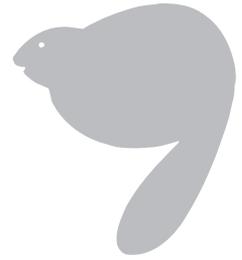


Wilde Mulde – Revitalisierung einer Wildflusslandschaft in Mitteldeutschland



CHRISTIANE SCHULZ-ZUNKEL, GEORG RAST, HEIKO SCHRENNER & COAUTORINNEN UND COAUTOREN¹

1 Einleitung und Projektziel

Naturnahe Flüsse und ihre Auen sind Lebensräume, die einzigartige und essentielle Ökosystemleistungen (ÖSL) bereitstellen. Auen mildern Hochwasserereignisse und halten Sedimente sowie daran gebundene Nähr- und Schadstoffe zurück. Gleichzeitig verfügen sie über einen besonderen Reichtum an Lebensräumen und sind damit bedeutende Hotspots der biologischen Vielfalt (SCHOLZ et al. 2012). Wesentliche Steuergrößen für die Erhaltung und Förderung von Biodiversität und ÖSL in Flusslandschaften sind eine diverse flussinterne Hydromorphologie und die dynamische Verbindung zwischen Fluss und Aue (TOCKNER & STANFORD 2002).

Der Zustand der Fließgewässer und Flussauen in Deutschland ist einer der Indikatoren in der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt (NBS) und gibt Auskunft über die Situation der Flussauen als Lebensraum von Pflanzen und Tieren (BMU 2010). In der NBS ist verankert, dass bis 2020 Fließgewässer und Auen in ihrer Funktion als Lebensraum soweit gesichert werden sollen, dass eine für Deutschland naturraumtypische Vielfalt an Organismen und Biotopen gewährleistet wird. Um diese Zielsetzung umzusetzen, wurde von der Bundesregierung ein Förderprogramm initiiert, in dem Umsetzungsprojekte, Kommunikation und Begleitforschung als Verbundprojekte gemeinsam gefördert werden. So verfolgt das Projekt „Wilde Mulde – Revitalisierung einer Wildflusslandschaft in Mitteldeutschland“ das Ziel, die Untere Mulde von Retzau flussabwärts bis zur Mündung bei Dessau-Roßlau an ausgewählten Standorten zu revitalisieren, um die Interaktionen des Flusses mit seinen angrenzenden Auen zu begünstigen.

Durch die geplanten Einzelmaßnahmen und die damit verbundene Initiierung der morphologischen Erneuerung von Fluss und Aue kann die Lebensraumfunktion verbessert bzw. nachhaltig gesichert werden. Neue Pionierstandorte werden natürlich geschaffen, auf denen Arten und Lebensgemeinschaften wieder geeignete Lebensräume finden, die deutschland- und europaweit als besonders gefährdet gelten. Die integrative Verknüpfung der geplanten Revitalisierungsmaßnahmen mit wissenschaftlichen Untersuchungen zu Hydraulik und Hydromorphologie, zur aquatischen, semiterrestrischen und terrestrischen Biodiversität, zum Stoffhaushalt sowie zu bereitgestellten Ökosystemleistungen mittels eines abgestimmten gemeinsamen Studiendesigns der beteiligten Forschungspartner dient dazu, statistisch belastbare Daten über die Maßnahmenwirkungen im Fluss-Auen-Komplex zu liefern. Ferner soll es die Möglichkeit bieten, Wirkungen durchgeführter Revitalisierungsmaßnahmen auch für andere Fluss-Auen-Ökosysteme zu prognostizieren.

Dieses Vorhaben ist in die Strategie des Landes Sachsen-Anhalt zur Erhaltung der biologischen Vielfalt integriert (MLU 2010), insbesondere in die Konzepte zur Förderung von naturraumtypischen Lebensräumen im Biosphärenreservat Mittelbe (ARCADIS CONSULT GmbH 2006) und zum Aufbau eines effizienten Biotopverbundsystems mit überregionaler und bundesweiter Bedeutung (SZEKELY 2006, FUCHS et al. 2011). Gleichfalls leistet das Projekt einen Beitrag zur Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL), z. B. durch Beseitigung hydromorphologischer Defizite und zur Zielerreichung eines guten ökologischen Zustandes. Dies gilt insbesondere, da die Mulde als natür-

¹ MARTINA BABOROWSKI, SVEN BAUTH, ELISABETH BONDAR-KUNZE, MARIO BRAUNS, SUSANN BROMBERGER, FRANK DZIOCK, CEDRIC GAPINSKI, RALF GRÜNDLING, CHRISTINA VON HAAREN, THOMAS HEIN, KLAUS HENLE, NORBERT KAMJUNKE, HANS D. KASPERIDUS, KATINKA KOLL, LENA KRETZ, FRANK KRÜGER, RONALD MÖWS, MARCEL OTTE, MATTHIAS PUCHER, CLAUDIA SCHMIDT, INGO SCHNAUDER, MATHIAS SCHOLZ, CAROLIN SEELE, CLAUDIA NOGUEIRA TAVARES, WOLF VON TÜMPLING, MICHAEL VIEWEG, GUIDO WARTHEMANN, MARKUS WEITERE & CHRISTIAN WIRTH

licher Wasserkörper ausgewiesen ist und für gewässertypspezifische Arten- und Lebensgemeinschaften mit gutem ökologischen Zustand entsprechende Maßnahmen ergriffen werden müssen (LHW 2008). Das Projekt Wilde Mulde ist ebenso in ein regionales Konzept zur Revitalisierung der Auen an der Mittleren Elbe und am Unterlauf der Mulde eingebunden und korrespondiert mit verschiedenen Projekten wie z. B. dem LIFE-Projekt Renaturierung von Fluss, Altwasser und Entwicklung von Auenwald in der Kliekener Aue, dem Naturschutzgroßprojekt Mittlere Elbe mit der Deichrückverlegung Lödderitz sowie der Auenrenaturierung zwischen Mulde und Saalemündung (EICHORN & PUHLMANN 1999, EICHORN et al. 2004).

Die bundesweite Ausstrahlung des Projektes ist darüber hinaus darin begründet, dass an der Mittleren Elbe und der Unteren Mulde die besondere Möglichkeit besteht, einen großflächigen Verbund einer naturnahen Flusslandschaft in Verbindung mit Auengewässern und Hartholzauenwäldern zu erhalten und zu entwickeln. In ihrem Unterlauf zeigt die Mulde durch aktive Erosion an den Gleithängen eine starke morphologische Differenzierung im Längs- und Querprofil ihres Flusslaufs, Inselbildung und die größte Naturnähe eines Flusses in Mitteldeutschland, wenngleich ihre Prallhänge mit Deckwerken versehen wurden. Die Mittlere Elbe verblieb bis heute weitgehend im Ausbauzustand der 1930er Jahre und ist frei fließend. Dennoch sind viele Abschnitte der Mulde erheblich beeinträchtigt, so dass Revitalisierungsmaßnahmen für eine dauerhafte Sicherung dieser Lebensraumvielfalt erforderlich sind (PUHLMANN & RAST 1997).

2 Gebietsbeschreibung

Das Projektgebiet im Unterlauf der Mulde erstreckt sich über ca. 24 Flusskilometer und reicht von der Gemeinde Retzau im Süden (nahe Raguhn) durch das Stadtgebiet Dessau bis zur Mündung der Mulde in die Elbe und schließt die gesamte rezente Aue ein. Das Projektgebiet ist Teil des Biosphärenreservates „Mittel-Elbe“ bzw. des länderübergreifenden Biosphärenreservates „Flusslandschaft Elbe“ in Sachsen-Anhalt. Große Teile des Flusslaufes und wertvolle Auenbereiche wurden als Naturschutzgebiet „Untere Mulde“ (1961) oder Landschaftsschutzgebiet (1957) ausgewiesen und nach 1990 in das erweiterte Biosphärenreservat „Mittlere Elbe“ integriert (JURGEIT et al. 1997). Das gesamte Projektgebiet ist Teil des FFH-Gebietes „Untere Mulde“ (DE 4239-302) und weist u. a. nach RANA (2013) eine Vielzahl



Abb. 1: Naturufer mit Kiesbank entlang der Unteren Mulde bei Möst (UG 3). Foto: C. Schulz-Zunkel.



Abb. 2: Verbautes Ufer entlang der Unteren Mulde bei den Sollnitzer Stillingen (UG 2). Foto: M. Scholz.

nach Anhang 1 der FFH-Richtlinie (FFH-RL) zu schützender Lebensraumtypen (LRT) auf (u. a. Flüsse mit flutender Unterwasservegetation (LRT 3260), Naturnahe Ufer (LRT 3270), Weiden-Auenwälder (LRT 91E0) und Hartholz-Auenwälder (LRT 91F0).

Das Projektgebiet wird unmittelbar von der Abflussdynamik der Mulde beeinflusst und umfasst den Fluss und die Überflutungsaue der Mulde. Einige Abschnitte weisen außergewöhnlich aktive Naturufer auf, teilweise mit einzigartigen Totholzstrukturen. Die Landnutzung der angrenzenden Überflutungsaue ist überwiegend von einem Mosaik aus Altwässern, Auengrünland mit Flutrinnen, aber auch von Hartholzauenwald sowie im geringen Umfang von Ackerflächen geprägt. Zudem ist die gesamte anhaltische Mulde ab Raguhn Bestandteil des UNESCO-Welterbegebietes Gartenreich Dessau-Wörlitz.

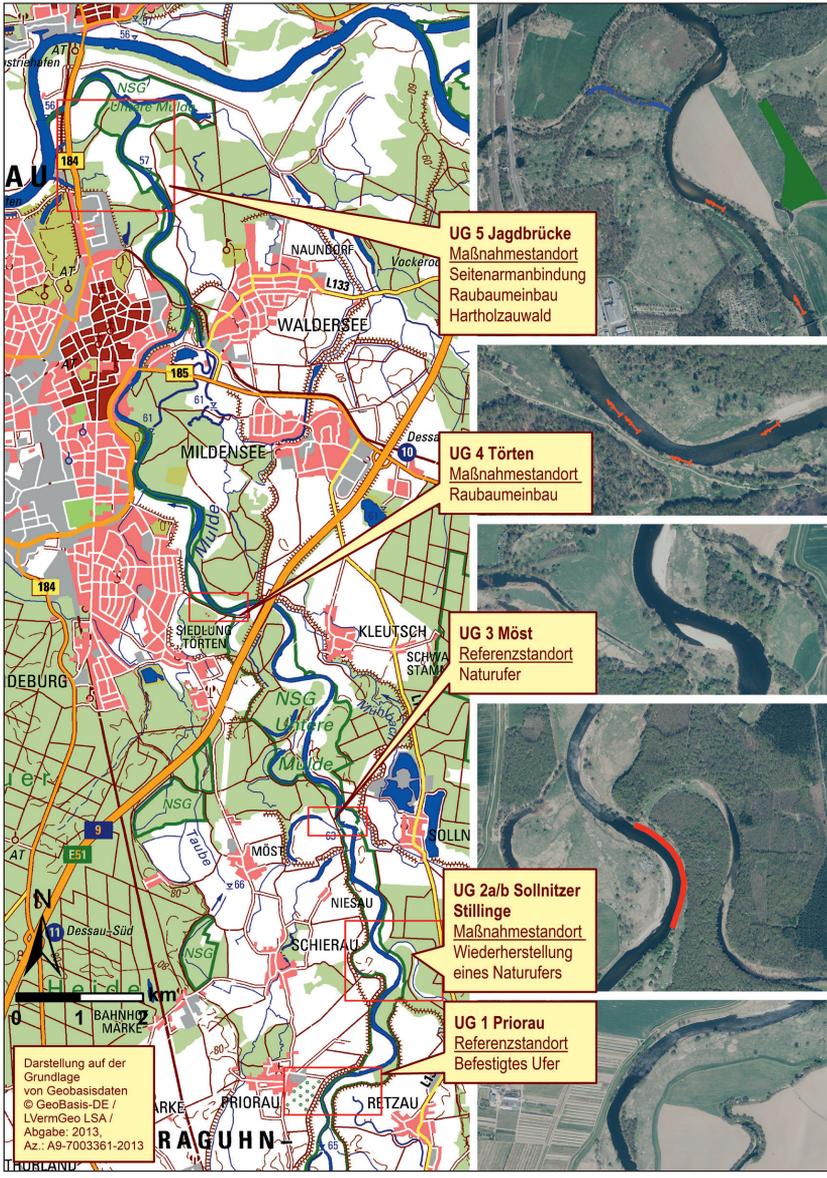


Abb. 3: Übersicht über das Projektgebiet mit den fünf Untersuchungsgebieten (UG) unterteilt nach den Referenzstandorten (UG 1–Priorau und UG 3–Möst) und den Maßnahmestandorten (UG 2–Sollnitzer Stillinge, UG 4–Törten und UG 5–Jagdbrücke).

Eine Nutzung zum Wasserwandern ist in diesem Abschnitt der Mulde aus naturschutzrechtlichen Gründen auf nur wenige Tage im Jahr beschränkt. Die gesamte Untere Mulde mit ihrer Aue gilt als Schadstoffbelastungsgebiet aus früheren industriellen Aktivitäten im Bitterfelder Raum (BRÄUER & HERZOG 1997, KLEMM et al. 2005, WEIGOLD & BABOROWSKI 2009). Trotz einer vergleichsweise hochwertigen Naturlandschaft der Unteren Mulde im Biosphärenreservat Mittelelbe (Abb. 1) mangelt es dieser Fluss-Auenlandschaft in vielen Abschnitten an einer natürlichen hydromor-

phologischen Dynamik (PUHLMANN & RAST 1997, PUHLMANN 1997). Aufgrund von Uferbefestigungen (Abb. 2), mehrerer Wehre wie z. B. in Dessau und Raguhn und insbesondere durch den Muldestausee, der den größten Anteil der Muldesedimente zurückhält, weist die untere Mulde ein starkes Geschiebedefizit auf, das zu einer Eintiefung der Sohle und in Folge zu einem Absinken der Niedrig- und Mittelwasserabflüsse führt. Dies beeinflusst wiederum den Grundwasserspiegel in der Aue negativ und führt zur beschleunigten Alterung der Auengewässer und Altarme. Dadurch ist langfristig

mit einer Einschränkung von fluss- und auenbezogenen Ökosystemleistungen wie der Stoffretention und der Bereitstellung von Habitaten zu rechnen. Trotz dieser Eingriffe in den Geschiebehaushalt und die Hydrodynamik zählt die Mulde zu den letzten natürlichen Geschiebelieferanten der Elbe, deren Flussbett bereits künstlich Geschiebe zugegeben werden muss (FAULHABER & ALEXY 2005), da dies durch die Nebenflüsse nicht mehr in ausreichendem Maße geschieht.

3 Welche Revitalisierungsmaßnahmen sind geplant und warum?

Die geplanten Maßnahmen sind bisher weder im Einzelnen noch in der geplanten Kombination in beschriebenem Umfang an einem größeren, in seiner Hydraulik und Morphologie noch vergleichsweise dynamischen Fließgewässer in Deutschland durchgeführt worden (Abb. 3). Durch die geplanten Revitalisierungsmaßnahmen sollen Raubäume, ganze Bäume mit Wurzelsteller, an Stellen verankert werden, an denen der natürliche Totholzeintrag fehlt (3.1). An einem ca. 500 Meter langen Abschnitt ist geplant, die natürliche Uferdynamik durch Entfernen eines massiven Deckwerks wiederherzustellen (3.2). Des Weiteren soll ein Seitenarm, dem derzeit die Verbindung zur Mulde fehlt, wieder angeschlossen werden (3.3). Auf ca. vier Hektar Fläche ist die Entwicklung von Hartholzauenwald durch Aufforstung vorgesehen (3.4). Die Umsetzung dieser insgesamt kostengünstigen Maßnahmen in Verbindung mit einer fachübergreifenden Begleitforschung hinsichtlich abiotischer, biotischer und funktioneller Erfolgsindikatoren geht weit über die bisherigen Ansätze zur Wirkungskontrolle innerhalb der Maßnahmenprogramme der EU-WRRRL, aber auch des Naturschutzes hinaus.

3.1 Einbringung von Raubäumen

Umgestürzte Bäume und große abgebrochene Äste sind Kennzeichen natürlicher Flüsse. Sie gestalten die Ufer und stabilisieren die Flusssohle. Zudem bieten sie aquatischen Gewässerlebewesen Lebensraum. Totholzbestände und im speziellen große, vollständige Raubäume im Flussbett sind in den Flüssen Deutschlands generell stark unterrepräsentiert (HERING & REICH 1997, GRAFAHREND-BELAU & BRUNKE 2005). Insgesamt sollen im Rahmen des Projekts sechs Raubäume in die Mulde eingebracht werden. Jeweils an Standorten, an denen die Mulde eine sehr strukturarme, gleichförmige Flusssohle aufweist. Es wird erwartet,

dass sich unmittelbar nach Einbau der Raubäume durch die entstehenden Wirbelströmungen das Gewässerbett sowohl im unmittelbaren Bereich des Einbaus als auch im weiteren abstromigen Flussverlauf verändert.

Zwei der Bäume wurden im Oktober 2017 im UG 5–Jagdbrücke, vier weitere werden im UG 4–Törten in das Gewässer eingebracht. Für den Einbau werden Hybridpappeln aus der nahen Umgebung verwendet, deren Entfernung aus der Hartholzaua naturschutzfachlichen Entwicklungszielen dient.

Die Bäume werden massiv verankert, um ein Abschwemmen bei Hochwasser oder starkem Eisgang zu verhindern. Des Weiteren dient dies auch den Zielen, den Baum über einen langen Zeitraum als Forschungsobjekt zu erhalten, als auch die um das Totholz entstehenden Prozesse im Gewässer für die interessierte Öffentlichkeit sichtbar zu machen. Daher wurden die Einbauorte so gewählt, dass die Mehrzahl der Raubäume von Rad- und Fußwegen aus beobachtet werden können.

3.2 Wiederherstellung eines Naturufers

Natürliche Mäander bilden die lebendige Einheit von Fluss und Aue. So soll auf einem ca. 500 Meter langen Abschnitt im UG 2–Söllnitzer Stillinge das natürliche Ufer der Mulde wiederhergestellt werden. Dazu soll ein ca. ein Meter starkes Deckwerk aus Porphyrschotter rückgebaut werden. Dieses wurde 1989 im Rahmen einer heute nicht mehr nachvollziehbaren Unterhaltungsmaßnahme verbaut.

Durch die Wiederherstellung des Naturufers (Prallufer) soll die Bildung der für einen Wildfluss typischen steilen, abbrechenden Ufer und der auf der gegenüberliegenden Seite seicht in den Fluss laufenden Kiesbänke ermöglicht werden (Gleitufer). So entstehen an den Prallufern der Mulde wertvolle Habitate für Eisvogel (*Alcedo atthis*) und Uferschwalbe (*Riparia riparia*). Die auf der gegenüberliegenden Seite sich bildenden Kiesbänke dienen Flussregenpfeifer (*Charadrius dubius*) und Flussuferläufer (*Actitis hypoleucos*) als Brutrevier und Nahrungshabitat.

Die zu erwartenden Wanderungsbewegungen sind schwer abschätzbar. Die Mulde weist in vergleichbaren Abschnitten zum Teil Wanderungsbewegungen von 40 Metern in 15 Jahren auf. Allerdings wird deutlich, dass dies maßgeblich vom Kurvenradius und vor allem von der Anzahl und Dauer der bordvollen Abflüsse in der Mulde abhängt. Letzteres ist nicht vorhersagbar. Daher wurden im Rahmen des behördlichen Genehmigungsverfahrens für die Maßnahme lediglich Prognosen zur mittel- und langfristigen Veränderung des

Ufers abgegeben. Entscheidend ist die Frage: Wie weit darf sich der Fluss maximal verlegen? Dazu wurde ein maximaler Entwicklungskorridor festgelegt, der morphologische Grenzen der Flussentwicklung, Infrastrukturanlagen wie Straßen und Schutzgüter, z. B. wertvolle Bodendenkmale, berücksichtigt. Erst bei Erreichen der Grenzen dieses Korridors muss unterhaltend in die Dynamik des Flusses eingegriffen werden.

Unabhängig von der zu erwartenden Verlagerungsgeschwindigkeit kommt es zur Abtragung des Ufers und früher oder später zum Unterspülen von ufernahen Bäumen. In Folge dessen ist ein deutlich erhöhter Sedi-
menteintrag in Kombination mit natürlich einfallenden Raubäumen zu erwarten, was sich positiv auf Prozesse wie die aquatisch-terrestrische Kopplung zwischen Fluss und Aue auswirken wird (insbes. WARD 1989, COLLIER et al. 2002, ROBINSON et al. 2002, PAETZOLD & TOCKNER 2005, BAXTER et al. 2005). Langfristig kann mit einer Stabilisierung der Prallhangerosion gerechnet werden. Durch die Aktivierungen der Gewässerdynamik werden Strukturneubildungen initiiert und Habitate von tiefen Kolken bis hin zu flachen Furten, Kiesbänken und Gleithängen sowie neue potenzielle Standorte für die Entwicklung der Weichholzaue geschaffen.

3.3 Anschluss eines Seitenarms

Eine naturnahe Flusslandschaft ist ein System von Gewässern. Dazu gehören auch sogenannte Altarme, die aus alten Flussläufen entstanden sind, oder seichte bis tiefe Flutrinnen, die bei Hochwasser durchströmt werden. Viele dieser Gewässer leiden darunter, dass sie von den schwankenden Wasserständen des benachbarten Flusses abgekoppelt sind. Das Trockenfallen des Gewässers und dessen Verschlammung sind die Folge. Im UG 5–Jagdbrücke ist geplant, einen Seitenarm wieder an die Mulde anzuschließen. Der Anschlussbereich liegt ca. drei Kilometer vor der Mündung der Mulde in die Elbe. Dieser soll so angelegt werden, dass bei mittlerer Wasserführung die Mulde in das Gewässer einströmt. Der anzuschließende Seitenarm stellt eine Verbindung zum Fahrsee dar, der in die Elbe mündet. Ziel ist, dass das Gewässer bei höheren Wasserständen bis zur Elbe durchflossen wird und so eine regelmäßige Interaktion von Fluss und Aue gewährleistet ist.

3.4 Aufforstung Hartholzauenwald

Das Wechselspiel von Überschwemmungen bei Hochwasser und Trockenzeiten in den Wäldern von Flussauen erklärt die Besonderheiten dieses Lebensraums, der viele daran angepasste Pflanzen- und Tierarten be-

heimatet. Dieser „Regenwald Deutschlands“ verdient besonderen Schutz und ist flächenmäßig zu entwickeln. Daher sollen vier Hektar Auenwald, bestehend aus Eichen, Ulmen und Eschen, gepflanzt werden.

4 Erste Forschungsergebnisse der Status quo-Aufnahmen

Es wird davon ausgegangen, dass sich die unterschiedlichen Maßnahmen in der Mulde direkt über hydromorphologische Veränderungen und Sedimentumlagerung auf die Zusammensetzung der aquatischen und semiterrestrischen Biodiversität auswirken und Ökosystemleistungen wie den Nährstoff- und Sedimentrückhalt sowie die Habitatfunktion nachhaltig aufwerten. Der Rückbau von Uferbefestigungen an Prallhängen wird in erster Linie zu einer verstärkten Erosion am Prallhang und zur Deposition am unterstromigen Gleithang führen. Bei fortschreitender Ufererosion ist zusätzlich zur aktiven Einbringung von Raubäumen mit einem verstärkten Eintrag von Totholz aus Ufergehölzen der Prallhänge zu rechnen. Insgesamt wird eine Sedimentremobilisierung erwartet, die sich positiv auf den Sedimenthaushalt, speziell die latente Tiefenerosion und somit auf die gesamte Gewässermorphologie mit seinen angrenzenden Uferbereichen und Auen auswirkt. Die initiierten Veränderungen der Hydromorphologie werden des Weiteren die strukturelle Heterogenität des Gewässers vergrößern. Somit ist zu erwarten, dass es infolge der Maßnahmenumsetzung zu einem Anstieg der aquatischen und semiterrestrischen Diversität und zu einer funktionellen Verbesserung des Fluss-Auen-Ökosystems der Mulde kommt. Die Zusammenführung der Daten und die Evaluierung der Revitalisierungsmaßnahmen einschließlich einer Abschätzung des Modellcharakters der Maßnahmen für andere Fluss-Revitalisierungsprojekte erlaubt die Einbindung der wissenschaftlichen Ergebnisse in bestehende Planungsinstrumente.

Dafür werden im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung der Revitalisierungsmaßnahmen gemeinsame Probeflächen an sogenannten Referenz-Flussabschnitten (befestigte und unbefestigte Abschnitte) sowie an den Maßnahmestandorten eingerichtet. Dabei stellt ein unbefestigter bzw. befestigter Abschnitt jeweils den relativen Endpunkt eines Gradienten des hydromorphologischen Zustands der Mulde dar, anhand dessen die Wirkungen der Maßnahmen zeitlich und räumlich untersucht und evaluiert werden. Dieses Untersuchungs-schemata entspricht dem BACI-Design (Before-After/

Control-Impact), einem robusten Untersuchungsdesign, das die Erfassung von Maßnahmenwirkungen auf der Skala ganzer Landschaften ermöglicht (STEWART-OATEN et al. 1986, SMITH 2002). Es erlaubt zu beurteilen, inwiefern die vorgesehenen Maßnahmen statistisch signifikante Effekte auf die Hydromorphologie und Biologie des Mulde-Ökosystems haben, und liefert somit die Grundlage für die Entwicklung von empirisch-statistischen Modellen zur Quantifizierung der Maßnahmenwirkung auf die untersuchten Zielgrößen (Hydraulik und Hydromorphologie, Stoffhaushalt und Biodiversität). Die im Rahmen des BACI-Untersuchungsdesign angelegten gemeinsamen Probestellen ermöglichen es, Synergien zwischen unterschiedlichen Fachbereichen nutzbar zu machen und allgemeingültige Aussagen bezüglich Revitalisierungsmaßnahmen in Flusssystemen abzuleiten.

Die Abbildung 4 zeigt eine schematische Darstellung der Probestellen der verschiedenen im Projekt vertretenen Fachdisziplinen. Die Ergebnisse werden unter dem Gesichtspunkt des Ökosystemleistungsansatzes und dem im Projektraum entstehenden gesellschaftlichen und individuellen Nutzen bilanziert.

Im Ufer- und Auenbereich erfolgte die Auswahl der Probestellen innerhalb der ausgewählten Untersuchungsgebiete nach einem sogenannten stratifizierten (höhenstufen) Zufallsdesign. Im direkten Wirkungsbereich einer Maßnahme werden jeweils ein Prall- und Gleithang untersucht. Dafür wurden verschiedene Probestellen basierend auf verschiedenen Merkmalen (bspw. Topografie, Entfernung zum Fluss) innerhalb eines Rasters zufällig ausgewählt. Somit wurden je Prall- und Gleithang permanente Probestellen ausgewählt, welche die räumliche Verteilung der ausgewählten Merkmale abbilden. Zusätzlich ermöglicht der Ansatz die Kombination mit Transekt-Untersuchungen im Ufer- und Auenbereich sowie im Fluss. Dafür sollten die Transekte sowohl für den Prall- als auch Gleithang zentral im jeweiligen Merkmalsbereich liegen. Ferner ermöglicht dieser Ansatz die Nutzung von Synergien zwischen den einzelnen Fachdisziplinen, bspw. durch Nutzung gleicher Probestellen für verschiedene Untersuchungen.

4.1 Hydraulik und Hydromorphologie

Mit dem Einbau der Raubäume wird die Schaffung kleinräumiger Habitats und Versteckmöglichkeiten sowie einer Nahrungsgrundlage für die aquatische Fauna erwartet. Das Ziel der Untersuchungen im Forschungsschwerpunkt Hydraulik und Hydromorphologie ist die Quantifizierung hydraulischer und hydromorphologischer Parameter in Kombination mit Untersuchungen

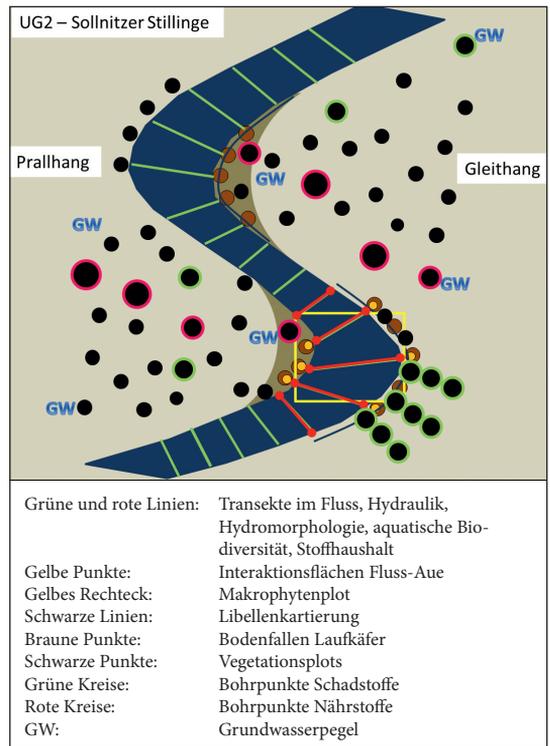


Abb. 4: Schematische Darstellung der Probestellen in den Untersuchungsgebieten, hier am Beispiel des UG 2 – Sollnitzer Stillinge.

zur Besiedelung durch Makrozoobenthos zur Beschreibung der Wirkung der geplanten Maßnahmen. In wiederholten Feldmesskampagnen werden das mittlere und turbulente Strömungsfeld, die Substratdiversität sowie die Sohl- und Gewässergeomorphologie aufgenommen. Die Messung des mittleren Geschwindigkeitsfeldes erfolgt in Querprofilen mit einem *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP). Die Größe einer Messzelle von 0,1 mal 0,25 Meter ermöglicht mittels statistischer Analysen der Geschwindigkeitsverteilungen Aussagen über die Strömungsdiversität im Querschnitt (Abb. 5).

Durch kleinräumige, zeitlich hochaufgelöste Messungen der sohnahen Strömungsgeschwindigkeit mit einem *Acoustic Doppler Velocimeter* (ADV) wird das turbulente Strömungsfeld gemessen und bezüglich kleinräumiger Geschwindigkeitsdiversität und vorherrschender Sohl Schubspannungen ausgewertet (Abb. 6). Die zeitgleiche Erhebung der benthischen Fauna sowie der Korngrößenzusammensetzung der Sohle gibt Auf-

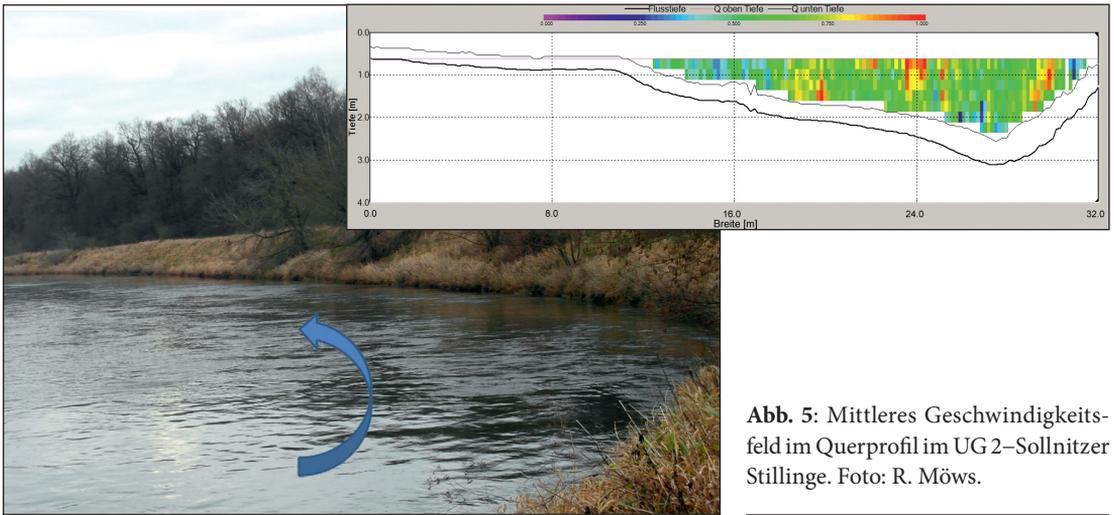


Abb. 5: Mittleres Geschwindigkeitsfeld im Querprofil im UG2–Sollnitzer Stillinge. Foto: R. Möws.

schluss über die Qualität der vorliegenden Mikrohabitate, z. B. im Einflussbereich eines Raubaums.

Die Datenerhebung vor Durchführung der Maßnahmen ist abgeschlossen. Sobald eine Maßnahme umgesetzt ist, werden die Messungen an den gleichen Probestellen regelmäßig wiederholt, um die zeitliche Entwicklung unter Berücksichtigung hydrologischer Ereignisse zu dokumentieren.

Die Feldmessungen werden ergänzt durch Laborversuche und numerische Berechnungen, um die hydraulischen und morphologischen Auswirkungen in Abhängigkeit charakteristischer Raubaumparameter zu erfassen und ingenieurtechnische Empfehlungen zum Einsatz von Raubäumen für andere Gewässerrevitalisierungsmaßnahmen bereitzustellen.

4.2 Stoffhaushalt

4.2.1 Phosphat- und Nitrat-Retention

Ziel dieser Untersuchungen ist es, die Verhältnisse der Makronährstoffe Phosphor (P) und Stickstoff (N) in Ufer- und Auengebieten der Unteren Mulde vor und nach Umsetzung der geplanten Maßnahmen zu ermitteln. Dies dient als Grundlage, um die Nährstoffretentionsraten in Abhängigkeit vom Abflussverhalten der Mulde zu quantifizieren. In den Jahren 2016 und 2017 wurden die Ist-Zustände erfasst und Beprobungen an UG 5–Jagdbrücke und UG 2–Sollnitzer Stillinge sowie an UG 3–Möst und UG 1–Priorau durchgeführt. Die Sediment- und Bodenproben wurden auf wesentliche Phosphorfraktionen (SRP [leicht lösbarer, reaktiver Phosphor], P_{anorg} [anorganisches Phosphat], P_{NaOH}

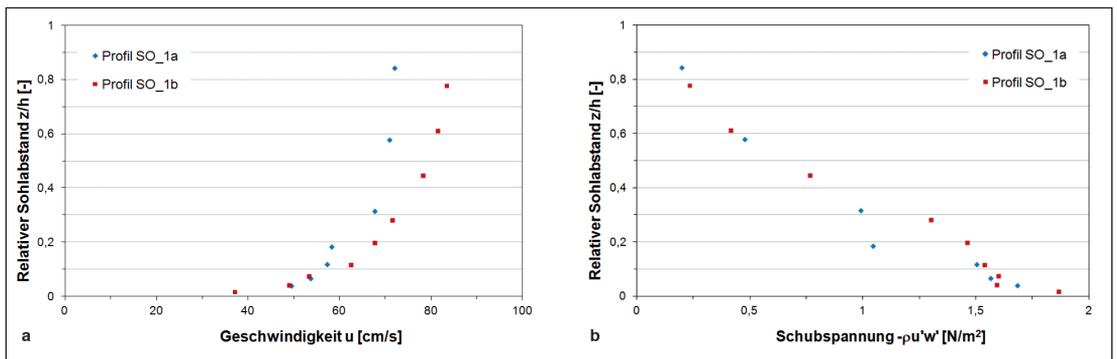


Abb. 6: Vertikale Profile der Geschwindigkeit in Hauptströmungsrichtung (a) und der Schubspannung (b) im UG 2–Sollnitzer Stillinge.

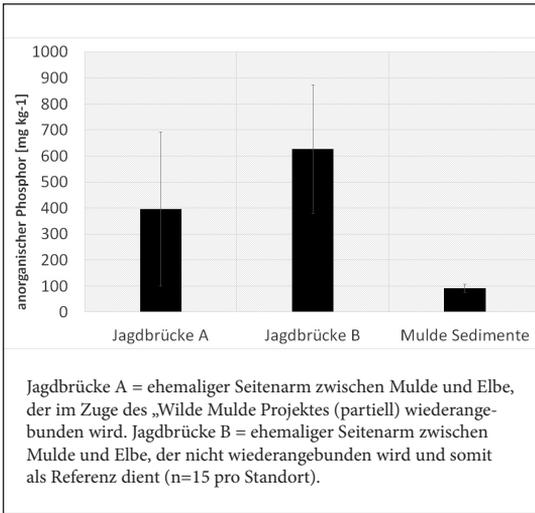


Abb. 7: Anorganischer Phosphor an den Probeflächen im UG 5–Jagdbrücke im Vergleich zu den Sedimenten in der Mulde.

[Eisen und Aluminium gebundenes Phosphat] und P_{BD} [adsorptiv an Eisenhydroxide gebundener Phosphor, der unter reduzierenden Bedingungen freigesetzt werden kann]) sowie Stickstoffparameter (Nitrat, Nitrit, Ammonium) analysiert. Zusätzlich wurde bei den Sedimentproben der vier Untersuchungsgebiete die potenzielle Denitrifikation (Abbau von Nitrat in N_2) gemessen. Die bereits erhobenen Daten haben gezeigt, dass vor allem die unterschiedlichen Phosphat-Fractionen (P_{anorg} , P_{NaOH} , P_{BD}) in den Seitenarm-Sedimenten (UG5 – Jagdbrücke) im Vergleich zu den Mulde-Sedimenten in hohen Konzentrationen vorliegen (Abb. 7). Ein Vergleich mit anderen Auengebieten offenbart allerdings, dass die Werte des anorganischen Phosphors für Bereiche mit geringer Konnektivität zu erwarten sind (SCHÖNBRUNNER et al. 2012).

Werden die Sediment- und Bodendaten der Unteren Mulde an den Standorten UG 1–Priorau, UG 2–Sollnitzer Stillinge und UG 3–Möst im Verlauf eines Höhengradienten vergleichend betrachtet, so ist beim anorganischen Phosphor eine stetige Zunahme der Konzentration von den Flusssedimenten in Richtung Aue („Bordvoll“ Kante) zu erkennen, gefolgt von einer Abnahme in höheren und weiter entfernten Bereichen der Aue (Abb. 8).

In Folge ist geplant, die gewonnenen Daten zur Phosphat-Abgabe und -Aufnahme mit hydrologischen Da-

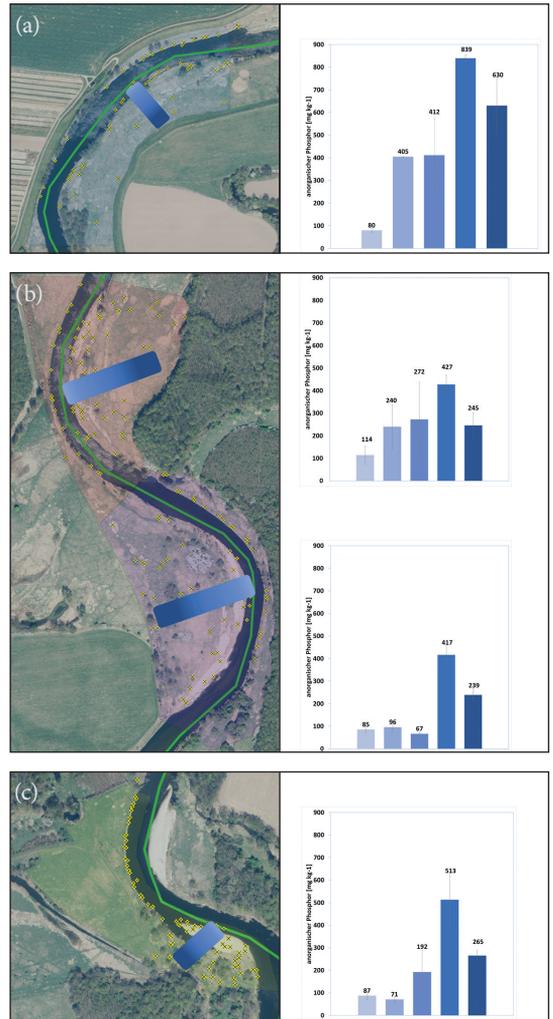
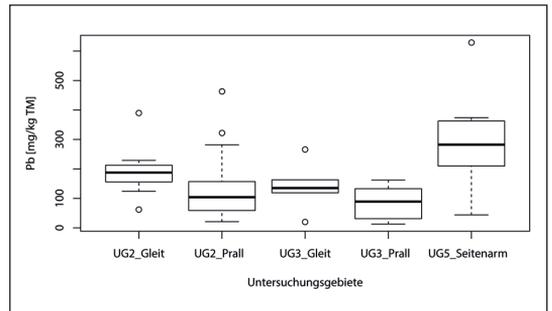
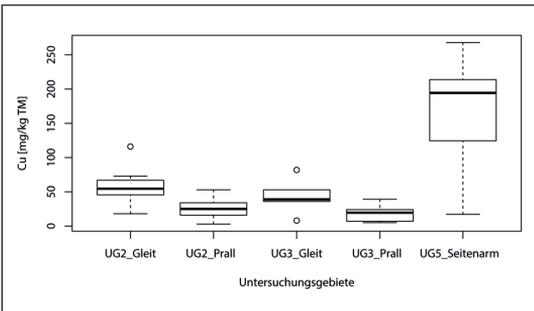
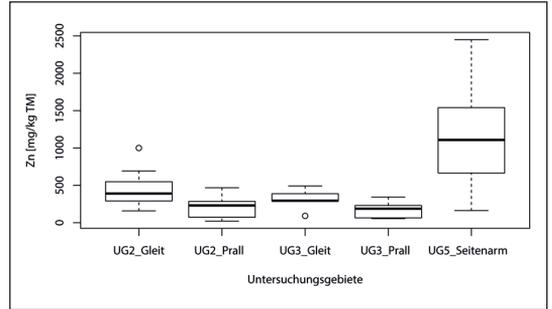
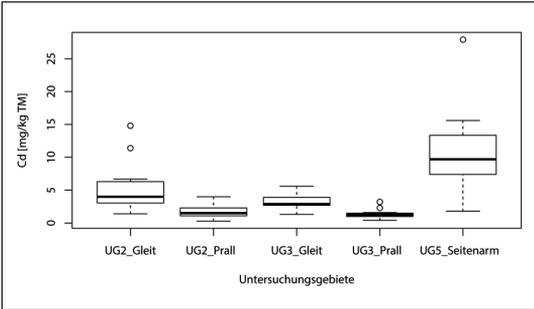
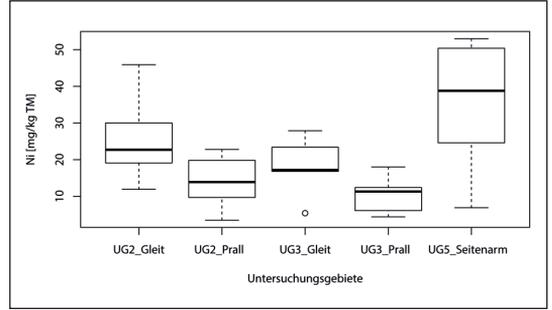
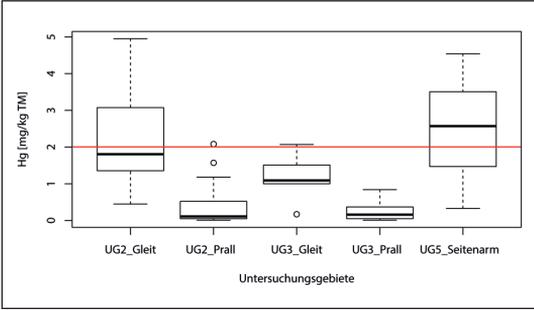
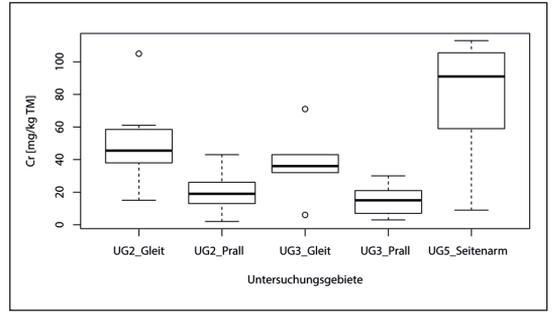
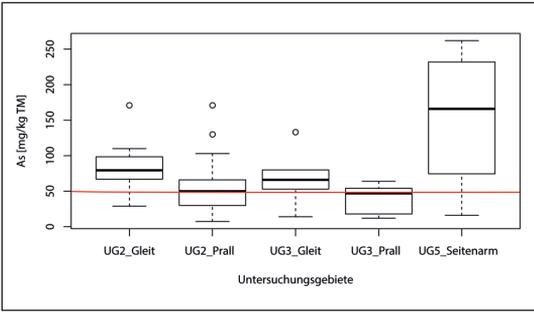


Abb. 8: Anorganischer Phosphor der Sedimente und Böden in den UG 1–Priorau (a), UG 2–Sollnitzer Stillinge (b) und UG 3–Möst (c). Die unterschiedlichen Blauschattierungen kennzeichnen die Entfernung zum Fluss (von hell zu dunkel nimmt die Entfernung zu). Die gelb unterlegten Kreuze zeigen die Punkte der Beprobungen. Luftbilder: GeoBasisDE/BKG 2016.

ten und den Vegetationsaufnahmen zu verschneiden, um flächige Aussagen für das Gebiet bei unterschiedlichen Abfluss-Szenarien abzuleiten.

Weitere Analysen und Auswertungen bezüglich der Stickstoffretention sind in Arbeit, die den Abbau von Nitrat zu atmosphärischem Stickstoff (N_2) (= Denitrifikation) ermitteln sollen und somit Rückschlüsse auf



Maßnahmenwert Grünland (rote Linie) nach BBodSchV (1999): As = 50mg/kg TM, Hg = 2 mg/kg TM (nicht für UG–Jagdbrücke (Seitenarm) angewendet, da hier keine Grünlandnutzung stattfindet; (Anzahl der Untersuchungsstandorte: nUG 2 Gleit = 12, nUG 2 Prall = 17, nUG 3 Gleit = 5, nUG 3 Prall = 14, nUG 5 Seitenarm = 8)

Abb. 9: Verteilung ausgewählter Spurenstoffe in den UG 2–Sollnitzer Stillinge, UG 3–Möst und UG 5–Jagdbrücke (Seitenarm).

das Stickstoff-Retentionspotenzial ermöglichen. Hier ist vor allem auch von Interesse, ob die Denitrifikation vollständig ablaufen kann oder ob das Zwischenprodukt N_2O (Lachgas) produziert wird. Lachgas ist ein klimaschädliches Treibhausgas. Studien in anderen Auengebieten haben gezeigt, dass eine Wiederanbindung eines Altarmes das Verhältnis von N_2 zu N_2O positiv verändern kann (WELTI et al. 2012).

4.2.2 Schadstoffuntersuchungen und Sedimenttransport

Ziel der bodenkundlichen Untersuchungen ist es, den derzeitigen Belastungszustand und den aktuellen Stoffeintrag zu ermitteln, um im Zuge der Maßnahmenumsetzung Abschätzungen bezüglich möglicher Mobilisierungen von Sedimenten und angelagerter Stoffe treffen zu können.

Dafür wurden 17 Probeflächen auf den Gleithangstandorten in den UG 3–Möst und UG 2–Sollnitzer Stillinge sowie acht Probeflächen im anschließenden Seitenarm im UG 5–Jagdbrücke ausgewählt und bodenkundlich charakterisiert. Auf den Gleithängen wurden Oberbodenproben (0–10 cm) und im Seitenarm Oberbodenmischproben (unterschiedlicher Tiefen) entnommen. Zudem wurden je drei Profilsprachen an den Prallhangstandorten in den UG 3–Möst und UG 2–Sollnitzer Stillinge durchgeführt und horizontbezogene Bodenproben für die Analysen im Labor entnommen. Die Analysen umfassen die Bestimmung ausgewählter anorganischer (As, Hg, Cd, Cu, Cr, Pb, Ni, Zn) und organischer (PAKs, PCBs, HCHs) Spurenstoffe sowie Nitrat und Phosphor. Weiterhin wurden die organische Bodensubstanz, der Kohlenstoffanteil, der pH-Wert und die Korngrößenzusammensetzung ermittelt. Eine erste Untersuchung der anorganischen Spurenstoffe aller untersuchten Standorte zeigt, dass der Seitenarm im UG 5–Jagdbrücke, im Vergleich zu den anderen Standorten, einen Belastungsschwerpunkt für alle untersuchten Elemente darstellt. Die Böden der Gleithangstandorte in UG2 und UG3 weisen zudem höhere Elementgehalte als an den Prallhangstandorten dieser beiden UGs auf. Die vorläufigen Stichprobenuntersuchungen offenbaren, dass für Quecksilber und Arsen die Maßnahmenwerte für Grünland (BBOD-SCHV 1999) auf den Gleit- und Prallhangstandorten z. T. überschritten sind. Ferner belegen die Proben im UG 2–Sollnitzer Stillinge insgesamt höhere Gehalte der untersuchten anorganischen Elemente (Abb. 9).

Die ersten Auswertungen der Prallhangstandorte haben zudem ergeben, dass sich elementspezifisch unterschiedliche Belastungsschwerpunkte innerhalb der un-



Abb. 10: Sedimenteintrag erfasst mittels Kunstrasenmatten im UG 2–Sollnitzer Stillinge (März 2017). Foto: M. Vieweg.

tersuchten Profile ergeben. In Folge ist geplant, detaillierte Auswertungen der erhobenen Daten vorzunehmen sowie weitere Analysen der mobilisierbaren Anteile der gebundenen anorganischen Spurenstoffe zu ermitteln. Weiterhin soll überprüft und vergleichend untersucht werden, in welchen Größenordnungen Sedimenttransport durch Erosionsprozesse bereits stattfindet (UG 3–Möst) bzw. im Zuge von Maßnahmenumsetzungen (UG 2–Sollnitzer Stillinge) wieder stattfinden kann. Dafür wurden Probeflächen identifiziert, auf denen mit Hilfe von Kunstrasenmatten (Abb. 10) der hochwassergebundene Sedimenteintrag auf den Gleithangstandorten ermittelt werden kann. Die sich auf den Matten sammelnden Sedimente werden nach einem Hochwasserereignis ausgespült und ebenfalls bezüglich der oben genannten Parameter sowie auf anorganische und organische Spurenstoffe untersucht.

Um Erosionsprozesse am Flussufer und an den angrenzenden Auenbereichen sowohl qualitativ charakterisieren als auch quantitativ abschätzen zu können, sollen für sämtliche Probeflächen geeignete Geländemodelle der Fluss-, Ufer- und Auenbereiche erstellt werden. Neben den amtlichen Geländemodellen, die in einer Rasterweite von zwei mal zwei Metern vorliegen, ist eine exaktere Lage- und Höhenbestimmung des Geländes mit geeigneten Vermessungsmethoden zu verschiedenen Zeitpunkten notwendig. Im UG 3–Möst wurden erste Geländevermessungen mit unterschiedlichen Erfassungsmethoden erprobt, um herauszufinden, welche Methode geeignet ist, die benötigten Geländedaten in der gewünschten Präzision bei einem angemessenen Arbeitsaufwand zu generieren. Eingesetzt wurden terrestrische Totalstation und Laserscanning-Messung sowie luftbildgestützte photogrammetrische Vermessung. Eine

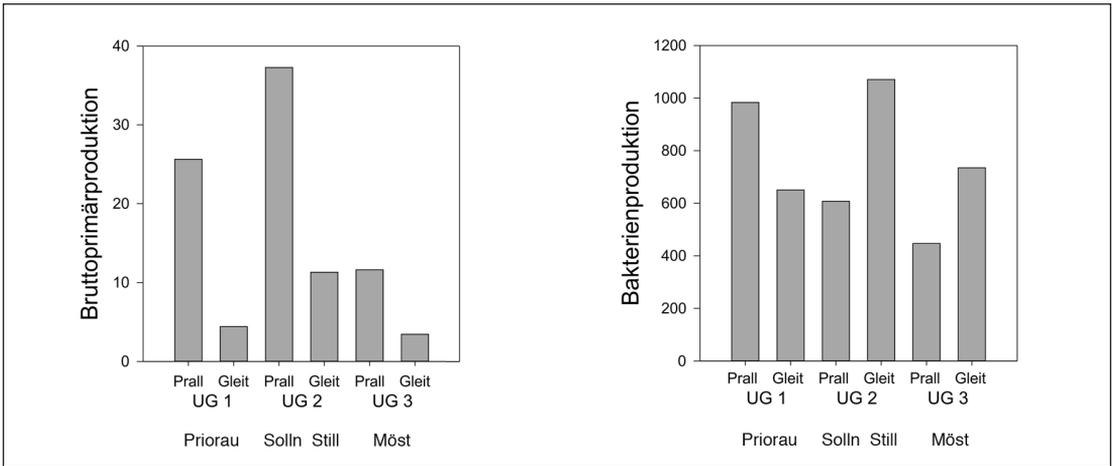


Abb. 11: Gesamtbruttoprimärproduktion ($\mu\text{g O}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$) und benthische Bakterienproduktion ($\mu\text{g C dm}^{-2} \text{ d}^{-1}$) am Prall- und Gleithang an den Standorten in den UG 1–Priorau, UG 2–Sollnitzer Stillinge und UG 3–Möst.

terrestrische 3D-Messung mit einem leistungsfähigen terrestrischen Laserscanner mit hoher Auflösung und Datenrate wurde im Frühjahr 2017 durchgeführt. Eine zweite 3D-Messung erfolgte im September 2017 mit einer neuartigen Totalstation, mittels derer sich genaue Standortdaten, 3D-Punktwolken und hochauflösende photogrammetrisch auswertbare Bilder integriert erfassen ließen. Für die luftbildgestützte photogrammetrische Vermessung wurde ein unbemanntes Luftfahrzeug (Oktoptopter) mit einer beweglich montierten Fotokamera eingesetzt. Dabei wurde das Untersuchungsgebiet in einer Flughöhe von unter 100 Meter auf einer Fläche von etwa 500 mal 300 Meter überflogen und innerhalb einer Flugzeit von 15 Minuten etwa 900 Bilder lotrecht nach unten aufgenommen.

Aus beiden Mess-Kampagnen sind Punktwolken-Daten entstanden, die eine Berechnung der Massenveränderung im Gebiet ermöglichen. Zusätzlich können Lageveränderungen der in den Punktwolken erfassten Totholzstrukturen im Flusslauf erfasst und quantifiziert werden.

4.2.3 Mikrobielle Stoffumsetzungen

Der benthische und pelagische Sauerstoffumsatz wurde in eigens entwickelten submersen Fließrinnen gemessen. Hier zeigte sich, dass die Bruttoprimärproduktion des Benthos und Pelagials am Prallhang deutlich höher als am Gleithang war, unabhängig davon, welcher Standort untersucht wurde (Abb. 11). Dies deutet auf eine Abhängigkeit der Bruttoprimärproduktion von der Sedimentzusammensetzung hin, die am Prallhang

deutlich großkörniger war als am Gleithang. Ein anderes Bild zeigte sich für die benthische Bakterienproduktion, die über die Aufnahme radioaktiv markierter Aminosäuren im Labor gemessen wurde. Die bakterielle Aktivität als Indikator für die Reinigungsleistung der Gleithänge war höher als in denen der Prallhänge.

4.3 Biodiversität

4.3.1 Makrozoobenthos

Im Zuge der Status-Quo-Erfassung im Oktober 2016 wurden 12.479 Individuen erfasst, die sich auf 98 Arten bzw. höhere Taxa, 82 Gattungen, 56 Familien und 13 taxonomische Großgruppen verteilten. Bezüglich der Artenvielfalt gab es zwischen den Untersuchungsgebieten nur geringe Unterschiede: UG 1–Priorau: 62 Arten, UG 2–Sollnitzer Stillinge: 76 Arten, UG 3–Möst: 74 Arten. Bei der Artenzusammensetzung zeigten sich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede (*Analysis of Similarity*, R-Statistik: 0,13, $P = 0,057$). Dagegen variierte die Artenzusammensetzung signifikant zwischen Prallhang, Gleithang und Stromstrich (R-Statistik: 0,40, $P = 0,001$). Dies resultierte erwartungsgemäß aus dem Grad der Strömungspräferenz der Arten. So zeigte eine Indikatorartenanalyse, dass am Gleithang strömungsmeidende Arten wie die Eintagsfliege (*Caenis luctuosa*) dominieren. Der Stromstrich dagegen wurde von strömungsliebenden Arten wie der Grundwanze (*Aphelocheirus aestivalis*) oder der Köcherfliege (*Hydropsyche contubernalis*) besiedelt. Für den Prallhang wurden bisher keine Indikatorarten gefunden.

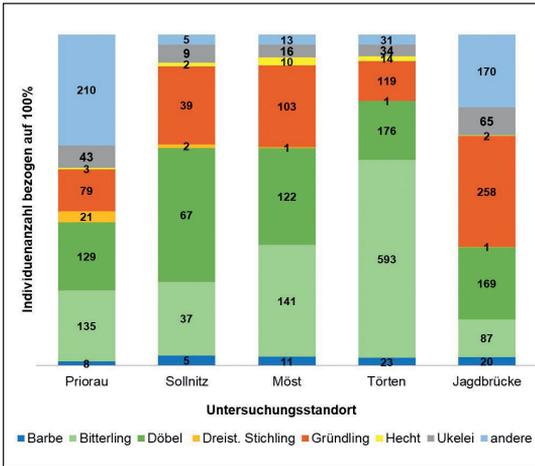


Abb. 12: Prozentuale Abundanz der Fischarten nach Untersuchungsgebieten.

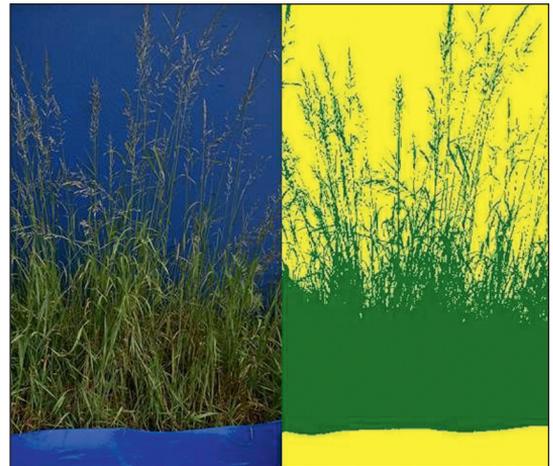


Abb. 13: Strukturfotos im Original und digital weiterverarbeitet zur Quantifizierung der Vegetationsstruktur.

4.3.2 Fische

Insgesamt wurden 2.974 Individuen bei der Befischung im Oktober 2016 gefangen, die sich auf 22 Arten verteilen und auch Arten des Anhangs II der FFH-Richtlinie enthalten, so den Bitterling (*Rhodeus amarus*), den Rapfen (*Aspius aspius*) und den Steinbeißer (*Cobitis taenia*). Von den 22 Arten wurden sieben in allen fünf Untersuchungsgebieten (Abb. 12) nachgewiesen. Hierbei handelt es sich um Barbe (*Barbus barbus*), Bitterling (*Rhodeus amarus*), Döbel (*Leuciscus cephalus*), Dreistachligem Stichling (*Gasterosteus aculeatus*), Gründling (*Gobio gobio*), Hecht (*Esox lucius*) und Ukelei (*Alburnus alburnus*). Diese Fischarten sind sowohl im Allgemeinen für Gewässer in Sachsen-Anhalt (MLU 2012, ARGE-ELBE 2003) als auch im speziellen für die Mulde (ZUPPKE & GAUMERT 2003, LHW schriftl. Mitt.) typisch und in der Referenz-Fischzönose für die untere Mulde dokumentiert.

Der Vergleich der Artengemeinschaft zwischen Gleithang und Prallhang zeigt mit Ausnahme des UG 3–Möst deutliche Unterschiede. An mit Steinen befestigten Prallhängen der UG 1–Priorau und UG 2–Sollnitzer Stillinge wurden im Vergleich zum unbefestigten Prallhang des UG 3–Möst sowohl weniger Fischarten als auch geringere Individuenanzahlen erfasst. So kamen am befestigten Prallhang acht Fischarten mit 34 Individuen und am unbefestigten Prallhang neun Fischarten mit 175 Individuen vor.

4.3.3 Vegetation

Im Juli 2016 wurden in den UG 1–Priorau, UG 2–Sollnitzer Stillinge und UG 3–Möst insgesamt 196 Probestellen mit jeweils zwei mal zwei Meter Fläche angelegt. Ausgewählt wurden die Probestellen nach dem stratifizierten (höhengestuftem) Zufallsdesign. Jedes Gebiet (UG 1–Priorau, UG 2 a und b –Sollnitzer Stillinge und UG 3–Möst) wurde nach topographischen Kriterien in Aue, Gleithang und Prallhang gegliedert. In der Aue wurden in drei Höhenstufen je sieben Probestellen zufällig ausgewählt sowie im Gleithang und Prallhang in zwei Höhenstufen je sieben Probestellen. Im Juli 2016 und Juni 2017 wurde auf allen Probestellen die Artenzusammensetzung nach ROTHMALER (2011, 2013) und FLORA VEGETATIVA (2013) erfasst und ihre Gesamtdeckung wie auch die artspezifischen Deckungen nach BRAUN-BLANQUET (1964) eingeschätzt. Zur Bestimmung der Dichtestruktur wurde der Blattflächenindex mithilfe eines LAI (*leaf area index*)-Meters bestimmt, wobei die Intensität des durch das Blattwerk dringende Licht als Maß für die Dichte des Bestands angenommen wird. Diese Messungen beruhen auf einer Auswahl von 78 Probestellen (Intensiv-Probestellen), die jeweils im Sommer 2016 und 2017 beprobt wurden.

Im August 2016 sowie im März, Juni und Oktober 2017 wurden auf denselben Intensiv-Probestellen Fotoaufnahmen mit konstanter Kameraeinstellung und Kameraposition aufgenommen, um die Struktur der Vegetation auf den Probestellen digitalphotographisch quantifizieren zu können (Abb. 13). Höhen- und late-

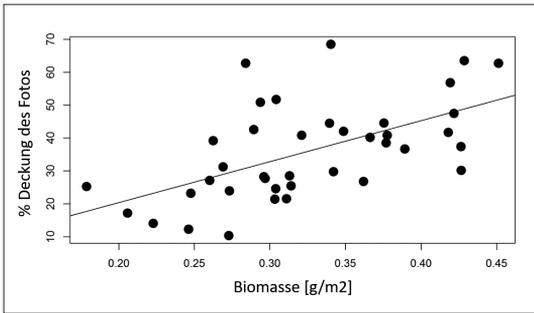


Abb. 14: Zusammenhang zwischen der prozentualen Deckung der Vegetation auf den Fotos und der geernteten Biomasse.

rale Dichteverteilung der Vegetation sollen hierbei Aufschluss über die Struktur der Vegetation geben, um die Nährstoffretention der Auenvegetation zu bestimmen und vorhersagbar zu machen.

Hierbei kann beispielsweise die Vegetationsdeckung der Fotos Aufschluss über die Biomasse eines Bestandes geben, da es einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Deckung der Vegetation auf dem Foto und der tatsächlich einmalig destruktiv geernteten Biomasse gibt (Abb. 14).

Ein direkter Einfluss der Raubäume auf die Ufer- und Auenvegetation wird im Projektgebiet nicht erwartet. Jedoch werden die Raubäume, die an den Standorten in den UG 4-Törten und UG 5-Jagdbrücke eingebracht werden, in Nähe der Kiesbänke liegen und somit diese Vegetation möglicherweise verändern. Um dies zu analysieren, wurden im September 2016 und 2017 Vegetationskartierungen auf den Kiesbänken an den Standorten UG 3-Möst, UG 4-Törten und UG 5-Jagdbrücke bei sehr niedrigem Wasserstand durchgeführt. Zum selben Zeitpunkt wurden an den Standorten der Kiesbänke die aquatischen Makrophyten kartiert.

Insgesamt wurden 194 Arten in den Untersuchungsgebieten identifiziert, wobei die Diversität je Probefläche (4 m²) von einer Art bis 23 Arten variiert. Die untersuchten Probeflächen sind in den Auen hauptsächlich Sukzessionsflächen, nur ein Standort ist dem Biotop-typ „extensiv genutztes feuchtes oder wechselfeuchtes Grünland“ zuzuordnen. Auf im Sommer trockenfallenden Uferfluren siedeln sich Zweizahn-Knöterich-Gesellschaften (*Bidentis - Polygonetum hydro-piperis*) an, während sich im höher liegenden Uferbereich nitrophile Hochstaudenfluren wie beispielsweise die Seiden-Zaunwinden-Gesellschaft (*Cuscuta europea* -

Convolvuletum sepium) ansiedeln (WARTHEMANN & WÖLFEL 1997). Folgende Arten der Roten Liste Sachsen-Anhalt (FRANK et al. 2004) wurden kartiert: Reisquecke (*Leersia oryzoides*) (gefährdet) und Wurzelnde Simse (*Scirpus radicans*) (stark gefährdet). Erste statistische Auswertungen der Vegetationszusammensetzung zeigen, dass die topographischen Einheiten (Aue, Gleithang, Kiesbank und Prallhang) deutliche Unterschiede aufweisen (Abb. 15). Speziell vom Uferbereich in Richtung der Auen werden die Arten durch den Höhen- gradienten über Mittelwasser aufgespannt.

Zur Analyse von Sedimentationsprozessen aufgrund variierender Pflanzenbestände wurden im Winter 2016/2017 Sedimentfallen auf 54 Probeflächen als schmale Streifen zwischen der Vegetation ausgebracht, wovon 26 beim Hochwasser im Februar 2017 überspült wurden. Auf einer Fläche von 0,2 m² je Probefläche wurde zwischen 0,57 und 991,10 Gramm Sedimente abgelagert. Erste Nährstoffanalysen zeigen, dass die Menge des abgelagerten Sedimentes negativ mit den Anteilen von C, N, und P im Sediment korreliert, was vermutlich durch Korngrößenverteilungen erklärt werden kann. Zusätzlich wurde im Sommer 2017 ein Experiment in Strömungskanälen durchgeführt, um den Einfluss von Blatteigenschaften auf die Sedimentation auf der Blattoberfläche zu untersuchen. Hierfür wurden die Eigenschaften Form, Behaarung, Stabilität, Rauigkeit von einzelnen Blättern untersucht. Erste Ergebnisse zei-

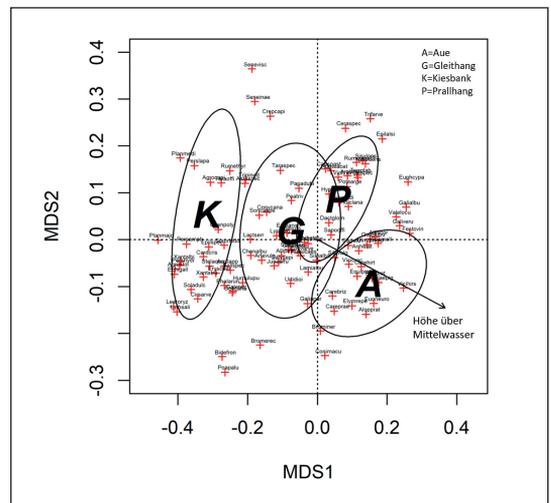


Abb. 15: Nicht-metrische multidimensionale Skalierung (NMDS) zur Darstellung der Arten im mehrdimensionalen Raum nach topographischen Einheiten.

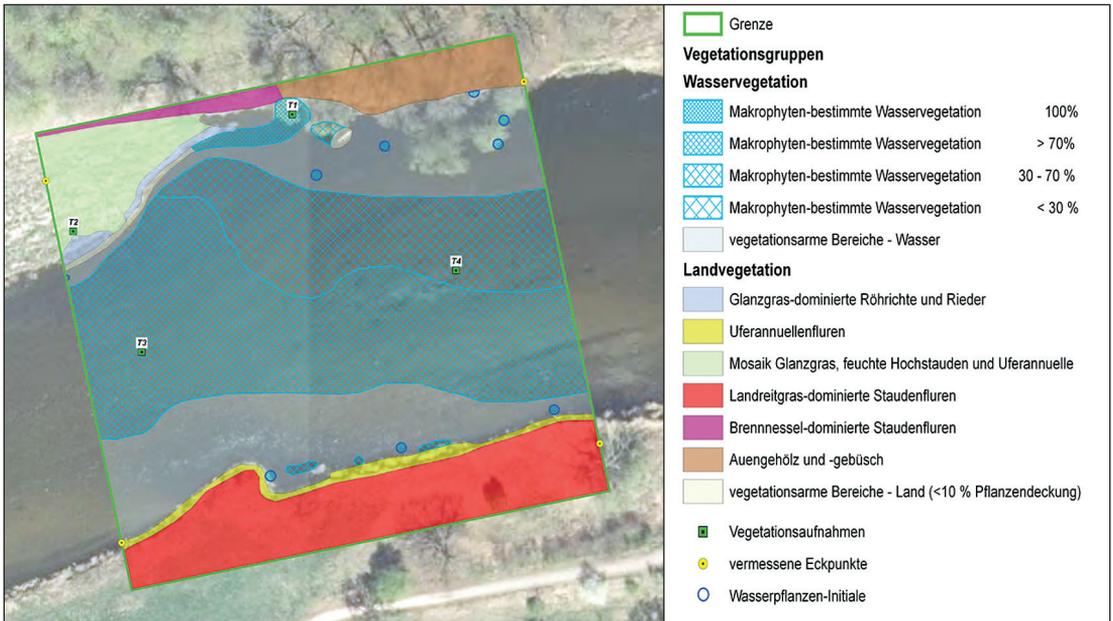


Abb. 16: Ergebniskarte einer Makrophyten-Dauerbeobachtungsfläche im UG 4–Törten. Luftbild: GeoBasisDE/ BKG 2016.

gen, dass alle vier Parameter relevant für die Sedimentation auf der Blattoberfläche sind. Jedoch beeinflusst die Fläche und die Stabilität die Sedimentation negativ, während die Behaarung und die Rauigkeit sich positiv auf die Menge des angelagerten Sedimentes auswirken.

4.3.4 Makrophytenerfassung

Die Erfassung der Makrophyten erfolgt mit dem Ziel, die Effekte der Revitalisierung der Unteren Mulde auf die flusspezifische Makrophytendiversität und Ufervegetation zu untersuchen sowie eine Einschätzung bezüglich der FFH-Lebensraumtypen 3260 (Flüsse der planaren bis montanen Stufe mit Vegetation des *Ranunculus fluitantis* und des *Callitricho-Batrachion*) und 3270 (Flüsse mit Schlammflächen mit Vegetation des *Chenopodium rubri* p.p. und des *Bidention* p.p.) zu ermöglichen. Dabei konnten Dauerbeobachtungsflächen im Biosphärenreservat integriert werden, die bereits im Jahr 2008 von der Biosphärenreservatsverwaltung eingerichtet wurden. Nach Begehung mehrerer Flussabschnitte wurden geeignete Dauerbeobachtungsflächen (DBF) festgelegt. Die DBF beinhalten fünf Flussabschnitte an der Mulde zwischen Raguhn und Dessau und befinden sich in räumlicher Nähe zu den Untersuchungsgebieten. Die DBF sind 100 Meter lang und

liegen zwischen den Oberkanten der Flussböschungen beidseits des Flusses (Abb. 15). Neben einer flächendeckenden Makrophytenerfassung wurden Vegetationsaufnahmen angelegt, die die erfassten Vegetationseinheiten dokumentieren.

Die Erfassung der Gewässervegetation erfolgte im Jahr 2016 durch Beprobung der Flussabschnitte in einer spätsommerlichen Niedrigwasserphase.

Auf allen DBF kommen Wasserpflanzen vor. Diese konzentrieren sich gewöhnlich in den Gleithangbereichen, soweit solche ausgebildet sind. An den Prallhängen sind höchstens Wasserpflanzen-Initiale ausgebildet. Im UG 4–Törten (Abb. 16), das einen gestreckten Gewässerabschnitt repräsentiert, siedeln Wasserpflanzen nahezu im gesamten Gewässerquerschnitt. Die geringsten Wasserpflanzendeckungen zeigten sich im UG 1–Priorau, im Abschnitt mit einem befestigten Ufer. Die häufigste Wasserpflanzenart ist der Schildhahnenfuß (*Ranunculus peltatus* subsp. *peltatus*). Der in Sachsen-Anhalt als gefährdet eingestufte Pinselblättrige Wasserhahnenfuß (*Ranunculus penicillatus* – RL 3 nach FRANK et al. 2004) kommt punktuell vor. Daneben sind Wasserlinsen (*Lemna minor*, *Spirodela polyrhiza*) und Nuttalls Wasserpest (*Elodea nuttallii*), einem aktuell in Sachsen-Anhalt invasiven Neophyten,

vorhanden (NEHRING & SKOWRONEK 2017). In einigen DBF nehmen Algen größere Deckungsanteile ein, v. a. in Flachwasserbereichen (UG 1–Priorau, UG 3–Möst und UG 5–Jagdbrücke). Totholzstrukturen im Wasser (insbesondere DBF im UG 3–Möst) ermöglichen die Ansiedlung von Uferannuellenfluren mit Arten wie Wasser-Sumpfkresse (*Rorippa amphibia*), Pfeffer-Knöterich (*Persicaria hydropiper*) oder Bittersüßer Nachtschatten (*Solanum dulcamara*).

4.3.5 Libellen (Gomphiden)

Das Interesse der Untersuchung hinsichtlich Libellen konzentrierte sich auf die FFH-Arten Asiatische Keiljungfer (*Gomphus flavipes*), Grüne Keiljungfer (*Ophiogomphus cecilia*) und Gemeine Keiljungfer (*Gomphus vulgatissimus*). Sowohl für UG 3–Möst als auch für UG 2–Sollnitzer Stillinge wurde eine Exuvienkartierung nach SCHNITZER et al. (2006) durchgeführt. Bei Exuvien handelt es sich um die Haut des letzten Larvenstadiums der Libelle, die nach dem Schlupf der Imago zurückbleibt (Abb. 17). In jedem UG wurden 1.000 Meter des Ufers kartiert. Diese teilen sich wiederum in zehn Transekte von 100 Meter, von denen je fünf an den Prallhang und an den Gleithang gelegt wurden. Jedes Transekt wurde mit zwei Bearbeitern 30 Minuten abgesammelt. Den Empfehlungen von SCHNITZER et al. (2006) folgend wurde die Kartierung an drei Terminen (6.6., 22.6., 8.7.2016) durchgeführt. In den Transekten wurden ebenfalls die Habitateigenschaften erfasst, welche für eine FFH-Bewertung benötigt werden.

Insgesamt wurden 1.541 Exuvien der drei Arten nachgewiesen. Die Asiatische Keiljungfer wurde nur mit einem Individuum im UG 3–Möst gefunden. Die Grüne Keiljungfer hingegen konnte dort mit 557 Individuen und mit 626 Individuen im UG 2–Sollnitzer Stillinge gesammelt werden. Bemerkenswerte Fundzahlen wies außerdem die Gemeine Keiljungfer mit 212 Exemplaren im UG 3–Möst und 145 Exemplaren im UG 2–Sollnitzer Stillinge auf. Die höchsten Fundzahlen für die Grüne Keiljungfer wurden an den Prallhängen des Naturufers im UG 3–Möst und des UG 2–Sollnitzer Stillinge erreicht. Bei der Gemeinen Keiljungfer ist keine deutliche Tendenz zu erkennen. Allerdings lässt sich am Naturufer des UG 3 eine leichte Präferenz des Prallhangs gegenüber des Gleithangs ablesen, während Prallhang und Gleithang des UG 2 annähernd gleich besiedelt scheinen. Der Zustand der Populationen im Rahmen der FFH-Bewertung wurde bei der Grünen Keiljungfer mit A (hervorragend) bewertet, bei der Asiatischen Keiljungfer muss bei nur einem gefundenen Exemplar von einem schlechten Erhaltungszustand (C) ausgegan-



Abb. 17: Imago der Grünen Keiljungfer, darunter die Exuvie (06.06.2016). Foto: C. Schmidt.

gen werden. Durch Verschlammung und naturfernen Uferausbau ergeben sich allerdings Beeinträchtigungen der Habitatqualität für beide Arten.

4.3.6 Laufkäfer (Carabiden)

Die Carabiden wurden mittels Bodenfallen erfasst. Insgesamt wurden 120 Bodenfallen im UG 3–Möst, linkes Ufer und im UG 2–Sollnitzer Stillinge, rechtes Ufer aufgestellt. In allen UG wurden Prallhang und Gleithang mit je 30 Fallen beprobt. Diese teilen sich in sechs Transekte zu je fünf Bodenfallen. Es wurde angenommen, dass sich der hydrologische Einfluss der Mulde in einer Höhenzonierung der Arten widerspiegelt. Aus diesem Grund wurden die Transekte senkrecht zur Uferlinie positioniert, um das gesamte Artenspektrum der Uferhänge zu erfassen. Bodenfalle 1 eines jeden Transektes entspricht somit in etwa der Geländehöhe der Wasserkante bei Mittelwasser. Die Fallen wurde in einem Abstand von 0,5 bis 1,0 Meter Höhe, aber in einer maximalen Distanz von 10 Metern aufgestellt. Die oberste Falle (Falle 5) liegt somit oftmals an der Böschungsoberkante, in einigen Fällen auch im daran anschließenden Offenland. Eine schematische Übersicht zum beschriebenen Bodenfallen-Arrangement gibt die Abbildung 18.

Es gab entsprechend den Hauptaktivitätszeiten der Tiere zwei Erfassungsperioden, eine im Frühjahr beziehungsweise Frühsommer und eine im Herbst. Bestimmt wurde bis zum jetzigen Zeitpunkt der Fang aus der Frühjahrserfassung mit insgesamt 12.697 Individuen in 82 Arten. *Lionychus quadrillum* mit 11.576 Individuen trägt zu 91,2 % der Individuen des Gesamtfanges bei. Der Schwerpunkt der *Lionychus*-Vorkommen liegt

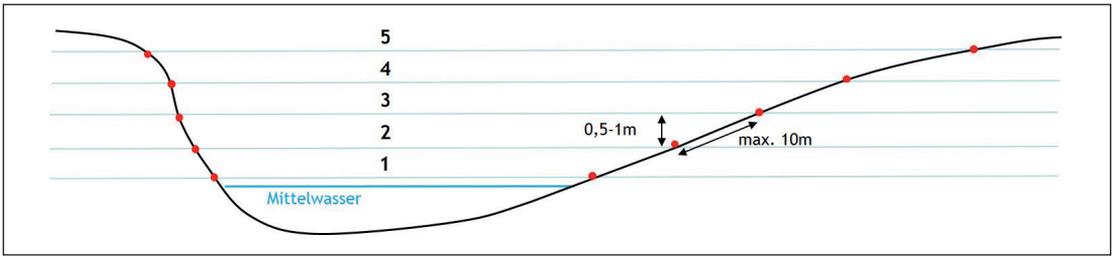


Abb. 18: Fallenanarrangement an Prallhang und Gleithang (rote Punkte entsprechen den Positionen der Bodenfallen).

auf den Gleithängen, insbesondere im UG 3–Möst. Generell konnten hier am Gleithang und Prallhang des Naturufers mehr Individuen von *Lionychus quadrillum* nachgewiesen werden als im UG 2–Söllnitzer Stillinge (Abb. 19).

Für den Landschaftsraum Elbe / Untere Mulde bemerkenswerte lebensraumtypische Arten (SCHNITZER, GRILL & TROST 2001) sind neben dem auf „Geröll, Schotter und Kies vegetationsarmer Ufer“ (GAC 2009) vorkommendem *Lionychus quadrillum* die Arten *Bembidion modestum*, *B. punctulatum*, *Blethisa multipunctata*, *Dyschirius intermedius*, *Pterostichus gracilis* und *Perileptus areolatus*. Letztere Art wird von SCHNITZER, GRILL & TROST (2001) als Bewohner der Interstitialräume der Schotterbänke bezeichnet und wurde seit 1928 nur an vier Standorten in Sachsen-Anhalt nachgewiesen (THUROW 2016). Mit dem nachgewiesenen Gesamt-Artenpektrum, das zahlreiche spezialisierte Arten und den dominant vorkommenden Kiesbankbewohner *Lionychus quadrillum* enthält, steht eine sehr gute Basis zur Verfügung, um den Einfluss der geplanten Maßnahmen auf die Laufkäfer zu analysieren und zu bewerten.

4.4 Planung und Ökosystemleistungsansatz

Der Erfolg der Revitalisierungsmaßnahmen soll den verschiedenen externen, d. h. nicht dem Projektverbund angehörigen Interessengruppen (Stakeholdern) vor Ort anhand des Ökosystemleistungsansatzes verdeutlicht werden. Damit soll auch die Forschung am Konzept der Ökosystemleistungen vorangetrieben werden. Ökosystemleistungen können als „direkte und indirekte Beiträge von Ökosystemen zum menschlichen Wohlergehen“ definiert werden. Gemeint sind „Leistungen und Güter, die dem Menschen einen direkten oder indirekten wirtschaftlichen, materiellen, gesundheitlichen oder psychischen Nutzen bringen“ (NATURKA-

PITAL DEUTSCHLAND – TEEB-DE 2012: 10). Das Konzept der Ökosystemleistungen geht demnach über die klassisch expertenbasierten, qualitativen Bewertungen von Landschaftsfunktionen hinaus. Der Nutzen von Ökosystemen für die Menschen wird quantitativ erfasst und – wo möglich – auch in Geldwerten ausgedrückt (monetarisiert). Der Mehrwert des Konzepts wird gegenwärtig stark diskutiert. Konflikte in Planungsprozessen könnten durch diesen interdisziplinären und multifunktionalen Ansatz vermindert und der Naturschutz durch ökonomische Argumente gestärkt werden. Durch eine direktere Verknüpfung der Natur mit dem menschlichen Wohlergehen und durch eine zusätzliche ökonomische Perspektive eignet sich das Konzept als Kommunikationswerkzeug (BULL et al. 2016). Bislang werden staatliche Planungen und Umsetzungsmaßnahmen jedoch vor allem unter Bezug auf rechtlich begründete Bewertungen der Funktionen des Naturhaushaltes und der Biodiversität an die Stakeholder kommuniziert (ALBERT et al. 2012, HAAREN & ALBERT 2011, UNEP 2012).

Im Vorhaben „Wilde Mulde“ werden Ökosystemleistungen unter Verwendung der im Projekt erhobenen Daten erfasst und über die lokale Maßnahmendurchführung hinaus auf Landschaftsebene innerhalb des Untersuchungsraumes quantifiziert. Das verwendete BACI-Design ermöglicht es dabei, die Veränderungen von Ökosystemleistungen durch die Maßnahmen direkt aufzuzeigen und so den Nutzen der Maßnahmen zu verdeutlichen.

Zusätzlich zu den mit den Feldmessungen in Verbindung stehenden werden weitere gut zu kommunizierende Ökosystemleistungen anhand vorhandener Fachdaten im Projektgebiet bewertet. Aufgrund der Hochwasserereignisse 2002 und 2013 ist den ansässigen Bewohnern der Hochwasserschutz besonders wichtig. Deshalb sollen die Leistungen der Aue für die

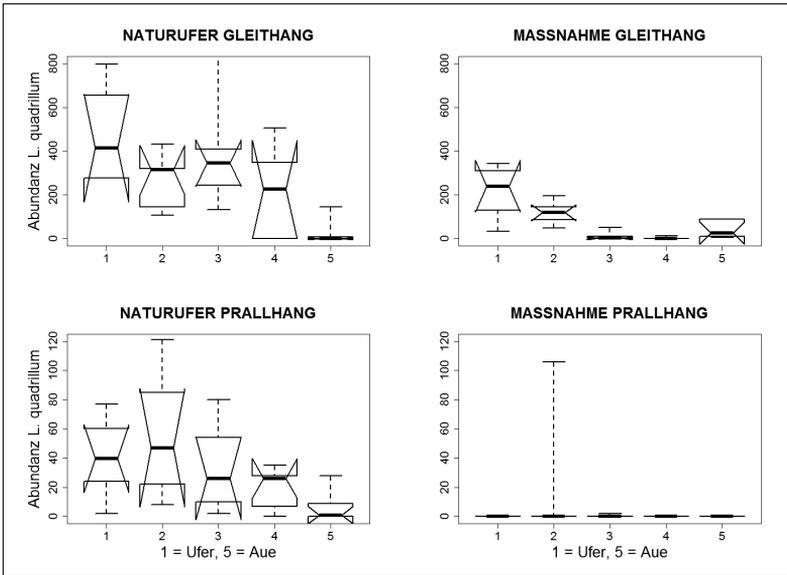


Abb. 19: Abundanz von *Lionychus quadrillum* in Abhängigkeit der Entfernung vom Ufer (Bodenfallen 1–5) in den UG 3–Möst (Naturufer) und UG 2–Sollnitzer Stillinge (Maßnahme) an den Prall- und Gleithängen (6 Transekte pro Kategorie). Horizontale Striche sind Mediane, notches geben das 95 %-Vertrauensintervall des Medians an.

Hochwasserretention untersucht werden. Aufgrund der aktuellen Debatte zum Klimaschutz wird auch die CO₂-Retentionsleistung der Ökosysteme betrachtet. Besonders für die Kommunikation geeignet sind die kulturellen Ökosystemleistungen wie Landschaftsästhetik und Erholungseignung, denn ihre hohe Bedeutung für Anwohner und Touristen ist gut dokumentiert (u. a. BIELING et al. 2014, DANIEL et al. 2012).

Zur Vorbereitung dieses Vorhabens wurden zunächst die übergeordneten gesellschaftlichen Ziele im Planungsgebiet aus den unterschiedlichen Fachplänen (Landschaftsplan der Stadt Dessau-Roßblau, Denkmalrahmenplan des Gartenreiches Dessau-Wörlitz, Hochwasserschutzkonzeption Sachsen-Anhalts etc.) zusammengestellt. Als externe Stakeholder wurden verschiedene Behörden, Vereinigungen und Personen aus den Bereichen Naturschutz, Wasserwirtschaft und Hochwasserschutz, Denkmalschutz, Land- und Forstwirtschaft, Tourismus und Freizeit sowie politische Vertreter (Ortsbürgermeister, Stadträte) und Anwohner Dessaus und der umliegenden Ortschaften entlang der Mulde identifiziert. Sie werden in einer Stakeholderanalyse genauer hinsichtlich ihrer Nutzungsinteressen am Projektgebiet und ihrer Forderungen an die Planung analysiert. Dies ist Grundlage für eine adressatenspezifische Kommunikation von Ökosystemleistungsänderungen.

Die kulturellen Ökosystemleistungen werden nutzerunabhängig und nutzerabhängig bewertet. Die nutzerunabhängige Bewertung erfolgt anhand einer GIS-

gestützten Modellierung mit Indikatoren, die in den beiden Forschungsprojekten „Valuing Cultural Ecosystem Services in Germany“ (HERMES et al. in Vorb.) und „River Ecosystem Service Index“ (BFG 2017, THIELE et al. in Vorb.) erprobt wurden. Ziel dieser Projekte war eine bundesweite Bewertung der kulturellen Ökosystemleistungen. Dabei erfolgte anhand bundesweiter Daten auch eine erste Bewertung des Dargebotes an kulturellen Ökosystemleistungen der unteren Mulde. Das Dargebot bezeichnet „die Gesamtheit der potenziellen Beiträge von Ökosystemen zum menschlichen Nutzen/Wohlergehen, unabhängig davon, ob diese Beiträge tatsächlich genutzt werden“ (NATURKAPITAL DEUTSCHLAND – TEEB-DE 2016: 44). Basierend auf den in diesen beiden Projekten verwendeten Indikatoren wird eine Bewertungsmethodik erarbeitet, die projektgebietspezifische Besonderheiten durch Verwendung regional verfügbarer Geodaten berücksichtigen soll. Die nutzerabhängige Bewertung erfolgt durch einen Nutzergruppdialog, der aus Interviews und Befragungen mit den Stakeholdern vor Ort besteht. Seit Mai 2017 wurden bislang 14 Vertreter der unterschiedlichen Fachdisziplinen, Nutzergruppen und Ortschaften interviewt. Diese Ergebnisse unterstützen die Stakeholder-Analyse und sind Grundlage für die Befragungen, die sowohl online als auch vor Ort ab Ende 2017 durchgeführt werden. Ergänzend soll eine für Beginn 2018 geplante bundesweite Umfrage die Einstellung der Bevölkerung zu Totholz in Fließgewässern in unterschiedlichen Landschaftskontexten ermitteln. Daraus werden voraussichtlich inter-

essante Rückschlüsse möglich sein, wie stark die vorwiegend in den von Hochwasser betroffenen Ortschaften formulierte Ablehnung auf persönlichen Erlebnissen und einseitigen Informationen beruht.

Sobald Quantifizierungen zu den Ökosystemleistungen vorliegen, wird geprüft, inwiefern die zusätzlichen Argumente die Akzeptanz der Umsetzungsmaßnahmen sowie die Wertschätzung der Fluss- und Auenlandschaft vor Ort erhöhen können. Hierzu kommen u. a. sogenannte Discrete Choice Experimente (CARSON & LOUVIERE 2011) zum Einsatz. Dabei werden verschiedene Projektstandorte vor und nach Umsetzung der Maßnahmen sowohl mit als auch ohne Informationen zu Ökosystemleistungen gezeigt. Die Befragten müssen sich dann für die Variante entscheiden, die sie bevorzugen.

5 Zusammenfassung

Das Projekt Wilde Mulde verfolgt das Ziel mittels Einbringung von Raubäulen, der Wiederherstellung eines Naturufers, der Anbindung eines Seitenarms sowie der Initiierung von Hartholzauenwaldbeständen hydro-morphologische Prozesse im Fluss und in angebundenen Altwässern zu initiieren. Ferner soll eine nachhaltige Revitalisierung des Fluss-Auen-Ökosystems Untere Mulde und die Förderung seiner biologischen Vielfalt dadurch erzielt werden. Durch die wissenschaftliche Begleitung der Revitalisierungsmaßnahmen von mehreren Fachdisziplinen vor, während und nach Umsetzung der Maßnahmen sowie an Referenzstandorten (BACI-Design) lassen sich die Wirkungen dieser Maßnahmen auf die biologische Vielfalt wie auch auf verschiedene Ökosystemfunktionen ermitteln. Diese Parameter sollen nach der Durchführung der Revitalisierungsmaßnahmen erneut erhoben werden, um Maßnahmenwirkungen erfassen zu können. In diesem Beitrag werden die ersten Ergebnisse der Feldmessungen vorgestellt. Der Zustand im Projektgebiet der Unteren Mulde vor den geplanten Revitalisierungsmaßnahmen, gewissermaßen der Status Quo, wird anhand neu erhobener Fachdaten zur Hydraulik und Hydromorphologie, zum Stoffhaushalt, zur Biodiversität sowie zu bereitgestellten Ökosystemleistungen beschrieben. Bei dieser Bestandsaufnahme wurde festgestellt, dass sich Gleit- und Prallhangbereiche bezogen auf Biodiversität und Stoffhaushalt meist unterschiedlich darstellen. In den Auenbereichen sind die Entfernung zum Fluss sowie die Konnektivität zwischen Fluss und Aue wichtige Steuergrößen für den Stoffhaushalt. Basierend auf den erhobenen Felddaten werden zudem bereitgestellte

Ökosystemleistungen im Projektgebiet bewertet. Mithilfe der erwarteten Ökosystemleistungsveränderungen soll den Stakeholdern vor Ort der Nutzen der Revitalisierungsmaßnahmen verdeutlicht werden und gleichzeitig der Mehrwert von quantifizierten Darstellungen dieser Leistungen ermittelt werden.

Danksagung

Das Projekt hat eine Laufzeit von fünf Jahren (01.12.2015–30.11.2020) und wird im Rahmen des Bundesprogramms Biologische Vielfalt durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) und des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Es ist ein Verbundprojekt, d. h. ein von Umsetzungs- und Forschungspartnern gemeinsam durchgeführtes Projekt. Großer Dank gilt den Mitarbeitern der Biosphärenreservatsverwaltung Mittel-Elbe, des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft, der Stadt Dessau-Roßlau sowie des Landkreises Anhalt-Bitterfeld für ihre andauernde Unterstützung bei den Geländearbeiten, bei den Abstimmungen für die naturschutzrechtlichen Genehmigungen für die Forschungsarbeiten und für die bereit gestellten Daten. Des Weiteren möchten sich die Autoren bei den Bewirtschaftern und Pächtern der Untersuchungsgebiete für ihre Zusammenarbeit bedanken und hoffen auf weiterhin gute Zusammenarbeit im Projektverlauf.

Literatur

- ALBERT, C., C. GALLER & C. VON HAAREN (2012): Ökosystemdienstleistungen. Alter Wein in neuen Schläuchen oder ein Impuls für die Landschaftsplanung? – Naturschutz und Landschaftsplanung 44 (5): 142–148.
- ARGE-ELBE – ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR DIE REINHALTUNG DER ELBE (2003): Schwarze Elster, Mulde und Saale. Fischereibiologische Untersuchungen sowie Schadstoffbelastung von Brassen, Aal und Zander in den Unterläufen der Elbenebenflüsse: 12–47.
- BAXTER, C. V., K. D. FAUSCH & W. C. SAUNDERS (2005): Tangled webs: reciprocal flows of invertebrate prey link streams and riparian zones. – *Freshwater Biology* 50: 201–220.
- BFG – BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (Hrsg.) (2017): RESI – River Ecosystem Service Index. Analyse und Bewertungen von Ökosystemleistungen in Flusslandschaften. ReWaM – Regionales Wasserressourcen-Management für den nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland (Zwischenergebnisse). – Koblenz: 32–33.
- BEILING, C., T. PLEININGER, H. PIRKER & C. R. VOGL (2014): Linkages between landscapes and human well-being: An

- empirical exploration with short interviews. – *Ecological Economics* 105: 19–30.
- BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (2010): Indikatorenbericht 2010 zur Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt: 87 S.
- BRÄUER G. & M. HERZOG (1997): Landschaftswandel – Entwicklungsziele in der mit Schadstoffen belasteten Mulde. – *Naturschutz im Land Sachsen Anhalt* 34, Sonderheft: 47–49.
- BULL, J. W., N. JOBSTVOGT, A. BÖHNKE-HENRICH, A. MAS-CARENHAS, N. SITAS, C. BAULCOMB, C. K. LAMBINI, M. RAWLINS, H. BARAL, J. ZÄHRINGER, E. CARTER-SILK, M. V. BALZAN, J. O. KENTER, T. HÁYHÁ, K. PETZ & R. KOSS (2016): Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats. A SWOT analysis of the ecosystem services framework. – *Ecosystem Services* 17: 99–111.
- CARSON R. T & J. J. LOUVIERE (2011). A Common Nomenclature for Stated Preference Elicitation Approaches. – *Environmental and Resource Economics* 49 (4): 539–559.
- COLLIER, K. J., S. BURY & M. GIBBS (2002): A stable isotope study of the linkages between stream and terrestrial food webs through spider predation. – *Freshwater Biology* 47: 1.651–1.659.
- DANIEL, T. C., A. MUHAR, A. ARNBERGER, O. AZNAR, J. W. BOYD, K. M. A. CHAN, R. COSTANZA, T. ELMQVIST, C. G. FLINT, P. H. GOBSTER, A. GRET-REGAMEY, R. LAVE, S. MUHAR, M. PENKER, R. G. RIBE, T. SCHAUPPENLEHNER, T. SKOR, I. SOLOVYI, M. SPIERENBURG, K. TACZANOWSKA, J. TAM & A. VON DER DUNK (2012): Contributions of cultural services to the ecosystem services agenda. – *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109 (23): 8.812–8819.
- EGGENBERG, S. & A. MÖHL (2013): Flora Vegetativa. Ein Bestimmungsbuch für Pflanzen der Schweiz im blütenlosen Zustand. – Bern (Haupt Verlag): 736 S.
- EICHHORN, A. & G. PUHLMANN (1999): Das EU-Life Projekt „Renaturierung von Fluss, Altwasser und Auenwald an der Mittleren Elbe“. – *Naturschutz im Land Sachsen-Anhalt* 36 (2): 43–50.
- EICHHORN, A., G. RAST & L. REICHHOFF (2004): Naturschutzgroßprojekt Mittlere Elbe, Sachsen-Anhalt. – *Natur und Landschaft* 79 (9): 423–429.
- FAULHABER, P. & M. ALEXY (2005): Artificial bed load supply at the River Elbe – investigation and realization. *Large River* 15 (1–4). – *Archiv für Hydrobiologie Suppl.* 155/1–4: 539–547.
- FRANK, D., H. HERDAM, H. JAGE, H. JOHN, H.-U. KISON, H. KORSCH & J. STOLLE MIT BEITRÄGEN VON S. BRÄUTIGAM, H. THIEL, I. UHLEMANN, H. E. WEBER & E. WELK (2004): Rote Liste der Farn- und Blütenpflanzen (Pteridophyta et Spermaophyta) des Landes Sachsen-Anhalt. – *Bericht des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt* 39: 91–110.
- FUCHS, D., K. HÄNEL, A. LIPSKI, M. REICH, P. FINCK & U. RIECKEN (2011): Länderübergreifender Biotopverbund in Deutschland – Grundlagen und Fachkonzept. – *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 96: 192 S.
- GAC – GESELLSCHAFT FÜR ANGEWANDTE CARABIDOLOGIE (Hrsg.) (2009): Lebensraumpräferenzen der Laufkäfer Deutschlands. Wissensbasierter Katalog. – *Angewandte Carabidologie Supplement* V.
- GRAFAHREND-BELAU, E. & M. BRUNKE (2005): Die Besiedlung von Totholz und anderen Sohlsubstraten der unteren Mulde und mittleren Elbe durch aquatisch lebende Wirbellose. – *Naturschutz im Land Sachsen-Anhalt* 42 (2): 13–24.
- HAAREN, C. VON & C. ALBERT (2011): Integrating ecosystem services and environmental planning. Limitations and synergies. – *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management* (7) 3: 150–167.
- HERING, D. & M. REICH (1997): Bedeutung von Totholz für Morphologie, Besiedlung und Renaturierung mitteleuropäischer Fließgewässer. – *Natur und Landschaft* 72 (9): 383–389.
- HERMES, J., C. ALBERT, J. BARKMANN, D. SCHMÜCKER & C. VON HAAREN (in Vorb.): Die Qualität der Landschaft für Feierabend- und Wochenenderholung in Deutschland: Präferenzen, Dargebot, Potenzial, Nutzung. – *Ergebnisse des F+E-Vorhabens „Erfassung und Bewertung kultureller Ökosystemleistungen in Deutschland“*.
- JÄGER, E. J. (Hrsg.) (2011): Rothmaler Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Grundband. – Spektrum.
- JURGEIT, F., F. EPERT & W. HAENSCHKE (1997): Geschützte Natur in der Mulde. – *Naturschutz im Land Sachsen-Anhalt* 34, Sonderheft: 50–61.
- KLEMM, W., A. GREIF, J. A. C. BROEKAERT, V. SIEMENS, F. W. JUNGE, A. VAN DER VEEN, M. SCHULTZE & A. DUFFEK (2005): A Study on Arsenic and the Heavy Metals in the Mulde River System. – *Acta hydrochimica et hydrobiologica* 33 (5): 475–491.
- LHW – LANDESBETRIEB FÜR HOCHWASSERSCHUTZ UND WASSERWIRTSCHAFT SACHSEN-ANHALT (schriftliche Mitteilung): Referenz-Fischzönose Mulde.
- MLU – MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND UMWELT LAND SACHSEN-ANHALT (2010): Strategie des Landes zum Erhalt der Biologischen Vielfalt. – <https://mule.sachsen-anhalt.de/umwelt/naturschutz/biodiversitaet/> (letzter Abruf: 15.12.2017).
- MLU – MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND UMWELT DES LANDES SACHSEN-ANHALT (Hrsg.) (2012): Fischarten und Fischgewässer in Sachsen-Anhalt. Teil 1: Die Fischarten. – Magdeburg: 240 S.
- NATURKAPITAL DEUTSCHLAND – TEEB DE (2012): Der Wert der Natur für Wirtschaft und Gesellschaft. Eine Einführung. – München (ifuplan), Leipzig (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Bonn (Bundesamt für Naturschutz). – https://www.bfn.de/fileadmin/MDb/documents/themen/oekonomie/teeb_de_einfuehrung_1seitig.pdf (letzter Abruf: 15.12.2017).
- NATURKAPITAL DEUTSCHLAND – TEEB DE (2016): Ökosystemleistungen in ländlichen Räumen – Grundlage für menschliches Wohlergehen und nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung. – Haaren, C. v. & C. Albert (Hrsg.). – Leibniz Universität Hannover, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ. – Hannover, Leipzig. – http://www.ufz.de/export/data/global/190505_TEEB_DE_Landbericht_Langfassung.pdf (letzter Abruf: 15.12.2017).
- NEHRING, S. & S. SKOWRONEK (2017): Die invasiven gebietsfremden Arten der Unschlisse der Verordnung (EU) Nr.1143/2014 – Erste Fortschreibung 2017. – BfN-Skripten 471. – <http://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript471.pdf> (letzter Abruf: 30.11.17).

- PAETZOLD, A., C. SCHUBERT & K. TOCKNER (2005): Aquatic-terrestrial linkages along a braided river: Riparian arthropods feeding on aquatic insects. – *Ecosystems* 8: 748–759.
- PUHLMAN, G. & G. RAST (1997): Zum Feststoffhaushalt der Mulde im Bereich Sachsen-Anhalt – Zustand, Perspektiven und Handlungsempfehlungen aus ökomorphologischer Sicht. – *Naturschutz im Land Sachsen Anhalt* 34, Sonderheft: 33–37.
- PUHLMAN, G. (1997): Wasserbau und Hochwasserschutz an der unteren Mulde – Historie – Status Quo – Perspektiven. – *Naturschutz im Land Sachsen Anhalt* 34, Sonderheft: 38–46.
- RANA (2013): Managementplan für das FFH-Gebiet 129 „Untere Mulde“ . – https://lau.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LAU/Naturschutz/Natura2000/Managementplanung/Dateien/ffh129_text.pdf (letzter Abruf: 15.12.2017).
- ROBINSON, C. T., K. TOCKNER & J. V. WARD (2002): The fauna of dynamic riverine landscapes. – *Freshwater Biology* 47: 661–677.
- SCHNITZER, P., E. GRILL & M. TROST (2001): 4.2.2.16 Laufkäfer (Carabidae). – In: LAU – LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT (2001): Arten- und Biotopschutzprogramm Sachsen-Anhalt, Landschaftsraum Elbe (3 Teile). – *Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Sonderheft 3, Teil 2*: 390–403.
- SCHNITZER, P., C. EICHEN, G. ELLWANGER, M. NEUKIRCHEN & E. SCHRÖDER (Bearb.)(2006): Empfehlungen für die Erfassung und Bewertung von Arten als Basis für das Monitoring nach Artikel 11 und 17 der FFH-Richtlinie in Deutschland. – *Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Sonderheft 2*: 370 S.
- SCHÖNBRUNNER, I. M., S. PREINER & T. HEIN (2012): Impact of drying and re-flooding of sediment on phosphorus dynamics of river-floodplain systems. – *Science of the total environment* 432: 329–337.
- SMITH, E. P. (2002): BACI design. – In: El-Shaarawi A. H. & W. W. Piegorsch (ed.): *Encyclopedia of environmetrics*. Vol. 1. – Wiley, Chichester (U. K): 141–148.
- STEWART-OATEN, A., W. W. MURDOCH & K. R. PARKER (1986): Environmental impact assessment: pseudo-replication in time? – *Ecology* 67: 929–940.
- SZEKELY, S. (2006): Die Planung überörtlicher Biotopverbundsysteme zum Aufbau des ökologischen Verbundsystems in Sachsen-Anhalt. – *Naturschutz im Land Sachsen-Anhalt* 43, Sonderheft: 16–37.
- THIELE, J., C. VON HAAREN & C. ALBERT (in Vorb.) Spatial quantification of deliveries from river landscapes for cultural ecosystem services (working title).
- THUROW, A. (2016): Zur Laufkäferfauna (Coleoptera: Carabidae) natürlicher Uferstrukturen der Unteren Mulde. – *Naturschutz in Sachsen-Anhalt* 53: 55–63.
- TOCKNER, K. & J. A. STANFORD (2002): Riverine flood plains: present state and future trends. – *Environmental Conservation* 29 (3): 308–330.
- UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (Hrsg.) (2012): Regional Workshop on “Mainstreaming Ecosystem Services Approaches into Development: Application of Economic Valuation for Designing Innovative Response Policies”.
- WARD, J. V. (1989): Riverine-Wetland Interactions. – *Freshwater Wetlands and Wildlife* 61: 385–400.
- WARTHEMANN, G. & U. WÖLFEL (1997): Flora und Vegetation der Mulde. – *Naturschutz im Land Sachsen-Anhalt* 34, Sonderheft: 12–16.
- WEIGOLD, F. & M. BABOROWSKI (2009): Consequences of delayed mixing for quality assessment of river water: Example Mulde-Saale-Elbe. – *Journal of Hydrology* 369 (3–4): 296–304.
- WELTI, N., E. BONDAR-KUNZE, G. SINGER, M. TRITHTART, S. ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, T. HEIN & G. PINAY (2012): Large-scale controls on potential respiration and denitrification in riverine floodplains. – *Ecological Engineering* 42: 73–84.
- ZUPPKE, U. & T. GAUMERT (2003): Die Entwicklung des Fischartenspektrums in der unteren Mulde. – *Naturschutz im Land Sachsen-Anhalt* 40 (2): 9–16.

Anschriften der Autoren

Dr. Christiane Schulz-Zunkel
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
Department Naturschutzforschung
Permoserstraße 15 · 04318 Leipzig
E-Mail: christiane.schulz@ufz.de

Georg Rast
WWF Deutschland
Fachbereich Naturschutz Deutschland
Reinhardtstraße 18 · 10117 Berlin
E-Mail: georg.rast@wwf.de

Heiko Schrenner
WWF-Projektbüro „Mittlere Elbe“
Friedensplatz 8 · 06844 Dessau-Roßlau
E-Mail: heiko.schrenner@wwf.de

Die Anschriften der Coautorinnen und Coautoren können im Internet unter:
<https://www.ufz.de/index.php?de=44244> abgerufen werden.

Internet: www.wilde-mulde.de