

TEXTE

42/2025

Forschungsbericht

# Mit der Gewässerentwicklung verbundene Ökosystemleistungen

von:

Stefan Schmidt, Christian Albert  
Ruhr-Universität Bochum, Leibniz Universität Hannover

Unter Mitarbeit von

Tanja Pottgiesser  
umweltbüro essen Bolle und Partner GbR

Andreas Müller  
chromgruen Planungs- und Beratungs- GmbH & Co. KG, Velbert

Herausgeber:

Umweltbundesamt



TEXTE 42/2025

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für  
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3721 24 2020  
FB001576

Forschungsbericht

# **Mit der Gewässerentwicklung verbundene Ökosystemleistungen**

von

Stefan Schmidt, Christian Albert  
Ruhr-Universität Bochum, Leibniz Universität Hannover

Unter Mitarbeit von

Tanja Pottgiesser  
umweltbüro essen Bolle und Partner GbR

Andreas Müller  
chromgruen Planungs- und Beratungs- GmbH & Co. KG,  
Velbert

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

## Impressum

### Herausgeber

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
[buergerservice@uba.de](mailto:buergerservice@uba.de)  
Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

### Durchführung der Studie:

chromgruen Planungs- und Beratungs- GmbH & Co. KG  
umweltbüro essen Bolle und Partner GbR  
DIE GEWÄSSER-EXPERTEN!  
c/o chromgruen  
Gröndelle 3  
42555 Velbert

### Abschlussdatum:

Dezember 2024

### Redaktion:

Fachgebiet II 2.4 Binnengewässer  
Stephan Naumann

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, April 2025

### Zitationsvorschlag:

Schmidt, S. & C. Albert (2025): Mit der Gewässerentwicklung verbundene Ökosystemleistungen. - Umweltbundesamt Hrsg. - UBA-Texte 42/2025: 58 Seiten, Dessau.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

### **Kurzbeschreibung: Mit der Gewässerentwicklung verbundene Ökosystemleistungen**

Fließgewässer und ihre Auen sind wichtige Ökosysteme, die durch ihre hohe Biodiversität und vielfältigen Ökosystemleistungen zum menschlichen Wohlbefinden beitragen. Sie bieten Trinkwasser, Nahrung, Hochwasserschutz, regulieren Nährstoffe und dienen als Erholungsraum. Trotz ihrer Bedeutung wurden Flusslandschaften in der Vergangenheit durch menschliche Eingriffe stark verändert, um unterschiedlichen Nutzungsinteressen gerecht zu werden. Diese Umgestaltungen haben jedoch häufig zu ungewollten Veränderungen der Ökosystemleistungen geführt. Diese Studie untersucht die mit der Gewässerentwicklung verbundenen Ökosystemleistungen von Flüssen und Auen anhand einer umfassenden Literaturrecherche. Ziel ist es, eine fundierte Grundlage für die Priorisierung wesentlicher Ökosystemleistungen zu schaffen und die Auswirkungen von Gewässerentwicklungsmaßnahmen auf diese zu bewerten. Die Recherche identifizierte 40 verschiedene Ökosystemleistungen. Am häufigsten untersucht wurden regulierende Leistungen wie die Regulierung der Wasserqualität, gefolgt von bereitstellenden Leistungen wie der Trinkwasserversorgung und kulturellen Leistungen wie die Bereitstellung von Erholungsraum. Gewässerentwicklungsmaßnahmen wurden in 25 naturnahe Maßnahmen unterteilt, die die Eigenentwicklung von Gewässern zu einem natürlicheren Zustand fördern (z. B. Renaturierung von Auen), und 26 traditionelle Maßnahmen, die primär der Nutzung von Gewässern dienen und weniger auf langfristige Effekte auf Ökosystemleistungen und die Erhaltung der Gewässerressourcen achten (z. B. Deichbau). Naturnahe Gewässerentwicklungsmaßnahmen weisen deutlich mehr positive und weniger negative Auswirkungen auf Ökosystemleistungen auf als traditionelle Maßnahmen. Über 84 % der naturnahen Maßnahmen wirken sich positiv auf 6 bis 17 Ökosystemleistungen aus, während traditionelle Maßnahmen im Durchschnitt nur eine positiv und etwa 15 negativ beeinflussen. Die Studie empfiehlt, zukünftige Gewässerentwicklungsprojekte vermehrt auf naturnahe Maßnahmen zu setzen, um den ökologischen Zustand der Flusslandschaften zu verbessern und die Vielfalt der Ökosystemleistungen zu fördern.

### **Abstract**

Rivers and their floodplains are crucial ecosystems that contribute to human well-being through their high biodiversity and diverse ecosystem services. They provide drinking water, food, flood protection, nutrient regulation, and recreational spaces. Despite their importance, river landscapes have been significantly altered in the past to meet various human needs, often leading to unintended changes in ecosystem services. This study examines the ecosystem services associated with river and floodplain development through a comprehensive literature review. The aim is to create a foundation for prioritizing key ecosystem services and assessing the impact of river development measures on these services. The review identified 40 different ecosystem services. The most frequently studied were regulating services such as water quality regulation, followed by provisioning services like drinking water supply, and cultural services such as providing recreational spaces. River development measures were divided into 25 nature-based measures, which promote the natural development of rivers (e. g.; floodplain restoration), and 26 traditional measures, which primarily serve the use of rivers and pay less attention to long-term effects on ecosystem services and the preservation of natural water resources (e. g.; dike construction). Nature-based river development measures show significantly more positive and fewer negative impacts on ecosystem services than traditional measures. Over 84 % of nature-based measures positively affect 6 to 17 ecosystem services, while traditional measures on average positively affect only one and negatively affect about 15. The study recommends focusing future river development projects on nature-based measures to

improve the ecological condition of river landscapes and enhance the diversity of ecosystem services.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis.....	8
Zusammenfassung.....	10
Summary .....	12
1 Einführung.....	14
2 Wesentliche Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen.....	17
2.1 Literaturrecherche .....	17
2.2 Ergebnisse – Priorisierung von Ökosystemleistungen .....	18
2.2.1 Häufig analysierte Ökosystemleistungen .....	18
2.2.2 Selektion wesentlicher Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen.....	22
3 Auswirkungen gewässerstruktureller Maßnahmen auf wesentliche Ökosystemleistungen.....	26
3.1 Literaturrecherche .....	26
3.2 Ergebnisse – Auswirkungen naturnaher Maßnahmen der Gewässerentwicklung.....	34
3.3 Ergebnisse – Auswirkungen traditioneller Maßnahmen der Gewässerentwicklung.....	38
3.4 Ergebnisse – Vergleich der Auswirkungen naturnaher und traditioneller Maßnahmen der Gewässerentwicklung auf Ökosystemleistungen .....	41
4 Diskussion und Schlussfolgerungen .....	44
4.1 Bedeutung und Priorisierung von Ökosystemleistungen von Flusslandschaften.....	44
4.1.1 Naturnahe Gewässerentwicklung als Schlüssel zur Verbesserung der Ökosystemleistungen?.....	45
4.1.2 Herausforderungen und Lösungsansätze zur Verbesserung der Analyse von Gewässerentwicklungsmaßnahmen und ihren Auswirkungen auf Ökosystemleistungen.....	47
5 Quellenverzeichnis .....	49
Anhang .....	56
A.1 Zusammenfassung von Ökosystemleistungen in Fließgewässern und Auen, die in acht Reviewstudien gefunden wurden. ....	56

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Flussdiagramm zur Beschreibung der verschiedenen Phasen der Literaturrecherche für Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen. ....	18
Abbildung 2:	Anzahl der analysierten Ökosystemleistungen von Flüssen und Auen basierend auf Daten aus acht Review-Studien.....	19
Abbildung 3:	Flussdiagramm zur Beschreibung der verschiedenen Phasen der Literaturrecherche für Auswirkungen von Maßnahmen auf Ökosystemleistungen. ....	27
Abbildung 4:	Zusammenhänge zwischen naturnahen Maßnahmen der Gewässerentwicklung und Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen (Zusammenhänge positiv = grün, ambivalent = gelb, negativ = rot, keine Zusammenhänge vorhanden = grau, keine Nachweise gefunden = weiß).....	35
Abbildung 5:	Zusammenfassung aller Zusammenhänge zwischen naturnahen Maßnahmen der Gewässerentwicklung und bereitstellenden, regulierenden und kulturellen Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen.....	36
Abbildung 6:	Zusammenhänge zwischen traditionellen Maßnahmen der Gewässerentwicklung und Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen (Zusammenhänge positiv = grün, ambivalent = gelb, negativ = rot, keine Zusammenhänge vorhanden = grau, keine Nachweise gefunden = weiß).....	39
Abbildung 7:	Zusammenfassung aller Zusammenhänge zwischen traditionellen Maßnahmen der Gewässerentwicklung und bereitstellenden, regulierenden und kulturellen Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen.....	40
Abbildung 8:	Zusammenfassung der Zusammenhänge von naturnahen und traditionellen Maßnahmen der Gewässerentwicklung auf Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen. ....	41
Abbildung 9:	Prozentualer Anteil der Fälle, in denen durch naturnahe oder traditionelle Maßnahmen positive, ambivalente, negative oder keine Wirkungen auf die genannten Ökosystemleistungen beschrieben wurden.....	42
Abbildung 10:	Vergleich der Multifunktionalität zwischen naturnahen und traditionellen Maßnahmen. ....	43

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Klassifikationssysteme von Ökosystemleistungen, zusammengefasst in vier Hauptgruppen: Bereitstellung, Regulierung, Unterstützung und kulturelle Leistungen. ....	20
Tabelle 2:	Vorschlag zu wesentlichen Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen, basierend auf den Projekten MARS, RESI und HyMoCARES. ....	23
Tabelle 3:	Übersicht der Maßnahmen naturnaher Gewässerentwicklung strukturiert in Anlehnung an die Maßnahmenklassifikation des LAWA-BLANO Katalogs, inklusive der zugehörigen Maßnahmennummern. ....	27
Tabelle 4:	Übersicht der Maßnahmen traditioneller Gewässerentwicklung strukturiert in Anlehnung an die Maßnahmenklassifikation des LAWA-BLANO Katalogs, inklusive der zugehörigen Maßnahmennummern. ....	31

## Zusammenfassung

Fließgewässer und ihre Auen sind multifunktionale Landschaften, die zu den artenreichsten und wertvollsten Ökosystemen der Welt gehören (Costanza et al. 2014; Dudgeon et al. 2006). Sie bieten eine Vielzahl von Beiträgen zum menschlichen Wohlbefinden (Ökosystemleistungen). Dazu gehören neben der Bereitstellung von Trinkwasser und Nahrung, der natürliche Hochwasserschutz, die Regulierung von Nährstoffen und Treibhausgasen, sowie die Bereitstellung von attraktiven Räumen für Freizeitaktivitäten und Erholung (Schäfer et al. 2015).

Die Nutzung dieser Ökosystemleistungen durch den Menschen erfordert häufig menschliche Eingriffe, die jedoch oft mit ungewollten Veränderungen der Flusslandschaft einhergehen können. Historisch gesehen wurden Flusslandschaften stark umgestaltet, um unterschiedlichen Nutzungsinteressen wie Siedlungsentwicklung, Landwirtschaft und Infrastrukturausbau gerecht zu werden. Diese Eingriffe haben vielfältige Ökosystemleistungen wie die Bereitstellung von Lebensräumen, die Regulierung von Hochwasser durch Rückhalteflächen sowie die Nutzung von Gewässern für Trinkwasser und Erholung eingeschränkt, während Leistungen wie der Ausbau der Schifffahrt und die intensive landwirtschaftliche Nutzung der Flussauen bevorzugt und stärker gefördert wurden (Podschun et al. 2018a; von Keitz et al. 2016).

Im Rahmen dieses Forschungsberichtes wurden die Auswirkungen von Eingriffen in die Gewässerentwicklungsfläche und Gewässerstruktur auf ausgewählte Ökosystemleistungen von Flüssen und Auen anhand einer Literaturrecherche analysiert. Ziel ist es, eine fundierte Grundlage für die Priorisierung wesentlicher Ökosystemleistungen zu schaffen, die Auswirkungen von Gewässerentwicklungsmaßnahmen auf diese Leistungen zu bewerten und Entscheidungsträger bei der Auswahl von Maßnahmen zu unterstützen, die eine hohe Multifunktionalität aufweisen und viele Ökosystemleistungen positiv beeinflussen.

Die Ergebnisse der Recherche zeigen, dass in der Literatur zu Ökosystemleistungen von Flüssen und Auen insgesamt 40 unterschiedliche Ökosystemleistungen berücksichtigt wurden. Regulierende Ökosystemleistungen wie die Regulierung der Wasserqualität, Habitatbereitstellung und Nährstoffregulation wurden am häufigsten untersucht (60 %). Mit geringerer Häufigkeit folgen bereitstellende Ökosystemleistungen (22 %), wie die Versorgung mit Trinkwasser, pflanzliche Ressourcen für die landwirtschaftliche Nutzung und Nahrungsmittelproduktion. Kulturelle Ökosystemleistungen, wie Inspiration für Kultur, Kunst und Design, Interaktionen mit der Natur wie Vogelbeobachtung und der kulturelle Wert medizinischer Pflanzen, wurden am seltensten analysiert (18 %).

Gewässerentwicklungsmaßnahmen wurden in 25 naturnahe Maßnahmen unterteilt, die Flächen bereitstellen und die Eigenentwicklung von Gewässern zu einem natürlicheren Zustand fördern (z. B. Renaturierung von Auen), und 26 traditionelle Maßnahmen, die hauptsächlich der Nutzung von Gewässern dienen und weniger langfristige Effekte auf Ökosystemleistungen und die Erhaltung der natürlichen Gewässerressourcen berücksichtigen (z. B. Deichbau).

Naturnahe Maßnahmen haben im Vergleich zu traditionellen Maßnahmen deutlich mehr positive und weniger negative Auswirkungen auf Ökosystemleistungen. Über 84 % der naturnahen Maßnahmen wirken sich positiv auf 6 bis 17 Ökosystemleistungen aus, während traditionelle Maßnahmen im Durchschnitt nur eine einzige Ökosystemleistung positiv beeinflussen und etwa 15 negativ. Naturnahe Maßnahmen weisen über nahezu alle bereitstellende, regulierende und kulturelle Ökosystemleistungen hinweg mehr positive und weniger negative Auswirkungen auf als traditionelle Maßnahmen. Dies deutet darauf hin, dass naturnahe Maßnahmen oft effektiver sind, um die Vielfalt, Funktionen und Ressourcen von

Ökosystemen zu erhalten und zu fördern. Traditionelle Maßnahmen sind hauptsächlich für solche Ökosystemleistungen potenziell vorteilhaft, die sich auf die landwirtschaftliche Produktion beziehen.

Zukünftige Gewässerentwicklungsprojekte sollten vermehrt auf naturnahe Maßnahmen setzen, da diese sowohl ökologisch als auch gesellschaftlich vielfältige Vorteile bieten. Eine verstärkte Umsetzung naturnaher Maßnahmen könnte dazu beitragen, den ökologischen Zustand des Gewässers zu verbessern und die Bereitstellung verschiedener Ökosystemleistungen in Flusslandschaften zu fördern. Langfristig würde dies nicht nur zum Schutz der Umwelt beitragen, sondern auch den gesellschaftlichen Nutzen und die Nachhaltigkeit der Gewässerbewirtschaftung erhöhen.

Zusätzlich wird empfohlen, empirische Evaluationsstudien zu fördern und eine zentrale Datenbank zur Erfassung der Auswirkungen von Maßnahmen auf Ökosystemleistungen einzurichten, um die Evidenzbasis für zukünftige Entscheidungen zu stärken und bestehende Wissenslücken zu schließen.

## Summary

Rivers and their floodplains are multifunctional landscapes, belonging to the world's richest and most valuable ecosystems (Costanza et al. 2014; Dudgeon et al. 2006). They provide a variety of contributions to human well-being (ecosystem services), including the provision of drinking water and food, natural flood protection, regulation of nutrients and greenhouse gases, as well as the provision of attractive spaces for recreational activities and relaxation (Schäfer et al. 2015).

The utilization of these ecosystem services by humans often requires interventions that can lead to unintended alterations in river landscapes. Historically, river landscapes have been heavily modified to accommodate various human uses such as urban development, agriculture, and infrastructure expansion. These interventions have restricted diverse ecosystem services such as habitat provision, flood regulation through retention areas, and the use of water for drinking and recreation, while favoring services like expanded navigation and intensive agricultural use of floodplains (Podschun et al. 2018a; von Keitz et al. 2016).

This research report analyzed the impacts of interventions in water development areas and water structures on selected ecosystem services of rivers and floodplains through a literature review. The aim is to provide a solid foundation for prioritizing essential ecosystem services, evaluating the impacts of river development measures on these services, and assisting decision-makers in selecting measures that exhibit high multifunctionality and positively influence many ecosystem services.

This research report analyzed the impacts of interventions in water development areas and physical structure of watercourses on selected ecosystem services of rivers and floodplains through a literature review. The aim is to establish a foundation for prioritizing essential ecosystem services, evaluating the impacts of river development measures on these services, and assisting decision-makers in selecting measures that exhibit high multifunctionality and positively influence many ecosystem services.

The results of the review show that the literature covers a total of 40 different ecosystem services related to rivers and floodplains. Regulatory ecosystem services such as water quality regulation, habitat provision, and nutrient regulation were the most frequently studied (60 %). Provisioning ecosystem services, e. g.; drinking water supply, agricultural resources, food production, followed less frequently (22 %). Cultural ecosystem services, such as inspiration for culture, art, and design, interactions with nature such as bird watching, and the cultural value of medicinal plants, were the least analyzed (18 %).

River development measures were categorized into 25 nature-based measures that provide water development area and promote the natural development of waters to a more natural state (e. g.; floodplain restoration), and 26 traditional measures primarily serving water use and less considering long-term effects on ecosystem services and the preservation of natural water resources (e. g.; dyke construction).

Compared to traditional measures, nature-based measures have significantly more positive and fewer negative effects on ecosystem services. Over 84 % of nature-based measures positively impact 6 to 17 ecosystem services, while traditional measures on average positively influence only one and negatively impact about 15. Nature-based measures show more positive and less negative effects across nearly all provisioning, regulatory, and cultural ecosystem services compared to traditional measures. This suggests that nature-based measures are often more effective in maintaining and promoting the diversity, functions, and resources of ecosystems.

Traditional measures are primarily beneficial for ecosystem services related to agricultural production.

Future water development projects should increasingly focus on nature-based measures, as they offer diverse ecological and societal benefits. Enhanced implementation of nature-based measures could contribute to improving the ecological status of water bodies and promoting the provision of various ecosystem services in river landscapes. In the long term, this would not only contribute to environmental protection but also enhance societal benefits and the sustainability of water management.

Additionally, promoting empirical evaluation studies and establishing a centralized database for capturing the impacts of measures on ecosystem services is recommended to strengthen the evidence base for future decisions and address existing knowledge gaps.

## 1 Einführung

Fließgewässer und ihre Auen sind multifunktionale Landschaften, die zu den artenreichsten Ökosystemen weltweit gehören und zugleich als grün-blaue Infrastruktur einen bedeutenden gesellschaftlichen Nutzen haben (Costanza et al. 2014; Dudgeon et al. 2006). Flusslandschaften tragen in vielfältiger Weise zum Wohlergehen der Menschen bei, indem sie **Ökosystemleistungen (Beiträge der Natur zum menschlichen Wohlbefinden)** wie Trinkwasser und Nahrungsmittel bereitstellen, einen natürlichen Hochwasserschutz schaffen, Nährstoffe und Treibhausgase regulieren und uns Menschen mit Raum für Freizeitaktivitäten und Erholung versorgen (Schäfer et al. 2015). Intakte Flusslandschaften erfüllen materielle und immaterielle Grundbedürfnisse, tragen zur Gesundheit und Sicherheit bei und können die wirtschaftliche Entwicklung und soziale Interaktionen der Menschen fördern (Petsch et al. 2022; Russi et al. 2013). Vergleichsstudien, die das Dargebot von Ökosystemleistungen verschiedener Landschaften weltweit abschätzen, belegen, dass Fließgewässer und ihre Auen zu den wertvollsten Landschaften gehören (Costanza et al. 1997; de Groot et al. 2012).

Ökosystemleistungen in Anspruch zu nehmen, ist oft mit zusätzlichen menschlichen Beiträgen (beispielsweise Arbeit, Zeit, Ressourcen) verbunden. Beispiele umfassen die Aufbereitung von Trinkwasser, Bewirtschaftung von fruchtbaren Aueböden durch Düngen, Pflügen, Bewässerung etc. für die Nahrungsmittelbereitstellung und die Pflege von Wasserstraßen zur Wahrung der Funktion als beständiges Transportmittel. Diese menschlichen Beiträge gehen oft mit beabsichtigten oder unbeabsichtigten Veränderungen der Ökosysteme einher und können die Leistungsfähigkeit des Ökosystems weitere Ökosystemleistungen bereitzustellen beeinflussen (Spangenberg et al. 2014).

Über Jahrhunderte hinweg stieg die Intensität menschlicher Interventionen zur Nutzung von Ökosystemleistungen. Häufig wurden Flusslandschaften in großem Maße umstrukturiert, um den steigenden Bedarf für verschiedene Nutzungsformen zu ermöglichen, wie die Entwicklung und Erweiterung von Siedlungen und Infrastruktur, der Ausbau des Gewässers für die Schifffahrt sowie die Ausübung von intensiver Landwirtschaft. Im Zuge dieser Umgestaltung wurden nur wenige Ökosystemleistungen in den Vordergrund gerückt, während andere vernachlässigt wurden. Beispielsweise führten der Gewässerausbau für die Schifffahrt und die intensive Ackernutzung der Flussauen dazu, dass Ökosystemleistungen stark eingeschränkt wurden, wie die Bereitstellung von Habitaten, die Regulierung von Hochwasser durch Rückhalteflächen und die Gewässernutzung für Trinkwasser und Erholung (Podschun et al. 2018a; von Keitz et al. 2016). Demgegenüber steht der hohe Stellenwert von Gewässernutzungen, die einen möglichst naturnahen Zustand erfordern. So zeigen Umfrageergebnisse in Deutschland, dass sich eine Mehrheit der Bevölkerung eine Priorisierung von Umweltschutzbelangen und eine Förderung von Investitionen zur Verbesserung der Schönheit und Erholungsfunktion von Flusslandschaften wünschen (TNS-EMNID 2008; BMUB und BfN 2014).

Die Abwägung zwischen naturnahen oder -fernen Nutzungsformen von Gewässern und die Suche nach Kompromisslösungen erfordern eine sorgfältige Analyse naturwissenschaftlicher und sozio-ökonomischer Zusammenhänge. Wesentliche Argumente für diese Abwägung sind in den Zielen diverser politischer Rechtsvorschriften zu finden, wie beispielsweise der Wasserrahmenrichtlinie, Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie, Vogelschutzrichtlinie, Hochwasserrisikomanagementrichtlinie, der europäischen Green Deal sowie in Planwerken der Regional-, Bauleit- und Landschaftsplanung (Naturkapital Deutschland – TEEB DE 2016).

Durch die Betrachtung der Natur aus einer Ökosystemleistungsperspektive können zusätzliche Aspekte in künftige Entscheidungsprozesse einbezogen werden, um das gesamte Spektrum der

oft schwer erkennbaren Leistungen der Natur angemessen zu berücksichtigen. Ein erster Schritt ist dabei das Identifizieren relevanter Ökosystemleistungen. Ökosystemleistungen sind ungleichmäßig in Flusslandschaften verteilt (Bagstad et al. 2013) und ihr Dargebot variiert erheblich in Abhängigkeit von Zeit und Raum (Yeakley et al. 2016; Bastian et al. 2012).

Flusslandschaften unterliegen ökologischen Veränderungen im Laufe der Zeit, die ihre Funktionalität und Kapazität zur Bereitstellung von Ökosystemleistungen beeinflussen können. Diese Veränderungen können periodisch, episodisch oder dauerhaft sein (Bastian et al. 2012). Zudem treten zeitliche Unterschiede zwischen dem Angebot und der Nachfrage oder Nutzung von Ökosystemleistungen auf (Ring et al. 2010). Solche Zeitverzögerungen entstehen beispielsweise zwischen der Wasserentnahme aus dem Gewässer und dem tatsächlichen Wasserverbrauch. Weitere zeitliche Unterschiede können zwischen den Bedürfnissen der gegenwärtigen Generation und zukünftiger Generationen auftreten (Millennium Ecosystem Assessment 2005). Die Auswirkungen von Entscheidungen und Maßnahmen können über Generationen hinweg reichen.

Räumliche Variationen sind auf Unterschiede in spezifischen räumlichen Ausstattungsmerkmalen der Flusslandschaft zurückzuführen, wie z. B. das Vorhandensein von Mindestflächen zur Bereitstellung von Ökosystemleistungen, die Komposition und Konfiguration von Arten und Landschaftsstrukturen sowie räumliche Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Ökosystemleistungen (Bastian et al. 2012). Weiterhin können Bewertungen und Auswirkungen von Ökosystemleistungen auf unterschiedlichen räumlichen Maßstäben variieren (de Groot et al. 2010; Rodriguez et al. 2006). Zum Beispiel kann die Bereitstellung von Trinkwasser aus einem lokalen Fluss für eine Gemeinde auf lokaler Ebene von großer Bedeutung sein, während der Schutz großer Wassereinzugsgebiete auf regionaler oder nationaler Ebene für die Wasserversorgung von Millionen von Menschen von Bedeutung ist. Die Skaleneffekte müssen bei der Bewertung und Planung von Ökosystemleistungen berücksichtigt werden.

Die Erbringung von Ökosystemleistungen ist abhängig von intakten ökologischen Funktionen der Flusslandschaft, die in Verbindung stehen zu geomorphologischen, ökologischen und hydrologischen Charakteristika der Fließgewässer. Fließgewässern mehr Raum zur Entwicklung zu überlassen, um einen naturraumtypischen oder naturnäheren Zustand des Gewässers zu fördern sowie die ökologische Funktionsfähigkeit des Gewässers wiederherzustellen und zu verbessern, kann das Dargebot vieler Ökosystemleistungen positiv beeinflussen. So führt die Bereitstellung von mehr Entwicklungsraum für morphodynamische Prozesse, beispielsweise durch breitere Flussverläufe, zur Erhöhung der Biodiversität im und am Gewässer, zur Förderung einer naturnahen Bodenbildung, zum Sedimentrückhalt und Schutz vor Schadstoffeintrag, zur Verbesserung der Bereitstellung von Wasser und Grundwasserneubildung, zur Dämpfung von Hochwasserereignissen sowie zur Aufwertung des Naturraums und damit verbundenen Erhöhung der Ästhetik, des Erholungs-, Bildungs- und Inspirationswertes (Ekka et al. 2020).

Begradigte und eingeengte Gewässer müssen kontinuierlich unterhalten und nach starken Hochwasserereignissen häufig wieder ausgebessert werden. Diese kurzlebigen Investitionen könnten stattdessen in die Renaturierung von Fließgewässern und die Bereitstellung von Gewässerentwicklungsflächen (Müller et al. 2024) gelenkt werden. Untersuchungen der ökonomischen Effekte von Renaturierungen auf Ökosystemleistungen zeigen, dass sich Investitionen in Flächen für naturnahe Gewässerentwicklung langfristig auszahlen, wenn das gesamte Spektrum von Ökosystemleistungen (einschließlich nicht-marktfähige Leistungen) in Bilanzierungen berücksichtigt werden (von Keitz et al. 2016; Scholz et al. 2012). Grossmann et al. (2010) zeigten beispielsweise, dass die Revitalisierung historischer

Überschwemmungsgebiete wirtschaftlich nur dann rentabel ist, wenn neben Hochwasserschutz weitere Vorteile (*Co-Benefits*) der revitalisierten Auen in einer integrativen Bewertung berücksichtigt werden, einschließlich der Ökosystemleistungen für den Klimaschutz, den Naturschutz und andere soziokulturelle Beiträge (z. B. Freizeit und Erholungsnutzen). Der Nutzen der naturnahen Maßnahme übersteigt den Berechnungen zur Folge die Kosten um das drei- bis sechsfache.

Fest steht, dass die Ökosystemleistungen von Flusslandschaften für die Gesellschaft mit einem erheblichen Mehrfachnutzen verbunden sind (Schäfer et al. 2015). Trotz wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns durch zahlreiche Fallbeispiele, bestehen weiterhin Wissenslücken in der Quantifizierung bzw. Inwertsetzung dieser Leistungen oder deren Monetarisierung (Hanna et al. 2017; Basak et al. 2021). Die genauen Zusammenhänge und quantitativen Wechselwirkungen zwischen räumlicher Veränderung, gewässerstruktureller Auswirkungen und Einfluss auf das Dargebot von Ökosystemleistungen sind noch nicht vollständig erforscht. Auch fehlen Untersuchungen, die Wechselwirkungen übergreifend über Gewässertypen hinweg zusammenfassen. Zudem erschwert das Fehlen eines standardisierten und international anerkannten Klassifikationssystems von Ökosystemleistungen für Flüsse und Auen eine einheitliche Analyse. Dies führt in der wissenschaftlichen Forschung und in der praktischen Anwendung zu Unsicherheit darüber, welche Ökosystemleistungen bei Analysen von Flusslandschaften von besonderer Bedeutung sind.

Im Rahmen des ReFoPlan-Vorhabens „Den Gewässern mehr Raum geben – Chancen und Synergien eines bundesweiten Flächenziels für die Gewässerentwicklung“ (Müller et al. 2024) wurde untersucht, inwiefern wesentliche Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen definiert werden können sowie welche potentiellen Auswirkungen Eingriffe in die Gewässerentwicklungsfläche und Gewässerstruktur auf ausgewählte Ökosystemleistungen haben. Als Forschungsmethoden kommen fokussierte Literaturanalysen wissenschaftlicher Veröffentlichungen zum Einsatz, um die aufgestellten Fragen zu beantworten. Die Ergebnisse geben einen Überblick zum breiten Spektrum der Ökosystemleistungen von Flusslandschaften und Hinweise zur Eingrenzung wesentlicher Leistungen. Weiterhin wurden die Auswirkungen von zwei Typen von Maßnahmen auf Ökosystemleistungen verglichen: Zum einen wurden Maßnahmen der naturnahen Gewässerentwicklung betrachtet, die Fläche zur Gewässerentwicklung bereitstellen und Prozesse der Eigenentwicklung eines Gewässers zu einem naturraumtypischen bzw. naturnäheren Zustand fördern. Zum anderen lag der Fokus auf Maßnahmen der traditionellen Gewässerentwicklung, die primär der Gewässernutzung dienen und weniger langfristig Effekte auf Ökosystemleistungen und die Erhaltung der vielfältigen Gewässerressourcen beachten. Abschließend wird diskutiert, inwiefern naturnahe Gewässerentwicklung im Hinblick auf das Dargebot an Ökosystemleistungen eine Vorzugsvariante im Vergleich zur traditionellen Gewässerentwicklung darstellt.

## 2 Wesentliche Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen

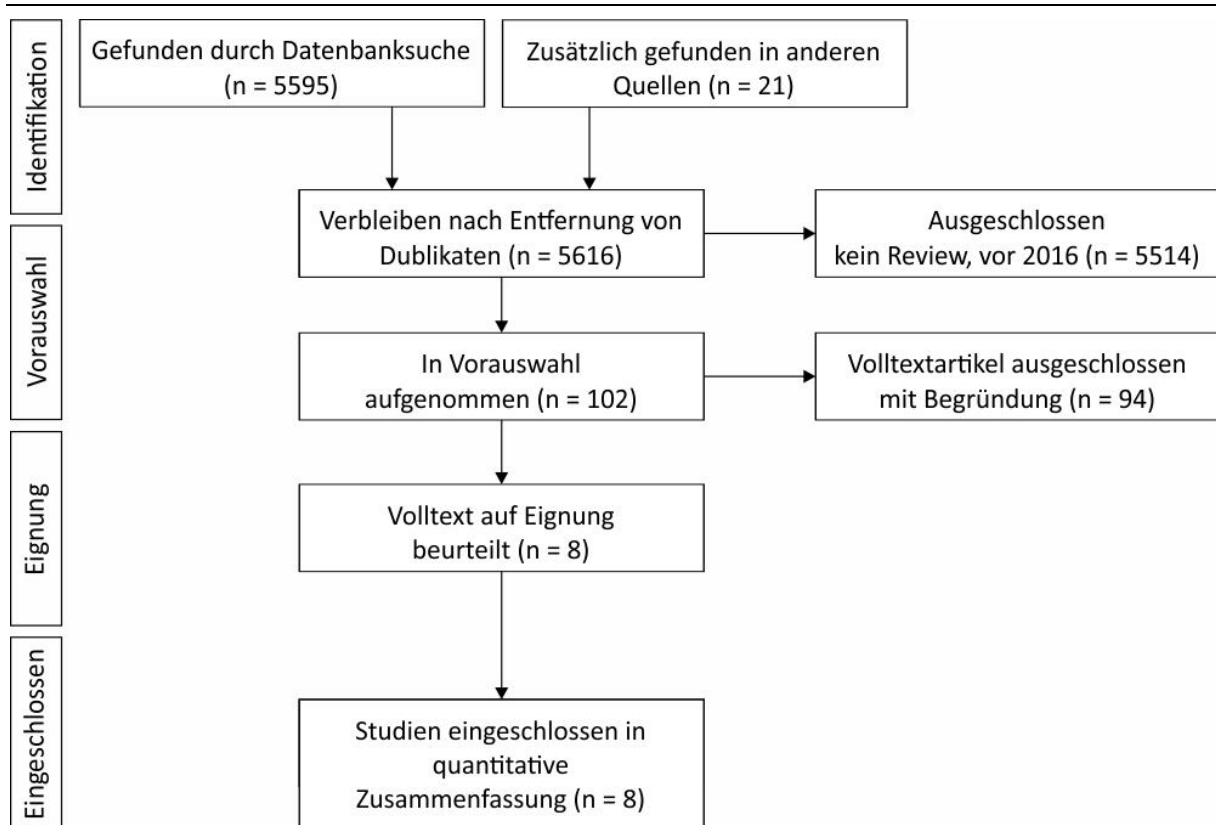
### 2.1 Literaturrecherche

Um wesentliche Ökosystemleistungen zu identifizieren, wurde eine Literaturrecherche von deutsch- oder englischsprachigen Veröffentlichungen zu Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen durchgeführt. Dazu wurden nationale und internationale Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Zeitschriften mit Begutachtungsverfahren (*Scopus* Datenbank) sowie „graue“ Literatur (Berichte von Forschungsprojekten) berücksichtigt. Die Literaturrecherche orientierte sich am PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) -Protokoll, einen standardisierten und international verwendeten Leitfaden zur Planung und Dokumentation von systematischen Literaturstudien (Page et al. 2021). Gemäß des PRISMA-Protokolls wurde die Literaturrecherche in folgende vier Phasen unterteilt (Moher et al. 2010):

- ▶ Identifikation von Veröffentlichungen
- ▶ Vorauswahl gesichteter Veröffentlichungen
- ▶ Eignung gesichteter Veröffentlichungen
- ▶ Einschließen geeigneter Veröffentlichungen

Zur Identifikation von Veröffentlichungen wurden die Suchbegriffe „*river\**“ und „*ecosystem service\**“ verwendet. Für jede Veröffentlichung wurden die Titel und Abstracts auf Übereinstimmungen untersucht und insgesamt 5595 Treffer gefunden. Zusätzlich wurden 21 Berichte aus Forschungsprojekten berücksichtigt, die durch Vorarbeiten bereits bekannt waren und potenziell nützliche Informationen enthalten könnten. Für die weitere Untersuchung wurden aktuelle Reviews und Synthesestudien (publiziert nach dem Jahr 2015) ausgewählt, die sich mit Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen beschäftigen (siehe Abbildung 1).

**Abbildung 1: Flussdiagramm zur Beschreibung der verschiedenen Phasen der Literaturrecherche für Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen.**



Quelle: Eigene Darstellung, RUB

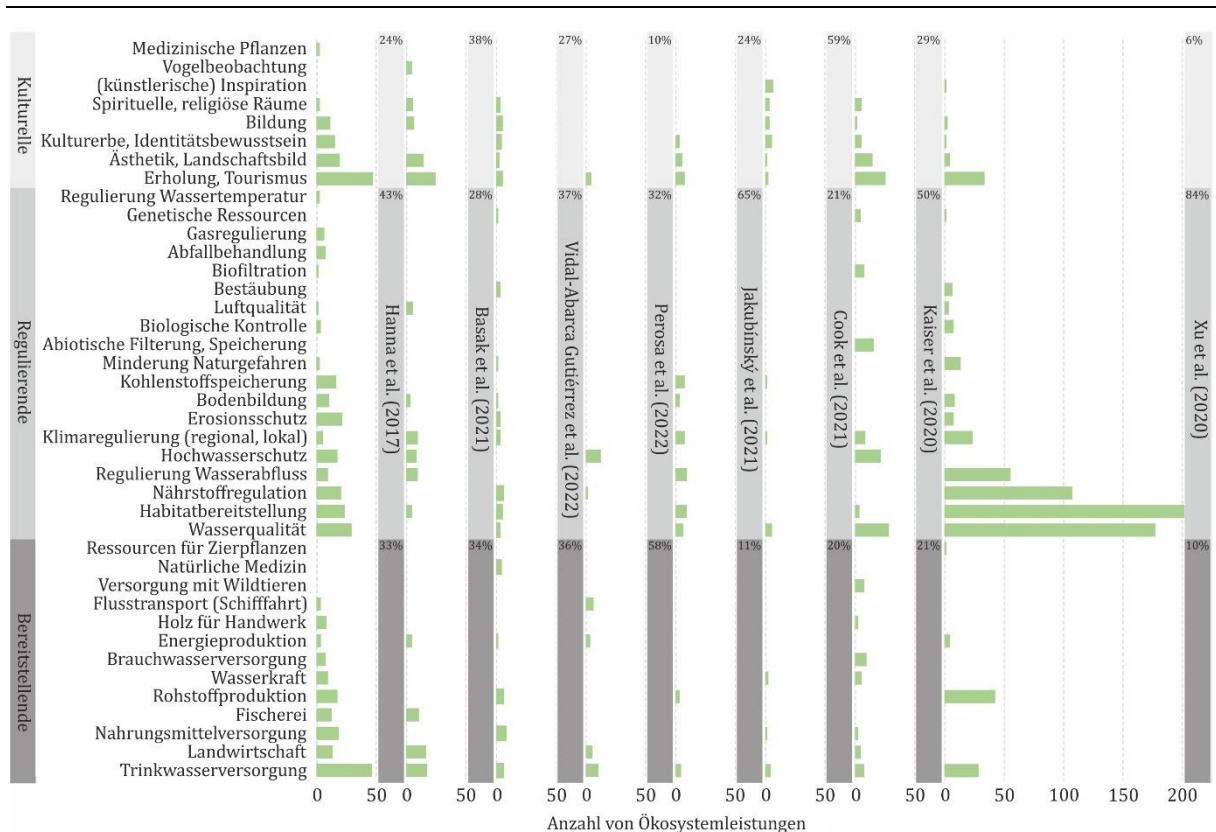
## 2.2 Ergebnisse – Priorisierung von Ökosystemleistungen

### 2.2.1 Häufig analysierte Ökosystemleistungen

Die Ergebnisse der Recherche zeigen, dass in der Literatur zu Ökosystemleistungen von Flüssen und Auen insgesamt 40 unterschiedliche Ökosystemleistungen berücksichtigt wurden. Am häufigsten wurden regulierende Ökosystemleistungen (60 %) untersucht, wie z. B. die Regulierung der Wasserqualität, Habitatbereitstellung und Nährstoffregulation. Mit geringerer Häufigkeit folgen bereitstellende Ökosystemleistungen (22 %), wie die Versorgung mit Trinkwasser, pflanzliche Ressourcen für die landwirtschaftliche Nutzung und Nahrungsmittelproduktion. Am seltensten wurden kulturelle Ökosystemleistungen (18 %) analysiert, wie Inspiration für Kultur, Kunst und Design, Interaktionen mit der Natur wie Vogelbeobachtung und der kulturelle Wert medizinischer Pflanzen (Abbildung 2).

Die Häufigkeit, mit der Ökosystemleistungen untersucht wurden, lässt jedoch keine Rückschlüsse auf die Priorisierung von Ökosystemleistungen in Flüssen und Auen zu. Es besteht die Vermutung, dass in der Literatur nur bestimmte Ökosystemleistungen in Abhängigkeit vom Untersuchungszweck, der Komplexität des Untersuchungsraums sowie der verfügbaren Ressourcen für die Analyse berücksichtigt wurden. So spielen Ressourcenverfügbarkeit (Daten, Personal, Zeit) und der methodische Aufwand zur Analyse und Bewertung von Ökosystemleistungen eine maßgebliche Rolle in wissenschaftlichen Projekten. Trotzdem erlaubt die Literaturanalyse eine Übersicht zur Vielfalt unterschiedlicher Ökosystemleistungen, die durch Flüsse und Auen zum menschlichen Wohlbefinden beitragen.

**Abbildung 2: Anzahl der analysierten Ökosystemleistungen von Flüssen und Auen basierend auf Daten aus acht Review-Studien.**



Die Prozentwerte in den grauen Säulen repräsentieren den Anteil von kulturellen, regulierenden und bereitstellenden Ökosystemleistungen an der Gesamtkategorie Ökosystemleistung, bezogen auf jede einzelne Review-Studie.

Quelle: Eigene Darstellung, RUB

Bei der studienübergreifenden Zusammenfassung von Ökosystemleistungen gilt es zu berücksichtigen, dass unterschiedliche Ansätze verwendet wurden, um Ökosystemleistungen zu definieren und zu klassifizieren. Am häufigsten fand der Ansatz des Millennium Ecosystem Assessment Anwendung (50 % der Review-Studien), gefolgt von der Klassifikation der Europäischen Umweltagentur (*Common International Classification of Ecosystem Services – CICES*; 38 %) und der Klassifikation nach Costanza et al. (1997; 12 %). Alle drei Ansätze weisen große Ähnlichkeiten auf und lassen einen übergreifenden Vergleich zu. Im Detail sind jedoch konzeptionelle Unterschiede zu erkennen, die bei der Bewertung von Ökosystemleistungen für Verwirrung sorgen können und nachfolgend geklärt werden sollen (Tabelle 1).

Entsprechend Costanza et al. (1997) und dem Millennium Ecosystem Assessments (2003) repräsentieren Ökosystemleistungen den Nutzen, den die Menschen direkt oder indirekt aus den ökologischen Funktionen der Natur ziehen. Während in Costanza et al. (1997) 17 Hauptgruppen gebildet werden mit dem Ziel, Ökosystemleistungen ökonomisch zu bewerten, wurden im Millennium Ecosystem Assessments (2003) vier Hauptgruppen (23 Untergruppen) gebildet: bereitstellende, regulierende, kulturelle und unterstützende Ökosystemleistungen, um die Spannweite der Vielfalt des Beitrags ökologischer Systeme zum menschlichen Wohlbefinden abzubilden.

**Tabelle 1: Klassifikationssysteme von Ökosystemleistungen, zusammengefasst in vier Hauptgruppen: Bereitstellung, Regulierung, Unterstützung und kulturelle Leistungen.**

	Costanza et al. (1997)	Millennium Ecosystem Assessment (2005)	CICES (Haines-Young und Potschin 2017)
Bereitstellung	Nahrungsmittelproduktion	Nahrung	Biomasse – Ernährung
	Wasserversorgung	Süßwasser	Wasser
	Rohstoffe	Fasern (inkl. Bau und Brennholz, Baumwolle, Hanf, Seide)	Biomasse – Fasern, Energie und andere Materialien
	Genetische Ressourcen	Ressourcen für Zierpflanzen Genetische Ressourcen Biochemikalien und natürliche Arzneimittel	
	-	-	Biomasse – Mechanische Energie
	Gasregulierung	Regulierung der Luftqualität	Regulierung von Gas und Luftströmen
Regulierung	Klimaregulierung	Regulierung des Klimas	Atmosphärische Zusammensetzung und Klimaregulierung
	Störungsregulierung (Sturmschutz und Hochwasserschutz)	Regulierung von Naturgefahren	Regulierung der Luft und Flüssigkeitsströme
	Wasserregulierung (z. B. natürliche Bewässerung und Dürreprävention)	Wasserregulierung	Regulierung von flüssigen Strömen
	Abfallbehandlung	Wasseraufbereitung und Abfallbehandlung	Regulierung von Abfällen, Giftstoffen und anderen Schadstoffen
	Erosionsschutz und Sedimentrückhalt	Regulierung der Erosion	Regulierung von Massenströmen
	Bodenbildung	Bodenbildung (unterstützende Dienstleistung)	Erhaltung der Bodenbildung und -zusammensetzung
	Bestäubung	Bestäubung	Aufrechterhaltung des Lebenszyklus (einschließlich Bestäubung)
	Biologische Kontrolle	Regulierung von Schädlingen und menschlichen Krankheiten	Aufrechterhaltung der Schädlings- und Krankheitsbekämpfung

	Costanza et al. (1997)	Millennium Ecosystem Assessment (2005)	CICES (Haines-Young und Potschin 2017)
Unterstützung	Nährstoffkreislauf	Nährstoffkreislauf & Photosynthese, Primärproduktion	-
	Refugien (Kinderstube, Migrationshabitat)	Biodiversität	Erhaltung des Lebenszyklus, Lebensraum und Schutz des Genpools
Kultur	Erholung (einschließlich Ökotourismus und Outdoor-Aktivitäten)	Erholung und Ökotourismus	Physische und erfahrungsbezogene Interaktionen
	Kultur (einschließlich Ästhetik, Kunst, Spiritualität, Bildung und Wissenschaft)	Ästhetische Werte	
		Kulturelle Vielfalt	
		Spirituelle und religiöse Werte	Spirituelle und/oder emblematische Interaktionen
		Wissenssysteme	Intellektuelle und repräsentative Interaktionen
Pädagogische Werte			

Quelle: Verändert nach Costanza et al. (2017).

Diese Klassifizierungen können nur eingeschränkt für Verwendungszwecke wie die Umweltbilanzierung, das Landschaftsmanagement und die ökonomische Bewertung verwendet werden (Boyd und Banzhaf 2007; Wallace 2007; Fisher und Turner 2008). Eine Weiterentwicklung stellt CICES dar (Haines-Young und Potschin 2013). CICES soll einen konsistenten Rahmen schaffen für die zukünftige Kartierung der Ökosysteme und ihrer Leistungen innerhalb der Mitgliedsstaaten der Europäischen Union und die Einbeziehung von Ökosystemleistungen in die volkswirtschaftliche Gesamtrechnung ermöglichen (Europäische Kommission 2011). Die theoretische Grundlage von CICES ist die Ökosystemleistungs-Kaskade (Haines-Young und Potschin 2010). Die Kaskade verbindet (a-) biotische Strukturen und Prozesse mit ökologischen Funktionen und den Ökosystemleistungen, die einen Beitrag zum menschlichen Wohlbefinden leisten und denen ein Wert zugeschrieben werden kann. In CICES beziehen sich Ökosystemleistungen auf „Endprodukte“ ökologischer Systeme, die vom Menschen direkt konsumiert oder genutzt werden (Haines-Young und Potschin 2018). Diese umfassen bereitstellende, regulierende und kulturelle Ökosystemleistungen, aber keine unterstützenden Leistungen. Unterstützende Ökosystemleistungen wurden kritisch gesehen, da sie die zugrunde liegenden Strukturen, Prozesse oder Funktionen des Ökosystems (intermediäre Leistungen) und nicht die tatsächlich genutzten Ökosystemleistungen (finale Leistungen) beschreiben (Fisher et al. 2009; Carpenter et al. 2009; Hein et al. 2006). Diese Differenzierung der Überschneidungen zwischen intermediären und finalen Leistungen hilft, Probleme im Zusammenhang mit der ökonomischen Doppelzählung zu vermeiden – der irrtümlichen Praxis, den Geldwert von Leistungen mehr als einmal zu zählen (Fu et al. 2011).

Die Vielfalt an Definitionen und Klassifikationssystemen, die zur Beschreibung von Ökosystemleistungen verwendet werden, spiegelt die Flexibilität des Konzepts der Ökosystemleistungen zur Beantwortung verschiedener Fragen in unterschiedlichen Kontexten wider. Während eine einzige Typologie wahrscheinlich nicht für jeglichen Anwendungszweck geeignet ist (Fisher et al. 2009), wird die Wissenschaft der Ökosystemleistungen im Allgemeinen durch die Bereitstellung klarer Definitionen und Erklärungen der Typologien verbessert (Heink

et al. 2016). Keine der drei Ansätze ist spezifisch auf Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen ausgelegt und erfordert Anpassungen in der Definition und Klassifikation, um Auswirkungen von Maßnahmen der Gewässerentwicklung abschätzen zu können.

## 2.2.2 Selektion wesentlicher Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen

Zur Auswahl von wesentlichen Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen müssen bestehende Definition und Klassifikationssysteme an die spezifischen Gegebenheiten von Flusslandschaften angepasst werden. Im Rahmen der Literaturrecherche konnten Projekte identifiziert werden, die unterschiedliche Ansätze vergleichen. Sie wurden hinsichtlich deren Relevanz und Übertragbarkeit auf Ökosystemleistungen in Fließgewässern und Auen geprüft (Box 1).

### Projekte zur Priorisierung von Ökosystemleistungen in Flusslandschaften

- ▶ Das Ziel des Projektes *Managing Aquatic ecosystems and water Resources under multiple Stress – MARS* war es, die Auswirkungen verschiedener Stressfaktoren auf den Zustand der europäischen Gewässer und auf die von den aquatischen Ökosystemen erbrachten Ökosystemleistungen zu analysieren (<http://www.mars-project.eu/>). Ein Produkt des Projektes ist eine Anleitung zur Durchführung biophysikalischer und ökonomischer Bewertung von aquatischen Ökosystemleistungen (Grizetti et al. 2015).
- ▶ Das Projekt *River Ecosystem Service Index – RESI* zielte darauf ab, die tatsächlichen und potenziellen Leistungen der Flüsse und ihrer Auen für das menschliche Wohlbefinden zu bewerten und zu visualisieren ([www.resi-project.info](http://www.resi-project.info)). Im Zuge von RESI wurde ein Anwendungshandbuch entwickelt, das einen Leitfaden zum methodischen Vorgehen einer vergleichenden Analyse von Ökosystemleistungen in Flusslandschaften enthält und einen Überblick über bereits analysierte Flusslandschaften in Deutschland gibt (Podschun et al. 2018a).
- ▶ *HydroMorphological assessment and management at basin scale for the Conservation of Alpine Rivers and related Ecosystem Service – HyMoCARES* ist ein Projekt mit dem Ziel, Verbindungen zwischen hydromorphologischen Prozessen und der Verfügbarkeit von Ökosystemleistungen in alpinen Flüssen zu durchleuchten und für die Öffentlichkeit sichtbar zu machen ([www.alpine-space.eu/project/hymocares/](http://www.alpine-space.eu/project/hymocares/)). Im Rahmen von HyMoCARES wurde ein konzeptioneller Rahmen und operative Instrumente zur Integration von Ökosystemleistungen in die Planung und Bewirtschaftung alpiner Flusseinzugsgebiete entwickelt (Klösch et al. 2019).

Im Rahmen des Projektes MARS wurde eine Liste von 19 Ökosystemleistungen von aquatischen Systemen, wie Seen, Flüsse, Übergangsgewässer, Küstengewässer, Grundwasser, Süßwasserfeuchtgebiete, Küstenfeuchtgebiete, Ufergebiete und Überschwemmungsgebiete, erstellt (Tabelle 2). Es wurden Ökosystemleistungen bestimmt, die mit dem Zustand der Wasserkörper verknüpft werden können sowie sich auf Interaktion von Wasser und Land in verschiedenen Ökosystemen wie Wäldern, landwirtschaftlichen Flächen, Ufergebieten, Feuchtgebieten und Gewässern beziehen (Grizetti et al. 2016).

Im Projekt RESI wurden 27 Ökosystemleistungen für Fließgewässer und Auen identifiziert. Im Kontext von RESI wurde festgelegt, direkt von den ökologischen Strukturen und Prozessen auf die Ökosystemleistungen zu schließen. Ökosystemfunktionen wurden außer Betracht gelassen, da: „die konzeptionelle Unterscheidung zwischen Ökosystemfunktionen und Ökosystemleistungen häufig nicht eindeutig ist und diese Begriffe teilweise auch überlappend oder synonym verwendet werden.“ (Podschun et al. 2018a).

**Tabelle 2: Vorschlag zu wesentlichen Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen, basierend auf den Projekten MARS, RESI und HyMoCARES.**

	MARS	RESI	HyMoCARES
Bereitstellende	-	Kulturpflanzen	Anbaukulturen
	-	Pflanzliche Biomasse für den Einsatz in der Landwirtschaft	Pflanzliche Ressourcen für die landwirtschaftliche Nutzung (Weide)
	Fischerei und Aquakultur	Wildtiere und Fische (konsumtiv)	-
	Wasser zum Trinken	Trinkwasser (Oberflächenwasser)	Oberflächenwasser für Trinkzwecke
		Trinkwasser (Grundwasser)	Grundwasser für Trinkzwecke
	Rohstoffe (biotische) Materialien	Pflanzliche Rohstoffe für Verarbeitung	Fasern und andere Ressourcen aus Pflanzen für den direkten Gebrauch oder für die Verarbeitung
	Wasser für Nicht-Trinkzwecke	Brauchwasser in Industrie und Landwirtschaft (Oberflächen- und Grundwasser)	Oberflächenwasser für Nicht-Trinkzwecke in Industrie und Landwirtschaft Grundwasser für Nicht-Trinkzwecke in Industrie und Landwirtschaft
	Rohstoffe für die Energiegewinnung	Pflanzliche Energierohstoffe aus Landwirtschaft, Kurzumtriebsplantagen, Forstwirtschaft	Biomasse-basierte Energieressourcen, Pflanzliche Ressourcen aus der Landwirtschaft, Kurzumtriebsplantagen, Forstwirtschaft
Regulierende	Wasseraufbereitung	Retention von organischem Kohlenstoff, Retention von Stickstoff Retention von Phosphor	Retention (Selbstreinigung), Rückhaltung von Nährstoffen
	Sequestrierung von Kohlenstoff	Globale Klimaregulation, Reduktion von Treibhausgasemissionen oder Kohlenstoffbindung	Globale Klimaregulierung, Reduktion von Treibhausgasemissionen oder Kohlenstoffbindung
	Lokale Klimaregulierung	Mikro- und regionale Klimaregulierung, Temperaturregulierung oder Kühlung (Gewässer und Boden)	Mikro- und regionale Klimaregulierung, Temperaturregulierung oder Kühlung (Gewässer und Boden)
	Regulierung der Luftqualität	-	-
	Schutz vor Hochwasser	Hochwasserregulation	Minderung von Hochwasserrisiken
	-	Niedrigwasserregulation	Minderung von Dürrerisiken

	MARS	RESI	HyMoCARES
	-	Entwässerung, Vorflut	-
	Erosionsschutz	Sedimentregulation (inklusive Schwebstoffe)	-
	Bildung und Zusammensetzung des Bodens	Bodenbildung in Auen	Bodenbildung in Auen
	Aufrechterhaltung von Populationen und Lebensräumen	Habitatbereitstellung	Habitat- und lebensraumbezogene Leistungen
	Schädlings- und Krankheitsbekämpfung	-	-
Kulturelle	Intellektuelle und ästhetische Wertschätzung	Landschaftsbild	Landschaftsbild
		Bildung und Wissenschaft	Bildung und Wissenschaft
	-	Natur- und Kulturerbe	Natur- und Kulturerbe des Fluss- und Auenökosystems
	Erholung, Freizeitgestaltung	Unspezifische Interaktion mit der Flusslandschaft	-
		Wasserbezogene Aktivitäten	Wasserbezogene Aktivitäten
Andere	Spirituelle und symbolische Wertschätzung	-	-
	Abiotische Energieproduktion (Wasserkraft)	-	Wasserkraft
	-	-	Schiffbarkeit
	-	Morphologie: Physikalische Struktur von Flusslauf und Aue	-
	-	Wasserhaushalt: Abfluss und Abflussdynamik	-
	-	Wasserhaushalt: Verbindung mit Grundwasserleitern	-
	Abiotische Rohmaterialien	-	-

Ökosystemleistungen im Projekt HyMoCARES wurden in Anlehnung an RESI definiert und für die Anwendung in alpinen Fließgewässern und Auen angepasst. Insgesamt wurde zwischen 21 Ökosystemleistungen unterschieden (Carolli et al. 2017).

Alle drei Projekte beruhen auf den bereits etablierten Hauptgruppierungen von Ökosystemleistungen: bereitstellende, regulierenden und kulturelle Leistungen (Tabelle 2). In der Mehrheit der Ökosystemleistungen stimmen die Gruppierungen überein. Lediglich in neun Ökosystemleistungen treten Abweichungen auf. So besteht zum Beispiel Uneinigkeit darüber, ob die Regulierung der Luftqualität hinsichtlich Gerüche, Luft und Gasmassenbewegung sowie

Luftverschmutzung relevant ist im Zusammenhang mit Fließgewässern und Auen. Weiterhin wurden in allen drei Projekten zusätzlich die Gruppen abiotischer Leistungen und Basisfunktionen abgegrenzt.

Abiotische Leistungen der Natur wie Wasserkraft, Schiffbarkeit oder abiotische Rohmaterialien (Mineralien, Sand, Kies von Flussbett oder -ufer) werden also bei den genannten Projekten berücksichtigt. Dies entspricht dem Vorgehen im CICES-System ([www.cices.org](http://www.cices.org)), das die Leistungen als sogenannte „*Geosystem Outputs*“ bezeichnet.

Basisfunktionen wurden explizit im Rahmen von RESI ausgewiesen, um Messgrößen hervorzuheben, die etablierte Gewässerqualitätskomponenten darstellen und unmittelbare Verknüpfungen zu bestehenden Richtlinien, wie der europäischen Wasserrahmenrichtlinie, ermöglichen. Diese sind zum Beispiel die physikalische Struktur vom Flusslauf und den Auen, der Wasserabfluss und die Abflussdynamik sowie die Verbindung zu Grundwasserkörpern. Nichtsdestotrotz beziehen sich diese Basisfunktionen auf ökosystemare Prozesse und Strukturen, die als Voraussetzung vieler bereitstellender, regulierender und kultureller Leistungen gegeben sein müssen und daher im engeren Sinne nicht als Ökosystemleistung definiert werden sollten.

Keine der aufgeführten Listen von Ökosystemleistungen erhebt Anspruch auf Vollständigkeit. Je nach individuellem Anwendungsfall ist der spezifische Bewertungskontext zu berücksichtigen, inklusive ökologischer Besonderheiten sowie sozialer, politischer und rechtlicher Rahmenbedingungen, und zu prüfen, ob zusätzliche Ökosystemleistungen aufgenommen werden müssen (Primmer und Furman 2012; Febria et al. 2015). Der RESI-Ansatz fasst wesentliche Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen am umfangreichsten zusammen. Dennoch wird auch im Rahmen von RESI daraufhin verwiesen, dass durchaus relevante Ökosystemleistungen ausgeschlossen wurden, da schlicht keine Daten für die Quantifizierung vorlagen, wie zum Beispiel „spirituelle Bedeutung“, „symbolische Bedeutung“ oder „Vermächtnis an zukünftige Generationen“ (Podschun et al. 2018b).

Dieser Bericht betrachtet als wesentliche Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen die in Tabelle 2 aufgeführte Synthese der drei Klassifikationssysteme von MARS, RESI und HyMoCARES. Die Abschätzungen potenzieller Auswirkungen von Eingriffen in die Gewässerstruktur beziehen sich entsprechend auf die ausgewählten Ökosystemleistungen.

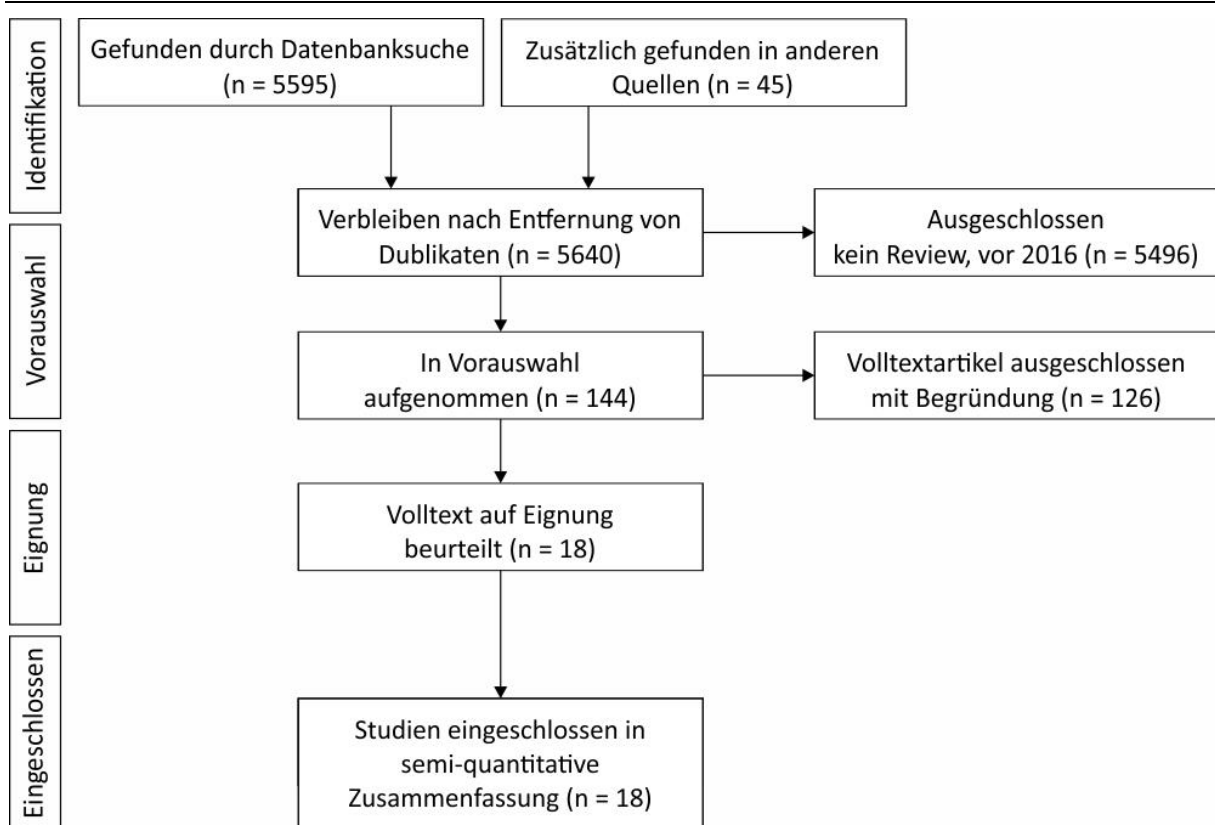
### 3 Auswirkungen gewässerstruktureller Maßnahmen auf wesentliche Ökosystemleistungen

Um mögliche Auswirkungen von Maßnahmen naturnaher und traditioneller Gewässerentwicklung auf wesentliche Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen abzuschätzen, wurde eine weitere fokussierte Literaturrecherche durchgeführt. Die Literaturrecherche baut auf der Recherche in Kapitel 2.1 auf. Sie berücksichtigt auch „graue“ Literatur und fokussiert auf Studien, die Auswirkungen von Gewässerentwicklungsmaßnahmen auf Ökosystemleistungen bewerten. Für jede Kombination von Maßnahmen und Ökosystemleistungen wurden die wesentlichen Wirkungsweisen beschrieben und Synthesetabellen erstellt. Die Tabellen fassen zusammen, inwieweit die Auswirkungen von Maßnahmen der Gewässerentwicklung auf die ausgewählten Ökosystemleistungen als eindeutig positiv, mehrdeutig (je nach Randbedingungen), negativ oder unbedeutend eingeschätzt werden. Zudem wird auf Wirkungszusammenhänge verwiesen, für die keine Abschätzungen in den berücksichtigten Publikationen gefunden werden konnten.

#### 3.1 Literaturrecherche

Aufbauend auf der Literaturrecherche zur Identifikation wesentlicher Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen, wurden Veröffentlichungen bezüglich Auswirkungen von Gewässerentwicklungsmaßnahmen identifiziert und ausgewertet. Dazu wurde erneut das PRISMA-Protokoll verwendet (Moher et al. 2010). Es wurden dieselben Studien aus der Scopus Datenbank überprüft, die bereits zur Identifikation von wesentlichen Ökosystemleistungen berücksichtigt wurden sowie zusätzliche „graue“ Literatur hinzugezogen. Insgesamt konnten 18 Veröffentlichungen berücksichtigt werden, die Maßnahmen für naturnahe sowie traditionelle Gewässerentwicklung und deren Auswirkungen auf Ökosystemleistungen bewerten (siehe Abbildung 3).

**Abbildung 3: Flussdiagramm zur Beschreibung der verschiedenen Phasen der Literaturrecherche für Auswirkungen von Maßnahmen auf Ökosystemleistungen.**



Quelle: Eigene Darstellung, RUB

Die Maßnahmen wurden danach strukturiert, ob sie dazu beitragen können, Gewässerentwicklungsflächen zu initiieren oder bereitzustellen, um die natürliche Entwicklung der Gewässer zu fördern und somit eine möglichst typische Entwicklung des Naturraums zu unterstützen. Von insgesamt 36 naturnahen Gewässerentwicklungsmaßnahmen, die in der Literatur gefunden wurden, erfüllten 25 Maßnahmen dieses Kriterium und wurden für die weitere Analyse ausgewählt (Tabelle 3). Weiterhin wurden 26 traditionelle Gewässerentwicklungsmaßnahmen berücksichtigt, die Flächen in unterschiedlichem Ausmaß in Anspruch nehmen, allerdings überwiegend keine naturraumtypischen Gewässerentwicklungsflächen (Müller et al. 2024) schaffen (Tabelle 4).

**Tabelle 3: Übersicht der Maßnahmen naturnaher Gewässerentwicklung strukturiert in Anlehnung an die Maßnahmenklassifikation des LAWA-BLANO Katalogs, inklusive der zugehörigen Maßnahmennummern.**

Abk.	Maßnahmen und Referenzen	Fluss	Aue	GEF
<b>Einrichtung von Pufferzonen (28)</b>				
M1	Schaffung, Erweiterung oder Extensivierung von linearen Uferpufferstreifen (Hornung et al. 2019; NWRM 2015; van der Sluis 2021)		✓	✓
M2	Puffer durch Wälder an Ufern (NWRM 2015)		✓	✓

Abk.	Maßnahmen und Referenzen	Fluss	Aue	GEF
M3	Filterstreifen (NWRM 2015)		✓	
<b>Auenrenaturierung (65-66, 301-305, 311-313)</b>				
M4	Wiedervernässung und Wiederherstellung von Feuchtgebieten, Erhaltung von Mooren, naturnahe Aufweitung des Gewässers, Aufforstung (im Einzugsgebiet), Förderung einer naturnahen Auenentwicklung, Reduzierung der Versiegelung, Regenversickerungsanlagen, Anpassung bestehender Siedlungen, Wiederherstellung ehemaliger Überschwemmungsflächen, Erhalt von Retentionsflächen, Umwandlung von Ackerland in Dauergrünland, Rückbau von hochwassersensiblen Anlagen (Hornung et al. 2019)	✓	✓	✓
M5	Seitliche Auenanbindung, laterale Durchgängigkeit (Schindler et al. 2014)	✓	✓	✓
M6	Transformation von Waldplantagen in Überschwemmungsgebieten zu naturraumtypischen Habitaten (Schindler et al. 2014)		✓	✓
M7	Transformation von Abbaustätten in Überschwemmungsgebieten zu naturraumtypischen Habitaten (Schindler et al. 2014)		✓	✓
M8	Erhaltung der Waldbedeckung in Flussquellgebieten (NWRM 2015)		✓	✓
M9	Wiederherstellung und Management von Überschwemmungsgebieten beinhaltet z. B. Veränderung des Gerinnes, Beseitigung von Altsedimenten, Anlage von Seen oder Teichen in der Aue, neue oder geänderte landwirtschaftliche Praktiken, Aufforstung, Anpflanzung von einheimischen Gräsern, Sträuchern und Bäumen, Anlage von begrünten Becken und Senken, Schaffung von Feuchtgebieten, Beseitigung invasiver Arten, Anlage und Entwicklung von Uferpuffern (NWRM 2015)	✓	✓	✓
M10	Sicherung, Vernetzung und/oder Dynamisierung von Gewässerrandzonen sowohl von Auen, als auch von natürlichen Überflutungsflächen (Getzner und Schneider 2019)	✓	✓	✓
M11	Neuschaffung von Überschwemmungsflächen und/oder Retentionsräumen, durch Nutzungsänderung (Getzner und Schneider 2019)		✓	✓
M12	Renaturierung von Salzwiesen (Ruangpan et al. 2020)		✓	✓
<b>Deichrückverlegung, Schlitzung oder Rückbau (Wiedergewinnung von natürlichen Rückhalteflächen) (314)</b>				
M13	Deichrückverlegung, -schlitzung oder -rückbau (Hornung et al. 2019)		✓	✓
M14	Deichrückverlegung (Schindler et al. 2014; Schindler et al. 2016; Ruangpan et al. 2020)		✓	✓
M15	Entpolderung zur Wiederherstellung natürlicher Überflutungsbereiche (Schindler et al. 2016)		✓	✓
<b>Wiederherstellung der Längsverbindungen (68, 69)</b>				

Abk.	Maßnahmen und Referenzen	Fluss	Aue	GEF
M16	Schaffung von passierbaren Einrichtungen (Umgehungsgerinne, Sohlgleite, Fischaufstiegshilfen), Rückbau von Wehren oder Durchlässen (Hornung et al. 2019)	✓		
M17	Beseitigung von Hindernissen wie Brückenpylone, Straßendämme usw. (Schindler et al. 2014; Schindler et al. 2016)	✓		
M18	Beseitigung von Dämmen und Wehren zur Wiederherstellung der longitudinalen Konnektivität des Flusses (Schindler et al. 2014; NWRM 2015; Getzner und Schneider 2019)	✓		
<b>Habitatverbesserung (70-87)</b>				
M19	Beseitigung von Sohl- oder Uferbefestigungen, Einbringen von Großholz oder Steinen, Schaffung von Kieslaichplätzen, Erosion der Ufer zulassen, Re-Mäandrieren, Reaktivierung primärer Überschwemmungsgebiete, Verbindung von Zuflüssen oder abgeschnittenen Mäandern, Fischschutz, Sedimentmanagement, Schaffung von Flachwasserzonen und typischen Uferstrukturen (Uferstrandstreifen, standortheimischer Gehölzsaum), Entschlammung, Extensivierung der Auennutzung oder Freihalten der Auen von Bebauung und Infrastrukturmaßnahmen (Hornung et al. 2019)	✓	✓	✓
M20	Beseitigung von Uferbefestigungen (Schindler et al. 2014; NWRM 2015)	✓	✓	✓
M21	Anlage von Rinnen, Altarmen und Teichen (Schindler et al. 2014)	✓	✓	✓
M22	Anlegen von Kiesbänken zur Initialisierung der natürlichen Sukzession (und evtl. Kiesbrutplätze) (Schindler et al. 2014)	✓		
M23	Beseitigung von Oberboden zur Initialisierung der natürlichen Sukzession in Überschwemmungsgebieten (Sekundärauen), z. B. Beseitigung von nährstoffreichem Oberboden, um Bedingungen für artenreiche Feuchtwiesen zu schaffen (Schindler et al. 2014)		✓	✓
M24	Grobholzige Rückstände im Fließgewässer (NWRM 2015)	✓		
M25	Umgestaltung von Mäandern, indem ein neuer mäandrierender Verlauf geschaffen wird oder abgeschnittene Mäander wieder verbunden werden (NWRM 2015)	✓	✓	✓
M26	Renaturierung von Bachbetten, besteht darin, Beton- oder inerte Konstruktionen im Flussbett und an den Ufern zu entfernen und sie durch Vegetationsstrukturen zu ersetzen und die biologische Vielfalt wiederherzustellen (NWRM 2015)	✓		✓
M27	Wiederherstellung und Wiederanbindung von saisonalen Bächen (NWRM 2015)	✓		✓
M28	Wiederanbindung von Altarmen und ähnlichen Strukturen (NWRM 2015)	✓	✓	✓
M29	Renaturierung von Flussbettmaterial, durch Wiederherstellung der naturnahen Struktur und Zusammensetzung des Geschiebes, insbesondere des Gleichgewichts zwischen Grob- und Feinsediment (NWRM 2015)	✓		

Abk.	Maßnahmen und Referenzen	Fluss	Aue	GEF
M30	Strukturverbesserungen des bestehenden Abflussprofils, etwa durch Sohl- oder Uferstrukturierung sowie die Pflege und Anlage von Randstreifen (Getzner und Schneider 2019)	✓	✓	
M31	Annäherung an den ursprünglichen morphologischen Flusstyp durch u. a.: Laufverlängerung, Gewässeraufweitung und/oder die Anbindung bzw. Schaffung von Nebengewässern und/oder Altarmen (Getzner und Schneider 2019)		✓	✓
M32	Vernetzung mit Zubringern durch Anbindung der Mündungen und morphologische Strukturverbesserung zur Dämpfung von Abflussspitzen (Getzner und Schneider 2019)	✓	✓	✓
M33	Absenken der Buhnen (Schindler et al. 2016)	✓		
M34	Freilegung des Flusses aus Röhre (Flussrenaturierung) (Ruangpan et al. 2020)	✓		✓
<b>Verbesserung des Geschiebehaushalts und Sedimentmanagement (77)</b>				
M35	Zugabe von flussgerechtem Geschiebe, Wiederherstellung eines Teils des Flusses unterhalb des Dammes, Abriss oder Anlage von Sedimentfallen, Einbau von Kiesrohren an Querbauwerken (Hornung et al. 2019)	✓		
M36	Sedimenteintrag in das Flussbett zum Ausgleich des Geschiebedefizits (Schindler et al. 2014)	✓		

Die Abkürzungen (Spalte 1) werden für die weitere Analyse und nachfolgende Grafiken verwendet. Zudem wurde die Verortung der Maßnahme nach Anwendungsgebieten (Fluss, Aue) und die Wirkung der Maßnahme in Bezug auf die Initiierung oder Bereitstellung von Gewässerentwicklungsflächen für eine eigendynamische Entwicklung des Gewässers (GEF) ausgewiesen.

**Tabelle 4: Übersicht der Maßnahmen traditioneller Gewässerentwicklung strukturiert in Anlehnung an die Maßnahmenklassifikation des LAWA-BLANO Katalogs, inklusive der zugehörigen Maßnahmennummern.**

Abk.	Maßnahmen und Referenzen	Fluss	Aue	GEF
<b>Technische Maßnahmen wie Neubau, Instandhaltung und Wiederherstellung von Hochwasserrückhalteflächen und Dämmen (315-318)</b>				
M37	Technische Maßnahmen wie Neubau, Instandhaltung und Wiederherstellung von Rückhaltebecken, Poldern, Stauseen und Dämmen, eingedeichter Flächenentwässerung (Hornung et al. 2019)	✓	✓	
M38	Deichbau (Schindler et al. 2014)		✓	
M39	Schaffung von Rückhaltebecken, mit teilweise intensiver Nutzung (Schindler et al. 2014)		✓	
M40	Errichtung kontrollierbarer Rückhalteflächen durch z. B. steuerbare Polder (Schindler et al. 2014)		✓	
M41	Errichtung eines Hochwasserkanals (Schindler et al. 2016)	✓		
M42	Deichverbesserungen zum erhöhten Hochwasserschutz (z. B. Deicherhöhung) (Schindler et al. 2016)		✓	
M43	Wasserübertragung zwischen den Einzugsgebieten (Ekka et al. 2020)		✓	
M44	Kanalisation von Bächen (Ekka et al. 2020)	✓		
M45	Errichtung eines Hochwasserspeichers (Ruangpan et al. 2020; Schindler et al. 2016)		✓	
M46	Errichtung eines Wasserstaudamms (Hearnshaw et al. 2010; Ekka et al. 2020)	✓	✓	
M47	Absenkung des Überschwemmungsgebiets (Ruangpan et al. 2020; Schindler et al. 2016; Schindler et al. 2014)		✓	✓
M48	Absenkung des Sommerbettes (Schindler et al. 2016)	✓		
<b>Eingriffe im Zusammenhang mit Abbau, Infrastruktur und intensiver Landnutzung (nicht zuweisbar zu Kategorien des LAWA BLANO Katalogs)</b>				
M49	Entnahme von Oberflächenwasser (Schindler et al. 2014)	✓		
M50	Entnahme von Grundwasser (Schindler et al. 2014; Ekka et al. 2020)	✓	✓	
M51	Abbau von Bodenschätzen (Schindler et al. 2014)	✓	✓	
M52	Errichtung, Erweiterung und Pflege der Siedlungs- und Verkehrsinfrastruktur (Schindler et al. 2014)		✓	
M53	Energieumwandlung durch Wasserkraft (einschließlich Kühlwasserabgabe) (Schindler et al. 2014)	✓		
M54	Errichtung, Erweiterung und Pflege der Schifffahrtsinfrastruktur (Schindler et al. 2014)	✓		

Abk.	Maßnahmen und Referenzen	Fluss	Aue	GEF
M55	Intensive Forstwirtschaft (Schindler et al. 2014)		✓	
M56	Intensive Landwirtschaft (Schindler et al. 2014)		✓	
M57	Intensive Fischerei (Schindler et al. 2014)	✓		
M58	Kanal-Korrekturen, Begradigung (Schindler et al. 2014)	✓		
M59	Ufer- oder Bettstabilisierung, wie Bruchsteinschüttung zur Uferbefestigung (Schindler et al. 2014)	✓	✓	
M60	Unterirdische Änderungen (Ekka et al. 2020)	✓	✓	
M61	Sandabbau (Ekka et al. 2020)	✓	✓	

#### Verbesserung des Geschiebehaushalts und Sedimentmanagement (77)

M62	Sedimententfernung durch Baggern oder temporäre Öffnung von Dämmen (Schindler et al. 2014)	✓		
-----	--	---	--	--

Die Abkürzungen (Spalte 1) werden für die weitere Analyse und nachfolgende Grafiken verwendet. Zudem wurden die Anwendungsbereiche der Maßnahmen im Fließgewässer oder in der Aue ausgewiesen und die Wirkung der Maßnahme in Bezug auf die Initiierung oder Bereitstellung von Gewässerentwicklungsflächen für eine eigendynamische Entwicklung des Gewässers (GEF) gekennzeichnet.

Die Maßnahmen wurden zudem anhand der etablierten Klassifikation von Maßnahmentypen zur Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie, Hochwasserrisikomanagementrichtlinie und Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) und der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Nord- und Ostsee (BLANO) strukturiert (LAWA-BLANO 2020). Dies ermöglicht es, eine Verbindung herzustellen zu bestehenden politischen Instrumenten und einzelnen Methoden der Verfahrensempfehlungen der LAWA-BLANO, die zuständige Behörden bei der Planung und Umsetzung von Maßnahmen zur Gewässerbewirtschaftung verwenden. Jede Maßnahme wurde einem LAWA-BLANO Maßnahmentypen zugeordnet, insofern inhaltliche Übereinstimmungen bestanden. Zur Prüfung der Übereinstimmungen wurden die Erläuterungstexte mit konkreten Maßnahmenbeschreibungen verglichen.

Die Auswirkungen von naturnahen sowie traditionellen Gewässerentwicklungsmaßnahmen konnten nicht immer eindeutig in die vorgegebenen Klassifikationen wesentlicher Ökosystemleistungen eingeordnet werden. Somit war eine Zusammenführung vereinzelter Ökosystemleistungen in folgende Gruppen notwendig:

- ▶ Die Gruppe „Wasser für Trinkzwecke“ umfasst die Einzelleistungen der Bereitstellung von Trinkwasser aus Oberflächenwasser und Bereitstellung von Trinkwasser aus Grundwasser.
- ▶ „Wasser für Nicht-Trinkzwecke“ beinhaltet Leistungen wie die Bereitstellung von Oberflächenwasser für Nicht-Trinkzwecke und die Bereitstellung von Grundwasser für Nicht-Trinkzwecke.
- ▶ Die Gruppe „Wasserqualität, Selbstreinigung“ enthält die Einzelleistungen der Retention von organischem Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor.
- ▶ Die Gruppe „Physische Interaktionen mit der natürlichen Umwelt“ ergibt sich aus der Zusammenfassung von unspezifischen Interaktionen mit der Flusslandschaft und wasserbezogene Aktivitäten.

Final wurden die folgenden Ökosystemleistungen für die weitere Analyse der Auswirkungen von Gewässerentwicklungsmaßnahmen verwendet:

- ▶ Anbaukulturen und pflanzliche Ressourcen für die landwirtschaftliche Nutzung
- ▶ Wildtiere und Fische
- ▶ Wasser für Trinkzwecke
- ▶ Wasser für Nicht-Trinkzwecke
- ▶ Fasern und pflanzliche Materialien zur direkten Verwendung oder Verarbeitung
- ▶ Pflanzenbasierte Ressourcen, Energie aus Biomasse
- ▶ Wasserqualität, Selbstreinigung
- ▶ Lokale Temperaturregulierung
- ▶ Rückhaltung von Treibhausgasemissionen, Kohlenstoffsequestrierung
- ▶ Regulierung der Luftqualität
- ▶ Abflussregulation, Minderung von Hochwasser- und Dürrerisiken
- ▶ Massenfluss, Sedimentregulierung
- ▶ Bodenbildung in Überschwemmungsgebieten
- ▶ Erhaltung von Lebensräumen
- ▶ Schädlings- und Krankheitsregulierung
- ▶ Landschaftsästhetik
- ▶ Physische Interaktionen mit der natürlichen Umwelt
- ▶ Natürliches und kulturelles Erbe
- ▶ Spirituelle und symbolische Wertschätzung
- ▶ Information und Wissen

Bei Kombinationen aus Maßnahmen und Wirkungen auf Ökosystemleistungen, für die nur in einer Quelle Abschätzungen vorliegen, wurden diese Abschätzungen in die Synthesetabelle direkt übernommen. In Fällen, in denen verschiedene Quellen Einschätzungen zu Kombinationen von Maßnahmen und ihren Auswirkungen auf Ökosystemleistungen liefern, wurde in der Synthesetabelle eine zusammenfassende Bewertung durchgeführt. Dabei wurde nach dem folgenden Schema vorgegangen:

- ▶ **Positiver Zusammenhang:** In allen Studien wurden positive Auswirkungen der Maßnahme auf die Ökosystemleistung gefunden.
- ▶ **Negativer Zusammenhang:** In allen Studien wurden negative Auswirkungen der Maßnahme auf die Ökosystemleistung gefunden.
- ▶ **Ambivalent:** Es konnten keine eindeutigen Auswirkungen über alle Studien gefunden werden oder aber die Auswirkungen unterschieden sich je nach Randbedingungen.

- ▶ **Kein Zusammenhang:** In allen Studien können Nachweise gefunden werden, die zeigen, dass die Anwendung einer Maßnahme unter den vorherrschenden Umweltbedingungen keine signifikante Auswirkung auf die Ökosystemleistung hatte.
- ▶ **Keine Nachweise vorhanden:** In keiner Studie wurden Bewertungen der Auswirkung der Maßnahme auf die Ökosystemleistung gefunden.

### **3.2 Ergebnisse – Auswirkungen naturnaher Maßnahmen der Gewässerentwicklung**

Die Auswertung der 18 Veröffentlichungen zeigt, dass für die Mehrheit der Ökosystemleistungen (69 %) positive Auswirkungen naturnaher Gewässerentwicklungsmaßnahmen bestimmt wurden (Abbildung 4). Alle Maßnahmen sind multifunktional und beeinflussen mehrere Ökosystemleistungen positiv. Maßnahmen wie die „Transformation von Abbaustätten zu standorttypischen Habitaten“ und „Anlage von Rinnen, Altarmen und Teichen“ weisen eine hohe Multifunktionalität auf und wirken sich auf bis zu 17 Ökosystemleistungen gleichzeitig positiv aus. Weiterhin lassen sich konsistente Auswirkungen über verschiedene Maßnahmen hinweg erkennen. So wird deutlich, dass überwiegend regulierende und kulturelle Ökosystemleistungen positiv beeinflusst werden (Abbildung 5). Zum Beispiel tendieren bis zu 23 von 25 Maßnahmen dazu, positive Effekte auf Ökosystemleistungen wie die Erhaltung von Lebensräumen, Massenfluss und Sedimentregulierung, Abflussregulation, Minderung von Hochwasser- und Dürreerisiken, Wasserqualität und Selbstreinigung sowie die Landschaftsästhetik zu haben.

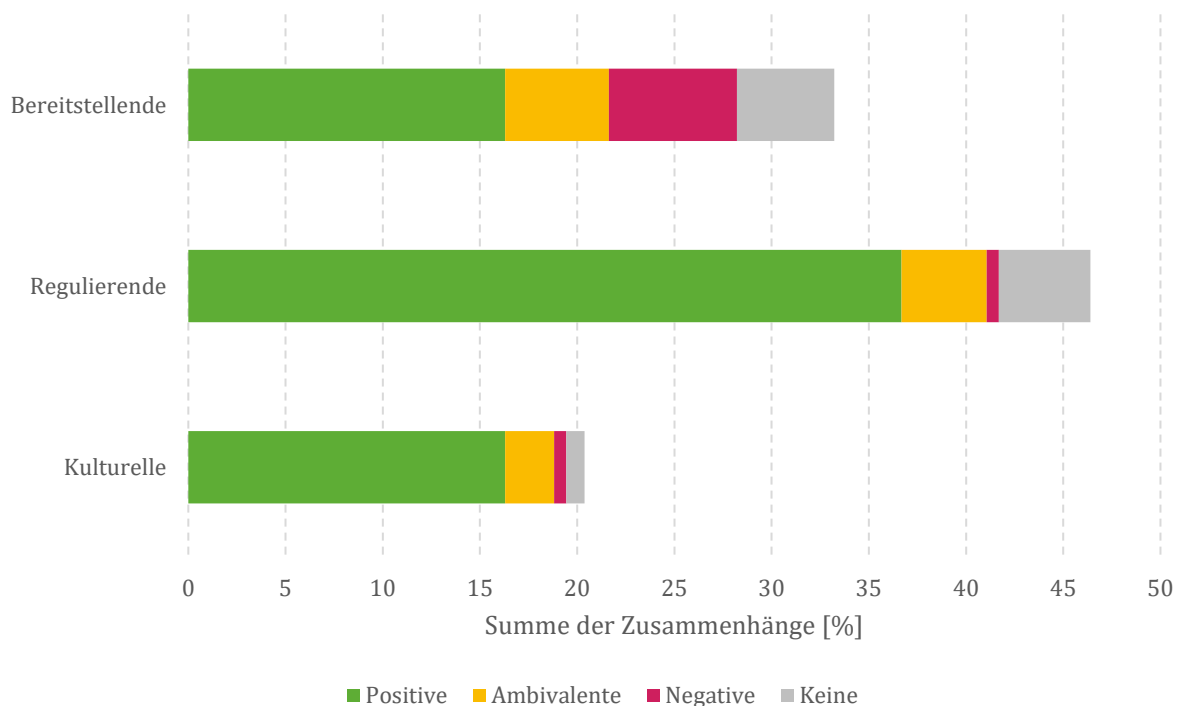
Für 8 % aller Ökosystemleistungen wurden in den betrachteten Studien negative Auswirkungen naturnaher Gewässerentwicklungsmaßnahmen ausgewiesen. Es sind vor allem die bereitstellenden Ökosystemleistungen, die negativ beeinflusst werden. Auffällig ist die Maßnahme der „Beseitigung von Oberboden zur Initialisierung der natürlichen Sukzession in Überschwemmungsgebieten, die mit sechs Ökosystemleistungen die meisten negativen Auswirkungen aufweist. Zudem wird deutlich, dass die Ökosystemleistungen wie „Anbaukulturen und pflanzliche Ressourcen für die landwirtschaftliche Nutzung“, „Fasern und pflanzliche Materialien zur direkten Verwendung oder Verarbeitung“ sowie „Pflanzenbasierte Ressourcen, Energie aus Biomasse“ über alle Maßnahmen hinweg am häufigsten negativ beeinflusst werden.

**Abbildung 4: Zusammenhänge zwischen naturnahen Maßnahmen der Gewässerentwicklung und Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen (Zusammenhänge positiv = grün, ambivalent = gelb, negativ = rot, keine Zusammenhänge vorhanden = grau, keine Nachweise gefunden = weiß).**

LAWA-BLANO Maßnahmentyp		Errichtung von Pufferzonen				Auenrenaturierung						Deichrückverlegung, Schlitzung oder Rückbau			Habitatverbesserung												
		M1	M2	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M19	M20	M21	M23	M25	M26	M27	M28	M31	M32	M34	
Ökosystemleistungen	Bereitstellende																										
	Anbaukulturen und pflanzliche Ressourcen für die landwi. Nutzung	rot		rot	grün	grün					rot	rot	gelb		rot	rot	rot							rot			
	Wildtiere und Fische	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
	Wasser für Trinkzwecke	gelb		gelb	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	gelb	grün	grün	rot	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
	Wasser für Nicht-Trinkzwecke	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
	Fasern und pflanzliche Materialien zur direkten Verwendung	gelb	grün	gelb	gelb	gelb	grün	grün	grün	grün	rot	grün	gelb	gelb	rot	gelb	rot	rot	grün	grün	grün	grün	grün	grün	rot	grün	grün
	Pflanzenbasierte Ressourcen, Energie aus Biomasse	rot	grün	rot	rot	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	rot	rot	rot	rot	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
	Regulierende																										
	Wasserqualität, Selbstreinigung	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
	Lokale Temperaturregulierung	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
	Rückhaltung von Treibhausgasemissionen, Kohlenstoffsequestrierung	gelb	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
	Regulierung der Luftqualität																										
	Abflussregulation, Minderung von Hochwasser- und Dürre Risiken	gelb	grün	gelb	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
	Massenfluss, Sedimentregulierung	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
	Bodenbildung in Überschwemmungsgebieten	grün	grün	gelb	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
	Erhaltung von Lebensräumen	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
	Schädlings- und Krankheitsregulierung	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
	Kulturelle																										
	Landschaftsästhetik	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
	Physische Interaktionen mit der natürlichen Umwelt	grün	grün	rot	gelb	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
Natürliches und kulturelles Erbe	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	
Spirituelle und symbolische Wertschätzung																											
Information und Wissen				grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün	

Quelle: Eigene Darstellung, RUB

**Abbildung 5: Zusammenfassung aller Zusammenhänge zwischen naturnahen Maßnahmen der Gewässerentwicklung und bereitstellenden, regulierenden und kulturellen Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen.**



Quelle: Eigene Darstellung, RUB

Für 11 % der Ökosystemleistungen wurden in den betrachteten Studien keine Zusammenhänge zwischen der Anwendung einer Maßnahme und Auswirkungen auf die jeweiligen Ökosystemleistungen benannt. Am häufigsten konnten, über alle Maßnahmen betrachtet, für die bereitstellenden und regulierenden Ökosystemleistungen Angaben über keine Zusammenhänge gefunden werden. Beispiele für Maßnahmen, die bei der Anwendung keine Auswirkungen auf bis zu fünf Ökosystemleistungen haben, sind die „Beseitigung von Oberboden zur Initialisierung der natürlichen Sukzession in Überschwemmungsgebieten“, die „Sicherung, Vernetzung, Dynamisierung von Gewässerrandzonen sowohl von Auen, als auch von natürlichen Überflutungsflächen“ sowie die „Vernetzung mit Zubringern durch Anbindung der Mündungen und morphologische Strukturverbesserung zur Dämpfung von Abflussspitzen“. Die zuletzt genannten beiden Maßnahmen fallen darüber hinaus auf, weil diese positive Auswirkungen auf sieben bzw. sechs Ökosystemleistungen haben und keine bzw. eine negative Auswirkung auf andere Ökosystemleistung aufweisen. Dies legt nahe, dass die Maßnahmen zur gezielten Förderung von ausgewählten Ökosystemleistungen empfehlenswert sind.

Bei 12 % aller Ökosystemleistungen konnten keine eindeutigen Auswirkungen von naturnahen Gewässerentwicklungsmaßnahmen in den Untersuchungen gefunden werden oder aber die Auswirkungen unterschieden sich je nach Randbedingungen. Am häufigsten wurden ambivalente Beziehungen zwischen Maßnahmen und bereitstellenden Ökosystemleistungen gefunden. Insbesondere bei Maßnahmen wie der „Deichrückverlegung, -schlitzung oder -rückbau“ sowie der „Beseitigung von Uferbefestigungen“ traten häufig uneindeutige Verhältnisse auf. Für jeweils fünf Ökosystemleistungen wurden ambivalente Effekte genannt, die abhängig sind von Faktoren wie der Beschaffenheit der zu verändernden Deiche oder Uferbefestigungen, der geographischen Lage des Flusses, der Größe und Art des Flusses, der Art der umgebenden Landschaft, der Reaktion von Arten auf die Veränderung, der Wasserqualität,

dem Hochwasserrisiko, der natürlichen Variabilität der Flusssdynamik und der hydrologischen Bedingungen sowie diverser sozio-ökonomischer Faktoren. Weiterhin ist zu erkennen, dass Maßnahmen, welche diverse Einzelmaßnahmen beinhalten, mehr ambivalente Auswirkungen aufweisen, als spezifische Einzelmaßnahmen. Zum Beispiel wurden in Hornung et al. (2019) Einzelmaßnahmen in Gruppen zusammengeführt und die Auswirkungen auf Ökosystemleistungen abgeschätzt, wie für die Maßnahmengruppe „Wiedervernässung und Wiederherstellung von Feuchtgebieten, Erhaltung von Mooren, naturnahe Aufweitung des Gewässers, Aufforstung (im Einzugsgebiet), Förderung einer naturnahen Auenentwicklung, Reduzierung der Versiegelung, Regenversickerungsanlagen, Anpassung bestehender Siedlungen, Wiederherstellung ehemaliger Überschwemmungsflächen, Erhalt von Retentionsflächen, Umwandlung von Ackerland in Dauergrünland, Rückbau von hochwassersensiblen Anlagen“.

Genauere Einblicke in die Wirkungsketten und Zusammenhänge zwischen den Maßnahmen, den damit verbundenen biophysikalischen Veränderungen und dem Dargebot von Ökosystemleistungen können, auf Grund zeitlicher und finanzieller Einschränkungen in dieser Studie, nur exemplarisch für ein ausgewähltes Beispiel gewährt werden. Die Maßnahme „Umgestaltung von Mäandern, indem ein neuer mäandrierender Verlauf geschaffen wird oder abgeschnittene Mäander wieder verbunden werden“ (M25), gehört zu den naturnahen Gewässerentwicklungsmaßnahmen mit vielen positiven Auswirkungen auf Ökosystemleistungen und wird nachfolgend beschrieben:

- ▶ **Wildtiere und Fische:** Die Umgestaltung von Flussmäandern steht in direktem Zusammenhang mit der Flussmorphologie. Durch die Schaffung von natürlichen Flussmäandern entstehen verschiedene Lebensraumtypen wie Riffe, Stromschnellen und ruhige Poolbereiche. Dies wirkt sich positiv auf die Verfügbarkeit und Verteilung von Nahrung für aquatische Organismen aus und unterstützt die Fortpflanzung von Wildtieren und Fischen.
- ▶ **Wasser für Nicht-Trinkzwecke:** Infolge der Remäandrierung eines begradigten Flussabschnittes erhöht sich die Flusslänge, das Gefälle des Flusses wird verringert, neue Überschwemmungsgebiete geschaffen und die Wasserspeicherkapazität des Flusses erhöht.
- ▶ **Fasern und pflanzliche Materialien zur direkten Verwendung:** Die Remäandrierung schafft Lebensraum für Ufervegetation, einschließlich Bäumen, Sträuchern und Wasserpflanzen, die zur natürlichen Biomassenproduktion beitragen und Fasern sowie pflanzliche Materialien bereitstellen, die lokal genutzt werden können.
- ▶ **Wasserqualität:** Die Remäandrierung trägt zur Verbesserung der Wasserqualität bei, indem sie durch die verzögerte Fließgeschwindigkeit, die Filtration und Sedimentation von Partikeln Schadstoffe aus dem Flusswasser fördert. Zudem trägt die erhöhte Vielfalt von Lebensräumen und Organismen zur biologischen Reinigung des Wassers bei.
- ▶ **Rückhaltung von Treibhausgasemissionen:** Die morphologische Umgestaltung des Flussverlaufs durch die Schaffung ursprünglicher Mäander begünstigt Bedingungen für das Wachstum der Ufervegetation, darunter Bäume, Sträucher und Wasserpflanzen, die Kohlenstoff aus der Atmosphäre durch Photosynthese binden und in ihrer Biomasse speichern. Zudem werden durch die Mäander die Fließgeschwindigkeiten des Wassers verringert und die Ablagerung von Sedimenten und organischem Material erhöht. Diese Sedimente können zur zusätzlichen Kohlenstoffbindung beitragen.
- ▶ **Abflussregulation:** Durch die Schaffung von natürlichen Flussmäandern und damit verbundenen zusätzlichen Überschwemmungsgebieten wird der Abfluss verlangsamt, da das

Wasser längere Wege zurücklegen muss. Zudem wird durch die Remäandrierung eine temporäre Überschwemmung von Auen und Uferbereichen ermöglicht, wodurch Wasser in diesen Bereichen vorübergehend zurückgehalten wird.

- ▶ **Minderung von Hochwasser- und Dürrerisiken:** Die verlangsamte Abflussgeschwindigkeit und die temporäre Wasserspeicherung in den Mäandern und Überschwemmungsgebieten tragen zur Minderung von Hochwasserrisiken bei. Während Trockenperioden können die gespeicherten Wasserreserven in den Überschwemmungsgebieten genutzt werden, um den Wasserhaushalt aufrechtzuerhalten und Dürreprobleme zu mildern.
- ▶ **Massenfluss, Sedimentregulierung:** Durch die Schaffung von natürlichen Flussmäandern und damit verbundenen Überschwemmungsgebieten wird der natürliche Sedimenttransportprozess im Fluss wiederhergestellt. In den ruhigen Poolbereichen, die durch die Mäander entstehen, können Sedimente abgelagert werden, wodurch die Sedimentbelastung in Bereichen des Flussunterlaufs verringert wird.
- ▶ **Erhaltung von Lebensräumen:** Durch die Remäandrierung werden natürliche Flussmäander und Uferstrukturen wiederhergestellt. Dies fördert ökologische Prozesse, wie die Bildung von Inseln, die Ablagerung von Sedimenten und die Schaffung von verschiedenen Lebensraumtypen, darunter Riffe, Stromschnellen, flache Uferzonen und tiefe Pools. Diese Vielfalt unterstützt verschiedene Pflanzen- und Tierarten.
- ▶ **Landschaftsästhetik:** Die Remäandrierung schafft oder stellt eine natürliche Flussmorphologie wieder her, die als ästhetisch ansprechender wahrgenommen wird als künstliche, begradigte Flussverläufe. Außerdem wird durch die Förderung verschiedener Lebensraumtypen eine vielfältige und attraktive Landschaft geschaffen, die für Beobachter ansprechend ist.
- ▶ **Physische Interaktionen mit der natürlichen Umwelt:** Die natürliche Flussumgebung, die durch die Remäandrierung geschaffen wird, kann als Erholungsort für Aktivitäten, wie Wandern, Radfahren, Picknicken, Vogelbeobachtung und Angeln dienen. Die ästhetisch ansprechende Flussumgebung kann den Tourismus fördern und somit wirtschaftliche Vorteile bieten.

Weiterführende Informationen zu funktionalen Zusammenhängen zwischen ausgewählten Gewässerentwicklungsmaßnahmen und Ökosystemleistungen finden sich in der einschlägigen Literatur, wie NWRM (2016) und Carolli et al. (2019).

### **3.3 Ergebnisse – Auswirkungen traditioneller Maßnahmen der Gewässerentwicklung**

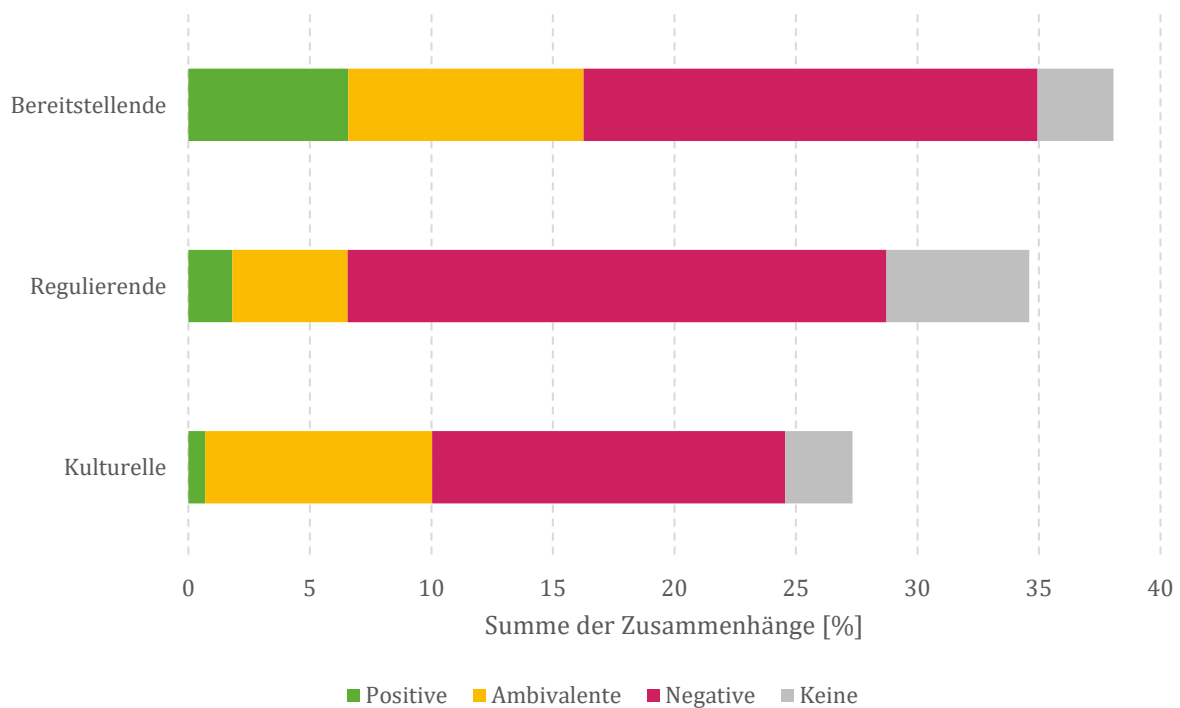
Bei der Auswertung traditioneller Gewässerentwicklungsmaßnahmen wurde festgestellt, dass über alle Maßnahmen gemittelt für 8 % aller Ökosystemleistungen positive Auswirkungen in den betrachteten Studien dokumentiert wurden (Abbildung 6). Insgesamt zeigen 10 Maßnahmen gar keine positive Wirkung auf eine der 20 betrachteten Ökosystemleistungen. Positive Zusammenhänge wurden nur mit bereitstellenden Ökosystemleistungen identifiziert (Abbildung 7). Zu den Maßnahmen, die die meisten positiven Effekte zeigen, gehören die „Absenkung des Überschwemmungsgebiets“ und der „Deichbau“ mit sechs bzw. vier erfassten Ökosystemleistungen. Weiterhin wird deutlich, dass die Ökosystemleistungen „Wasser für Nicht-Trinkzwecke“, „Pflanzenbasierte Ressourcen, Energie aus Biomasse“ sowie „Abflussregulation, Minderung von Hochwasser- und Dürrerisiken“ über alle Maßnahmen hinweg am häufigsten positiv beeinflusst werden.

**Abbildung 6: Zusammenhänge zwischen traditionellen Maßnahmen der Gewässerentwicklung und Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen (Zusammenhänge positiv = grün, ambivalent = gelb, negativ = rot, keine Zusammenhänge vorhanden = grau, keine Nachweise gefunden = weiß).**

LAWA-BLANO Maßnahmentyp		Technische Maßnahmen												Andere Maßnahmen												Verbesserung des Geschiebehaushalts	
Maßnahmen Code		M37	M38	M39	M40	M41	M42	M43	M44	M45	M46	M47	M48	M49	M50	M51	M52	M53	M54	M55	M56	M57	M58	M59	M60	M61	M62
Ökosystemleistungen	Bereitstellende	Anbaukulturen und pflanzliche Ressourcen für die landwi. Nutzung	gelb	grün	rot	rot			rot		rot	gelb		gelb	gelb	rot	rot	rot	rot	rot	grün	rot	gelb	grün			
	Wildtiere und Fische										gelb	grün		rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot
	Wasser für Trinkzwecke				grau	rot					grün	grün		rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot
	Wasser für Nicht-Trinkzwecke	grün	gelb						grün		grün	grün		rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot
	Fasern und pflanzliche Materialien zur direkten Verwendung	gelb	rot	rot							gelb	gelb		rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	grün
	Pflanzenbasierte Ressourcen, Energie aus Biomasse	gelb	rot		grau						gelb	gelb		rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot
	Regulierende	Wasserqualität, Selbstreinigung	gelb	rot	rot							gelb	gelb		rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot
	Lokale Temperaturregulierung	rot		grau											grau	grau	grau	grau	grau	grau	grau	grau	grau	grau	grau	grau	grau
	Rückhaltung von Treibhausgasemissionen, Kohlenstoffsequestrierung	gelb	grün	grau							grün	grün		rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot
	Regulierung der Luftqualität																										
	Abflussregulation, Minderung von Hochwasser- und Dürreerisiken	gelb	gelb	grün		rot			rot	grün	gelb	grün	gelb	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot
	Massenfluss, Sedimentregulierung	rot	rot	rot	grau						gelb	grün		rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot
	Bodenbildung in Überschwemmungsgebieten	rot	rot	rot							gelb	gelb		rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot
	Erhaltung von Lebensräumen	rot	rot	rot		grau	rot		gelb	rot	grau	grau		rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot
	Schädlings- und Krankheitsregulierung		rot	rot							gelb	gelb		rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot
	Kulturelle	Landschaftsästhetik	gelb	gelb			rot		grau	gelb	gelb	gelb		rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot
	Physische Interaktionen mit der natürlichen Umwelt	grün	rot					gelb	grün		gelb	gelb		rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot
	Natürliches und kulturelles Erbe	gelb	rot								gelb	gelb		rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot
	Spirituelle und symbolische Wertschätzung																										
	Information und Wissen		gelb	grau							gelb	gelb		rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot	rot

Quelle: Eigene Darstellung, RUB

**Abbildung 7: Zusammenfassung aller Zusammenhänge zwischen traditionellen Maßnahmen der Gewässerentwicklung und bereitstellenden, regulierenden und kulturellen Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen.**



Quelle: Eigene Darstellung, RUB

Im Gegensatz zu den positiven Auswirkungen wurde in den untersuchten Studien festgestellt, dass 57 % aller erfassten Ökosystemleistungen von den Maßnahmen negativ beeinflusst werden. Maßnahmen ohne negative Wirkungen treten nicht auf. Es lassen sich weiterhin konsistente Auswirkungen über verschiedene Maßnahmen hinweg feststellen. Zum Beispiel werden regulierende Ökosystemleistungen am häufigsten negativ beeinflusst. Des Weiteren wurden für bis zu 19 von 26 Maßnahmen negative Auswirkungen auf Ökosystemleistungen wie die Erhaltung von Lebensräumen und die Landschaftsästhetik angegeben. Die Maßnahmen „Errichtung, Erweiterung und Pflege von Siedlungs- und Verkehrsinfrastruktur“ sowie „Intensive Landwirtschaft am Gewässer“ weisen die meisten nachteiligen Auswirkungen auf. Bei beiden Maßnahmen wurden negative Auswirkungen auf jeweils 15 erfasste Ökosystemleistungen verzeichnet.

Für 13 % aller Ökosystemleistungen wurde in betrachteten Studien festgestellt, dass die Anwendung einer traditionellen Gewässerentwicklungsmaßnahme keine Veränderungen mit sich bringt. Bei den regulierenden Ökosystemleistungen treten am häufigsten keine Auswirkungen auf. „Sedimententfernung durch Baggern“ oder die „Entnahme von Grundwasser“ gehören zu den Maßnahmen, für die Studien nur wenige Auswirkungen auf Ökosystemleistungen identifizieren konnten. In Bezug auf diese Maßnahmen wurden bei acht bzw. sechs erfassten Ökosystemleistungen keine nachweisbaren Verbindungen festgestellt.

Weiterhin wurden in untersuchten Studien für 22 % der Zusammenhänge zwischen traditionellen Maßnahmen und Ökosystemleistungen ambivalente Verbindungen identifiziert. Am häufigsten wurden ambivalente Beziehungen zwischen Maßnahmen und bereitstellenden sowie kulturellen Ökosystemleistungen gefunden. Die Maßnahmen mit den meisten uneindeutigen Effekten betreffen jeweils 11 Ökosystemleistungen und beinhalten diverse

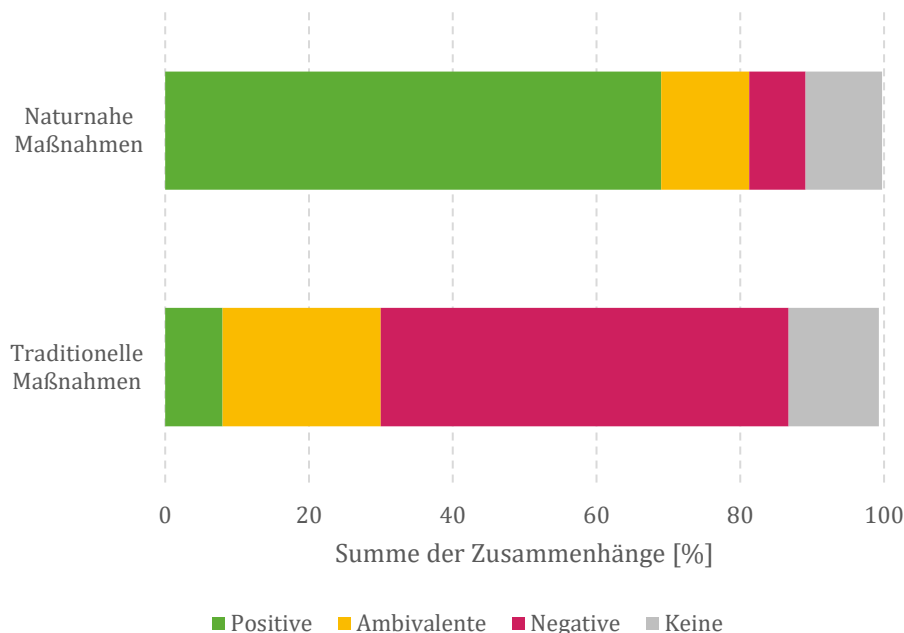
„technische Maßnahmen“ und die „Absenkung des Überschwemmungsgebiets“. Beide Maßnahmen fassen verschiedene, spezifische Einzelmaßnahmen zusammen. Die technischen Maßnahmen umfassen den Neubau, die Instandhaltung und die Wiederherstellung von Rückhaltebecken, Poldern, Stauseen und Dämmen sowie die eingedeichte Flächenentwässerung. Die Absenkung des Überschwemmungsgebiets kann durch das Ausgraben von Entwässerungskanälen, das Entfernen von Erde oder das Anlegen von Mulden und Becken erfolgen. Die Absenkung des Überschwemmungsgebiets ist die einzige traditionelle Gewässerentwicklungsmaßnahme, für die keine eindeutigen negativen Auswirkungen auf Ökosystemleistungen gefunden wurden. Abhängig von der spezifischen Einzelmaßnahme und den Umweltbedingungen kann diese Maßnahme somit potenziell vorteilhaft für eine breite Palette von Ökosystemleistungen sein.

### 3.4 Ergebnisse – Vergleich der Auswirkungen naturnaher und traditioneller Maßnahmen der Gewässerentwicklung auf Ökosystemleistungen

Beim Vergleich der Abschätzungen von Auswirkungen der naturnahen und traditionellen Gewässerentwicklungsmaßnahmen auf Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen aus unterschiedlichen Studien wird deutlich, dass sowohl bei naturnahen als auch bei traditionellen Maßnahmen die Auswirkungen auf Ökosystemleistungen komplex und vielfältig sind.

In der Zusammenschau der Studien zu Wechselwirkungen zwischen Maßnahmen und Ökosystemleistungen zeigt sich, dass bei naturnahen Maßnahmen der Anteil an positiven Auswirkungen wesentlich höher und der Anteil an negativen Auswirkungen wesentlich niedriger ist als bei den Einschätzungen traditioneller Maßnahmen (Abbildung 8).

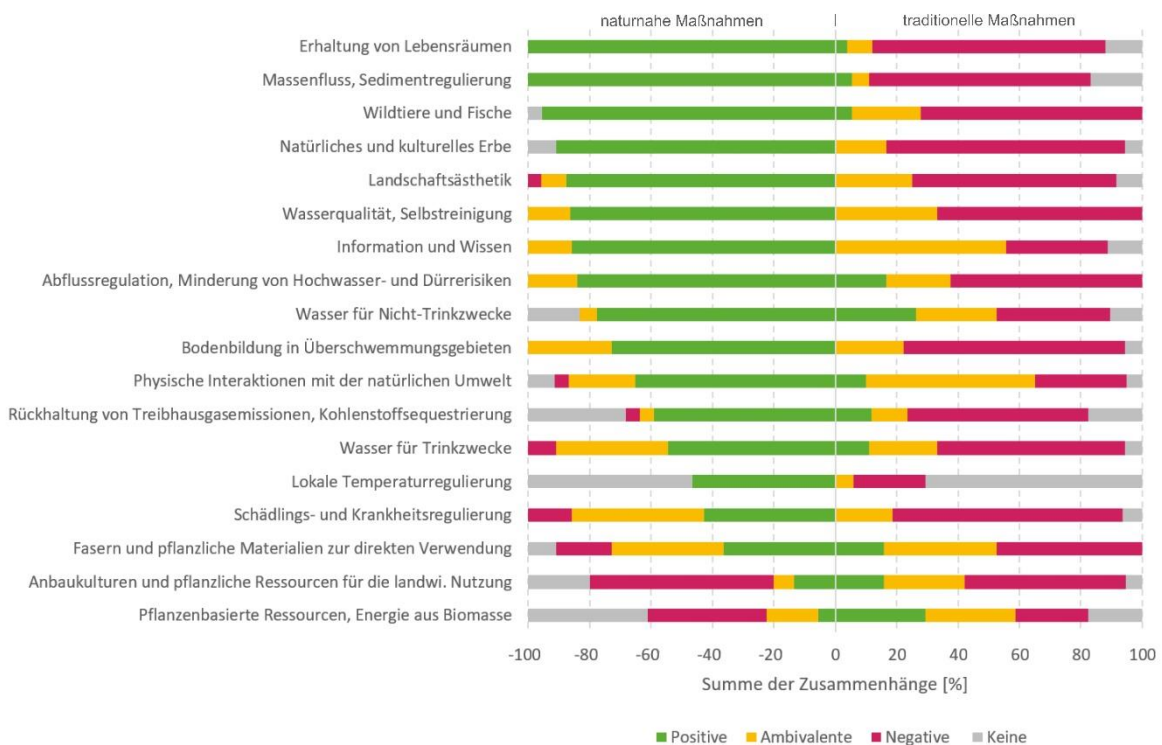
**Abbildung 8: Zusammenfassung der Zusammenhänge von naturnahen und traditionellen Maßnahmen der Gewässerentwicklung auf Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen.**



Quelle: Eigene Darstellung, RUB

Beim Vergleich der Auswirkungen auf verschiedene Ökosystemleistungen bestätigt sich der deutliche Unterschied zwischen naturnahen und traditionellen Gewässerentwicklungsmaßnahmen. Es zeigt sich, dass über nahezu alle bereitstellende, regulierende und kulturelle Ökosystemleistungen hinweg naturnahe Maßnahmen mehr positive und weniger negative Auswirkungen aufweisen als traditionelle Maßnahmen (Abbildung 9). Dies deutet darauf hin, dass naturnahe Maßnahmen oft effektiver sind, um die Vielfalt, Funktionen und Ressourcen von Ökosystemen zu erhalten und zu fördern. Traditionelle Maßnahmen sind nur für solche Ökosystemleistungen potenziell vorteilhaft, die sich auf die landwirtschaftliche Produktion beziehen (Bereitstellung von „Pflanzenbasierten Ressourcen, Energie aus Biomasse“ sowie „Anbaukulturen und pflanzliche Ressourcen für die landwirtschaftliche Nutzung“). Diese Ökosystemleistungen sind aus naturschutzfachlicher Perspektive jedoch weniger relevant und gehen häufig auch mit negativen Wechselwirkungen für andere Ökosystemleistungen einher.

**Abbildung 9: Prozentualer Anteil der Fälle, in denen durch naturnahe oder traditionelle Maßnahmen positive, ambivalente, negative oder keine Wirkungen auf die genannten Ökosystemleistungen beschrieben wurden.**

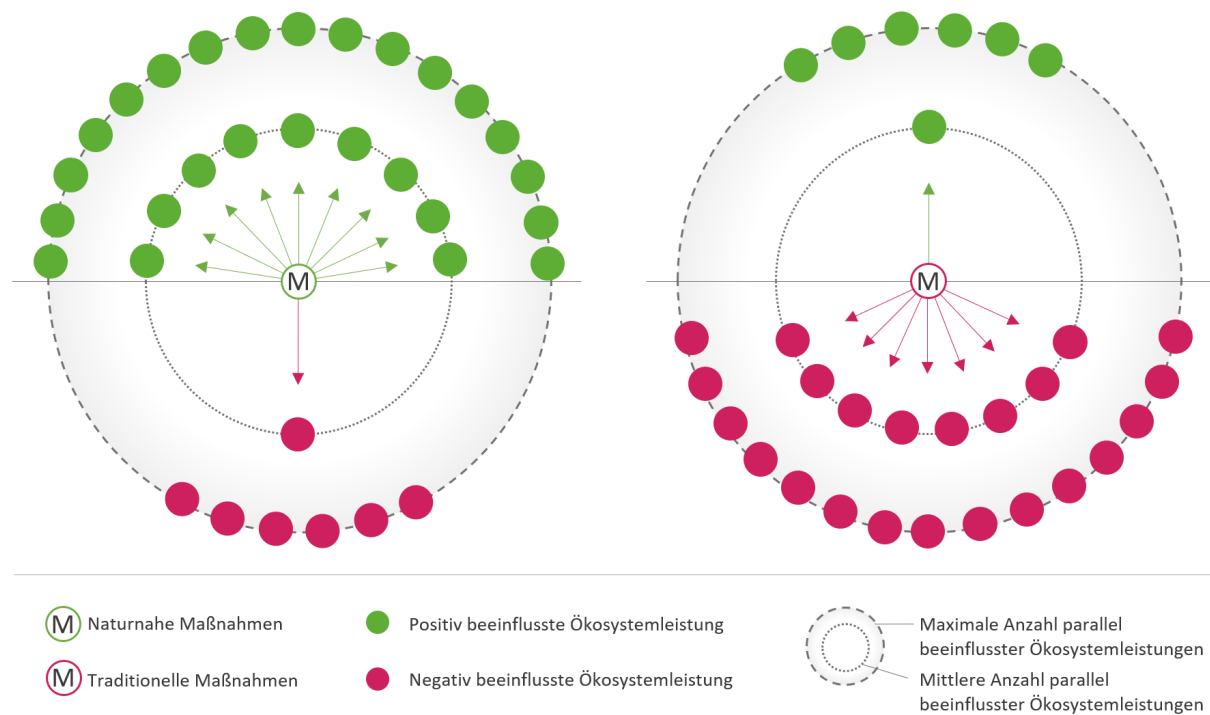


Quelle: Eigene Darstellung, RUB

Der Anteil von als ambivalent eingeschätzten Auswirkungen von Maßnahmen auf Ökosystemleistungen ist insgesamt relativ gering und tritt bei naturnahen Maßnahmen weniger häufig auf (12 %), als bei traditionellen Maßnahmen (22 %). Die meisten ambivalenten Auswirkungen von Maßnahmen treten auf, wenn naturnahe Maßnahmen häufig negative Effekte aufweisen, insbesondere im Zusammenhang mit bereitstellenden Ökosystemleistungen, während traditionelle Maßnahmen häufig positive Auswirkungen zeigen, vor allem bei regulierenden Ökosystemleistungen. Dies könnte dazu führen, dass naturnahe Maßnahmen sich als noch effektiver herausstellen zur Sicherung und Erhaltung ökologischer Ressourcen oder aber traditionelle Maßnahmen zusätzliche spezifische Vorteile bieten.

Weiterhin deuten Bewertungen in betrachteten Studien darauf hin, dass naturnahe Maßnahmen zu einer breiteren Palette positiver Auswirkungen auf verschiedene Ökosystemleistungen führen können, während traditionelle Maßnahmen oft mit einem größeren Spektrum überwiegend negativer und nur sehr vereinzelt positiver Effekte verbunden sind. Insgesamt wurden für über 84 % aller naturnahen Maßnahmen positive Auswirkungen auf 6 bis 17 Ökosystemleistungen identifiziert, wohingegen sich bei traditionellen Maßnahmen positive Effekte durchschnittlich nur auf eine einzige Ökosystemleistung zeigen (Abbildung 10). Negative Auswirkungen wurden bei naturnahen Maßnahmen durchschnittlich für weniger als eine Ökosystemleistung und bei traditionellen Maßnahmen für durchschnittlich 15 Ökosystemleistungen ausgewiesen.

**Abbildung 10: Vergleich der Multifunktionalität zwischen naturnahen und traditionellen Maßnahmen.**



Dargestellt sind die durchschnittliche und maximale Anzahl der Ökosystemleistungen, die entweder positiv oder negativ durch naturnahe und traditionelle Maßnahmen beeinflusst werden.

Quelle: Eigene Darstellung, UBA, RUB

## 4 Diskussion und Schlussfolgerungen

### 4.1 Bedeutung und Priorisierung von Ökosystemleistungen von Flusslandschaften

Die hier präsentierten Ergebnisse unterstreichen die enorme Bedeutung von Flusslandschaften als vielseitige Ökosysteme. Die Auswertung aktueller Review-Studien zu Flusslandschaften zeigt, dass Flüsse und ihre angrenzenden Auen eine breite Palette von mindestens 40 Ökosystemleistungen erbringen, die nicht nur von ökologischem Wert sind, sondern auch einen bedeutenden gesellschaftlichen Nutzen haben. Die Analyse der Ökosystemleistungen von Flüssen und Auen verdeutlicht, dass bisher vor allem regulierende Leistungen im Fokus der Forschung standen, gefolgt von bereitstellenden und kulturellen Leistungen. Diese Schwerpunktsetzung ist jedoch kein Hinweis auf eine generelle Priorisierung dieser Ökosystemleistungen, sondern spiegelt eher die Untersuchungsschwerpunkte und die jeweiligen Forschungsinteressen wider. Dennoch liefert diese Betrachtung eine wichtige Grundlage, um die Vielseitigkeit der Beiträge von Fließgewässern und Auen für das menschliche Wohlbefinden sichtbar zu machen. Hierdurch kann dazu beigetragen werden, das Bewusstsein einer breiten Öffentlichkeit für die zentrale Bedeutung der Natur als Grundlage für Leben und Wirtschaft zu stärken sowie die Gestaltung und Umsetzung politischer Rahmenbedingungen zur Förderung umweltverträglicher Bewirtschaftungspraktiken zu beeinflussen.

Es gibt keine einheitliche Definition und trennscharfe Abgrenzung verschiedener Ökosystemleistungen, die für Flusslandschaften standardisiert verwendet wird. Allerdings wurden eine Reihe von Vorschlägen für verschiedene Anwendungszwecke entwickelt (s. 2.2 Ergebnisse – Priorisierung von Ökosystemleistungen). Die Tatsache, dass unterschiedliche Ansätze zur Definition und Klassifikation von Ökosystemleistungen verwendet wurden, wirft Fragen nach der Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit der Ergebnisse auf. Obwohl die meisten Studien sich auf ähnliche Hauptgruppierungen von Ökosystemleistungen stützen, können konzeptionelle Unterschiede zwischen den einzelnen Ansätzen zu Verwirrung führen und die Vergleichbarkeit erschweren. Eine klare und einheitliche Definition von Ökosystemleistungen ist daher entscheidend, um eine konsistente Bewertung und Kommunikation zu gewährleisten.

Die Auswahl der wesentlichen Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen ist eine komplexe Aufgabe, die eine sorgfältige Abwägung verschiedener Faktoren erfordert. Die vorgestellten Ansätze bieten dabei wertvolle Einblicke. Durch die Synthese der Klassifikationssysteme von drei Projekten mit direktem Bezug zu Flusslandschaften – MARS, RESI und HyMoCARES – konnte eine Abschätzung von 20 wesentlichen Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen vorgenommen werden. Wichtige grundlegenden Zusammenhänge, die es bei der Anwendung der vorgeschlagenen Klassifikation zu berücksichtigen gilt, sind nachfolgend aufgeführt.

- ▶ Ökosystemleistungen werden nicht einzeln oder unabhängig voneinander bereitgestellt. Oft sind durch Entscheidungen bezüglich der Nutzung ganze Bündel von Ökosystemleistungen betroffen (Saidi und Spray 2018).
- ▶ Die Entscheidung für die Nutzung einer spezifischen Ökosystemleistung oder eines Bündels von Leistungen kann mit Einschränkungen für andere Leistungen einhergehen, was als Zielkonflikte oder Trade-offs bekannt ist (Le et al. 2023; Lautenbach et al. 2010).
- ▶ Durch die differenzierte Bewertung von Ökosystemleistungen können Synergien und Konflikte zwischen gesellschaftlichen Zielen in Bezug auf die Landnutzung und das

Management von Ökosystemen identifiziert und auf die beteiligten Akteure angewendet werden. Die ökonomische Bewertung von Ökosystemleistungen kann ein effektives Instrument sein, um bisher übersehene Beiträge der Natur in Entscheidungsprozessen zwischen verschiedenen Nutzungs- und Schutzinteressen hervorzuheben (Naturkapital Deutschland – TEEB DE 2016). Darüber hinaus sollten Abwägungen über Nutzungsalternativen stets in einen umfassenderen gesellschaftlichen Kontext eingebettet werden, der über rein ökonomisch erfassbare Kosten und Nutzen hinausgeht (Jacobs et al. 2016; Wegner und Pascual 2011).

- ▶ Oft ist menschliches Eingreifen (Arbeit, Zeit, Ressourcen) erforderlich, um Ökosystemleistungen in Anspruch nehmen zu können oder ihre kontinuierliche Bereitstellung zu gewährleisten (Spangenberg et al. 2014). Teilweise kann es sich als schwierig herausstellen, den genauen Beitrag der Natur im Vergleich zu menschlichen Interventionen bei der Entstehung von nützlichen Gütern und Leistungen zu differenzieren. Die aktuelle Literatur verfolgt verschiedene Lösungsansätze, um diese Herausforderung zu bewältigen (Podschn et al. 2018a; Spangenberg et al. 2014; von Haaren et al. 2014).

#### **4.1.1 Naturnahe Gewässerentwicklung als Schlüssel zur Verbesserung der Ökosystemleistungen?**

Die Frage, ob naturnahe Gewässerentwicklung als Schlüssel zur Verbesserung der Ökosystemleistungen betrachtet werden kann, ist von zentraler Bedeutung für die Umweltschutzpraxis und die nachhaltige Bewirtschaftung von Fließgewässern. Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse liefern wichtige Erkenntnisse, die diese Frage beantworten können. Die Analyse zeigt, dass die Anwendung naturnaher Gewässerentwicklungsmaßnahmen in vielfältiger Hinsicht ökologische und gesellschaftliche Vorteile bieten. Maßnahmen wie die Deichrückverlegung, Auenrenaturierung, Habitatverbesserung oder die Einrichtung von Pufferzonen geben Entwicklungsräume an die Natur zurück und fördern die eigendynamische Entwicklung von Gewässern. Damit tragen sie dazu bei, die Widerstandsfähigkeit von Fließgewässern und Auen gegenüber Umweltveränderungen zu stärken und die ökologische Vielfalt zu erhöhen. Sie schaffen Lebensräume für eine vielfältige Flora und Fauna und verbessern die Regulation von Schädlingen und Krankheiten durch die Förderung natürlicher Feinde. Darüber hinaus verbessern die Maßnahmen die Wasserqualität und ermöglichen eine Selbstreinigung der Gewässer. Die Verfügbarkeit von Wasser für Trink- und Nicht-Trinkzwecke wird verbessert, während eine gesunde Vegetation entlang der Flussufer eine nachhaltige Quelle für Fasern und pflanzliche Materialien bietet. Die natürliche Vegetation reguliert die lokale Temperatur und bindet Treibhausgase wie Kohlendioxid, was zur Verringerung der Luftverschmutzung und zur Bekämpfung des Klimawandels beiträgt. Die Förderung der natürlichen Dynamik von Fließgewässern modifiziert die Regulierung des Massenflusses und reduziert somit die Sedimentbelastung in Flüssen. Zudem wird eine natürliche Sedimentation ermöglicht und beispielsweise durch Sedimentablagerungen in Überflutungsgebieten die Entstehung von fruchtbaren Böden gefördert. Außerdem tragen die Maßnahmen zur landschaftlichen Schönheit bei und schaffen Möglichkeiten für physische Aktivitäten und Erholung. Sie bewahren auch das natürliche und kulturelle Erbe und fördern eine spirituelle Verbundenheit mit der Natur. Als Lehr- und Forschungsumgebungen tragen sie zum Wissensgewinn über Ökosysteme bei.

Vereinzelnd treten jedoch auch negative Einflüsse auf, die damit verbunden sind, dass eine Transformation von Kulturlandschaft, wie landwirtschaftliche Nutzfläche, in Gewässerentwicklungsflächen (Müller et al. 2024) stattfindet und bestehende Nutzungsformen eingeschränkt werden oder komplett aufgegeben werden müssen. So werden beispielsweise

Ökosystemleistungen wie die Bereitstellung von „Pflanzenbasierte Ressourcen, Energie aus Biomasse“ oder „Anbaukulturen und pflanzliche Ressourcen für die landwirtschaftliche Nutzung“ durch naturnahe Maßnahmen reduziert. Insgesamt überwiegt jedoch die Anzahl der Ökosystemleistungen, für die positive Abschätzungen angegeben wurden, der Anzahl der Ökosystemleistungen mit negativen Auswirkungen um mehr als das zehnfache.

Naturnahe Gewässerentwicklungsmaßnahmen fördern somit multifunktionale Flusslandschaften und schaffen die Voraussetzung dafür, dass einem breiteren Kreis von Nutznießern Zugang zu einer Vielzahl von Ökosystemleistungen ermöglicht wird (s. auch Fischer et al. 2017). Dies trägt dazu bei, unterschiedliche Interessen und Bedürfnisse von Nutzergruppen in Einklang zu bringen. Eine solche Harmonisierung ist wichtig, um verschiedene gesellschaftlichen Ziele zu erreichen, wie beispielsweise ökologische Nachhaltigkeit, soziale Wohlfahrt und wirtschaftlicher Fortschritt (Mbow et al. 2015; Schmidt et al. 2022; UN WWAP 2018).

Im Gegensatz zu den Auswirkungen naturnaher Gewässerentwicklungsmaßnahmen wird aus den analysierten Studien deutlich, dass durch traditionelle Gewässerentwicklungsmaßnahmen vielfältige ökologische und gesellschaftliche Funktionen verloren gehen. Ergebnisse der Analyse zeigen, dass technische Regulierungsmaßnahmen, wie Neubau, Instandhaltung und Wiederherstellung von Hochwasserrückhaltebecken und Dämmen oder Eingriffe im Zusammenhang mit Abbau, Infrastruktur und intensiver Landnutzung nur selten Räume für eine eigendynamische Entwicklung von naturnahen Gewässern zulassen und häufig nur eine Ökosystemleistung fördern.

Der Fokus auf die Optimierung nur einzelner Ökosystemleistungen hat eine erhebliche Beeinträchtigung der Qualität des Gewässersystems zur Folge. Aktuelle Bewertungen des ökologischen Zustands der Gewässer unterstreichen diese Problematik (Völker et al. 2022). Wenn nur bestimmte Ökosystemleistungen priorisiert werden, werden ökologische Prozesse und Funktionen, die andere Ökosystemleistungen unterstützen, vernachlässigt. Dies kann zu einem Ungleichgewicht führen, das die natürliche Flexibilität des Ökosystems, sich an Veränderungen seiner Umgebung anzupassen, beeinträchtigt (Ekka et al. 2020). Langfristig kann dieses Ungleichgewicht die Stabilität des gesamten Ökosystems gefährden und negative Auswirkungen auf die Umwelt und die Gesellschaft verstärken (Tockner et al. 2002).

Zusammenfassend zeigt sich, dass durch die vorliegende Literaturlauswertung eine umfassende Darstellung der Folgen von Gewässerentwicklungsmaßnahmen auf ein breites Spektrum von Ökosystemleistungen ermöglicht wird; einschließlich kultureller Leistungen, die in der Vergangenheit oft übersehen wurden (Kistenkas und Bouwma 2018; Hauck et al. 2014). Die Ergebnisse der Synthese der Studien bieten eine fundierte Grundlage für die Bewertung der Auswirkungen von Gewässerentwicklungsmaßnahmen auf Ökosystemleistungen. Sie unterstützt die Auswahl von Maßnahmen, die eine hohe Multifunktionalität aufweisen und viele Ökosystemleistungen positiv beeinflussen. Zudem kann die Synthese helfen, den Mehrwert bestimmter Maßnahmen zu verdeutlichen, zu sektorübergreifenden Diskussionen über Handlungsoptionen anregen und zur Bildung von Verständnis und Akzeptanz für die Umsetzung beitragen. Nicht zuletzt hilft die vorliegende Studie, angesichts der stetig wachsenden Anzahl von Veröffentlichungen, einen Überblick über das Wissen bezüglich der Zusammenhänge zwischen Ökosystemleistungen und Maßnahmen zu behalten. Synthesestudien sollten zukünftig fortgeführt werden, um für die Planung und politische Entscheidungsfindung aktuelle, aggregierte und relevante Informationen zu liefern.

#### 4.1.2 Herausforderungen und Lösungsansätze zur Verbesserung der Analyse von Gewässerentwicklungsmaßnahmen und ihren Auswirkungen auf Ökosystemleistungen

Abschätzungen von Wechselwirkungen von sowohl naturnahen als auch traditionellen Gewässerentwicklungsmaßnahmen benötigen weitere Analysen. Erstens, um ambivalente Verhältnisse zu konkretisieren. Die Ambivalenz kann durch methodische Hintergründe der Abschätzung von Auswirkungen auf Ökosystemleistungen und diversen Randbedingungen erklärt werden. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde auf Informationen aus bestehender Literatur zurückgegriffen. Die in der Literatur verwendeten Verfahren zur Abschätzung von Auswirkungen auf Ökosystemleistungen bezog sich teilweise auf Maßnahmengruppen, die ohne Angabe von Gründen aus verschiedenen Maßnahmentypen bestanden und nicht weiter unterteilt wurden. Bei der Umsetzung der Maßnahmengruppen in der Praxis kann es dementsprechend zu Abweichungen je nach Verwendung spezifischer Maßnahmentypen kommen. Weiterhin zeigte sich, dass bei der Zusammenführung der Abschätzungen von Auswirkungen gleicher Maßnahmen aus unterschiedlichen Quellen nicht immer eindeutige Auswirkungen über alle Studien gefunden werden konnten. Bei der Zusammenführung wurde somit die Kategorie „Ambivalent“ vergeben. In diesem Zusammenhang ist auch davon abzuraten, ähnliche Maßnahmen weiter zu aggregieren, da somit die Anzahl von mehrdeutigen Verhältnissen zunehmen würde.

Zweitens fehlen Nachweise darüber, inwiefern Randbedingungen bestehende Verhältnisse zwischen Gewässerentwicklung und verschiedenen Ökosystemleistungen beeinflussen können. Randbedingungen, wie die geomorphologischen, ökologischen und hydrologischen Merkmale der Flusslandschaften, variieren je nach Untersuchungsraum und können bei der Umsetzung derselben Gewässerentwicklungsmaßnahme unterschiedliche Effektivität und Auswirkungen auf Ökosystemleistungen entfalten (Lorenz und Feld 2013; Hermoso et al. 2012; Bernhard und Palmer 2011). Darüber hinaus sind Ökosystemleistungen mit wirtschaftlichen und soziokulturellen Aspekten verknüpft, die je nach gesellschaftlichem Kontext variieren (Shi et al. 2022; Fagerholm et al. 2020; Bastian et al. 2012). So können sich beispielsweise die Präferenzen von Menschen in Bezug auf die Attraktivität einer Flusslandschaft zwischen verschiedenen Ländern und Regionen unterscheiden. Um abzuschätzen, wie Randbedingungen die Wirkung von Maßnahmen auf Ökosystemleistungen beeinflussen, ist es prinzipiell möglich, Fallstudien aus verschiedenen Kontexten heranzuziehen. Die Literaturrecherche zeigte jedoch, dass Nachweise der Abschätzung von vergleichbaren Maßnahmen in unterschiedlichen Umgebungen nur selten gefunden werden konnten.

Drittens wurde im Rahmen der Literaturanalyse deutlich, dass Abschätzungen möglicher Auswirkungen für eine Reihe von Kombinationen von Maßnahmen und Ökosystemleistungen fehlen. Sowohl bei naturnahen als auch bei traditionellen Maßnahmen fanden sich in der Literatur keine Nachweise für etwa ein Drittel der Zusammenhänge von Maßnahmen und Ökosystemleistungen. Für die Ökosystemleistung „Regulierung der Luftqualität“ und „Spirituelle und symbolische Wertschätzung“ fehlen gänzlich Erkenntnisse.

Möglichkeiten, um bestehende Wissenslücken zu schließen und die evidenzbasierte Priorisierung von lokalen Managementoptionen der Gewässerentwicklung zu optimieren, bestehen darin, empirische Evaluationsstudien zu fördern, Expertenbefragungen einzubeziehen und eine zentrale Datenbank zur Sammlung von Informationen zu Ökosystemleistungen, Maßnahmen und deren Auswirkungen anzulegen. Empirische Evaluationsstudien sind (Feld-) Experimente, die derart aufgebaut sind, dass die Zuordnung von Wirkungen zu Ursachen objektiv hervorgehoben werden und die Effektivität einer Intervention bestimmt werden kann (Greenberg et al. 2003; Shadish et al. 1991). Hinweise und Beispiele zur Ausgestaltung des

Studiendesigns von empirischen Evaluationsstudien können Ferraro und Pattanayak (2006) entnommen werden.

In Abwesenheit quantitativer Studien über die Auswirkungen von Maßnahmen der Gewässerentwicklung auf Ökosystemleistungen in einem bestimmten räumlichen und ökologischen Kontext ist die Verwendung konsensbasierter Expertenansätze ein vielversprechendes Instrument, um die Auswirkungen verschiedener Interventionsmaßnahmen auf Ökosystemleistungen zu evaluieren. Konkrete Techniken expertenbasierter Evaluierungen und damit verbundene Unsicherheiten sind in Drescher et al. (2013) und Campagne et al. (2017) beschrieben und wurden bereits für Abschätzungen von Verhältnissen zwischen ausgewählten Gewässerentwicklungsmaßnahmen und Ökosystemleistungen angewendet (Hornung et al. 2019; Schindler et al. 2014). Expertenbasierte Abschätzungen sollten dennoch nur als vorübergehendes Hilfsmittel betrachtet werden, um in komplexen Situationen trotz eines Mangels an Daten und Wissen voranzukommen. Langfristig betrachtet sollten jedoch empirische Evaluationsstudien expertenbasierte Einschätzungen ersetzen.

Die Entwicklung und langfristige Pflege einer zentralen Datenbank würde helfen, Informationen aus unterschiedlichen Quellen in einer standardisierten Art und Weise zu dokumentieren, um ähnliche Fälle zu prüfen und die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse zu bewerten. Neben quantitativen Bewertungen könnten ebenfalls qualitative Evaluierungen in die Datenbank aufgenommen werden. Durch die Zusammenstellung qualitativer Fallstudien in einen umfangreichen Datensatz werden einzelne Fallstudien effektiv zu einem Bestand an Belegen kombiniert, der auf diese Weise genutzt werden kann. Dies könnte als Grundlage für systematische Überprüfungen von Evidenz zu bestimmten Gewässerentwicklungsmaßnahmen dienen. Ein Vorbild zur Strukturierung von Nachweisen könnte die Datenbank von Chausson et al. (2020) sein.

## 5 Quellenverzeichnis

- Bagstad, K. J.; Semmens, D. J.; Winthrop, R. (2013): Comparing approaches to spatially explicit ecosystem service modeling: A case study from the San Pedro River, Arizona. In: *Ecosystem Services* 5, S. 40-50. DOI 10.1016/j.ecoser.2013.07.007
- Basak, S. M.; Hossain, M. S.; Tusznio, J.; Grodzińska-Jurczak, M. (2021): Social benefits of river restoration from ecosystem services perspective: A systematic review. In: *Environmental Science and Policy* 124, S. 90-100. DOI 10.1016/j.envsci.2021.06.005
- Bastian, O.; Grunewald, K.; Lupp, G.; Syrbe, R. U.; Wachler, C. (2012): Verfahrensansätze der Landschaftsökologie zur Erfassung und Bewertung von Ökosystemdienstleistungen. BfN-Skripten 320. Bundesamt für Naturschutz, Bonn: 78–99. Aus: [https://bfn.bsz-bw.de/frontdoor/deliver/index/docId/475/file/Skript\\_320.pdf](https://bfn.bsz-bw.de/frontdoor/deliver/index/docId/475/file/Skript_320.pdf), Stand: 16.09.2024
- Bernhardt, E. S.; Palmer, M. A. (2011): River restoration: the fuzzy logic of repairing reaches to reverse catchment scale degradation. In: *Ecological Applications* 21, S. 1926-1931. DOI 10.1890/10-1574.1
- BMUB; BFN – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit und Bundesamt für Naturschutz [Hrsg.] (2014): *Naturbewusstsein 2013 – Bevölkerungsumfrage zu Natur und biologischer Vielfalt*, Berlin. Aus: [https://www.bfn.de/sites/default/files/2021-05/Naturbewusstsein\\_2013.pdf](https://www.bfn.de/sites/default/files/2021-05/Naturbewusstsein_2013.pdf), Stand: 26.09.2023
- Boyd, J.; Banzhaf, S. (2007): What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. In: *Ecological Economics* 63 (2–3), S. 616–626. DOI 10.1016/j.ecolecon.2007.01.002
- Campagne, C. S.; Roche, P.; Gosselin, F.; Tschanz, L.; Tatoni, T. (2017): Expert-based ecosystem services capacity matrices: Dealing with scoring variability. In: *Ecological Indicators* 79, S. 63-72. DOI 10.1016/j.ecolind.2017.03.043
- Carolli, M.; Pusch, M.; Costea, G.; Chouquet, I.; Klösch, M.; Bertrand, M.; Boz, B.; Dunst, R.; Fragola, G.; Gaucher, R.; Goltara, A.; Javornik, L.; Liébault, F.; Marangoni, N.; Molnar, P.; Pessenlehner, S.; Rossi, D.; Rozman, D.; Šantl, S.; Savli, K.; Stephan, U.; Habersack, H.; Tettamanti, S.; Piccolroaz, S.; Negri, P.; Reeb, F.; Betterle, A.; Salvetti, A.; Peduzzi S. (2017): HyMoCARES project. WPT1. Ecosystem Services (ES) assessment framework D.T1.1.1 Report on ES definition and systematics. Aus: <https://www.alpine-space.eu/wp-content/uploads/2022/12/Deliverable-D.T1.1.1-Report-on-ES-definition-and-systematics.pdf>, Stand: 26.09.2023
- Carolli, M.; Pusch, M.; Costea, G.; Chouquet, I.; Klösch, M.; Bertrand, M.; Boz, B.; Dunst, R.; Fragola, G.; Gaucher, R.; Goltara, A.; Javornik, L.; Liébault, F.; Marangoni, N.; Molnar, P.; Pessenlehner, S.; Rossi, D.; Rozman, D.; Šantl, S.; Savli, K.; Stephan, U.; Habersack, H.; Tettamanti, S.; Piccolroaz, S.; Negri, P.; Reeb, F.; Betterle, A.; Salvetti, A.; Peduzzi S. (2019): HyMoCARES project. WPT1. Ecosystem Services (ES) assessment framework. D.T1.2.1 Report on functional dependencies of ES on river hydromorphology. Aus: <https://www.alpine-space.eu/wp-content/uploads/2022/12/Deliverable-D.T1.2.1-Report-on-functional-dependencies-of-ES-on-river-hydromorphology.pdf>, Stand: 26.09.2023
- Carpenter, S. R.; Mooney, H. A.; Agard, J.; Capistrano, D.; DeFries, R. S.; Diaz, S.; Dietz, T.; Duraiappah, A. K.; Oteng-Yeboah, A.; Pereira, H. M.; Perrings, C.; Reid, W. V.; Sarukhan, J.; Scholes, R. J.; Whyte, A. (2009): Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 106, S. 1305-1312. DOI 10.1073/pnas.0808772106
- Chausson, A.; Turner, B.; Seddon, D.; Chabaneix, N.; Girardin, C. A. J.; Kapos, V.; Key, I.; Roe, D.; Smith, A.; Woroniecki, S.; Seddon, N. (2020): Mapping the effectiveness of nature-based solutions for climate change adaptation. In: *Global Change Biology* 26, S. 6134-6155. DOI 10.1111/gcb.15310

- Cook, D.; Malinauskaite, L.; Davíðsdóttir, B.; Ögmundardóttir, H. (2021): Co-production processes underpinning the ecosystem services of glaciers and adaptive management in the era of climate change. In: *Ecosystem Services* 50, S. 101342. DOI 10.1016/j.ecoser.2021.101342
- Costanza, R.; d'Arge, R.; de Groot, R.; Farber, S.; Grasso, M.; Hannon, B.; Limburg, K.; Naeem, S.; Oneill, 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. In: *Nature* 387 (6630), S. 253-260. DOI 10.1038/387253a0
- Costanza, R.; de Groot, R.; Braat, L.; Kubiszewski, I.; Fioramonti, L.; Sutton, P.; Farber, S.; Grasso, M. (2017): Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? In: *Ecosystem Services* 28, S. 1-16. DOI 10.1016/j.ecoser.2017.09.008
- Costanza, R.; de Groot, R.; Sutton, P.; van der Ploeg, S.; Anderson, S. J.; Kubiszewski, I.; Farber, S.; Turner, R. K. (2014): Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change* 26, S. 152–158. DOI 10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002
- de Groot, R. S.; Alkemade, R.; Braat, L.; Hein, L.; Willemsen, L. (2010): Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. In: *Ecological Complexity* 7, S. 260-272. DOI 10.1016/j.ecocom.2009.10.006
- de Groot, R. S.; Brander, L.; van der Ploeg, S.; Costanza, R.; Bernard, F.; Braat, L.; Christie, M.; Crossman, N.; Ghermandi, A.; Hein, L.; Hussain, S.; Kumar, P.; McVittie, A.; Portela, R.; Rodriguez, L.C.; ten Brink, P.; van Beukering, P. (2012): Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services* 1, S. 50-61. DOI 10.1016/j.ecoser.2012.07.005
- Diehl, K.; Burkhard, B.; Jacob, K. (2016): Should the ecosystem services concept be used in European Commission impact assessment? In: *Ecological Indicators* 61, S. 6-17. DOI 10.1016/j.ecolind.2015.07.013
- Drescher, M.; Perera, A. H.; Johnson, C. J.; Buse, L. J.; Drew, C. A.; Burgman, M. A. (2013): Toward rigorous use of expert knowledge in ecological research. In: *Ecosphere* 4, S. art83. DOI 10.1890/ES12-00415.1
- Dudgeon, D.; Arthington, A. H.; Gessner, M. O.; Kawabata, Z. I.; Knowler, D. J.; Lévêque, C.; Naiman, R. J.; Prieur-Richard, A. H.; Soto, D.; Stiassny, M. L. J.; Sullivan, C. A. (2006): Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges 81, S. 163-182. DOI 10.1017/S1464793105006950
- Ekka, A.; Pande, S.; Jiang, Y.; v. der Zaag, P. (2020). Anthropogenic Modifications and River Ecosystem Services: A Landscape Perspective. In: *Water (Switzerland)* 12, S. 2706-2727. DOI 10.3390/w12102706
- Europäische Kommission (2011): Our life insurance, our natural capital: an EU biodiversity strategy to 2020. European Commission. COM (2011) 244, Brussels. Aus: <https://op.europa.eu/s/zWAb>, Stand: 16.09.2024
- Fagerholm, N.; Martín-López, B.; Torralba, M.; Oteros-Rozas, E.; Lechner, A. M.; Bieling, C.; Stahl Olafsson, A.; Albert, C.; Raymond, C. M.; Garcia-Martin, M.; Gulsrud, N.; Plieninger, T. (2020): Perceived contributions of multi-functional landscapes to human well-being: Evidence from 13 European sites. In: *People and Nature* 2, S. 217-234. DOI 10.1002/pan3.10067
- Febria, C. M.; Koch, B. J.; Palmer, M. A. (2015): Operationalizing an ecosystem services-based approach for managing river biodiversity, In: Gordon, I.J.; Martin-Ortega, J.; Ferrier, R.C.; Khan, S. (Eds.), In: *Water Ecosystem Services: A Global Perspective*. Cambridge University Press, Cambridge, S. 26-34. DOI 10.1017/CBO9781316178904.005
- Ferraro, P. J.; Pattanayak, S. K. (2006): Money for nothing? A call for empirical evaluation of biodiversity conservation investments. In: *PLOS Biology* 4, S. e105. DOI 10.1371/journal.pbio.0040105
- Fischer, J.; Meacham, M.; Queiroz, C. (2017): A plea for multifunctional landscapes. In: *Frontiers in Ecology and the Environment* 15, S. 59-59. DOI 10.1002/fee.1464

- Fisher, B.; Turner, K. R. (2008): Ecosystem services: classification for valuation. In: *Biological Conservation*, 141, S. 1167-1169. DOI 10.1890/07-1537.1
- Fisher, B.; Turner, K. R.; Morling, P. (2009): Defining and classifying ecosystem services for decision making. In: *Ecological Economics* 68 (3), S. 643–653. DOI 10.1016/j.ecolecon.2008.09.014
- Fu, B. J.; Su, C. H.; Wei, Y. P.; Willett, I. R.; Lü, Y. H.; Liu, G. H. (2011). Double counting in ecosystem services valuation: causes and countermeasures, In: *Ecological research*, 26(1), S. 1-14. DOI 10.1007/s11284-010-0766-3
- Getzner, M.; Schneider, A. (2019): Bewertung der Ökosystemleistungen des integrativen Hochwasserschutzes (GE-RM / Stream~Land). Forschungsbericht, Technische Universität Wien. Aus: <https://www.umweltdachverband.at/assets/Umweltdachverband/Themen/Wasser/STREAMLAND/Bewertung-von-OeSL-Bericht-TU-Wien-StreamLand-UWD.pdf>, Stand: 26.09.2023
- Greenberg, D.; Linksz, D.; Mandell, M. (2003): *Social Experimentation and Public Policy Making*. Urban Institute, Washington, DC, S. 1-335
- Grizzetti, B.; Lanzanova, D.; Lique Garcia, M. d. C.; Reynaud, A.; Cardoso, A. (2016): Assessing water ecosystem services for water resource management. *Environmental Science and Policy* 61, S. 194-203. DOI 10.1016/j.envsci.2016.04.008
- Grizzetti, B.; Lanzanova, D.; Lique Garcia, M. d. C.; Reynaud, A.; Rankinen, K.; Hellsten, S.; Forsius, M.; Cardoso, A. (2015): *Cook-book for water ecosystem service assessment and valuation*. EUR 27141, JRC9468, Publications Office of the European Union, Luxembourg (Luxembourg), S. 1-136. DOI 10.2788/67661
- Grossmann, M.; Hartje, V.; Meyerhoff, J. (2010): *Ökonomische Bewertung naturverträglicher Hochwasservorsorge an der Elbe*. Naturschutz und Biologische Vielfalt 89. Bundesamt für Naturschutz, Bonn. Aus: <https://www.bfn.de/publikationen/schriftenreihe-naturschutz-biologische-vielfalt/nabiv-heft-89-oekonomische-bewertung>, Stand: 16.09.2024
- Grunewald, K.; Bastian, O. (2013): *Ökosystemdienstleistungen – Konzept, Methoden und Fallbeispiele*. Springer Spektrum, Berlin/Heidelberg, S. 332. DOI 10.1007/978-3-8274-2987-2
- Haines-Young, R.; Potschin, M. B. (2010): The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. D. G. Raffaelli, C. L. J. Frid (Eds.), *Ecosystem Ecology: A New Synthesis*, Cambridge University Press, Cambridge, S. 110-139. DOI 10.1017/CBO9780511750458.007
- Haines-Young, R.; Potschin, M. B. (2017): Linking people and nature: Socio-ecological systems. B. Burkhard, J. Maes (Eds.), *Ecosystem Services Mapping*, Pensoft Publishers, Bulgaria, S. 41-43. DOI 10.1093/acprof:oso/9780199563562.003.0035
- Haines-Young, R.; Potschin, M. B. (2018): *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure*. Aus: <https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf>, Stand: 26.09.2023
- Hanna, D. E. L.; Tomscha, S. A.; Ouellet Dallaire, C.; Bennett, E. M. (2018): A review of riverine ecosystem service quantification: Research gaps and recommendations. In: *Applied Ecology* 55, S. 1299-1311. DOI 10.1111/1365-2664.13045
- Hauck, J.; Schleyer, C.; Winkler, K.J.; Maes, J. (2014): Shades of Greening: Reviewing the Impact of the new EU Agricultural Policy on Ecosystem Services. In: *Change and Adaptation in Socio-Ecological Systems* 1, S. 51-62. DOI 10.2478/cass-2014-0006
- Hearnshaw, E. J. S.; Cullen, R.; Hughey, K. F. D. (2010): Ecosystem services review of water projects, 2010 Conference (54th) Australian Agricultural and Resource Economics Society, Adelaide, 10-12.02.2010, Adelaide. DOI 10.22004/ag.econ.58895

- Hein, L.; van Koppen, K.; de Groot, R. S.; van Ierland, E. C. (2006): Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. In: *Ecological Economics* 57, S. 209-228. DOI 10.1016/j.ecolecon.2005.04.005
- Heink, U.; Hauck, J.; Jax, K.; Sukopp, U. (2016): Requirements for the selection of ecosystem service indicators – The case of MAES indicators. In: *Ecological Indicators*, 61, S. 18–26. DOI 10.1016/j.ecolind.2015.09.031
- Hermoso, V.; Kennard, M. J.; Linke, S. (2012): Integrating multidirectional connectivity requirements in systematic conservation planning for freshwater systems. In: *Diversity and Distributions* 18, S. 448-458. DOI 10.1111/j.1472-4642.2011.00879.x
- Hornung, L. K.; Podschun, S. A.; Pusch, M. (2019): Linking ecosystem services and measures in river and floodplain management. In: *Ecosystems and People* 15. S. 214-31. DOI 10.1080/26395916.2019.1656287
- Jacobs, S.; Dendoncker, N.; Martín-López, B.; Barton, D. N.; Gomez-Baggethun, E.; Boeraeve, F.; McGrath, F. L.; Vierikko, K.; Geneletti, D.; Sevecke, Katharina J.; Pipart, N.; Primmer, E.; Mederly, P.; Schmidt, S.; Aragão, A.; Baral, H.; Bark, Rosalind H.; Briceno, T.; Brogna, D.; Cabral, P.; De Vreese, R.; Liquete, C.; Mueller, H.; Peh, K. S. H.; Phelan, A.; Rincón, Alexander R.; Rogers, S. H.; Turkelboom, F.; Van Reeth, W.; van Zanten, B. T.; Wam, H. K.; Washbourne, C. L. (2016): A new valuation school: Integrating diverse values of nature in resource and land use decisions. *Ecosystem Services* 22, Part B, S. 213-220. DOI 10.1016/j.ecoser.2016.11.007
- Jakubínský, J.; Prokopová, M.; Raška, P.; Salvati, L.; Bezak, N.; Cudlín, O.; Cudlín, P.; Purkyt, J.; Vezza, P.; Campo-reale, C.; Daněk, J.; Pástor, M.; Lepeška, T. (2021): Managing floodplains using nature-based solutions to support multiple ecosystem functions and services. In: *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 8(5), S. e1545. DOI 10.1002/wat2.1545
- Kaiser, N. N.; Feld, C. K.; Stoll, S. (2020): Does river restoration increase ecosystem services? In: *Ecosystem Services* 46, S. 101206. DOI 10.1016/j.ecoser.2020.101206
- Kistenkas, F. H.; Bouwma, I. M. (2018): Barriers for the ecosystem services concept in European water and nature conservation law. In: *Ecosystem Services* 29, S. 223-227. DOI 10.1016/j.ecoser.2017.02.013
- Klösch, M.; Pessenlehner, S.; Dunst, R.; Langendoen, E. J.; Liébault, F.; Goltara, A.; Aigner, J.; Reeb, F.; Bertrand, M.; Habersack, H. (2019): HyMoCARES Project WPT2. Integrating hydromorphological assessment and management at different scales D.T2.2.1 Technical notes on a multi-scale framework for assessing the hydromorphological conditions of Alpine rivers. Aus: <https://www.alpine-space.eu/wp-content/uploads/2022/12/D.T2.2.1-Technical-notes-on-a-multi-scale-framework-for-assessing-the-hydromorphological-conditions-of-Alpine-rivers.pdf>, Stand: 26.09.2023
- Lautenbach, S.; Volk, M.; Gruber, B.; Dormann, C. F. (2010): Quantifying Ecosystem Service Trade-offs. International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs), Ottawa, Canada, S. 1-8. Aus: <https://www.biometrie.uni-freiburg.de/mitarbeiter/dormann/lautenbach2010iemsconference-estradeoffs.pdf>, Stand: 16.09.2024
- LAWA-BLANO – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser und der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Nord- und Ostsee (2020): LAWA-BLANO Maßnahmenkatalog (WRRL, HWRMRL, MSRL). LAWA Arbeitsprogramm Flussgebietsbewirtschaftung LAWA. Aus: [https://www.lawa.de/documents/lawa-blano-massnahmenkatalog\\_1594133389.pdf](https://www.lawa.de/documents/lawa-blano-massnahmenkatalog_1594133389.pdf), Stand: 26.09.2023
- Le, T. A. T.; Vodden, K.; Wu, J.; Atiwesh, G. (2023): Trade-offs and synergies in ecosystem services for sustainability. *Frontiers in Sustainable Resource Management* 2. DOI 10.3389/fsrma.2023.1129396
- Lorenz, A. W.; Feld, C. K. (2013): Upstream river morphology and riparian land use overrule local restoration effects on ecological status assessment. In: *Hydrobiologia* 704, S. 489-501. DOI 10.1007/s10750-012-1326-3
- Mbow, C.; Neely, C.; Dobie, P. (2015): How can an integrated landscape approach contribute to the implementation of the Sustainable Development Goals (SDGs) and advance climate-smart objectives? In Minang, P. A.; van Noordwijk, M.; Freeman, O. E.; Mbow, C.; de Leeuw, J.; & Catacutan, D. (Eds.) *Climate-Smart*

Landscapes: Multi-functionality in Practice, 103-117. Nairobi, Kenya: World Agroforestry Centre (ICRAF). Aus: <http://www.asb.cgiar.org/climate-smart-landscapes/chapters/chapter8.pdf>, Stand: 26.09.2023

Millennium Ecosystem Assessment (2005): Ecosystems and human well-being: Multiscale assessments. Island Press. Washington, DC.

Moher, D.; Liberati, A.; Tetzlaff, J.; Altman, D. G. (2010): PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *International Journal of Surgery* 8 (5), S. 336-341. DOI 10.1371/journal.pmed.1000097

Müller, A.; J. Kranl & T. Pottgiesser (2024): Den Gewässern mehr Raum geben. Chancen und Synergien eines bundesweiten Flächenziels für die Gewässerentwicklung. - Umweltbundesamt Hrsg. - Dessau.

Naturkapital Deutschland – TEEB-DE (2016): Ökosystemleistungen in ländlichen Räumen – Grundlage für menschliches Wohlergehen und nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung. Leibniz Universität Hannover, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Leipzig, Hannover, Leipzig, S. 1-372. Aus: [https://www.ufz.de/export/data/global/190505\\_TEEB\\_DE\\_Landbericht\\_Langfassung.pdf](https://www.ufz.de/export/data/global/190505_TEEB_DE_Landbericht_Langfassung.pdf), Stand: 16.09.2024

NWRM – Natural Water Retention Measures (2015): Synthesis document n°2. Biophysical impacts and effectiveness of Natural Water Retention Measures, and their contribution to policy objectives. Service contract n°07.0330/2013/659147/SER/ENV.C1. Aus: [http://nwrn.eu/sites/default/files/sd2\\_final\\_version.pdf](http://nwrn.eu/sites/default/files/sd2_final_version.pdf), Stand: 26.09.2023

NWRM – Natural Water Retention Measures (2016): Selecting, designing and implementing Natural Water Retention Measures in Europe. Capturing the multiple benefits of nature-based solutions. Aus: <http://nwrn.eu/id-card/files/assets/basic-html/index.html#1>, Stand: 26.09.2023

Page, M. J.; McKenzie, J. E.; Bossuyt, P. M.; Boutron, I.; Hoffmann, T. C.; Mulrow, C. D.; Shamseer, L.; Tetzlaff, J. M.; Akl, E. A.; Brennan, S. E.; Chou, R.; Glanville, J.; Grimshaw, J. M.; Hróbjartsson, A.; Lalu, M. M.; Li, T.; Loder, E. W.; Mayo-Wilson, E.; McDonald, S.; McGuinness, L. A.; Stewart, L. A.; Thomas, J.; Tricco, A. C.; Welch, V. A.; Whiting, P.; Moher, D. (2021): The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. In: *British Medical Journal* 372, S. n71. DOI doi.org/10.1136/bmj.n71

Perosa, F.; Seitz, L. F.; Zingraff-Hamed, A.; Disse, M. (2022): Flood risk management along German rivers – A review of multi-criteria analysis methods and decision-support systems. In: *Environmental Science and Policy* 135, S. 191-206. DOI 10.1016/j.envsci.2022.05.004

Petsch, D. K.; Cionek, V. d. M.; Thomaz, S. M.; dos Santos, N. C. L. (2023): Ecosystem services provided by river-floodplain ecosystems. In: *Hydrobiologia* 850, S. 2563-2584. DOI 10.1007/s10750-022-04916-7

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. + XIII. Aus: <https://bit.ly/RESI-Handbuch>, Stand: 26.09.2023

Podschun, S. A.; Thiele, J.; Dehnhardt, A.; Mehl, D.; Hoffmann, T.; Albert, C.; Haaren, C.; Deutschmann, K.; Fischer-Bedtker, C.; Scholz, M.; Costea, G.; Pusch, M. (2018b): Das Konzept der Ökosystemleistungen – eine Chance für Integratives Gewässermanagement. In: *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 62, H.6, S. 453-468. DOI 10.5675/HyWa\_2018,6\_7

Primmer, E.; Furman, E. (2012): Operationalising ecosystem service approaches for governance: Do measuring, mapping and valuing integrate sector-specific knowledge systems? In: *Ecosystem Services* 1, S. 85-92. DOI 10.1016/j.ecoser.2012.07.008

- Ring, I.; Hansjürgens, B.; Elmqvist, T.; Wittmer, H.; Sukhdev, P. (2010): Challenges in framing the economics of ecosystems and biodiversity: the TEEB initiative. In: *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2, S. 15-26. DOI 10.1016/j.cosust.2010.03.005
- Rodríguez, J. P.; Beard, T. D.; Bennett, E. M.; Cumming, G.S.; Cork, S. J.; Agard, J.; Dobson, A. P.; Peterson, G. D. (2006): Trade-offs across Space, Time, and Ecosystem Services. In: *Ecology and Society* 11, S. 1-15. DOI 10.5751/ES-01667-110128
- Ruangpan, L.; Vojinovic, Z.; Di Sabatino, S.; Leo, L. S.; Capobianco, V.; Oen, A. M. P.; McClain, M. E.; Lopez-Gunn, E. (2020): Nature-based solutions for hydro-meteorological risk reduction: a state-of-the-art review of the research area. In: *Natural Hazards Earth System Science* 20, S. 243-270. DOI 10.5194/nhess-20-243-2020
- Russi D.; ten Brink, P.; Farmer, A.; Badura, T.; Coates, D.; Förster, J.; Kumar, R.; Davidson, N. (2013): *The Economics of Ecosystems and Biodiversity for Water and Wetlands*. IEEP; Ramsar Secretariat, Gland, London, Brussels, S. 1-84. Aus: <https://www.cbd.int/financial/values/g-ecowaterwetlands-teeb.pdf>, Stand: 16.09.2024
- Saidi, N.; Spray, C. (2018): Ecosystem services bundles: challenges and opportunities for implementation and further research. *Environmental Research Letters* 13, S. 113001. DOI 10.1088/1748-9326/aae5e0
- Schäfer, A.; Kowatsch, A. (2015): *Gewässer und Auen – Nutzen für die Gesellschaft*. Aus: [https://www.bfn.de/sites/default/files/2021-07/Brosch%C3%BCre\\_Gesell\\_Nutzen\\_Gewaes\\_Auen.pdf](https://www.bfn.de/sites/default/files/2021-07/Brosch%C3%BCre_Gesell_Nutzen_Gewaes_Auen.pdf), Stand: 26.09.2023
- Schindler, S.; O’Neill, F.H.; Biró, M.; Damm, C.; Gasso, V.; Kanka, R.; van der Sluis, T.; Krug, A.; Lauwaars, S.G.; Sebesvari, Z.; Pusch, M.; Baranovsky, B.; Ehlert, T.; Neukirchen, B.; Martin, J.R.; Euller, K.; Mauerhofer, V.; Wrbka, T. (2016): Multifunctional floodplain management and biodiversity effects: a knowledge synthesis for six European countries. In: *Biodiversity and Conservation* 25, S. 1349-1382. DOI 10.1007/s10531-016-1129-3
- Schindler, S.; Sebesvari, Z.; Damm, C.; Euller, K.; Mauerhofer, V.; Schneidergruber, A.; Biró, M.; Essl, F.; Kanka, R.; Lauwaars, S.G.; Schulz-Zunkel, C.; van der Sluis, T.; Kropik, M.; Gasso, V.; Krug, A.; T. Pusch, M.; Zulka, K.P.; Lazowski, W.; Hainz-Renetzeder, C.; Henle, K.; Wrbka, T. (2014): Multifunctionality of floodplain landscapes: relating management options to ecosystem services. In: *Landscape Ecology* 29, S. 229-244. DOI 10.1007/s10980-014-9989-y
- Schmidt, S.; Guerrero, P.; Albert, C. (2022): Advancing Sustainable Development Goals with localised nature-based solutions: Opportunity spaces in the Lahn river landscape, Germany. In: *Journal of Environmental Management* 309, S. 114696. DOI 10.1016/j.jenvman.2022.114696
- 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). S. 1-257. DOI 1029681686
- Shadish, W. R.; Cook, T. D.; Leviton, L. C. (1991): *Foundations of program evaluation: theories of practice*. Sage Publications Newbury Park, California, S. 1-529
- Shi, J.; Li, S.; Song, Y.; Zhou, N.; Guo, K.; Bai, J. (2022): How socioeconomic factors affect ecosystem service value: Evidence from China. In: *Ecological Indicators* 145, S. 109589. DOI 10.1016/j.ecolind.2022.109589
- Spangenberg, J. H.; von Haaren, C.; Settele, J. (2014): The ecosystem service cascade: Further developing the metaphor. Integrating societal processes to accommodate social processes and planning, and the case of bioenergy. *Ecological Economics* 104, S. 22-32. DOI 10.1016/j.ecolecon.2014.04.025
- TEEB – The Economics of Ecosystems and Biodiversity (2011): *The Economics of Ecosystems and Biodiversity in national and international policy making*. Earthscan. London, Washington.

- TNS-EMNID – Taylor Nelson Sofres und Emnid (2008): Flüsse und Flussgebiete – Ergebnisse einer Repräsentativbefragung unter der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Berlin.
- Tockner, K.; Stanford, J. A. (2002): Riverine flood plains: present state and future trends. In: *Environmental Conservation* 29, S. 308-330. DOI 10.1017/S037689290200022X
- UN WWAP – United Nations World Water Assessment Programme (2018): The United Nations World 1027 Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water. UNESCO, Paris. Aus: <http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002614/261424e.pdf>, Stand: 26.09.2023
- Van der Sluis, T. (2021): Chapter B.III: Co-benefits (ecosystem services) of measures to consolidate the Natura 2000 network. In: Van der Sluis, T, Schmidt, A.M. (2021). E-BIND Handbook (Part B): Scientific support for successful implementation of the Natura 2000 network. Aus: [https://www.ecologic.eu/sites/default/files/publication/2021/B3\\_Ecosystem-Services.pdf](https://www.ecologic.eu/sites/default/files/publication/2021/B3_Ecosystem-Services.pdf), Stand: 26.09.2023
- Vidal-Abarca Gutiérrez, M. R.; Nicolás-Ruiz, N.; Sánchez-Montoya, M. d. M.; Suárez Alonso, M. L. (2023): Ecosystem services provided by dry river socio-ecological systems and their drivers of change. In: *Hydrobiologia* 850, S. 2585-2607. DOI 10.1007/s10750-022-04915-8
- Völker, J.; Arle, J.; Baumgarten, C.; Blondzik, K.; Frauenstein, J.; Hilliges, F.; Hofmeier, M.; Krakau, M.; Mönnich, J.; Mohaupt, V.; Naumann, S.; Osiek, D.; Rechenberg, J.; Richter, N.; Schnäckel, A.; Schulte, C.; Ullrich, A.; Vetter, F. (2022): Die Wasserrahmenrichtlinie – Gewässer in Deutschland 2021. Fortschritte und Herausforderungen. Bonn, Dessau. Aus: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/221010\\_uba\\_fb\\_wasserrichtlinie\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/221010_uba_fb_wasserrichtlinie_bf.pdf), Stand: 01.02.2024
- Von Haaren, C.; Albert, C.; Barkmann, J.; de Groot, R. S.; Spangenberg, J. H.; Schröter-Schlaack, C.; Hansjürgens, B. (2014): From explanation to application: introducing a practice-oriented ecosystem services evaluation (PRESET) model adapted to the context of landscape planning and management. *Landscape Ecology* 29, S. 1335-1346. DOI 10.1007/s10980-014-0084-1
- Von Keitz, S.; Dehnhardt, A.; Klauer, B.; Scholz, M.; Anlauf, A.; Barkmann, J.; Birzle-Harder, B.; Deffner, J.; Fuchs, E.; Gerisch, M.; Haase, P.; Meyerhoff, J.; Schmidt-Wygasch, C.; Schröder, U.; Siewert, A. (2016): Ökosystemleistungen von Gewässern und Auen, In: Von Haaren, C.; Albert, C. (Ed.), *Naturkapital Deutschland – TEEB-DE, Ökosystemleistungen in ländlichen Räumen – Grundlage für menschliches Wohlergehen und nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung*. Leibniz Universität Hannover, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Leipzig, Hannover, Leipzig, S. 207-233. Aus: [https://www.ufz.de/export/data/global/190505\\_TEEB\\_DE\\_Landbericht\\_Langfassung.pdf](https://www.ufz.de/export/data/global/190505_TEEB_DE_Landbericht_Langfassung.pdf), Stand: 16.09.2024
- Wallace, K. J. (2007): Classification of ecosystem services: problems and solutions. In: *Biological Conservation* 139 (3–4), S. 235-246. DOI 10.1016/j.biocon.2007.07.015
- Wegner, G.; Pascual, U. (2011): Cost-benefit analysis in the context of ecosystem services for human well-being: A multidisciplinary critique. *Global Environmental Change* 21: 492-504. DOI 10.1016/j.gloenvcha.2010.12.008
- Xu, X.; Chen, M.; Yang, G.; Jiang, B.; Zhang, J. (2020): Wetland ecosystem services research: A critical review. *Global Ecology and Conservation* 22, S. e01027. DOI 10.1016/j.gecco.2020.e01027
- Yeakley, J. A.; Ervin, D. Chang, H.; Granek, E. F.; Dujon, V.; Shandas, V.; Brown, D. (2016): Ecosystem services of streams and rivers. In: *River Science*, S. 335-352. DOI 10.1002/9781118643525.ch17

## Anhang

### A.1 Zusammenfassung von Ökosystemleistungen in Fließgewässern und Auen, die in acht Reviewstudien gefunden wurden.

Typ	Hanna et al. 2017	Basak et al. 2021	Vidal-Abarca Gutiérrez et al. 2022	Perosa et al. 2022	Jakubínský et al. 2021	Cook et al. 2021	Kaiser et al. 2020	Xu et al. 2020
Trinkwasserversorgung	46	17	6	10	4	4	7	28
Landwirtschaft	13	16		5			4	
Nahrungsmittelversorgung	18		8			1	2	
Fischerei	12	10						
Rohstoffproduktion	17		6		3			42
Wasserkraft	9					2	5	
Brauchwasserversorgung	7						9	
Energieproduktion	3	4	1	3				4
Holz für Handwerk	8						2	
Flusstransport (Schifffahrt)	3			6				
Versorgung mit Wildtieren							7	
Natürliche Medizin			4					
Ressourcen für Zierpflanzen								1

Typ	Hanna et al. 2017	Basak et al. 2021	Vidal-Abarca Gutiérrez et al. 2022	Perosa et al. 2022	Jakubínský et al. 2021	Cook et al. 2021	Kaiser et al. 2020	Xu et al. 2020
Wasserqualität	29		3		6	5	28	177
Habitatbereitstellung	23	4	5		9		3	202
Nährstoffregulierung	20		6	1				107
Regulierung des Wasserabflusses	9	9			9			55
Hochwasserschutz	17	8		12			21	
Klimaregulierung (regional und lokal)	5	9	3		7	1	8	23
Erosionsschutz	21		3					7
Bodenbildung (Qualität)	10	3	1		3			8
Speicherung von Kohlenstoff	16				7	1		
Minderung von Naturgefahren	2		1					13
Abiotische Filterung und Speicherung							15	
Biologische Kontrolle	3							7
Luftqualität	1	5						3
Bestäubung			3					6
Biofiltration	1						7	
Abfallbehandlung	7							

Typ	Hanna et al. 2017	Basak et al. 2021	Vidal-Abarca Gutiérrez et al. 2022	Perosa et al. 2022	Jakubínský et al. 2021	Cook et al. 2021	Kaiser et al. 2020	Xu et al. 2020
Gasregulierung	6							
Genetische Ressourcen			1				4	1
Regulierung der Wassertemperatur	2							
Erholung und Tourismus	47	24	5	4	7	2	25	33
Ästhetik, Landschaftsbild	19	14	2		5	1	14	4
Kulturerbe und Identitätsbewusstsein	15		4		3	5	5	1
Bildung	11	6	5			3	1	2
Spirituelle und religiöse Räume	2	5	3			3	5	
(künstlerische) Inspiration						6		1
Vogelbeobachtung		4						
Medizinische Pflanzen	2							

Die Daten wurden für die Abbildung 2 verwendet.