jeweiligen Länge der tatsächlichen Uferlinie

Quelle: BfG\_Kuegler 2024

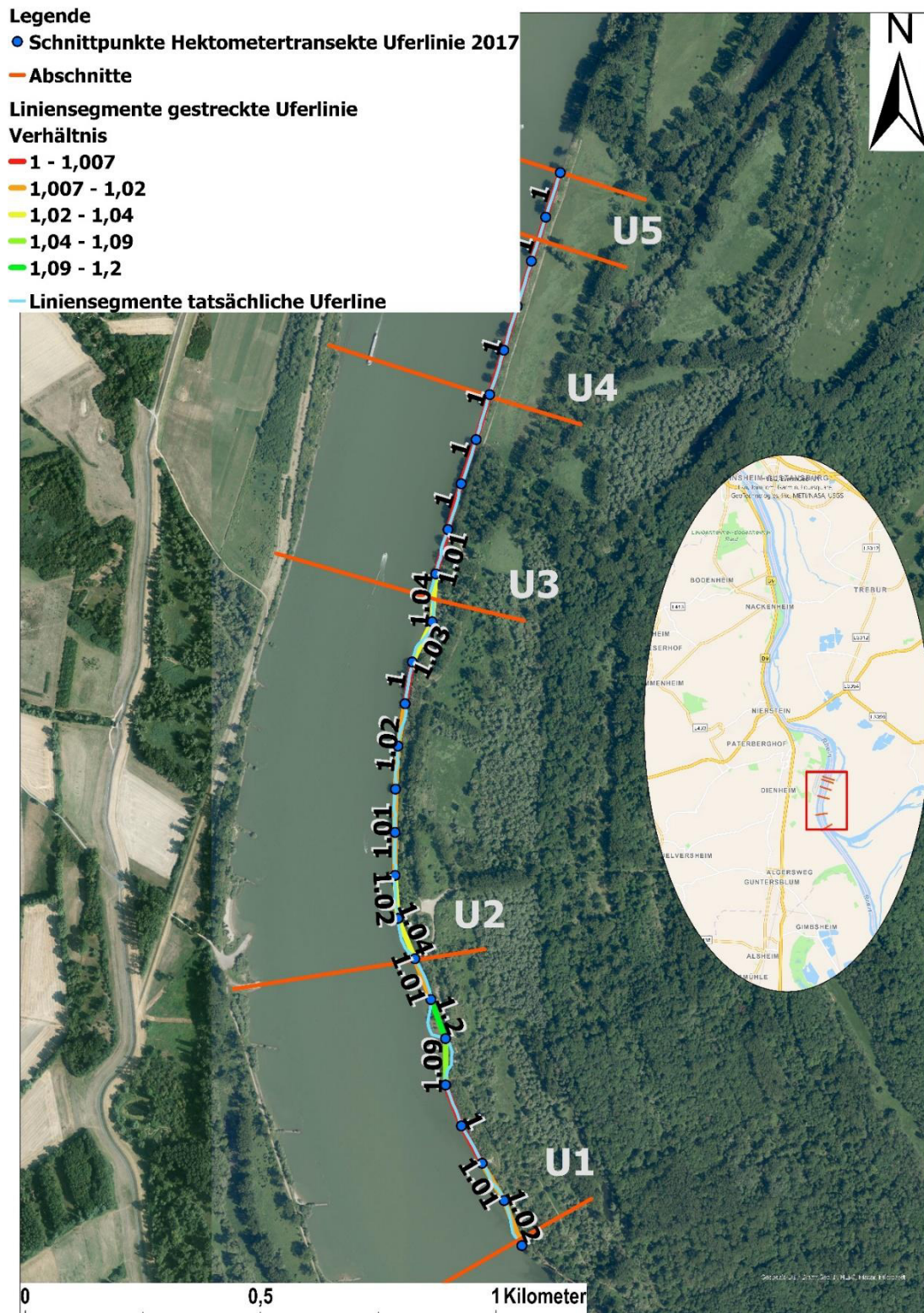


Abb. 24: Tatsächliche Uferlinie (hellblaue dünne Linie) sowie farbige Darstellung des Quotienten an der gestreckten Uferlinie, Quotient Uferlinie als abschnittswise Zahlenwert  
Quelle: BfG\_Kuegler 2024

Im naturnahen Untersuchungsabschnitt U1 deutet der Quotient Uferlinienlänge, der hier immer deutlich größer als 1 ist, auf das Vorkommen naturraumtypischer Uferstrukturen hin (Abb. 23 u. 24). Die vergleichsweise hohen Werte des Quotienten sind ein Zeiger für die relativ große Naturnähe des Ufers sowie für eine vergleichsweise naturraumtypische Uferdynamik in diesem Abschnitt. Auch der daran anschließende Abschnitt U2 weist auf Grund der Teilentsteinung des Ufers und der dadurch entstandenen Buchten in allen Abschnitten einen Quotienten größer als 1 auf. Die Abschnitte U3 bis U5 haben ein vollständig mit Wasserbausteinen gesichertes Ufer, eine natürliche Uferdynamik wird hier vollständig unterbunden was sich auch im Quotienten Uferlinienlänge widerspiegelt, der in diesen Abschnitten 1 beträgt. Die tatsächliche Uferlinie ist hier gestreckt, eine naturraumtypische Strukturvielfalt und ein entsprechendes Habitatangebot sind nicht vorhanden.

Durch die Uferentsteinung ist eine Änderung sowohl der Lage der Uferlinie sowie der tatsächlichen Länge der Uferlinie zu erwarten, da aufgrund einer nun möglichen Eigendynamik Erosions- und Sedimentationsprozesse möglich werden. Hierdurch können zusätzliche Strukturen und Flächen für Habitate entstehen, dies wird voraussichtlich zu einer Zunahme des Quotienten in den Abschnitten führen, die zukünftig eine höhere Uferdynamik aufweisen. Der Indikator ist gut geeignet, diese Dynamik im weiteren Monitoring abzubilden. Die gesamte Länge des tatsächlichen Ufers im MP beträgt derzeit 2,441 km (2,930 km die Gesamtlänge des gestreckten Ufers), die Länge der oberen Begrenzung des Ufers gemessen an der Böschungsoberkante/Weg beträgt im Ist-Zustand 2,422 km.

## 5.6 Indikator Substrat (Sohl- und Ufersubstrat)

Steckbrief: Substrat (Sohl- und Ufersubstrat)	
Definition	Art des dominierenden Oberflächensubstrats der ufernahen Sohle und der Ufer, soweit dies auf Grundlage einer einfachen Substrattypisierung im Gelände und im GIS zu erfassen ist (Substratdiversität, gewässertypspezifisch, anthropogen beeinflusst), sowie die Korngrößenverteilung auf der Grundlage von punktuellen Substratproben auf festgelegten Transekten.
Zeiger	Spielt eine wesentliche Rolle in der Hydromorphologie und im Sedimenthaushalt und besitzt einen bedeutsamen Einfluss auf die Eignung der Habitate für Flora und Fauna. (Quick et al. 2017)
Bezugsraum im MP	Für die flächenhafte Erfassung mit ArcGIS: die Ufer- und ufernahen Sohlflächen entlang der Maßnahmenstrecke. Für die punktuelle Sedimentbeprobung: Je 5 Proben auf 45 m langen Transekten (ausgehend von einem Hektometerstein 15 m „landeinwärts“ und 30 m in Richtung Gewässersohle).
Datengrundlagen	Orthophotos der UAV-Befliegungen am 23. Januar 2017 (Geo Ingenieurservice Süd GmbH & Co. KG) und am 29. und 31. August 2018 (BfG, Referat M5 Fernerkundung) Sedimentproben und Geländekartierung vor Ort
Methodik	Digitalisierung der Substratflächen mit ArcGIS Sedimentbeprobung im Gelände mit einem Schaufelbagger (wasserseitig) und als Schurf (landseitig).
Bewertung	Vergleich der mit ArcGIS ermittelten Flächen der dominierenden Oberflächensubstrate (anthropogen und fluvial) sowie der Korngrößenverteilung der Sedimentproben entlang der Transekte vor und nach Maßnahmenumsetzung. Die Ergebnisse dienen zur Verifizierung der Dynamik im Maßnahmengebiet und somit zum Abgleich im Zuge der Erfolgskontrolle.

### 5.6.1 Oberflächensubstrate der ufernahen Sohle

Anhand der Kombination der Kartierung vor Ort und der Digitalisierung der Orthophotos (2017 und 2018) i. d. R. im Maßstab 1:250 - 1:400 mit ArcGIS (siehe Abb. 25 a) und b)) erfolgt die Ermittlung der Flächen der sichtbaren dominierenden Sohlsubstrate (Sohloberflächen). Die Substratflächen der ufernahen Sohle werden unterhalb der MW-Linie (blau) ermittelt. Zwischen Rh-km 474,000 und 476,500 sind die jeweiligen Oberflächensubstrate auf einer Sohlfläche von 40.942,00 m<sup>2</sup> digitalisiert und klassifiziert worden, die Ergebnisse sind der Tab. 8 und der Abb. 26 zu entnehmen.

Erfassung des Ist-  
Zustands Hydro-  
morphologie im  
BBD-Modell-pro-  
jekt „Kühkopf-  
Knoblochsau“

BfG-2033

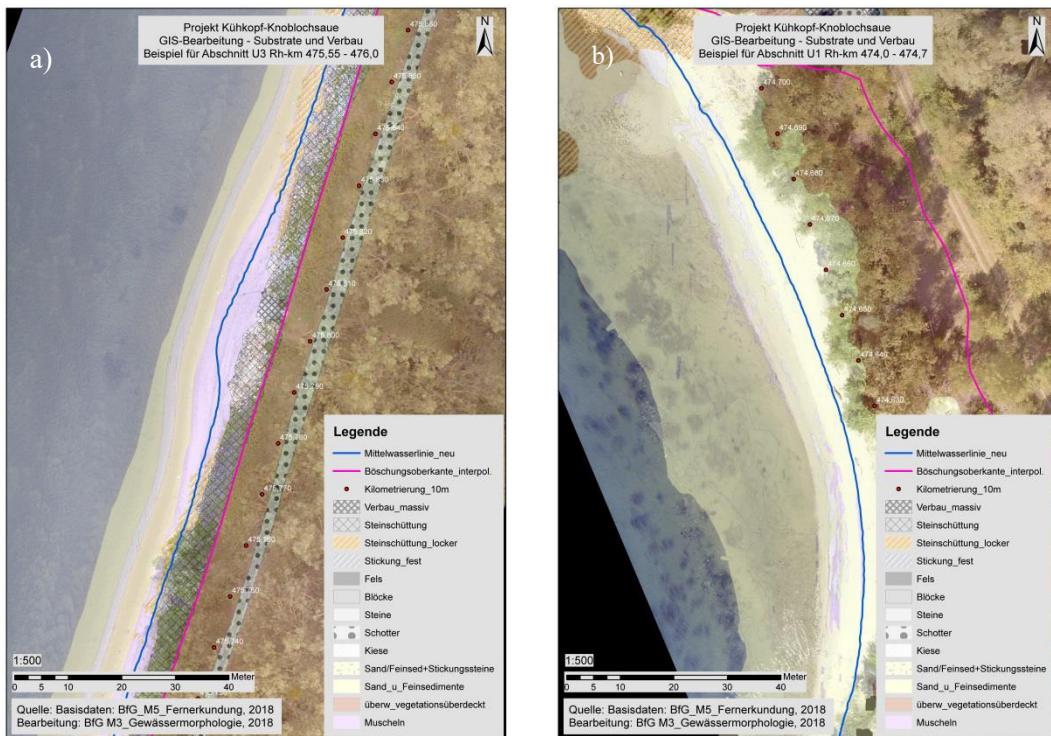


Abb. 25: ArcGIS Bearbeitung Substrate — a) Beispiel für Abschnitt U3 Rh-km 475,550 – 476,000 b) Beispiel für Abschnitt U1 Rh-km 474,000 - 474,700

Quelle: Basisdaten: BfG\_M5\_Fernerkundung 2018, bearbeitet Lütz 2018/2019

Mit ArcGIS wurden 40.856 m<sup>2</sup> Fläche der ufernahen Sohle im Maßnahmenbereich digitalisiert und sieben erkennbare Korngrößenklassen der dominierenden Oberflächensubstrate klassifiziert und quantitativ erfasst (vgl. Tab. 8). Aufgrund der Methodik kann bei der flächenhaften Erfassung keine konsequente Einteilung der Bodenarten nach der Korngrößenverteilung (Sand/Ton/Schluff) erfolgen, hier erfolgt für die Fraktionen kleiner Kies die Gruppierung als „Sand und Feinsedimente“. Bei der Substratbeprobung konnte hingegen die klassische Unterteilung verwendet werden (Kap. 5.6.3). Die Kornfraktionen von Sand- und Feinsedimenten kommen auf ca. 17.300 m<sup>2</sup> der ufernahen Sohle vor, ca. 21.600 m<sup>2</sup> sind mit anthropogen eingebrachten Steinen bedeckt bzw. verbaut, die restlichen ufernahen Sohlflächen werden von größeren Kornfraktionen (wie z. B. Steinen, Blöcken, Kiese) bzw. organischen Substraten (Muschelschalen) gebildet.

Tab. 8: Flächen der dominierenden Oberflächensubstrate der ufernahen Sohle

Quelle: BfG\_Lütz, Gintz 2018/2019

Dominierende Oberflächen-substrate	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Dominierende Oberflächen-substrate	Fläche [m <sup>2</sup> ]
Sand und Feinsedimente	17.263	Muschelschalen	608
„Stickung“ (anthropogen)	12.202	Steine	70
Verbau (anthropogen)	9.409	Blöcke	55
Kiese	1.249	Gesamtfläche	<b>40.856</b>

Vor Maßnahmenumsetzung bestehen ca. 47 % der ufernahen Sohloberflächen aus natürlichem Sohlsubstrat wie z. B. Blöcken, Steinen, Kiesen, Sand und Feinsedimenten und Muschelschalen (vgl. Abb. 26: Prozentuale Anteile der dominierenden Oberflächen der ufernahen Sohle 26). Die größten Oberflächenanteile werden von den Kornfraktionen „Sand und Feinsedimente“ (42 %) gebildet, gefolgt von kleinen Bereichen mit Kiesen (3 %) sowie Ansammlungen von Muschelschalen (2 %). 23 % der ufernahen Sohlfläche sind mit Wasserbausteinen befestigt, die restlichen 30 % der Fläche bestehen zwar auch überwiegend aus „Sand und Feinsedimenten“, sind jedoch mit aufliegenden Stickungssteinen (Reste von historischer Ufersicherung) bedeckt.

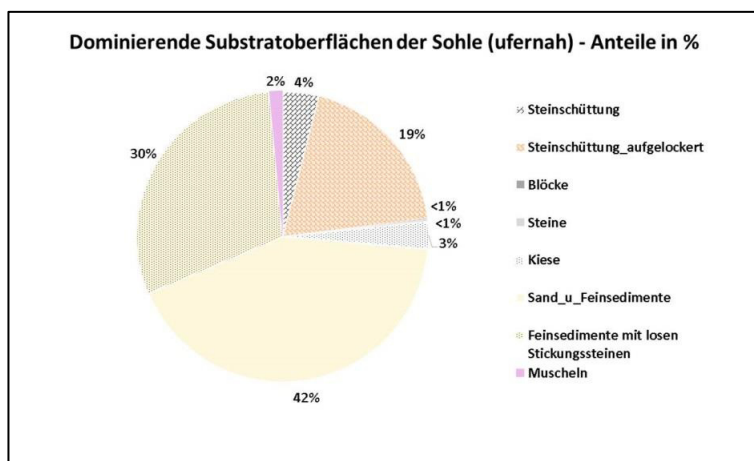


Abb. 26: Prozentuale Anteile der dominierenden Oberflächen der ufernahen Sohle

Quelle: BfG\_Lütz, Gintz 2018/2019

## 5.6.2 Oberflächensubstrate des Ufers

Anhand der Kombination der Kartierung vor Ort und der Digitalisierung der Orthophotos (Aufnahme 2017 und 2018) i. d. R. im Maßstab 1:250 - 1:400 mit ArcGIS (siehe Abb. 28) erfolgt die Ermittlung der Flächen der dominierenden Oberflächensubstrate des Ufers. Der digitalisierte Bereich der Uferfläche wird von der aktuellen MW-Linie und der Böschungsoberkante begrenzt. Eine eindeutige Ermittlung der Böschungsoberkante ist nicht auf der gesamten Strecke des MP möglich, da diese Begrenzungslinie (definiert durch die MHW-Linie) in einigen Bereichen außerhalb des auszuwertenden Untersuchungsgebietes liegt (vgl. dazu auch Abb. 4). Die Böschungsoberkante als obere Uferbegrenzung ist, wenn nicht eindeutig im Gelände

erkennbar, aus verschiedenen Datenquellen wie der DBWK-2, Überschwemmungsflächen aus FLYS und eigenen Vermessungsdaten interpoliert und orientiert sich zum Teil auch an dem vorhandenen Leinpfad, der als Begrenzung der Projektfläche festgelegt wurde (vgl. auch Kapitel 4.3 Bezugsräume der Indikatoren).

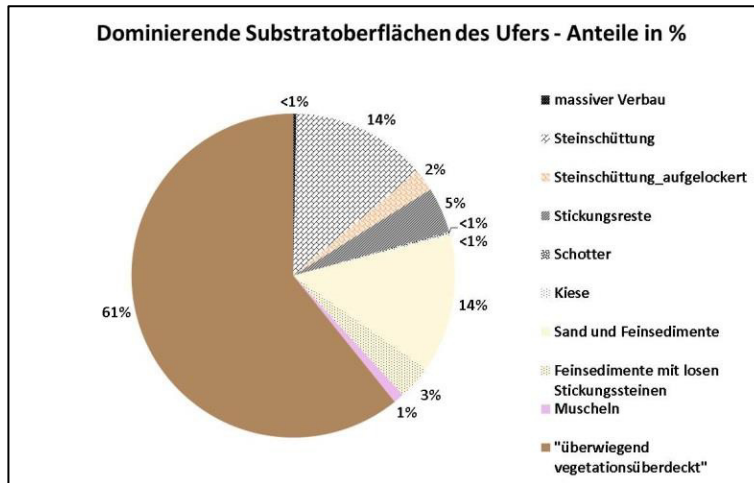


Abb. 27: Prozentuale Verteilung der dominierenden Oberflächen der Uferfläche  
Quelle: BfG\_Lütz, Gintz 2018/2019

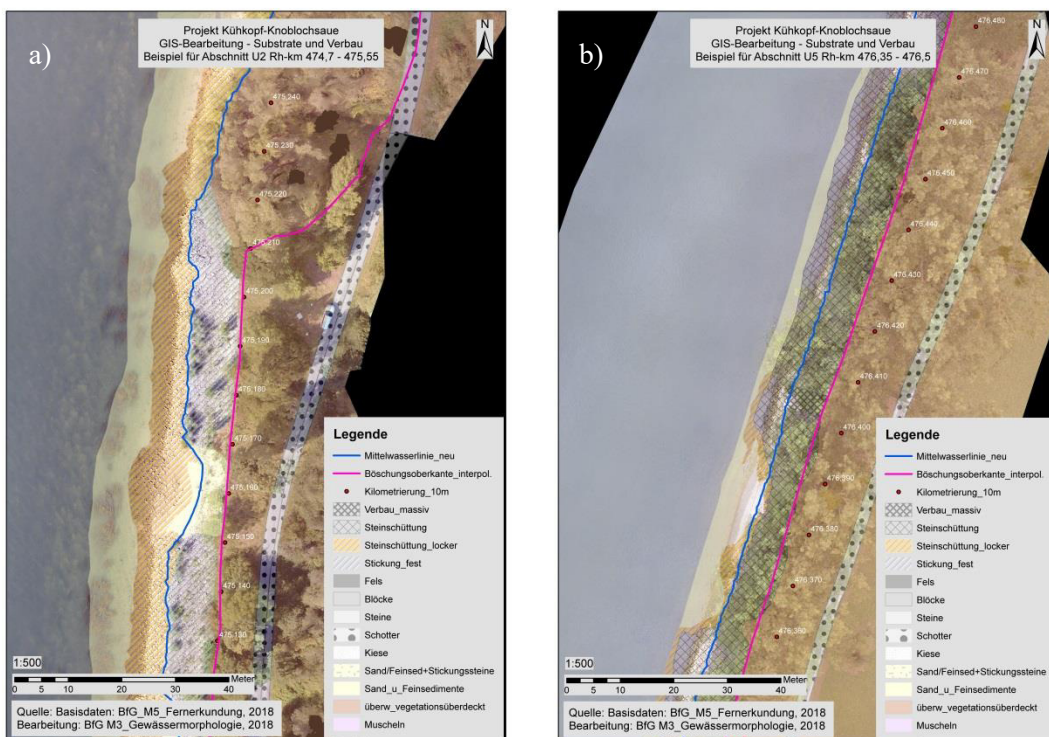


Abb. 28: ArcGIS Bearbeitung Substrate – a) Beispiel für Abschnitt U2 Rh-km 474,700- 475,550 b) für Abschnitt U5 Rh-km 476,350 – 476,500

Quelle: Basisdaten: BfG\_M5\_Fernerkundung, 2018, bearbeitet Lütz 2018/2019

Die digitalisierten Substratflächen sind der Tab. 9 zu entnehmen, die prozentuale Verteilung innerhalb der Uferfläche der Abb. 27. Der Bereich der Uferfläche der mit „überwiegend vegetationsüberdeckt“ klassifiziert ist nimmt mit ca. 61 % die größte Fläche ein, und befindet sich

häufig direkt oberhalb z. B. der Uferbefestigung oder im Anschluss von flachen Uferbuchten (vgl. z. B. Abb. 28). Die Kategorie „überwiegend vegetationsüberdeckt“ umfasst dabei die Bereiche, die im Luftbild von Vegetation dominiert werden, wodurch das darunterliegende Substrat nicht zu erkennen ist. Durch die Nutzung von einer Winter- und einer Sommeraufnahme sowie der Vor-Ort-Kartierung erscheinen auf den Bildexporten aus dem GIS nicht alle Vegetationsflächen mit „vegetationsüberdeckt“, daher wurde die Kategorie „überwiegend vegetationsüberdeckt“ verwendet. Daneben sind ca. 14 % der Fläche mit „Sand und Feinsedimenten“ bedeckt, 3,4 % sind durch „Feinsedimente mit losen Stückersteinen“ geprägt, ca. 25 % der Uferfläche sind verbaut (20,6 % Steinschüttung aus Wasserbausteinen und 4,6 % „Stückereste“), der geringste Flächenanteil von 0,2 % wird von Kies und 1 % von Muschelschalen bedeckt.

Tab. 9: Substrate und Verbau der Uferfläche zwischen MW-Linie und Böschungsoberkante

Quelle: BfG\_Lütz, Gintz 2018/2019

Dominierende Oberflächensubstrate	Fläche [m²]	Dominierende Oberflächensubstrate	Fläche [m²]
Überwiegend vegetationsbedeckt	26.244	Feinsedimente mit losen Stückersteinen	1.475
Verbau (anthropogen, massiv, Steinschüttung, Steinschüttung aufgelockert)	6.933	Muscheln	453
Sand und Feinsedimente	5.962	Schotter	73
„Stückereste“	1.971	Kiese	69
		Gesamtfläche	<b>43.180</b>

### 5.6.3 Substratbeprobung (Korngrößenanalysen)

Zur Korngrößenanalyse werden die Sedimentproben entlang von 13 Transekten mit, wenn möglich, jeweils 5 Sedimentproben entnommen (vgl. dazu Tab. 10 und Abb. 29). Liegen die festgelegten Probenahmepunkte auf Bereichen mit Ufer- bzw. Sohlbefestigung können diese Punkte erst nach der Maßnahmenumsetzung beprobt werden. An Böschungen mit Steinschüttung („technischer Verbau“) der Vergleichsstrecke findet keine Beprobung statt. Bei den Sedimentproben erfolgt hier nachfolgend keine Unterteilung zwischen ufernaher Sohle und Ufer, hier liegen die Entnahmepunkte entlang der Transekte sowohl im ufernahen Sohlbereich als auch im Uferbereich.

Tab. 10: Transekte zur Beprobung des Sohl- und Ufersubstrats

Quelle: BfG\_Gintz 2018

Nr.	Rh-km	Ist-Zustand	Details des Abschnittes	Abschnitte
T13	476,000	Steinschüttung auf mäßig steiler Böschung, Pflaster	Übergang Gleitufer zu Prallhang	U3-U4
T12	475,800		flache Böschung, Muscheln	U3
T11	475,500	teilentsteinte Buchten (8) mit Steilufer, mit überwiegend verbliebener lockerer	zum Teil mit Stücker gesichert, Bucht	U2-U3
T10	475,400			U2

T9	475,300	Steinschüttung (Fußsicherung), dazwischen historische Ufersicherung	wenig Steinschüttung, Stickung, Muscheln, flaches Ufer	
T8	474,900		Rückbau Nato-Rampe	
T7	474,800			
T6	474,600	weitgehend steinfrei, vereinzelt Stickungssteine auf Sand/Feinsediment oder Kies	„naturnahes Ufer“, Flachwasserbereiche	U1
T5	474,400			
T3	474,200			

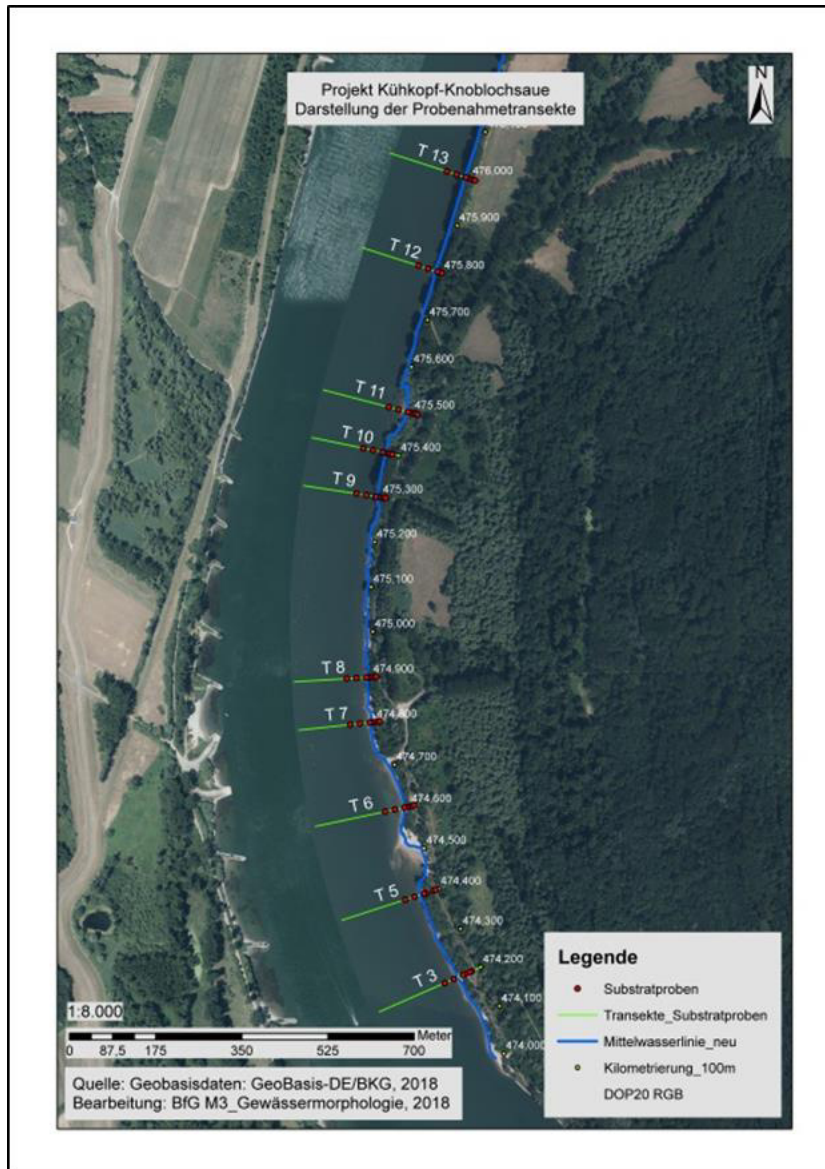


Abb. 29: Lage der Transekte in der Maßnahmenstrecke für die Substratbeprobung  
Quelle: Basisdaten: Geobasis-DE/BKG, 2018, bearbeitet BfG\_Lütz 2019

Die Ergebnisse der Korngrößenanalysen sind in den Abbildungen 30 bis 41 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass insgesamt der Feinkornanteil in den Transekten überwiegt; mit Ausnahme der Transekte T5, T9 und T12. Der Kiesanteil ist in den Proben der Sohlsedimente höher als in

den Sedimentproben im Böschungs-, bzw. Uferbereich. Dies entspricht auch dem Leitbild des Gewässertyps 10 „Kiesgeprägte Ströme“, hier ist in den Sohlbereichen typischerweise dynamischer Kies oder Schotter vorzufinden und Feinsedimentanteile sind typischerweise geringer (UBA 2014, Pottgießer 2018). Kleinräumig können Feinsedimente jedoch auch in Sohlbereichen das Substrat dominieren, wie es z.B. in den Transekten 7 und 13 zu erkennen ist. Im terrestrischen Bereich (die Proben am Ufer in 5 und 10 m vom Hektometerstein entfernt) ist in den Bereichen der steilen Böschungen das Substrat im Vergleich zu den Bereichen mit flachen Uferböschungen grobkörniger, in den flachen Uferböschungen überwiegen die feineren Korngrößen wie Ton und Schluff sowie Sand. Die Sedimente des oberen Uferbereichs werden aus sandigem Schluff mit (geringen) Kiesanteilen gebildet.

### Abschnitt U1: naturnahes Ufer<sup>9</sup>

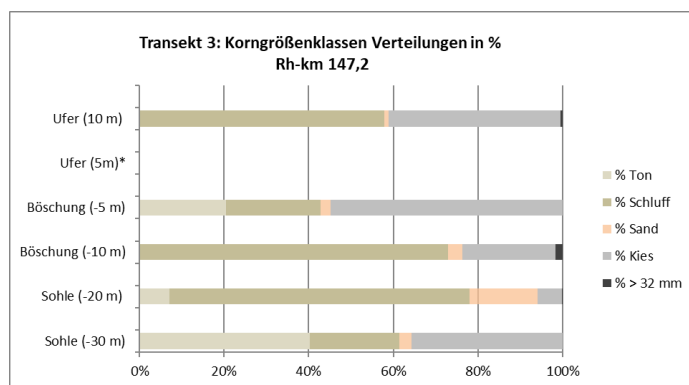


Abb. 30: Prozentuale Verteilung der Korngrößenklassen auf Transekt 3 (Rh-km 474,200), Abstände in m vom Hektometerstein ausgehend \*

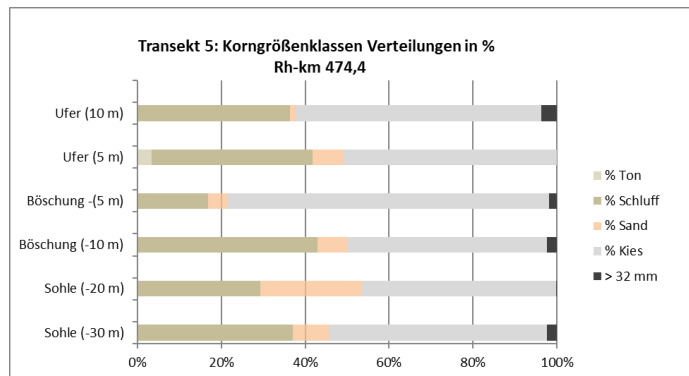


Abb. 31: Prozentuale Verteilung der Korngrößenklassen auf Transekt 5 (Rh-km 474,400)

<sup>9</sup> \* Fehlende Werte - hier konnte keine Sedimententnahme durchgeführt werden

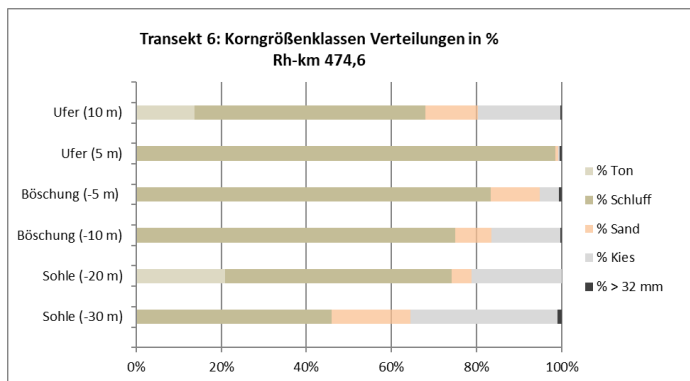


Abb. 32: Prozentuale Verteilung der Korngrößenklassen auf Transekt 6 (Rh-km 474,600)

**Abschnitt U2: teilentsteinte Buchten und (natürliche) Sandbuchten<sup>10</sup>**

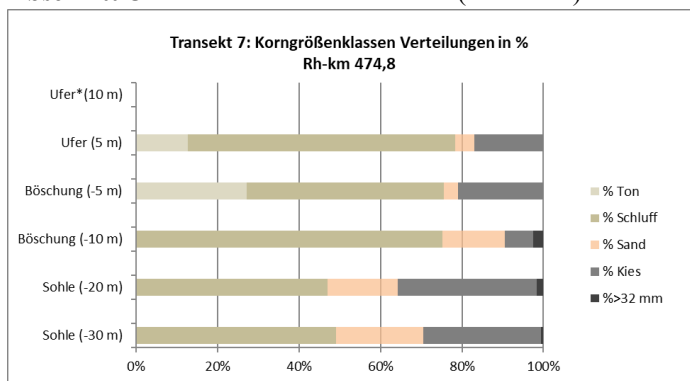


Abb. 33: Prozentuale Verteilung der Korngrößenklassen auf Transekt 7 (Rh-km 474,800)\*

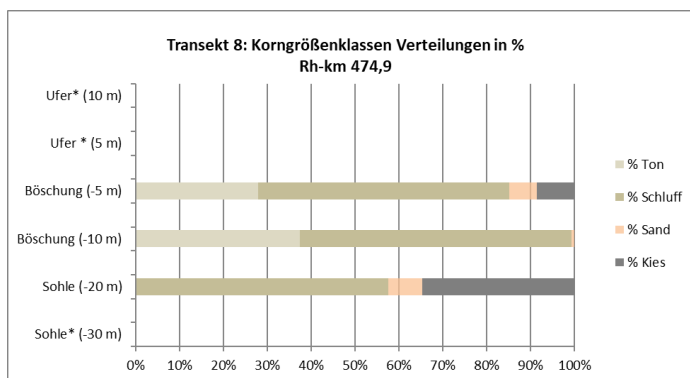


Abb. 34: Prozentuale Verteilung der Korngrößenklassen auf Transekt 8 (Rh-km 474,900)\*

<sup>10</sup> \*Fehlende Werte - hier konnte keine Sedimententnahme durchgeführt werden

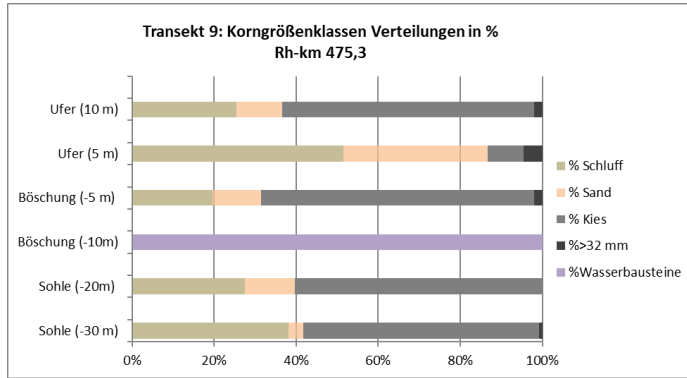


Abb. 35: Prozentuale Verteilung der Korngrößenklassen auf Transekt 9 (Rh-km 475,300)

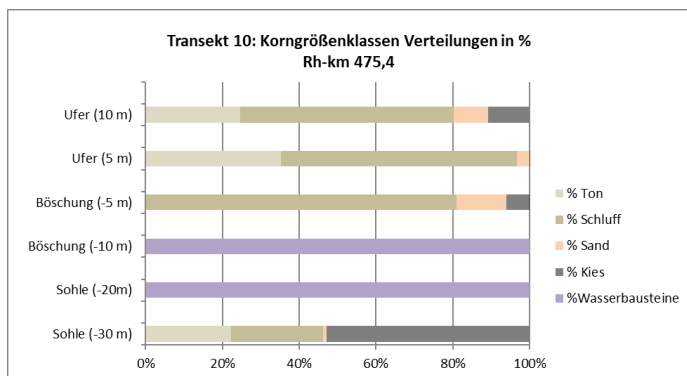


Abb. 36: Prozentuale Verteilung der Korngrößenklassen auf Transekt 10 (Rh-km 475,400)

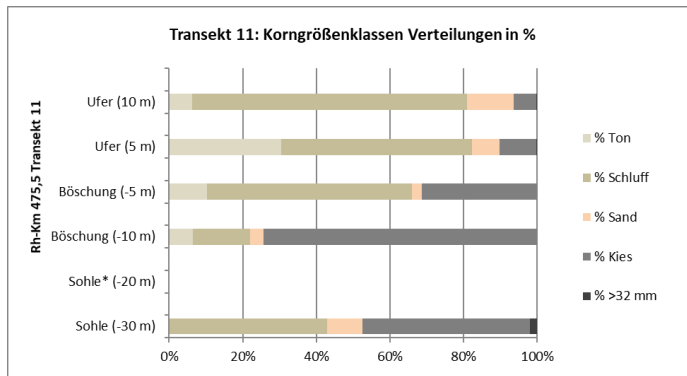


Abb. 37: Prozentuale Verteilung der Korngrößenklassen auf Transekt 11 (Rh-km 475,500)\*

### Abschnitt U3: Steinschüttung auf mäßig steiler Böschung

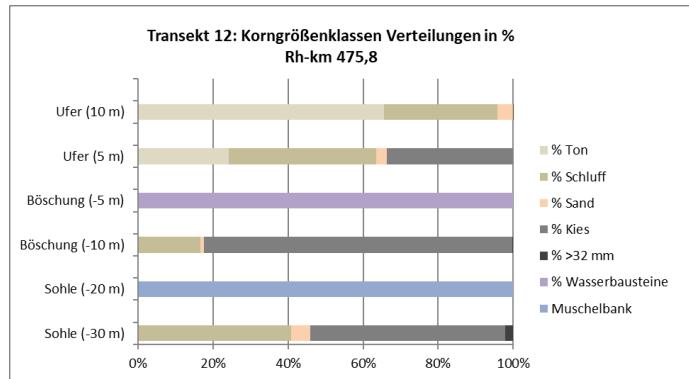


Abb. 38: Prozentuale Verteilung der Korngrößenklassen auf Transect 12 (Rh-km 475,800)

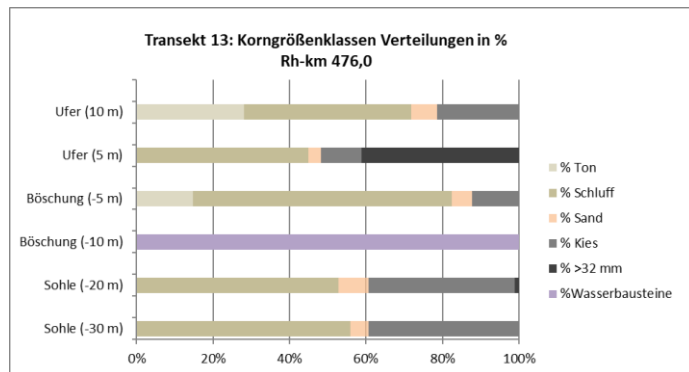


Abb. 39: Prozentuale Verteilung der Korngrößenklassen auf Transect 13 (Rh-km 476,000)

### Abschnitt U4: Steinschüttung auf mäßig steiler Böschung

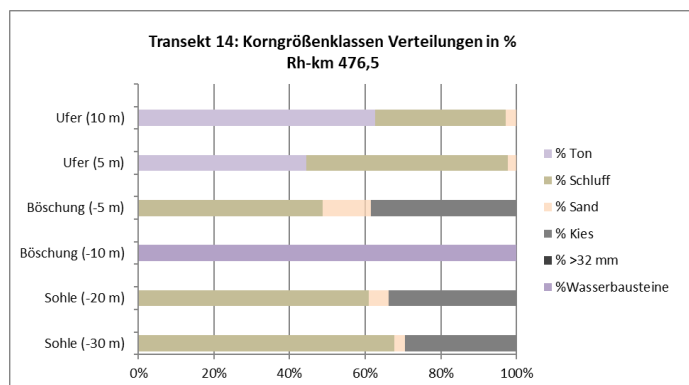


Abb. 40: Prozentuale Verteilung der Korngrößenklassen auf Transect 14 (Rh-km 476,500)

Der Sohl- und Uferabschnitt U4 - U5 ist komplett mit Wasserbausteinen gesichert, daher kann hier keine Sedimentbeprobung zur Ist-Zustandserfassung erfolgen.

## 6 Diskussion der Unsicherheiten

Grundlage für ein hydromorphologisches Monitoring ist, die natürlichen Gegebenheiten so genau wie möglich zu erfassen und abzubilden sowie die erfassten Indikatoren nach festgelegten Zeiträumen mit vergleichbarer Methodik und an möglichst den gleichen Positionen erneut zu erfassen, mit dem Ziel, mögliche Änderungen mit gleicher Genauigkeit abbilden zu können. Trotz aller Sorgfalt sollte nicht aus den Augen verloren werden, dass Abweichungen in der Lage und Höhe auch mittels präziser Gerätetechnik (GNSS) und hoher Auflösung der Luftbilder bei der Vermessung im Gelände und der Auswertung am PC Abweichungen nicht vermieden werden können. Eine Vielzahl von nicht beeinflussbaren Randbedingungen kann die Genauigkeit der Erfassung der Indikatoren während der Aufnahme beeinflussen: Das können zum Beispiel geländebedingte Einschränkungen sein, wie z. B. die Zugänglichkeit (Steilufer, Untergrund, dichte Vegetation) sowie technische Rahmenbedingungen der Vermessung mit GNSS (Satellitenempfang, Signalstärke, Störungen). Auch die Vermessungsdauer [t] und Messhäufigkeit eines Punktes [n] hat maßgeblichen Einfluss auf die Genauigkeit der Messung in Bezug auf die Lage- und Höheninformation eines Punktes; hier ist zwischen der für die Vermessung zur Verfügung stehenden Zeit und dem Anspruch an die Messgenauigkeit abzuwägen. Für die Aufnahme der Messpunkte mit GNSS-Vermessung sind Abweichungen der eingemessenen Punkte im Minimum von +/- 10 cm zu erwarten, da aufgrund der Vielzahl der einzumessenden Punkte im Gelände keine lange Messdauer oder Mehrfachmessungen eines Punktes zu realisieren sind. Die naturschutzfachlichen Rahmenbedingungen erlauben oft nur einen zeitlich beschränkten Zugang zu den Maßnahmegebieten.

Ein weiterer Aspekt, der die Genauigkeit der Daten beeinflusst, ist die zur Verfügung stehende Datengrundlage wie z. B. der Kartenmaßstab, die Auflösung, Zeitpunkt und Aktualität der Aufnahme des Luftbildes, Methodik von Peilungen (Linien- oder Flächenpeilung), Interpolationsroutinen, Dichte der Datenpunkte, der Maßstab bei dem eine Digitalisierung durchgeführt wird (z. B. Linienstärke) sowie die Rastergröße und Übertragungsungenauigkeiten. Die jeweiligen Bedingungen können bei der Digitalisierung von Strecken [m] aus Karten und Luftbildern sowie aus DGM, je nach Maßstab zu Abweichungen von +/- 0,5 m bis zu +/- 2 m in der „Realität“ bedeuten (Quick et al. 2019).

## 7 Zusammenfassung

Die Ist-Zustandserfassung der insgesamt 2,50 km langen Maßnahmenstrecke des Blauen-Band-Modellprojektgebietes „Kühkopf-Knoblochsau“ (Rh-km 474,00 – 476,500) wurde während einer Geländekampagne und zwei Befliegungen mit UAV im Januar 2017 und im August 2018 durchgeführt.

Das Projektgebiet lässt sich in drei morphologisch unterschiedliche Abschnitte gliedern, der nördliche Abschnitt der Maßnahmenstrecke wurde noch weiter unterteilt, so dass sich insgesamt fünf Teilabschnitte U1 bis U5 unterscheiden lassen. Die Maßnahmenstrecke selbst gliedert sich in die Bereiche

**U1 Rh-km 474,000 - 474,700:** 0,700 km langer naturnaher Abschnitt mit flachgeneigter Uferböschung mit Sand und Kies und vereinzelt Auflagen von losen „Stickungssteinen“, fließender Übergang zur Gewässersohle (Längenanteil: 27,2 %)

- geplante Maßnahme: vereinzelt Sohlentsteinung unterhalb MW

**U2 Rh-km 474,700 - 475,550:** 0,850 km langer heterogener Abschnitt mit 8 teilentsteinen Buchten mit steiler Böschungskante und vorgelagert flach geneigter Böschung, die mit Resten der Ufersicherung bedeckt sind; dazwischen mäßig steil geneigte Böschungen mit Schüttsteinen gesichert (Längenanteil: 33,1 %)

- geplante Maßnahme: Ufer- und Sohlentsteinung oberhalb und unterhalb MW

**U3-U5 Rh-km 475,550 - 476,500:** 0,950 km langer Abschnitt mit Schüttsteinen verbaute Böschung, oberstrom mäßig steil, unterstrom steil (Längenanteil: 39,7 %)

- geplante Maßnahme U3 (Rh-km 475,550 - 476,000): Uferentsteinung oberhalb MW
- geplante Maßnahme U4 (Rh-km 476,000 - 476,350): buchtenartige Uferentsteinung oberhalb MW
- geplante Maßnahme U5 (Rh-km 476,350 - 476,500): Uferentsteinung und Böschungssicherung mit technisch-biologischer Bauweise

Für das hydromorphologische Monitoring werden geeignete Indikatoren gewählt, welche die hydromorphologische Entwicklung zur Zielerreichung der Projektziele, wie die Entwicklung und Förderung von gewässertypspezifischen Sohl- und Uferstrukturen sowie von gewässertypspezifischen Sedimenten am besten abbilden können. Die Auswertung der Indikatoren „Sohlstruktur“, „Uferstruktur“, „Breiten- und Tiefenvariation“ sowie deren Bewertung mit Valmorph, die Uferlinienlänge sowie der Uferverbau und die quantitative Erfassung der Sohl- und Ufersubstrate bilden eine gute Grundlage zur Bewertung der Zielerreichung.

Dem Bericht 1916 „Konzept zur Durchführung der Erfolgskontrolle im Modellprojekt Uferrenaturierung Kühkopf-Knoblochsau im Rahmen der Umsetzung des Bundesprogramms Blaues Band Deutschland“ (Gerisch et al. 2017) können weitere Details des Bewertungsrahmens für die durchzuführenden Erfolgskontrollen im Modellprojekt sowie die Methodik der Datenerhebung und mögliche Datenauswertungen entnommen werden.

Im gesamten Maßnahmengbiet wird die ufernahe Sohloberfläche hauptsächlich von Sand und Feinsedimenten dominiert (42 %); Kiese und Steine spielen mit etwas über 3 % eine eher

untergeordnete Rolle. Die restliche Fläche der ufernahen Sohle ist mit Wasserbausteinen und Stückersteinen verbaut.

Im Uferbereich sind ca. 25 % der digitalisierten Fläche verbaut, die Ufersubstrate mit Schluff und Ton machen ca. 60 % der Fläche aus, ca. 15 % der Oberflächensubstrate sind Sand und Feinsedimente, Kiese und Auflagen (wie z. B. Muschelschalen). Diese quantitative Auswertung der Oberflächensubstrate stellt eine sehr gute Grundlage dar, um die Bewertungsziele nach Maßnahmenumsetzung z. B. Erhöhung der Substratvielfalt abschnittsweise nach objektiven Kriterien bewerten zu können.

Zur Bewertung des Indikators „Uferverbauungsgrad“ wurde als Vergleichs-Zustand ein unbefestigtes Ufer entsprechend dem „Leitbild“ des Gewässertyps herangezogen. Im Ergebnis wird der Indikator im „naturnahen“ Abschnitt U1 mit der Klasse „unverändert bis sehr gering negativ verändert“ bewertet. Die Bewertung des Indikators im Abschnitte U2 ist „stark bis sehr stark negativ verändert“, die Bewertung mit der Klasse „extrem negativ verändert“ trifft für die Abschnitte U3, U4 und U5, mit der größten Abweichung von einem naturnahen Ufer, zu.

Auf festgelegten Transekten wurden Sedimentproben im Sohlbereich, an der Uferböschung und im Auenbereich entnommen. Die Korngrößenverteilungen der Proben auf den Transekten folgen der zu erwartenden Tendenz. Im terrestrischen Bereich (die Proben am Ufer in 5 und 10 m vom Hektometerstein entfernt) ist in den Bereichen der steilen Böschungen das Substrat im Vergleich zu den Bereichen mit flachen Uferböschungen grobkörniger, in den flachen Uferböschungen überwiegen die feineren Korngrößen wie Sand, Schluff und Ton. Die Ergebnisse der Sedimentbeprobung können als „Null-Messung“ zum Abgleich für weitere Sedimentbeprobungen nach Maßnahmenumsetzung genutzt werden.

Im betrachteten Maßnahmenbereich können im Ist-Zustand die Sohlstrukturen „Tiefenrinne“, „Seitenrinne“, „Längsbank“, „Hauptgewässerbett“ und „Gleithang“ im Gewässerbett zwischen Ufer und Fahrrinne identifiziert und ihre jeweilige Fläche ermittelt werden. Die vorkommenden Strukturen entsprechen weitestgehend den gewässertypspezifischen Sohlstrukturen eines Gewässers des Typ 10 „Kiesgeprägte Ströme“, wie z. B. lagestabile Längsbänke, lange Gleitferbänke und Seitenrinnen.

Die ufernahen Sohlstrukturen unterscheiden sich deutlich in den verschiedenen betrachteten Abschnitten U1 bis U5. Im naturnahen Abschnitt U1, der keinen Uferverbau oberhalb Mittelwasser aufweist, weisen kleinräumig strukturierte naturraumtypische Sohlstrukturen wie breite Flachwasserbereiche, Kiesbänke, Buchten und flach geneigte Sohlböschungen auf eine relativ natürliche Morphodynamik hin. Auch die in diesem Abschnitt vergleichsweise größere Breiten- und Tiefenvariation sowie die höhere Uferlinienlänge zeigen, dass hier in einem gewissen Umfang eine naturraumtypische Strukturvielfalt zu finden ist und eigendynamische Entwicklungsprozesse möglich sind. Allerdings ist auch hier zu berücksichtigen, dass sowohl die Böschungsfußsicherung als auch die großräumige anthropogene Überprägung des Rheins in diesem Bereich eine natürliche Uferentwicklung mit großräumigen Uferabbrüchen, Entstehung und Verlagerungen von Rinnen und gering durchströmten Bereichen nicht zulässt. Der Abschnitt U2 weist in geringerem Maße als U1 naturraumtypische Sohl- und Uferstrukturen auf, auch an der Breiten- und Tiefenvariation und der Uferlinienlänge wird das sichtbar. Die Ufer sind hier nicht durchgehend verbaut wie in den Abschnitten U3 bis U5, morphodynamische Umlagerungsprozesse, die zur Entstehung naturraumtypischer Strukturen führen, können auf Grund der noch sehr kleinräumigen Uferentsteinung nur in geringem Maße stattfinden. In den Abschnitten U3 bis U5 weisen Ufer und Sohle wegen der durchgehenden Ufersicherung

(Verbauungsgrad beträgt 100%) in Bezug auf die hydromorphologischen Strukturen einen sehr naturfernen Zustand auf. Dies spiegelt sich sowohl in der sehr geringen Breiten- und Tiefenvariation als auch in der vollkommen gestreckten Uferlinie mit einem Quotienten nahe 1 wider. Die Sohlböschungen sind steil und entsprechen dem baulichen Regelprofil und auch die vorkommenden Sohlsubstrate weisen nur eine geringe Variabilität auf. Dies deutet auch auf wenige unterschiedliche Sohlstrukturen hin. Insbesondere Substrate der Ton- und Schlufffraktion, die häufig in strömungsberuhigten Flachwassergebieten auftreten, sind hier praktisch nicht vorhanden, da auch diese Sohlstrukturen in den Abschnitten U3 bis U5 nicht anzutreffen sind.

Nach Umsetzung der geplanten Maßnahmen werden die in diesem Bericht untersuchten hydromorphologischen Indikatoren in dem vereinbarten Monitoringintervall erfasst und mit den gleichen Methoden analysiert und quantifiziert, die im vorliegenden Bericht angewendet wurden. Eine Bewertung des Erfolges der umgesetzten Maßnahmen erfolgt dann auf Grundlage des Vergleiches des Ist-Zustandes mit dem Zustand nach Maßnahmenumsetzung für die jeweiligen Indikatoren.

## 8 Anlage

Erfassung des Ist-  
Zustands Hydro-  
morphologie im  
BBD-Modell-pro-  
jekt „Kühkopf-  
Knoblochsau“

BfG-2033

Anlage 1: Koordinaten der Sedimentbeprobung 2017

Transekt -Bepro- bung	X	Y	MP - Ab- schnitt	Transekt -Be- probung	X	Y	MP - Ab- schnitt
T3-1	8,382607	49,822723	U1	T8-1	-	-	U2
T3-2	8,382495	49,822696		T8-2	-	-	
T3-3	8,382231	49,822622		T8-3	-	-	
T3-4	8,381976	49,82255		T9-1	8,380084	49,831484	U2
T3-6	8,382807	49,822777		T9-3	8,37992	49,831527	
T5-1	8,381483	49,824235		U1	T9-4	8,379774	49,831548
T5-2	8,381415	49,82421	T9-5		8,38015	49,831446	
T5-3	8,381101	49,824063	T9-6		8,380213	49,831407	
T5-4	8,38092	49,824021	T10-1		8,380272	49,832243	U2
T5-5	8,381604	49,824286	T10-4		8,37997	49,832267	
T5-6	8,381663	49,824287	T10-5		8,380356	49,832244	
T5-7	8,381281	49,824187	T10-6		8,38046	49,832246	
T6-1	8,380954	49,825807	U1	T11-1	8,380923	49,83302	U2/U3
T6-2	8,380859	49,825791		T11-2	8,380818	49,833043	
T6-3	8,379313	49,827337		T11-4	8,379595	49,834059	
T6-4	8,38021	49,825732		T11-5	8,381125	49,832946	
T6-5	8,381077	49,825817		T11-6	8,381177	49,832933	
T6-6	8,381142	49,82584		T12-2	8,381589	49,835604	U3
T7-1	8,379975	49,827322	U2	T12-5	8,38176	49,835535	
T7-2	8,379912	49,827321		T12-6	8,381855	49,835521	
T7-3	8,379647	49,827331		T13-1	8,3825	49,837262	U3/U4
T7-4	8,379448	49,827332		T13-4	8,381783	49,837358	
T7-5	8,380058	49,82728		T13-5	8,382621	49,837241	
				T13-6	8,38275	49,83723	

## Danksagung

Die Erarbeitung erfolgte unter Mitarbeit von Tobias Brehm, Björn Baschek (M5) und Svenja Wick (M3), ihnen sei an dieser Stelle für die Unterstützung sowie den fachlichen Austausch, stellvertretend für das mDRONES4rivers-Konsortium herzlich gedankt. Vielen Dank auch an die Kolleginnen und Kollegen aus M für den fachlichen Austausch. Im Besonderen möchten wir uns bei Simone Janas (WSA Oberrhein) und den Beschäftigten des ABZ Worms/Oppenheim, Herrn Vollmer und Herrn Römer sowie der Besatzung der „Gunther“ für die Unterstützungen während der Monitoring-Kampagne im Rahmen des Monitorings des Blauen Band Modellprojektes „Kühkopf-Knoblochsau“ am Rhein sowie für die zur Verfügung gestellten Daten zum Untersuchungsgebiet bedanken. Ein weiterer Dank geht an Peter Servouse (BAW) und Florian Lindenberger (BAW) für den fachlichen Austausch sowie an das Institut Dr. Nowak für die Beprobung und Analyse der Substrate.

# Verzeichnisse

## Literaturverzeichnis

- BfN Bundesamt für Naturschutz (2009). Flussauen in Deutschland – Erfassung und Bewertung des Auenzustandes, Naturschutz und Biologische Vielfalt 87.
- BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2009). Auenzustandsbericht, Flussauen in Deutschland. 36 S.
- DWA (2018): Regelwerk Merkblatt DWA-M 600 Begriffe aus Gewässerunterhaltung und Gewässerentwicklung
- EEA (2018): European waters. Assessment of status and pressures 2018. Kopenhagen
- Fachgruppe Blaues Band Deutschland (2020): Hintergrunddokument „Bewertung von Vorhaben und Maßnahmenvorschlägen (Biotopverbund)“ zum „Fachkonzept Biotopverbund Gewässer und Auen“ im Bundesprogramm „Blaues Band Deutschland“
- Fachgruppe Blaues Band Deutschland (i. B.): Grundsätze für Erfolgskontrollen für Projekte im Bundesprogramm „Blaues Band Deutschland“
- GDWS Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (2016): 1. Fortschrittsbericht zu den Modellprojekten im Rahmen des Bundesprogramms „Blaues Band Deutschland“. Stand November 2016. 78 S.
- Gerisch, M.; Quick, I.; Gintz, D.; König, F.; Baulig, Y.; Sundermeier, A.; Behrendt, K.; Wieland, S.; von Landwüst, C.; Schäffer, M. (2017). Konzept zur Durchführung von Erfolgskontrollen im Modellprojekt „Uferrenaturierung Kühkopf-Knoblochsau“ im Rahmen der Umsetzung des Bundesprogramms „Blaues Band Deutschland“. BfG-Bericht 1916, 32 S.
- Geo Ingenieure Süd GmbH & Co.KG (2017): Abschlussbericht-Befliegung des Rheinufers Kühkopf-Knoblochsau 23.01.2017)
- Koenzen, U. (2005). Fluss- und Stromauen in Deutschland - Typologie und Leitbilder. Ergebnisse des F+E-Vorhabens "Typologie und Leitbildentwicklung für Flussauen in der Bundesrepublik Deutschland" des Bundesamtes für Naturschutz. Angewandte Landschaftsökologie 65, 327 S.
- LAWA (2016): RaKon Monitoring Teil B, Arbeitspapier I „Gewässertypen und Referenzbedingungen“
- LAWA (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser, Hrsg.) (2017): LAWA-Verfahrensempfehlung Gewässerstrukturkartierung Verfahren für mittelgroße bis große Fließgewässer
- Pottgießer, T. (2018): Die deutsche Fließgewässertypologie - Zweite Überarbeitung der Steckbriefe der Fließgewässertypen. F+E-Vorhaben des Umweltbundesamtes „Gewässertypenatlas mit Steckbriefen“, Dessau.
- Pottgießer, T. & M. Sommerhäuser (2008): Begleittext zur Aktualisierung der Steckbriefe der bundesdeutschen Fließgewässertypen (Teil A) und Ergänzung der Steckbriefe der deutschen Fließgewässertypen um typspezifische Referenzbedingungen und Bewertungsverfahren aller Qualitätselemente (Teil B). UBA-Projekt (Förderkennzeichen 36015007) und LAWA-Projekt O 8.06. - <http://www.wasserblick.net>
- Quick, I.; König, F.; Baulig, Y.; Borgsmüller, C.; Schriever, S. (2017): Das hydromorphologische Erfassungs- und Bewertungsverfahren Valmorph 2 für schiffbare Oberflächengewässer. BfG-Bericht Nr. 1910. Bundesanstalt für Gewässerkunde. Koblenz
- Quick, I.; König, F.; Sauer, T.; Gintz, D.; Lütz, M.; Kranz, S.; Borgsmüller, C.; Schriever, S.; Wick, S. (2019): Hydromorphologisches Monitoring zur Gewässerentwicklung bei Maßnahmen in und an Bundeswasserstraßen. BfG-Bericht 1911. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
- Quick, I. & Schriever, S. (2018): Hydromorphological monitoring of river bed structures and their alterations in waterways. In: 12th International Symposium on Ecohydraulics 2018 (ISE 2018). Tokyo, Japan

- Regierungspräsidium Darmstadt (2011). Maßnahmenplan (Bewirtschaftungsplan) für das FFH/VS-Gebiet 6116-350/ 6116-450 "Kühkopf-Knoblochsau". Versionsdatum: 11.1.2011. 95 S.
- Stewart-Oaten, A. & Bence, J.R. (2001) Temporal and spatial variation in environmental impact assessment, Ecological Monographs 71: 305–339.
- Umweltbundesamt (UBA) (2014): Hydromorphologische Steckbriefe der deutschen Fließgewässertypen. Anhang 1 von „Strategien zur Optimierung von Fließgewässer-Renaturierungsmaßnahmen und ihrer Erfolgskontrolle. UBA TEXTE 43/2014
- WasserBLICK: Datensatz der elektronischen Berichterstattung 2016 zum 2. Bewirtschaftungsplan WRRL Wasserkörpersteckbrief Kennung: DE\_RW\_DERP\_2000000000\_2
- Woolsey, S., Weber, C., Gonser, T., Hoehn, E. Hostmann, M. Junker, B. Roulier, C. Schweizer, S. Tieges, S. Tockner, K. Peter, A. (2005): Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fließgewässerrevitalisierungen. Eawas, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETH

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Lage des Maßnahmengebietes.....	5
Abb. 2: Darstellung der geplanten Maßnahmen.....	8
Abb. 3: Bezugsraum der Kartierung und Luftbilddauswertungen in GIS .....	13
Abb. 4: Sohlstrukturen im maßnahmenrelevanten Bereich (rechts der Fahrrinne bis zum Ufer).....	18
Abb. 5: Prozentuale Verteilung der Sohlstrukturen in der maßnahmenrelevanten Gewässerbett- fläche 2017.....	19
Abb. 6: ArcGIS Bearbeitung „Sohlstrukturen“ im ufernahen Bereich – a) Beispiel für Abschnitt U1 Rh-km 474,000 - 474,700 und b) für die Abschnitte U4 und U5, Rh-km 476,000 - 476,500.....	21
Abb. 7: Prozentuale Verteilung der digitalisierten Flächen der „ufernen Sohlstrukturen“ (Gesamtfläche ca. 4 ha).....	22
Abb. 8: Sohlprofil der rechten Flusshälfte am Flusskilometer 474,5, repräsentativ für die Sohl- neigung im U1. Die gestrichelte horizontale Linie zeigt die Geländehöhe der MW-Linie an, die gestrichelte vertikale Linie markiert den ufernahen Sohlbereich, für den die Steigung angegeben ist. .24	
Abb. 9: Sohlprofil der rechten Flusshälfte am Flusskilometer 475,3, repräsentativ für die Sohl- neigung im U2. Die gestrichelte horizontale Linie zeigt die Geländehöhe der MW-Linie an, die gestrichelte vertikale Linie markiert den ufernahen Sohlbereich, für den die Steigung angegeben ist. .24	
Abb. 10: Sohlprofil der rechten Flusshälfte am Flusskilometer 475,7, repräsentativ für die Sohl- neigung im U3. Die gestrichelte horizontale Linie zeigt die Geländehöhe der MW-Linie an, die gestrichelte vertikale Linie markiert den ufernahen Sohlbereich, für den die Steigung angegeben ist. .25	
Abb. 11: Sohlprofil der rechten Flusshälfte am Flusskilometer 467,24, repräsentativ für die Sohlneigung im U4. Die gestrichelte horizontale Linie zeigt die Geländehöhe der MW-Linie an, die gestrichelte vertikale Linie markiert den ufernahen Sohlbereich, für den die Steigung angegeben ist. .25	
Abb. 12: Sohlprofil der rechten Flusshälfte am Flusskilometer 476,45, repräsentativ für die Sohlneigung im U5. Die gestrichelte horizontale Linie zeigt die Geländehöhe der MW-Linie an, die gestrichelte vertikale Linie markiert den ufernahen Sohlbereich, für den die Steigung angegeben ist. .26	
Abb. 13: Digitales Höhenmodell des Bezugsraums auf Basis des DGM-W 2017 der Gewässersohle. Angabe sind hier die absoluten Höhen über NHN, sodass blau geringen Wassertiefen und rot größeren Wassertiefen entspricht. ....	29
Abb. 14: Auf Basis des DGM-W 2017 berechnete Neigungen der Gewässersohle im Bezugsraum, angegeben in °.....	30
Abb. 15: Prozentualer Verbauungsgrad des Ufers 2017 (bezogen auf die Uferlänge).....	33
Abb. 16: Prozentuale Verteilung der digitalisierten Flächen der Uferstrukturen .....	34
Abb. 17: ArcGIS Bearbeitung Uferstrukturen, Beispiel für Abschnitt U1 Rh-km 474,000 - 474,700...36	
Abb. 18: ArcGIS Bearbeitung Uferstrukturen, Beispiel für Abschnitt U2, Bereich Nato-Rampen, Rh-km 474,700 - 475,550 .....	37
Abb. 19: ArcGIS Bearbeitung Uferstrukturen, Beispiel für Abschnitt U3, Rh-km 475,550 - 476,000...38	
Abb. 20: ArcGIS Bearbeitung Uferstrukturen Beispiel für Abschnitt U4 und U5; zwischen Rh-km 476,000 und 476,500.....	39
Abb. 21: Querprofilinien zur Ermittlung der Breitenvariation.....	41

Abb. 22: Breite Istzustand, Mittelwert der Breiten im Istzustand sowie Breitenvariation für den Ist-Zustand .....	42
Abb. 23: Untersuchungsgebiete und Abschnitte zwischen den Hektometersteinen mit der jeweiligen Länge der tatsächlichen Uferlinie .....	44
Abb. 24: Tatsächliche Uferlinie (hellblaue dünne Linie) sowie farbige Darstellung des Quotienten an der gestreckten Uferlinie, Quotient Uferlinie als abschnittsweiser Zahlenwert .....	45
Abb. 25: ArcGIS Bearbeitung Substrate — a) Beispiel für Abschnitt U3 Rh-km 475,550 – 476,000 b) Beispiel für Abschnitt U1 Rh-km 474,000 - 474,700 .....	48
Abb. 26: Prozentuale Anteile der dominierenden Oberflächen der ufernahen Sohle .....	49
Abb. 27: Prozentuale Verteilung der dominierenden Oberflächen der Uferfläche .....	50
Abb. 28: ArcGIS Bearbeitung Substrate – a) Beispiel für Abschnitt U2 Rh-km 474,700 - 475,550 b) für Abschnitt U5 Rh-km 476,350 – 476,500.....	50
Abb. 29: Lage der Transekte in der Maßnahmenstrecke für die Substratbeprobung .....	52
Abb. 30: Prozentuale Verteilung der Korngrößenklassen auf Transekt 3 (Rh-km 474,200), Abstände in m vom Hektometerstein ausgehend * .....	53
Abb. 31: Prozentuale Verteilung der Korngrößenklassen auf Transekt 5 (Rh-km 474,400).....	53
Abb. 32: Prozentuale Verteilung der Korngrößenklassen auf Transekt 6 (Rh-km 474,600).....	54
Abb. 33: Prozentuale Verteilung der Korngrößenklassen auf Transekt 7 (Rh-km 474,800)*.....	54
Abb. 34: Prozentuale Verteilung der Korngrößenklassen auf Transekt 8 (Rh-km 474,900)*.....	54
Abb. 35: Prozentuale Verteilung der Korngrößenklassen auf Transekt 9 (Rh-km 475,300).....	55
Abb. 36: Prozentuale Verteilung der Korngrößenklassen auf Transekt 10 (Rh-km 475,400).....	55
Abb. 37: Prozentuale Verteilung der Korngrößenklassen auf Transekt 11 (Rh-km 475,500)*.....	55
Abb. 38: Prozentuale Verteilung der Korngrößenklassen auf Transekt 12 (Rh-km 475,800).....	56
Abb. 39: Prozentuale Verteilung der Korngrößenklassen auf Transekt 13 (Rh-km 476,000).....	56
Abb. 40: Prozentuale Verteilung der Korngrößenklassen auf Transekt 14 (Rh-km 476,500).....	56

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Bewertungsrahmen „Hydromorphologie“ für die Erfolgskontrollen im Modellprojekt „Uferrenaturierung Kühkopf-Knoblochsau“ (modifiziert nach Gerisch et al. 2017).....	11
Tab. 2: Erfassungs- und Auswertemethoden der hydromorphologischen Indikatoren im MP .....	15
Tab. 3: Flächensummen der Sohlstrukturen im DGM-W 2017 .....	19
Tab. 4: Flächenausdehnung und prozentuale Anteile der Sohlstrukturen (ufernah) in den Teilabschnitten U1 - U5 vor Maßnahmenumsetzung (2017) (Quelle: BfG_Lütz 2019).....	23
Tab. 5: Flächen der verschiedenen Neigungsklassen und die entsprechende prozentuale Verteilung dieser Flächen.....	31
Tab. 6: Bewertung des Indikators „Uferstruktur“ abschnittsweise nach Valmorph im Ist-Zustand (2017) mit einem Vergleichs-Zustand ohne Nutzungsprägung (Quelle: BfG-Bericht 1910, verändert BfG-M3).....	34
Tab. 7: Flächenausdehnung und prozentuale Anteile der Uferstrukturen in den Teilabschnitten U1-U5 vor Maßnahmenumsetzung (2017) (Quelle: BfG_Lütz 2021) .....	35
Tab. 8: Flächen der dominierenden Oberflächensubstrate der ufernahen Sohle .....	49
Tab. 9: Substrate und Verbau der Uferfläche zwischen MW-Linie und Böschungsoberkante .....	51
Tab. 10: Transekte zur Beprobung des Sohl- und Ufersubstrats .....	51

## Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
ArcGIS	Geographisches Informations-System der Firma Esri
BACI	Before-After-Control-Impact
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (veraltete Bezeichnung aus dem Jahr 2009 – heute: Bundesministerium für Um- welt, Naturschutz und nukleare Sicherheit)
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BOK	Böschungsoberkante
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
cm	Zentimeter
DBWK-2	Digitale Bundeswasserstraßenkarte im Maßstab 1:2000
DGM/DGM-W	Digitales Geländemodell
DIN	Deutsches Institut für Normung
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
et al.	und andere
etc.	et cetera
FFH	Flora-Fauna-Habitat – Zuordnung entsprechend der FFH-Richtlinie
FFH / VS-Gebiet	Flora-Fauna-Habitat / Vogelschutz - Gebiet
FLYS	Flusshydrologische Software der BfG
GDWS	Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt
ggf.	gegebenenfalls
GIS	Geografisches Informationssystem
GNSS	global Navigation satellite system
HMWB	heavily modified water body = erheblich veränderter Wasserkörper
HQ1	1 - jährliches Hochwasser / Abfluss
HQ5	5 - jährliches Hochwasser / Abfluss
HQ2	2 - jährliches Hochwasser / Abfluss
HQ10	10 - jährliches Hochwasser / Abfluss
HQ50	50 - jährliches Hochwasser / Abfluss
i. d. R.	in der Regel
km	Kilometer
LAWA	Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
LRT	Lebensraumtyp
M3	Referat Gewässermorphologie, Sedimentdynamik und –management der BfG
M5	Referat Geoinformation und Fernerkundung, GRDC, der BfG, ehemals M4
m	Meter
mm	Millimeter
MaP	Maßnahmenplan
MHW	Mittlerer Hochwasser Wasserstand
MNW	Mittlerer Niedrigwasser Wasserstand
MQ	Mittlerer Abfluss
MW	Mittelwasser Wasserstand
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
m <sup>3</sup> /s	Volumenstrom (Abfluss)
n	Anzahl

NSG	Naturschutzgebiet
NW	Niedrigwasser
Q	Abfluss [m <sup>3</sup> /s]
Rh-km	Rhein-Kilometer
RP	Regierungspräsidium
s	Sekunde
t	Zeit
T2	Transekt 2 (weitere Transekte entsprechend)
u. a.	unter anderem
UAV	unmanned aerial vehicle; Drohne
UBA	Umweltbundesamt
U1	Untersuchungsabschnitt 1 (weitere Abschnitte entsprechend)
vgl.	vergleiche
W	Wasserstand
WISKI	Datenbank gestützte hydrologische Software mit Zeitreihen-management
WMS	Web-Map-Service
WSA	Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt
WSV	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil
Z1	Bewertungsziel 1 (weitere Ziele entsprechend)