

Ökologische Aufwertung der mittleren Mulde

Ökologische Aufwertung der Mulde bei Gruna (Laußig) durch die planerische
Konzeptumsetzung des Freien Pendelraumes



ABSCHLUSSBERICHT

gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU)
unter dem Az: 35456/01-33/2

bearbeitet am Aueninstitut
des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

November 2021

Kurztitel	Ökologische Aufwertung der Mittleren Mulde
Langtitel	Ökologische Aufwertung der Muldenaue bei Gruna (Laußig) durch die planerische Konzeptumsetzung des Freien Pendelraums
Projektlaufzeit	01.05.2020 - 31.08.2021
Projektleitung	Gregory Egger
Projektbearbeitung	Isabell Becker Lars Gerstner Erika Schneider Gregory Egger
Fachliche Projektbegleitung	Christian Damm Emil Dister
Auftragnehmer	Abteilung Aueninstitut Institut für Geographie und Geoökologie (IfGG), Karlsruher Institut für Technologie (KIT) E-Mail: isabell.becker@kit.edu

Inhalt

Zusammenfassung und Fazit	3
1. Einführung und Zielsetzung des Projekts	6
2. Methodik	7
2.1. Projektbearbeitung und ergänzende Arbeiten	7
2.2. Untersuchungsgebiet	7
2.2.1. Geographische Lage	7
2.2.2. Klima	9
2.2.3. Geologie und Böden.....	9
2.2.4. Hydrologie	10
2.2.5. Flussmorphologie und Verbauungsgeschichte	11
2.2.6. Potenzielle und aktuelle Vegetation.....	12
2.3. Weitere Projekte an der Mulde	12
2.3.1. Das ‚Wilde Mulde‘-Projekt	12
2.3.2. Die ‚Lebendige Mulde‘-Projektidee	15
2.3.3. Weitere Renaturierungsprojekte im Naturraum.....	17
2.4. Berechnung des ‚Freien Pendelraumes‘	17
Schritt 1: Abgrenzen eines homogenen Flussabschnitts.....	18
Schritt 2: Gewässertyp bestimmen	19
Schritt 3: Berechnungsmöglichkeiten des Freien Pendelraums nach verschiedenen Konzepten	19
2.4.1. Ähnliche Konzepte im englisch- und französischsprachigen Raum	21
2.5. Geländeaufnahmen	25
2.5.1. Vegetation	25
2.5.2. Transektvermessung.....	25
2.6. Entwicklung möglicher Maßnahmen zur Verbesserung der Ökologie und des Hochwasserschutzes	26
2.6.1. Szenarienentwicklung für Deichrückverlegungen	26
2.6.2. Auwaldentwicklung.....	27
2.6.3. Vorlandrinnen.....	28
2.7. Hydraulische Modellierung mit HEC-RAS	28
2.8. River Ecosystem Service Index (RESI)	29
2.8.1. Hochwasserregulation	30
2.8.2. Sedimentregulation	31
2.8.3. Habitatbereitstellung.....	31
3. Ergebnisse	32

3.1. Freier Pendelraum an der Mulde im Projektgebiet	32
Schritt 1: Flussabschnitt wählen	33
Schritt 2: Gewässertyp bestimmen	33
Schritt 3: Freien Pendelraum bestimmen.....	33
3.2. Aktuelle Vegetation	35
3.2.1. Kiesbank (Plot 1) und Sandflächen bei Laußig	36
3.2.2. Waldbestände im Projektgebiet (Plots 4, 5, 6, 8)	39
3.2.3. Kiesbänke im Projektgebiet (Plots 2, 3, 7, 9, 10)	45
3.3. Maßnahmenmöglichkeiten für Verbesserungen des Hochwasserschutzes und der Ökologie	48
3.3.1. Szenarien für Deichrückverlegungen.....	48
3.3.2. Auwaldentwicklung im Projektgebiet	51
3.3.3. Kostenschätzung der Maßnahmenvarianten	57
3.3.4. Risikoabschätzung	59
3.3.5. Vorlandrinnenanbindung	60
3.4. Stakeholder	62
3.5. Ergebnisse der hydraulischen Modellierung mit HEC-RAS	62
3.5.1. Szenario 1	64
3.5.2. Szenario 2	65
3.5.3. Szenario 3	66
3.6. River Ecosystem Service Index (RESI)	67
3.6.1. Hochwasserregulation.....	68
3.6.2. Sedimentregulation	69
3.6.3. Habitatbereitstellung.....	70
3.7. Handlungsempfehlung für Behörden (Leitfaden)	75
3.8. Öffentlichkeitsarbeit	76
Abbildungsverzeichnis	77
Tabellenverzeichnis	78
Literaturverzeichnis	80
Anhang	87
A1: Handlungsleitfaden	87

Zusammenfassung und Fazit

Das grundlegende Ziel des Freien Pendelraum-Konzepts ist es, die eigendynamische Entwicklung von Fließgewässern zu ermöglichen und dadurch den ökologischen Zustand von Fließgewässern in Deutschland zu verbessern. Durch die Erweiterung des Raumes für den Fluss ergeben sich auch vergrößerte Retentionsflächen und damit eine Verbesserung des Hochwasserschutzes. Die Kombination von ökologischer Aufwertung und verbessertem Hochwasserschutz an einem Flussabschnitt der Mittleren Mulde war die Motivation für das Projekt ‚Ökologische Aufwertung der Mulde bei Gruna (Laußig) durch die planerische Konzeptumsetzung des Freien Pendelraums‘, welches von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) unter dem Aktenzeichen 35456/01-33/2 gefördert wurde.

Die Projektbearbeitung wurde durch das Aueninstitut des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) zwischen Mai 2020 und August 2021 durchgeführt. Projektbegleitend wurde eine studentische Abschlussarbeit am Aueninstitut über hydraulische Modellierungen im Projektgebiet gemeinsam mit der Hochschule Karlsruhe betreut.

Das Konzept des Freien Pendelraums wurde im Rahmen eines vorhergehenden, von der DBU geförderten Projekts (Aktenzeichen 32894/01) ‚Freier Pendelraum für Fließgewässer – Methoden zur Anwendung des Konzeptes an Beispielen in Deutschland‘ von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt am Aueninstitut zwischen 2017 und 2020 bearbeitet (Egger et al. 2020). Dabei wurde ausgehend von dem in den 1990er Jahren in Frankreich entwickelten Konzept Espace de Liberté („Freiheitsraum des Flusses“, Malavoi et al. 1998) an drei Beispielfläüssen in Deutschland (Ammer, Blies und Mulde) mehrere Konzepte zur Berechnung eines Freien Pendelraums angewendet. Durch den Freien Pendelraum wird Fließgewässern ein definierter Korridor zur Verfügung gestellt, in dem eine eigendynamische Gewässerentwicklung ermöglicht wird. Dieser Pendelraum liegt innerhalb der morphologischen Aue und wird auf Grundlage des Gewässertyps bestimmt. Sicherungen des Flusslaufs sollten nur am Rand des Korridors bestehen, innerhalb dessen sich der Fluss frei bewegen kann. Damit können sich einerseits die charakteristischen Habitate mit der entsprechenden Flora und Fauna des jeweiligen Flusstyps ausbilden und andererseits kann dadurch eine Minimierung des Gewässerunterhaltungsaufwandes erzielt werden.

Häufig verhindern Restriktionen durch gewässernahe Ortschaften oder andere Infrastrukturfächen die Umsetzung von Renaturierungsmaßnahmen an Gewässern. Flussnahe Ortschaften und gewässernahe Deiche bestehen auch im Projektgebiet an der Mittleren Mulde zwischen Gruna und Pristäblich. Damit ist auch häufig eine erhöhte Hochwassergefährdung gegeben. Gleichzeitig wird die Altaue in diesem Bereich vorwiegend ackerbaulich genutzt. Im Projekt wurden daher Maßnahmen zur ökologischen Aufwertung entwickelt, die gleichzeitig auch dem Hochwasserschutz dienen. Als Ergebnisse werden Varianten möglicher Renaturierungsmaßnahmen zur ökologischen Aufwertung erstellt. Diese orientieren sich am Konzept des Freien Pendelraums und umfassen verschiedene Verlaufsvarianten der Deiche als auch weitere optionale Zusatzmaßnahmen wie Anbindung von Vorlandrinnen und Auwaldpflanzung.

Für die Mulde wurde im Projektgebiet der Freie Pendelraum nach zwei Methoden berechnet und kartographisch dargestellt. Nach der ersten Methode des Umweltbundesamts (Dahm et al. 2014) betragen der minimale und der maximale Entwicklungskorridor 423 m bzw. 1.410 m

als Mindestgröße für eine charakteristische Entwicklung des Flusstyps. Die Methode der LAWA ergab einen Gewässerentwicklungskorridor von 725 m (LAWA 2016).

Um einen Freien Pendelraum im Projektgebiet zu ermöglichen, wurden drei Szenarien für Deichrückverlegungen entwickelt. Diese bringen eine Vergrößerung der rezenten Aue und damit der Retentionsflächen im Hochwasserfall von 157 ha (Szenario 1), 355 ha (Szenario 2) oder 526 ha (Szenario 3). Für ökologische Aufwertungen wurden geeignete Flächen für die Auwaldentwicklung durch Anpflanzung oder als Entwicklungsflächen durch Sukzession ausgewiesen. Die Flächengrößen wurden in zwei Varianten mit jeweils entweder 15% oder 20% der Fläche der rezenten Aue festgelegt. Diese zusätzlichen Waldflächen haben je nach Szenario eine Größe von 47 bis 150 ha. Abhängig von den Standortgegebenheiten wurden Weichholz-, Hartholz- und Kiefernwälder angenommen.

Durch die Deichrückverlegung gelangen ehemalige Rinnen und Totarme wieder in die rezente Aue. Dies bietet die Möglichkeit, Rinnen gezielt wieder an die Überflutungsdynamik der Mulde anzubinden, worauf für drei Gebiete im Projektgebiet besonders hingewiesen wird.

Für die Deichrückverlegungsszenarien wurden Kostenschätzungen für Deichabtrag und –neubau sowie die Auwaldpflanzung erstellt. Die Kosten belaufen sich je nach Szenario zwischen 3,94 Mio. € und 13,45 Mio. € und dienen der Abschätzung der Realisierbarkeit. Sie stellen jedoch keine detaillierte Kostenplanung dar.

Mit der Software HEC-RAS wurde eine stationäre hydraulische 1D-Modellierung für die drei Deichrückverlegungsszenarien erstellt, um die Absenkung der Wasserspiegellagen im Hochwasserfall abzubilden. Im Mittel liegen die errechneten Wasserspiegellagen für das Szenario 1 im Bereich der Deichrückverlegung bereits um etwa 20 cm unter denen des Status quo. Die Absenkungen der Szenarien 2 und 3 für die Abflussereignisse MHQ, HQ25, HQ50, HQ100 und HHQ liegen im Mittel zwischen 41 cm und 87 cm.

Um die erwarteten Veränderungen durch die Maßnahmen abzubilden, wurde der River Ecosystem Service Index (RESI) für die drei Ökosystemleistungen Hochwasserregulation, Sedimentregulation und Habitatbereitstellung im aktuellen Zustand und den drei Szenarien berechnet. Der RESI ist ein Instrument zur Darstellung angenommener zukünftiger Veränderungen durch Renaturierungsmaßnahmen, wodurch verschiedene Maßnahmenvarianten anhand ihrer erwarteten Entwicklungen verglichen werden können. Wie bereits durch die HEC-RAS-Modellierung gezeigt wurde, bildet auch die RESI-Berechnung der Hochwasserregulation nach Vergrößerung der rezenten Aue eine deutliche Verbesserung ab. Auch die Sedimentregulation verbessert sich in den Szenarien, auch wenn einige flussnahe Deiche und Ufersicherungen in ortsnahen Bereichen vorhanden bleiben, wodurch sich für diese Bereiche mittlere Bewertungen ergeben. Für die Einschätzung der Habitatbereitstellung wurde eine konsequente Umwandlung von allen Acker- in Grünlandflächen angenommen, die in den Szenarien in der rezenten Aue liegen. Hinzu kommen die Auwaldentwicklungsflächen, welche einen gefährdeten Biotoptyp darstellen und in der RESI-Kategorisierung sehr hohe Bewertungen erzielen.

Die Bearbeitungen haben zum einen für das Projektgebiet ein hohes Potenzial zur Umsetzung von Maßnahmen im Sinne des Freien Pendelraums verdeutlicht. Die siedlungsarmen Bereiche bieten die Möglichkeit für Deichrückverlegungen, die mit einer Extensivierung der

landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen kombiniert werden sollten. Hinzu kommen die weiteren ökologischen Aufwertungsmöglichkeiten durch Auwaldentwicklung.

Zum anderen zeigte die Projektbearbeitung den methodischen Gewinn der Kombination aus Konzeption der Maßnahmen mit hydraulischer Modellierung, deren Ergebnisse auch mit dem RESI verglichen werden können. Dadurch können die Überlegungen nachvollziehbar aufbereitet und für eine Kommunikation mit Behörden und Stakeholdern genutzt werden.

1. Einführung und Zielsetzung des Projekts

Naturnahe Flüsse und Auen sind wertvolle Landschaftselemente, die zum einen wichtige ökologische Funktionen erfüllen aber auch für das menschliche Wohl von großer Bedeutung sind (Ward et al. 1999, Scholz et al. 2012, Schneider et al. 2018). Aufgrund ihrer strukturellen Vielfalt, ihrer besonderen hydrologischen Bedingungen und ihrer hohen Produktivität erbringen sie eine Vielzahl von Ökosystemleistungen, wie die Bereitstellung von Nahrung, Wasser, Brenn- und Baustoffen, die Regulierung von Hochwasser, Dürre, Schadstoffen, die Bereitstellung von Kulturgütern und Erholung sowie Grundfunktionen der Bodenbildung und die Bereitstellung von Lebensraum mit hoher biologischer Vielfalt (Costanza et al. 1997, Tockner & Stanford 2002, MA 2005, Feld et al. 2011).

Trotz dieser zahlreichen Funktionen ist der Zustand der Flussauen in Mitteleuropa weiterhin schlecht. So weisen 62% der europäischen Flüsse einen mäßigen bis schlechten ökologischen Zustand auf (Grizzetti et al. 2017). In Deutschland zeigt auch der aktualisierte Auenzustandsbericht, der zu Beginn dieses Jahres veröffentlicht wurde, dass sich die Zustände der Flussauen kaum verbessert haben (BMU & BfN 2021). Nur 9% der deutschen Flüsse werden dort als naturnah eingestuft.

Die Einschränkungen der Hydromorphologie stellen in Deutschland einen der wesentlichsten begrenzenden Faktoren für das Funktionieren der Ökosysteme von Flüssen und Auen dar. Durch Fluss- und Uferverbau erreichen viele Fließgewässer nicht den angestrebten guten ökologischen Zustand der EU-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG). Daher ist die Förderung der eigendynamischen Gewässerentwicklung eine wertvolle Komponente der nachhaltigen ökologischen Verbesserung (Malavoi & Souchon 1996). Durch den prozessorientierten Schutz der Fließgewässer, bei dem die Eigendynamik zugelassen oder im Einzelfall initiiert wird, erschafft sich der Fluss die flusstypspezifischen Habitate und damit auch die Grundlage für eine Ausstattung mit den leitbildkonformen Pflanzen- und Tierarten möglichst selbst. Dafür müssen dem Gewässer Raum und Zeit zur Verfügung gestellt werden. Aufgrund des hohen Flächennutzungsdrucks wird die morphologische Aue jedoch in vielen Fällen von Siedlungs- und Infrastrukturfleichen eingenommen oder steht aufgrund der fruchtbaren Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung (Brunotte et al. 2009).

Durch die Ausweisung von Gewässerentwicklungsflächen, bei denen Flächen wieder in die Hydro- und Morphodynamik des Flusses eingebunden werden und dadurch Raum für eine ökologische Aufwertung zur Verfügung gestellt wird, verbessert sich dort auch eine Vielzahl weiterer typischer Ökosystemdienstleistungen von Flussauen. Darunter fallen fast immer positive Effekte für den lokalen Hochwasserschutz und den Sedimenthaushalt.

Um den Mindestbedarf der Fläche für die Entwicklung der Fließgewässer- und Auen-typischen Habitate zu bestimmen („Freier Pendelraum“), wurden am Aueninstitut Rastatt (KIT) im Rahmen des von 2017 bis 2021 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Projekts „Freier Pendelraum für Fließgewässer in Deutschland“ (DBU-Aktenzeichen: 32894/01) verschiedene Konzepte beispielhaft an drei Flüssen unterschiedlicher Flusstypen (Ammer, Blies, Mulde) in Deutschland angewendet und überarbeitet (Egger et al. 2020). Die Ergebnisse werden auch in der internationalen Zeitschrift *International Review of Hydrobiology* publiziert (Becker et al., eingereicht).

An der Mittleren Mulde (Sachsen) haben sich im Zuge der Bearbeitungen Möglichkeiten für eine planerische Umsetzung des ‚Freien Pendelraum‘-Konzepts aufgetan. Im Bereich zwischen den Ortschaften Gruna (Laußig) und Pristäblich, wo flussnahe Deiche die rezente Aue der Mulde stark einschränken, treffen Vorgaben der Behörden mit der Hochwasserschutzproblematik der flussnahen Ortschaften sowie Anliegen der Landwirte aufeinander. In der Altaue wird eine intensive Ackernutzung betrieben, gleichzeitig besteht ein ökologisches Aufwertungspotential wie beispielsweise zur Entwicklung strukturreicher Auwälder (Stegner 2011).

Ziel des beantragten Projektes ist die planerische ökologische Aufwertung der Mulde in diesem Gebiet durch die Erweiterung der rezenten Aue im Sinne des Freien Pendelraums, in der eine eigendynamische Entwicklung des Gewässers mit den flusstypspezifischen Prozessen ermöglicht werden soll. Diese bieten zum einen größere Retentionsräume für einen verbesserten Hochwasserschutz als auch Möglichkeiten zur ökologischen Aufwertung durch eine Redynamisierung und Auwaldentwicklung.

2. Methodik

2.1. Projektbearbeitung und ergänzende Arbeiten

Die Projektbearbeitung wurde am Aueninstitut, Abteilung des Instituts für Geographie und Geoökologie (IfGG) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) zwischen Mai 2020 und August 2021 durchgeführt. Projektbegleitend wurde eine Bachelorarbeit zur Berechnung der hydraulischen 1D-Modellierung mit der Software HEC-RAS durchgeführt (Stuber 2020). Wesentliche Aspekte dieser Arbeit gingen in die Projektbearbeitung ein und werden auch in diesen Projektbericht aufgenommen. Die Bachelorarbeit wird zudem der digitalen Berichtsabgabe beigelegt.

2.2. Untersuchungsgebiet

Teile der Beschreibung des Untersuchungsgebiets wurden aus dem Abschlussberichts des vorangegangenen Projekts ‚Freier Pendelraum für Fließgewässer in Deutschland‘ (DBU-Aktenzeichen 32894/01) übernommen, aktualisiert und an das verkleinerte Projektgebiet dieses Projekts angepasst (Egger et al. 2020).

2.2.1. Geographische Lage

Die beiden Quellflüsse der Mulde vereinen sich südöstlich von Leipzig, bei Sermuth (Sachsen), zur Vereinigten Mulde. Diese mündet nach etwa 143 km bei Dessau-Roßlau in die Elbe. An der Mündung führt die Vereinigte Mulde im Mittel 73 m³/s und ist damit der viertgrößte Nebenfluss der Elbe. Das Einzugsgebiet umfasst große Teile Sachsens und des Erzgebirges und hat eine Größe von 7.400 km² (Küster 2007).

Die Mulde ist ein Fluss des Norddeutschen Tieflands in der planaren Höhenstufe und durchquert in ihrem Verlauf mehrere Naturräume. Die Vereinigte Mulde durchfließt zunächst das Nordsächsische Platten- und Hügelland und fließt ab Eilenburg im Projektgebiet in der Düben-Dahlener Heide (Haase 1995). Diese umfasst flachwellige Platten-, Rücken- und Hügelländer mit Moränenplatten (SLULG o.J.).

Der hier betrachtete Untersuchungsraum liegt zwischen Eilenburg und Bad Düben. Er beginnt flussauf der Fähre Gruna (Laußig) und reicht bis flussab von Pristäblich (Abbildung 1). In

diesem Abschnitt gehört die Mulde nach Koenzen (2005) zu den gefällereicheren Flussauen des Flach- und Hügellandes mit Winterhochwassern mit einem pluvialen Abflussregime und einem gewundenen bis stark mäandrierenden Flusslauf.

Die Mulde und ihre Auen sind in diesem Bereich zum Teil sehr naturnah und u. a. als Landschafts-, Naturschutz- und FFH-Gebiet ausgewiesen. Jedoch bestehen abschnittsweise auch flussnahe Deiche, die eine vielfältige Uferstrukturierung verhindern, die Vernetzung zwischen Fluss und Aue einschränken und die Überschwemmung von Auwäldern, Grünland und Ackerflächen im Hochwasserfall reduzieren. Dies ist zwischen den Ortschaften Hohenprießnitz (Zschepplin), Gruna (Laußig) und Laußig der Fall sowie linksufrig bei Glaucha (Abbildung 1).

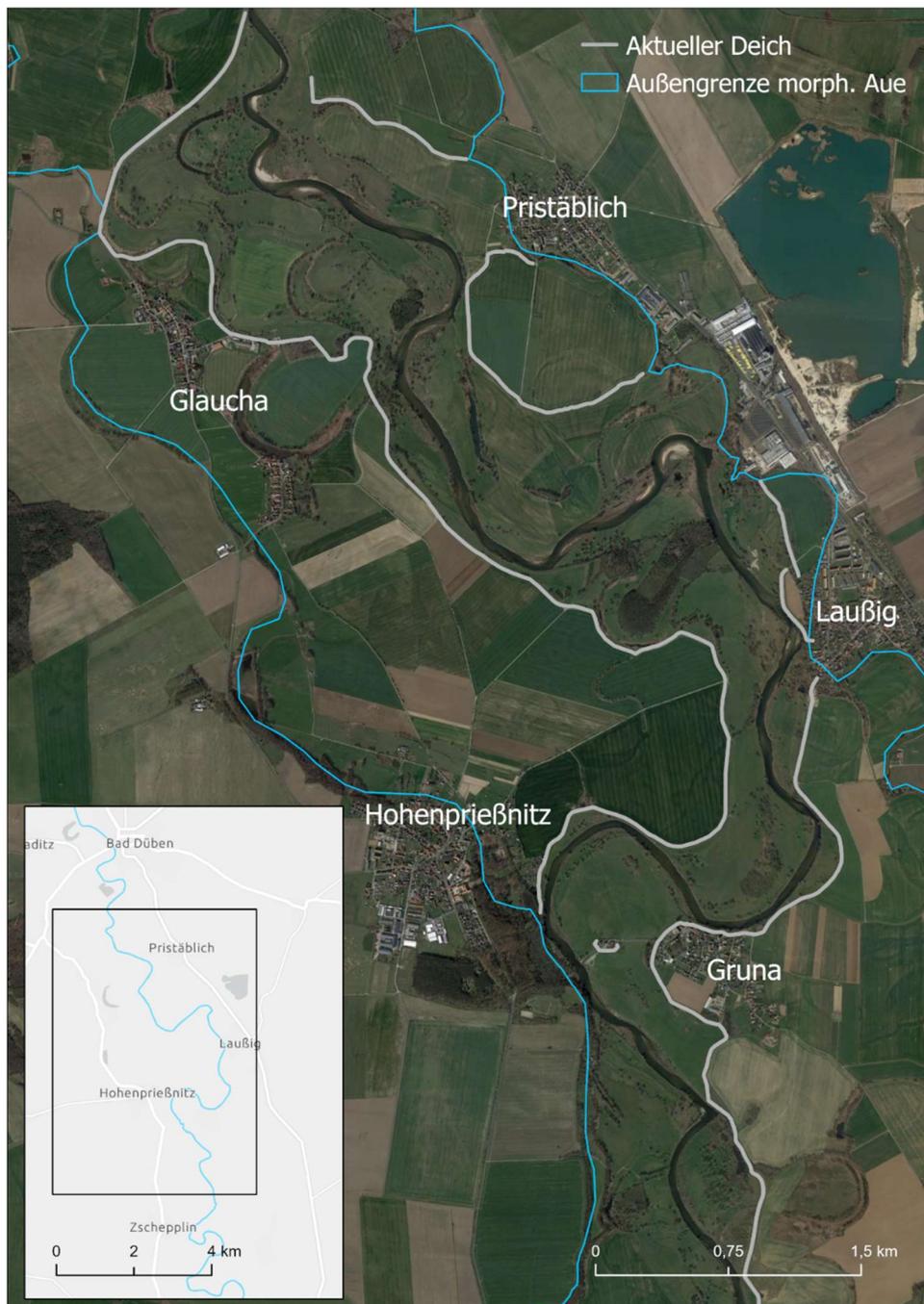


Abbildung 1: Projektgebiet an der Vereinigte Mulde zwischen Eilenburg und Bad Dübener Heide mit dem aktuellen Deichverlauf über Gruna bis nach Glaucha und Pristäblich.

Durch die flussnahe Lage der Ortschaft Gruna, die begrenzten Ausuferungsmöglichkeiten durch flussnahe Deiche sowie durch den Flussverlauf, der sich hier in einer Schlaufe zunächst nach Süden bewegt, bevor der Fluss wieder nach Norden verläuft, besteht für Gruna eine erhöhte Hochwassergefahr. So kam es bei dem großen Hochwasserereignis im Juni 2013 zu Deichbrüchen am Siel Gruna und weiteren Sielen der Umgebung (SLULG 2015).

2.2.2. Klima

Das Klima im Projektgebiet zählt nach der Klassifikation von Köppen und Geiger zu den Cfb-Klimaten, einem feuchtgemäßigten Klima mit warmem Sommer. Die Durchschnittstemperatur beträgt 10,4° C, die maximale durchschnittliche monatliche Temperatur 19,9° C im Juli und die minimale durchschnittliche monatliche Temperatur 1,1° C im Januar. Es gibt eine Temperaturamplitude im Jahr von 18,8 K (Climate-Data Bad Düben 2020, Abbildung 2). Die Gesamtniederschlagssumme im Jahr beträgt etwa 669 mm. Der trockenste Monat ist der Februar mit einer monatlichen Niederschlagsmenge von 40 mm. Die mit 75 mm höchste monatliche Niederschlagsmenge fällt im Juni. Die monatlichen Regentage belaufen sich auf im Durchschnitt 8 pro Monat (Climate-Data Bad Düben 2020).

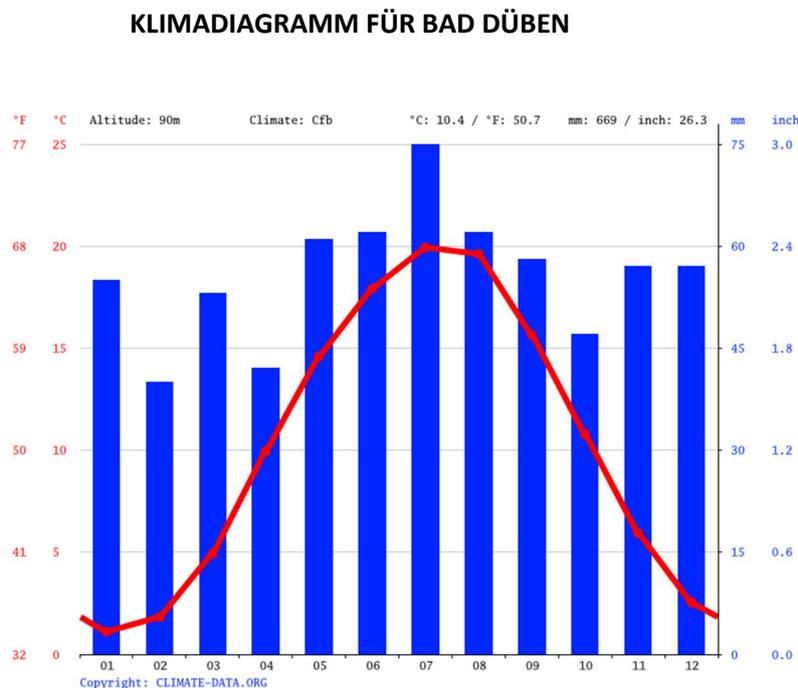


Abbildung 2: Klimadiagramm für Bad Düben nördlich des Projektgebiets (Climate-Data Bad Düben 2020).

2.2.3. Geologie und Böden

Die Ausformung des Naturraums erfolgte im Wesentlichen in Pleistozän und Holozän. Das Muldetal durchbricht bei Eilenburg die pleistozänen Platten der Düben-Dahlener Heide. Die rezente Mulde ist dort von Talterrassen und Hochufern geprägt, die im Projektgebiet am Auerand einen mehrere Meter großen Höhenunterschied ausmachen. Auf der Ostseite ist dies eine rund 4-5 m hohe Weichsel-kaltzeitliche Niederterrasse, westlich der Mulde liegt eine bis zu 20 m höhere Hochfläche aus der Elster- und Saale-Kaltzeit (Stegner 2011). Die Mulde schneidet sich in ihrem Verlauf in die eiszeitlichen Ablagerungen ein, die bei Bad Düben sandig sind, während im südwestlichen Teil mehrere Meter mächtige Geschiebelehmdecken liegen (Stegner 2011). Die Mulde ist von einer bis zu 1,5 m mächtigen Auelehmdecke bedeckt auf denen sich vorwiegend Deckauenlehmsand, Auenlehm-Vega, Auensand- und

Deckauenlehmsand-Vega mit Sand-Gley, Auenlehm-Vegagley und Auenlehm-Gley ausbilden. In feuchten Bereichen, v. a. mit Hangwassereinfluss, entstehen Torfe (z. B. im Grunabruch, Stegner 2011). Innerhalb des Projektgebiets ist die ackerbauliche Nutzung in den Auenbereichen gegenüber der Grünlandnutzung von übergeordneter Bedeutung. So wird die Hälfte der morphologischen Aue von Ackerfläche eingenommen, Grünland bedeckt etwa ein Drittel des Projektgebiets (Tabelle 1).

Tabelle 1: Landnutzung LN7 im Projektgebiet (nach Landbedeckungsmodell LBM-DE 2018).

Nutzung	Fläche (ha)	Anteil am Projektgebiet (%)
Acker	699,44	50,1
Feuchtgebiete	2,39	0,2
Gewässer	72,25	5,2
Grünland	476,63	34,1
Siedlung	53,38	3,8
Wald	91,27	6,5
Sonstige	0,61	0,0
Gesamt	1395,97	100,0

2.2.4. Hydrologie

Die Vereinigte Mulde hat im Projektgebiet ein Gefälle von 0,045 % (eigene Vermessungsdaten 2020) und eine mittlere Fließgeschwindigkeit von 0,6 m/s (Stegner 2011). Die Messstation Bad Düben 1 / Vereinigte Mulde liegt bei Flusskilometer 68,1 auf 81,42 m über Bezugshorizont. Dort hat die Mulde eine Einzugsgebietsgröße von 6.162 km² (SLULG 2016) und einen jährlichen Mittelwasserabfluss von 62,5 m³/s. Der mittlere Jahresabfluss ist im Winter mit 81,3 m³/s aufgrund der im Erzgebirge entspringenden Quellflüssen deutlich höher (SLULG 2018, Tabelle 2).

Tabelle 2: Wasserstand und Durchfluss an der Mulde am Pegel Bad Düben 1 (SLULG 2018).

Hydrologische Hauptwerte	Wasserstand W (cm)	Durchfluss Q Jahr (m ³ /s)	Durchfluss Q Winter (m ³ /s)	Durchfluss Q Sommer (m ³ /s)
Niedrigstes Niedrigwasser (NNQ) (02.09.76)		5,4	7,6	5,4
Mittleres Niedrigwasser (MNW, MNQ)	157	15,2	22,8	16,6
Mittelwasser (MW, MQ)	216	62,5	81,3	45,7
Mittleres Hochwasser (MHW, MHQ)	502	479	370	303
Höchstes Hochwasser (HHW, HHQ) (14.08.2002)	866	2200	1500	2200

Beim Jahrhundert-Hochwasser 2002 führte die Vereinigte Mulde am 14.08. bei einem Pegelstand von 8,52m einen Abfluss von 2200m³/s, einschließlich Deichhinterlandabfluss (SLULG 2013). Lediglich das Hochwasser am 04.06.2013 erreichte einen höheren Wasserstand mit 8,66m, jedoch mit geringerem Durchfluss (SLULG 2015, Tabelle 3). Beim bisher niedrigsten Niedrigwasser-Ereignis am 02.09.1976 betrug der Abfluss nur 5,4 m³/s.

Tabelle 3: Höchste Wasserstände am Pegel Bad Dübén 1 / Vereinigte Mulde (SLULG 2018).

Datum	Wasserstand W (cm)	Durchfluss Q (m ³ /s)
04.06.2013	866	1.770
14.08.2002	852	2.200

Die Mulde hat eine hohe natürliche Fließdynamik, die zur Ausbildung von zahlreichen Altwasserarme, Stillgewässer, Tümpel, Inseln, Sandbänke und weiteren Sedimentablagerungen führt (Stegner 2011). Da die Mulde im Projektgebiet nicht aufgestaut oder ausgeleitet wird, ist ihre Hydrodynamik noch vorhanden und die Möglichkeiten für eine eigendynamische Entwicklung gegeben.

2.2.5. Flussmorphologie und Verbauungsgeschichte

Im Projektgebiet gibt es keine Querverbauungen, die Ufer sind zum Teil befestigt bspw. ist der Deichfuß bei gewässernahem Verlauf mit Steinschüttungen befestigt. Durch die hohe Hydrodynamik gibt es umfangreiche Erosions- und Sedimentationsprozesse und eine hohe Strukturvielfalt in Gewässernähe (Stegner 2011, Fleischhacker 2021). Typische Strukturen sind Sandbänke im Flusslauf, Ufersandbänke am Gleithang der Mäanderbögen sowie abgeschnittene Mäanderbögen mit Altwässern. Besonders hervorzuheben ist der im Zentrum des Projektgebiets, nordwestlich von Laußig liegende Mäanderbogen, der sich im Laufe der letzten Jahre als ein prägnanter Prallhang mit Abbruchkante ausgebildet hat (Stegner 2015, Fleischhacker 2021). Der Verlauf der Mulde, von Südosten kommend, weist an dieser Stelle einen scharfen Knick nach Südwesten auf. Dadurch entstehen am Prallhangbereich hohe Erosionsraten und am Gleithang kommt es zu großflächiger Sedimentation von Kies und Sand (Abbildung 3, Stegner 2015, Fleischhacker 2021).



Abbildung 3: Prallhang mit kontinuierlicher Verlagerung des Flusslaufs durch Seitenerosion (Foto: I. Becker).

Jedoch gibt es auch in einigen Bereichen im Projektgebiet Deiche, die die laterale Verlagerungsdynamik einschränken. Zwischen Hohenprießnitz bis an Gruna vorbei verlaufen die Deiche direkt entlang des Gewässers. Insbesondere bei der Ortschaft Gruna gibt es kaum Ausuferungsmöglichkeiten im Hochwasserfall und es entsteht eine erhöhte Schadensgefahr. So waren Gruna und weitere Ortschaften der Region stark durch die Hochwasser von 2002 und 2013 betroffen. Eine Erweiterung der unbedenklichen Überschwemmungsflächen ist auch in Hinblick auf die wahrscheinliche Erhöhung solcher Ereignisse durch den Klimawandel unabdingbar. 2018 wurde zum Schutz von Laußig unterhalb der Ortschaft eine Spundwand entlang des Deichs gebaut.

2.2.6. Potenzielle und aktuelle Vegetation

Die potenzielle natürliche Vegetation (PNV) der Vereinigten Mulde sind Wälder der Flussauen, vor allem Eichen-Ulmen-Wälder und Zittergrasseggen-Hainbuchen-Stieleichenwälder. An wasserzügigen Altwässern bilden Traubenkirschen-Erlen-Eschensäume und Großseggen-Erlenbruchwälder die PNV und an flussnahen, dynamischen Standorten sind auch vegetationsarme Sand- und Kiesbänke gewässertypisch (Stegner 2011). Im Projektgebiet liegen in der Altaue an den Deich angrenzend Ackerflächen mit Raps und Weizen, vereinzelt auch mit Mais, Gerste und Gemüse. Die größten Landwirtschaftsflächen zwischen Gruna und Pristäblich werden im jährlichen Wechsel mit Raps und Weizen bewirtschaftet (OneSoil 2018). Die rezente Aue ist größtenteils in Grünlandnutzung. Vereinzelt befinden sich jedoch die Landwirtschaftsflächen direkt am Fluss. Dies ist oberhalb Grunas, unterhalb Laußigs und östlich von Oberglauchta der Fall. Laut Schutzgebietsverordnung des Naturschutzgebietes „Vereinigte Mulde-Eilenburg-Bad-Düben“, in dem sich das Projektgebiet befindet, ist die Nutzung von Pflanzenschutzmittel und Düngung mit einer Benachrichtigung der unteren Naturschutzbehörde verbunden. Diese muss im Voraus stattfinden, da sich die Behörde bei einer nicht Zulässigkeit, innerhalb von 6 Wochen melden muss und die Nutzung untersagt. Generelle Verbote gibt es allerdings nicht (Sächsische Staatskanzlei 2007).

Im Projektgebiet kommen kaum geschlossene Waldbestände vor und es dominieren Vegetationstypen des Offenlandes, darunter Grünland und Flachland-Mähwiesen. Gehölze kommen vorwiegend entlang von ehemaligen Mäanderbögen und weiteren Auegewässern vor. Gehölzarten der Weichholzaue, insbesondere Weidenbestände aus *Salix alba*, *S. purpurea* und *S. triandra*, bilden meist nur Säume im Mittelwasserbereich (Rösch 2018). In Bezug auf Renaturierungsmaßnahmen wird eine hohe Wiederbesiedlungswahrscheinlichkeit mit flusstypspezifischen Arten angenommen, da im Nahbereich des Projektgebiets umfangreiche naturnahe und dynamische Abschnitte mit charakteristischen Arten vorhanden sind.

2.3. Weitere Projekte an der Mulde

An der Mulde im Umfeld des Projektgebiets wurden in der jüngeren Vergangenheit verschiedene Renaturierungsprojekte geplant oder bereits durchgeführt.

2.3.1. Das ‚Wilde Mulde‘-Projekt

Flussab des Projektgebiets in Sachsen-Anhalt im Landkreis Anhalt-Bitterfeld zwischen der Mündung bei Dessau-Roßlau flussaufwärts bis Retzau wurde kürzlich das Projekt „Wilde Mulde - Revitalisierung einer Wildflusslandschaft in Mitteldeutschland“ abgeschlossen. Das Projekt wurde vom WWF Deutschland (Verbundkoordination, Umsetzungspartner), Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) (Forschungspartner), Technische Universität

Braunschweig (Forschungspartner), Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (Forschungspartner), Universität Leipzig (Forschungspartner), Leibniz-Universität Hannover (Forschungspartner) im Zeitraum vom Dezember 2015 bis November 2020 umgesetzt (Forschung zur Umsetzung der nationalen BiodiversitätsStrategie o.J.).

Das Untersuchungsgebiet wurde ausgewählt, da es in diesem Flussabschnitt teilweise noch unverbaute Ufer gibt, welche dynamische Prozesse und einen Austausch mit den naturnahen Auenbereichen ermöglichen. Dies sollte durch Maßnahmen verbessert und großflächiger ermöglicht werden (WWF 2016).

Durch die Revitalisierung des Flusses sollten Naturufer wiederhergestellt und Seitenarme wieder angebunden werden sowie eine initiale Entwicklung von Hartholzwäldern ermöglicht werden. Die Wiederanbindung des Flusses an die angrenzende Aue wurde damit gefördert (Helmholz Zentrum für Umweltforschung 2018).

Die Arbeit vor Ort wurde von verschiedenen Forschungsarbeiten begleitet. Dafür wurde der Flussabschnitt in fünf Untersuchungsgebiete unterteilt, in denen die einzelnen Maßnahmen umgesetzt werden konnten. Die zentralen Forschungsfragen für das Projekt lauteten (Forschung zur Umsetzung der nationalen BiodiversitätsStrategie o.J.):

- Welche Auswirkungen haben die Maßnahmen auf die Diversität und Zusammensetzung von Artengemeinschaften im aquatischen, semiterrestrischen und terrestrischen Bereich?
- Wie ist die Revitalisierung in Bezug auf die Schutzziele der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt (NBS), Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie (FFH-RL) und Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) zu bewerten?
- Welche Wirkungsbeziehungen bestehen zwischen der Biodiversität und den in den anderen Arbeitspaketen gewonnenen Daten bezüglich der Parameter Hydrodynamik, Habitatstruktur, Nährstoffe etc.?

Um die Entwicklung der renaturierten Bereiche vergleichen zu können, wurden 2 Referenzbereiche festgelegt. Wie in Abbildung 4 zu sehen ist, befindet sich das Untersuchungsgebiet (UG) 1 mit befestigtem, naturfernen Ufer bei Priorau, UG 3 mit naturnahem Ufer bei der Ortschaft Möst. In den anderen Untersuchungsgebieten wurden Maßnahmen umgesetzt und deren Wirkung untersucht, welche anschließend mit den Parametern der Referenzbereiche verglichen wurden. Im UG 2a/b „Sollnitzer Stillinge“ wurde ein Naturufer wiederhergestellt. In UG 4 bei Törten sind Raubäume eingebaut worden und in UG 5 bei der Jagdbrücke erfolgte eine Seitenarmenbindung, Raubaumeinbau und eine Aufforstung des Hartholzauwaldes. Die geplanten Maßnahmen konnten alle im Laufe des Projektes umgesetzt werden und somit wurde das Projekt Ende des Jahres 2020 erfolgreich abgeschlossen (Schulz-Zunkel et al. 2019).

Insgesamt konnte festgestellt werden, dass die Wiederherstellung des Naturufers dafür gesorgt hat, dass die Mulde am Prallhang das Ufer wieder unterspülen konnte. Somit kam es beim ersten Hochwasser zu einer Uferverschiebung, welche neuen Lebensraum für flusstypische Arten entstehen ließ. Ebenso konnte die typische Fließgeschwindigkeit an den renaturierten Ufern wiederhergestellt werden, um nur einige Beispiele zu nennen (Schrenner et al. 2020).

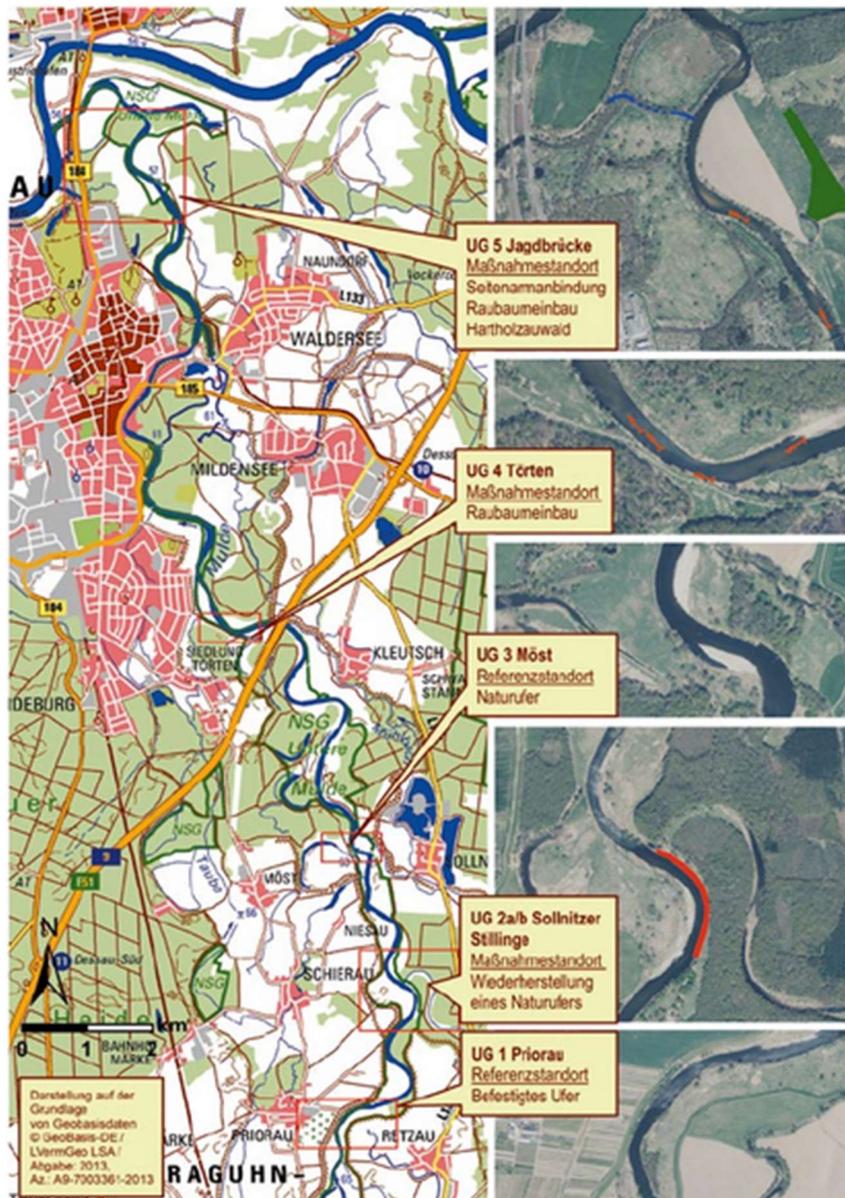


Abbildung 4: Untersuchungsgebiete des Wilde Mulde Projekts (Schulz-Zunkel et al. 2019).

Zum Erfolg dieses Projektes hat auch die aktive Einbindung der Bevölkerung und die intensive Öffentlichkeitsarbeit beigetragen. Neben Exkursionen, Schulprojekten, Einbindung des Themas in den Lehrplan vor Ort, gab es auch einen digitalen Muldenführer (<https://wilde-mulde.de/muldefuehrer/>). Zusätzlich fand jedes Jahr der „Mulde-Fluss-Tag“ statt, an dem über die aktuellen Maßnahmen und Erfolge berichtet wurde. Dadurch konnten die Entwicklungsziele und Prozesse für die Bevölkerung zugänglich und verständlich gemacht werden und somit auch ein Bewusstsein für die Prozesse einer Flusslandschaft geschaffen werden (Schrenner 2021). Es wurden mehrere Veranstaltungen, Exkursionen und Gespräche geführt, um die Akzeptanz in der Bevölkerung zu steigern und kritische Rückmeldungen berücksichtigt. Besonders die Wiederherstellung des Naturufers mit Ermöglichen der Seitenerosion wurde von Teilen der Bevölkerung als Risiko empfunden. Dem konnte durch die Definition eines maximalen Entwicklungskorridors entgegengetreten werden. Erreicht die Mulde die Grenze, wird das Ufer durch den unterhaltungspflichtigen Landesbetrieb wieder befestigt (Schrenner et al. 2021).

2.3.2. Die ‚Lebendige Mulde‘-Projektidee

Ein weiteres Projekt an der Mulde war die „Lebendige Mulde - Wiederherstellung von Überschwemmungsbereichen an der Mulde“. Die Idee wurde vom sächsischen Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL) und dem Landratsamt Nordsachsen konkretisiert. Das Ziel des Projektes war es, Möglichkeiten für natürliche Überschwemmungsbereiche der Mulde zu schaffen, welche im Hochwasserfall als Überschwemmungsflächen zur Verfügung stehen (Landkreis Nordsachsen 2021b). Es sollten in vier Bereichen Überschwemmungsflächen geschaffen werden (Abbildung 5).

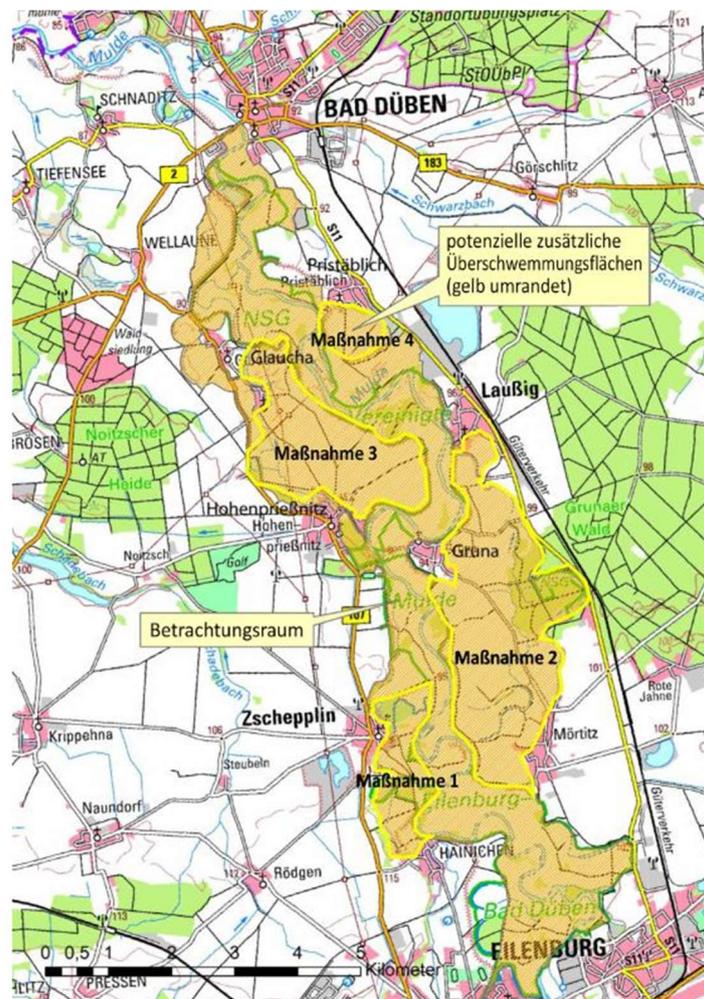


Abbildung 5: Karte mit vier möglichen Maßnahmenflächen. Gelbe Umrandung: Maßnahmenfläche zur möglichen Wasserausbreitung im Falle von Hochwasser.

Vor Beginn des Projektes gab es über 2 Jahre Informationsveranstaltungen und eine Kommunikation zwischen den verschiedenen Interessensgruppen, beispielsweise in öffentlichen Gemeinderatssitzungen. Anschließend folgte eine Öffentlichkeitsbeteiligung im Onlineverfahren und ein gemeinsamer Workshop für die geplanten Maßnahmen. Die beteiligten Gemeinden hatten von Beginn an Bedenken bezüglich der negativen Auswirkungen auf die Landwirtschaft, unterstützten aber die Durchführung der Machbarkeitsstudie (Fischer 2019). Für die bessere Planbarkeit des Hauptvorhabens wurde im Voraus eine Machbarkeitsstudie durchgeführt. Im Rahmen dieser Studie kam es zu einer erneuten Bürgerbeteiligung, um deren Interessen in die Studie mitaufnehmen zu können. Nachdem diese Befragung für die Bereiche 1, 3 und 4 (s. Abbildung 5) eine Zustimmung für das

Vorhaben von 51% ergab und für Abschnitt 2 von nur 7%, wurde das Projekt aufgrund von zu geringer regionaler Unterstützung im Jahr 2020 eingestellt.

Ob die Abschnitte 1, 3 und 4 mit der höheren Zustimmung in ein alternatives Projekt miteinbezogen werden, steht noch nicht fest. Das zuständige Ministerium prüft aktuell die Möglichkeiten (Landkreis Nordsachsen 2021a).

Die Gründe für die mangelnde Zustimmung der Bevölkerung können vielfältig sein. Die Bürgerumfrage zeigt vor allem, dass die Ängste vor allem vor einem sinkenden Hochwasserschutz, im Wertverlust der Flächen und im Rückgang der Erträge lagen (Landkreis Nordsachsen 2021a). Die Frage bezüglich der Bedenken der Veränderung des Landschaftsbildes müssen nicht unbedingt auf eine negative Veränderung hinweisen, weshalb diese Frage nicht unbedingt auf mangelnde Unterstützung hinweisen muss, siehe Abbildung 6. Da ebenso an der Verbesserung des Hochwasserschutzes gezweifelt wird, verstärkt sich der Verdacht einer mangelnden Informationslage der Bürger. Genauere Analysen liegen allerdings nicht vor. Das Landratsamt betont allerdings, dass bei einer Fortsetzung der Maßnahme an den anderen drei Flussabschnitten, ein geeigneter Kommunikationsprozess notwendig sein wird. Dieser soll garantieren, dass Informationen gleichmäßig verteilt und Interessen unterschiedlicher Akteursgruppen eingebunden werden, um die inhaltliche Auseinandersetzung mit anderen Projektansätzen möglichst breit gefächert möglich zu machen (Julke 2021).

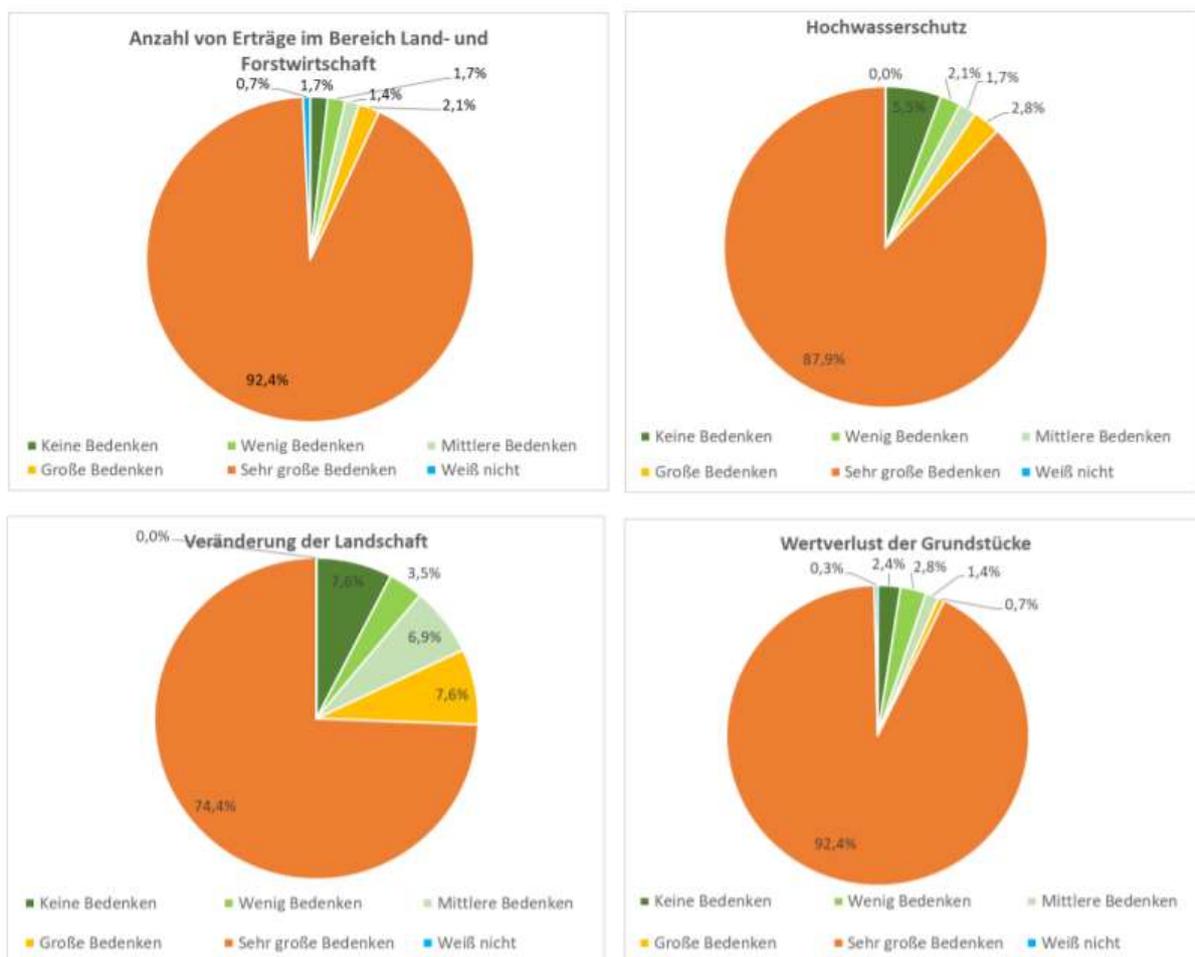


Abbildung 6: Auszug aus den Ergebnissen für den Projektabschnitt bei Mörtitz-Gruna-Laußig der Bürgerumfrage des ‚Lebendige Mulde‘-Projekts (Bürgerbeteiligung Sachsen 2020).

2.3.3. Weitere Renaturierungsprojekte im Naturraum

In der Gewässergroßlandschaft des Flach- und Hügellandes, in dem auch die Mulde liegt, wurden in den letzten Jahren einige größere Renaturierungsprojekte durchgeführt. Ein Beispiel hierfür ist die Deichrückverlegung und Auenrenaturierung im Roßlauer Oberluch-Biosphärenreservat Mittelelbe, welches durch das Land Sachsen-Anhalt gefördert wurde. Dort wurde der Deich der Elbe zwischen Roßlauer Oberluch und Dessau-Roßlau zurückverlegt und dadurch eine Auenrenaturierung erreicht. Erste Studien zu dieser Maßnahme gab es bereits 1993, die praktische Umsetzung begann allerdings erst im Jahr 2003 mit dem Bau eines neuen Deichs. Der neue Deich wurde im Jahr 2006 fertig gestellt und der Altdeich an 3 Stellen geöffnet. Insgesamt wurde dadurch eine Fläche von 140 ha zu zusätzlichem Retentionsraum und ein Flachwasserbiotop wurde geschaffen (Scholz et al. 2009).

Eine weitere Auenrenaturierung an der Elbe ist die Deichrückverlegung bei Lenzen. Das Projekt wurde durch den Trägerverbund Burg Lenzen e.V. und das Landesumweltamt Brandenburg im Rahmen eines Naturschutzgroßprojekts gefördert. Das Projekt startete im Jahr 2002 und konnte 2011 erfolgreich abgeschlossen werden. Dort wurde eine Verengung des Hochwasserflutbettes durch eine Deichrückverlegung geöffnet. Der neue Deich wurde 1,3 km weiter im Landesinneren gebaut und der alte Deich an 6 Stellen geöffnet. Es entstand somit ein Retentionsraum von 420 ha, welcher seine Wirkung (Hochwasserspitzenabsenkung) im Jahr 2011 erfolgreich zeigen konnte. Zusätzlich wurde hier noch ein Flutrinnensystem im Auenbereich geschaffen, um eine bessere Durchströmung zu gewährleisten (Damm et al. 2012).

Durch den WWF wurde an der Mittleren Elbe beim Lödderitzer Forst ebenfalls eine Deichrückverlegung auf 7,3 km umgesetzt. Der neue Deich konnte in den 17 Jahren Durchführungszeit um bis zu 2,5km ins Landesinnere versetzt werden und der alte an zehn Stellen geöffnet werden. Rund 600 ha Hartholzauwald und mehrere Auengewässer sind dadurch wieder an die Elbe angeschlossen (WWF 2020a).

Ebenfalls durch den WWF konnte ein LIFE+ Natur-Projekt in den Elbauen bei Vockerode zwischen 2010 und 2018 in einem Projektgebiet von 800ha umgesetzt werden. Dort sind Ackerflächen großflächig in Wiesenbestände umgewandelt sowie Waldbestände aufgewertet worden. Zusätzlich konnte durch eine Deichöffnung eine Fläche von 212 ha an die Überflutungsdynamik der Elbe angeschlossen werden. Einige Teilfläche haben sich so gut regeneriert, dass sie in das benachbarte FFH-Gebiet integriert wurden und dieses um fast 50 ha erweitert werden konnte (WWF 2020b).

Auch an der Havel wurden einige Projekte wie beispielsweise das Gewässerrandstreifenprojekt „Untere Havelniederung zwischen Pritzerbe und Gnevsdorf“ (Nabu o.J. a) und die „Belebung der Havelaue bei Bökershof“ umgesetzt (Nabu o.J. b).

2.4. Berechnung des ‚Freien Pendelraumes‘

Die eigendynamische Gewässerentwicklung zu ermöglichen und dadurch den ökologischen Zustand von Fließgewässern in Deutschland zu verbessern ist das grundlegende Ziel des Freien Pendelraum-Konzepts, welches im Rahmen des Projekts „Freier Pendelraum für Fließgewässer – Methoden zur Anwendung des Konzeptes an Beispielen in Deutschland“ von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt unter dem Aktenzeichen 32894/01 gefördert wurde.

Das Projekt wurde durch das Aueninstitut des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) zwischen Februar 2017 und April 2020 bearbeitet (Egger et al. 2020).

Die ursprüngliche Idee einer Ausweisung von Flächen für die freie Entwicklung der Flüsse stammt aus Frankreich. Um eine ökologische und nachhaltige Gewässer- und Auenentwicklung zu ermöglichen, wurde an Allier und Loire das „Espace de Liberté“-Konzept (etwa: der Freiheitsraum des Flusses) zum Flächenbedarf von Gewässern durch den SDAGE (Leitplan zur Bewirtschaftung und Verwaltung von Gewässern in Frankreich, Malavoi et al. 1998) festgelegt (Hudin 2010). In dem ausgewiesenen Raum darf sich der Flusslauf durch eigendynamische Prozesse verändern und beispielsweise auch durch Seitenerosion verlagern. Die Besonderheit am französischen Konzept ist, dass es in der Gesetzgebung verankert ist und die Vorgaben damit bindend für die Wasserbewirtschaftung und Planungen in und an Gewässern sind (Hudin 2010, Charrier 2012).

Ausgehend von dem Espace de Liberté-Konzept wurden im Rahmen des Freien Pendelraum-Projekts an den drei Beispielfläüssen Ammer, Blies und Mulde mehrere Methoden zur Bestimmung eines definierten Korridors zur eigendynamischen Gewässerentwicklung angewendet. Dieser Pendelraum liegt innerhalb der morphologischen Aue und wird auf Grundlage des Gewässertyps bestimmt. Sicherungen des Flusslaufs sollten nur am Rand des Korridors bestehen, innerhalb dessen sich der Fluss frei bewegen kann. Damit können sich einerseits die charakteristischen Habitate mit der entsprechenden Flora und Fauna des jeweiligen Flusstyps ausbilden und andererseits kann dadurch eine Minimierung des Gewässerunterhaltungsaufwandes erzielt werden. Zudem bestehen auch Synergien mit anderen Ökosystemdienstleistungen (Scholz et al. 2012). Die Flächen innerhalb des Freien Pendelraums können weiter in ihrer bisherigen Nutzung verbleiben, bis sie durch den Fluss eingenommen werden. Es sollte jedoch eine Extensivierung der Nutzung und eine Ausweisung von Sukzessionsflächen angestrebt werden, um gefährdete Auenbiotope und damit auch Tier- und Pflanzenarten zu fördern.

Je nach Detailgrad der Daten und vorhandenen Ressourcen können neben dem Espace de Liberté-Ansatz drei Berechnungsmethoden empfohlen werden. Dies sind die vergleichsweise einfache Methode des Umweltbundesamts (UBA, Dahm et al. 2014) mit der Berechnung des minimalen und maximalen Entwicklungskorridors anhand des Gewässertyps und die aufwendigere Methode der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA 2016), bei der die Gewässerentwicklungskorridorbreite vorwiegend anhand lokaler Werte berechnet werden. Zusätzlich kann mithilfe von Modellierungen auf Basis der Regimetheorie nach Yalin & da Silva (2001) die Ausbildung des Gewässertyps einschließlich der Erosion und Sedimentation sich einstellende Gleichgewichtsbreite und weitere Strukturen bestimmt werden (vgl. Guzelj et al. 2020).

An dieser Stelle wird eine Zusammenfassung der Bestimmung des Freien Pendelraums nach den Methoden von UBA und LAWA gegeben. Die detaillierten Konzepte sind in Egger et al. (2020) dargestellt.

Schritt 1: Abgrenzen eines homogenen Flussabschnitts

Die Pendelraumbreite wird anhand verschiedener Parameter eines Flussabschnittes bestimmt. Um ein plausibles Ergebnis zu erreichen, sollten sich diese im betrachteten Abschnitt nicht grundlegend ändern. Die Mindestlänge eines Abschnittes kann abhängig von

der Gewässergröße und -typ sehr unterschiedlich ausfallen. Entscheidend ist, dass sich alle relevanten und charakteristischen Lebensräume des Gewässertyps innerhalb der Abschnittslänge ausbilden können (Dahm et al. 2014).

Schritt 2: Gewässertyp bestimmen

Die Pendelraumbreite unterscheidet sich bei einigen Ansätzen in Abhängigkeit vom Gewässertyp. Daher wird anhand der Karten und Steckbriefe der Fließgewässertypen Deutschlands (Pottgiesser & Sommerhäuser 2008) der Flusstyp bestimmt.

Schritt 3: Berechnungsmöglichkeiten des Freien Pendelraums nach verschiedenen Konzepten

Freier Pendelraum nach dem Konzept des Umweltbundesamts (Dahm et al. 2014)

Die Entwicklungskorridorbreite wird anhand von flusstypspezifischer Faktormultiplikation mit der potenziell natürlichen Sohlbreite bzw. bei veränderten Gewässern anhand der Ausbausohlbreite berechnet (Tabelle 4). Die Herleitung basiert auf dem DWA-Merkblatt 610 (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., DWA 2010).

Tabelle 4: Grundlegende Formel für die Bestimmung des minimalen und maximalen Entwicklungskorridors anhand der Ausbausohlbreite. Die Faktoren werden abhängig vom Flusstyp eingesetzt (Tabelle 2, Dahm et al. 2014).

Parameter	Herleitung
Potenziell natürliche Sohlbreite (Die dargestellte Formel zur Berechnung der pot. nat. Sohlbreite dient als Orientierung. Sofern bereits konkrete Werte zur pot. nat. Sohlbreite eines Gewässers vorliegen, sollten diese herangezogen werden.)	Ausbausohlbreite x Faktor
Minimaler Entwicklungskorridor	Potenziell natürliche Sohlbreite x Faktor
Maximaler Entwicklungskorridor	Potenziell natürliche Sohlbreite x Faktor

Die Faktoren sind flusstypabhängig in den Steckbriefen angegeben (Zusammenfassung s. Tabelle 5). Für eine ausführlichere Tabelle mit den differenzierten Angaben für jeden Flusstyp siehe Dahm et al. (2014) oder Egger et al. (2020) in Anhang 1.

Tabelle 5: Zusammenfassung der flusstypabhängigen Faktoren für die Berechnung des minimalen und maximalen Entwicklungskorridors anhand der Ausbausohlbreite (vgl. Tabelle 2, Dahm et al. 2014).

Flusstyp	Pot. natürliche Sohlbreite	Minimaler Entwicklungskorridor	Maximaler Entwicklungskorridor
Fließgewässer in Kerbtälern	Ausbausohlbreite x 2	pot. nat. Sohlbreite x 1	pot. nat. Sohlbreite x 3
Unverzweigte lehmgeprägte Fließgewässer	Ausbausohlbreite x 2	pot. nat. Sohlbreite x 3 (Ausnahme Typ 18: x 5)	pot. nat. Sohlbreite x 10
Unverzweigte Fließgewässer mit sand-, kies-, schotter- oder steingepprägter Sohle	Ausbausohlbreite x 3 (Ausnahme Typ 19: x 5)	pot. nat. Sohlbreite x 3 (Ausnahmen Typ 7: x 1,5, Typ 9.1: x 2)	pot. nat. Sohlbreite x 10 (Ausnahmen Typ 7, Typ 9.1, Typ 19: x 5)
Gewässer mit Nebengerinnen / anastomosierende / verflochtene Gewässer	Ausbausohlbreite x 5	pot. nat. Sohlbreite x 3 (Ausnahme Typ 2.1: x 2)	pot. nat. Sohlbreite x 10 (Ausnahme Typ 2.2: x 5)

Vorhandene Restriktionen, die aufgrund sozialer oder ökonomischer Faktoren bestehen, werden von dem berechneten Entwicklungskorridor abgezogen. Nahe dem Gewässer kann von Beginn an ein nutzungsfreier Uferstreifen ausgewiesen werden. Die restliche Auenfläche kann weiterhin in der bisherigen Nutzung verbleiben und wird erst bei Inanspruchnahme der Fläche durch das Gewässer, wie einer Verlagerung des Flusslaufs oder Erodierung, aus der Nutzung genommen und dem Gewässer zur Verfügung gestellt (Abbildung 7, DWA 2010).



Abbildung 7: Schema des Entwicklungskorridors nach der Methode des Umweltbundesamts (Planungsbüro Koenzen in DWA 2010).

Freier Pendelraum nach dem Konzept der LAWA (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser, LAWA 2016)

Die Gewässerentwicklungskorridorbreite verschiedener Fließgewässertypen wird bei der Methode der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) anhand der heutigen potenziell natürlichen Gewässerbreite unter Berücksichtigung der Mäandrlänge, der Windung sowie eines Dynamikfaktors berechnet (LAWA, 2016). Dafür sind Kenntnisse über lokale hydrologische und topographische Rahmenbedingungen notwendig. Die resultierende Flächenausdehnung ist aufgrund natürlicher Varianz als mittlere Korridorbreite zu verstehen. Für die Ermittlung des Pendelraums wurde ein Verfahren mit 8 Schritten entwickelt (Abbildung 8).



Abbildung 8: Übersicht der Bearbeitungsschritte zur Bestimmung des Pendelraums (Gewässerentwicklungskorridorbreite) nach LAWA (2016a).

2.4.1. Ähnliche Konzepte im englisch- und französischsprachigen Raum

In Frankreich und den USA gibt es einige Projekte nach dem Konzept eines eigendynamischen Entwicklungskorridors vergleichbar mit dem Freien Pendelraum. Eine Auswahl bereits begonnener und abgeschlossener Maßnahmen in Frankreich an mehreren Flüssen und Nebenflüssen ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 6: Gewässer in Frankreich, an denen bereits Projekte nach dem „Espace de Liberté“-Konzept umgesetzt wurden.

River involved	Tributaries involved
Le Rhône	le Guiers, les Gardons, l'Isère, le Drac amont, le Drac-Isérois, le Chéran, l'Yzeron, la Durance, la Reyssouze, la Clarée, le Roubion, l'Arve, la Morthe, la Loue, la Romanche, la Lanterne, la Creusotte, la Suze, la Gère, la Bielle du Fontanil, la Bielle des Serves, la Vésonne, la Véga, le Baraton, la Sévenne
La Loire	l'Allier, la Loire
L'Aude	la Sals, le Cougaing, le Sou, le Lauquet, le Fresquel, l'Orbiel, la Clamoux, l'Argent Double, l'Ognon, la Cesse, l'Orbieu, la Nielle, l'Aussou, le Veyret
L'Argens	l'Argens, la Nartuby
Le Rhin	la Souffel, le Muehlbach-Neubaechel, la Zorn, la Zinsel du Sud, le Mosselbach, le Giessen, la Lièpvrette, la Sauer, le Halbmuehlbach, l'Eberbach, la Bruche, la Moder, le Rothbach, la Zinsel du Nord, l'ill domaniale, le Bornen, l'ill amont, la Doller, la Fecht, la Lauch, la Thur, la Weiss, la Moselle, la Meurthe, la Mortagne, la Vezouze, la Vologne
L'Adour	l'Adour
La Garonne	le Tarn
La Seine	l'Ornain, le Rongeant, la Pisancelle, la Seine
Le Vistre	le Vistre
La Meuse	la Meuse

Die Projekte im französischsprachigen Raum können in verschiedene Kategorien unterteilt werden. So gibt es einige Projekte, die sich aufgrund von schlechter Wasserqualität, Bau von Kieswerken oder Hochwasserproblematik mit dem Pendelraum des entsprechenden Flusses beschäftigt haben.

Ein Abschnitt der Loire wurde im Projekt „Preservation and restoration of the mobility axis of the Loire and its tributaries“ beispielsweise mit dem Ziel der Verbesserung der Wasserqualität, Untersuchung der Geologie und eine Untersuchung der Veränderung des Flussverlaufes in der Geschichte bearbeitet (Agir pour l'eau, les espaces, les espèces 2013). Bei einem Projekt an der Vistre, war ebenfalls die Wasserqualität der ausschlaggebende Aspekt (La Compagnie des Forestiers 2021). An dem Rongeant wurde das Projekt “Remeandering of the Pisancelle and erasure of three engineering structures on the Rongeant in Poissons” durchgeführt, nachdem sich die Erosion durch den Kiesabbau zu stark verändert hatte (Reméandrage o.J.). Ein weiteres Projekt, dass sich mit dem ökologischen Hochwasserschutz beschäftigt hat, fand am Gewässer Romanche statt (SYMBHI 2021).

Es gab auch Projekte mit dem naturschutzfachlichen Ziel die natürliche Dynamik und Prozesse zu fördern und dadurch neue Lebensräume zu schaffen bzw. zu erhalten. Die Projekte „Program for the sustainable management of the River Adour mobility area“ und “Program Loire Nature” können hier exemplarisch genannt werden. Diese beiden Projekte haben es sich zur Aufgabe gemacht, die angrenzenden Flächen der Loire und Adour zu pachten bzw. kaufen und dadurch die angrenzenden Flussbereiche wieder dem Gewässer zur Verfügung zu stellen

(Riviere Allier 2021, Institution Adour 2019). Weitere Projekte zum Pendelraum der Gewässer in Frankreich sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 7: Ähnliche Projekte in Frankreich (impl. = Projekt umgesetzt).

Name des Projektes	Träger / Umsetzung	Gewässer	Projektzeitraum	Ziel	Impl.
Restoration and valorization study of the natural area of the Chéran Islands – SMIAC (Volet B o.J.)	Syndicat Mixte Interdépartemental d'Aménagement du Chéran (SMIAC)	Chéran	2017 (12 Wochen)	Störungen identifizieren und entfernen: beispielsweise exzessive Begrünung von Kiesbänken, nicht vollständig renaturierte Bereiche aus 2010 lokalisieren, Ruine einer Brücke entfernen	Ja
Delimitation of the mobility areas of the Aude and its tributaries (Préfet de L'aude 2014)	Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques et des Rivières / Dynamique Hydro	Aude und Nebengewässer	2010	- Konzept nach „Espace de Liberté“ für Aude und Nebengewässer definieren. - Integration des Raumanspruches des Flusses in die Kiesabbau-Pläne - Gemeinsamer Plan für Gewässerentwicklung, Management und Flächennutzung	Ja
Restoration of the mobility area of the Tarn à Saint-Hilarin	Communauté de communes Millau Grands Causses	Tarn	2018		Nein
Restauration of the Vistre area (La Compagnie des Forestiers 2021)	Syndicat Mixte du Bassin Versant du Vistre, Jean-Marc Fournier	Vistre	2000-2004	Verbesserung der Wasserqualität	Ja
Program for the sustainable management of the River Adour mobility area (Institution Adour 2019)	Institution Adour	Adour	2000-2019	Vergrößerung des Pendelraums, Verlegung landwirtschaftlicher Flächen	Ja
Program Loire Nature (Riviere Allier 2021)	EPTEAU	Allier und Loire	1993-today	Vergrößerung des Pendelraums, Verlegung landwirtschaftlicher Flächen, Management des Flussbereiches	Ja
Development of the „Espace de Liberté“ Concept for the Aude and its tributaries (les zones humides 2017)	Communauté urbaine de Strasbourg	Souffel und Muehlbach-Neubaechel	2006-2012	Anlegen von Tümpel, Sukzessionsflächen, neuen Flusslauf (ähnlich zu historischem Verlauf)	Ja

Preservation and restoration of the mobility axis of the Loire and its tributaries (Agir pour l'eau, les espaces, les espèces 2013)		Loire		Bodenanalyse, mehr Pendelraum, mehr Erosion, Bereiche mit hohem Schutzwert finden	Ja
Remeandering of the Pisancelle and erasure of three engineering structures on the Rongeant in Poissons (Reméandrage o.j.)	Syndicat intercommunal d'aménagement hydraulique Marne Vallage (SIAH Marne Vallage) / Syndicat Mixte du Bassin de la Marne et de ses affluents	Pisancelle und Rongeant	2004-2015	Natürliche Erosion wiederherstellen, 2 verschiedene Verfahren benutzt	Ja
Valley development of the Naturby (Syndicat mixte de L'Argens 2021)	Syndicat Mixte de l'Argens (SMA)	Naturby	2016	Pendelraum und natürlichen Gewässerverlauf wiederherstellen	
Stream restoration and management program: l'Ornain and its tributaries (Communauté d'agglomération Bar-Le-Duc – Sud Meuse 2016)	Communauté d'agglomération Bar-Le-Duc – Sud Meuse	Ornain	2016	Alte Mäander wieder öffnen	
Restoration of the mobility area (Aneta Group 2012)	DREAL Lorraine	Meuse und Ornain	2000	Kiesgrube aus Hauptflussbett und Pendelraum wiederherstellen	
Guide technique du SDAGE : Delimiting the "espace de bon fonctionnement" of watercourses (Malavoi et al. 1998)	SDAGE RMC	Rhône Méditerranée & Corse	2016	Guide für "espace de bon fonctionnement" (EBF) meint die minimal notwendige Fläche für eine funktionierende Dynamik	Ja
Development of the „Espaces Alluviaux de bon Fonctionnement" Concept	RIV4VAL	Rhône und Nebenflüsse		Ausbau des Konzeptes von EBF zu EABF (Methodology for the definition of Alluvial Areas of Good Functioning)	
Hydro-ecological restoration along the Romanche River: study methodology and first experience feedbacks (SYMBHI 2021)	Syndicat Mixte des Bassins Hydrauliques de l'Isère	Romanche	2006-2016	Ökologischer Hochwasserschutz	Ja
Study of the mobility area (Agence de L'eau 2019)	Conseil Départemental 67 et 68	Rhein	2007-2016	Studie zu Pendelraum und funktionierendem Wasserlauf	Ja
Definition of functional mobility zones in the	Agence de l'Eau Rhin-Meuse (AERM), Hydratec,		1999	Studie zu Pendelraum und funktionierendem	

watercourses of the Rhine Meuse basin (Agence de L'eau o.J.)	DIREN Lorraine, ECOLOR, Service de la Navigation Nancy			Wasserlauf und Entwicklung eines Konzeptes	
--	--	--	--	--	--

In den USA gibt es ebenfalls einige Projekte zum Thema Pendelraum von Fließgewässern. Dort wurden zwischen 1985 und 2005 bereits 500 Dämme entfernt, um den Flüssen wieder mehr Raum für natürliche Dynamik zu geben (Pess et. al 2005).

Als Beispiel kann man hier den Fluss Cosumnes in Nord-Kalifornien nennen, bei dem bereits in den späten 1990er Jahren die Aue wieder an den Fluss angebunden wurde, um die typischen Lebensräume wiederherzustellen. Auch am Fluss Clearwater wurde der Damm entfernt, um wieder mehr Pendelraum zur Verfügung zu stellen (Pess et. al 2005). In Oregon, am Fluss Johnson Creek wurden 260m Fläche renaturiert und zusätzlich Pendelraum für den Hochwasserschutz zur Verfügung gestellt (Ahilan et al. 2018). Diese Gegend ist besonders von Hochwassern betroffen, da sie nahe am Atlantik liegt und dort häufig Starkregenereignisse vorkommen. Ebenso wurden am Fluss Willamette seit 1850 immer wieder Projekte durchgeführt, um die natürlichen Dynamiken wiederherzustellen und dadurch die sozialen und ökonomischen Strukturen in der Umgebung zu sichern (Hulse & Gregory 2004). Eine Übersicht dieser Projekte ist in Tabelle 8 zu finden.

Tabelle 8: Ähnliche Projekte im englischsprachigen Raum (impl. = Projekt umgesetzt).

Name des Projektes	Projekträger	Gewässer	Projektzeitraum	Schwerpunkte	Impl.
The influence of floodplain restoration on flow and sediment dynamics in an urban river (Ahilan 2018)	- School of Civil Engineering, University of Leeds - Faculty of Technology, De Montfort University, Leicester -Department of Geography, Portland State University	Johnson Creek	2010-2021	Ökologischer Hochwasserschutz	Ja
Monitoring of Floodplain Restoration (Pess et al. 2005)	- Fisheries Science Center - University of Washington	Cosumnes		Natürliche Lebensräume wiederherstellen	Ja
Renaturalisation of Clearwater River (Pess et al. 2005)		Clearwater	1963	Natürliche Uferbereiche, neue Habitate und Seen wieder an das Gewässer anbinden	Ja
Integrating resilience into floodplain restoration (Hulse & Gregory 2004)	- University of Oregon - Oregon State University	Willamette	mehrere Projekte seit 1850	Ökologische, soziale und wirtschaftliche Verbesserung um das Gewässer	Ja
Towards dynamic flow regime management for floodplain restoration the	- Environmental Resources and Policy Program, Southern Illinois University	Atchafalaya River Basin	1988-2016	Wassermenge bei Flut wieder erhöhen	Ja

Atchafalaya River Basin, Louisiana (Kozak et al. 2016)	<ul style="list-style-type: none"> - Department of Zoology, Southern Illinois University, Carbondale - Department of Zoology, Southern Illinois University, Carbondale - Department of Geography and Environmental Resources 				
--	---	--	--	--	--

2.5. Geländeaufnahmen

Die Geländearbeiten mit Erfassung der Vegetation und Vermessung von Transekten in der Mulde wurden im Juli 2020 durchgeführt.

2.5.1. Vegetation

Im Projektgebiet wurde die Vegetation anhand von Plots und ergänzenden Artaufnahmen erfasst. Dabei lag der Fokus auf den nur noch kleinflächig im Gebiet vorhandenen Wäldern in der Aue und den dynamischen Kiesbänken direkt am Gewässer, um die Artausstattung des Projektgebiets in Bezug auf Renaturierungsmöglichkeiten bspw. durch Auwaldsukzession abzuschätzen.

In den Waldflächen wurden Plots mit einer Größe von 20x20 m erfasst, im Offenland von 5x5 m. Darin wurden alle Arten aufgenommen und ihre Deckung nach Braun-Blanquet (1964) bestimmt. Für die Interpretation wurden auch die Zeigerwerte für Feuchtigkeit und Nährstoffe nach Ellenberg et al. (1992) herangezogen.

2.5.2. Transektvermessung

Für die hydraulische Modellierung gehen neben dem Digitalen Geländemodell (DGM1, GeoSN Geodaten Sachsen) auch die Sohlhöhen der Mulde als Eingangsdaten ein. Da angenommen wurde, dass die zur Verfügung gestellten Sohlhöhen der Landestalsperrenverwaltung (LTV) Sachsen aus dem Jahr 2005 nicht mehr die aktuellen Gegebenheiten widerspiegeln, wurden neue Sohltransekte der Mulde im Projektgebiet vermessen und mit dem DGM kombiniert.

Im Projektgebiet wurden insgesamt 42 Transekte auf einer Länge von ca. 10 Flusskilometern vermessen (Abbildung 9). Entlang der Transekte wurde alle zwei Meter der Wasserstand über der Gewässersohle gemessen. Zudem wurde an zwei Standorten der Abfluss gemessen.

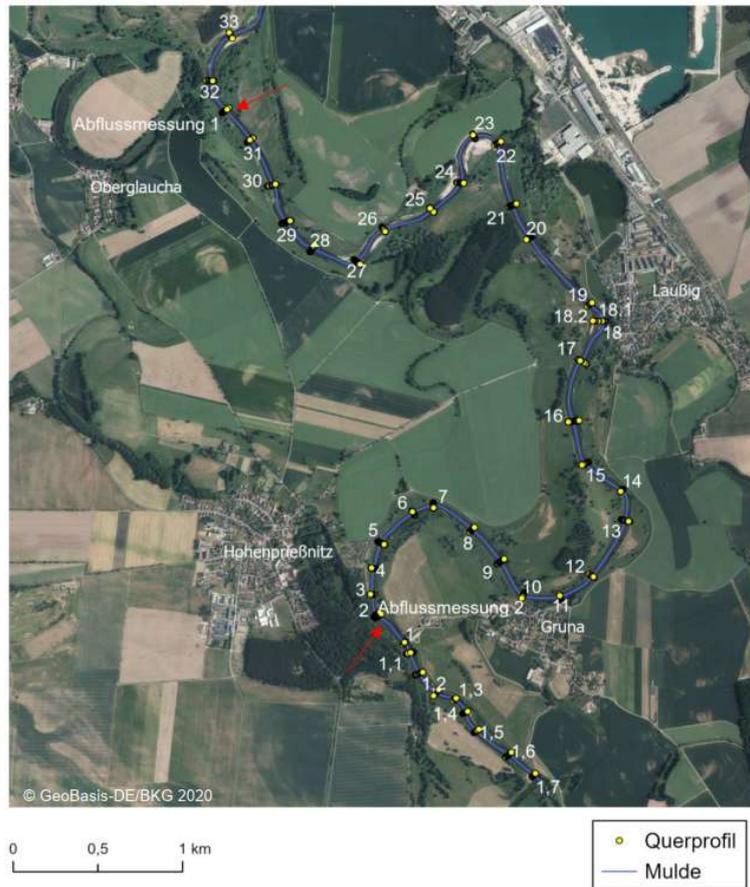


Abbildung 9: Lage der vermessenen Transekte und der Abflussmessungen im Projektgebiet (Stuber 2020).

2.6. Entwicklung möglicher Maßnahmen zur Verbesserung der Ökologie und des Hochwasserschutzes

Im Sinne des Freien Pendelraum-Konzepts wurden drei Deichrückverlegungsszenarien entwickelt sowie weitere mögliche Maßnahmen zur ökologischen Aufwertung beschrieben.

2.6.1. Szenarienentwicklung für Deichrückverlegungen

Es wurden drei Szenarien für die Vergrößerung der rezenten Aue durch Deichrückverlegungen entwickelt. Die Deichrückverlegungen sollten wo möglich mit einer Uferentsicherung einhergehen, um die Entwicklung des Freien Pendelraums mit dynamischen Prozessen zu ermöglichen. Die Flächen innerhalb des Freien Pendelraums können theoretisch weiter in ihrer bisherigen Nutzung verbleiben, bis sie durch den Fluss eingenommen werden. Jedoch soll eine Extensivierung der Nutzung und eine Ausweisung von Sukzessionsflächen angestrebt werden, um gefährdete Auenbiotope und damit auch Tier- und Pflanzenarten zu fördern. Für die Flächen, die in den Szenarien innerhalb der rezenten Aue liegen, wird eine Flächenextensivierung empfohlen, d.h. Ackerflächen sollen in extensives Grünland umgewandelt werden.

Für die drei Deichrückverlegungsszenarien wurden in ArcGIS Pro neuen Deichlinien anhand eines aktuellen Satellitenbilds (WebMapServer, 20 cm Auflösung, GeoBasis-DE/BKG 2020) und den Höhenwerten aus dem DGM1 generiert. Dabei dienten die Höhen der bestehenden Deiche im Projektgebiet von 2,5 - 4 m und die Breite der Deiche von 18 m als Richtwerte. Die

Neigung der Deichböschung wurde im Verhältnis 1:3 generiert, da diese laut Regelwerk des DWA üblich ist (Bieberstein et al. 2007). Die Bereiche mit Deichschlitzungen wurden auf die anliegenden Geländehöhen des DGM1 angeglichen. Anschließend wurden alle generierten Teil-DGM auf das generierte DGM inklusive der Rinnensohle (s. Kapitel 2.5.2) verschnitten.

Für die Kalkulation der Maßnahmenkosten in Bezug auf Deichneubau und –schlitzung wurden Erfahrungswerte früherer Deichrückverlegungsmaßnahmen verwendet (BAW 2013). Für den Deichneubau wurde ein Pauschalbetrag von 1.000€ pro Meter angenommen, für den Abtrag 750 € pro Meter unter der Annahme, dass das anfallende Material landseits der bestehenden oder neugebauten Deiche ortsnah eingebracht wird. Dadurch können die Deiche weiter verstärkt werden und es entfallen Kosten für weite Transportstrecken oder Materialentsorgungen.

2.6.2. Auwaldentwicklung

Die vorgeschlagenen Deichrückverlegungen können mit weiteren ökologischen Aufwertungen, wie der Pflanzung von Auwald im Gleithangbereich, kombiniert werden. Trotz des hohen Grades an Naturnähe der Auenhabitats im Projektgebiet, besteht in der Region ein großes Defizit an dynamischen, d. h. von der Flussdynamik geprägten Auwaldbeständen. Ein Bericht im Auftrag des LfULG zeigt für die Mulde zwischen Zschepplin und Bad Düben ein sehr hohes Potential für die Entwicklung von Auwald aufgrund noch vorhandener, mehr oder weniger beeinträchtigter Habitatstrukturen auf (Stegner 2011). Zudem sind Auwälder in ganz Deutschland ein gefährdeter Biotoptyp beispielsweise sind von Hartholzauwäldern nur noch weniger als 1 % der ursprünglichen Ausdehnung vorhanden (Brunotte et al. 2009).

Durch die Ausweisung eines Freien Pendelraums im Projektgebiet rücken einige Bereiche in die rezente Aue und bieten Potenzial als Entwicklungsflächen für Auwald. Die Flächen können einerseits als Sukzessionsflächen ausgewiesen werden, die sich dann durch fortschreitende Vegetationsentwicklung in Auwaldflächen entwickeln. Für eine gezieltere Entwicklung von Auwäldern mit an den Standort angepasster Vegetation werden jedoch je nach Höhenunterschied des Standorts zum Mittelwasser Vorschläge und eine Kostenkalkulation zur Pflanzung von Auwäldern gegeben.

Die potenziellen Auwaldentwicklungsflächen wurden anhand mehrerer Kriterien ausgewiesen. Für jedes Szenario wurden Flächen, die nach Umsetzen der Maßnahme in der rezenten Aue liegen, ausgewiesen. Dabei wurden keine Flächen im Prallhangbereich gewählt, da die Möglichkeit einer Abtragung der Flächen durch Seitenerosion besteht. Zudem wurden keine Waldflächen quer zur Strömungsrichtung des Wassers im Hochwasserfall entwickelt, um einen eventuellen Rückstau zu vermeiden. Es verbleiben breite Offenlandkorridore, die die Durchströmbarkeit des Raumes gewährleisten. Ein weiteres Kriterium sind die Eigentumsverhältnisse. Flächen mit Flurstücken in öffentlicher Hand wurden bevorzugt, da hier vorhergehende Eigentumsregelungen entfallen.

Da in der Aue die Überflutungshäufigkeit und –dauer eine entscheidende Rolle für die Ausbildung des Waldtyps spielt, wurde die Geländehöhe über dem Mittelwasserstand als maßgeblicher Standortfaktor für die Entwicklung verschiedener Waldtypen verwendet. Nach Messung der Geländehöhe von bestehenden kleinflächigen Auwäldern im Gebiet wurden drei Klassen unterschiedlicher Geländehöhen festgelegt in denen sich die drei unterschiedlichen Typen Weichholzauwald, Hartholzauwald und Sanddünenwälder anpflanzen lassen würden (Tabelle 9). Für die Kalkulation der Anpflanzung der Wälder wurden die Hauptbaumarten der

drei Waldtypen ausgewählt und eine Anpflanzung von 250 Bäumen pro ha angenommen. Hinzu kamen pauschale Pflegekosten für die Vorbereitung der Flächen und Lohnkosten für die Pflanzung der Bäume. Die Kalkulation und Pflanzbedingungen basieren auf dem „Leitfaden zur Auwaldbewirtschaftung“ des Waldklimafonds-Projekts „Auwald im Klimawandel“ (Roeder et al. 2021).

Tabelle 9: Gemessene Geländehöhe über Mittelwasser der Waldtypen im Projektgebiet und die Hauptbaumarten zur Kalkulation für die Pflanzung vergleichbarer Wälder im Projektgebiet. Zwischen den Klassen bestehende Übergangsbereiche wurden angelehnt an umgebende Typen festgelegt.

Geländehöhe über Mittelwasser (m)	Klasse	Waldtyp	Hauptbaumarten
bis 0,2			
0,2-2,2	tief	Weichholzauwald	Silberweide (<i>Salix alba</i>), Schwarzerle (<i>Alnus glutinosa</i>)
2,2-2,8			
2,8-3,5	mittel	Hartholzauwald	Stieleiche (<i>Quercus robur</i>)
3,5-3,8			
3,8-4,5	hoch	Sanddünenwälder	Gemeine Kiefer (<i>Pinus sylvestris</i>)
über 4,5			

Als Zielvorgaben für die Größe der Auwaldentwicklungsflächen wurden zwei Varianten erstellt, die auf der Größe der rezenten Aue beruhen. Die erste Variante sieht eine Waldentwicklung auf 15% der rezenten Auenfläche vor, die zweite auf 20% der Aue. Die Flächen der rezenten Aue ändern sich abhängig vom gewählten Deichrückverlegungsszenario.

2.6.3. Vorlandrinnen

Im Geländemodell der Mulde sind in der Altaue deutlich Rinnenstrukturen zu erkennen, die von der (ehemals) hohen Dynamik der Mulde im Projektgebiet zeugen. Mithilfe des Luftbilds mit der Gewässerkulisse und des DGM1 wurden alle aktuell morphologisch erkennbaren Rinnenstrukturen in der rezenten Aue mithilfe des GIS kartographisch erfasst und abgegrenzt.

Durch die Ausweisung eines Freien Pendelraums würden einige der Rinnen wieder ins Vorland und damit wieder in die rezente Aue integriert werden. Die Rinnen könnten dann bei Hochwasser je nach Höhe und Verlandungsgrad wieder an das Hochwassergeschehen der Mulde angeschlossen werden. Dadurch kann die Funktionalität der Rinnen als aktive Seitengewässer der Mulde (wieder-)hergestellt werden. Abhängig von der Entfernung zum Hauptgewässer, der Gestaltung v.a. von Ingestions- und Egestionsbereichen (Lage, Größe und Form der Ingestionsöffnung, Sohltiefe der Anbindung etc.) können unterschiedliche Gewässerbiotope entstehen. Wird eine dauerhafte Wasserführung mit Verbindung zur Mulde angestrebt, muss für die Detailplanung eine hydraulische bzw. Feststofftransportmodellierung durchgeführt werden.

2.7. Hydraulische Modellierung mit HEC-RAS

Das Programm HEC-RAS (Hydraulic Engineering Center-River Analysis System) der U.S. Army Corps of Engineers ist ein Analysesystem für Flüsse. Damit können hydraulische Analysen durchgeführt werden, auch Datenspeicher- und Verwaltungsfunktionen, Grafiken und Berichtssysteme sind verfügbar. Für stationäre und instationäre Strömungen lassen sich eindimensionale Flusshydraulikberechnungen erstellen oder eine Kombination aus ein- und

zweidimensionaler interstationärer Strömungsberechnung. Es können zudem Analysen im eindimensionalen Bereich über den Sedimenttransport und Wasserqualität durchgeführt werden (Brunner 2016). Für die Berechnung eindimensionaler Modelle werden die Geometriedaten, Strömungsdaten und Randbedingungen festgelegt (Brunner 2021).

Die Vorgehensweise für die hydraulische 1D-Modellierung im Projektgebiet wird im Kapitel 3.5 zusammen mit den Ergebnissen dargestellt werden, um die Verständlichkeit zu erhöhen.

2.8. River Ecosystem Service Index (RESI)

Mit dem River Ecosystem Service Index (RESI) kann die Fähigkeit eines Auenabschnitts zur Bereitstellung von bereitstellenden, regulierenden und kulturellen Ökosystemleistungen berechnet werden (Podschun et al. 2018a). Dadurch können angenommene zukünftige Veränderung durch Renaturierungsmaßnahmen, wie die Vergrößerung des nutzbaren Raumes für den Fluss durch den Freien Pendelraum, dargestellt und verschiedene Maßnahmenvarianten anhand ihrer erwarteten Entwicklungen verglichen werden oder die Bewirtschaftung optimiert werden (Stammel et al. 2021). Der Index kann für eine nachvollziehbare Kommunikation mit Behörden oder der Öffentlichkeit genutzt werden, um erwartete ökologische Verbesserungen darzustellen und Maßnahmenoptionen zu vergleichen (Podschun et al. 2018b)

Die Ökosystemdienstleistungen des RESI werden auf Grundlage der Fluss-Auen-Abschnitte (Brunotte et al. 2009) bewertet. Liegen diese für einen Bereich (wie im Beispielraum) nicht vor, müssen sie neu generiert werden. Dafür wurde die morphologische Aue, d.h. der natürliche Überschwemmungsbereich des Flusses der Länge nach in 200 m-Segmente gegliedert. Die Segmente wurden wiederum in ihrer Breite beidseitig in die an den Fluss angrenzende überflutbare rezente Aue (nach den Überschwemmungsflächen des HQ100) und die vom Überflutungsregime entkoppelte Altaue (HQextrem) unterteilt (Fischer et al. 2019). Die daraus entstandenen kleinsten räumlichen Einheiten werden als Kompartimente bezeichnet (Abbildung 10).

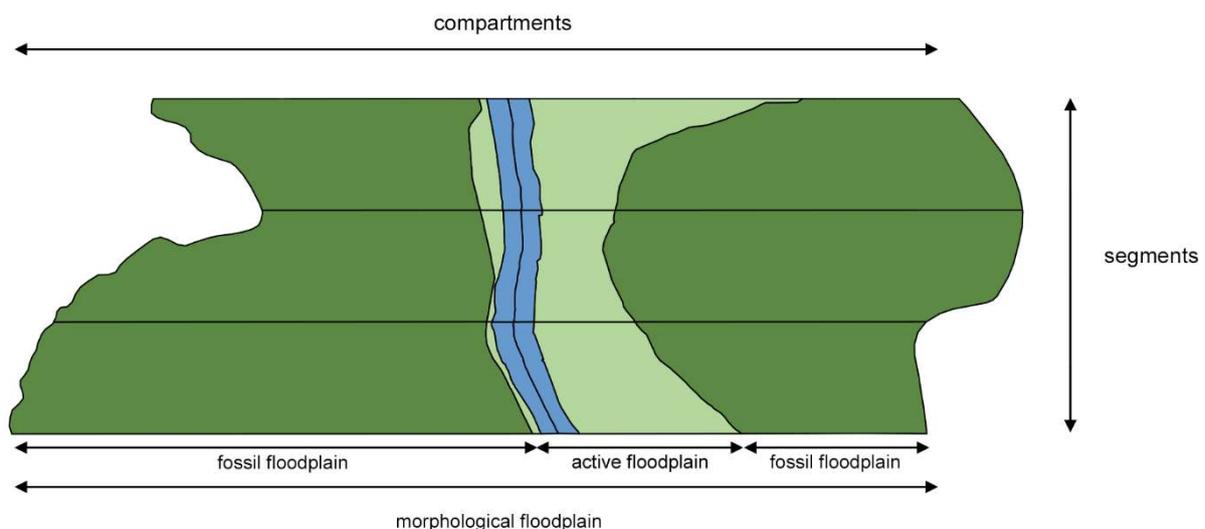


Abbildung 10: Schematische Darstellung der Auenbereiche für die Berechnung des RESI (verändert nach Lotti 2018 in Becker et al. eingereicht).

Im Projektgebiet wurden drei Ökosystemleistungen mit Hilfe des RESI berechnet: die Hochwasserregulation, die Sedimentregulation und die Habitatbereitstellung. Die Beschreibung der Berechnungen wurde aus Egger et al. (2020) entnommen.

2.8.1. Hochwasserregulation

Beschreibung (Podschun et al. 2018)

Die Ökosystemleistung beschreibt das natürliche Vermögen von Auen der Abflachung von Hochwasserwellen durch Wasserrückhalt. Dies hängt vom zur Verfügung stehenden Rückhaltevolumen als auch von der Rauigkeit ab. Durch diese Ökosystemleistung wird abgebildet, inwieweit natürliche Prozesse zum Hochwasserschutz beitragen können, was auch aufgrund der hohen Bedeutung als Klimaanpassungsmaßnahme von hoher Relevanz ist.

Diese Ökosystemleistung reagiert sensibel auf Deichrückverlegungen, Maßnahmen, die zur Veränderung der Rauigkeit führen u. ä.

Variablen bzw. benötigte Daten:

- Deiche und Längsbauwerke
- Digitales Geländemodell (DGM10)
- Überschwemmungsflächen eines 100-jährlichen Hochwassers (HQ100-Flächen)
- Fließgewässerstrukturgütekartierung

Berechnung: Die Hochwasserregulation wird im RESI mit Hilfe zweier Teilindikatoren (HW1 und HW2, s. u.) für jedes Fluss-Auen-Segment (200 m-Segmente) berechnet. Der Mittelwert der beiden Ergebnisse geht je Segment als Gesamtindikator in die Bewertung ein.

Teilindikator HW1: Berechnung des Volumenverhältnisses der rezenten Aue zur morphologischen Aue:

Das Volumen ergibt sich aus dem Abstand zwischen den in das Gelände ausgespiegelten Wasserspiegellagen bei Mittelwasser und einem 100-jährlichen Hochwasserereignis. Ist die Geländeoberfläche bei einem (oder auch beiden) Ereignis nicht überströmt, geht die Geländehöhe in die Berechnung ein. Auf Grundlage eines DGM1 lässt sich so für jede 1x1m Rasterzelle ein Volumen berechnen und für die betreffenden Räume (rezente und morphologische Aue eines Segmentes) zusammenfassen.

Teilindikator HW2: Berechnung der längengewichteten mittleren Gesamtklassifizierung des Fließgewässers:

Hier geht ausschließlich die Gesamtbewertung der Gewässerstrukturgütekartierung ein. Deren 100 m-Segmente passen nicht genau auf die angelegte Auensegmentierung. Sie werden deshalb damit ausgeschnitten und ergeben längengewichtet das Teilindikatorergebnis jedes Segments.

Für die Szenarienberechnung der Hochwasserregulation wurden folgende Einzelparameter der Gewässerstrukturgütekartierung betrachtet: Uferverbau, Querprofil, Breitenvariabilität (Breitenwechsel der Querprofile), Ufererosion, Anlandungen, Böschungsbewuchs, Sonderstrukturen (am Ufer oder z. T. auch im Gewässer wie Buchten oder überhängende Vegetation), Strömungsvielfalt, Hochwasserschutzanlagen (linienförmigen Bauwerke wie Deiche, Hochwasserschutzwände, Straßen- oder Bahndamm etc.), Ausuferungsvermögen,

Auenutzung (dominante Flächennutzung im Bereich der natürlichen Aue) und ufernahe Ausprägung oder Nutzung (Gewässersaum bis max. halbe Gewässerbreite).

2.8.2. Sedimentregulation

[Beschreibung \(Podschun et al. 2018\)](#)

Bei dieser Ökosystemleistung wird der gewässerinterne Sedimenthaushalt bestehend aus an der Gewässersohle transportiertem Geschiebe und der in Suspension befindlichen Schwebstofffracht betrachtet. Entscheidend für die Transportkapazität sind auch die hydrodynamischen Verhältnisse (Fließgeschwindigkeit, Sohlschubspannung). In einem naturnahen Fließgewässer stellt sich dabei weitgehend ein morphologisches Gleichgewicht ein. Dies beeinflusst sowohl die Gewässermorphologie als auch die abiotischen Faktoren der terrestrischen Umwelt, z. B. über Bodenbildungsprozesse über den Sedimenthaushalt und das Überflutungsregime.

Bauwerke, welche die Sedimentdurchgängigkeit verringern, sowie wasserbauliche Maßnahmen, Sedimententnahmen oder –zugaben beeinflussen diese Ökosystemleistung besonders.

Variablen bzw. benötigte Daten:

- Fließgewässerstrukturgütekartierung (v. a. Bewertung der Gewässersohle)

Berechnung: Die Bewertung der Sedimentregulation geschieht auf Grundlage der Teilbewertung „Sohle“ aus der Gewässerstrukturgütekartierung, die aus den Einzelparametern „Laufkrümmung“, „Uferverbau“, „Querbauwerke“ und „Ausleitung“ zusammengesetzt ist. Der Mittelwert der Bewertungen wird streckenlängengewichtet für die Segmente der Gebietskulisse berechnet.

2.8.3. Habitatbereitstellung

[Beschreibung \(Podschun et al. 2018\)](#)

Durch diese Ökosystemleistung wird die funktionelle und strukturelle Habitatqualität für auentypische Lebensgemeinschaften und Arten bewertet. Sie ist Grundlage für viele weitere Ökosystemleistungen und Basis für die Biodiversität der Flussauen. Der Habitatindex ermöglicht eine Abschätzung der flussauentypischen Habitatausstattung und dient als Bewertungsmöglichkeit für die Abschätzung von Maßnahmen auf die Arten und Lebensräume.

Variablen bzw. benötigte Daten:

Abhängig von der verfügbaren Datenlage und dem Bearbeitungsmaßstab kann die Betrachtung auf unterschiedlichen Detailgraden erfolgen. Dazu zählen beispielsweise Angaben der Biotop- oder der FFH-Kartierung. Zudem beeinflussen auch Rückstau oder Landnutzungsintensität diese Ökosystemleistung.

Berechnung:

Die Bewertung des Habitatindex erfolgt auf Grundlage von Biotoptypenkartierungen für das Gebiet. Im Rahmen des RESI wurden anhand der 6 Kriterien „Grundwasserabhängigkeit“, „Gefährdung“, „FFH-Habitat“, „Gesetzlicher Schutz“, „Regenerierbarkeit“ und „Auenbindung“ Biotopwerte und Feuchteklassen für jeden möglichen Biotoptyp festgelegt. Somit wird im ersten Schritt (Bewertung auf Biotoptypenebene) eine Bewertung jedes einzelnen Biotops noch ohne Rücksichtnahme auf die äußeren Einwirkungen vorgenommen, die in Schritt 2 (Biotop-Ebene) anhand von biotischen und abiotischen Faktoren ergänzt (Malus oder Bonus)

wird. Für das Projektgebiet relevant ist in diesem Schritt nur der Faktor „Verändertes Überflutungsregime“. Naturnahe und Auentypische Biotoptypen erhalten im Status quo aufgrund der durch die flussbegleitenden Wirtschaftswege verminderten Überflutungshäufigkeit einen Malus von 0,25. Im letzten Schritt erfolgt die Aggregation auf Kompartimentebene. Diese erfolgt auf Basis einer flächengewichteten Mittelwertbildung der eingehenden Biotope. Je nach Häufigkeit verschiedener Biotop-Feuchteklassen (>3) wird ein zusätzlicher Bonus von 0,5 vergeben (Abbildung 11).

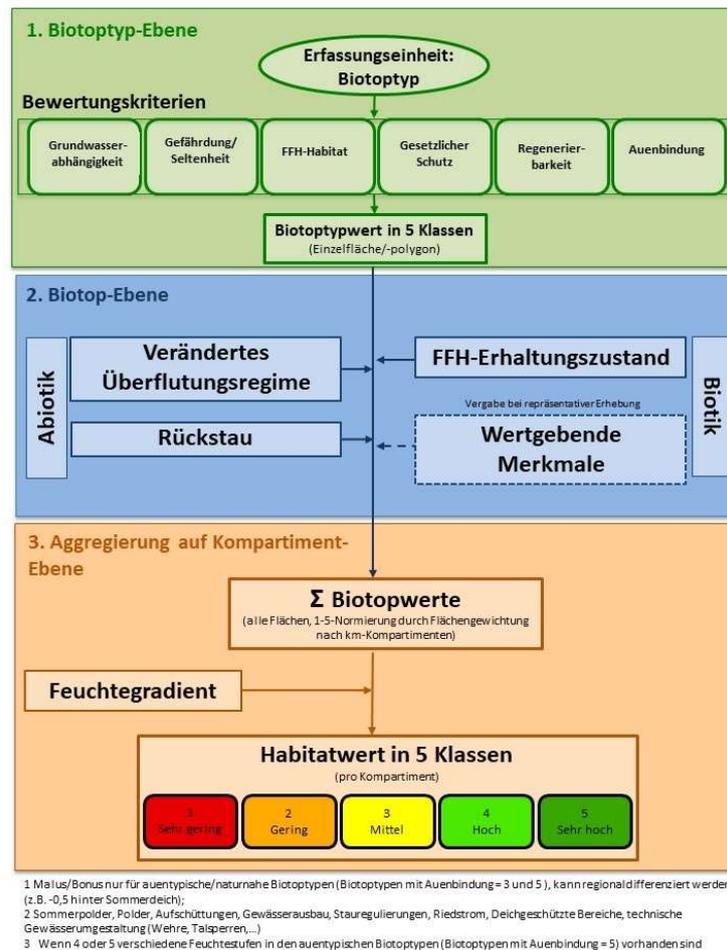


Abbildung 11: Berechnungsschema der Ökosystemleistung Hochwasserregulation (Podschun et al. 2018a).

3. Ergebnisse

Für das Projektgebiet wurde der Freie Pendelraum berechnet und mehrere Maßnahmen zur kombinierten Verbesserung von Hochwasserschutz und Ökologie entwickelt.

3.1. Freier Pendelraum an der Mulde im Projektgebiet

Der Freie Pendelraum wurde im Projektgebiet anhand der Methoden des Umweltbundesamts (Dahm et al. 2014) und der Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA 2016) berechnet.

Schritt 1: Flussabschnitt wählen

Es wurde die Mulde im gesamten Projektgebiet flussauf von der Fähre Gruna bis flussab von Pristäblich als homogener Flussabschnitt gewählt, da sich die relevanten naturräumlichen Rahmenbedingungen in diesem Bereich nicht ändern.

Schritt 2: Gewässertyp bestimmen

Die Mulde stellt im Projektgebiet folgenden Gewässertyp dar:

- Gefällereiche Flussaue des Flach- und Hügellandes mit Winterhochwassern (nach Koenzen 2005)
- Kiesgeprägter Tieflandfluss (nach Pottgiesser & Sommerhäuser 2008, Dahm et al. 2014).

Schritt 3: Freien Pendelraum bestimmen

Nach dem Konzept des Umweltbundesamtes (Dahm et al. 2014)

Der Freie Pendelraum der Mulde nach dem Konzept des Umweltbundesamtes (Dahm et al. 2014) wird anhand der flusstypspezifischer Faktormultiplikation für die „Kiesgeprägten Tieflandflüsse“ mit der potentiell natürlichen Sohlbreite berechnet. Die im GIS gemessene und über das Projektgebiet gemittelte Sohlbreite der Mulde beträgt 47 m. Durch die berechnete Sohlbreite betragen der minimale und der maximale Entwicklungskorridor 423 m bzw. 1.410 m (Tabelle 10, Abbildung 12).

Tabelle 10: Herleitung des Entwicklungskorridors der Mulde im Projektgebiet nach der Methode des Umweltbundesamtes (Dahm et al. 2014).

Parameter	Herleitung
Potenziell natürliche Sohlbreite (Orientierung)	$47 \text{ m} \times 3 = 141 \text{ m}$
Minimaler Entwicklungskorridor	$141 \text{ m} \times 3 = 423 \text{ m}$
Maximaler Entwicklungskorridor	$141 \text{ m} \times 10 = 1.410 \text{ m}$



Abbildung 12: Der maximale (links) und der minimale (rechts) Entwicklungskorridor an der Mulde im Projektgebiet nach der Methode des Umweltbundesamtes (Dahm et al. 2014).

Nach dem Konzept der LAWA (LAWA 2016)

Bei der Berechnung des Freien Pendelraums nach dem Konzept der LAWA (2016) wurde wie in dem Konzept empfohlen für den bordvollen Abfluss der Mittelwasserabfluss am Pegel Bad Düben mit $63,9 \text{ m}^3/\text{s}$ verwendet, da das Einzugsgebiet die benötigte Größe von über 1.000 km^2 aufweist. Das Talbodengefälle und der Windungsgrad wurden im GIS gemessen, das Sohlgefälle wurde durch die Transektvermessungen im Gelände bestimmt und die Werte konnten durch eine typische Sohl Schubspannung für diesen Gewässertyp plausibilisiert werden. Daraus ergibt sich eine heutige potenziell natürliche Gewässerbreite von 75 m und eine Gewässerentwicklungskorridorbreite (der Freie Pendelraum) von 725 m (Tabelle 11).

Tabelle 11: Parameter zur Bestimmung der Gewässerentwicklungskorridorbreite der Mulde Im Projektgebiet nach dem Konzept der LAWA (2016).

Parameter	Einheit	Mulde im Projektgebiet
Q_{bordvoll} (Annahme)	m^3/s	63,9
Talbodengefälle	%	0,045
Windungsgrad	-	1,83
Sohlgefälle	%	0,043
Rauheitsbeiwert k_{st}	$\text{m}^{1/3}/\text{s}$	18
Böschungsneigung	1:m	1:5
Heutige pot. natürliche Gewässerbreite	m	75
Sohl Schubspannung	N/m^2	7,66
Plausibilisierung Sohl Schubspannung	für Typ GuS 17, N/m^2	4-11
Gewässerentwicklungskorridorbreite	m	725

Abzüglich der Siedlungsflächen ergibt sich daraus die kartographische Darstellung des Freien Pendelraums nach LAWA (2016) für die Mulde (Abbildung 13).

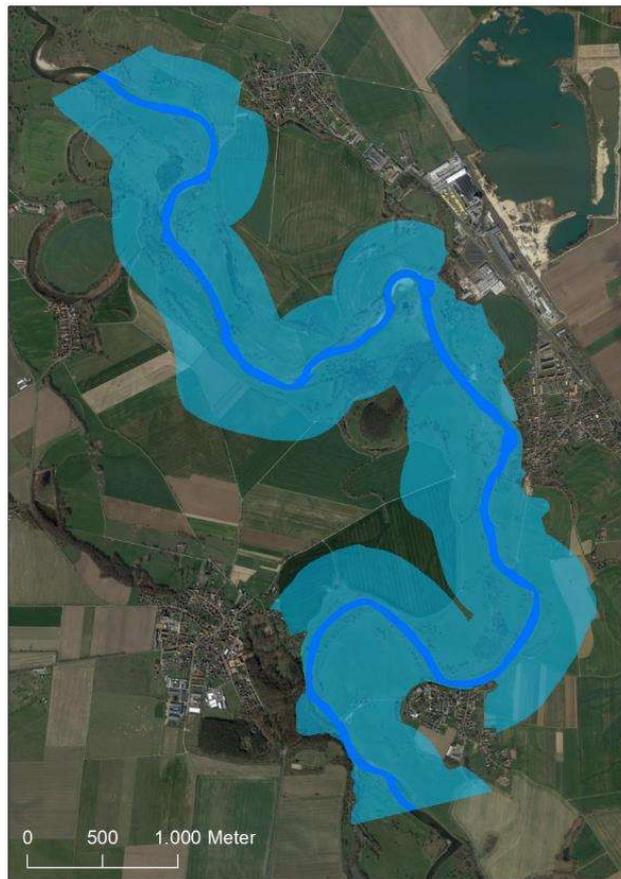


Abbildung 13: Der Gewässerentwicklungskorridor an der Mulde im Projektgebiet nach der Methode der LAWA (LAWA 2016).

3.2. Aktuelle Vegetation

Im Rahmen der Geländearbeiten wurden insgesamt zehn Plots auf Kiesbänken und in Auwaldfragmenten aufgenommen (Abbildung 14) und mehrere ergänzende Arterfassungen im Projektgebiet durchgeführt.

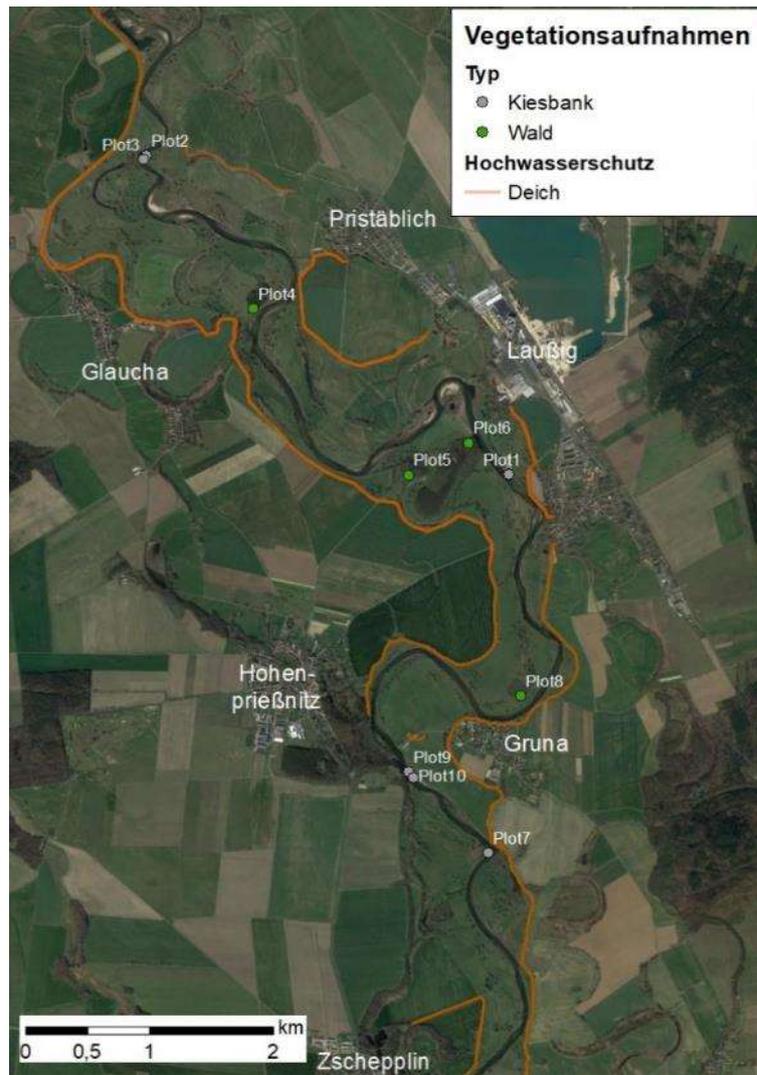


Abbildung 14: Lage der Vegetationsaufnahmen während der Geländearbeit im Juli 2020.

3.2.1. Kiesbank (Plot 1) und Sandflächen bei Laußig

Bei Laußig zeichnet sich ein Mosaik kleingegliedeter Standorte ab, die durch die Dynamik des Wassers einerseits entstanden und durch eine intensive Nutzung durch Schafbeweidung andererseits überprägt sind. Im ufernahen Bereich sind alte Weidenstämme zu finden, neben denen auch eine genutzte Fläche den noch praktizierten Kopfweidenschnitt vorweist. Da das verflochtene Wassergerinne sehr flach ist, konnten die Schafe bis ans Ufer weiden. Diese Bereiche sind durch Trittspuren und Eutrophierung gekennzeichnet, welche sich an verstärktem Aufkommen von „Algenwatte“ erkennen ließ. Trotz Einfluss durch die Schafbeweidung hatten sich kleinflächige Pionierfluren von Knick-Fuchsschwanz (*Alopecurus geniculatus*) und Rotem Spörgel (*Spergularia rubra*), kennzeichnend für nährstoffreiche Standorte, entwickelt.



Abbildung 15: Kiesbank bei Laußig innerhalb einer Schafweide. Die Vegetation ist verbissen und die Algenbildung am Muldeufer deutet auf eutrophierte Bedingungen hin. Plot 1 liegt im kiesigen Uferbereich (Foto: I. Becker).

Ausgedehnte etwas höher gelegene Sandflächen sind aber auch auf eine frühere Dynamik der Mulde zurückzuführen, durch die größere Sandflächen aufgeschüttet wurden. Auf diesen haben sich bemerkenswerte Pflanzengesellschaften des Thero-Airion-Verbandes entwickelt, die für Sand- und Steingrusböden kennzeichnend sind. Als charakteristische Sandzeigerarten sind Federschwingel (*Vulpia myuros*), Nelken-Schmielenhafer (*Aira caryophyllea*), Sandrapunzel (*Jasione montana*), Zierlicher Lauch (*Allium pulchellum*), Scharfer Mauerpfeffer (*Sedum acre*) u. a. zu nennen (Abbildung 16, Tabelle 12).



Abbildung 16: Höherliegende Sandfläche in der Nähe von Plot 1 mit blühender Sandrapunzel (*Jasione montana*) (Foto: I. Becker).

Tabelle 12: Arten der Vegetationserfassung im Plot 1 und zusätzliche Arterfassungen in zwei Flächen in der näheren Umgebung (vgl. Abbildung 15, mit Zeigerwerten für Feuchtigkeit (F) und Stickstoff (N) nach Ellenberg (1992).

F	N	Arten	zF1a	Plot 1	zF1b
9=	7	<i>Phalaris arundinacea</i>	.	2	.
8=	6	<i>Salix fragilis</i>	+	.	.
8=	x	<i>Salix viminalis</i>	+	.	.
8=	6	<i>Rorippa sylvestris</i>	.	1	.
8=	7	<i>Alopecurus geniculatus</i>	.	2	.
8=	8	<i>Humulus lupulus</i>	+	.	.
7=	4	<i>Plantago intermedia</i>	.	+	.
7	1	<i>Molinia caerulea</i>	.	.	+
6	8	<i>Urtica dioica</i>	+	2	.
6	8	<i>Artemisia vulgaris</i>	3	.	.
6	9	<i>Calystegia sepium</i>	+	.	.
6~	8	<i>Conium maculatum</i>	+	.	.
6	4	<i>Holcus lanatus</i>	.	+	.
5	6	<i>Galeopsis tetrahit</i>	+	.	.
5	6	<i>Dactylis glomerata</i>	2	.	.
5!	7	<i>Arrhenatherum elatius</i>	+	.	.
5~	4	<i>Spergularia rubra</i>	.	2	.
5	9	<i>Alliaria petiolata</i>	+	.	.
5	7	<i>Taraxacum officinale</i>	.	+	.
5	5	<i>Crepis biennis</i>	.	.	+
4	7	<i>Carduus acanthoides</i>	+	.	.

F	N	Arten	zF1a	Plot 1	zF1b
4~	5	<i>Bromus inermis</i>	1	.	+
4	5	<i>Galium mollugo</i>	.	.	+
4	4	<i>Echium vulgare</i>	.	.	1
4~	2!	<i>Silene vulgaris</i>	.	.	+
4	2!	<i>Rumex acetosella</i>	.	+	+
4	2	<i>Viola canina</i>	.	.	+
3	5	<i>Sisymbrium irio</i>	+	.	.
3	4	<i>Berteroa incana</i>	.	.	1
3	3	<i>Euphorbia cyparissias</i>	.	.	3
3	2	<i>Jasione montana</i>	.	.	1
3	1	<i>Sedum annuum</i>	.	.	+
2	1	<i>Sedum acre</i>	.	.	2
2	1!	<i>Vulpia myurus</i>	.	1	.
2	1	<i>Aira caryophyllea</i>	.	.	+
2	1	<i>Allium pulchellum</i>	.	.	+
1	1	<i>Potentilla incana</i>	.	.	+
x	1	<i>Festuca ovina</i>	.	.	+

zF: Zusätzliche Flächen mit Arterfassungen neben Plot 1.

3.2.2. Waldbestände im Projektgebiet (Plots 4, 5, 6, 8)

Naturnahe Auenwälder, wie man sie an einem Fluss erwarten würde, sind im Projektgebiet nur kleinflächig als Restbestände vertreten. Die drei größten Bestände waren ein Kiefernwald östlich von Glaucha (Plot 4), eine Fläche bestehend aus Fichtenforst und Eichen-Mischwäldern im Zentrum des Projektgebiets gegenüber von Laußig (Plot 5 und Plot 6) und ein Eichenhain im Süden des Projektgebiets gegenüber von Gruna (Plot 8). Aber auch an diesen Beständen sowie einzelnen Baumgruppen in der offenen Landschaft, kann man bei genauerer Analyse Anhaltspunkte für die Zusammensetzung der ehemaligen Hartholzauenwälder und ihrer Nutzung finden.

Betrachtet man die vorhandenen Reste des Eichenwaldes und die einzelnen Eichen, die im Offenland stehen sowie die Vegetation in kleineren Senken und Mulden, die durch die frühere Flusssdynamik entstanden sind, ist es vorstellbar, dass Eichen-Ulmenauenwälder früher stärker im Projektgebiet verbreitet waren (Abbildung 17). An einzelnen alten Eichen mit ihrem teilweise freigelegten Wurzelwerk kann man Spuren der ehemaligen Eichelmast feststellen, die in den damaligen Eichenwäldern durchgeführt wurde. Vereinzelt konnte Eichenverjüngung im Projektgebiet beobachtet werden (Abbildung 18, links). An etwas höher liegenden Stellen der Aue, sind auch Eichen-Buchen-Hainbuchenwälder zu finden, die einen wichtigen Teil im Biotopverbund von Waldflächen darstellen und einen Übergang zu den Waldbereichen in der Aue bilden (Abbildung 18, rechts).



Abbildung 17: Eichenwälder sind im Zentrum des Projektgebiets gegenüber Laußig zu finden (Foto: I. Becker).



Abbildung 18: Eichenverjüngung auf einer offenen Sandfläche (links) und Eichen-Buchen-Hainbuchen-Mischwälder in höherliegenden Flächen im Projektgebiet (rechts) (Fotos: E. Schneider).

Weichholzaunenbestände zeichnen sich meist in Form von Säumen (nicht kontinuierlich) entlang der Mulde und einigen der Mäander ab (Abbildung 19). Geschlossene Säume und flächige Weichholzaunen kommen im Gebiet nicht vor, da viele Flächen in Grünland und Ackerland umgewandelt wurden. Tiefere, feuchte Mulden in der ehemaligen Hartholzaue sind stellenweise von Weidengruppen und Schwarzerlen besiedelt (Abbildung 20).



Abbildung 19: Junger Weidensaum entlang einer Kiesbank südlich von Hohenprießnitz und blühendes Gewöhnliches Seifenkraut (*Saponaria officinalis*) (Foto: I. Becker).



Abbildung 20: Erlen und Weiden in tieferliegenden Senken gegenüber Gruna (Foto: I. Becker).

Dank der streckenweise ausgeprägten Dynamik an der Mulde mit Umlagerungsprozessen und Entstehen von neuen Kiesinseln sind für die Weiter- bzw. Wiederentwicklung von diesen

Standorten im Rahmen von Renaturierungsmaßnahmen die passenden Weichholzarten zur Besiedlung im Projektgebietsumfeld gegeben. Mit der Vielfalt der vorkommenden Weidenarten ist dieses ein realistisches Ziel, das verfolgt werden soll.

Hohe Geländekanten und Abbruchkanten, zum Teil alte Sandablagerungen, wie sie an Sanddünen vorkommen, sind auch an der Mulde festzustellen. Es sind günstige Standorte für die Entwicklung von Rotkieferbeständen, so wie sie im Norden des Projektgebiets bei Glaucha auch auf Sanddünen vorkommen (Abbildung 21).



Abbildung 21: Kiefernwald auf Sanddüne an der Mulde bei Glaucha (Foto: I. Becker).

Einige Waldbereiche im Zentrum des Projektgebiets linksufrig von Laußig wurden in Fichtenforste umgewandelt, die von naturnahen Wäldern weit entfernt sind (Abbildung 22). Diese wieder in naturnahe Laubholzforste zurückzuführen, ist eine zukünftige Aufgabe.



Abbildung 22: Fichtenforst im Zentrum des Projektgebiets mit Schäden durch die Trockenheit der trockenen Sommer mehrerer aufeinanderfolgender Jahre, hier im Sommer 2020 (Foto: I. Becker).

Tabelle 13: Arten der Vegetationserfassung in den Wald-Plots 4, 5, 6 und 8 sowie zusätzliche Arterfassungen in zwei Flächen in der näheren Umgebung (mit Zeigerwerten für Feuchtigkeit (F) und Stickstoff (N) nach Ellenberg (1992).

F	N		Plot 4	Plot 5	Plot 6	Plot 8	zF	zFM
		Baumschicht						
x	x	<i>Pinus sylvestris</i>	4	.	.	.	.	.
x	x	<i>Carpinus betulus</i>	.	1	.	.	.	.
5	x	<i>Fagus sylvatica</i>	.	2	.	.	.	.
x	x	<i>Quercus robur</i>	.	2	4	4	.	2
		<i>Populus canescens</i> +	.	1	.	.	.	.
x~	x	<i>Ulmus minor</i>	.	.	2	2	+	.
6	7	<i>Acer pseudoplatanus</i>	.	.	2	.	.	.
x	7	<i>Fraxinus excelsior</i>	.	.	.	.	.	2
5	5	<i>Cerasus avium</i>	.	.	.	.	.	2
5	5	<i>Malus sylvestris</i>	.	.	.	.	.	1
4	3	<i>Larix decidua</i>	.	.	1	.	.	.
x	x	<i>Betula pendula</i>	.	.	1	.	.	.
8=	7	<i>Populus nigra</i>	.	.	.	.	2	1
8=	7	<i>Salix alba</i>	.	.	.	.	1	.
8=	6	<i>Salix fragilis</i>	.	.	.	.	2	.
9=	x	<i>Alnus glutinosa</i>	.	.	.	.	3	.
		Strauchschicht						

F	N		Plot 4	Plot 5	Plot 6	Plot 8	zF	zFM
5	9	<i>Sambucus nigra</i>	2	1	1	.	.	1
4	4	<i>Crataegus monogyna</i>	+	.	.	.	.	.
5	5	<i>Euonymus europaea</i>	+	.	.	.	.	+
4	x	<i>Prunus spinosa</i>	.	.	.	.	.	+
x~	x	<i>Ulmus minor</i>	.	.	.	+	.	.
6	7	<i>Acer pseudoplatanus</i>	.	+	.	.	.	.
8~	x	<i>Frangula alnus</i>	+	.	.	.	.	.
4	x	<i>Rosa canina</i>	.	.	.	.	.	2
x	7	<i>Rubus caesius</i>	1	.	.	.	.	.
		Gehölzverjüngung						.
x	x	<i>Quercus robur</i>	+	+	+	.	.	+
6	7	<i>Acer pseudoplatanus</i>	.	2	+	.	.	.
x	x	<i>Pinus sylvestris</i>	+	.	.	.	.	.
5	6	<i>Acer campestre</i>	.	+	.	.	.	.
x	x	<i>Carpinus betulus</i>	.	+	.	.	.	.
5	x	<i>Fagus sylvatica</i>	.	+	.	.	.	.
		Lianen und Klimmer						.
8=	8	<i>Humulus lupulus</i>	.	.	+	.	.	+
9=	7	<i>Cucubalus baccifer</i>	.	.	+	.	.	.
		Krautschicht						.
x~	6	<i>Calamagrostis epigejos</i>	3	.	.	2	.	.
5	6	<i>Dactylis glomerata</i>	+	.	+	+	.	.
3	5	<i>Sisymbrium irio</i>	+	.	+	.	.	.
x~	7	<i>Elymus repens</i>	2	.	.	3	.	.
5	7	<i>Arrhenatherum elatius</i>	+	.	.	1	.	.
4	7	<i>Silene alba</i>	+	.	.	.	.	.
6	8	<i>Artemisia vulgaris</i>	+	.	.	.	.	.
4~	5	<i>Bromus inermis</i>	+	.	.	+	.	.
3	3	<i>Euphorbia cyparissias</i>	+	.	.	.	.	.
3~	4	<i>Asparagus officinalis</i>	+	.	.	.	.	.
x	4	<i>Agrostis capillaris</i>	+	.	.	2	.	.
3	3	<i>Senecio inaequidens</i>	+	.	.	.	.	.
5	6	<i>Brachypodium sylvaticum</i>	.	+	.	+	.	.
6~	3	<i>Carex brizoides</i>	.	2	3	3	.	.
5	5	<i>Stellaria holostea</i>	.	+	.	.	.	.
5	6	<i>Impatiens parviflora</i>	.	+	3	.	.	.
5	6	<i>Mycelis muralis</i>	.	+	.	.	.	.
5	x	<i>Anemone nemorosa</i>	.	+	.	.	.	.
5	9	<i>Alliaria petiolata</i>	.	.	+	.	.	+
9=	7	<i>Scrophularia alata</i>	.	.	+	.	.	.
6	8	<i>Urtica dioica</i>	.	.	+	+	.	.
7	7	<i>Stachys sylvatica</i>	.	.	2	.	.	.
5	8	<i>Heracleum sphondylium</i>	.	.	+	.	.	.
9=	7	<i>Phalaris arundinacea</i>	.	.	+	.	.	.
5	8	<i>Chelidonium majus</i>	.	.	.	+	.	.
7	6	<i>Festuca gigantea</i>	.	.	.	+	.	.

F	N		Plot 4	Plot 5	Plot 6	Plot 8	zF	zFM
5	6	<i>Galeopsis tetrahit</i>	.	.	+	+	.	.
6~	8	<i>Conium maculatum</i>	.	.	.	+	.	.
9=	4	<i>Carex gracilis</i>						1
7	4	<i>Juncus effusus</i>	.	.	.	.	.	+
8~	x	<i>Lysimachia vulgaris</i>	.	.	.	.	.	+
		Moose	2	.	.	.	.	.
		<i>Viscum album auf Populus nigra</i>						
8=	7		.	.	.	.	.	.

Plot 4: Kiefernbestand Pristäblich (vgl. Abbildung 21); Plot 5: Waldbestand auf höherer Geländestufe (vgl. Abbildung 18 rechts); Plot 6: Laußig Eichenbestand (vgl. Abbildung 17); Plot 8: Waldbestand gegenüber Gruna bei Hohenprießnitz; zF zusätzliche Fläche mit Arterfassung in Geländemulde mit Weichholzbestand (vgl. Abbildung 20); zFA: Zusätzliche Fläche Altmäander bei Gruna.

3.2.3. Kiesbänke im Projektgebiet (Plots 2, 3, 7, 9, 10)

Die Kiesbänke gehören zu den dynamischsten Lebensräumen der untersuchten Abschnitte der Mulde. Sie sind von zahlreichen, meist an Sand und Kies gebundenen, krautigen Arten besiedelt, neben denen auch Gehölze, vor allem Weiden als Pioniere der Entwicklung von Weichholzauen, vorkommen. Zu ihnen gehören Silberweide (*Salix alba*), Purpurweide (*Salix purpurea*), Bruchweide (*Salix fragilis*), Mandelweide (*Salix triandra*), Korbweide (*Salix viminalis*) und Reif-Weide (*Salix daphnoides*). Kennzeichnend für die Kiesbänke ist auch die licht- und wärmeliebende Elb-Spitzklette (*Xanthium albinum*, Abbildung 23), sowie das Gewöhnliche Seifenkraut (*Saponaria officinalis*, Abbildung 19).



Abbildung 23: Die Elb-Spitzklette (*Xanthium albinum*) auf einer Kiesbank südlich von Hohenprießnitz (Foto: I. Becker).

Die Sand- und Kiesbesiedler sind an diesen Lebensraum gut angepasst. Viele unter ihnen entwickeln lange Ausläufer, die sich über die Sand- und Kiesflächen wie ein Netz verbreiten und dadurch in einer ersten Phase zu deren Stabilisierung beitragen. Manche der Pionierarten z. B. Gänsefußarten (Gattung *Chenopodium*) entwickeln ein Wurzelsystem, das sich in eine Pfahlwurzel und eine unter der Sandfläche, mit der Oberfläche parallellaufende Wurzel gliedert. Dieses System trägt zum Überleben der Arten bei, wenn Sand und Kies bei extremen Sommertemperaturen wenige Wasserressourcen zur Verfügung stellen. Die Pfahlwurzel geht in die Tiefe, während die unter der Oberfläche streichenden Wurzeln das Tauwasser nutzen.

Neophyten sind im Projektgebiet kaum verbreitet. Zu ihnen gehören das Indische Springkraut (*Impatiens glandulifera*), das aus Süd-Afrika stammende Schmalblättrige Greiskraut (*Senecio inaequidens*) und der Eschen-Ahorn (*Acer negundo*).

Tabelle 14: Vegetationserfassung auf Kiesbänken im Projektgebiet (mit Zeigerwerten für Feuchtigkeit (F) und Stickstoff (N) nach Ellenberg (1992).

F	N	Art	Plot 2	Plot 3	Plot 7	zF7a	zF7b	Plot 9	Plot10
5	5	<i>Saponaria officinalis</i>	2	+	+	.	+	+	+
5	6	<i>Xanthium albinum</i>	1	1	.	.	.	.	.
8=	8	<i>Myosoton aquaticum</i>	+	.	+	.	.	+	.
8=	8	<i>Bidens frondosa</i>	.	.	+	.	.	+	.
4~	5	<i>Bromus inermis</i>	.	.	+	+	.	.	+
4~	7	<i>Phalaris arundinacea</i>	.	.	+	.	.	.	.
4	7	<i>Amaranthus retroflexus</i>	.	.	+	+	+	+	+
8=	7	<i>Alopecurus geniculatus</i>	.	.	.	.	.	.	+
4	x	<i>Arenaria serpyllifolia</i>	.	.	.	.	.	.	+
5~	4	<i>Spergularia rubra</i>	.	.	.	.	.	.	+
9=	8	<i>Lycopus europaeus</i>	.	.	.	+	.	.	.
6	9	<i>Atriplex hastata</i>	.	.	.	+	.	.	+
9=	5	<i>Mentha aquatica</i>	.	.	.	.	.	.	+
6	x	<i>Vicia cracca</i>	.	.	+	+	.	+	.
4	4	<i>Lactuca serriola</i>	.	.	.	.	.	.	.
8=	6	<i>Rorippa sylvestris</i>	+	.	+	.	.	+	.
8=	5	<i>Conyza canadensis</i>	+	+	+	+	.	.	.
8=	7	<i>Polygonum cuspidatum</i>	.	.	.	4	.	.	.
6	7	<i>Glechoma hederacea</i>	.	.	.	+	.	.	.
8	5	<i>Epilobium tetragonum</i>	.	.	.	+	.	.	.
5	9	<i>Armoracia rusticana</i>	.	.	.	+	.	.	.
9=	7	<i>Scrophularia alata</i>	.	.	.	+	.	+	.
5	6	<i>Dactylis glomerata</i>	.	.	+	+	.	.	.
4	3	<i>Plantago media</i>	.	.	+	.	.	+	.
x	x	<i>Plantago lanceolata</i>	.	.	+	+	.	+	.
3	3	<i>Senecio inaequidens</i>	+	+	+	.	2	+	.
		<i>Chenopodium</i>							
6	8	<i>polyspermum</i>	.	.	+	.	.	+	.
4	4	<i>Hypericum perforatum</i>	.	.	+	.	.	.	+
8=	7	<i>Impatiens glandulifera</i>	.	.	+	.	.	.	.
8=	7	<i>Silene alba</i>	.	+	.	.	.	.	2
3	5	<i>Sisymbrium irio</i>	.	.	+	+	.	+	+
x~	7	<i>Elymus repens</i>	.	+	.	.	.	.	.

F	N	Art	Plot 2	Plot 3	Plot 7	zF7a	zF7b	Plot 9	Plot10
5	8	<i>Chelidonium majus</i>	.	.	.	.	.	.	.
3	3	<i>Euphorbia cyparissias</i>	.	.	+	+	.	.	.
6	8	<i>Artemisia vulgaris</i>	2	1	+	.	+	+	+
6	7	<i>Rubus caesius</i>	.	1	.	.	.	+	+
x	8	<i>Polygonum hydropiper</i>	.	2	2	.	.	+	.
8=	7	<i>Phalaris arundinacea</i>	.	+	.	.	.	.	.
8=	6	<i>Rorippa sylvestris</i>	.	.	.	.	.	.	.
9=	x	<i>Quercus robur (Verj.)</i>	.	+	.	.	.	.	.
x	4	<i>Berteroa incana</i>	+	+	.	.	.	.	.
3	2!	<i>Rumex acetosella</i>	+	.	.	.	.	.	.
4	4	<i>Lactuca serriola</i>	+	.	+	.	3	+	+
		<i>Lythrum salicaria</i>							
4	7	<i>Chenopodium album</i>	+	.	+	.	.	.	.
4	6	<i>Matricaria perforata</i>	+	.	.	.	.	.	.
x	9	<i>Lamium album</i>	+	.	.	.	.	.	.
5	5!	<i>Linaria vulgaris</i>	+	.	.	.	.	.	.
		<i>Sisymbrium</i>							
4	7	<i>strictissimum</i>	+	.	.	.	.	.	.
		<i>Chenopodium</i>							
7	9	<i>botryoides</i>	1	.	.	.	.	.	.
		<i>Polygonum</i>							
8	8	<i>lapathifolium</i>	+	.	.	.	.	.	.
8	9	<i>Chenopodium rubrum</i>	+	.	.	.	.	+	.
6	5	<i>Sisymbrium irio</i>	+	.	.	.	.	.	.
3	5!	<i>Linaria vulgaris</i>	+	+	.	.	.	.	.
4	8	<i>Bidens tripartita</i>	+	.	.	.	.	.	.
9=	5	<i>Agrostis stolonifera</i>	1	2	1	+	1	1	3
		<i>Gnaphalium</i>							
x=	4	<i>uliginosum</i>	+	.	.	.	.	.	.
7	5	<i>Polygonum bistorta</i>	+	.	.	.	.	.	.
7	7	<i>Poa palustris</i>	+	.	.	.	.	.	.
8=	7	<i>Polygonum cuspidatum</i>	+	.	.	.	.	.	.
8~	7	<i>Acer negundo</i>	1	+	.	.	.	.	.
8=	2	<i>Filago arvensis</i>	+	.	.	.	.	.	.
6	9	<i>Urtica dioica</i>	.	.	+	.	.	+	.
6	9	<i>Rumex obtusifolius</i>	.	.	.	.	.	.	+
8~	8	<i>Solanum dulcamara</i>	.	.	.	.	.	.	+
10	8	<i>Rorippa amphibia</i>	.	.	.	.	.	.	+
3	4	<i>Anthemis tinctoria</i>	.	.	.	.	.	.	+
x=	x	<i>Salix purpurea</i>	2	.	.	.	.	.	1
8~	4	<i>Salix daphnoides</i>	1	.	.	.	.	.	1
9=	x	<i>Salix viminalis</i>	1	.	.	.	.	.	.
6	7	<i>Salix alba</i>	2	.	.	.	.	.	.
8=	6	<i>Salix fragilis</i>	1	.	.	.	.	.	.

Plot 2 und Plot 3: Kiesbank nordwestlich von Pristäblich; Plot 7: Kiesbank südlich von Hohenprießnitz;
Plot 9 und Plot 10: Kiesbank südlich der Fähre von Gruna.

3.3. Maßnahmenmöglichkeiten für Verbesserungen des Hochwasserschutzes und der Ökologie

Im aktuellen Zustand verlaufen die Deiche im Projektgebiet flussnahe (Abbildung 24) und ein Großteil der Auenfläche wird landwirtschaftlich genutzt. Im Sinne des Freien Pendelraum-Konzepts wurden drei Szenarien mit Deichrückverlegungen im Projektgebiet entwickelt, um ökologische Aufwertungen und einen verbesserten Hochwasserschutz zu erreichen. Zudem wird im Folgenden explizit auf weitere Maßnahmenmöglichkeiten der Flutrinnenanbindung und der Auwaldpflanzung eingegangen.

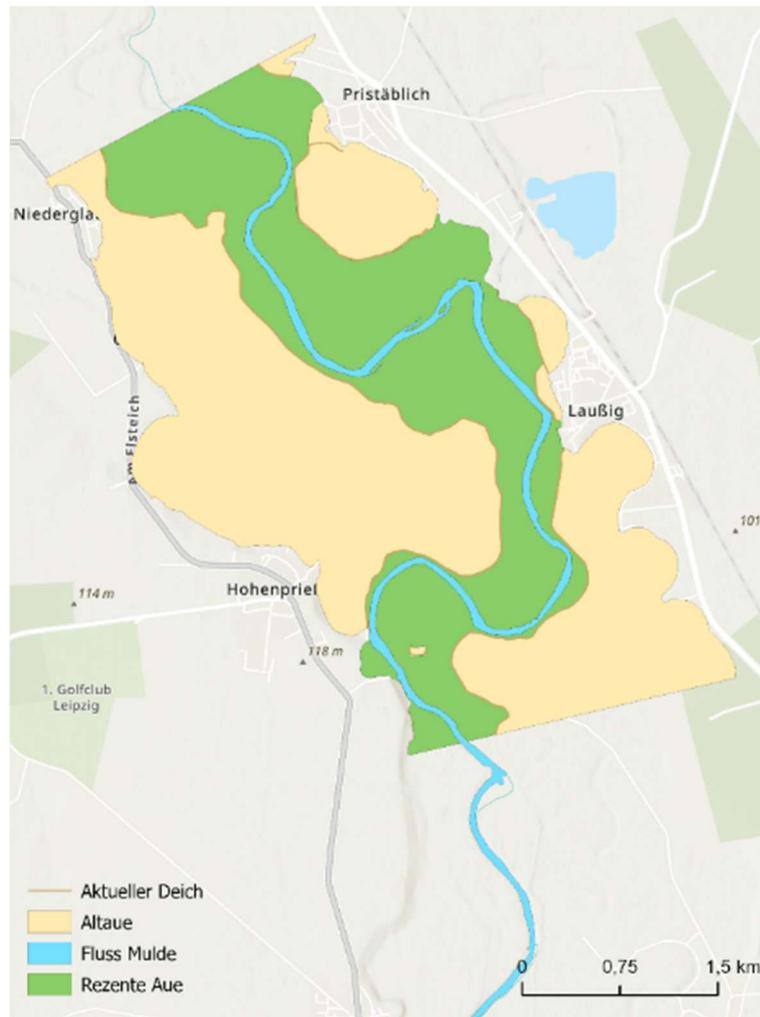


Abbildung 24: Status quo des Projektgebiets mit den aktuellen Deichlinien.

3.3.1. Szenarien für Deichrückverlegungen

Im Sinne des Freien Pendelraum-Konzepts wurden drei Szenarien mit Deichrückverlegungen unterschiedlicher Größe entwickelt (Tabelle 15).

Tabelle 15: Fläche (ha) der rezente Aue im Status quo und den drei Deichrückverlegungsszenarien.

Zustand	Rezente Aue (ha)	Gewonnene Retentionsfläche im Vergleich zum Status quo (ha)
Status quo	593,90	
Szenario 1	751,13	157,33

Szenario 2	948,92	355,01
Szenario 3	1120,10	526,36

Szenario 1:

In Szenario 1 wird eine linksufrige Deichrückverlegung vorgeschlagen. Der bestehende Deich wird dafür an vier Stellen insgesamt auf einer Länge von 2,1 km geschlitzt. Die erste Schlitzung erfolgt beim Prallhang zwischen Hohenprießnitz und Gruna auf ca. 520 m, um ein Ausuferen der Mulde bei Hochwasser in die dahinterliegende Fläche zu ermöglichen. Für den Rückfluss des Wassers werden drei weitere Schlitzungen vorgenommen. Eine kleinere Öffnung zwischen Gruna und Laußig (ca. 80 m), eine Öffnung zur Totarmstruktur gegenüber Pristäblich mit bestehenden Rinnen und aktueller Waldbedeckung (ca. 700 m) und eine große Öffnung östlich Glaucha (ca. 830 m).

Bei der ersten Flussbiegung im Projektgebiet am Prallhang zwischen Hohenprießnitz und Glaucha kann eine Ufersicherung bei der geschlitzten Deichlinie verbleiben, um eine komplette Verlagerung der Mulde im extremen Hochwasserfall zu unterbinden, jedoch eine Ausuferung nach Norden mit Überflutung der nördlich liegenden Ackerflächen zu ermöglichen. Die neue Deichlinie verläuft ab Hohenprießnitz in nördlicher Richtung, bis sie auf den bestehenden Deich östlich von Glaucha trifft. Diese Variante des Deichverlaufs wird auch im Hochwasserschutzkonzept der Mulde (2005) skizziert. Durch die linksufrige Deichrückverlegung und der gleichzeitigen Erweiterung der rezenten Auenfläche können vor allem ökologische Verbesserungen im Hinblick auf die umliegende flussgebietsspezifische Auenlandschaft erwartet werden. Zudem werden 157 ha an überflutbarem Retentionsraum im Hochwasserfall hinzukommen. Die geschätzten Kosten für Deichschlitzung und –neubau dieses Szenarios betragen 3,8 Mio. € (zur Kostenschätzung vgl. Kapitel 2.6.1).

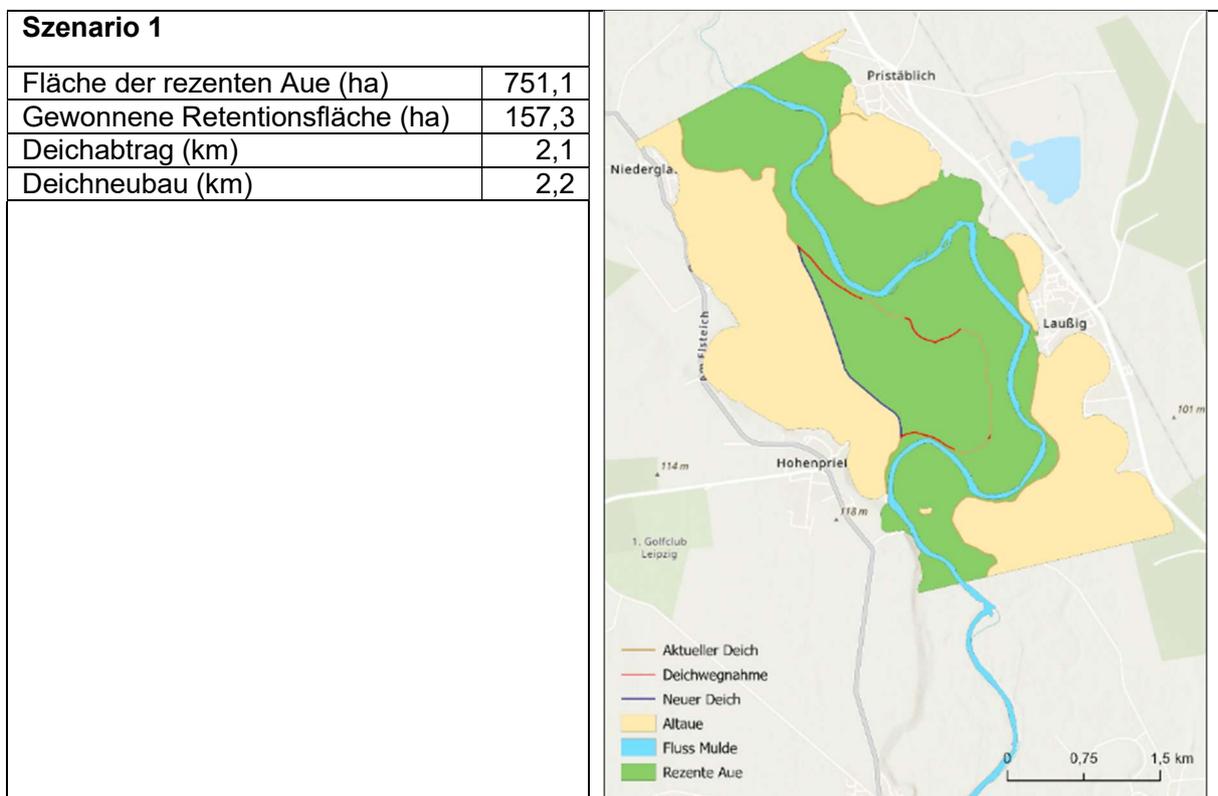


Abbildung 25: Deichlinien und -schlitzung sowie Auenflächen im Szenario 1.

Szenario 2:

In Szenario 2 wird die neue Deichlinie linksufrig erweitert und schließt dadurch auch einen Totarm bei Glaucha ein. Der bestehende Deich zwischen diesem Totarm und der Mulde wird auf einer Länge von insgesamt ca. 2,3 km abgetragen. Die Länge des linksufrigen neuen Deichs beträgt ca. 3,8 km. Zudem erfolgt am ersten rechtsufrigen Prallhang flussab von Gruna eine Deichrückverlegung, um auch hier eine größere Fläche überflutbare Fläche zu erhalten (ca. 88 ha, Abbildung 26). Der bestehende Deich wird auf ca. 1,8 km abgetragen. Die neuen rechtsseitigen Deiche schließen an das Hochufer an. Durch die Lage im Prallhangbereich ist bei entfernter Ufersicherung auch eine morphologische Redynamisierung möglich. Die geschätzten Kosten für Deichschlitzung und –neubau dieses Szenarios betragen 11,6 Mio. €.

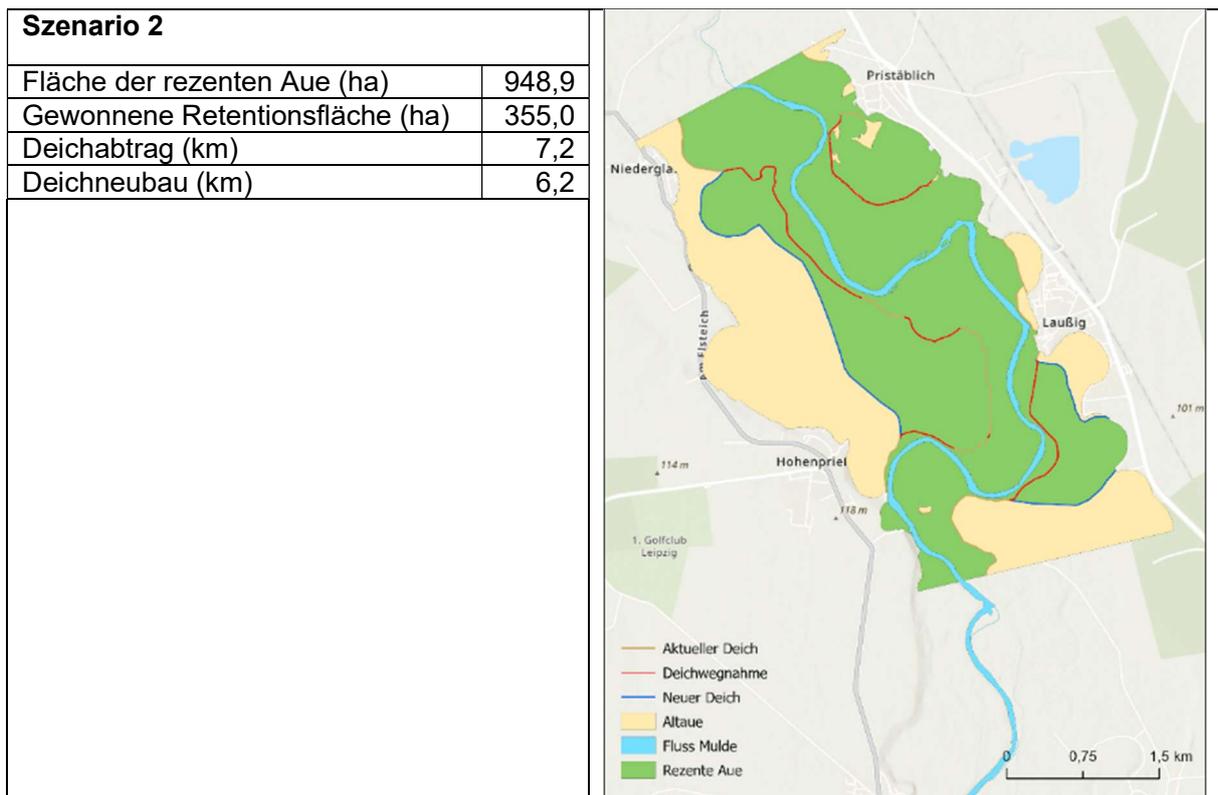


Abbildung 26: Deichlinien und -schlitzung sowie Auenflächen im Szenario 2.

Szenario 3:

In Szenario 3 werden linksufrig weite Teile der morphologischen Aue in die Deichrückverlegung einbezogen, wodurch ein deutlich verbesserter Hochwasserschutz erwartet wird. Insgesamt hat die rezente Aue in diesem Szenario eine Fläche von etwa 1.120 ha, was einer gewonnenen Retentionsfläche von 526 ha im Vergleich zum aktuellen Zustand entspricht. Aktuell abgeschnittenen Totarme werden durch die Maßnahme stärker wieder an das Überflutungsregime der Mulde angeschlossen. Durch diese Reaktivierung und die nun zur Verfügung stehenden Flächen können dabei sowohl neue und ökologisch wertvolle Lebensräume entstehen als auch die bisher bestehenden Lebensräume im und am Gewässer mit ihren auwaldtypischen Baum- und Pflanzenarten aufgewertet werden. Es müssen keine weiteren Deiche entfernt werden, als im Szenario 2 gezeigt. Die rechtsufrigen Erweiterungen der rezenten Aue flussab von Gruna entsprechen den Flächen des Szenarios 2. Die geschätzten Kosten für Deichschlitzung und –neubau dieses Szenarios betragen 13,3 Mio. €.

Generell besteht auch südlich von Gruna in der rechtsufrigen landwirtschaftlich genutzten Fläche zwischen Mörtitz und Gruna Potenzial für eine großflächige Deichrückverlegung.

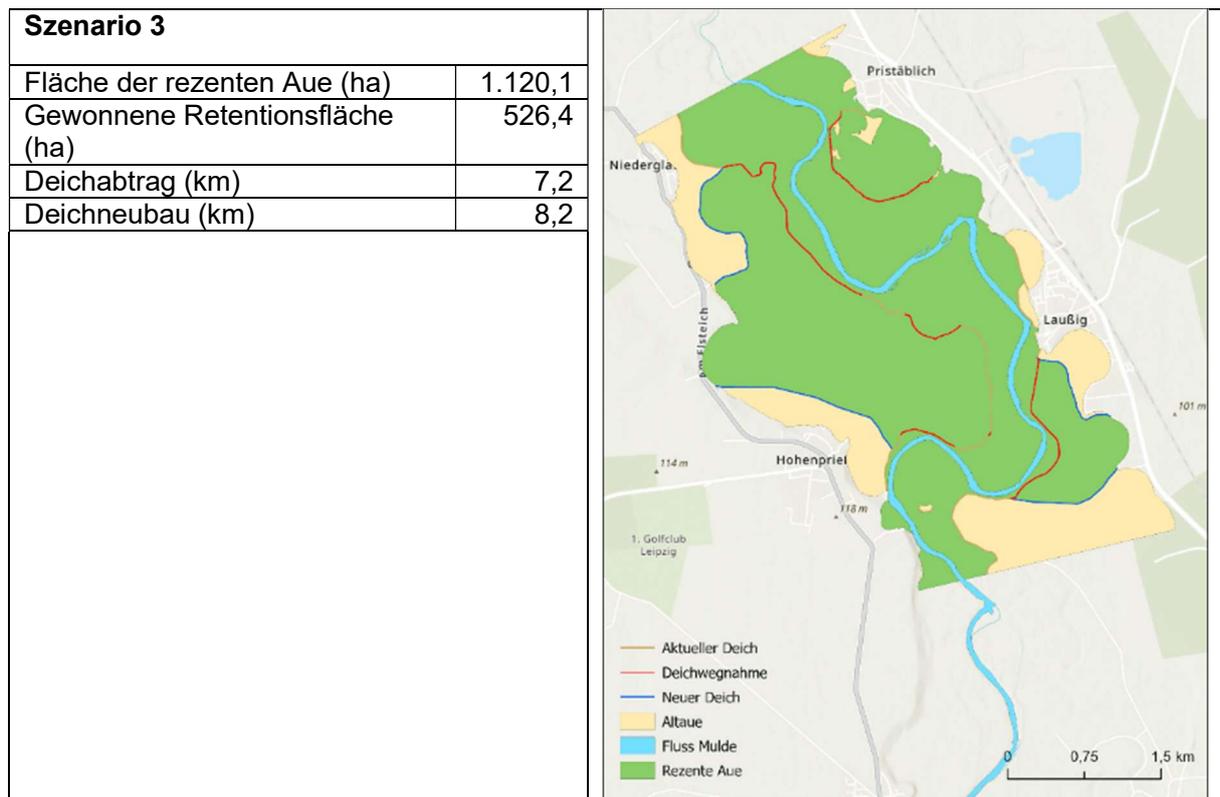


Abbildung 27: Deichlinien und -schlitzung sowie Auenflächen im Szenario 3.

3.3.2. Auwaldentwicklung im Projektgebiet

Aktuell nehmen Waldflächen im Projektgebiet nur 6,5% der morphologischen Aue und ca. 10% der rezenten Aue ein. Meist sind die Bestände kleinflächig und liegen beispielsweise als Galeriewald um bestehende Rinnenstrukturen (s. 3.2.2 Waldbestände im Projektgebiet).

Es wurden zwei Varianten für die Größe der Auwaldentwicklungsflächen erstellt, abhängig vom angestrebten Anteil der Waldflächen. Die erste Variante sieht eine Waldentwicklung auf 15% der rezenten Aue vor, dies entspräche einer zusätzlich zu entwickelnden Waldfläche von rund 47 ha im Szenario 1, 73 ha im Szenario 2 und 69 ha im Szenario 3 (Tabelle 16). Die zweite Variante mit 20% der rezenten Auenfläche führt zu einer Erweiterung der Wälder von ca. 82 ha im Szenario 1, 117 ha im Szenario 2 und 149 ha im Szenario 3.

Tabelle 16: Aktuelle und Entwicklungsfläche von Auwäldern im Projektgebiet.

DRV	SQ: Aktuelle Waldbedeckung (Auwaldfläche ca. 10%)			Variante A (Auwaldfläche 15%)		Variante B (Auwaldfläche 20%)	
	Waldfläche (ha)	Fläche rezenten Aue (ha)	Anteil rezenter Aue (%)	Waldfläche rezenten Aue (ha)	Entwicklungsfläche Wald (ha)	Waldfläche rezenter Aue (ha)	Entwicklungsfläche Wald (ha)
SQ	55,96	539,3	10,38	0	0	0	0
Sz1	57,43	697,29	8,24	104,59	47,17	139,46	82,03
Sz2	61,45	894,21	6,87	134,13	72,68	178,84	117,39
Sz3	63,96	1065,39	6,00	159,81	95,85	213,08	149,12

Abhängig von Geländehöhenklassen über dem Mittelwasserstand wurden drei verschiedene Waldtypen gewählt, um vergleichbare Flächen im Projektgebiet auszuweisen (zur Auwaldentwicklung vgl. Kapitel 2.6.2, Abbildung 28).

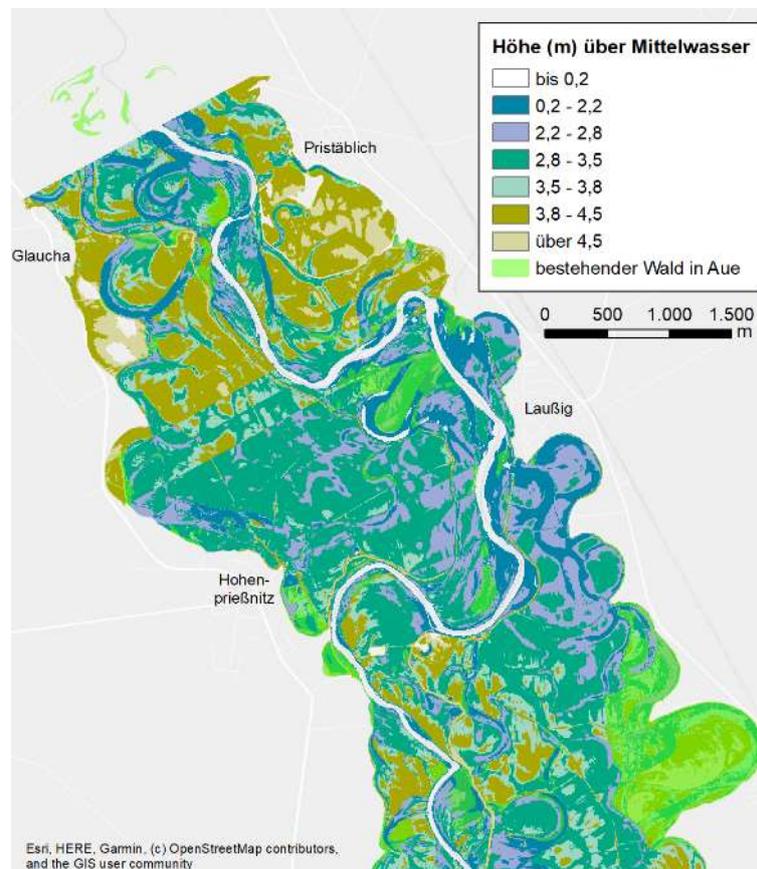


Abbildung 28: Geländehöhenklassen über dem Mittelwasserstand und bestehende Waldflächen.

Zudem sollen für eine ökologische Aufwertung der bestehenden Waldflächen die Fichtenforste im Zentrum des Projektgebiets gegenüber Laußig in die umgebenden Eichen-Mischwälder entwickelt werden (Kapitel 3.2.2). Die Fichten weisen ohnehin durch die trockenen Sommer 2018 und 2019 Trockenschäden auf bzw. sind flächig abgestorben (Abbildung 22).

Es wurden neben dem bestehenden Wald insgesamt elf weitere mögliche Waldbestandsflächen abgegrenzt, um die Zielgrößen der beiden Varianten zu erreichen (Tabelle 17). Zusätzlich wurden fünf ebenfalls als geeignet eingestufte Gebiete als „weitere Potenzialflächen“ ausgewählt.

Tabelle 17: Waldentwicklungsflächen für die beiden Zielgrößen in den drei Szenarienflächen.

Flächen-Nr.	Variante A (15%)	Variante B (15%)	Waldtyp	Fläche (ha)
1	bestehender Wald			223,4
2	Sz1	Sz1	tief	7,7
3	Sz1	Sz1	tief	20,1
4	Sz1	Sz1	mittel/hoch	20,1
5		Sz1	tief	17,2
6		Sz1	tief	3,3
7		Sz1	tief	9,9
8		Sz1	mittel	2,6
9	Sz2	Sz2	tief	7,4

Flächen-Nr.	Variante A (15%)	Variante B (15%)	Waldtyp	Fläche (ha)
10	Sz2	Sz2	mittel	16,8
11	Sz3	Sz3	mittel	26,3
12		Sz3	hoch	24,6
13	Weitere Potenzialfläche		mittel	14,5
14	Weitere Potenzialfläche		mittel	13,5
15	Weitere Potenzialfläche		mittel	14,5
16	Weitere Potenzialfläche		tief/mittel	5,3
17	Weitere Potenzialfläche		tief/mittel	12,9

Variante A: 15% Auwaldentwicklung in der rezenten Aue

Ausgehend von den Lage- und Eigentumskriterien wurden für die Variante A drei Waldflächen für das Szenario 1 ausgewählt. Diese umfassen Flächen im öffentlichen Eigentum am Gleithang westlich von Pristäblich, wodurch von einer guten Möglichkeit für Auwaldentwicklung ausgegangen wird. Eine zweite, tiefliegende Fläche flussab von Gruna wurde zur Erweiterung bestehender Waldflächen ebenfalls als prioritär eingestuft (Abbildung 29).

Für die rechtsufrige Deichrückverlegungsfläche von Szenario 2 wurde der Rand der morphologischen Aue als geeignet für Auwaldflächen eingestuft. Hier kann durch die unterschiedliche Geländehöhe randlich ein mittlerer und westlich angrenzend ein tiefer Auwald entwickelt werden.

Für Szenario 3 wurde eine mittlere Fläche im Norden des Projektgebiets mit alten Rinnen- und Mäanderstrukturen, die zum Teil in öffentlicher Hand liegt, für die Entwicklung von Hartholzauwald als geeignet eingestuft.

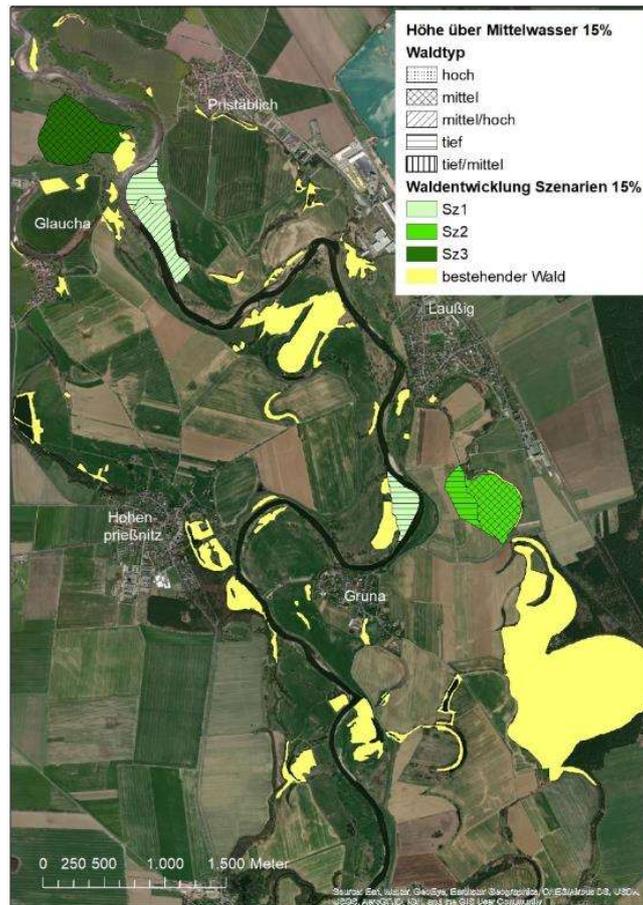


Abbildung 29: Mögliche Auwaldentwicklungsflächen in den drei Deichrückverlegungsszenarien mit insgesamt 15% Deckung der rezenten Auenfläche.

Variante B: 20% Auwaldentwicklung in der rezenten Aue

Für die größere Variante kommen einige geeignete Flächen entlang der Mulde zur potenziellen Auwaldentwicklung hinzu. In der Szenarienflechte 1 ist hierbei der tiefliegende Bereich bei Laußig für Weichholzauwaldentwicklung geeignet. Auch zwei an die von Variante A Szenario 3 angrenzende Flächen entlang der Mulde sind für Weichholzauwaldentwicklung geeignet (Abbildung 30).

Eine weitere Waldfläche auf hohen Standorten wäre im Bogen des Totarms bei Glaucha möglich. Die Fläche wird aktuell landwirtschaftlich genutzt. Die erhöhte Lage im Vergleich zum Mittelwasserstand deutet auf eine mögliche Entwicklung von Kiefernwäldern, vergleichbar zu der in der Vegetationsaufnahme erfassten Fläche, hin. Jedoch lässt die aktuelle landwirtschaftliche Nutzung bessere Böden vermuten. Für die genaue Planung müsste der Boden vor Ort begutachtet werden.

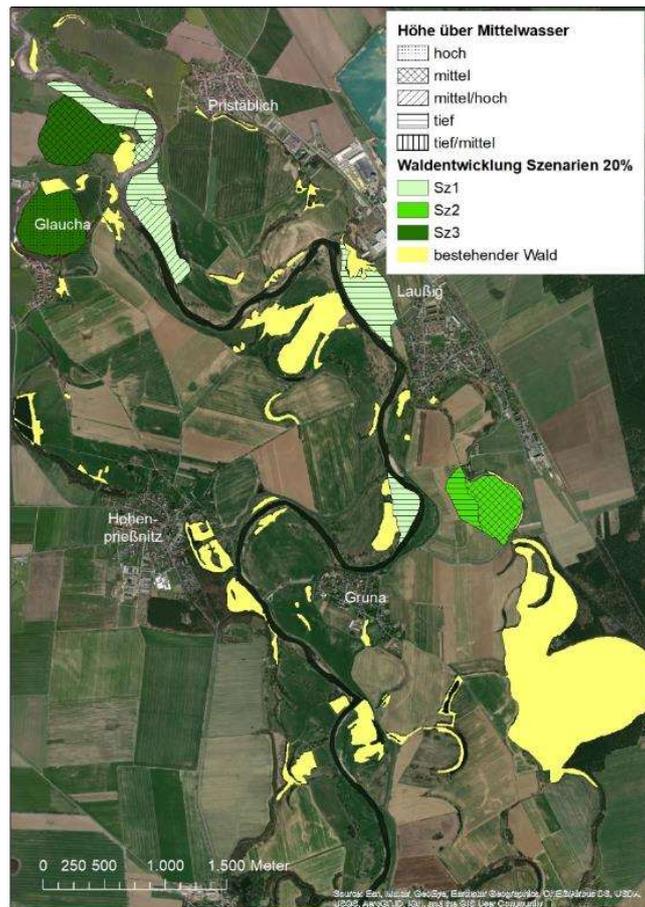


Abbildung 30: Mögliche Auwaldentwicklungsflächen in den drei Deichrückverlegungsszenarien mit insgesamt 20% Deckung der rezenten Auenfläche.

Weitere potenzielle Auwaldflächen im Projektgebiet könnten als Deichschutzwälder entlang der zurückverlegten Wälder verlaufen. Der mittlere Streifen könnte für Szenario 1 und 2 gewählt werden. Der weiter westlich verlaufende Streifen wäre anschließend an den Deich des Szenarios 3 (Abbildung 31).

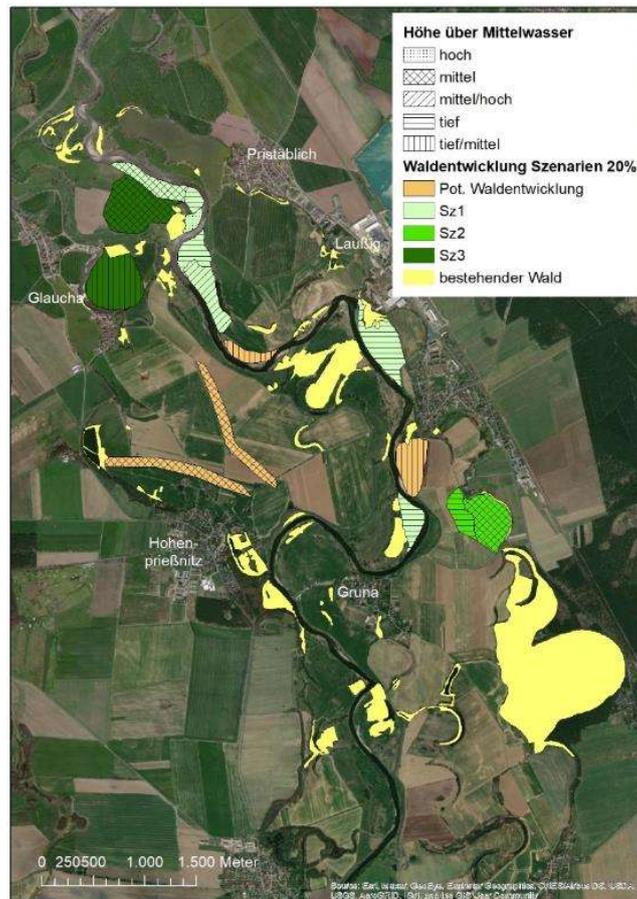


Abbildung 31: Weitere potenzielle Auwaldentwicklungsflächen im Projektgebiet.

Auwaldflächen als größerer Biotopverbund

An der Mulde gibt es aktuell zwischen Eilenburg und Bad Düben nur kleinflächige Waldbestände, die vor allem als Galeriewälder entlang von Rinnenstrukturen oder in ehemaligen Mäanderbögen liegen (Abbildung 32 links). Die Wälder weisen jedoch teilweise eine auentypische Artausstattung auf, wodurch im Gebiet neben einer direkten Pflanzung von Auwald auch eine indirekte Entstehung über ausgewiesene Sukzessionsflächen denkbar ist.

Die vorgeschlagene Entwicklung bzw. Vergrößerung der Waldflächen im Projektgebiet würde einerseits direkt durch die Schaffung von Waldflächen einen wertvollen Beitrag zur Förderung deutschlandweit gefährdeter Auwälder leisten (Brunotte et al. 2009), zumal in dem Gebiet ein großes Potenzial zur Wiederherstellung von Auwäldern besteht (Stegner 2011). Zum anderen würden sie einen Trittstein im regionalen Waldbiotopverbund darstellen, der die beiden größeren Waldgebiete westlich und östlich der Mulde verbindet (Abbildung 32 rechts). Für eine weitere ökologische Aufwertung werden im Biotopverbundkonzept der Erhalt bzw. die Schaffung naturnaher Biotope im Umfeld in einem mindestens 15-20 m (bei mesophilen Wäldern) bzw. 30-50 m (bei Feuchtwäldern) breiten, höchstens extensiv genutzten Saum als Entwicklungsziel vorgeschlagen (Stegner 2011).

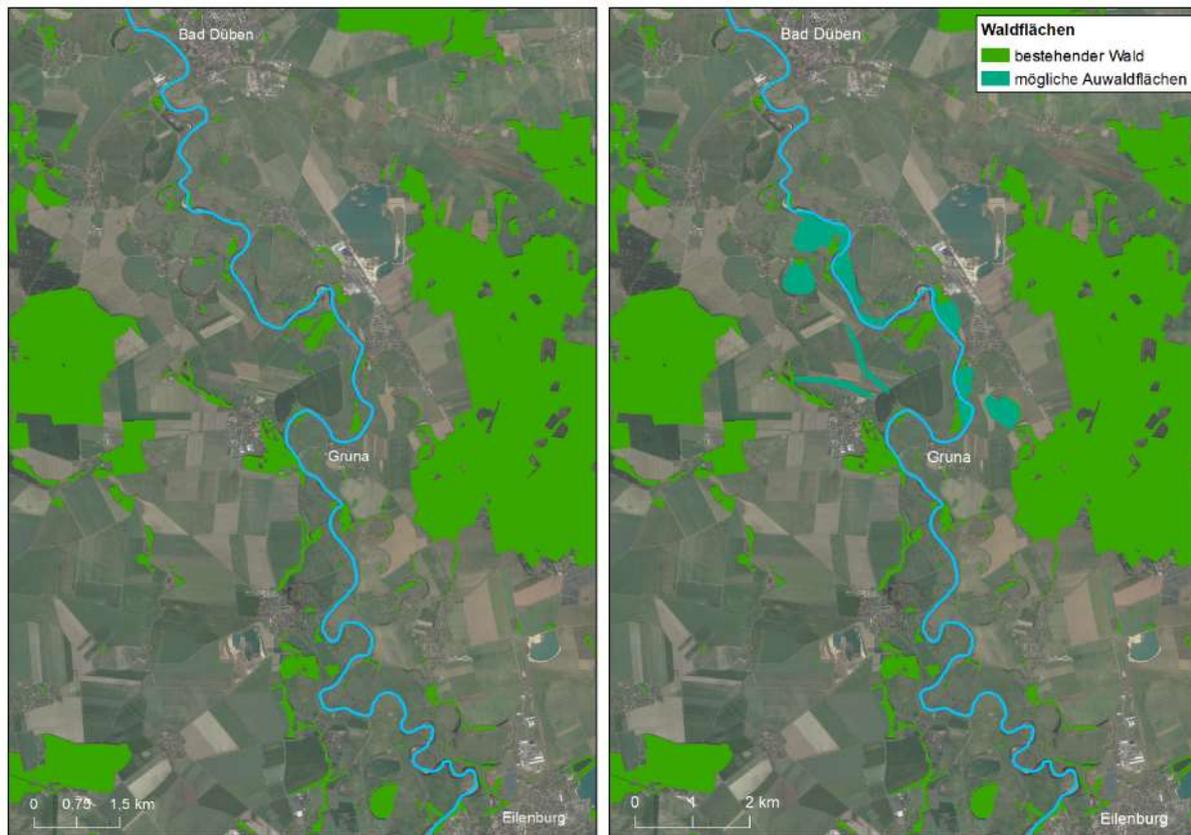


Abbildung 32: Bestehende Waldflächen (linke Abbildung) nach Landbedeckungsmodell) und mögliche Auwaldflächen mit Szenario 3 bei 20% Auwaldfläche der rezenten Aue (rechte Abbildung).

3.3.3. Kostenschätzung der Maßnahmenvarianten

Für die drei Deichrückverlegungsszenarien zur Implementierung eines Freien Pendelraums wurden die Kosten für die Deichrückverlegung und die Auwaldpflanzung eingeschätzt. Es wurden getrennte Kalkulationen für die beiden Auwaldvarianten mit 15% bzw. 20% aufgestellt (Tabelle 18, Tabelle 19). Die dargestellten Werte dienen einer Einschätzung des Kostenrahmens dieser Maßnahmenvarianten. Für eine Detailplanung müssen alle relevanten lokalen Faktoren berücksichtigt und eine genauere Kostenplanung erstellt werden.

Kosten für Variante A: 15% Auwaldentwicklung

In dieser Variante werden Weichholzauwälder auf tiefen Standorten, in der Kostenaufstellung repräsentiert durch die Schwarzerle, und Hartholzauwälder mittlerer Standorte, in der Kostenaufstellung repräsentiert durch die Stieleiche, gepflanzt. Hierfür wird neben den 250 Bäumen pro Hektar und der Lohnkosten für ihre Pflanzung auch ein Pauschalbetrag pro Hektar für die Vorbereitung der Flächen berücksichtigt (Tabelle 18). Den größten Posten in der Kostenaufstellung haben in allen drei Szenarien die Deichneubauten, gefolgt vom Abtrag der bestehenden Deiche. Die Gesamtkosten für die Szenarien betragen 3,94 Mio. € für Szenario 1, 11,73 Mio. € für Szenario 2 und 13,39 Mio. € für Szenario 3.

Tabelle 18: Kostenschätzung der Implementierung der drei Deichrückverlegungsszenarien und Auwaldpflanzung bei 15% Waldentwicklung in der rezenten Aue.

Szenario 1				
Position	Kalkulation	Preis (€)	Länge (m) oder Fläche (ha)	Kosten (€)
Deichabtrag	Preis pro m	750	2.130	1.597.500

Deichneubau	Preis pro m	1.000	2.240	2.240.000
Deichkosten				3.837.500
Schwarzerle	Preis pro Baum	1,58	27,8	10.981
Stieleiche	Preis pro Baum	1,91	20,1	9.598
Lohnkosten Pflanzung	Preis pro Baum	1,00	47,9	11.975
Kulturvorbereitung	Preis pro ha	1.500	47,9	71.850
Waldkosten				104.404
Gesamt				3.941.904

Szenario 2

Position	Kalkulation	Preis (€)	Länge (m) oder Fläche (ha)	Kosten (€)
Deichabtrag	Preis pro m	750	7.150	5.362.500
Deichneubau	Preis pro m	1.000	6.210	6.210.000
Deichkosten				11.572.500
Schwarzerle	Preis pro Baum	1,58	7,4	2.923
Stieleiche	Preis pro Baum	1,91	14,5	6.924
Lohnkosten Pflanzung	Preis pro Baum	1,00	21,9	5.475
Kulturvorbereitung	Preis pro ha	1.500	21,9	32.850
Waldkosten				48.172
Gesamt				11.725.076

Szenario 3

Position	Kalkulation	Preis (€)	Länge (m) oder Fläche (ha)	Kosten (€)
Deichabtrag	Preis pro m	750	8.180	6.135.000
Deichneubau	Preis pro m	1.000	7.150	7.150.000
Deichkosten				13.285.000
Stieleiche	Preis pro Baum	1,91	26,3	12.558
Lohnkosten Pflanzung	Preis pro Baum	1,00	26,3	6.575
Kulturvorbereitung	Preis pro ha	1.500	26,3	39.450
Waldkosten				106.755
Gesamt				13.391.755

Kosten für Variante B: 20% Auwaldentwicklung

In Variante B mit 20% Auwaldentwicklung wird neben den Wäldern auf tiefen und mittleren Standorten auch eine Waldfläche im Mäanderbogen des Totarms bei Glaucha als hoher Standort mit möglicher Pflanzung von Kiefern in Szenario 3 berücksichtigt (Tabelle 19). Die Deichkosten für Deichneubau und –abtrag sind identisch mit denen aus Variante A (Tabelle 18).

Durch die größeren Auwaldpflanzungen ergeben sich in dieser Variante Gesamtkosten von 4,01 Mio. € für Szenario 1, 11,80 Mio. € für Szenario 2 und 13,45 Mio. € für Szenario 3.

Tabelle 19: Kostenschätzung der Implementierung der drei Deichrückverlegungsszenarien und Auwaldpflanzung bei 20% Waldentwicklung in der rezenten Aue.

Szenario 1				
Position	Kalkulation	Preis (€)	Länge (m) oder Fläche (ha)	Kosten (€)
Deichabtrag	Preis pro m	750	2.130	1.597.500

Deichneubau	Preis pro m	1.000	2.240	2.240.000
Deichkosten				3.837.500
Schwarzerle	Preis pro Baum	1,58	58,2	22.989
Stieleiche	Preis pro Baum	1,91	22,7	10.839
Lohnkosten Pflanzung	Preis pro Baum	1,00	80,9	20.225
Kulturvorbereitung	Preis pro ha	1500	80,9	121.350
Waldkosten				175.403
Gesamtkosten				4.012.903

Szenario 2

Position	Kalkulation	Preis (€)	Länge (m) oder Fläche (ha)	Kosten (€)
Deichabtrag	Preis pro m	750	7.150	5.362.500
Deichneubau	Preis pro m	1.000	6.210	6.210.000
Deichkosten				11.572.500
Stieleiche	Preis pro Baum	1,91	16,8	8022
Schwarzerle	Preis pro Baum	1,58	7,4	2923
Lohnkosten Pflanzung	Preis pro Baum	1,00	24,2	6.050
Kulturvorbereitung	Preis pro ha	1500	24,2	36.300
Waldkosten				53.295
Gesamtkosten				11.801.198

Szenario 3

Position	Kalkulation	Preis (€)	Länge (m) oder Fläche (ha)	Kosten (€)
Deichabtrag	Preis pro m	750	8.180	6.135.000
Deichneubau	Preis pro m	1.000	7.150	7.150.000
Deichkosten				13.285.000
Stieleiche	Preis pro Baum	1,91	26,3	12.558
Waldkiefer	Preis pro Baum	0,67	26,4	4.422
Lohnkosten Pflanzung	Preis pro Baum	1,00	52,7	13.175
Kulturvorbereitung	Preis pro ha	1500	52,7	79.050
Waldkosten				109.205
Gesamtkosten				13.447.500

3.3.4. Risikoabschätzung

Im Projektgebiet sind besonders die Ortschaften Gruna und Glaucha durch ihre Lage in der morphologischen Aue bei Hochwasser gefährdet. Gruna wird durch die bestehenden Deiche aktuell bis etwa HQ50 vor Überflutung geschützt. Bei HQ100 und HQ200 ist wird fast die gesamte Ortschaft überflutet (Scholz et al. 2005a). Das Fährhaus Gruna ist aktuell durch einen Ringdeich bis HQ25 geschützt (Scholz et al. 2005a).

In Oberglaucha besteht aktuell ebenfalls ein HQ50-Schutz. Niederglaucha ist dagegen weitgehend vor Hochwasser geschützt. Für einen kleinen Teil der bebauten Fläche besteht lediglich ein HQ100- bzw. HQ200-Schutz (Scholz et al. 2005b). Für beide Teilorte ist die Zugänglichkeit für diese hohen Hochwasserjährlichkeiten jedoch eingeschränkt (Scholz et al. 2005b).

Durch die Umsetzung der Szenarien würde sich im Deichrückverlegungsgebiet der Wasserstand bei einem HQ25 um 58 cm (Szenario 2) bzw. 69 cm (Szenario 3) absenken, bei einem HW50 wären es 63 cm bzw. 73 cm und bei einem HQ100 69 cm bzw. 80 cm.

Die Berechnungen zeigen, dass die Maßnahmen jedenfalls zu einer Absenkung des Wasserspiegels bei Hochwasser führen. Welche Auswirkungen dies für die Hochwassersituation im Detail hat, muss mit einer 2D-Hydraulikmodellierung berechnet werden.

3.3.5. Vorlandrinnenanbindung

Obwohl sich bereits bei den aktuellen Deichverläufen einige Rinnen im Vorland befinden, sind diese bei Mittelwasserstand nicht an die Mulde angeschlossen, da der Flusslauf tiefer liegt als die Einströmbereiche der Rinnen. Die Altarme an der Mulde zwischen Gruna und Bad Düben sind häufig 3-4 m tief mit Auelehm gefüllt, der auch flächig in der Aue abgelagert ist (Stegner 2011). Dies ist beispielsweise bei der Totarmstruktur im Zentrum des Projektgebiets gegenüber Pristäblich mit den Waldgebieten im Mäanderbogen der Fall. Im Scheitel des Totarms steht dauerhaft Wasser, jedoch ist kein Austausch mit der Mulde möglich.

Drei Bereiche im Projektgebiet wurden als besonders geeignet für eine mögliche Wiederanbindung von Rinnen an die Muldedynamik herausgestellt (Nr. 1-3 in Abbildung 33). Zudem wurde auch ein Gebiet südlich von Gruna mit bestehenden Totarmen in landwirtschaftlichen Flächen als geeignet für eine dauerhafte Wiederanbindung ausgewählt (Nr. 4 in Abbildung 33).

Die tieferen Rinnen im Projektgebiet sind häufig wasserführend oder nass und lassen keine landwirtschaftliche Nutzung zu. Durch Verbreiterung der umgebenden Gehölzvegetation können die Strukturen weiter aufgewertet werden. Dies ist beispielsweise bei Gebiet 1 in Abbildung 33 der Fall. Die Rinne gelangt bereits bei Szenario 1 in die rezente Aue und würde bei Hochwasser den Abfluss in Richtung des Totarms und den im Werder liegenden Wäldern abführen. Da entlang des Totarms eine Deichschlitzung vorgesehen ist, kann das Wasser über diese Rinnenstruktur ablaufen. Die bestehenden Wälder können auch entlang der südlicheren Rinne ausgedehnt werden. Jedoch darf hierbei das abfließende Hochwasser nicht zurückgestaut werden.

In Gebiet 2 südwestlich von Pristäblich liegt aktuell ein Auegewässer, welches unterstromig an die Mulde angeschlossen ist. Wird dieses Gewässer auch oberstromig an die Mulde angebunden, werden auentypische, dynamische Prozesse ermöglicht.

Der Totarm bei Glaucha bietet ebenfalls Potenzial zur Wiederanbindung an die Mulde. Aktuell wird der Arm durch den von Süden kommenden Glauchaer Bach gespeist, der den Arm nördlich wieder verlässt und am Ende des Projektgebiets in die Mulde mündet. Die Ränder dieses ehemaligen Muldemäanders sind in der Verlandung begriffen. Durch die Deichrückverlegungen der Szenarien 2 und 3 fällt dieser Bereich wieder in die rezente Aue und kann beispielsweise als Rückzugsgebiet oder Laichplatz für Fische dienen.

Südlich von Gruna liegen ebenfalls einige tiefe Rinnenstrukturen, die durch die Deiche von der Hydrodynamik der Mulde getrennt wurden. Hier findet eine ackerbauliche Nutzung um die Rinnen herum statt, so dass meist nur schmale Waldstreifen entlang der wasserführenden Rinnen verbleiben. Für eine ökologische Aufwertung könnten die Rinnen angebunden und die nutzungsfreien Streifen verbreitert werden.

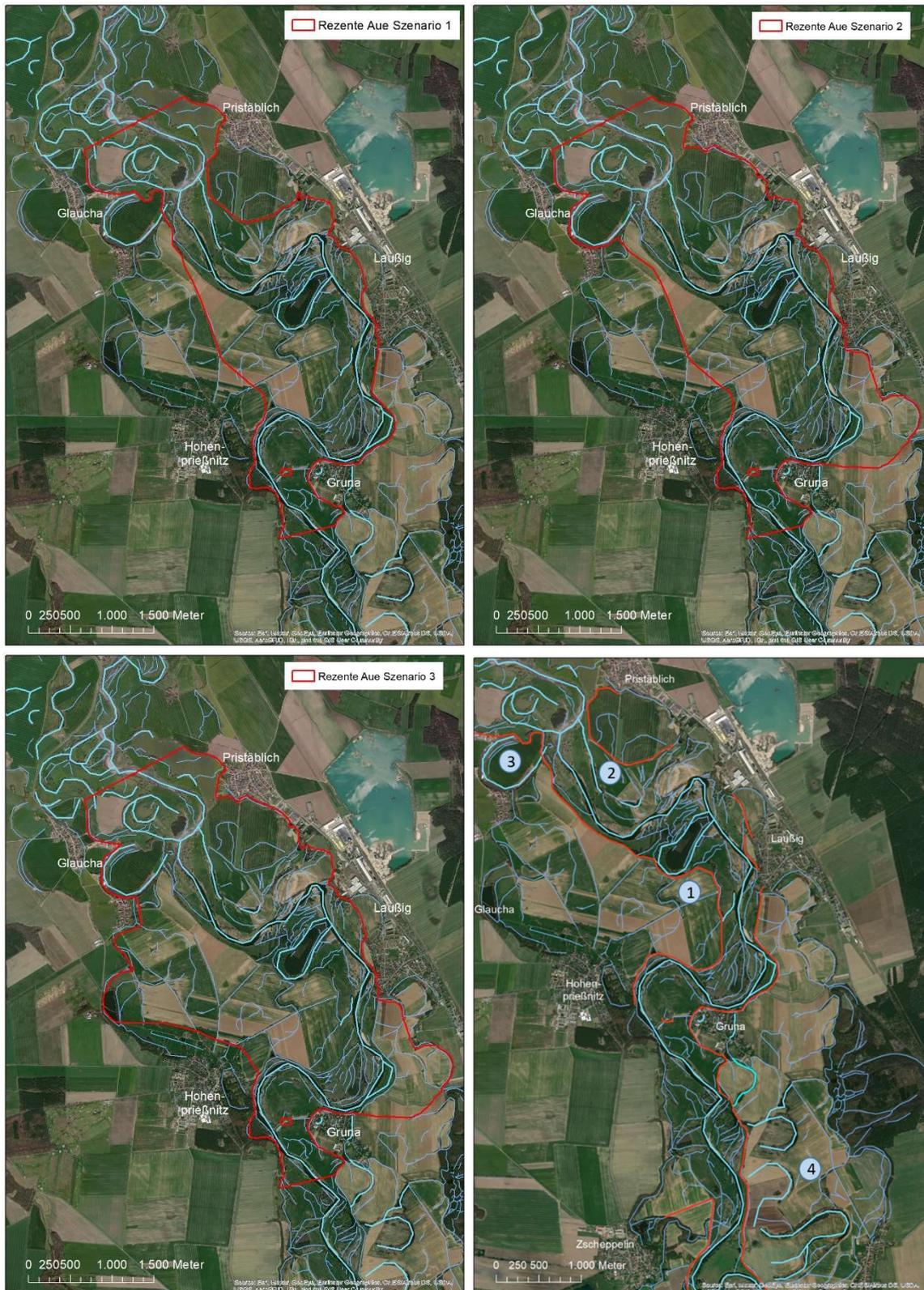


Abbildung 33: Bestehende größere Rinnenstrukturen in der Muldeaeue und ihre Lage in der rezenten Aue je nach Deichrückverlegungsszenario. Drei Bereiche im Projektgebiet und ein Bereich südlich des Projektgebiets wurden als besonders geeignet für eine mögliche Anbindung der Rinnen an die Muldedynamik eingeschätzt (unten rechts).

3.4. Stakeholder

Im Projektgebiet an der Mulde liegen zahlreiche, meist kleinere Ortschaften. Hohenprießnitz, Laußig und Pristäblich liegen dabei auf dem Hochufer, Gruna und Glaucha sind durch ihre flussnahe Lage jedoch stärker hochwassergefährdet. Die Verbesserung des Hochwasserschutzes ist daher ein hohes Anliegen in der Region, wie beispielsweise durch die Gründung der Bürgerinitiative „HQ100 Schutz für Glaucha“ verdeutlicht wird (<https://glauchahq100.wordpress.com>). Gleichzeitig hat die Bürgerbeteiligung in der Vorbereitungsphase des Lebendige Mulde Projekts gezeigt, dass die Unsicherheiten vor Veränderungen die Bevölkerung zum Teil davon abhalten, die Zustände vor Ort zu verändern, obwohl auch große Bedenken gegenüber dem bestehenden Hochwasserschutz bestehen. Verunsicherung besteht auch bezüglich des Wertverlusts der Flächen, die in der Altaue zum Großteil in landwirtschaftlicher Nutzung sind (Bürgerbeteiligung Sachsen 2020, siehe Kapitel 2.3.2). Hier ist weiterhin eine kontinuierliche Kommunikation zwischen den verschiedenen Interessensgruppen notwendig, um den Hochwasserschutz zu verbessern und die Maßnahmen auch mit ökologischen Aufwertungen zu kombinieren.

Ortsansässige Vereine, welche die Mulde nutzen, sind Angel- und Fischervereine mehrerer Ortschaften in der Nähe. Ausgewiesene Angelgewässer sind beispielsweise die Kiesgruben bei Laußig und Bad Düben nördlich des Projektgebiets (Landesverband Sächsischer Angler e. V. 2020). Bei den Angel- und weiteren Freizeittätigkeiten müssen die Vorgaben des Naturschutzes im Gebiet beachtet werden.

Für die Mulde im Projektgebiet zuständige Behörden sind das Landratsamt Nordsachsen in Bad Düben mit der Unteren Naturschutzbehörde, welche sich um die Einhaltung der naturschutzrechtlichen Auflagen im Gebiet kümmert. Die Untere Wasserbehörde ist verantwortlich für die wasserrechtlichen Belange sowie die Gewässerentwicklung und Gewässerrandstreifenregelungen. Die Flussmeisterei der Landestalsperrenverwaltung in Bad Düben überwacht die Gewässer erster Ordnung im Landkreis Nordsachsen, worunter auch die Mulde im Projektgebiet fällt, und unterhält Hochwasserschutzanlagen (Flussmeisterei Bad Düben o.J.).

3.5. Ergebnisse der hydraulischen Modellierung mit HEC-RAS

Für die im Sinne des Pendelraum-Konzeptes entwickelten Deichrückverlegungsszenarien wurden gemeinsam mit der Bearbeitung einer studentischen Abschlussarbeit die Wasserspiegellagen bei verschiedenen Abflussereignissen mit Hilfe des Flussanalysesystems HEC-RAS v. 5.0.7 ermittelt (Stuber 2020).

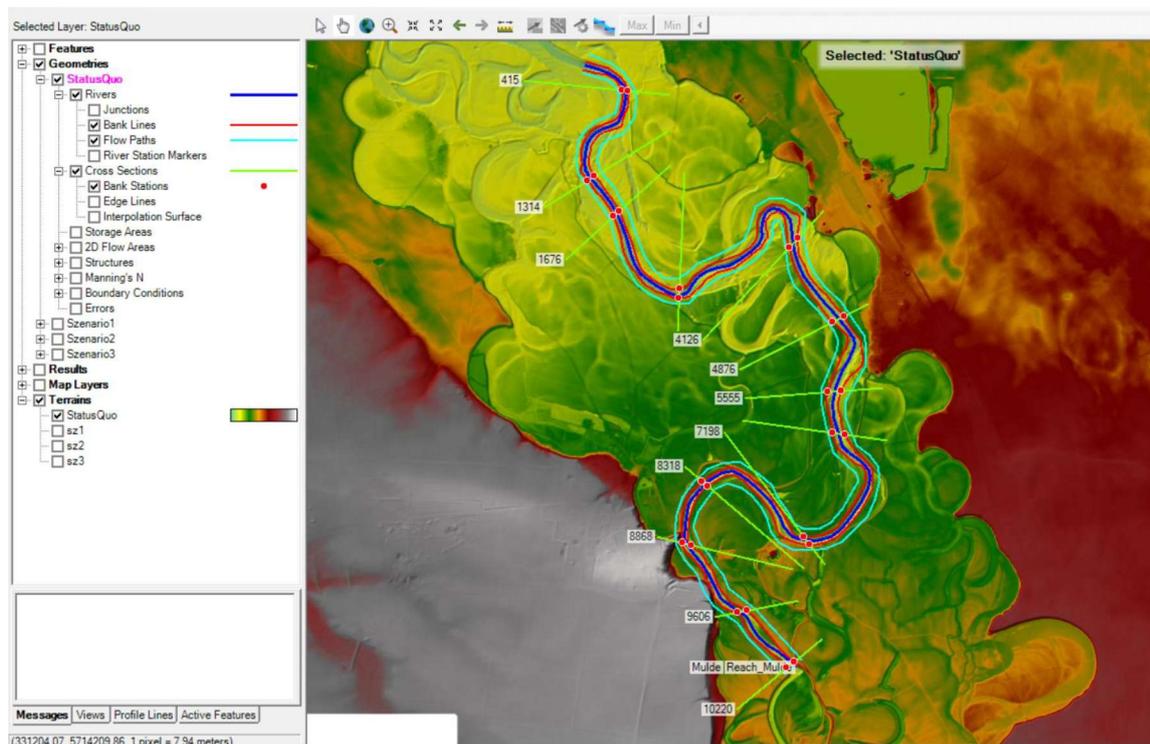


Abbildung 34: RAS Mapper mit Geometriedaten für den Status quo (Stuber 2020).

Die Berechnung erfolgte mit Hilfe eines stationären 1D-Modells, welches die Wasserspiegellagen für die Bereiche zwischen festgelegten Querprofilen errechnet. Diese wurden in Intervallen entlang des Flusses festgelegt. Dabei wurde darauf geachtet, dass strukturell auffällige Bereiche, wie Prallhänge oder Änderungen der Landnutzung und damit auch der Geländerauigkeit durch Transekte abgedeckt sind, um die Fließfähigkeit des Flusses und der angrenzenden Aue zu charakterisieren. Daran werden weitere Informationen zum Gerinne (Rauigkeit, Geländehöhen) angehängt. Die Software benötigt außerdem Geometrien zu Ufer- und Böschungslinie und den Gewässerfließpfad. In Abbildung 34 zu erkennen sind der Flusslauf (blau), die Böschungskanten (rot), der Fließpfad (türkis) sowie die nummerierten Querprofile (grün).

Die Zuordnung der Rauheitsbeiwerte für die Uferbereiche geschah auf Grundlage verfügbarer Biotopkartierungsdaten und des deutschen Landbedeckungsmodells (LBM-DE2018). Für den Fluss wurde ein n -Wert von 0,033 zugeteilt, da es sich bei der Mulde um ein natürliches Fließgewässer mit mäßigem Geschiebetrieb handelt.

Zur Berechnung der Wasserspiegellagen wurde für die Mulde ein strömendes Abflussregime (subcritical) angegeben.

Die für die Szenarien festgelegten Abflussmengen entsprechen den gewässerkundlichen Hauptwerten des Pegels (Tabelle 20) in Bad Dübener. Dieser ist der nächstgelegene Pegel zu Gruna (Laußig) und es existieren weder im Bereich des Projektgebietes noch im folgenden Flussabschnitt bis zur Pegelmessstelle Querverbauungen oder größere Zu- und Abflüsse.

Tabelle 20: Hauptwerte zum Abfluss am Pegel Bad Dübener.

	MHQ	HQ25	HQ50	HQ100	HHQ
Abfluss	484	1100	1390	1730	2200

Für den Status quo ergaben sich die in Tabelle 21 notierten Wasserspiegellagen im Bereich der an das Überflutungsregime angeschlossenen rezenten Aue.

Tabelle 21: Errechnete Wasserspiegellagen (m ü. NN) für den Status quo (Stuber 2020).

Nr. Querprofil	MHQ	HQ25	HQ50	HQ100	HHQ
10220	93.69	94.88	95.22	95.56	95.91
9606	93.45	94.58	94.88	95.2	95.5
8868	93.23	94.27	94.54	94.79	95.08
8318	92.82	94.07	94.37	94.64	94.93
7198	92.03	93.5	93.81	94.08	94.4
5913	91.45	92.85	93.2	93.52	93.88
5555	91.35	92.77	93.12	93.43	93.79
4876	91.04	92.26	92.55	92.82	93.14
4126	90.85	92.08	92.34	92.59	92.88
2588	90.01	91.17	91.47	91.86	92.11
1676	89.55	90.51	90.78	91.06	91.39
1314	89.34	90.18	90.44	90.69	91.01
415	88.92	89.74	89.99	90.25	90.57

3.5.1. Szenario 1

Für das erste Szenario ist eine linksufrige Deichrückverlegung vorgesehen (s. Kapitel 2.6.1). Da sich in diesem Bereich die Strömungsrichtung im Hochwasserfall ändert, mussten die Querprofile im mittleren Bereich des Projektgebietes angepasst werden (Abbildung 35).

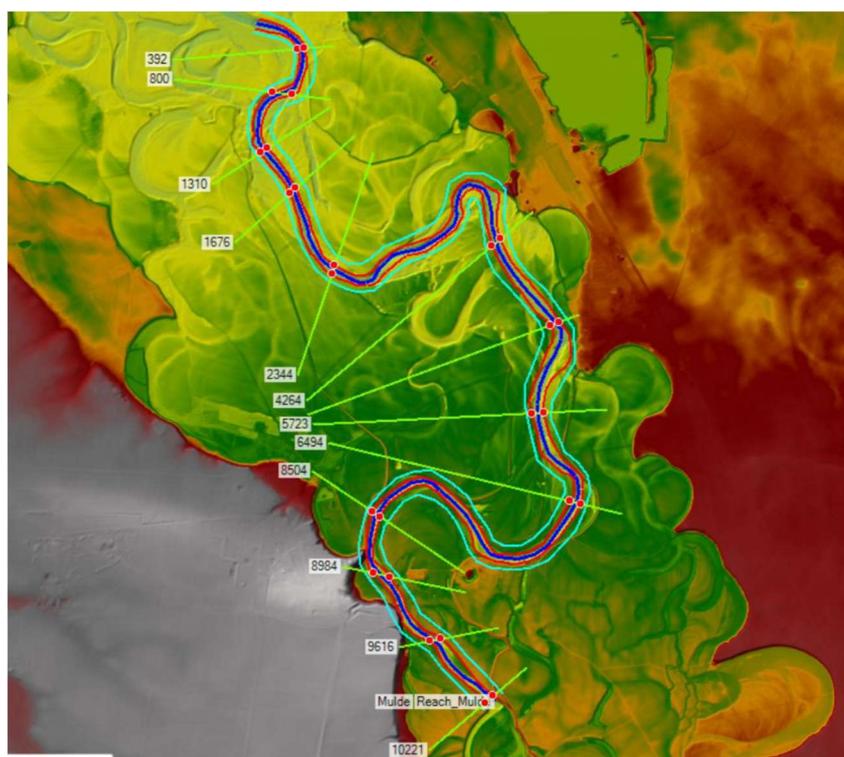


Abbildung 35: Geometriedaten für Szenario 1 (Stuber 2020).

Im Mittel liegen die errechneten Wasserspiegellagen für das erste Szenario im Bereich der Deichrückverlegung (Querprofile 6494 bis 4264) um etwa 20 cm unter denen des Status quo (Tabelle 22). Die Rückverlegungsvariante zeigt schon bei mittleren Hochwasserabflüssen eine Wirkung, da die angeschlossenen Bereiche zu einer Absenkung des Wasserspiegels führen. Außerdem können sich durch die häufigere Überflutung auentypische Lebensräume entwickeln.

Tabelle 22: Errechnete Wasserspiegellagen (m ü. NN) für Szenario 1 (Stuber 2020).

Nr.	MHQ	HQ25	HQ50	HQ100	HHQ
10221	93.65	94.88	95.18	95.48	95.84
9616	93.37	94.53	94.81	95.08	95.41
8984	93.28	94.39	94.64	94.88	95.17
8504	93.02	94.19	94.45	94.7	94.99
6494	91.78	93.3	93.57	93.82	94.06
5723	91.3	92.93	93.3	93.58	93.82
5012	90.88	92.09	92.41	92.79	93.14
4264	90.69	91.99	92.33	92.63	92.92
2344	89.85	90.98	91.36	91.67	91.97
1676	89.62	90.62	90.91	91.2	91.54
1310	89.42	90.39	90.66	90.93	91.25
800	89.26	90.18	90.42	90.66	90.95
392	89.07	90	90.24	90.48	90.77

3.5.2. Szenario 2

Durch den Wiederanschluss größerer Auenbereiche zum Überflutungsregime ändert sich auch in Szenario 2 im Hochwasserfall die Hauptstromrichtung in erheblichem Maße. Die Querprofile mussten entsprechend angepasst werden, sie folgen nun fast wieder der Orientierung der morphologischen Aue (Abbildung 36). Bedingt durch die Ausrichtung der Querprofile und die starken Flusswindungen im Süden des Projektgebiets beinhaltet der Abstand zwischen den Profilen 9601 und 5550 einen sehr großen Flussabschnitt.

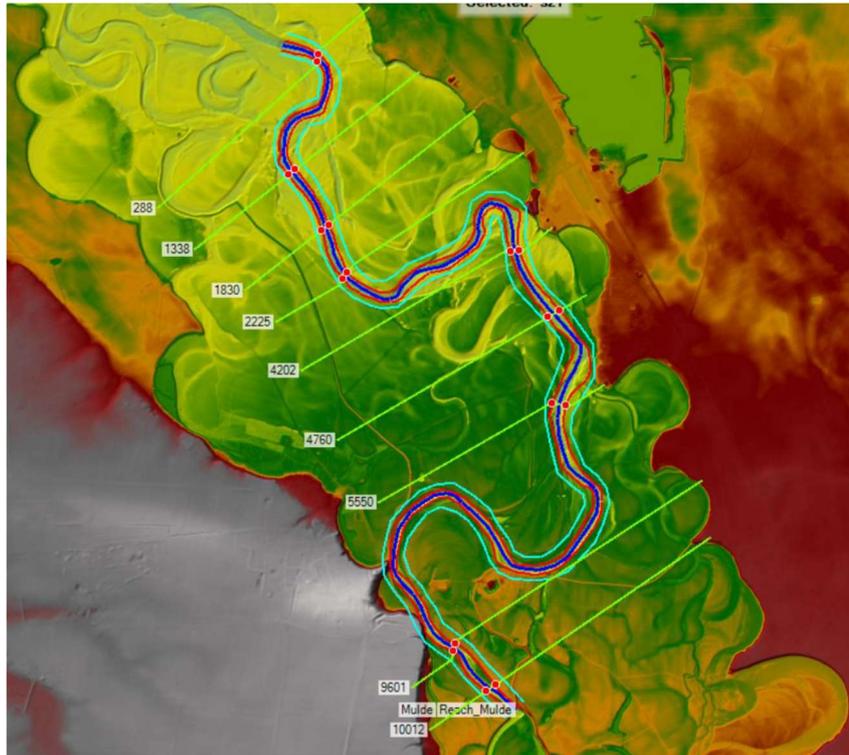


Abbildung 36: Geometriedaten für Szenario 2 (Stuber 2020).

Für Szenario 2, in dem sowohl links- als auch rechtsseitige Deichrückverlegungen angenommen werden, sinken die errechneten Wasserspiegellagen für ein MHQ im Mittel um 41 cm, für ein HQ25 um 58 cm, für ein HQ50 um 63 cm, für ein HQ100 um 69 cm und für ein HHQ um 75 cm im Vergleich zum Status quo (Tabelle 23).

Tabelle 23: Errechnete Wasserspiegellagen (m ü. NN) für Szenario 2 (Stuber 2020).

Nr.	MHQ	HQ25	HQ50	HQ100	HHQ
10012	93.19	94.05	94.3	94.53	94.8
9601	93	93.95	94.21	94.45	94.72
5550	91.5	92.66	92.94	93.19	93.49
4760	91.16	92.28	92.53	92.75	93.02
4202	90.94	92.09	92.33	92.52	92.77
2225	89.95	91.01	91.31	91.59	91.82
1830	89.83	90.73	90.95	91.2	91.47
1338	89.71	90.59	90.8	91.02	91.25
288	89.3	90.17	90.37	90.57	90.78

3.5.3. Szenario 3

In Szenario 3 entspricht die äußere Begrenzung des Betrachtungsraumes nahezu der morphologischen Aue. Nur wenige, zum Schutz von Siedlungen ausgesparte Bereiche, fließen nicht in die Szenarienberechnung mit ein. Die Querprofile sind entsprechend entlang der Hochufer orientiert (Abbildung 37).

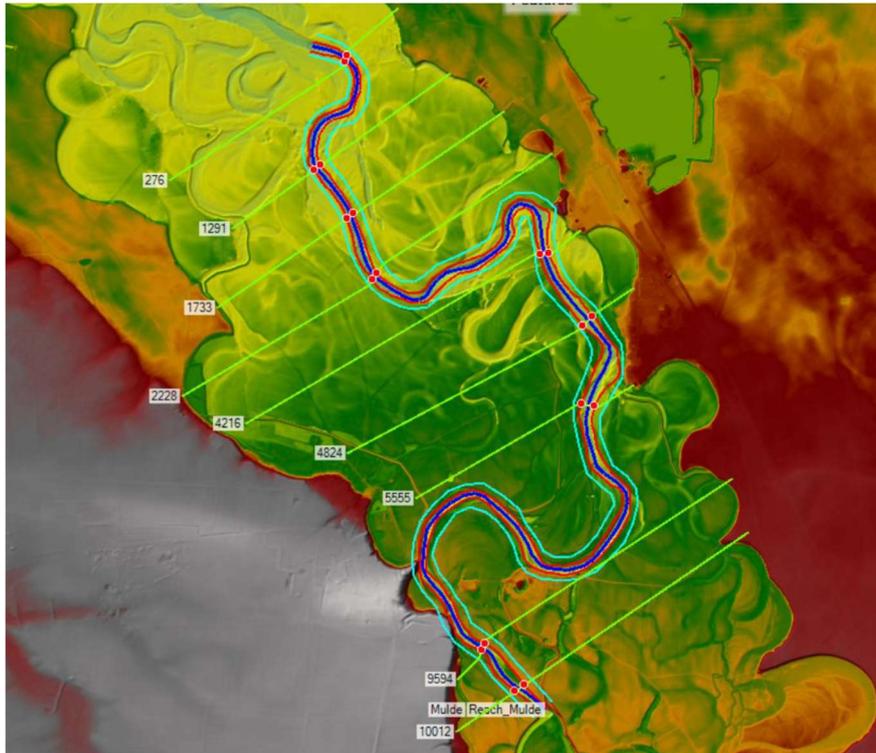


Abbildung 37: Geometriedaten für Szenario 3 (Stuber 2020).

Die errechneten Wasserspiegellagen für dieses Maximalszenario sinken für ein MHQ im Mittel um 47 cm, für ein HQ25 um 69 cm, für ein HQ50 um 73 cm, für ein HQ100 um 80 cm und für ein HHQ um 87 cm im Vergleich zum Status quo.

Tabelle 24: Errechnete Wasserspiegellagen (m ü. NN) für Szenario 3 (Stuber 2020).

Nr.	MHQ	HQ25	HQ50	HQ100	HHQ
10012	93.22	94.04	94.29	94.54	94.79
9594	93.05	93.95	94.21	94.46	94.72
5555	91.43	92.69	92.98	93.23	93.49
4824	91.16	92.28	92.52	92.74	92.97
4216	90.94	92.08	92.31	92.49	92.67
2228	89.91	90.93	91.22	91.44	91.69
1733	89.69	90.51	90.78	91.02	91.32
1291	89.54	90.28	90.51	90.72	90.97
276	89.12	89.82	90.03	90.23	90.45

Der geschwungene Muldelauf im Projektgebiet erschwert die hydraulische Modellierung, da die Positionierung der Querprofile daran angepasst werden muss. Die Ergebnisse der einzelnen Wasserspiegellagen im Status quo sowie in Szenario 1 können als plausibel eingeschätzt werden, da die Querprofile entlang der Flussgeometrie gelegt werden konnten. Für die Szenarien 2 und 3 ist eine Einschätzung der Modellergebnisse aufgrund der durch die Schlingen der Mulde bedingten Querprofilpositionierung mit größeren Unsicherheiten behaftet.

3.6. River Ecosystem Service Index (RESI)

Für die drei Maßnahmenvarianten für Deichrückverlegungen wurde der River Ecosystem Service Index (RESI) für drei Ökosystemdienstleistungen angewendet, um die Veränderungen durch eine Anwendung des Freien Pendelraum-Konzepts darzustellen. Aktuell finden im

Süden des Projektgebiets lediglich gewässernah dynamische fluviale Prozesse wie Erosion und Sedimentation statt. Großflächige Ausuferungen mit Überschwemmungen von Au(wald)flächen sind durch die am Gewässer verlaufenden Deiche nicht möglich. Wie bei den beschriebenen Maßnahmenvarianten (s. Kapitel 3.3.1) wurde eine Schlitzung bestehender Deiche und z.T. eine Entfernung der Ufersicherungen angenommen, um die Überflutungshäufigkeit der dahinterliegenden Fläche zu erhöhen und Seitenerosion zu ermöglichen. Letztere wird vor allem in den Prallhangbereichen auftreten, die Uferstrukturierung erhöhen und neue Kiesflächen schaffen, wie sie im Norden des Projektgebiets und südlich davon bereits vorhanden sind.

Für die Abschätzung der potentiellen Veränderungen des Gebietes durch diese Maßnahme wird der River Ecosystem Service Index (RESI) anhand der drei regulativen Ökosystemleistungen Hochwasserregulation, Sedimentregulation und Habitatbereitstellung dargestellt.

3.6.1. Hochwasserregulation

Die Hochwasserregulation des RESI bewertet den Verlust des rezenten Auenvolumens aufgrund der Verkleinerung der rezenten Aue durch Deichbau. Eine gute Bewertung bedeutet einen geringen Verlust von überschwemmbareren Auenflächen.

Im Status quo (Abbildung 38 oben links) wird deutlich, dass nur wenige Segmente im Projektgebiet eine gute Bewertung erhalten, d.h. einen geringen Verlust von Überschwemmungsflächen aufweisen. Die meisten Abschnitte haben lediglich eine mittlere Hochwasserregulation.

Bereits durch Umsetzung des ersten Szenarios mit einer zusätzlichen Überflutungsfläche von 157 ha verbessert sich die Hochwasserregulation deutlich. Die meisten Segmente weisen eine gute Hochwasserregulation auf (Abbildung 38 oben rechts).





Abbildung 38: Status quo (oben links) und die Hochwasserregulation des RESI der drei Szenarien im Projektgebiet. Eine gute Bewertung bedeutet einen geringen Verlust des rezenten Auenvolumens.

Verschiebt man, wie in Szenario 2 und 3 vorgesehen, auch rechtsufrig den Deich zwischen Gruna und Laußig, werden auch im Süden des Projektgebiets deutliche Verbesserungen der Hochwasserregulation erzielt (sehr hohe Bewertung, Abbildung 38 unten).

3.6.2. Sedimentregulation

Die Sedimentregulation ist im Projektgebiet aktuell als mittel zu bewerten (Abbildung 39 oben rechts). Es gibt keine Ausleitungen oder Querbauwerke im Gebiet, die die Transportkapazität einschränken oder die Sedimentdurchgängigkeit unterbinden. Jedoch ist die der Berechnung zugrundeliegende Fließgewässerstrukturgütekartierung vor allem bei den Parametern Laufkrümmung und Uferverbau über längere Strecken nur mäßig.

Durch die Deichrückverlegungen wird für diese Parameter eine Verbesserung angenommen, da durch Entfernung der gewässernah verlaufenden Deiche und bestehender Ufersicherungen strukturreichere Ufer und auch eine verbesserte Laufkrümmung erwartet wird. An den entscherten Ufern kann es im Prallhangbereich zu Erosion und im Gleithang zu Sedimentation kommen. Die Verbesserungen zeigen sich am aktuell gesicherten Prallhang zwischen Hohenprießnitz und Gruna und in den nördlicheren Bereichen bei Glaucha, in denen die Deiche ebenfalls entfernt werden. In Szenario 2 wirkt sich die rechtsufrige Deichrückverlegung mit Uferentsicherung flussab von Gruna ebenfalls positiv auf die Sedimentregulation aus. Da Szenario 3 eine weitere Vergrößerung der linksufrigen rezenten Auenfläche, aber keine gewässernahen Veränderungen bedeutet, sind für diese Ökosystemleistungen keine Unterschiede zwischen Szenario 2 und 3 festzustellen (Abbildung 39 unten).



Abbildung 39: Status quo (oben links) und die Sedimentregulation des RESI der Szenarien im Projektgebiet.

3.6.3. Habitatbereitstellung

Die Bewertung dieser Ökosystemleistung beruht auf der Biotopausstattung im Projektgebiet und ihrer Habitatqualität als auetypische Lebensräume. Aktuell führt die Landbedeckung von vorwiegend Ackerflächen in der Altaue (orangene Flächen in Abbildung 40 links) zu einer sehr

geringen Habitatbereitstellung (Abbildung 40 rechts). Die rezente Aue wird aktuell vor allem durch Grünland und zu kleineren Teilen durch Wald bedeckt. Letztere führen zu einer hohen bis sehr hohen Bewertung, mit Ausnahme der Nadelforste im Zentrum des Projektgebiets.

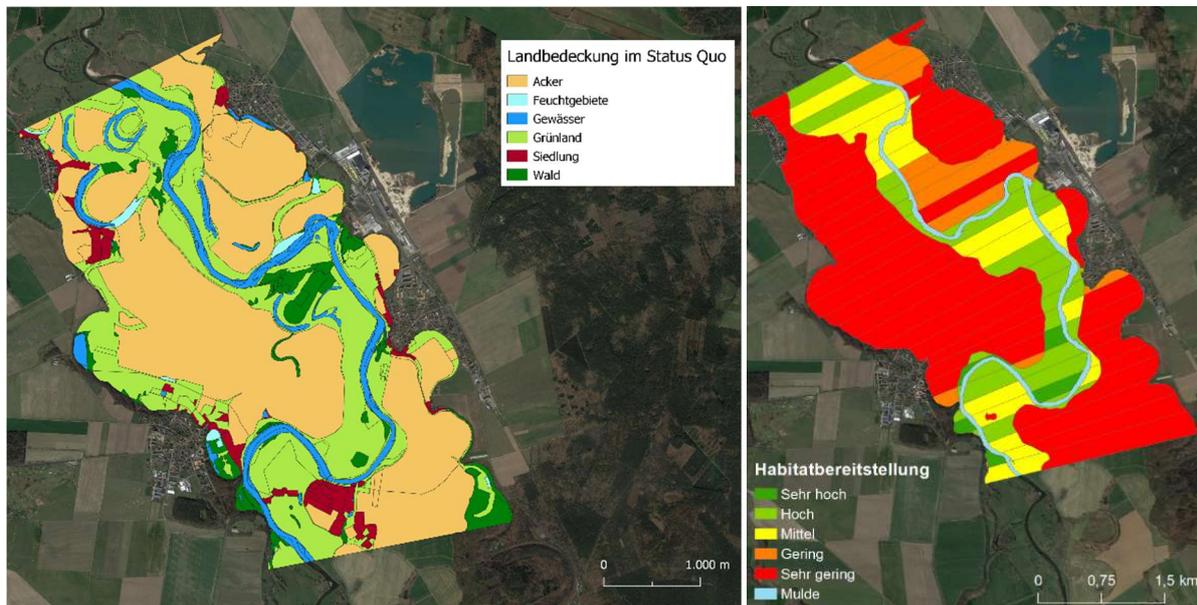


Abbildung 40: Aktuelle Landbedeckung im Projektgebiet (links) und die berechnete Habitatbereitstellung (rechts).

Die Habitatbereitstellung in den Szenarien ist unter anderem abhängig von der Größe der entwickelten Auwaldflächen, da diese einen wertvoller Biototyp darstellen. Daher wurde die Berechnung für die beiden Varianten A und B mit 15% bzw. 20% Auwald in der rezenten Aue getrennt voneinander durchgeführt.

Habitatbereitstellung bei 15% Auwaldentwicklung in der rezenten Aue

Die Bewertung der Altauenflächen bleibt in den Szenarien gleichbleibend gering bis sehr gering, da keine Nutzungsänderung der Ackerflächen angenommen wird. In der rezenten Aue

wurden alle Äcker in Grünland umgewandelt. Hinzu kamen anteilig die Auwaldflächen für die einzelnen Szenarien, wie in Kapitel 3.3.2 beschrieben (Abbildung 41).

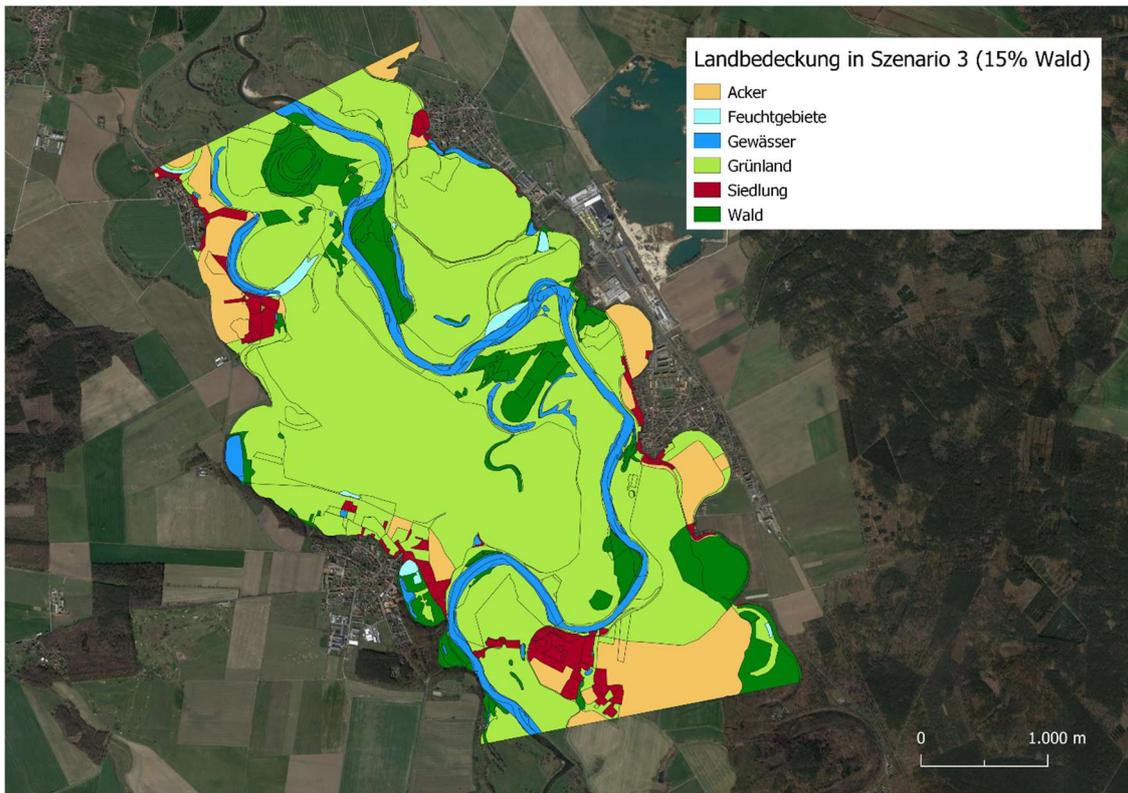


Abbildung 41: Landbedeckung im Szenario 3 mit 15% Auwaldentwicklung in der rezenten Aue.

In Szenario 1 führt die Auwaldentwicklung rechtsufrig bei Pristäblich zu einer sehr hohen Habitatbereitstellungsbewertung (Abbildung 42 oben rechts). In Szenario 3 führt die Auwaldentwicklung im Norden des Projektgebiets nördlich Glaucha ebenfalls zu einer sehr hohen Bewertung. Die weiteren Verbesserungen durch Auwaldentwicklung sind in den Karten nicht so deutlich zu erkennen, da durch die Vergrößerung der rezenten Aue zusätzlich große in Grünland umgewandelte Ackerbereiche mit in die Bewertung eingehen. Diese werden zwar besser bewertet (mittel) als die ursprünglichen Ackerflächen, werten aber insgesamt die rezenten Auenkompartimente etwas ab. Dieser Effekt ist beispielsweise bei der Waldfläche bei Pristäblich sichtbar. Die Segmente werden in Szenario 1 sehr hoch bewertet, in den Folgeszenarien hoch. Ehemals in der Altaue gelegene naturnahe und auentypische Biotope werden aufgrund des angepassten Überflutungsregimes außerdem etwas aufgewertet.

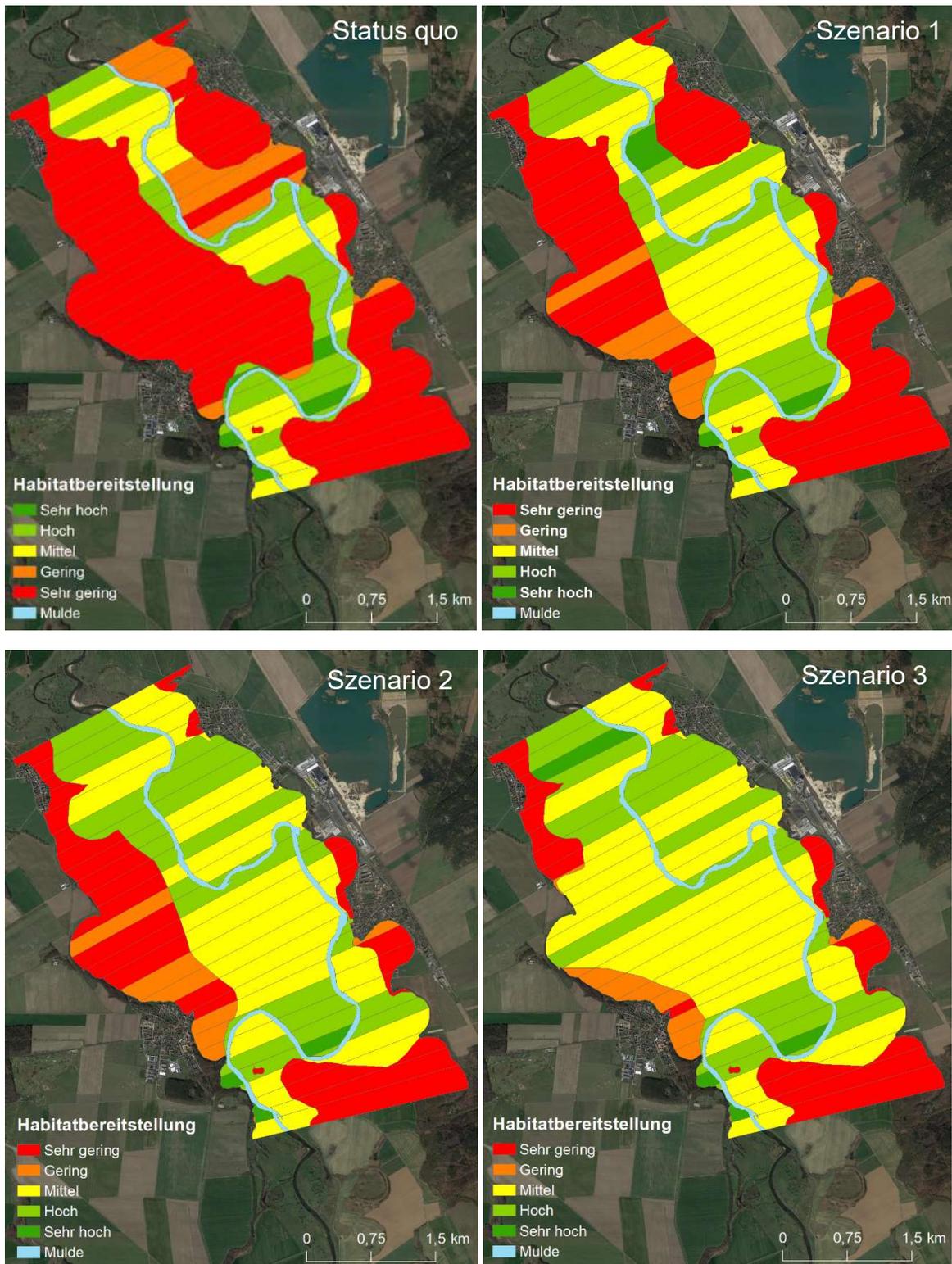


Abbildung 42: Der Habitatwert im Status quo (oben links) und in den drei Deichrückverlegungs-Szenarien mit angenommener Auwaldentwicklung von 15% der rezenten Auenfläche.

Habitatbereitstellung bei 20% Auwaldentwicklung in der rezenten Aue

In dieser Variante kommen weitere Auwaldflächen in der rezenten Aue hinzu (Abbildung 43).

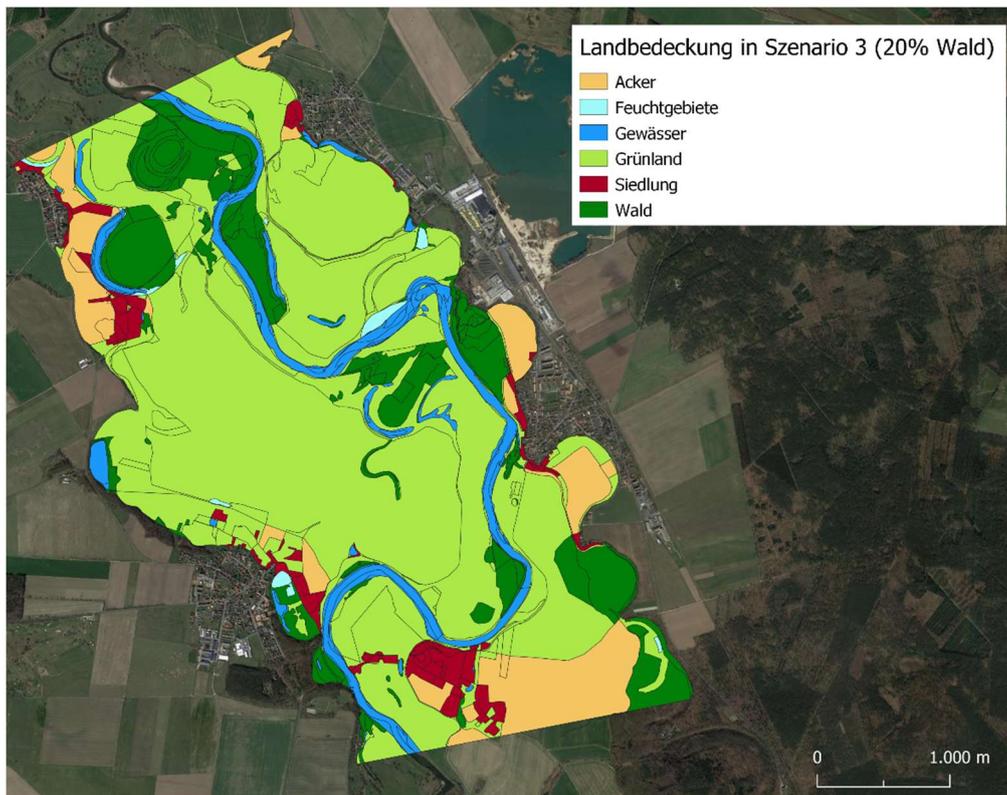


Abbildung 43: Landbedeckung im Szenario 3 mit 20% Auwaldentwicklung in der rezenten Aue.

Auch hier bleibt die Bewertung der Altauenflächen unverändert gering bis sehr gering, da nur in der rezenten Aue Landbedeckungsänderungen angenommen werden.

In Szenario 1 werden im Gegensatz zur Variante mit geringerer Auwaldentwicklung auch Segmente rechtsufrig bei Laußig bereits mit einer sehr hohen Habitatbereitstellung bewertet, da die Weichholzaualdflächen wertvolle Biotope darstellen (Abbildung 44). In den Szenarien 2 und 3 führen die größeren Auwaldflächen ebenfalls zu Änderungen einzelner Segmente, die sich meist um eine RESI-Klasse verbessern, wie beispielsweise östlich von Glaucha.

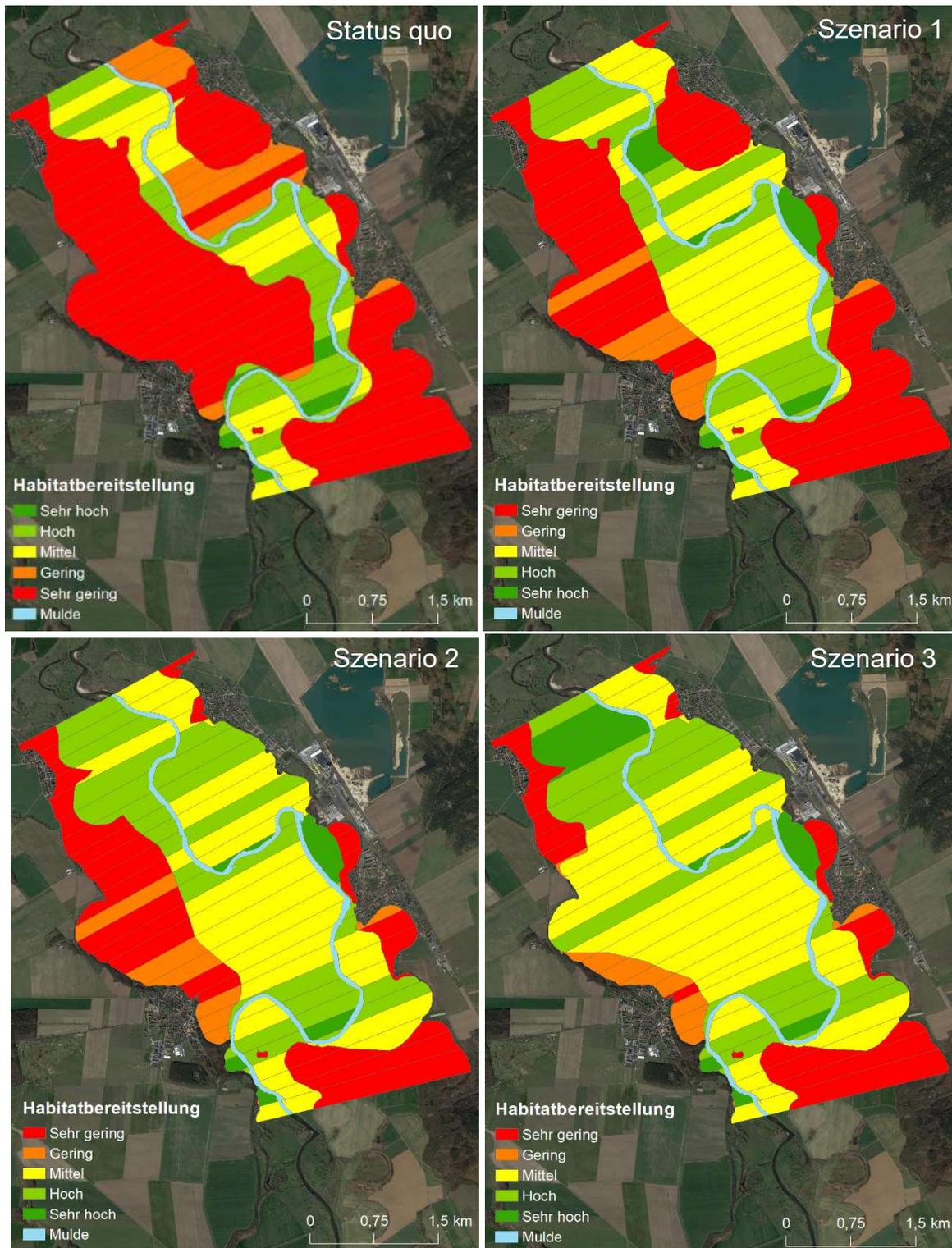


Abbildung 44: Der Habitatwert im Status quo (oben links) und in den drei Deichrückverlegungs-Szenarien mit angenommener Auwaldentwicklung von 20% der rezenten Auenfläche.

3.7. Handlungsempfehlung für Behörden (Leitfaden)

Die weitere Verbreitung des Konzeptes des Freien Pendelraumes für Fließgewässer ist wichtiger Bestandteil der Projektbearbeitung. Zu diesem Zweck wurden die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse zu einem Handlungsleitfaden zusammengeführt, der die

Problematik erklärt und die Umsetzung eines Freien Pendelraums anschaulich erklärt (siehe Anhang A). Dadurch werden Behörden, Planer, Kommunen und Verbände in Deutschland motiviert, Fließgewässerstrecken, die sich für die Anwendung des Konzeptes eignen, zu identifizieren und auf Basis des Konzeptes den Freien Pendelraum zu entwickeln. Da das Konzept auf andere Flusstypen übertragen werden kann, ist eine Anwendung deutschlandweit unter unterschiedlichen Bedingungen und Naturräumen möglich. Der Leitfaden wurde angelehnt an den Handlungsleitfaden des vorangegangenen Freien Pendelraum-Projekts erstellt (Egger et al. 2020). In diesem wurden die Grundlagen der Auenökologie für das bessere Verständnis der Notwendigkeit zur Ausweisung eines Freien Pendelraums ausführlich dargestellt und die Berechnung des Freien Pendelraums detailliert beschrieben. Diese Punkte werden im aktuellen Leitfaden in Kürze wiederholt und dafür die Pendelraum-Berechnung beispielhaft an der Mulde dargestellt, um die Anwendung des Konzeptes zu verdeutlichen.

3.8. Öffentlichkeitsarbeit

Auf der erstellten Freier-Pendelraum-Website (www.freier-pendelraum.de) werden weiterhin Grundlagen der Auenökologie dargestellt, um das Verständnis für die Notwendigkeit des Raumbedarfs für Fließgewässer zu erhöhen. Das Pendelraum-Konzept wird auf der Website mit zahlreichen Fotos und Abbildungen illustriert dargestellt. Hier wurden auch neue Informationen über die Projektergebnisse sowie der Handlungsleitfaden zum Download ergänzt.

Das Konzept des Freien Pendelraums wurde beispielsweise 2019 auf dem Auenökologischen Workshop in Wien im Rahmen des vorangegangenen Projekts vorgestellt und sollte auch im Rahmen dieses Projekts auf Fachtagungen sowie dem International Symposium on Ecohydraulics (ISE) 2020 in Lyon präsentiert werden, um das Konzept auch im internationalen Rahmen weiter bekannt zu machen. Aufgrund der Corona-Pandemie entfielen jedoch die Veranstaltungen oder wurden, wie bei der ISE Lyon mit stark gekürztem Programm abgehalten, sodass eine Vorstellung nicht möglich war.

Aktuell befindet sich auch eine Veröffentlichung über den River Ecosystem Service Index (RESI) im Freien Pendelraum der Ammer in Einreichung bei einem Special Issue des International Review of Hydrobiology in Einreichung (Becker, Isabell, Egger, Gregory, Gerstner, Lars, Householder, John Ethan, Damm, Christian (ingereicht): Using the River Ecosystem Service Index (RESI) to evaluate 'Free Moving Rivers' restoration measures - a case study on the Ammer river (Bavaria)).

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektgebiet an der Vereinigte Mulde zwischen Eilenburg und Bad Döben mit dem aktuellen Deichverlauf über Gruna bis nach Glaucha und Pristäblich.	8
Abbildung 2: Klimadiagramm für Bad Döben nördlich des Projektgebiets (Climate-Data Bad Döben 2020).....	9
Abbildung 3: Prallhang mit kontinuierlicher Verlagerung des Flusslaufs durch Seitenerosion (Foto: I. Becker).....	11
Abbildung 4: Untersuchungsgebiete des Wilde Mulde Projekts (Schulz-Zunkel et al. 2019).	14
Abbildung 5: Karte mit vier möglichen Maßnahmenflächen. Gelbe Umrandung: Maßnahmenfläche zur möglichen Wasserausbreitung im Falle von Hochwasser.	15
Abbildung 6: Auszug aus den Ergebnissen für den Projektabschnitt bei Mörtitz-Gruna-Laußig der Bürgerumfrage des ‚Lebendige Mulde‘-Projekts (Bürgerbeteiligung Sachsen 2020).	16
Abbildung 7: Schema des Entwicklungskorridors nach der Methode des Umweltbundesamts (Planungsbüro Koenzen in DWA 2010).	20
Abbildung 8: Übersicht der Bearbeitungsschritte zur Bestimmung des Pendelraums (Gewässerentwicklungskorridorbreite) nach LAWA (2016a).	20
Abbildung 9: Lage der vermessenen Transekte und der Abflussmessungen im Projektgebiet (Stuber 2020).....	26
Abbildung 10: Schematische Darstellung der Auenbereiche für die Berechnung des RESI (verändert nach Lotti 2018 in Becker et al. eingereicht).....	29
Abbildung 11: Berechnungsschema der Ökosystemleistung Hochwasserregulation (Podschun et al. 2018a).....	32
Abbildung 12: Der maximale (links) und der minimale (rechts) Entwicklungskorridor an der Mulde im Projektgebiet nach der Methode des Umweltbundesamtes (Dahm et al. 2014).	34
Abbildung 13: Der Gewässerentwicklungskorridor an der Mulde im Projektgebiet nach der Methode der LAWA (LAWA 2016).....	35
Abbildung 14: Lage der Vegetationsaufnahmen während der Geländearbeit im Juli 2020.	36
Abbildung 15: Kiesbank bei Laußig innerhalb einer Schafweide. Die Vegetation ist verbissen und die Algenbildung am Muldeufer deutet auf eutrophierte Bedingungen hin. Plot 1 liegt im kiesigen Uferbereich (Foto: I. Becker).	37
Abbildung 16: Höherliegende Sandfläche in der Nähe von Plot 1 mit blühender Sandrapunzel (<i>Jasione montana</i>) (Foto: I. Becker).	38
Abbildung 17: Eichenwälder sind im Zentrum des Projektgebiets gegenüber Laußig zu finden (Foto: I. Becker).....	40
Abbildung 18: Eichenverjüngung auf einer offenen Sandfläche (links) und Eichen-Buchen-Hainbuchen-Mischwälder in höherliegenden Flächen im Projektgebiet (rechts) (Fotos: E. Schneider).	40
Abbildung 19: Junger Weidensaum entlang einer Kiesbank südlich von Hohenprießnitz und blühendes Gewöhnliches Seifenkraut (<i>Saponaria officinalis</i>) (Foto: I. Becker).	41
Abbildung 20: Erlen und Weiden in tieferliegenden Senken gegenüber Gruna (Foto: I. Becker).	41
Abbildung 21: Kiefernwald auf Sanddüne an der Mulde bei Glaucha (Foto: I. Becker).....	42
Abbildung 22: Fichtenforst im Zentrum des Projektgebiets mit Schäden durch die Trockenheit der trockenen Sommer mehrerer aufeinanderfolgender Jahre, hier im Sommer 2020 (Foto: I. Becker). .	43
Abbildung 23: Die Elb-Spitzklette (<i>Xanthium albinum</i>) auf einer Kiesbank südlich von Hohenprießnitz (Foto: I. Becker).	45
Abbildung 24: Status quo des Projektgebiets mit den aktuellen Deichlinien.	48
Abbildung 25: Deichlinien und -schlitzung sowie Auenflächen im Szenario 1.....	49

Abbildung 26: Deichlinien und -schlitzung sowie Auenflächen im Szenario 2.....	50
Abbildung 27: Deichlinien und -schlitzung sowie Auenflächen im Szenario 3.....	51
Abbildung 28: Geländehöheklassen über dem Mittelwasserstand und bestehende Waldflächen.....	52
Abbildung 29: Mögliche Auwaldentwicklungsflächen in den drei Deichrückverlegungsszenarien mit insgesamt 15% Deckung der rezenten Auenfläche.....	54
Abbildung 30: Mögliche Auwaldentwicklungsflächen in den drei Deichrückverlegungsszenarien mit insgesamt 20% Deckung der rezenten Auenfläche.....	55
Abbildung 31: Weitere potenzielle Auwaldentwicklungsflächen im Projektgebiet.....	56
Abbildung 32: Bestehende Waldflächen (linke Abbildung) nach Landbedeckungsmodell) und mögliche Auwaldflächen mit Szenario 3 bei 20% Auwaldfläche der rezenten Aue (rechte Abbildung).	57
Abbildung 33: Bestehende größere Rinnenstrukturen in der Mulde und ihre Lage in der rezenten Aue je nach Deichrückverlegungsszenario. Drei Bereiche im Projektgebiet und ein Bereich südlich des Projektgebiets wurden als besonders geeignet für eine mögliche Anbindung der Rinnen an die Muldedynamik eingeschätzt (unten rechts).	61
Abbildung 34: RAS Mapper mit Geometriedaten für den Status quo (Stuber 2020).	63
Abbildung 35: Geometriedaten für Szenario 1 (Stuber 2020).	64
Abbildung 36: Geometriedaten für Szenario 2 (Stuber 2020).	66
Abbildung 37: Geometriedaten für Szenario 3 (Stuber 2020).	67
Abbildung 38: Status quo (oben links) und die Hochwasserregulation des RESI der drei Szenarien im Projektgebiet. Eine gute Bewertung bedeutet einen geringen Verlust des rezenten Auenvolumens.	69
Abbildung 39: Status quo (oben links) und die Sedimentregulation des RESI der Szenarien im Projektgebiet.	70
Abbildung 40: Aktuelle Landbedeckung im Projektgebiet (links) und die berechnete Habitatbereitstellung (rechts).	71
Abbildung 41: Landbedeckung im Szenario 3 mit 15% Auwaldentwicklung in der rezenten Aue.....	72
Abbildung 42: Der Habitatwert im Status quo (oben links) und in den drei Deichrückverlegungsszenarien mit angenommener Auwaldentwicklung von 15% der rezenten Auenfläche.....	73
Abbildung 43: Landbedeckung im Szenario 3 mit 20% Auwaldentwicklung in der rezenten Aue.....	74
Abbildung 44: Der Habitatwert im Status quo (oben links) und in den drei Deichrückverlegungsszenarien mit angenommener Auwaldentwicklung von 20% der rezenten Auenfläche.....	75
Abbildung 45: Mulde zwischen Hohenprießnitz und Gruna mit einem gewässerbegleitenden Deich (Foto: I. Becker).	90
Abbildung 46: Der maximale (links) und der minimale (rechts) Entwicklungskorridor der Mulde bei Laußig nach der Methode des Umweltbundesamtes (Dahm et al. 2014).	96
Abbildung 47: Der Gewässerentwicklungskorridor an der Mulde bei Laußig nach der Methode der LAWA (LAWA 2016).....	97

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Landnutzung LN7 im Projektgebiet (nach Landbedeckungsmodell LBM-DE 2018).	10
Tabelle 2: Wasserstand und Durchfluss an der Mulde am Pegel Bad Düben 1 (SLULG 2018).....	10
Tabelle 3: Höchste Wasserstände am Pegel Bad Düben 1 / Vereinigte Mulde (SLULG 2018).....	11
Tabelle 4: Grundlegende Formel für die Bestimmung des minimalen und maximalen Entwicklungskorridors anhand der Ausbausohlbreite. Die Faktoren werden abhängig vom Flusstyp eingesetzt (Tabelle 2, Dahm et al. 2014).....	19

Tabelle 5: Zusammenfassung der flusstypabhängigen Faktoren für die Berechnung des minimalen und maximalen Entwicklungskorridors anhand der Ausbausohlbreite (vgl. Tabelle 2, Dahm et al. 2014).....	19
Tabelle 6: Gewässer in Frankreich, an denen bereits Projekte nach dem „Espace de Liberté“-Konzept umgesetzt wurden.....	21
Tabelle 7: Ähnliche Projekte in Frankreich (impl. = Projekt umgesetzt).	22
Tabelle 8: Ähnliche Projekte im englischsprachigen Raum (impl. = Projekt umgesetzt).	24
Tabelle 9: Gemessene Geländehöhe über Mittelwasser der Waldtypen im Projektgebiet und die Hauptbaumarten zur Kalkulation für die Pflanzung vergleichbarer Wälder im Projektgebiet. Zwischen den Klassen bestehende Übergangsbereiche wurden angelehnt an umgebende Typen festgelegt....	28
Tabelle 10: Herleitung des Entwicklungskorridors der Mulde im Projektgebiet nach der Methode des Umweltbundesamtes (Dahm et al. 2014).	33
Tabelle 11: Parameter zur Bestimmung der Gewässerentwicklungskorridorbreite der Mulde Im Projektgebiet nach dem Konzept der LAWA (2016).....	34
Tabelle 12: Arten der Vegetationserfassung im Plot 1 und zusätzliche Arterfassungen in zwei Flächen in der näheren Umgebung (vgl. Abbildung 15, mit Zeigerwerten für Feuchtigkeit (F) und Stickstoff (N) nach Ellenberg (1992).....	38
Tabelle 13: Arten der Vegetationserfassung in den Wald-Plots 4, 5, 6 und 8 sowie zusätzliche Arterfassungen in zwei Flächen in der näheren Umgebung (mit Zeigerwerten für Feuchtigkeit (F) und Stickstoff (N) nach Ellenberg (1992).	43
Tabelle 14: Vegetationserfassung auf Kiesbänken im Projektgebiet (mit Zeigerwerten für Feuchtigkeit (F) und Stickstoff (N) nach Ellenberg (1992).	46
Tabelle 15: Fläche (ha) der rezenten Aue im Status quo und den drei Deichrückverlegungsszenarien.	48
Tabelle 16: Aktuelle und Entwicklungsfläche von Auwäldern im Projektgebiet.....	51
Tabelle 17: Waldentwicklungsflächen für die beiden Zielgrößen in den drei Szenarienflächen.	52
Tabelle 18: Kostenschätzung der Implementierung der drei Deichrückverlegungsszenarien und Auwaldpflanzung bei 15% Waldentwicklung in der rezenten Aue.	57
Tabelle 19: Kostenschätzung der Implementierung der drei Deichrückverlegungsszenarien und Auwaldpflanzung bei 20% Waldentwicklung in der rezenten Aue.	58
Tabelle 20: Hauptwerte zum Abfluss am Pegel Bad Döben.	63
Tabelle 21: Errechnete Wasserspiegellagen (m ü. NN) für den Status quo (Stuber 2020).	64
Tabelle 22: Errechnete Wasserspiegellagen (m ü. NN) für Szenario 1 (Stuber 2020).....	65
Tabelle 23: Errechnete Wasserspiegellagen (m ü. NN) für Szenario 2 (Stuber 2020).....	66
Tabelle 24: Errechnete Wasserspiegellagen (m ü. NN) für Szenario 3 (Stuber 2020).....	67
Tabelle 25: Grundlegende Formel für die Bestimmung des minimalen und maximalen Entwicklungskorridors anhand der Ausbausohlbreite. Die Faktoren werden abhängig vom Flusstyp eingesetzt (Tabelle 26, nach Dahm et al. 2014).	94
Tabelle 26: Flusstypabhängige Faktoren für die Berechnung des minimalen und maximalen Entwicklungskorridors anhand der Ausbausohlbreite (Tabelle 25, nach Dahm et al. 2014).	94
Tabelle 27: Herleitung des Entwicklungskorridors der Mulde nach der Methode des Umweltbundesamtes (Dahm et al. 2014).	95
Tabelle 28: Parameter zur Bestimmung der Gewässerentwicklungskorridorbreite der Mulde bei Laußig nach dem Konzept der LAWA (2016).....	96

Literaturverzeichnis

Agence de L'eau (2019): Programme de L'Agence de L'eau Rhin-Meuse, Actions en faveur de la restauration des cours d'eau et de la gestion intégrée des ruissellements et des inondations.

Agir pour l'eau, les espaces, les espèces (2013): L'espace de mobilité au cœur du fonctionnement de la Loire et de ses affluents. [Receuil_EEE-exeV2.indd \(ofb.fr\)](#) (Zugriff: 04.10.2021)

Ahilan, S., Guan, M., Sleigh, A., Wright, N. & Chang, H. (2018). The influence of floodplain restoration on flow and sediment dynamics in an urban river. *Journal of Flood Risk Management*, 11, S986-S1001.

Aneta Group (2012): Evaluation environnementale, Schéma Départemental des Carrières de la Meuse, Révision 2012.

BAW [Bundesanstalt für Wasserbau] (2013): Die Deichrückverlegung bei Lenzen an der Elbe. BAWMitteilungen Nr. 97.

Becker, I., Egger, G., Gerstner, L., Householder, J.E. & Damm, C. (*eingereicht*): Using the River Ecosystem Service Index (RESI) to evaluate 'Free Moving Rivers' restoration measures - a case study on the Ammer river (Bavaria). *International Review of Hydrobiology*.

Bieberstein, A., Bielitz, E., Buschhüter, E., Haselsteiner, R., Kast, K., Pohl, R., Scholz, R. & Schrenk, G. (2007): DWA Regelwerk - Deiche an Fließgewässern; Teil 1: Planung, Bau und Betrieb.

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit) & BfN (Bundesamt für Naturschutz) (2021): Auenzustandsbericht 2021. Flussauen in Deutschland. Bonn – Bad Godesberg. DOI: 10.19217/brs211.

Bürgerbeteiligung Sachsen (2020): Auswertung Bürgerbeteiligungsverfahren zur Projektidee „Lebendige Mulde – Wiederherstellung von Überschwemmungsbereichen an der Mulde“. URL: https://buergerbeteiligung.sachsen.de/portal/download/datei/1634464_0/Anlage+ Grafische+ Gesamtauswertung+B%C3%BCrgerbeteiligung+Lebendige+Mulde.pdf (Zugriff: 14.10.2021)

Brunner, G. W. (2016): HEC-RAS River Analysis System. Hydraulic Reference Manual. Version 5.0, USA. URL: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HECRAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf> (Zugriff: 01.09.2020)

Brunner, G.W. (2021): HEC-RAS River Analysis System. Hydraulic Reference Manual. Version 6.0 URL: https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HEC-RAS_6.0_Reference_Manual.pdf (Zugriff: 15.10.2021)

Brunotte, E., Dister, E., Günther-Diringer, D., Koenzen, U. & Mehl, D. (2009): Flussauen in Deutschland. Erfassung und Bewertung des Auenzustandes. BfN (eds.). Naturschutz und Biologische Vielfalt 87, Bonn-Bad Godesberg.

Charrier, P. (2012): Flusskorridore in Frankreich. Konzept, Umsetzung, Erfahrungen. In: Auenmagazin, Magazin des Auenzentrums Neuburg a. d. Donau. 03/2012: 4-9.

Climate-Data Bad Düben (2020): Klimadiagramm für Bad Düben. URL: <https://de.climate-data.org/europa/deutschland/sachsen/bad-dueben-7328/> (Zugriff: 05.07.2021).

Communauté d'agglomération Bar-Le-Duc – Sud Meuse (2016): Programme de Restauration et de Gestion de Cours D'eau: L'ornain et ses Affluents.

Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburgu, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. & Van Den Belt, M. (1997): The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253-260.

Damm, C., Dister, E., Fahlke, N., Follner, K., König, F., Korte, E., Lehmann, B., Müller, K., Schuler, J., Weber, A. & Wotke, A. (2012): Auenschutz & naturverträglicher Hochwasserschutz Beispiele für eine ökologisch vorbildliche Praxis. 1. Auflage. Deutsche Umwelthilfe, Berlin, 32 S. URL: http://www.duh.de/uploads/tx_duhdownloads/Brosch%C3%BCre_Auenschutz.pdf (Zugriff: 28.10.2021)

Dahm, V., Kupilas, B., Rolauffs, P. & Herin, D. (2014): Hydromorphologische Steckbriefe der deutschen Fließgewässertypen. Anhang 1 von „Strategien zur Optimierung von Fließgewässer-Renaturierungsmaßnahmen und ihrer Erfolgskontrolle“. Umweltbundesamt (Hrsg.). Dessau-Roßlau. Texte Heft 43: 288 S.

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.) (2010): Merkblatt DWA-M 610. Neue Wege der Gewässerunterhaltung. Pflege und Entwicklung von Fließgewässern. Aktualisierte Fassung. 473 S.

Egger, G., Juszczak, I., Gerstner, L., de Oliveira Wittman, A. & Schneider, E. (2020): Freier Pendelraum für Fließgewässer. Methoden zur Anwendung des Konzeptes an Beispielen in Deutschland. Abschlussbericht.

Flussmeisterei Bad Düben (o.J.): Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen. Flussmeisterei Bad Düben. URL: <https://www.smul.sachsen.de/ltv/13767.htm> (Zugriff: 20.08.2020)

Forschung zur Umsetzung der nationalen Biodiversitätsstrategie (o.J.): Wilde Mulde-Revitalisierung einer Wildflusslandschaft in Mitteldeutschland“. URL: <https://www.nbs-forschung-umsetzung.de/292.php> (Zugriff: 27.09.2021)

Feld, C. K., Birk, S., Bradley, D. C., Hering, D., Kail, J., Marzin, A., Melcher, A., Nemitz, D., Pedersen, M. L., Pletterbauer, F., Pont, D., Verdonschot, P. F. M. & Friberg, N. (2011): From natural to degraded rivers and back again: a test of restoration ecology theory and practice. In: *Advances in ecological research*. Academic Press 44, 119-209.

Fischer, I. (2019): Lebendige Mulde: Zschepliner mit Zuversicht und Skepsis. In: *Leipziger Volkszeitung*. 30.01.2019. URL: <https://www.lvz.de/Region/Eilenburg/Lebendige-Mulde-Zschepliner-mit-Zuversicht-und-Skepsis> (Zugriff: 27.09.2021)

Fischer, C., Damm, C., Foeckler, F., Gelhaus, M., Gerstner, L., Harris, R. M. B., Hoffmann, T. G., Iwanowski, J., Kasperidus, H., Mehl, D., Podschun, S. A., Rumm, A., Stammel, B. & Scholz, M. (2019): The 'habitat provision' index for assessing floodplain biodiversity and restoration potentials as an ecosystem service–method and application. *Front. Ecol. Evol.* 7(483), 1-16.

Fleischhacker, T. (2021): Dynamik fluvialer Verlagerungsprozesse. Beobachtungen an der Mulde zwischen Eilenburg und Bad Düben. 9 S.

Flussmeisterei Bad Düben (o.J.): Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen. Flussmeisterei Bad Düben. URL: <https://www.smul.sachsen.de/ltv/13767.htm> (Zugriff: 20.04.2020)

GeoSN Geodaten Sachsen, o.J.: Digitales Geländemodell (DGM1). URL: <https://www.geodaten.sachsen.de/digitale-hoehenmodelle-3994.html?cp=%7B%22accordion-content-4100%3A%7B%22%3Atrue%7D%7D> (Zugriff: 20.07.2020)

- Grizzetti, B., Pistocchi, A., Liqueste, C., Udias, A., Bouraoui, F. & Van De Bund, W. (2017): Human pressures and ecological status of European rivers. *Sci. Rep.* 7(1), 1-11.
- Guzelj, M., Hauer, C. & Egger, G. (2020): The third dimension in river restoration: how anthropogenic disturbance changes boundary conditions for ecological mitigation. *Sci. Rep.* 10(1), 1-17.
- Haase, G. (1995): Düben-Dahlener Heide, Riesa-Torgauer Elbtal. In: Mannsfeld, K., Richter, H. (Hrsg.): *Naturräume in Sachsen. Zentralaussschuß für deutsche Landeskunde, Trier. Forschungen zur Deutschen Landeskunde, Band 238: 42-53*
- Helmholz Zentrum für Umweltforschung (2018): *Wilde Mulde - Revitalisierung einer Wildflusslandschaft in Mitteldeutschland (WilMu)*. URL: <https://www.ufz.de/index.php?de=41547> (Zugriff: 27.09.2021)
- Hudin, S. (2010): Espace de Liberté des grands cours d'eau. Freier Pendelraum für Flüsse. Beispiel Loire und Allier. Fachtagung Ökologischer Hochwasserschutz und Auenschutz am 21. April 2010 am Bundesamt für Naturschutz, Bonn.
- Hulse, D. & Gregory, S. (2004): *Integrating resilience into floodplain restoration*, Springer 7, 295-314.
- Kozak, J.P., Benett, M.G., Piazza, B.P. & Remo, J.W.F. (2016): *Towards dynamic flow regime management for floodplain restoration in the Atchafalaya River Basin, Louisiana*.
- Institution Adour (2019): Espace de Mobilité. [L'espace de mobilité - Risques fluviaux - Institution Adour \(institution-adour.fr\)](https://www.institution-adour.fr) (Zugriff: 04.10.2021)
- Julke, R. (2021): Projekt Lebendige Mulde: Auenöffnung trifft auf gespaltenes Echo bei den Betroffenen. In *Leipziger Zeitung* am 02.05.2021. URL: <https://www.l-iz.de/politik/region/2021/05/projekt-lebendige-mulde-auenoeffnung-trifft-auf-gespaltenes-echo-bei-den-betroffenen-388146> (Zugriff: 27.09.2021)
- 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. FKZ 803 82 100. Schriftenreihe Angewandte Landschaftsökologie, Heft 65. 327 S.*
- Küster, H. (2007): *Die Elbe. Landschaft und Geschichte*. Verlag C. H. Beck, München. 352 S.
- La Compagnie des Forestiers - Tous droits reserves: Reméandrage et génie végétal pour la restauration d'un cours d'eau (2021): [Restauration d'un cours d'eau - Reméandrage et génie végétal - le Vistre \(lacompagniedesforestiers.com\)](https://www.lacompagniedesforestiers.com) (Zugriff: 04.10.2021)
- Landesverband Sächsischer Angler e. V. (2020): *Angelatlas Sachsen*. URL: [Angelatlas Sachsen \(angelatlas-sachsen.de\)](https://www.angelatlas-sachsen.de) (Zugriff: 28.10.2021)
- Landkreis Nordsachsen (2021a): *Lebendige Mulde – Ergebnisse der Bürgerbeteiligung liegen vor*. 30.04.2021. URL: <https://www.landkreis-nordsachsen.de/aktuell-a-11564.html> (Zugriff: 27.09.2021)
- Landkreis Nordsachsen (2021b): *Öffentliche Umfrage zur Projektidee Lebendige Mulde – Wiederherstellung von Überschwemmungsbereichen an der Mulde*. 31.07.2020. URL: <https://buergerbeteiligung.sachsen.de/portal/landkreis-nordsachsen/beteiligung/themen/1019108> (Zugriff: 27.09.2021)

LAWA (Bund- /Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser) (2016a): LAWA Verfahrensempfehlung „Typspezifischer Flächenbedarf für die Entwicklung von Fließgewässern“. LFP Projekt O 4.13. Ergebnisbericht. 138 S. und Anhänge.

LAWA (Bund- /Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser) (2016b): LAWA Verfahrensempfehlung „Typspezifischer Flächenbedarf für die Entwicklung von Fließgewässern“. LFP Projekt O 4.13. Anwenderhandbuch. 119 S. und Anhänge.

Les zones humides (2017): Mise à ciel ouvert du ruisseau de Cubes par création d'un bras de contournement à Châteauneuf-les-Bains. [Restauration et réhabilitation | Zones Humides \(zones-humides.org\)](http://www.zones-humides.org) (Zugriff: 04.10.2021)

LfULG (Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie) (2012): Fließgewässerstrukturkartierung der Mulde.

Lotti, J. (2018): Application of the River Ecosystem Service Index (RESI) in the Upper Rhine Floodplain: Opportunities and Limits. Master Thesis, University of Strasbourg, France and Karlsruhe Institute of Technology, Germany. MA (Millennium Ecosystem Assessment) 2005: Ecosystem and human well-being. Wetlands and water. Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC.

Malavoi, J. R., & Souchon, Y. (1996): Dynamique fluviale et dynamique écologique. La Houille Blanche, (6-7), 98-107.

Malavoi, J.-R., Bravard, J.-P., Piégay, H., Héroin, E. & Ramez, P. (1998): Guide technique No. 2. Détermination de l'espace de liberté des cours d' eau. Agence de Bassin Rhône, Méditerranée. Paris. 39 S.

Nabu (o.J. a): Mehr Bewegung- Die Renaturierung der unteren Havel beginnt. [URL: https://www.nabu.de/natur-und-landschaft/fluesse/untere-havel/gewaesserrandstreifenprojekt/massnahmen/12249.html](https://www.nabu.de/natur-und-landschaft/fluesse/untere-havel/gewaesserrandstreifenprojekt/massnahmen/12249.html) (Zugriff 25.10.2021)

Nabu (o.J. b): Belebung der Havelaue bei Bölkershof- Größtes Flussrenaturierungsprojekt Europas schafft Naturparadiese für seltene Tier-und Pflanzenarten. PURL: <https://www.nabu.de/news/2020/07/28448.html> (Zugriff 25.10.2021)

OneSoil (2018): Landuse. URL: <https://onesoil.ai/en/> (Zugriff 25.10.2021)

Pess, G.R., Morely, S., Hall, J.L. & Timm, R. K. (2005): Chapter 6, Monitoring of Floodplain Restoration.

Podschun, S.A., Albert, C., Costea, G., Damm, C., Dehnhardt, A., Fischer, C., Fischer, H., Foeckler, F., Gelhaus, M., Gerstner, L., Hartje, V., Hoffmann, T. G., Hornung, L., Iwanowski, J., Kasperidus, H., Linnemann, K., Mehl, D., Rayanov, M., Ritz, S., Rumm, A., Sander, A., Schmidt, M., Scholz, M., Schulz-Zunkel, C., Stammel, B., Thiele, J., Venohr, M., von Haaren, C., Wildner, M. & Pusch, M. (2018a): RESI - Anwendungshandbuch: Ökosystemleistungen von Flüssen und Auen erfassen und bewerten. IGB-Berichte, Heft 31/2018: 187 S. und Anhang.

Podschun, S. A., Thiele, J., Dehnhardt, A., Mehl, D., Hoffmann, T. G., Albert, C., von Haaren, C., Deutschmann, K., Fischer, C., Scholz, M., Costea, G. & Pusch, M. (2018b): Das Konzept der Ökosystemleistungen - eine Chance für integratives Gewässermanagement. HyWa 62(6), 453-468.

Pottgiesser, T. & Sommerhäuser, M. (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.

Préfet de L'aude (2014): Qu'est ce qu'un espace de mobilité? [Qu'est ce qu'un espace de mobilité ? - AUDE](#) (Zugriff: 04.10.2021)

Reméandrage: Reméandrage de la Pisancelle et effacement de trois ouvrages sur le Rongeant à Poissons. [rex_r7 Pisancelle v5BD.pdf \(ofb.fr\)](#) (Zugriff: 04.10.2021)

Riviere Allier- Loire nature: une cellule "dynamique fluviale" pour le val d'allier. 2021 <http://www.riviere-allier.com/> (Zugriff: 04.10.2021)

Roeder, M., Unseld, R., Reif, A. & Egger, G. (2021): Leitfaden zur Auwaldbewirtschaftung. Eigenschaften der Baumarten, Anbaueignung und Beispiele von Oberrhein und Donau. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Hrsg.). 25 S.

Rösch, S.-F. (2018): Sukzessionsgesellschaften eines Umlagerungsflusses – Vegetationskundliche Untersuchungen an der Mittleren Mulde. Zulassungsarbeit am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). S. 99.

Sächsische Staatskanzlei (2007): Verordnung des Regierungspräsidiums Leipzig zur Festsetzung des Naturschutzgebietes „Vereinigte Mulde Eilenburg – Bad Düben“.

Scholz, M., Rupp, H., Puhmann, G., Ilg, C., Gerisch, M., Dziock, F. & Henle, K. (2009): Deichrückverlegungen in Sachsen-Anhalt und wissenschaftliche Begleituntersuchungen am Beispiel des Roslauer Oberluchs. Landesamt für Umweltschutz (Hrsg): Naturschutz im Land Sachsen–Anhalt, 46 Jahrgang, Sonderheft., 103-116.

Scholz, M., Mehl, D., Schulz-Zunkel, C., Kasperidus, H.D., Born, W. & Henle, K. (2012): Ökosystemfunktionen von Flussauen. Analyse und Bewertung von Hochwasserretention, Nährstoffrückhalt, Kohlenstoffvorrat, Treibhausgasemissionen und Habitatfunktion. Naturschutz und Biologische Vielfalt, 124(2): 257 S.

Scholz, R., Noack, T., Krüger, A. & Schäfer, K. (2005a): Hochwasserschutzkonzept Mulden im Regierungsbezirk Leipzig. Anlage 10.03 Gefahrenkarte Laußig mit den OL Pristäblich, Laußig und Gruna. URL: https://www.wasser.sachsen.de/download/18_03_Pristaeblich_Laussig_Gruna.pdf (Zugriff: 12.07.2021)

Scholz, R., Noack, T., Krüger, A. & Schäfer, K. (2005b): Hochwasserschutzkonzept Mulden im Regierungsbezirk Leipzig. Anlage 10.04 Gefahrenkarte Zschepplin mit den OL Glaucha, Hohenprießnitz und Zschepplin. URL: https://www.wasser.sachsen.de/download/18_04_Glaucha_Hohenpriessnitz_Zschepplin.pdf (Zugriff: 12.07.2021)

Schrenner, H. (2021): Wilde Mulde, Revitalisierung einer Wildflusslandschaft in Mitteldeutschland. Präsentation. URL: https://wilde-mulde.de/wp-content/uploads/2021/04/02_Wilde_Mulde_WWF_UFZ_Einfuehrung.pdf (Zugriff: 27.09.2021)

Schrenner, H., Schulz-Zunkel, C., Rast, G., Gapinski, C., Anlanger, C., Weitere, M., Wirth, C. et al. (2020): Reflexion des Naturschutz-Forschungs- und Umweltbildungsprojekt „Wilde Mulde“. Auenmagazin, 17(2020). S. 22-27.

Schulz-Zunkel, C. Seele-Dilbat, C., Schrenner, H. & Rast, G. (2019): Wilde Mulde – Revitalisierung und Wirkungsanalyse in Fluss-Auen-Ökosystemen. Wasserwirtschaft. 11. 54-59.

SLULG (Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft) (o. J.): Landschaftsökologische Charakterisierung von 30 Naturräumen. URL: <https://www.natur.sachsen.de/landschaftsoekologische-charakterisierung-von-30-naturraumen-23087.html> (Zugriff: 20.09.2020)

SLULG (Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft) (2015): Ereignisanalyse zum Hochwasser im Juni 2013 in Sachsen. 256 S.

SLULG (Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft) (2016): Wasserstände Pegel Bad Düben 1 / Vereinigte Mulde. URL: <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/hwims/portal/web/wasserstand-pegel-560051> (Zugriff: 20.09.2020)

SLULG 2018 URL: Auszug aus dem Gewässerkundlichen Jahrbuch. Elbegebiet Teil 1: Pegel Bad Düben 1. URL: https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/lhwz/download/560051_Q2018.pdf (Zugriff: 15.10.2021)

SLULG (Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft) (2021): Wasserstände Pegel Bad Düben 1 / Vereinigte Mulde. URL: <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/hwims/portal/web/wasserstand-pegel-560051> (Zugriff: 05.07.2021).

Stammel, B., Fischer, C., Cyffka, B., Albert, C., Damm, C., Dehnhardt, A., Fischer, H. Foeckler, F., Gerstner, L., Hoffmann, T.G., Iwanowski, J., Kasperidus, H.D., Linnemann, K., Mehl, D., Podschun, S.A., Rayanov, M., Ritz, S., Rumm, A., Scholz, M., Schulz-Zunkel, C., Thiele, J., Venohr, M., von Haaren, C., Pusch, M.T. & Gelhaus, M. (2021): Assessing land use and flood management impacts on ecosystem services in a river landscape (Upper Danube, Germany). *River Res. Appl.* 37(2), 209-220.

Stegner, J., Kleinknecht, U., Ulbrich, J. & Blume, N. (2011): Pilotprojekt Biotopverbund Mittlere Mulde. Maßnahmenkonzept für einen Beispielraum und Handlungsstrategien zur Umsetzung des Biotopverbundes im Freistaat Sachsen. Abschlussbericht. Institut für Vegetationskunde und Landschaftsökologie. Im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Leipzig 319 S.

Stegner, J. (2015): Projektskizzen zur dynamischen Entwicklung von Flussauen am Beispiel der Mittleren Mulde. Kiesgrube Bad Düben. Entwurf des Abschlussberichts. StegnerPlan, Büro für Landschaftsplanung und Naturschutz, Leipzig. 61 S.

Stuber, M. (2020): Hydraulische Modellierung verschiedener Abflussereignisse mit HEC-RAS im Status quo und für mindestens ein ökologisches Aufwertungsszenario im Sinne des Freien Pendelraumkonzepts an der mittleren Mulde bei Gruna (Laußig). Bachelorarbeit an der Hochschule Karlsruhe und dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT).

SYMBHI (2021): Romanche Séchilienne: Des Travaux dans la Plaine de Vizille. [Romanche Séchilienne : des travaux dans la plaine de Vizille - Symbhi](#) (Zugriff: 04.10.2021)

Syndicat mixte de L'Argens (2020): PAPI Complet de l'Argens et des côtiers de l'Estérel, analyse environnementale.

Tockner, K., & Stanford, J. A. (2002): Riverine flood plains: present state and future trends. *Environ. Conserv.* 29(3), 308-330.

Volet B (o.J.): Préservation, restauration et entretien des milieux naturels, aquatiques et rivulaires; Préserver/Restauration un espace de bon fonctionnement (Inondation, Morphologie, Biologie) [B-1-1.pdf \(sirra.fr\)](#) (Zugriff: 04.10.2021)

WWF (2016): Revitalisierung einer Wildflusslandschaft in Mitteldeutschland. URL: <https://www.wwf.de/themen-projekte/projektregionen/elbe/projekt-wilde-mulde> (Zugriff: 27.09.2021)

WWF (2020a): Abschluss des Naturschutzgroßprojektes Mittlere Elbe. Stand: 22.01.2020. Naturschutzgroßprojekt Mittlere Elbe (wwf.de) (Zugriff 25.10.2021)

WWF (2020b): Vockerode - Aus Äckern werden Auen. Stand: 22.01.2020 Elbauen Vockerode (wwf.de) (Zugriff 25.10.2021)

Yalin, M. S. & Da Silva, A. F. (2001): Fluvial processes. IAHR. Delft, Niederlande. 197 S.

Anhang

A1: Handlungsleitfaden

LEITFADEN

für die Ausweisung eines
Freien Pendelraums für Fließgewässer



In diesem Leitfaden liegt der Fokus auf der Darstellung der Berechnung eines Freien Pendelraums an der Mulde bei Laußig, um die Anwendung des Konzepts an einem Beispielfall zu verdeutlichen. Zudem wird auf die Kombinationsmöglichkeiten mit weiteren ökologischen Aufwertungsmaßnahmen hingewiesen.

Eine detailliertere Beschreibung der Grundlagen der Auenökologie für das bessere Verständnis der Notwendigkeit zur Ausweisung eines Freien Pendelraums und eine ausführlichere Anleitung zur Berechnung des Freien Pendelraums finden sich im Handlungsleitfaden des vorangegangenen Freien Pendelraum-Projekts (gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt unter dem Aktenzeichen 32894/01), aus dem Teile für diesen Leitfaden zur Verständlichkeit übernommen wurden (s. Egger et al. 2020 und www.freier-pendelraum.de/handlungsleitfaden).

Die Bedeutung von Flüssen und Auen

Naturnahe Flüsse und Auen sind wertvolle Bestandteile unserer Landschaft und erfüllen zahlreiche Funktionen für die Umwelt, aber auch für uns Menschen – die sogenannten Ökosystemdienstleistungen. Sie sind Rückhalteräume für Hochwasser, bieten vielfältige Lebensräume für Pflanzen und Tiere (Auen sind „Hotspots der Biodiversität“) und bieten Erholungsräume (Scholz et al. 2012).

Dennoch ist der ökologische Zustand vieler Flussauen unzureichend. In Deutschland zeigt auch der aktualisierte Auenzustandsbericht, der 2021 veröffentlicht wurde, dass sich die Zustände der Flussauen kaum verbessert haben (BMU & BfN 2021). Nur 9% der deutschen Flüsse werden dort als naturnah eingestuft. Die zugrundeliegenden Untersuchungen zeigten, dass dies vor allem durch zwei Faktoren bedingt ist: fehlender Raum für Flüsse und eine starke Veränderung durch menschliche Eingriffe (Abbildung 1).



Abbildung 1: Mulde zwischen Hohenprießnitz und Gruna mit einem gewässerbegleitenden Deich (Foto: I. Becker).

Um die ökologisch wichtigen Funktionen und die wertvollen Ökosystemleistungen der Flussauen für uns Menschen zu erhalten, ist eine Änderung der bestehenden Einschränkungen notwendig.

Freier Pendelraum für Fließgewässer

Um den ökologischen Zustand der Flüsse und Auen zu verbessern ist die Entwicklung beeinträchtigter und veränderter Auen hin zu naturnahen Ökosystemen sowie der Erhalt noch bestehender wertvoller Auen unumgänglich. Für die Umsetzung dieser Forderungen müssen einfach umsetzbare und kostengünstige Lösungen gefunden werden, um eine großflächige Verbesserung zu erreichen und die Lebensräume, Arten und Ökosystemdienstleistungen der Auen zu erhalten.



Wird den Gewässern mehr Raum zur Verfügung gestellt, kann sich das Flussbett entwickeln und verlagern. Dies schafft nicht nur eine größere Fläche, in der die wichtigen Ökosystemdienstleistungen für Mensch und Umwelt zur Verfügung gestellt werden können. Sondern durch die Möglichkeit der Eigendynamik des Flusses kann die gestaltende Kraft des Wassers auch die flusstypischen Lebensräume selbst schaffen. Dadurch können die vielfältigen Prozesse und Wechselwirkungen zwischen dem Fluss und der umgebenden Landschaft ablaufen und die entstehenden Habitatstrukturen sind natürlicher und vielfältiger, als es in Maßnahmen vom Menschen geplant werden kann.

Das Konzept des Freien Pendelraums

Die Idee sieht vor, Fließgewässern einen definierten Korridor (den „Freien Pendelraum“) zur Verfügung zu stellen, in dem sich der Fluss frei bewegen kann. Dafür muss für jeden Flussabschnitt mit homogenen Eigenschaften die benötigte Gewässerentwicklungskorridorbreite bestimmt werden, die dem Fluss zur Verfügung gestellt werden kann.

Nach Entfernen vorhandener Ufersicherungen, des Sohlverbau und anderer Einschränkungen des Flusslaufs in diesem Bereich werden zunächst keine weiteren Eingriffe durchgeführt, sondern der Fluss darf sich innerhalb des Freien Pendelraums frei bewegen. Durch das Nutzen der landschaftsgestaltenden Kraft des Gewässers können sich einerseits die für den Flusstyp charakteristischen Strukturen und Lebensräume ausbilden und andererseits werden dadurch sowohl die Kosten weiterer Renaturierungsmaßnahmen als auch die Unterhaltungskosten der Ufersicherungen verringert. Bauliche Maßnahmen werden nur lokal in Erwägung gezogen, wenn der Fluss an erosionsanfälligen Stellen den Rand des Freien Pendelraums erreicht oder wenn der Fluss durch den Menschen bereits so stark verändert und beispielsweise die Flusssohle derart eingetieft ist, dass sich ohne Initialmaßnahmen kaum Strukturen entwickeln.

In den Flächen innerhalb des Freien Pendelraums werden dynamische Prozesse zugelassen, welche für das Funktionieren einer Aue charakteristisch und notwendig sind. Dies bedeutet gerade in flussnahen Bereichen eine ständige Veränderung der Standortbedingungen. Dadurch entstehen kleinräumig unterschiedliche Strukturen und damit viele Lebensräume für die auentypischen

Pflanzen- und Tierarten, die durch die menschlichen Einwirkungen in Flusssysteme heute häufig gefährdet sind. Diese Lebensräume werden im Freien Pendelraum wirksam und nachhaltig geschützt.

Ein weiterer Vorteil durch die Einrichtung eines Freien Pendelraums ist, dass die Auenflächen wieder direkt mit dem Fluss verbunden sind, wodurch sich eine Reihe von Synergien ergibt. Neben der Erhöhung der Biodiversität verbessern sich auch weitere Ökosystemdienstleistungen, wie Nährstoffrückhalt in den Auen, Grundwasseranreicherung und –filterung. Auch naturschutzfachliche Ziele, wie die europäischen Vorgaben zum Arten- und Biotopschutz durch das Natura 2000-Netz aus Schutzgebieten oder die Wasserrahmenrichtlinie zur länderübergreifenden nachhaltigen Wasser- und Gewässernutzung, werden durch den Freien Pendelraum gefördert und leisten dadurch einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der in den Richtlinien festgelegten Zielen.

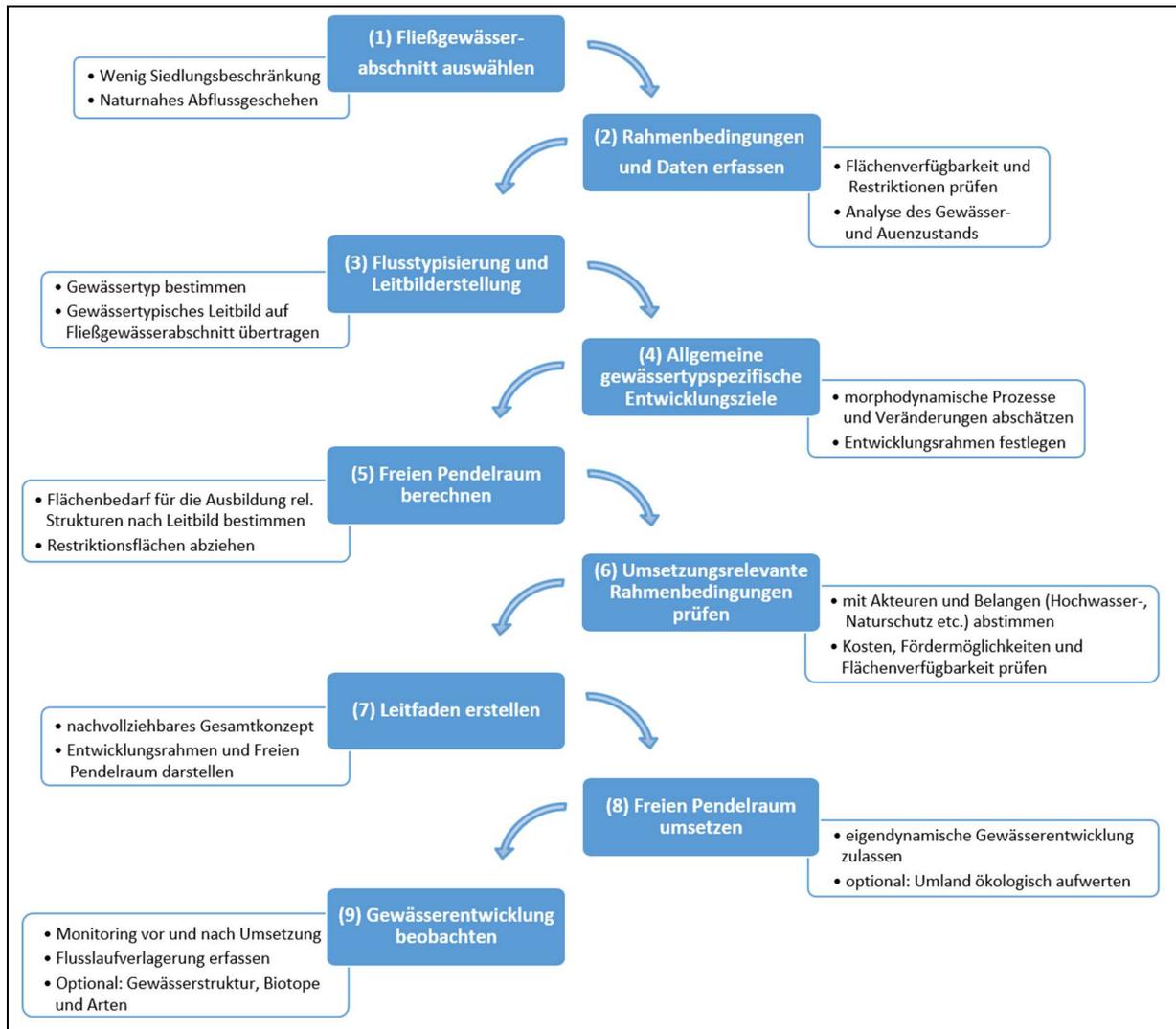
Ein wichtiger Effekt ist zudem die Bereitstellung von Retentionsflächen entlang der Flüsse. Diese können im Hochwasserfall überschwemmt werden, ohne die menschlichen Nutzungsräume zu schädigen. Bei zukünftigen Abflussänderungen, beispielsweise einer erhöhten Hochwassergefahr durch den Klimawandel, ist der zusätzliche Raum entlang der Flüsse ein wirksamer Puffer, um diese abzufangen.

Das Konzept des Freien Pendelraums zusammengefasst:

Durch die Ausweisung des Freien Pendelraums wird einem Fluss eine definierte Fläche zur Verfügung gestellt, in der er sich frei bewegen kann, ohne mit den Nutzungsinteressen des Menschen zu kollidieren. Dabei wird ein Maximum an natürlichen Prozessen und Ökosystemdienstleistungen der Flusslandschaften mit einem Minimum an Unterhaltungsaufwand kombiniert.

Das Konzept kann an Fließgewässerabschnitten angewendet werden, an denen wenig Beschränkungen durch Siedlungsflächen oder weitere ausschließende Restriktionen bestehen und an denen ein naturnahes Abflussgeschehen als Grundlage für eine morphologische Dynamik vorliegt, welches nicht durch Rückstau beeinflusst ist.

Der vorgeschlagene Ablauf zur Ausweisung des Pendelraums mit den wichtigsten Detailpunkten ist in der folgenden Graphik schematisch dargestellt. Eine detaillierte Beschreibung befindet sich auf der Freien-Pendelraum-Website www.freier-pendelraum.de.



Die Berechnung des Freien Pendelraums

Der Platzbedarf eines Flusses hängt vor allem von der Gewässergröße und -typ ab und kann daher sehr unterschiedlich ausfallen. Anhand eines dreistufigen Verfahrens kann der Freie Pendelraum bestimmt werden.

- **Schritt 1 - Abgrenzen eines homogenen Flussabschnittes:**
anhand der geographischen Gegebenheiten und Standortbedingungen sowie morphologischer, hydrologischer Faktoren
- **Schritt 2 - Flusstypisierung des Flussabschnittes:**
anhand der Typenkarte und Steckbriefe der bundesdeutschen Fließgewässertypen (Pottgiesser & Sommerhäuser 2003, 2008) werden Fließgewässer klassifiziert, dies muss mit lokalen Parametern vor Ort verifiziert werden; durch die Beschreibung der idealen Ausprägung (z. B. ihre hydromorphologische Ausstattung, chemische Leitwerte und charakteristische Arten) kann das Entwicklungsziel des Flussabschnittes abgeschätzt werden
- **Schritt 3 - Bestimmung des Freien Pendelraums:**
je nach vorhandener Datenlage und Kapazitäten sind mehrere Ansätze mit unterschiedlichem Detailgrad möglich:

A) *Pendelraumbreite nach UBA* (Umweltbundesamt, Dahm et al. 2014):

Es wird eine Entwicklungskorridorbreite als Mindestgröße für die Entwicklung der leitbildtypischen Strukturelemente des Flusses anhand von flusstypspezifischer Faktormultiplikation mit der potentiell natürlichen Sohlbreite bzw. bei veränderten Gewässern anhand der Ausbausohlbreite berechnet (Tabelle 1).

Tabelle 1: Grundlegende Formel für die Bestimmung des minimalen und maximalen Entwicklungskorridors anhand der Ausbausohlbreite. Die Faktoren werden abhängig vom Flusstyp eingesetzt (Tabelle 2, nach Dahm et al. 2014).

Parameter	Herleitung
Potentiell natürliche Sohlbreite <small>(Die dargestellte Formel zur Berechnung der pot. nat. Sohlbreite dient als Orientierung. Sofern bereits konkrete Werte zur pot. nat. Sohlbreite eines Gewässers vorliegen, sollten diese herangezogen werden.)</small>	Ausbausohlbreite * Faktor
Minimaler Entwicklungskorridor	Potentiell natürliche Sohlbreite * Faktor
Maximaler Entwicklungskorridor	Potentiell natürliche Sohlbreite * Faktor

Die Faktoren sind flusstypabhängig in den Steckbriefen angegeben (Zusammenfassung Tabelle 2).

Vorhandene Restriktionen, die aufgrund sozialer oder ökonomischer Faktoren bestehen können, werden von dem berechneten Entwicklungskorridor abgezogen. Nahe dem Gewässer kann ein nutzungsfreier Uferstreifen ausgewiesen werden. Die restlichen Flächen können weiter genutzt werden, bis es zu einer möglichen Gewässerverlagerung oder Erosion durch den Fluss kommt.

Tabelle 2: Flusstypabhängige Faktoren für die Berechnung des minimalen und maximalen Entwicklungskorridors anhand der Ausbausohlbreite (Tabelle 1, nach Dahm et al. 2014).

Flusstyp	Pot. natürliche Sohlbreite	Minimaler Entwicklungskorridor	Maximaler Entwicklungskorridor
Fließgewässer in Kerbtälern	Ausbausohlbreite * 2	pot. nat. Sohlbreite * 1	pot. nat. Sohlbreite * 3
Unverzweigte lehmgeprägte Fließgewässer	Ausbausohlbreite * 2	pot. nat. Sohlbreite * 3 (Ausnahme Typ 18: * 5)	pot. nat. Sohlbreite * 10
Unverzweigte Fließgewässer mit sand-, kies-, schotter- oder steingeprägter Sohle	Ausbausohlbreite * 3 (Ausnahme Typ 19: * 5)	pot. nat. Sohlbreite * 3 (Ausnahmen Typ 7: * 1,5, Typ 9.1: x 2)	pot. nat. Sohlbreite * 10 (Ausnahmen Typ 7, Typ 9.1, Typ 19: * 5)
Gewässer mit Neben-gerinnen / anastomosierende / verflochtene Gewässer	Ausbausohlbreite * 5	pot. nat. Sohlbreite * 3 (Ausnahme Typ 2.1: * 2)	pot. nat. Sohlbreite * 10 (Ausnahmen Typ 2.2: * 5)

B) *Pendelraumbreite nach LAWA* (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser, LAWA 2016a):

Die Gewässerentwicklungskorridorbreite wird anhand der heutigen potenziell natürlichen Gewässerbreite unter Berücksichtigung der Mäanderlänge, der Windung sowie eines Dynamikfaktors unter Berücksichtigung lokaler Messungen oder gewässertypischer Angaben anhand von acht Schritten berechnet. Restriktionsflächen werden vom Korridor abgezogen und die entfallenen Flächen auf der gegenüberliegenden Gewässerseite ergänzt.

Beispiel des Freien Pendelraums an der Mulde bei Laußig (Sachsen)

Schritt 1: Flussabschnitt wählen

Für die Mulde wurde der Flussabschnitt flussauf von der Fähre Gruna bis flussab von Pristäblich als homogener Abschnitt gewählt, da sich die relevanten naturräumlichen Rahmenbedingungen in diesem Bereich nicht ändern.

Schritt 2: Gewässertyp bestimmen

Die Mulde stellt im Projektgebiet folgenden Gewässertyp dar:

- Gefällereiche Flussaue des Flach- und Hügellandes mit Winterhochwassern (nach Koenzen 2005)
- Kiesgeprägter Tieflandfluss (nach Pottgiesser & Sommerhäuser 2008, Dahm et al. 2014).

Schritt 3: Freien Pendelraum bestimmen

Nach dem Konzept des Umweltbundesamtes (Dahm et al. 2014)

Der Freie Pendelraum der Mulde nach dem Konzept des Umweltbundesamtes (Dahm et al. 2014) wird anhand der flusstypspezifischer Faktormultiplikation für die „Kiesgeprägten Tieflandflüsse“ mit der potentiell natürlichen Sohlbreite berechnet. Die über das Projektgebiet gemittelte Sohlbreite der Mulde beträgt 47 m. Durch die berechnete Sohlbreite betragen der minimale und der maximale Entwicklungskorridor 423 m bzw. 1.410 m (Tabelle 3, Abbildung 2).

Tabelle 3: Herleitung des Entwicklungskorridors der Mulde nach der Methode des Umweltbundesamtes (Dahm et al. 2014).

Parameter	Herleitung
Potenziell natürliche Sohlbreite (Orientierung)	47 m x 3 = 141 m
Minimaler Entwicklungskorridor	141 m x 3 = 423 m
Maximaler Entwicklungskorridor	141 m x 10 = 1.410 m



Abbildung 2: Der maximale (links) und der minimale (rechts) Entwicklungskorridor der Mulde bei Laußig nach der Methode des Umweltbundesamtes (Dahm et al. 2014).

Nach dem Konzept der LAWA (LAWA 2016)

Bei der Berechnung des Freien Pendelraums nach dem Konzept der LAWA (2016) wurde wie in dem Konzept empfohlen für den bordvollen Abfluss der Mittelwasserabfluss am Pegel Bad Düben mit $63,9 \text{ m}^3/\text{s}$ verwendet, da das Einzugsgebiet die benötigte Größe von über 1.000 km^2 aufweist. Das Talbodengefälle und der Windungsgrad wurden im GIS gemessen, das Sohlgefälle wurde durch eine Transektvermessungen im Gelände bestimmt und die Werte konnten durch eine typische Sohl Schubspannung für diesen Gewässertyp plausibilisiert werden.

Daraus ergibt sich eine heutige potenziell natürliche Gewässerbreite von 75 m und eine Gewässerentwicklungskorridorbreite (der Freie Pendelraum) von 725 m (Tabelle 4).

Tabelle 4: Parameter zur Bestimmung der Gewässerentwicklungskorridorbreite der Mulde bei Laußig nach dem Konzept der LAWA (2016).

Parameter	Einheit	Mulde bei Laußig
Q_{bordvoll} (Annahme)	m^3/s	63,9
Talbodengefälle	%	0,045
Windungsgrad	-	1,83
Sohlgefälle	%	0,043
Rauheitsbeiwert k_{st}	$\text{m}^{1/3}/\text{s}$	18
Böschungsneigung	1:m	1:5
Heutige pot. natürliche Gewässerbreite	m	75
Sohl Schubspannung	N/m^2	7,66
Plausibilisierung Sohl Schubspannung	für Typ GuS_17, N/m^2	4-11
Gewässerentwicklungskorridorbreite	m	725

Abzüglich der Siedlungsflächen ergibt sich daraus die kartographische Darstellung des Freien Pendelraums nach LAWA (2016) für die Mulde bei Laußig (Abbildung 3).

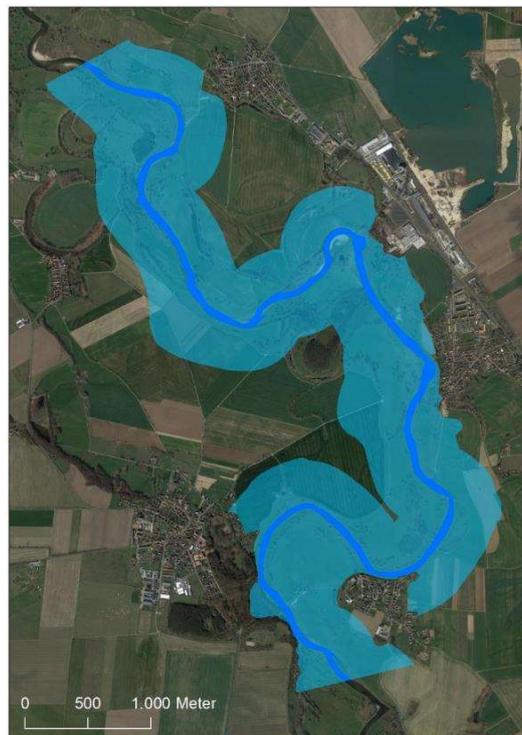


Abbildung 3: Der Gewässerentwicklungskorridor an der Mulde bei Laußig nach der Methode der LAWA (LAWA 2016).

Kombination des Freien Pendelraums mit weiteren ökologischen Aufwertungen

Maßnahmen im Sinne des Freien Pendelraums sind an vielen Flüssen durch die bestehenden Hochwasserschutzvorrichtungen mit Deichrückverlegungen verbunden. Dadurch rücken Flächen wieder in die rezente Aue und damit in den überflutbaren Bereich des Flusses. Diese können weiter in ihrer bisherigen Nutzung verbleiben, bis sie durch den Fluss eingenommen werden. Es sollte jedoch eine Extensivierung der Nutzung und eine Ausweisung von Sukzessionsflächen angestrebt werden, um gefährdete Auenbiotope und damit auch Tier- und Pflanzenarten zu fördern. Die Deichrückverlegungen können auch direkt mit Auwaldentwicklung als weiterer ökologischer Aufwertungen kombiniert werden. Da in Deutschland ein großes Defizit an dynamischen, d. h. von der Flussdynamik geprägten Auwaldbeständen, besteht, ist die Vergrößerung dieser Flächen besonders wichtig (BMU & BfN 2021). Die Flächen können einerseits als Sukzessionsflächen ausgewiesen werden, die sich dann durch fortschreitende Vegetationsentwicklung in Auwaldflächen entwickeln. Für eine gezieltere Entwicklung von Auwäldern mit an den Standort angepasster Vegetation können auch je nach Höhenunterschied des Standorts zum Mittelwasser und der Bodenverhältnisse Weichholz- oder Hartholzauwälder gepflanzt werden.

Für die Planung sollten keine Flächen im Prallhangbereich gewählt, da die Möglichkeit einer Abtragung der Flächen durch Seitenerosion besteht. Zudem sollten keine Waldflächen quer zur Strömungsrichtung des Wassers im Hochwasserfall entwickelt werden, um einen eventuellen Rückstau zu vermeiden. Waldfreie Offenlandkorridore gewährleisten eine Durchströmbarkeit des Raumes. Ein weiteres Kriterium für die Auswahl der Flächen sind die Eigentumsverhältnisse. Bei Flurstücken in öffentlicher Hand, Naturschutzverbänden, -stiftungen etc. entfallen vorhergehende Eigentumsregelungen.

Durch die Ausweisung eines Freien Pendelraums können auch Flutrinnen in der Aue wieder ins Vorland und damit wieder in die rezente Aue integriert werden. Die Rinnen werden dann bei Hochwasser je nach Höhe und Verlandungsgrad wieder an die Hydrodynamik des Gewässers angeschlossen. Dadurch kann die Funktionalität der Rinnen als aktive Seitengewässer (wieder-)hergestellt werden. Abhängig von der Entfernung zum Hauptgewässer, der Gestaltung v.a. von Ingestions- und Egestionsbereichen (Lage, Größe und Form der Ingestionsöffnung, Sohlentiefe der Anbindung etc.) können unterschiedliche Gewässerbiotope entstehen. Wird eine dauerhafte Wasserführung mit Verbindung zum Fluss angestrebt, muss für die Detailplanung eine hydraulische bzw. Feststofftransportmodellierung durchgeführt werden.



Förderhinweis

Dieser Leitfaden wurde im Rahmen des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projekts "Ökologische Aufwertung der Mittleren Mulde" am Aueninstitut (KIT) erstellt.

Weitere Informationen und diesen Handlungsleitfaden zum Download finden Sie auf: <https://www.freier-pendelraum.de>



Text und Gestaltung

Aueninstitut
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Josefstr. 1, 76437 Rastatt

Referenzen

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit) & BfN (Bundesamt für Naturschutz) 2021: Auenzustandsbericht 2021. Flussauen in Deutschland. Bonn – Bad Godesberg. DOI: 10.19217/brs211.

Dahm, V., Kupilas, B., Rolauffs, P. & Herin, D. (2014): Hydromorphologische Steckbriefe der deutschen Fließgewässertypen. Anhang 1 von „Strategien zur Optimierung von Fließgewässer-Renaturierungsmaßnahmen und ihrer Erfolgskontrolle“. Umweltbundesamt (Hrsg.). Dessau-Roßlau. Texte Heft 43. S. 288.

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. FKZ 803 82 100. Schriftenreihe Angewandte Landschaftsökologie Heft 65. 327 S.

LAWA (Bund- /Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser) (2016a): LAWA Verfahrensempfehlung „Typspezifischer Flächenbedarf für die Entwicklung von Fließgewässern“. LFP Projekt O 4.13. Anwenderhandbuch.

Pottgiesser, T. & Sommerhäuser, M. (2003): Karte der biozönotisch bedeutsamen Fließgewässertypen Deutschlands. Stand Dezember 2003. Erläuterungen in: Pottgiesser, T., Kail, J., Seuter, S. & Halle, M. (2004): Abschließende Arbeiten zur Fließgewässertypisierung entsprechend den Anforderungen der EU-WRRRL Teil II. Endbericht.

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.

Scholz, M., Mehl, D., Schulz-Zunkel, C., Kasperidus, H. D., Born, W. & Henle, K. (2012): Ökosystemfunktionen von Flussauen. Analyse und Bewertung von Hochwasserretention, Nährstoffrückhalt, Kohlenstoffvorrat, Treibhausgasemissionen und Habitatfunktion. Naturschutz und Biologische Vielfalt, 124(2).

Abbildungen

Titelseite: Mulde bei Pristäblich (Foto: I. Becker)

S. 4 Konzept: Ach (Bayern) (Foto: Steinberger (BOKU Wien) 2018)

S. 10: Mulde bei Laußig (Foto: I. Becker)