

Simone A. Podschun | Christian Albert | Gabriela Costea | Christian Damm | Alexandra Dehnhardt  
Christine Fischer | Helmut Fischer | Francis Foeckler | Marion Gelhaus | Lars Gerstner  
Volkmar Hartje | Tim G. Hoffmann | Lena Hornung | Janette Iwanowski | Hans Kasperidus  
Kathrin Linnemann | Dietmar Mehl | Marin Rayanov | Stephanie Ritz | Andrea Rumm  
Achim Sander | Matthias Schmidt | Mathias Scholz | Christiane Schulz-Zunkel | Barbara Stammel  
Julia Thiele | Markus Venohr | Christina von Haaren | Marcus Wildner | Martin Pusch

# RESI - Anwendungshandbuch

**Ökosystemleistungen von Flüssen und Auen erfassen und bewerten**

Berichte des IGB  
Heft 31/2018



Simone A. Podschun | Christian Albert | Gabriela Costea | Christian Damm | Alexandra Dehnhardt  
Christine Fischer | Helmut Fischer | Francis Foeckler | Marion Gelhaus | Lars Gerstner  
Volkmar Hartje | Tim G. Hoffmann | Lena Hornung | Janette Iwanowski | Hans Kasperidus  
Kathrin Linnemann | Dietmar Mehl | Marin Rayanov | Stephanie Ritz | Andrea Rumm  
Achim Sander | Matthias Schmidt | Mathias Scholz | Christiane Schulz-Zunkel | Barbara Stammel  
Julia Thiele | Markus Venohr | Christina von Haaren | Marcus Wildner | Martin Pusch

# RESI - Anwendungshandbuch

**Ökosystemleistungen von Flüssen und Auen erfassen und bewerten**

RESI  
**2018**

Berichte des IGB  
**Heft 31/2018**

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**NaWaM**  
Nachhaltiges Wassermanagement



**ReWaM**



**FONA**

Forschung für Nachhaltige  
Entwicklung

BMBF

# Impressum

## Herausgeber

Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB)  
im Forschungsverbund Berlin e. V.  
Müggelseedamm 310  
12587 Berlin

## Direktor

Prof. Dr. Mark Gessner (a.i.)

## Gestaltung

Layout: Matthias Schmidt, Unicom Werbeagentur GmbH  
Konzept/Darstellung: Matthias Schmidt, Simone A. Podschun, Lena Hornung

## Druck

Speedruck

## Zitiervorschlag

Podschun, S. A., Albert, C., Costea, G., Damm, C., Dehnhardt, A., Fischer, C., Fischer, H., Foekler, 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. (2018). RESI - Anwendungshandbuch: Ökosystemleistungen von Flüssen und Auen erfassen und bewerten. IGB-Berichte Heft 31/2018, 187 S. + XI, ISSN: 1432-508X, DOI: 10.4126/FRL01-006410777

Diese Publikation ist auch verfügbar unter [www.resi-project.info/handbuch](http://www.resi-project.info/handbuch)



Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

Gedruckt aus Mitteln des BMBF-Projekts RESI der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG),  
Förderkennzeichen 033W024C

© IGB 2018



### Förderhinweis

Das Verbundprojekt „River Ecosystem Service Index“ (RESI) wurde vom 01.06.2015 bis zum 31.10.2018 (Förderkennzeichen: 033W024A-K) mit Mitteln des *Bundesministeriums für Bildung und Forschung* (BMBF) in der Fördermaßnahme „Regionales Wasserressourcenmanagement für den nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland“ (ReWaM) gefördert. ReWaM ist Teil des BMBF-Förderschwerpunktes „Nachhaltiges Wassermanagement“ (NaWaM) im Forschungsrahmenprogramm „Forschung für nachhaltige Entwicklung“ (FONA<sup>3</sup>). Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

### Danksagung

Die Autoren danken dem *BMBF* und dem *Projektträger Jülich* der Forschungszentrum Jülich GmbH für die Förderung und Betreuung im Rahmen von ReWaM. Weiterer Dank gilt den Beiratsmitgliedern Bernd Neukirchen *Bundesamt für Naturschutz* (BfN), Dr. Jörg Rechenberg vom *Umweltbundesamt* (UBA) sowie Christoph Linnenweber als Vertreter der *Länderarbeitsgemeinschaft Wasser* (LAWA).

Außerdem bedanken wir uns bei unseren Praxispartner\*innen *Bayerisches Landesamt für Umwelt* (LfU Bayern), *Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz* (LUWG), *Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg* (LUBW), *Living Rivers* (gemeinnützige Stiftung, Wiesbaden), *Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie des Landes Sachsen Anhalt* und *Wupperverband*. Persönlich möchten wir für die aktive Teilnahme und Unterstützung Kai Deutschmann (LfU Bayern, Fallstudie Donau), Christoph Linnenweber und Erika Mirbach (LUWG, Fallstudie Nahe) sowie Dr. Wilfried Scharf (Wupperverband, Fallstudie Wupper) danken.

Nicht zuletzt möchten wir uns herzlich bei den Mitarbeiter\*innen des Vernetzungsprojekts ReWaMnet für inspirierende Diskussionen auf den Treffen bedanken, sowie auch bei den zahlreichen Studierenden und Hilfskräften für motivierte Arbeit und unterstützende Abschlussarbeiten, und auch bei den Teilnehmer\*innen der RESI-Umfragen für ihre Bereitschaft zur Mitwirkung.

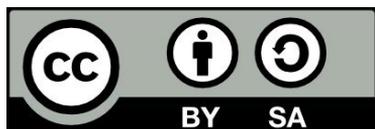
### Lizenz unter Creative Commons

Der Inhalt dieses Buches, für den jegliche Haftung ausgeschlossen wird, steht unter der Lizenzpflicht „Creative Commons Namensnennung-Share Alike 4.0 International – CC BY-SA 4.0“.

BY: Namensnennung entsprechend des Zitiervorschlags im Impressum

SA: Weitergabe unter gleichen Lizenzbedingungen

siehe <https://de.creativecommons.org>



## Forschungsinstitutionen

Logo	Institut	Adresse	Autoren
 <p>Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei</p>	<p>Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB)</p> <p>Abteilung Ökosystemforschung</p> <p>Abteilung Ökohydrologie</p>	<p>Müggelseedamm 301, 12587 Berlin</p> <p>Justus-von-Liebig-Str. 7, 12489 Berlin</p>	<p>Martin Pusch</p> <p>Simone A. Podschun</p> <p>Gabriela Costea</p> <p>Matthias Schmidt</p> <p>Lena Horning</p> <p>Markus Venohr</p> <p>Marcus Wildner</p>
 <p>Bundesanstalt für Gewässerkunde</p>	<p>Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)</p>	<p>Am MainzerTor, 156068 Koblenz</p>	<p>Helmut Fischer</p> <p>Kathrin Linnemann</p> <p>Stephanie Ritz</p>
 <p>Karlsruher Institut für Technologie</p>	<p>Karlsruher Institut für Technologie (KIT)</p> <p>Institut für Geographie und Geoökologie</p>	<p>Josefstraße 1, 76437 Rastatt</p>	<p>Christian Damm</p> <p>Lars Gerstner</p>
 <p>KATHOLISCHE UNIVERSITÄT EICHSTÄTT-INGOLSTADT</p>	<p>Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt (KUEI)</p> <p>Aueninstitut Neuburg</p> <p>Professur für Angewandte Physische Geographie</p>	<p>Schloss Grünau, 86633 Neuburg an der Donau</p>	<p>Bernd Cyffka</p> <p>Barbara Stammel</p> <p>Marion Gelhaus</p>
 <p>Leibniz Universität Hannover</p>	<p>Leibniz-Universität Hannover (LUH)</p> <p>Institut für Umweltplanung</p>	<p>Herrenhäuser Straße 2, 30419 Hannover</p>	<p>Christina von Haaren</p> <p>Christian Albert</p> <p>Julia Thiele</p>
 <p>Technische Universität Berlin</p>	<p>Technische Universität Berlin (TUB)</p> <p>Institut für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung (ILAUP)</p> <p>Fachgebiet Landschaftsökonomie</p>	<p>Straße des 17. Juni 145, 10623 Berlin</p>	<p>Alexandra Dehnhardt</p> <p>Volkmar Hartje</p> <p>Marin Rayanov</p>
 <p>HELMHOLTZ ZENTRUM FÜR UMWELTFORSCHUNG UFZ</p>	<p>Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH (UFZ)</p> <p>Department Naturschutzforschung</p>	<p>Permoserstr. 15, 04318 Leipzig</p>	<p>Mathias Scholz</p> <p>Christine Fischer</p> <p>Hans Kasperidus</p> <p>Christiane Schulz-Zunkel</p>

## Kleine und mittlere Unternehmen

Logo	Institut	Adresse	Autoren
	biota – Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH	Nebelring 15, 18246 Bützow	Dietmar Mehl Tim Hoffmann Janette Iwanowski Matthias Schmidt
	DHI-WASY GmbH	Volmerstraße 8, 12489 Berlin	Antje Becker
	entera – Umweltplanung & IT GbR	Fischerstraße 3, 30167 Hannover	Thomas Horlitz Achim Sander
	ÖKON Gesellschaft für Landschaftsökologie, Gewässerbiologie und Umweltplanung mbH	Hohenfelder Str. 4, 93183 Kallmünz	Francis Foeckler Andrea Rumm

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	VIII
Tabellenverzeichnis.....	IX
Abkürzungsverzeichnis.....	X
<b>1 Einführung: Worum geht es in diesem Buch?.....</b>	<b>1</b>
1.1 Auf einen Blick.....	2
1.2 Welche Arbeitshilfen bietetet dieses Handbuch? .....	5
<b>2 Ökosystemleistungen von Flüssen und Auen mit RESI verstehen .....</b>	<b>7</b>
2.1 Einführung.....	8
2.2 Welche Elemente enthält das Ökosystemleistungs-Konzept? .....	8
2.3 Wie fügt sich der RESI in die bisherigen Ökosystemleistungs-Ansätze ein? .....	11
2.4 Welche Vorteile bringt die Anwendung des Ökosystemleistungs-Konzepts in der Praxis? .....	11
2.5 Welche Ökosystemleistungen werden im RESI betrachtet?.....	13
2.5.1 Welche Einteilungen der Ökosystemleistungen nutzt der RESI?.....	13
2.5.2 Versorgende Ökosystemleistungen.....	15
2.5.3 Regulative Ökosystemleistungen.....	16
2.5.4 Kulturelle Ökosystemleistungen.....	17
2.6 Welche Sicht haben die Akteur*innen auf die Ökosystemleistungen von Flüssen und Auen?.....	17
<b>3 Methodische Grundlagen der Erfassung und Bewertung von Ökosystem- leistungen im RESI .....</b>	<b>19</b>
3.1 Wie werden die verschiedenen Ökosystemleistungen im RESI bewertet? .....	20
3.2 In welchen Modellregionen wurde der RESI getestet?.....	23
3.3 Was sind die Grenzen und Möglichkeiten in der Anwendung des RESI-Ansatzes?.....	23
<b>4 Erfassung und Bewertung von Ökosystemleistungen mit dem RESI.....</b>	<b>25</b>
4.1. Wie nutze ich die RESI-Werkzeuge?.....	26
4.1.1 Bewertungskontext.....	26
4.1.2 Betrachtete Ökosystemleistungen.....	27
4.1.3 Bewertung.....	28
4.1.4 Darstellung .....	28
4.1.5 Implementierung.....	28

4.2	Bewertung der versorgenden, regulativen und kulturellen Ökosystemleistungen.....	29
4.3	Wie können die Bewertungen der Ökosystemleistungen im RESI zusammengefasst werden? .....	133
<b>5.</b>	<b>Die Anwendung des RESI in der Praxis .....</b>	<b>135</b>
5.1	Wie kann der RESI eingesetzt werden?.....	136
5.2	Detaillierte Anwendung des RESI am Fallbeispiel Donau.....	138
5.2.1	Bewertungskontext.....	139
5.2.2	Betrachtete Ökosystemleistungen.....	140
5.2.3	Bewertung.....	141
5.2.4	Darstellung .....	141
5.2.5	Implementierung.....	142
5.3	Detaillierte Anwendung des RESI am Fallbeispiel Nahe .....	149
5.3.1	Bewertungskontext.....	150
5.3.2	Betrachtete Ökosystemleistungen.....	152
5.3.3	Bewertung.....	152
5.3.4	Darstellung .....	152
5.3.5	Implementierung.....	155
5.4	Fallbeispiel Nebel.....	158
5.4.1	Bewertungskontext.....	159
5.4.2	Betrachtete Ökosystemleistungen.....	160
5.4.3	Bewertung.....	160
5.4.4	Darstellung .....	161
5.4.5	Implementierung.....	161
5.5	Fallbeispiel Wupper .....	165
5.5.1	Bewertungskontext.....	166
5.5.2	Betrachtete Ökosystemleistungen.....	166
5.5.3	Bewertung.....	166
5.5.4	Darstellung .....	167
5.5.5	Implementierung.....	167
5.6	Erfahrungen aus der Arbeit mit dem RESI.....	170
	<b>Glossar.....</b>	<b>171</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>178</b>
	<b>Liste der bisher veröffentlichten Berichte des IGB .....</b>	<b>184</b>

# Abbildungsverzeichnis

1-1	Übersicht über die Kapitel des Buches.....	5
2-1	Darstellung der Haupt- und Untergruppen der im RESI-Projekt identifizierten ÖSL, die in Flusslandschaften relevant sind.....	14
3-1	Schematische Darstellung der Fluss-Auen-Kompartimente in der morphologischen Aue.....	21
3-2	Übersichtskarte der RESI-Modellregionen.....	23
4-1	Schematische Darstellung zur Anwendung des RESI in fünf Schritten.....	26
4-2	Darstellung der im RESI-Projekt erfassten und bewerteten ÖSL.....	27
4-3	Schema zum Vorgehen bei der Modellierung im GIS zur Bewertung der Bereitstellung kultureller ÖSL.....	130
5-1	Übersichtskarte der Modellregion Donau.....	139
5-2	Polargrafik mit den Bewertungen (min=1 – max=5) von 13 ÖSL für das Fluss-Auen-Segment DON-303000 (Donau).....	142
5-3	Bewertung von 13 ÖSL für den gesamten untersuchten Donauabschnitt (80 km) im derzeitigen Bezugszustand.....	143
5-4	Übersicht über die Einzelbewertungen der ÖSL für drei Zustände (derzeitiger Bezugszustand, Planungszustand 1, Planungszustand 2) für zwei ausgewählte 1 km-Fluss-Auen-Segmente der Donauauen bei Leipheim.....	144
5-5	Summe der ÖSL-Veränderungen im Planungszustand 1 und 2 der Donau für alle betrachteten Segmente.....	146
5-6	Bewertung von 13 ÖSL für den gesamten untersuchten Donauabschnitt (80 km) im Planungszustand 1.....	147
5-7	Bewertung von 13 ÖSL für den gesamten untersuchten Donauabschnitt (80 km) im Planungszustand 2.....	148
5-8	Übersichtskarte der Modellregion Nahe.....	151
5-9	Bewertung von 15 ÖSL für die Modellregion Nahe im derzeitigen Bezugszustand.....	153
5-10	Bewertung von 10 ÖSL für die Modellregion Nahe im Szenario.....	154
5-11	Polargrafik für die "extremen" 1 km-Fluss-Auen-Segmente NHE-36000 (links) und NHE-17000 (rechts) der Nahe im Szenario.....	155
5-12	Polargrafik für das 1 km-Fluss-Auen-Segment NHE-26000 (Nahe) im Bezugszustand (links) und im Szenario (rechts).....	156
5-13	Summe der ÖSL-Veränderungen zwischen Bezugszustand und Szenario der Nahe für alle betrachteten Segmente.....	156
5-14	Klassifizierung der Fließgewässerstruktur der Modellregion Nebel.....	159
5-15	Bewertung von 7 ÖSL für die Modellregion Nebel im Zustand 1990.....	163
5-16	Bewertung für 11 ÖSL für die Modellregion Nebel im Zustand 2016.....	164
5-17	Bewertung von 10 ÖSL für die Modellregion Wupper im Zustand 2016.....	168

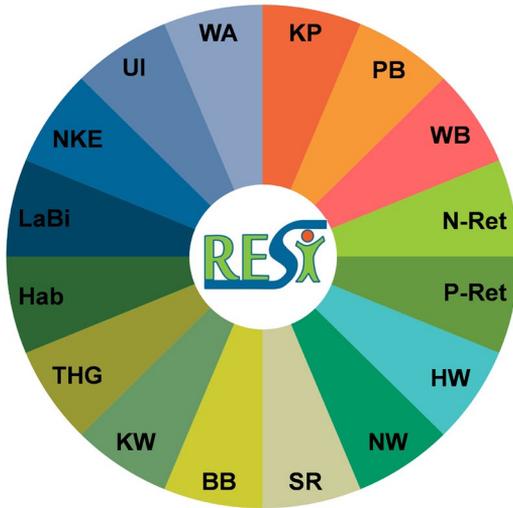
## Tabellenverzeichnis

1-1	Farbcodierung für versorgende, regulative und kulturelle ÖSL am Buchrand in Kapitel 4.2.....	6
2-1	Klassifizierung der versorgenden ÖSL im RESI.....	15
2-2	Klassifizierung der regulativen ÖSL im RESI.....	16
2-3	Klassifizierung der kulturellen ÖSL im RESI.....	17
3-1	Erläuterung der fünfstufigen RESI-Skala.....	22
3-2	Übersicht zu den im Handbuch vorgestellten Fallbeispielen.....	22
4-1	Inhaltsverzeichnis zu den versorgenden ÖSL.....	29
4-2	Inhaltsverzeichnis zu den regulativen ÖSL.....	29
4-3	Inhaltsverzeichnis zu den kulturellen ÖSL.....	30
5-1	Beispiele für wasserwirtschaftliche und naturschutzfachliche Maßnahmen, bei denen der RESI als Planungs- und Kommunikationshilfe sowie zur Entscheidungsunterstützung eingesetzt werden kann.....	137
5-2	Übersicht der im Fallbeispiel Donau bewerteten ÖSL.....	140
5-3	Flächenspezifische Bewertung von drei ÖSL für drei Zustände (derzeitiger Bezugszustand, Planungszustand 1, Planungszustand 2) für einen 7 km langen Abschnitt der Donauauen bei Leipheim.....	145
5-4	Übersicht der im Fallbeispiel Nahe bewerteten ÖSL.....	152
5-5	Übersicht der im Fallbeispiel Nebel bewerteten ÖSL.....	160
5-6	Übersicht der im Fallbeispiel Wupper bewerteten ÖSL.....	166
5-7	Übersicht über die verschiedenen Erfahrungen aus der Arbeit im Projekt RESI.....	170

## Abkürzungsverzeichnis

BfN	Bundesamt für Naturschutz
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BLfD	Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BÜK	Bodenübersichtskarte
BQK	Biologische Qualitätskomponente
CICES	Common International Classification of Ecosystem Services
CLC	CORINE Landcover Classification
DGM	Digitales Geländemodell
DLM	Digitales Landschaftsmodell
DWD	Deutscher Wetter Dienst
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme
E-OBS	European Climate Assessment & Dataset
EZG	Einzugsgebiet
FDZ	Forschungsdatenzentrum des Bundes
FGSK	Fließgewässerstrukturgütekartierung
FFH-RL	Fauna-Flora-Habitat Richtlinie
FFH-LRT	Fauna-Flora-Habitat Lebensraumtyp
GIS	Geoinformationssysteme
HpnV	Heutige potentielle natürliche Vegetation
HWRM-RL	Europäische Hochwasserrisikomanagment Richtlinie
HQ	Hochwasser („H“ für Hoch und „Q“ für Abfluss-Kennzahl)
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
LBM	Landbedeckungsmodell
LBA	Bayerische Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur
LBP	Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau
LfU	Landesamt für Umwelt
LUNG	Landesamt für Umwelt und Geologie
MA	Millenium Ecosystem Assessment
mGWFA	mittlerer Grundwasserflurabstand
MONERIS	Modelling Nutrient Emissions in River Systems
ÖSL	Ökosystemleistung
QSim	Quality Simulation
RESI	River Ecosystem Service Index
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRRL	Europäische Wasserrahmenrichtlinie
WSV	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes
WWA DON	Wasserwirtschaftsamt Donauwörth

## Ökosystemleistungen im RESI



KP	Kulturpflanzen
PB	Pflanzliche Biomasse
WB	Wasserbereitstellung
N-Ret	N-Retention
P-Ret	P-Retention
HW	Hochwasserregulation
NW	Niedrigwasserregulation
SR	Sedimentregulation
BB	Bodenbildung
KW	Kühlwirkung
THG	Treibhausgas-Rückhalt
Hab	Habitatbereitstellung
LaBi	Landschaftsbild
NKE	Natur- & Kulturerbe
UI	Unspezifische Interaktion
WA	Wasserbezogene Aktivitäten

# 1 Einführung: Worum geht es in diesem Buch?

1.1 Auf einen Blick

1.2 Welche Arbeitshilfen bietet dieses Handbuch?

*Dieses Kapitel ermöglicht einen schnellen Überblick über die Inhalte des Anwendungshandbuchs, indem es Antworten auf die wichtigsten Fragen, zahlreiche Hinweise auf weitere Kapitel und eine Übersicht zum Aufbau des Buches gibt.*



**Wer hat den RESI entwickelt?**

**Wo kann der RESI eingesetzt werden?**

**Für wen ist der RESI geeignet?**

**Welche Ergebnisse/Produkte liefert der RESI?**

# **Was ist RESI?**

**Was sind Ökosystemleistungen?**

**Warum Ökosystemleistungen?**

**Wie bewertet der RESI?**

**Was bewertet der RESI?**

**Was brauche ich zur Berechnung des RESI?**

## 1.1 Auf einen Blick

### Was ist RESI?

Im Projekt River Ecosystem Service Index (RESI) wurde ein innovativer Ansatz entwickelt, um die Leistungen von Fluss- und Auenökosystemen für unsere Gesellschaft sektorenübergreifend und in einem integrativen Index darzustellen. Dazu wurde in Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Praxis zunächst eine konzeptionelle Basis geschaffen (s. Kapitel 2). Hierauf gründen konkrete methodische Entwicklungen (s. Kapitel 3, 4) zur Erfassung und Bewertung von Ökosystemleistungen in *Flusslandschaften* in Deutschland (s. Kapitel 5).

### Was sind Ökosystemleistungen?

*Ökosystemleistungen (ÖSL)* bezeichnen die direkten und indirekten Beiträge von *Ökosystemen* zum *menschlichen Wohlergehen*. Der ÖSL-Ansatz beschreibt also die Zusammenhänge zwischen dem Zustand eines Ökosystems und seinem *Nutzen für den Menschen*. Im Projekt RESI wird konzeptionell zwischen *bereitgestellten ÖSL* und den meist unter zusätzlichen *menschlichen Einflüssen* stehenden *genutzten ÖSL* unterschieden (s. Kapitel 2.2).

### Warum Ökosystemleistungen?

Der ÖSL-Ansatz wird von nationalen und internationalen Organisationen immer häufiger genutzt. Die Anwendung ist insbesondere auf regionaler Ebene interessant (s. Kapitel 2.4). Bewertungen von ÖSL führen zu breiteren fachlichen Grundlagen für Entscheidungen in Abstimmungs- und Planungsprozessen, wodurch die Auswahl von Handlungsalternativen bzw. optimalen Vari-

anten unterstützt wird. Eingriffe in die Umwelt und Nutzungskonzepte können durch den ÖSL-Ansatz im Hinblick auf die jeweiligen politischen Zielsetzungen abgestimmt, Interessenkonflikte transparenter gemacht und bewertete Daten noch gezielter in Entscheidungsprozesse eingebracht werden (s. Kapitel 5).

### Für wen ist der RESI geeignet?

Der RESI ist ein geeignetes Werkzeug für alle *Akteur\*innen*, die in Entscheidungsprozesse zu *Maßnahmen* in *Fluss* und *Aue* einbezogen oder daran interessiert sind. Der RESI bietet eine einheitliche Kommunikationsbasis für *Akteur\*innen* aus verschiedensten Sektoren. Hierzu zählen u. a. Landwirtschaft, Naturschutz und Tourismus. Konkret reicht dies von der öffentlichen Verwaltung in den Bereichen der Umwelt und Wasserstraßen, über *Fachgutachter\*innen*, Ingenieur- und Planungsbüros, bis hin zu Umweltverbänden und Umweltbildungseinrichtungen (s. Kapitel 5.1).

### Was bewertet der RESI?

Im Projekt RESI wurden geeignete Methoden zur Erfassung und Bewertung der relevanten versorgenden, regulativen und kulturellen ÖSL (s. Kapitel 2.5) von Flüssen und Auen in Deutschland entwickelt (s. Kapitel 4.2). Als einheitlicher Bewertungsraum wurden dabei 1 km lange *Fluss-Auen-Segmente* gewählt, die sich wiederum in Querrichtung räumlich in die *Kompartimente Fluss, rezente Aue* und *Altaue* untergliedern (s. Kapitel 3.1).

### Wie bewertet der RESI?

Der RESI wird auf einer fünfstufigen Bewertungsskala von 1 (sehr geringe bis fehlende ÖSL) bis 5 (sehr hohe ÖSL) abgebildet

(s. Kapitel 3.1). Dabei basieren die Berechnungen der versorgenden, regulativen und kulturellen ÖSL auf bewährten oder neu entwickelten Methoden, die in den Indikatoren-Datenblättern („Factsheets“) einheitlich und transparent dokumentiert wurden (s. Kapitel 4.2).

### Was brauche ich zur Berechnung des RESI?

Der RESI fokussiert sich auf die Nutzung von vorhandenen räumlichen Daten und deren Verarbeitung in Geoinformationssystemen (GIS) (s. Kapitel 3.1). Dabei handelt es sich grundsätzlich um verfügbare Datensätze der Bundesländer und des Bundes, die für jede ÖSL in den Factsheets benannt sind. Der Datenbedarf hängt von den zu erfassenden ÖSL, dem Bewertungskontext und dem gewünschten Detaillierungsgrad ab (s. Kapitel 4.1). Sollten diese Daten nicht verfügbar sein, können Alternativmethoden gewählt werden, die eine Berechnung auch mit belastbaren „Faustzahlen“ ermöglichen (s. Factsheets in Kapitel 4.2).

### Wo kann der RESI eingesetzt werden?

Der RESI wurde in den *Modellregionen* der Flüsse Donau, Nahe, Nebel, Rhein, Elbe und Wupper (s. Kapitel 3.2) erfolgreich getestet und kann prinzipiell für alle Flusslandschaften in Deutschland genutzt werden. Für unterschiedliche Fließgewässer- und *Auentypen* wurden für relevante ÖSL jeweils Anpassungen der Skalierung entwickelt (s. Kapitel 3.1).

Der RESI eignet sich für verschiedenste Anwendungsbereiche (s. Kapitel 5.1), wie etwa die fachübergreifende Bewertung von Planungsszenarien zu Hochwasserschutzprogrammen (s. Kapitel 5.2), für die Erfolgsdo-

kumentation und den Zusatznutzen von *Gewässerrenaturierungen* (s. Kapitel 5.4) oder zur Darstellung des Mehrwerts eines naturnahen *Gewässerentwicklungskonzepts* (s. Kapitel 5.3).

### Welche Ergebnisse/Produkte liefert der RESI?

Mithilfe der RESI-Skala lassen sich die Bewertungen einzelner ÖSL anschaulich in Kartenform darstellen. Dabei ermöglichen Polargrafiken die gleichzeitige Darstellung der Bewertungen vieler ÖSL. Dies ermöglicht sowohl einen Vergleich der Fluss-Auen-Segmente entlang eines Flusses als auch Entscheidungen über Planungsvarianten, *Szenarien* oder den Vergleich verschiedener Zeitabschnitte, z. B. Vorher-Nachher-Vergleiche. Daneben ist eine zusammenfassende, „integrale“ Bewertung aller ÖSL möglich (s. Kapitel 4.1, 4.3). Auf diese Weise können auch gezielt die Synergien und Trade-offs zwischen ÖSL identifiziert werden.

### Wer hat den RESI entwickelt?

Das Team des ReWaM-Verbundprojekts RESI setzte sich aus öffentlichen und privaten Forschungsinstitutionen, Gutachterbüros sowie Praxispartner\*innen aus den Modellregionen zusammen (Seite IV-V).

### Kontakt

PD Dr. Martin Pusch

pusch@igb-berlin.de



Dr. Simone A. Podschun

podschun@igb-berlin.de



## 1.2 Welche Arbeitshilfen bietet dieses Handbuch?

Das Buch gliedert sich, neben dem Einführungskapitel, in vier Hauptkapitel. Je nach Fragestellung und Vorwissen der Anwender\*innen können die relevanten Kapitel selektiv gelesen werden (s. *Abbildung 1-1*).

Im zweiten Kapitel finden Anwender einen Einblick in die Hintergründe und das theoretische Fundament des RESI. Dabei werden das ÖSL-Konzept und die ÖSL-Klassifizierung im Kontext von Flüssen und Auen dargestellt und deren Praxisrelevanz reflektiert. Das dritte Kapitel stellt die Phasen der Anwen-

dung des RESI ausgehend vom Bewertungskontext über die Bewertung der einzelnen ÖSL bis hin zur integrierten Darstellung und Implementierung dar. Im fünften Kapitel werden konkrete Anwendungsbeispiele des RESI vorgestellt.

### Farbcodes und Infoboxen

Das Buch nutzt drei verschiedene farbige Boxen zur Hervorhebung bestimmter Inhalte. In diesen Boxen befinden sich, je nach Farbcode, u. a. Definitionen, Hinweise auf relevante Initiativen, Verweise auf weiterführende Literatur und interessante Videos im Internet sowie zusammenfassende Kernaussagen zu den Kapiteln.

<p><b>2</b></p>	<p><b>Ökosystemleistungen von Flüssen und Auen mit RESI verstehen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Welche Elemente enthält das Ökosystemleistungs-Konzept?</li> <li>• Wie fügt sich der RESI in die bisherigen Ökosystemleistungs-Ansätze ein?</li> <li>• Welche Vorteile bringt die Anwendung des Ökosystemleistungs-Konzepts in der Praxis?</li> <li>• Welche Ökosystemleistungen werden im RESI betrachtet?</li> <li>• Welche Sicht haben die Akteur*innen auf die Ökosystemleistungen von Flüssen und Auen?</li> </ul>	<p><b>Für Anwender*innen, die...</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• nicht mit dem ÖSL-Konzept vertraut sind.</li> <li>• mehr über die Grundlagen des RESI-Ansatzes erfahren möchten.</li> </ul>
<p><b>3</b></p>	<p><b>Methodische Grundlagen der Ökosystemleistungserfassung und -bewertung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wie werden die verschiedenen Ökosystemleistungen in RESI bewertet?</li> <li>• In welchen Modellregionen wurde der RESI getestet?</li> <li>• Was sind die Grenzen und Möglichkeiten in der Anwendung des RESI-Ansatzes?</li> </ul>	<p><b>Für Anwender*innen, die...</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• bereits Hintergrundwissen zu ÖSL besitzen.</li> <li>• Details über Grundlagen der ÖSL-Bewertung im RESI erfahren möchten.</li> </ul>
<p><b>4</b></p>	<p><b>Erfassung und Bewertung von Ökosystemleistungen mit dem RESI</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wie nutze ich die RESI-Werkzeuge?</li> <li>• Bewertung der versorgenden, regulativen und kulturellen Ökosystemleistungen</li> <li>• Wie fasst der RESI die einzelnen Werte zusammen?</li> </ul>	<p><b>Für Anwender*innen, die...</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• mit dem ÖSL-Ansatz vertraut sind.</li> <li>• direkt auf die Berechnungen der Bewertungen der einzelnen ÖSL zugreifen möchten.</li> </ul>
<p><b>5</b></p>	<p><b>Die Anwendung des RESI in der Praxis</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wie kann der RESI eingesetzt werden?</li> <li>• Detaillierte Anwendung des RESI am Fallbeispiel Donau</li> <li>• Detaillierte Anwendung des RESI am Fallbeispiel Nahe</li> <li>• RESI Nebel</li> <li>• RESI Wupper</li> <li>• Erfahrungen aus der Arbeit mit dem RESI</li> </ul>	<p><b>Für Anwender*innen, die...</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• mehr über die praktischen Anwendungsmöglichkeiten des RESI erfahren möchten.</li> <li>• konkrete Ergebnisse aus der Anwendung des RESI auf Flüsse sehen möchten.</li> </ul>

*Abbildung 1-1: Übersicht über die Kapitel des Buches. Kapitelnummer (links), Kapitelinhalt (Mitte) und Zielgruppe (rechts).*

**Erläuterungen:**

In diesen Boxen finden Sie Erklärungen zu Begriffen sowie Beispiele zum besseren Verständnis.

**Verweise:**

In diesen Boxen finden Sie Verweise auf weiterführende Literatur und Videos.

**Kernaussagen:**

In diesen Boxen werden die wichtigsten Informationen aus einem Kapitel für Sie zusammengefasst.

Ein Farbcode (s. *Tabelle 1-1*) am Buchrand hilft bei der Unterscheidung der verschiedenen Teile des *Kapitels 4.2*.

**Tabelle 1-1: Farbcodierung für versorgende, regulative und kulturelle ÖSL am Buchrand in Kapitel 4.2.**

ÖSL-Gruppe	Farbcode
Versorgende ÖSL	
Regulative ÖSL	
Kulturelle ÖSL	

**Versionen und Produkte**

Das RESI-Anwendungshandbuch ist in der Druckversion und als digitale Version in Form eines dynamischen PDF verfügbar. Die digitale Version ist so konzipiert, dass Nutzer\*innen schnell zu den den unterschiedlichen Kapiteln und Erklärungen springen können. Die Nutzung der Lesezeichen im PDF-Dokument ermöglicht es zu den einzelnen Kapiteln zu springen. Ein Klick auf *kursiv* gedruckte Wörter im Fließtext ermöglicht

es, direkt zu den Erläuterungen im Glossar (beim ersten Auftreten des Begriffs im Kapitel) sowie zu genannten Kapiteln, Abbildungen und Tabellen zu springen. Weiterhin ist das Inhaltsverzeichnis, das Abbildungsverzeichnis und das Tabellenverzeichnis mit den entsprechenden Stellen im Dokument verlinkt. Mit gleichzeitigem Druck der Taste "Alt" und der linken Pfeil-Taste auf der Tastatur gelangt man in den meisten PDF-Readern wieder zur Ausgangsposition zurück

Die digitale Version steht zum Herunterladen bereit unter:

[www.resi-project.info/handbuch](http://www.resi-project.info/handbuch)



Auf der RESI-Projektseite finden sich darüber hinaus Karten, auf denen die Ergebnisse der Analyse betrachtet und weiter erkundet werden können sowie eine Link-Sammlung von interessanten PDF-Dokumenten, Videos projektinternen Dokumenten und weiteren Internet-Seiten, auf die in diesem Buch in der Box „Verweise“ hingewiesen wird.

[www.resi-project.info/plattform](http://www.resi-project.info/plattform)



## 2 Ökosystemleistungen von Flüssen und Auen mit RESI verstehen

2.1 Einführung

2.2 Welche Elemente enthält das Ökosystemleistungs-Konzept?

2.3 Wie fügt sich der RESI in die bisherigen Ökosystemleistungs-Ansätze ein?

2.4 Welche Vorteile bringt die Anwendung des Ökosystemleistungs-Konzepts in der Praxis?

2.5 Welche Ökosystemleistungen werden im RESI betrachtet?

2.6 Welche Sicht haben die Akteur\*innen auf die Ökosystemleistungen von Flüssen und Auen?

*Dieses Kapitel gibt eine Einführung in die Thematik und beschreibt die theoretischen Grundlagen des RESI in Bezug auf das Ökosystemleistungs-Konzept und die Klassifikation.*



## 2.1 Einführung

Der grundsätzliche Ansatz des Konzepts der *Ökosystemleistungen (ÖSL)*, den Beitrag von *Ökosystemen* zum *menschlichen Wohlergehen* zu betrachten, ist nicht neu. Der konkrete Begriff „ecosystem services“ wurde bereits im Jahr 1981 erstmals erwähnt (Ehrlich & Ehrlich 1981) und ist implizit über den Begriff der „Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts“ auch im deutschsprachigen Raum seit langem verankert (Hans-Jürgens et al. 2012). Ziel des Projekts River Ecosystem Service Index (RESI) war es, die Anwendung des ÖSL-Konzepts für *Flusslandschaften* anzupassen, um mit einem integrativen Ansatz eine Basis für den praxistauglichen und transparenten Vergleich von Bewirtschaftungsoptionen zu schaffen, der gleichzeitig international anschlussfähig ist.

Über die Jahre wurden die theoretischen Grundlagen des ÖSL-Konzepts kontinuierlich weiterentwickelt (Podschun et al. 2018). Daher geben wir in diesem Kapitel eine Einordnung des RESI-Ansatzes in den Forschungsstand. Da die Entwicklung hauptsächlich in englischer Sprache dokumentiert wurde, werden hier zusätzlich die englischen Begriffe aus der Fachliteratur angegeben.

Vor dem Hintergrund der aktuellen Literatur und den Rückmeldungen von Expert\*innen des Gewässermanagements wurden zunächst die anzuwendenden konzeptionellen Kernbegriffe definiert (s. *Kapitel 2.2*) und eine auf Flusslandschaften angepasste Klassifikation von ÖSL erstellt (s. *Kapitel 2.5*).

## 2.2 Welche Elemente enthält das Ökosystemleistungs-Konzept?

Das ÖSL-Konzept wird über eine Reihe von Begriffen, wie den Zustand eines Ökosystems oder die menschliche *Nachfrage nach ÖSL*, definiert. Der RESI-Ansatz zur Erfassung und Bewertung von ÖSL erforderte daher zunächst eine Auseinandersetzung mit den Methoden und Fachbegriffen mehrerer beteiligter Fachrichtungen, um eine interdisziplinär anwendbare Arbeitsgrundlage und Terminologie zu schaffen. Als Ausgangspunkt für die Konkretisierung der theoretischen Begriffe für die praktische Erfassung und Bewertung von ÖSL wurde im Projekt RESI die „ecosystem service cascade“ (Haines-Young & Potschin 2010) gewählt. Diese Wirkungskaskade stellt die Verknüpfung von biophysischen Strukturen und Prozessen über ökologische Funktionen hin zu den ÖSL dar, die einen Beitrag zum menschlichen Wohlergehen leisten. Hierbei wird der Status des vorliegenden Ökosystems als Gesamtheit der biophysischen Strukturen und Prozesse aufgefasst. *Ökosystemfunktionen* stellen denjenigen Teil der biophysischen Strukturen und Prozesse im Ökosystem dar, die zur Generierung von ÖSL beitragen.

Auf den folgenden Seiten wird die im Projekt RESI verwendete Auffassung der Kernbegriffe Ökosystemfunktion, Ökosystemleistung, menschliches Wohlergehen, *Nutzen von ÖSL*, Nachfrage nach ÖSL, *Wertmaßstäbe*, *bereitgestellte* und *genutzte ÖSL* sowie *menschliche Einflüsse* dargestellt.

### **Ökosystemfunktion („ecosystem function“)**

Umfasst physikalische, chemische und biologische Prozesse und Wechselwirkungen, die in den verschiedenen *Ökosystemen* stattfinden (TEEB DE 2012).

### **Ökosystemleistung („ecosystem service“)**

Bezeichnet direkte und indirekte Beiträge von *Ökosystemen* zum *menschlichen Wohlergehen*, das heißt Leistungen und Güter, die dem Menschen einen direkten oder indirekten wirtschaftlichen, materiellen, gesundheitlichen oder psychischen Nutzen bringen. In Abgrenzung zum Begriff *Ökosystemfunktion* entsteht der Begriff *Ökosystemleistung* aus einer anthropozentrischen Perspektive und ist an einen nachhaltigen Nutzen des Ökosystems für den Menschen gebunden (TEEB DE 2015).

### **Menschliches Wohlergehen („human well-being“)**

Ein kontext- und situationsbezogener Status, der verschiedene Aspekte beinhaltet, u. a. materielle Lebensgrundlagen, Gesundheit und körperliches Wohlbefinden, soziale Beziehungen, Sicherheit und Spiritualität (MA 2005). Im Kontext des *ÖSL*-Konzepts lassen sich Elemente des Wohlbefindens in die Gruppen menschliche Grundbedürfnisse sowie ökonomisches, ökologisches und subjektives Wohlbefinden einteilen (Summers et al. 2012).

### **Nutzen von Ökosystemleistungen („benefit“)**

Dieser entsteht, wenn die *ÖSL* vom Menschen direkt oder indirekt in Anspruch genommen werden, gesellschaftliche und/oder rechtliche Normen (*Wertmaßstäbe*) erfüllen oder/und eine positive Bedeutung haben (TEEB DE 2012).

### **Nachfrage nach Ökosystemleistungen („ecosystem services demand“)**

Die tatsächliche Entscheidung oder der geäußerte Bedarf nach Gütern und Leistungen ist eine Voraussetzung dafür, einen *Nutzen* aus *Ökosystemen* ziehen zu können (Wolff et al. 2015). Dabei können zwei Definitionen unterschieden werden: Die Nachfrage kann über die tatsächliche Nutzung (Konsum) von *Ökosystemleistungen (ÖSL)* definiert werden (Burkhard et al. 2014), oder sie leitet sich aus den geäußerten individuellen bzw. gesellschaftlichen Präferenzen nach *ÖSL* ab (Schröter et al. 2014).

### **Wertmaßstäbe**

Diese umfassen sowohl rechtliche Ziele und Standards, das heißt Normen (z. B. aus dem BNatSchG oder der *europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)*, aber auch individuelle Präferenzen (von Haaren et al. 2014). Sie bedingen sowohl die Auswahl der *Ökosystemaspekte*, die als *Ökosystemleistungen (ÖSL)* aufgefasst werden, als auch die Bewertung dieser *ÖSL* (z. B. im Sinne von Zielerreichungsgraden oder monetären Werten).

Im Projekt RESI wurde festgelegt, dass die Ökosystemfunktionen nicht operationalisiert werden. Stattdessen werden die Strukturen und Prozesse des Ökosystems betrachtet und Umweltdaten gesucht, die deren Zustand charakterisieren. Solche Indikatordaten werden dann direkt zur Erfassung der ÖSL genutzt. Das bedeutet, dass die RESI-Methoden direkt von den Strukturen und Prozessen des Ökosystems auf die ÖSL schließen.

Eine für die Erfassung wichtige Festlegung war die Berücksichtigung der menschlichen Beiträge, die die Nutzung der ÖSL oft erst ermöglichen und meist deren Umfang beeinflussen („additional inputs“, „imports & exports“ von ÖSL; Burkhard et al. 2014). Auf dieser Grundlage können ÖSL noch weiter in bereitgestellte ÖSL und genutzte ÖSL unterteilt werden. In der Anwendung wurde die Unterscheidung von bereitgestellten und genutzten ÖSL bisher nur selten umgesetzt (Burkhard et al. 2014; Grizzetti et al. 2015).

Die Komponente der menschlichen Einflüsse wurde im Projekt RESI explizit aufgegriffen und bei der Indikatorenentwicklung berücksichtigt. In Bezug auf die menschlichen Einflüsse kann je nach betrachtetem Ökosystem oder betrachteter ÖSL-Gruppe zwischen Input (kontinuierliche Eingriffe, z. B. Düngung) und Modifikation (dauerhafte Veränderungen des Systems, z. B. Baumaßnahmen) unterschieden werden (Beichler et al. 2017). Für die Interpretation der RESI-Ergebnisse spiegelt diese Unterscheidung beispielsweise den Unterschied zwischen dem kompletten Holzbestand in einem Wald und dem Anteil des gerodeten Holzes wider.

### **Bereitgestellte Ökosystemleistungen („offered“ oder „potential ecosystem services“)**

Umfassen all diejenigen Beiträge des *Ökosystems*, die Menschen heute oder zukünftig nutzen könnten, aber nicht zwangsweise heute genutzt werden (von Haaren et al. 2014). Dementsprechend beschreiben bereitgestellte *Ökosystemleistungen (ÖSL)* die Leistungsfähigkeit oder das Angebot an ÖSL (Burkhard et al. 2014).

### **Genutzte Ökosystemleistungen („utilized ecosystem services“ oder „ecosystem service flow“)**

Diese werden direkt von Menschen konsumiert oder in Anspruch genommen (von Haaren et al. 2014). Sie beschreiben den de facto genutzten Teil des Bündels von *Ökosystemleistungen (ÖSL)* in einer bestimmten Fläche zu einer bestimmten Zeit (Burkhard et al. 2014).

### **Menschliche Einflüsse**

Diese machen den Unterschied zwischen *bereitgestellten* und *genutzten Ökosystemleistungen (ÖSL)* aus und beschreiben Handlungen bzw. Aktivitäten zur Nutzung von ÖSL und zur Gestaltung des *Ökosystems*. Dabei bedingen menschliche Entscheidungen zur Einflussnahme 1) Veränderung des menschlichen Beitrags (Input) zur Erbringung von *ÖSL* und 2) beabsichtigte oder unbeabsichtigte Veränderung (Modifikationen) des *Ökosystems Flusslandschaft* (Podschun et al. 2018).

### 2.3 Wie fügt sich der RESI in die bisherigen Ökosystemleistungs-Ansätze ein?

Seit dem Millennium Ecosystem Assessment (MA 2005) wurde nicht nur das ÖSL-Konzept an sich, sondern auch die ÖSL-Klassifizierungssysteme, die Methoden zur Erfassung sowie Aspekte der Implementierung in der Praxis kontinuierlich weiterentwickelt (Hermann et al. 2011; Beichler et al. 2017). Es gibt verschiedene internationale Initiativen mit dem Ziel, durch eine einheitlichere Herangehensweise die ÖSL-Einzelfallstudien vergleichbarer zu machen (s. Box). Gleichzeitig ist eine individuelle und kulturell adaptierte Operationalisierung des Konzepts wichtig, um die Anwendbarkeit im spezifischen politischen Kontext bzw. unter den rechtlichen Rahmenbedingungen sicherzustellen und das sektorenspezifische Wissen aufzugreifen (Saarikoski et al. 2015).

Die bisher entwickelten Ansätze zur Erfassung und Bewertung von ÖSL bilden die ÖSL von Flüssen und Auen nur unzureichend ab (Podschun et al. 2018). Die vergleichsweise selten zu findenden ÖSL-Anwendungen im Gewässerkontext erfassen zumeist nicht mehr als drei ÖSL, beziehen nur vereinzelt Praktiker\*innen mit ein, und nur sehr wenige analysieren Trade-offs zwischen den ÖSL (Hanna et al. 2018).

Hier setzt das Projekt RESI ein, um auf der Basis interdisziplinären Zusammenwirkens einen ganzheitlichen Ansatz anzubieten, der die Leistungen komplexer Ökosysteme in Flusslandschaften abbilden kann. Der RESI-Ansatz ist auch insofern innovativ, da er Flüsse und Auen gemeinsam betrachtet, was bei der ÖSL-Klassifizierung sowie der Bestimmung von Indikatoren berücksichtigt wurde. Gleichzeitig wurde bewusst kein völlig neu-

es Konzept entwickelt, sondern soweit wie möglich auf bestehende Definitionen zurückgegriffen, diese z. T. kombiniert und eine einheitliche Regelung für die Verwendung im deutschen Sprachraum etabliert.

#### Initiativen und Projekte zu ÖSL-Konzepten

##### CICES

(Common International Classification of Ecosystem Services)

##### ESMERALDA

(Enhancing ecoSystem sERvices mApping for poLicy and Decision mAking)

##### MA

(Millennium Ecosystem Assessment)

##### MAES

(Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services)

##### TEEB DE

(The Economics of Ecosystems and Biodiversity - Naturkapital Deutschland)

Die Links befinden sich auf [www.resi-project.info/plattform](http://www.resi-project.info/plattform)

### 2.4 Welche Vorteile bringt die Anwendung des Ökosystemleistungs-Konzepts in der Praxis?

Flüsse und ihre Auen werden heute vielerorts intensiv für die Erzeugung von Wasserkraft, für die Schifffahrt, für die Land- und Forstwirtschaft, für Wohn- und Industriegebiete sowie für verschiedene Freizeitaktivitäten genutzt. Gleichzeitig dienen sie als Hochwasserreservoir, Trinkwasserlieferant, Vorfluter sowie als Lebensraum für seltene Tier- und Pflanzenarten und übernehmen damit wichtige Aufgaben für Mensch und Natur.

Weltweit bestehen Zielkonflikte zwischen dem Erhalt der *Biodiversität* in Gewässern und Auen, der wirtschaftlichen Nutzung und der intensiven Inanspruchnahme der Güter und Leistungen dieser Ökosysteme durch den Menschen (Scholz et al. 2015). Dies spiegelt sich auch im Gewässerzustand wider. Mit der *europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)* strebt die EU an, bis 2021 Maßnahmen zu ergreifen, die u. a. zu einem *guten ökologischen Zustand* von Flüssen führen sollen. Unter den 8.995 Flusswasserkörpern in Deutschland erreichten nur 6,7 % den guten ökologischen Zustand (Stand: Oktober 2017; Die Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland 2018).

Die Planung und die Umsetzung von Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Verbesserung des Gewässerzustands und des natürlichen Hochwasserrückhalts an Flüssen und Auen (gemäß WRRL, *Fauna-Flora-Habitat Richtlinie (FFH-RL)*, *europäische Hochwasserrisikomanagement Richtlinie (HWRM-RL)*) sind häufig schwierig, da zahlreiche Nutzer\*innen z. T. gegensätzliche Ansprüche geltend machen, und diverse rechtliche Rahmensetzungen zu berücksichtigen sind. Gleichzeitig werden die vielfältigen Nutzungsansprüche an Flüsse und ihre Auen in Deutschland von verschiedenen Fachbehörden auf unterschiedlichen Verwaltungsebenen geregelt. Bei der komplexen Aufgabenverteilung zwischen den zuständigen Behörden und der Vielzahl an *Akteur\*innen* werden die notwendigen Abstimmungsprozesse zu Bewirtschaftungsmaßnahmen oft schwierig und langwierig. Mit dem RESI wird der wasserwirtschaftlichen, umweltplanerischen und naturschutzfachlichen Praxis erstmals ein Werkzeug zur fachübergreifenden Bewertung von Handlungsoptionen zur Verfügung gestellt. Dadurch ist es möglich, die derzeitigen zustandsbasierten Bewertungsansätze

durch eine funktionsorientierte Bewertung auf der Grundlage der ÖSL zu ergänzen und Wechselwirkungen unterschiedlicher Nutzungen systematisch zu untersuchen.

Entscheidungsprozesse können von einer Erfassung und Bewertung von ÖSL profitieren, da durch die ergänzenden Informationen zu den Auswirkungen der Bewirtschaftungsoptionen Zielkonflikte frühzeitig transparent gemacht und Synergien maximiert werden können (Podschn et al. 2018).

### Erklärende Videos zum Thema Ökosystemleistungen

**BUND - Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland**

Intakte Flussauen als natürliche Hochwasserbremse

**Mountain EVO - Adaptive governance of mountain ecosystem services for poverty alleviation enabled by environmental virtual observatories**

Hydrological ecosystem services

**NABU - Naturschutzbund Deutschland**

Lebensraum Wasser

**Projekt MARS - Managing Aquatic ecosystems and water resources under multiple stress**

Der gute ökologische Zustand von Flüssen und Seen

**Projekt Lebendige Luppe**

Revitalisierungsmaßnahme in der Flussauenlandschaft von Leipzig und Schkeuditz

**WWF - World Wide Fund for Nature**

Wasserkraft

Die Links befinden sich auf [www.resi-project.info/plattform](http://www.resi-project.info/plattform)

## 2.5 Welche Ökosystemleistungen werden im RESI betrachtet?

Die CICES-Klassifizierung (Haines-Young & Potschin 2013) potenziell zu erfassender ÖSL stellt eine internationale Referenzliste dar, die entsprechend der laufenden internationalen Diskussion kontinuierlich weiterentwickelt wird, um sie als einheitliche und möglichst umfassende Liste zu pflegen. Sie wurde bereits sowohl im Klimabericht der deutschen TEEB-Initiative (TEEB DE 2015) als auch in der nationalen ÖSL-Erfassung von Deutschland (Albert et al. 2014) angewendet, und auch für Studien in Flusseinzugsgebieten für geeignet befunden (Grizzetti et al. 2015). Auch das Projekt RESI orientiert sich an CICES, um die Anschlussfähigkeit der RESI-Bewertung zu gewährleisten. Der hierarchische Aufbau der CICES-Klassifikation, ermöglicht es auch, verschiedene Klassifizierungsansätze zu vergleichen und Ergänzungen vorzunehmen. Daher wurde im Projekt RESI der CICES-Ansatz zur Klassifizierung mit anderen Ansätzen verglichen und hinsichtlich seiner Relevanz und Übertragbarkeit auf ÖSL in Flüssen und Auen geprüft (Podschun et al. 2018). Bei der Erarbeitung der Methodik für einen integrativen Bewertungsansatz, wie den RESI, ist es erforderlich, alle ÖSL-Kategorien zu berücksichtigen, Doppelnennungen und -erfassungen möglichst auszuschließen sowie die jeweils verfügbare Datenbasis zu berücksichtigen.

Die im MA (2005) verwendete Unterteilung der ÖSL in die Hauptgruppen „provisioning services“ (Versorgungsleistungen), „regulating services“ (Regulationsleistungen), „cultural services“ (kulturelle Leistungen) und „supporting services“ (Unterstützungsleistungen) wurde bereits in zahlreichen Studien diskutiert. Im Vergleich zu MA (2005) schließt CICES keine „supporting services“

ein, um Doppelzählungen zu vermeiden. Die anderen Hauptgruppen sind etabliert und finden auch in CICES Verwendung (Haines-Young & Potschin 2013). Weiterhin wird in CICES eine separate Hauptgruppe für Leistungen, die sich nur aus der Nutzung *abiotischen* Materials ergeben, vorgeschlagen, da diese nicht im Zusammenhang mit den Prozessen im Ökosystem stehen (Grizzetti et al. 2015; Haines-Young & Potschin 2013). In diese Hauptgruppe wurden beispielsweise Sonnenlicht und Bergbauprodukte, aber auch erneuerbare abiotische Energieressourcen (z. B. Wind, Wellen, Wasserkraft) eingeordnet.

### Wie wird mit Wasserkraft und Schifffahrt umgegangen?

Wasserkraft und Schifffahrt sind aufgrund der mit der Nutzung verbundenen erheblichen Auswirkungen auf Gewässerökosysteme von Interesse, insbesondere für die Abbildung von Trade-offs. Die Verfügbarkeit von Wasser für Zwecke der Wasserkraftnutzung und Schifffahrt wird dabei primär durch den von der Sonne angetriebenen Wasserkreislauf ermöglicht. Außerdem können diese Nutzungen nur mit erheblichem technischen Aufwand realisiert werden. Daher wurden diese im Projekt RESI als „Nutzungen von Naturkapital“ kategorisiert, d. h. nicht als ÖSL eingeordnet.

### 2.5.1 Welche Einteilungen der Ökosystemleistungen nutzt der RESI?

Die RESI-ÖSL-Klassifikation (s. Abbildung 2-1) beruht somit auf der etablierten Hauptgruppierung in versorgende (orange), regulative (grün) und kulturelle Leistungen (blau).

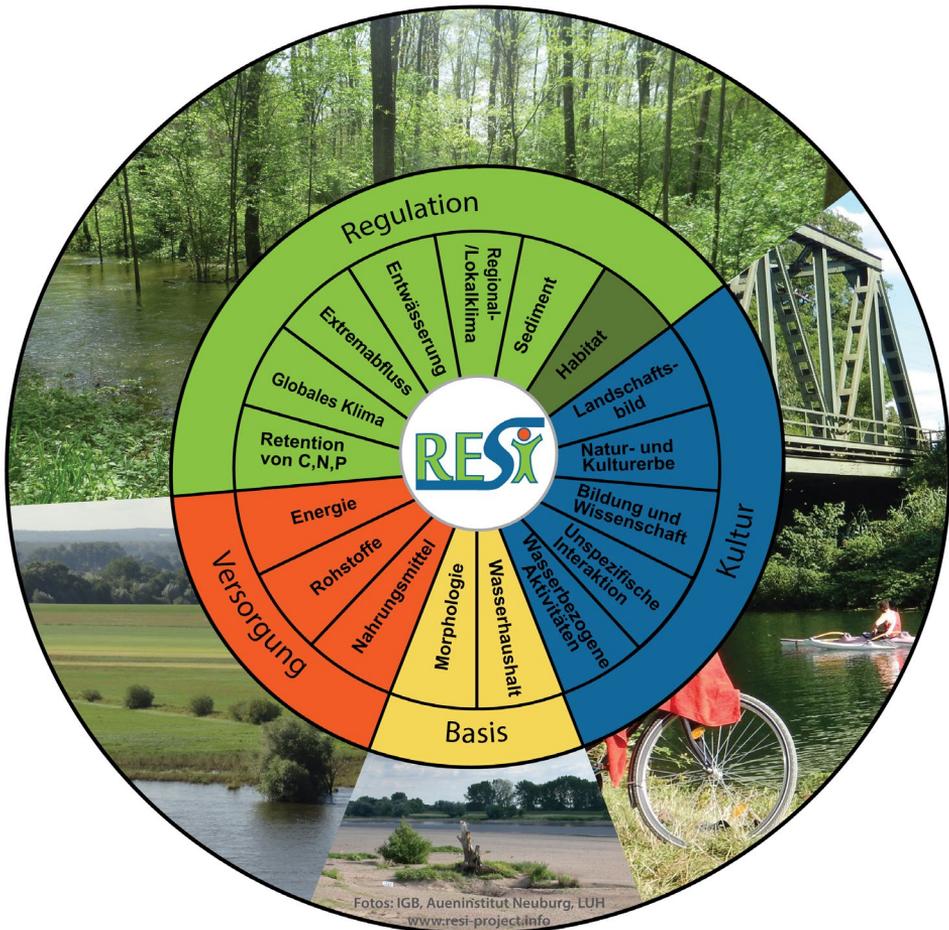


Abbildung 2-1: Darstellung der Haupt- und Untergruppen der im RESI-Projekt identifizierten ÖSL, die in Flusslandschaften relevant sind.

Ähnlich zu den „supporting services“ des MA (2005) wurde zusätzlich die Gruppe der Basisfunktionen abgegrenzt. Basisfunktionen beschreiben die zugrundeliegenden Eigenschaften des Ökosystems, die als Voraussetzung vieler ÖSL gegeben sein müssen, die aber selbst keine ÖSL darstellen (s. Kapitel 2.2).

Zu dieser Kategorie zählen der Wasserhaushalt, d. h. Wasserabfluss- und Abflussdynamik, Verbindung zu Grundwasserkörpern sowie die Morphologie, d. h. Fließgewässer- und Auenstruktur, die etablierte Qualitätskomponenten in der Gewässerbewirtschaftung darstellen. Durch eine gesonderte Stellung dieser Kategorie ist die Verbindung zu bestehenden Richtlinien (z. B. WRRL) unmittelbar gegeben. Auf diese Weise besteht ein Anschluss an einzelne Methoden

der Verfahrensempfehlungen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), beispielsweise zur Klassifizierung des Wasserhaushalts von *Einzugsgebieten* und *Wasserkörpern* (Mehl et al. 2015).

### 2.5.2 Versorgende Ökosystemleistungen

Auen sind durch Ablagerung von Grob- und Feinsedimenten aus dem gesamten Einzugsgebiet entstanden. Dies führt zusammen mit einer guten Wasserverfügbarkeit oftmals zu Bodenfruchtbarkeit, die den Anbau von Kulturpflanzen oder die Erzeugung pflanzlicher Rohstoffe wie Futtermittel und Holz begünstigt. Allerdings können in einer aktiven Aue regelmäßige Überflutungen auch zu Ertragsverlusten auf Ackerflächen führen.

Für die Hauptgruppe der versorgenden Leistungen wurden – im Vergleich zu CICES und anderen Klassifizierungen – für den RESI Anpassungen vorgenommen und solche ausgewählt, die an Flüssen und in Auen relevant sind (s. *Tabelle 2-1*). Innerhalb der Untergruppe „Nahrungsmittel“ werden im RESI aufgrund ihrer geringen Relevanz in Deutschland keine Wildpflanzen, Algen oder in-situ Aquakultur betrachtet. Außerdem werden die in CICES betrachteten Klassen „reared animals and their outputs“ und „material from plants for agricultural use“ im RESI zusammengeführt, was eine deutliche Änderung gegenüber anderen Klassifizierungssystemen darstellt. Der Grund hierfür ist, dass die Futterpflanzen einen Zwischenschritt der Viehwirtschaft darstellen. Eine Erfassung sowohl der Bereitstellung von Futter (Ackerfutter, Dauergrünland) als auch der unter anderem auf dieser Grundlage erzeugten tierischen Produkte (Milch, Fleisch, Wolle) würde damit leicht zu einer Doppelzählung der ÖSL führen.

*Tabelle 2-1: Klassifizierung der versorgenden ÖSL im RESI.*

Untergruppe	Ökosystemleistung
Nahrungsmittel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kulturpflanzen</li> <li>• Pflanzliche Biomasse für den Einsatz in der Landwirtschaft</li> <li>• Wildtiere und Fische (konsumtiv)</li> <li>• Trinkwasser (Oberflächenwasser)</li> <li>• Trinkwasser (Grundwasser)</li> </ul>
Rohstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pflanzliche Rohstoffe für Verarbeitung</li> <li>• Brauchwasser in Industrie und Landwirtschaft (Oberflächen- und Grundwasser)</li> </ul>
Energie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pflanzliche Energierohstoffe aus Landwirtschaft, Kurzumtriebsplantagen, Holzwirtschaft</li> </ul>

Innerhalb der Untergruppe Rohstoffe werden die pflanzlichen Rohstoffe in der Landwirtschaft aus dem genannten Grund nicht mehr erfasst. Tierische Rohstoffe (in Form organischer Düngemittel) stellen theoretisch eine weitere ÖSL dar, für die jedoch in der Praxis kaum belastbare Daten vorliegen, insbesondere im Hinblick auf den Raumbezug der *morphologischen Aue*. Organische Düngemittel werden zum einen als Rohstoff in der Pflanzenproduktion eingesetzt, können auf der anderen Seite aber auch durch den Nährstoffeintrag eine Belastung des Ökosystems darstellen. Zudem fallen Ursprung und Nutzung zum Teil räumlich weit auseinander. Im Bereich der pflanzlichen Rohstoffe für die Verarbeitung wird nur Holz erfasst, da der Industriepflanzenanbau auf landwirtschaftlicher Fläche für die morphologische Aue nicht relevant ist.

Innerhalb des Projekts RESI wurden Methoden zur Erfassung und Bewertung der ÖSL Kulturpflanzen (bereitgestellt und genutzt), pflanzliche Biomasse für den Einsatz in der Landwirtschaft, Wasserbereitstellung als Trinkwasser (Oberflächenwasser, *Grundwasser*) sowie Brauchwasser in Industrie und Landwirtschaft zusammengefasst.

### 2.5.3 Regulative Ökosystemleistungen

Regulative ÖSL stehen für den Nutzen des Menschen aus natürlichen Prozessen des Energie-, Wasser- und Stoffhaushalts der Ökosysteme. Zu den regulativen ÖSL-Untergruppen, die im RESI-Projekt betrachtet werden, gehören *Retention*, Globalklima, Regional-/Lokalklima, Extremabfluss, Entwässerung, *Sedimente* und Habitatbereitstellung (s. *Tabelle 2-2*). Dabei wurden die regulativen ÖSL im Vergleich zu CICES etwas anders unterteilt. Die regulativen ÖSL, welche die Wasserqualität beeinflussen, wurden in die Retention von C, N und P separiert, weil diese Nährstoff- und Kohlenstoffretentionsprozesse wichtig für die „Selbstreinigung“ von Fluss-Auen-Systemen sind. ÖSL und ÖSL-Untergruppen, wie z. B. Minderung von Lärm/Geruch/visuellen Störungen, Luft- und Gasmassenbewegungen, Schädlings- und Krankheitskontrolle, wurden nicht mit einbezogen. Sie werden als weniger relevant im Zusammenhang mit Flüssen und Auen eingestuft, und der Gesundheit dienende Aspekte werden bereits in den kulturellen ÖSL berücksichtigt.

Die ÖSL Vorflut steht für die Möglichkeit, dass Wasser mit natürlichem Gefälle abfließen kann (vgl. DIN 4049 Teil 1), was als Leistung zur Landentwässerung aufgefasst wird. Diese Leistung, die im Flachland von erheblicher Bedeutung ist, wird u. a. durch das Wachstum von Niedermooren in Auen erbracht, und durch menschliche Eingriffe vielerorts beeinträchtigt. Der Begriff des „Hochwasserschutzes“ wurde gegenüber CICES in Hochwasserregulation abgeändert, um den *anthropogen* geprägten Begriff des Schutzes zu vermeiden und die Leistung natürlicher Abflussregulation zu betonen (vgl. Mehl et al. 2013). Bewusst wird auch die Niedrigwasserregulation als Leistung auf-

gefasst, die durch den Klimawandel zunehmende Bedeutung für den Menschen hat. Hochwasser- und Niedrigwasserregulation sind eine wesentliche Grundlage für den *guten Zustand* bzw. das *gute Potenzial* der Flüsse nach WRRL und bilden somit wichtige Zielgrößen der Bewirtschaftung des Wasserhaushalts von Flüssen und Auen im Sinne von WRRL und Wasserhaushaltsgesetz (WHG).

*Tabelle 2-2: Klassifizierung der regulativen ÖSL im RESI.*

Untergruppe	Ökosystemleistung
Retention	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retention von organischem C</li> <li>• Retention von N</li> <li>• Retention von P</li> </ul>
Globales Klima	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rückhalt von Treibhausgasen, Kohlenstoffsequestrierung</li> </ul>
Extremabfluss	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hochwasserregulation</li> <li>• Niedrigwasserregulation</li> </ul>
Entwässerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorflut</li> </ul>
Sedimente (inkl. Schwebstoffe)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sedimentregulation</li> <li>• Bodenbildung in Auen</li> </ul>
Regional-/ Lokalklima	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kühlwirkung (Gewässer und Böden)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Habitatbereitstellung</li> </ul>

Die ÖSL Habitatbereitstellung wurde in Anlehnung an CICES (Haines-Young & Potschin 2013) als Leistung zur Erhaltung von Lebenszyklen und *Habitaten* definiert. Die Erhaltung der Arten und Habitate zielt hier nicht nur auf genutzte und nutzbringende Arten ab, sondern auf alle Arten und Lebensräume (Erhaltung der Biodiversität als eigener Wert, vgl. BNatSchG, Art. 1). Daher werden im Projekt RESI die CICES-Klassen „Bestäubung und Diasporenverbreitung“ oder die „Erhaltung von Aufzuchtpopulationen und -habitaten“ nicht als separate ÖSL aufgeführt.

### 2.5.4 Kulturelle Ökosystemleistungen

Unter kulturellen ÖSL werden die kulturellen Prozesse und Objekte verstanden, die Menschen durch die Interaktion mit dem Ökosystem aktiv schaffen und ausdrücken (Fish et al. 2016). Durch kulturelle ÖSL entstehen nicht-materielle Vorteile (z. B. Stressabbau), die sich aus der Beziehung der Menschen zu ihrer Umwelt ergeben (Chan et al. 2012). Dabei werden die Strukturen und Prozesse der Ökosysteme als Bezugs- und Ausgangspunkt genutzt.

In dieser Hauptgruppe wurden viele Aspekte der CICES-Klassifikation übernommen. Für die fünf klar abgegrenzten ÖSL wurden keine Untergruppen gebildet (s. Tabelle 2-3). Basierend auf der CICES-Klasse „Erleben von Tieren, Pflanzen und Landschaften“ wird im RESI die ÖSL unspezifische Interaktion mit der Flusslandschaft als eine kulturelle ÖSL betrachtet. Die CICES-Klasse „Nutzung von Landschaften zum Wandern, Sportangeln etc.“ wird für RESI spezifiziert zu wasserbezogene Aktivitäten. Die Klasse umfasst Baden, Freizeit-Bootfahren, Angeln und Naturbeobachten (Bark et al. 2015; Plieninger et al. 2013; Vermaat et al. 2013). Die drei CICES-Klassen „Bildung“, „Naturvermittlung“ und „Wissenschaft“ werden zu Bildung und Wissenschaft zusammengefasst. Die vier CICES-Klassen „symbolische Bedeutung“, „spirituelle Bedeutung“, „Existenzwert“ und „Vermächtnis an zukünftige Generationen“ werden im Projekt RESI nicht als eigenständige ÖSL-Klasse betrachtet. Zum einen besteht bei einer Bewertung die Gefahr der Doppelzählung, zum anderen liegen keine bundesweiten Daten für ihre Quantifizierung vor.

Tabelle 2-3: Klassifizierung der kulturellen ÖSL im RESI.

Hauptgruppe	Ökosystemleistung
Kulturelle ÖSL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Landschaftsbild</li> <li>• Natur- und Kulturerbe</li> <li>• Bildung und Wissenschaft</li> <li>• Unspezifische Interaktion mit der Flusslandschaft</li> <li>• Wasserbezogene Aktivitäten</li> </ul>

### 2.6 Welche Sicht haben die Akteur\*innen auf die Ökosystemleistungen von Flüssen und Auen?

Da jede Bewertung von ÖSL auf deren Wertschätzung durch die Gesellschaft basiert, wurde eine Umfrage unter Fachleuten durchgeführt, um deren Wahrnehmung der von Flüssen und Auen bereitgestellten ÖSL zu untersuchen. Dabei wurde gefragt, wie vertraut die involvierten Akteur\*innen mit dem Konzept von ÖSL sind, wie hoch ihr Interesse an der Anwendung des Konzepts ist, und wie sie die verschiedenen einzelnen ÖSL wahrnehmen und bewerten.

Es gingen 198 Antworten von Fachleuten ein, die an verschiedenen Institutionen (Universitäten/Forschungsinstitute, staatliche Behörden und Ämter, Wassersport, Freiberufler\*innen, Privatunternehmen) arbeiten und dort ein breites Spektrum wasserwirtschaftlicher Arbeitsgebiete auf verschiedenen räumlichen Ebenen von regionaler bis zu europäischer Ebene abdecken, übermittelt wurden. Die Antworten zeigten, dass eine große Mehrheit von 87 % der Behördenvertreter\*innen mäßig bis sehr interessiert an ÖSL sind. Noch höheres Interesse zeigten die Vertreter von kleinen und mittleren Unternehmen und Umweltverbänden (89 % bzw. 100 %).

Dabei waren Befragte aus den Bereichen Politik, Fischerei/Jagd und Forst-/Landwirt-

schaft, Naturschutz und Bildung & Wissenschaft bereits am vertrautesten mit dem ÖSL-Konzept, während solche aus den Sektoren Hochwasserschutz, Infrastruktur und Tourismus am wenigsten vertraut waren. Hierbei war die Vertrautheit der Befragten mit dem ÖSL-Konzept unabhängig von ihrer räumlichen Arbeitsebene (regional, bundesweit oder EU-Ebene).

Das größte Interesse an der Anwendung des ÖSL-Konzepts besteht in den Sektoren Politik, Fischerei/Jagd, Land-/Forstwirtschaft, Naturschutz, Bildung und Wissenschaft, das geringste in den Sektoren Hochwasserschutz, Planung und Infrastruktur. Das ÖSL-Konzept hat bereits für die Arbeit von 31 % der Befragten Bedeutung. Dies gilt insbesondere für Behörden auf allen räumlichen Arbeitsebenen.

Die Befragten empfehlen den Einsatz des ÖSL-Konzepts vor allem für die Zielgruppen Politik, Öffentlichkeit und Behörden, aber auch für Bildung, Land-/Forstwirtschaft, Fischerei/Jagd und Hochwasserschutz. Versorgende ÖSL werden von Wissenschaftler\*innen als bedeutender eingeschätzt als von Behördenmitarbeiter\*innen, während jene regulative ÖSL und Basisleistungen für bedeutender halten als Wissenschaftler\*innen.

Die Monetarisierung von ÖSL wird von 72 % der Befragten als recht nützlich oder sehr nützlich erachtet, insbesondere von Behördenmitarbeiter\*innen mit langer Berufserfahrung, die auf Bundes- und europäischer Ebene arbeiten. Basisfunktionen, einige kulturelle ÖSL und einige regulative ÖSL werden für eine Monetarisierung als überdurchschnittlich geeignet angesehen.

Die erfolgreiche Interaktion mit Akteur\*innen im Forschungsprozess sowie die hohe Beteiligung an dem relativ komplexen Erhebungsfragebogen stellen zentrale Bausteine der Einbindung von Akteur\*innen in das Projekt RESI dar. Die Ergebnisse belegen die hohe Relevanz des ÖSL-Konzepts in Deutschland, und das breite Interesse an der gesamten Bandbreite der unterschiedlichen ÖSL bestätigt unseren integrativen Ansatz der Entwicklung des RESI.

### **Kernaussagen:**

- Flüsse und Auen sind komplexe, dynamische Ökosysteme.
- Die im Projekt RESI erfassten ÖSL ermöglichen einen fachübergreifenden Dialog in Entscheidungsprozessen.
- Konzeptionell wird im Projekt RESI zwischen bereitgestellten ÖSL und genutzten ÖSL unterschieden.
- Auf der Grundlage der internationalen CICES-Klassifizierung wurde eine für Flusslandschaften angepasste RESI-ÖSL-Klassifikation erstellt. Der RESI bildet versorgende, regulative und kulturelle ÖSL ab.

# 3 Methodische Grundlagen der Erfassung und Bewertung von Ökosystemleistungen im RESI

- 3.1 Wie werden die verschiedenen Ökosystemleistungen im RESI bewertet?
- 3.2 In welchen Modellregionen wurde der RESI getestet?
- 3.3 Was sind die Grenzen und Möglichkeiten in der Anwendung des RESI-Ansatzes?

*In diesem Kapitel werden die methodischen Hintergründe des RESI von den räumlichen und inhaltlichen Bewertungsebenen bis hin zu den Modellregionen dargestellt.*



### 3.1 Wie werden die verschiedenen Ökosystemleistungen im RESI bewertet?

Es stehen bereits zahlreiche Methoden zur Bewertung von *Ökosystemleistungen* (ÖSL) zur Verfügung, die auf monetären oder nicht monetären Ansätzen beruhen. Dabei hat die Wahl der Bewertungsmethoden durchaus Einfluss auf das, was tatsächlich erfasst wird bzw. wie das Ergebnis interpretiert werden kann. Bei einem umfassenden Ansatz wie dem River Ecosystem Service Index (RESI) ist die Vergleichbarkeit sehr wichtig, da die verschiedenen Einzel-Indizes zusammengeführt werden müssen. Dabei gilt selbst im Falle einer Monetarisierung „Geld ist nicht gleich Geld“. Dies bedeutet, dass z. B. Ergebnisse einer Ersatzkostenrechnung nicht direkt mit Ergebnissen zur Zahlungsbereitschaft verglichen werden können.

Betrachtet man die Gesamtheit der ÖSL, so kann die Mehrheit zumindest qualitativ erfasst werden. Für einen relativ großen Teil stehen auch Methoden zur quantitativen Erfassung zur Verfügung. Jedoch ist nur für einen kleinen Teil davon eine Monetarisierung möglich.

Im Projekt RESI wurde der Fokus auf die quantitative, räumlich explizite Erfassung und Bewertung von ÖSL gelegt. Ziel dabei war eine reproduzierbare und transparente Erfassung und Bewertung von ÖSL, die auch in Planungsprozesse eingebunden werden kann. Vor diesem Hintergrund konzentrierte sich die Methodenentwicklung auf die Nutzung von vorhandenen Geodaten und deren Verarbeitung in Geographischen Informationssystemen (GIS) zur Erstellung von Kartendarstellungen unterschiedlicher Komplexität. Um die Vergleichbarkeit aller ÖSL zu gewährleisten, wurde sowohl ein ge-

meinsamer Betrachtungsraum als auch eine einheitliche Bewertungsskala festgelegt.

#### Monetäre Ansätze

- Marktbewertungsmethoden, die auf realen Marktpreisen für konkrete Produkte basieren
- Offenbarte Präferenzen, die auf Daten zum (Kosten-) Verhalten von Menschen beruhen
- Geäußerte Präferenzen, die auf Daten zum hypothetischen Verhalten von Menschen beruhen; hierzu zählen u. a. Zahlungsbereitschaftsanalysen
- Prozessbezogene bzw. gruppenbasierte Verfahren, die eher qualitative Präferenzen ermitteln oder dies mit Beratungsprozessen verbinden

#### Videos zur Einführung in monetäre Methoden

##### Conservation Strategy Fund

- Intro to Valuation
- Classes of Values
- Travel Cost Method
- Choice Experiments
- Contingent Valuation

Die Links befinden sich auf [www.resi-project.info/plattform](http://www.resi-project.info/plattform)

#### Nicht-monetäre Ansätze

- Indikatorenbasierte Berechnung
- Modellierung
- Partizipative Verfahren
- Expertenbasierte Abschätzung

### Weiterführende Literatur zu verschiedenen Bewertungsansätzen

- Ökosystemdienstleistungen – Konzept, Methoden und Fallbeispiele (Grunewald & Bastian 2012)
- Ökosystemfunktionen von Flussauen (Scholz et al. 2012)
- Zusammenfassungen von diversen Artikeln auf dem Portal Innovationsnetzwerk Ökosystemleistungen Deutschland ([www.esp-de.de](http://www.esp-de.de))
- Routledge Handbook of Ecosystem Services (Potschin et al. 2016)
- Mapping Ecosystem Services (Burkhard & Maes 2017)
- Cook-book for water ecosystem service assessment and valuation (Grizetti et al. 2015)

Die Links befinden sich auf [www.resi-project.info/plattform](http://www.resi-project.info/plattform)

### Räumliche Ebenen

Als einheitlicher Bewertungsraum wurden für den RESI *Fluss-Auen-Segmente* mit einer Länge von je 1 km festgelegt. Diese werden auch im nationalen Auenprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) und des Bundesamts für Naturschutz (BfN) verwendet und stellen für mittelgroße und große Fließgewässer eine ausreichende räumliche Auflösung dar.

### Kompartimente

Steht für die drei räumlichen Zonen einer *morphologischen Aue* (Abbildung 3-1):

- Die Fläche des Hauptfließgewässers (*Fluss* ohne Altarme, Häfen und dergleichen)
- Die Fläche der *rezenten Aue* (bei Hochwasser überflutete Bereich)
- Die Fläche der *Altaue* (Bereich, die vom Überflutungsregime des Flusses abgeschnitten wurden)

#### Morphologische Aue

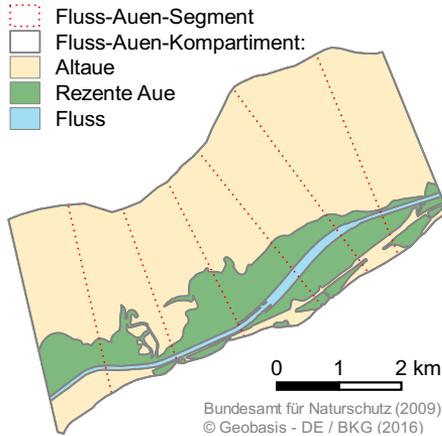


Abbildung 3-1: Schematische Darstellung der Fluss-Auen-Kompartimente in der morphologischen Aue.

Die Fluss-Auen-Segmente lassen sich in Querrichtung in *Kompartimente* unterteilen (Brunotte et al. 2009). Eine räumliche Abgrenzung (s. *Abbildung 3-1*) für die *morphologischen Auen* ist für 79 Flüsse in Deutschland vorhanden.

## Skalierung

Für den RESI wurde eine einfache, transparente fünfstufige Skala entwickelt, getestet und etabliert (s. *Tabelle 3-1*). Diese RESI-Skala ist in Bezug auf den möglichen Detaillierungsgrad für alle ÖSL anschlussfähig, ermöglicht eine anschauliche Visualisierung in Form von Karten und Diagrammen und ist vereinbar mit bestehenden Bewertungssystemen im Gewässerbereich (z. B. *europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)*).

Dabei ist die RESI-Skala gegenüber der Skala der WRRL entgegengesetzt ausgerichtet, da dies die Handhabung bei der Indexzusammenführung und Visualisierung sowie die Anschlussfähigkeit an verschiedene Wissenschaftsdisziplinen (z. B. Ökologie, Ökonomie) und Sektoren in der Praxis (z. B. Tourismus, Naturschutz) ermöglicht (Podschun et al. 2018).

*Tabelle 3-1: Erläuterung der fünfstufigen RESI-Skala.*

Farbcode	ÖSL-Klasse und ihre Bedeutung
	5 - Sehr hoch
	4 - Hoch
	3 - Mittel
	2 - Gering
	1 - Sehr gering bis fehlend

Um die Unterschiede in verschiedenen *Flusslandschaften* zu berücksichtigen wird die Gewässer- und die Auentypabhängigkeit bei der Skalierung fallweise berücksichtigt.

Hierzu werden bereits typabhängige Daten (z. B. im Hinblick auf *Fließgewässerstrukturgüte* oder Auenzustand) oder flächennormierte Ansätze verwendet (Leistung je Flächeneinheit).

*Tabelle 3-2: Übersicht zu den im Handbuch vorgestellten Fallbeispielen.*

Modellregion	Donau	Nebel	Nahe	Wupper
Fließstrecke [km]	80	70	59	115
Einzugsgebiet [km <sup>2</sup> ]	15.131 (in Donauwörth)	998	3920	813
Fläche <i>rezente Aue/Altaue</i> [km <sup>2</sup> ]	123,2/218,8	22,9/13,2	9,9/14,9	4,9/19,6
<i>Auentyp</i> (nach Koenzen 2005)	Gefällereiche Flussauen der Voralpen mit Sommerhochwassern, kies-/schottergeprägt	Sehr gefällearme bis gefällearme Flussae des Flach- und Hügellandes; überwiegend organisch geprägt	Gefällereiche Flussae des Grundgebirges (Kirn bis Bingen)	Gefällereiche Flussae des Grundgebirges, schottergeprägt
Charakterisierung	Untersuchter Abschnitt stark anthropogen überformt, landwirtschaftlich geprägt im westlichen Teil: streckenweise noch größere Wälder	Auf weiten Strecken Wasserstandsreguliert, trotz zahlreicher Eingriffe in vielen Bereichen noch naturnah	Landwirtschaftlich geprägtes Einzugsgebiet der Mittelgebirge mit engen Tallagen, Weinbau, Naherholungsgebiete, Kurbäder	Sehr hohe Bevölkerungsdichte (1040 Einwohner pro km <sup>2</sup> ), große städtische Gebiete (Wuppertal, Solingen, Remscheid und Leverkusen)

### 3.2 In welchen Modellregionen wurde der RESI getestet?

Für die Flüsse Donau, Rhein und Elbe wurden jeweils längere Abschnitte, und für die kleineren Flüsse Nebel, Nahe und Wupper große Teile bzw. der gesamte Flusslauf betrachtet (s. *Abbildung 3-2*). Innerhalb dieser großen Abschnitte wurden zusätzlich kleine Gebiete festgelegt, um eine detaillierte Analyse anhand von spezifischeren Daten durchzuführen.

Für den Praxistest (s. *Tabelle 3-2, Seite 22*) im Projekt RESI wurden Abschnitte ausgewählt, in denen Bewirtschaftungsmaßnahmen durchgeführt wurden oder geplant sind. Gleichzeitig konnte die Anwendung des RESI für verschiedenste *Auentypen* gezeigt werden.

### 3.3 Was sind die Grenzen und Möglichkeiten in der Anwendung des RESI-Ansatzes?

Die Berechnungen und Bewertungen der ÖSL im Projekt RESI basieren auf der jeweils vorliegenden Datenbasis und angewandter, größtenteils relativ einfacher Berechnungsmethoden. Weil die Größenordnungen und die darauf basierenden Skalierungen und Bewertungen plausibel sind, können diese hinsichtlich der Exaktheit als fundierte Abschätzungen eingestuft werden. Der RESI lässt sich damit in die Ebene eines Übersichtsverfahrens einordnen.

Der RESI ist prinzipiell deutschlandweit anwendbar und ermöglicht den Vergleich von *Planungsszenarien* und bereits umgesetzten

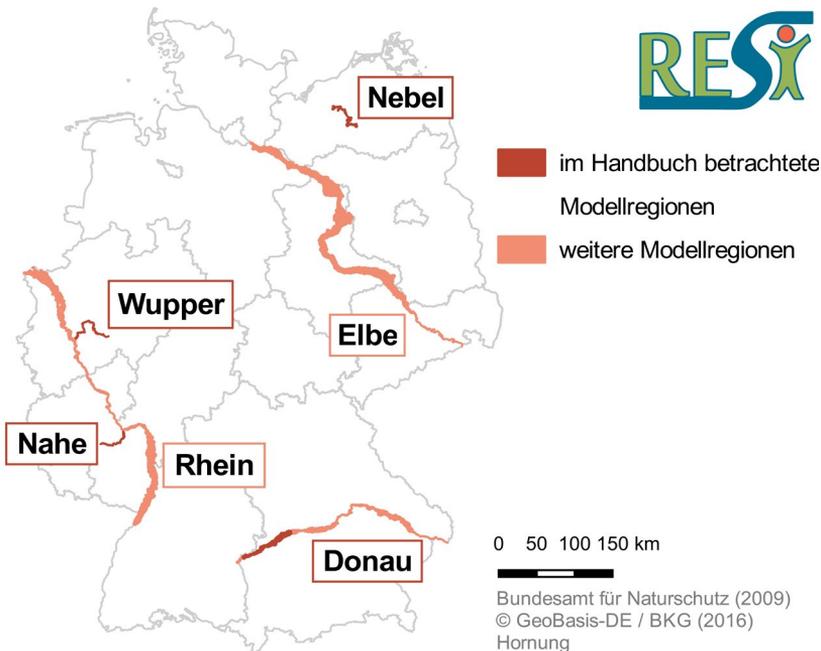


Abbildung 3-2: Übersichtskarte der RESI-Modellregionen.

*Maßnahmen.* Generell entscheidet die Qualität vorhandener Daten über die konkrete Anwendung der Methoden. Für die Berechnung einzelner ÖSL wurden unter anderem verschiedene Modellansätze (z. B. *Modeling Nutrient Emissions in River Systems (MONERIS)*, *Quality Simulation (QSim)*) verwendet. Bei fehlender Verfügbarkeit der Daten werden Alternativen aufgezeigt, die

eine Berechnung mit Hilfe von Richtwerten ermöglichen.

Für unterschiedliche Fließgewässer- und Auentypen wurde für betreffende ÖSL jeweils eine Anpassung der Skalierung entwickelt. Der RESI kann bei entsprechender Modifikation auch auf kleinere Gewässerökosysteme (z. B. urbane Gewässer und *Feuchtgebiete*) angewendet werden.

### Kernaussagen:

- Es gibt diverse quantitative sowie qualitative Ansätze zur Erfassung von ÖSL, die diese nicht-monetär (qualitativ oder quantitativ) oder monetär bewerten.
- RESI bewertet ÖSL quantitativ und nutzt dabei 1 km-Fluss-Auen-Segmente als einheitlichen Bewertungsraum.
- Die ÖSL-Bewertungen werden auf der fünfstufigen RESI-Skala dargestellt.
- Der RESI wurde in sechs *Modellregionen* getestet, die eine Auswahl verschiedener Fließgewässer- und Auentypen darstellen.
- Der RESI ist prinzipiell deutschlandweit anwendbar. Ein entscheidender Faktor ist die Verfügbarkeit und Vergleichbarkeit von Daten.



© Pixabay

## 4 Erfassung und Bewertung von Ökosystemleistungen mit dem RESI

4.1. Wie nutze ich die RESI-Werkzeuge?

4.2 Bewertung der versorgenden, regulativen und kulturellen Ökosystemleistungen

4.3 Wie können die Bewertungen der Ökosystemleistungen im RESI zusammengefasst werden?

*Dieses Kapitel gibt eine Übersicht über die Nutzung der RESI-Werkzeuge und beschreibt die Bewertung der einzelnen versorgenden, regulativen und kulturellen ÖSL, sowie die Index-Synthese.*

## 4.1 Wie nutze ich die RESI-Werkzeuge?

Für eine Nutzung des River Ecosystem Service Index (RESI), im Sinne einer quantitativen Erfassung und Bewertung der Ökosystemleistungen (ÖSL), wird ein schrittweiser Ansatz empfohlen (s. *Abbildung 4-1*), der im Folgenden dargestellt ist. Der RESI-Fünf-Schritte-Ansatz behandelt alle notwendigen Schritte zur effektiven Anwendung des RESI.

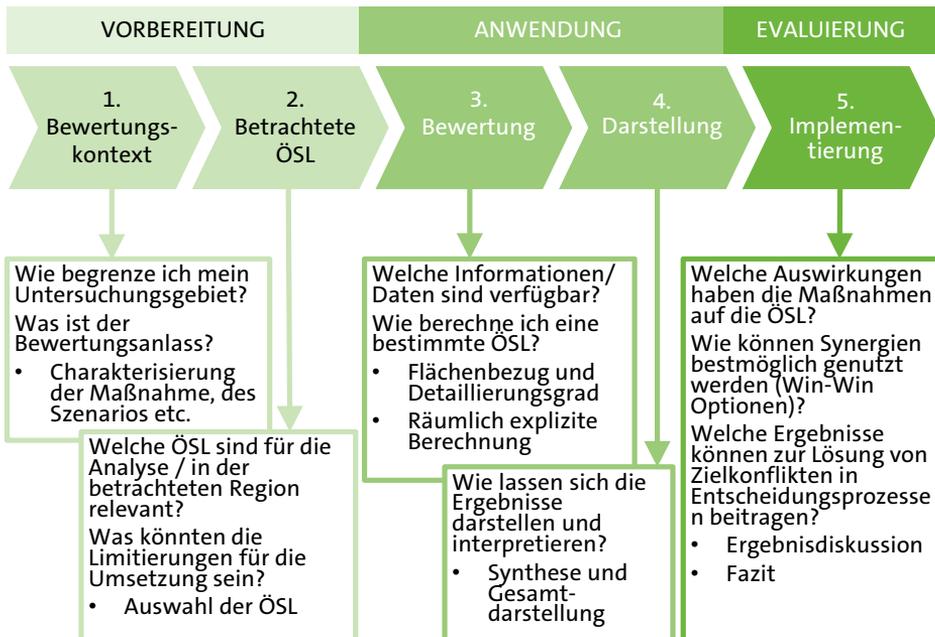
### 4.1.1 Bewertungskontext

Die Nutzer\*innen des RESI sollten sich darüber klar werden, welche Fläche bzw. Flussabschnitte untersucht werden sollen.

Wie begrenze ich mein Untersuchungsgebiet? Wie in *Kapitel 3.2* dargestellt, kann es

sich anbieten, den gesamten Gewässerverlauf oder aber nur Abschnitte davon zu betrachten. Die Analyse eines größeren Gebiets bzw. längerer Abschnitte erleichtert es, das potenzielle ÖSL-Optimum bzw. Minimum einer Region zu finden. Entscheidungsgrundlage sollte hier der Bewertungsanlass sein.

Was ist der Bewertungsanlass? Der RESI kann auf verschiedenen Ebenen als Instrument zur Entscheidungsunterstützung und zur Kommunikation von Entscheidungen eingesetzt werden (s. *Kapitel 5.1*). Der Bewertungskontext ist entscheidend für die Aussagen, die mit Hilfe des RESI getroffen werden sollen, z. B. ein Vergleich von *Planungszuständen*, die Evaluierung von erfolgten *Maßnahmen* (Vorher-Nachher-Vergleich) oder die Darstellung von *Szenarien*. Je nach Kontext sollte berücksichtigt werden, wel-



*Abbildung 4-1: Schematische Darstellung zur Anwendung des RESI in fünf Schritten. Diese werden jeweils anhand von Kernfragestellungen erläutert.*

chen Einfluss geplante Maßnahmen auf das Gebiet haben könnten bzw. wie groß das Untersuchungsgebiet dementsprechend gewählt werden sollte. Beispielsweise sollte der in den regulierten Flussabschnitten durch eventuelle *Querbauwerke* bedingte Rückstau weiträumig erfasst werden. Für großflächige Maßnahmen kommen ggf. auch länderübergreifende Abschnitte in Frage. In diesem Kontext sollte auch die Kompatibilität der Datengrundlagen geklärt werden. Um die Daten aufzubereiten, die z. B. im Rahmen der *europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRRL)* erhoben wurden, sollte mehr Zeit eingeplant werden. Die räumliche Bezugsebene des RESI ist bisher auf *Fluss-Auen-Segmente* bzw. *Kompartimente* (s. Kapitel 3.1) festgelegt, wodurch Veränderungen durch kleinräumige Maßnahmen nur bedingt abgebildet werden können. Allerdings wurden für viele ÖSL bereits Erweiterungsvorschläge erarbeitet, die eine detailliertere Analyse ermöglichen (s. *Factsheets in Kapitel 4.2*).

### 4.1.2 Betrachtete Ökosystemleistungen

Welche ÖSL sind für die Analyse bzw. in der betrachteten Region relevant? Allgemein wird empfohlen, ein möglichst breites Spektrum der ÖSL zu bewerten (s. *Abbildung 4-2*), um auch unvorhergesehene Änderungen abbilden zu können. Eine Mindestanforderung sollte die repräsentative Berücksichtigung aller ÖSL-Hauptgruppen, d. h. versorgende, regulative und kulturelle ÖSL, sein. Hierdurch können Trade-offs und Synergien nicht nur zwischen einzelnen ÖSL, sondern auch zwischen den ÖSL-Hauptgruppen erkannt und analysiert werden. Zusätzlich sollten zukünftige Wirkungen und Unsicherheiten mitbetrachtet werden. Prinzipiell sind jene ÖSL zu priorisieren und in die Analysen aufzunehmen, die im Untersuchungsgebiet relevant sind und die durch (geplante) Maßnahmen beeinflusst werden.

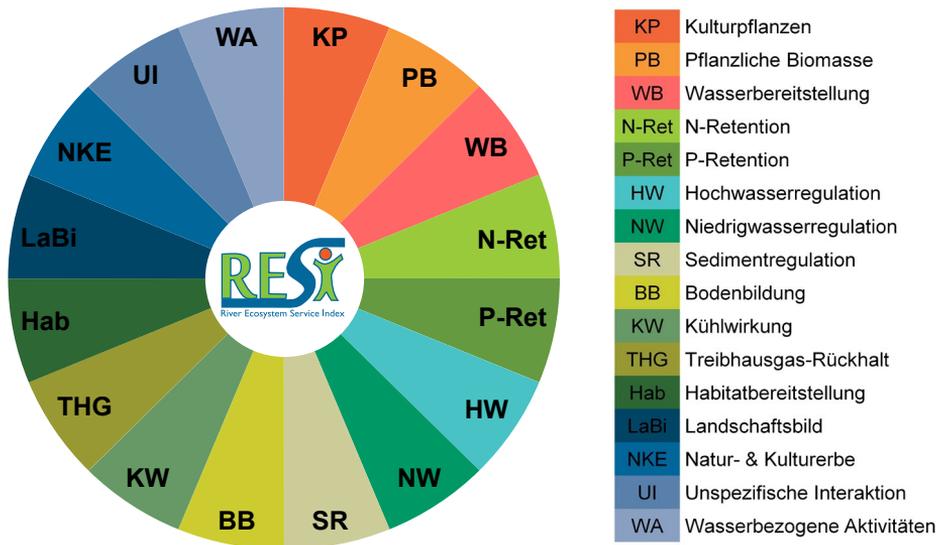


Abbildung 4-2: Darstellung der im RESI-Projekt erfassten und bewerteten ÖSL.

Für jede ÖSL werden auf der einleitenden Seite der dazugehörigen Factsheets weitere Hinweise zu den Kontexten gegeben, in denen eine Bewertung zu empfehlen ist.

Über die inhaltliche Ebene hinaus sollte man sich ebenfalls mit der Frage beschäftigen: Was können Limitierungen für eine Umsetzung sein? Die Durchführung der ÖSL-Bewertung kann durch Finanzmittel, Ressourcen (u. a. Datenzugang, Personal), Fachwissen und Zeitrahmen begrenzt sein. Eine realistische Betrachtung dieser Einschränkungen hilft, größere Hindernisse bei der Umsetzung zu vermeiden. Zusätzlich sollte überprüft werden, ob es möglich ist, die zu betrachtenden ÖSL, mit den zur Verfügung stehenden Daten, zu berechnen.

#### 4.1.3 Bewertung

Für die Bewertung von einer bzw. aller ÖSL benötigt man oftmals eine beträchtliche Datenmenge. Daher sollte geprüft werden, welche Informationen/Daten verfügbar sind. Das Auffinden und Beschaffen aus externen Datenquellen erfordert gründliche Planung und kann einen erheblichen Aufwand bedeuten.

Wie berechne ich eine bestimmte ÖSL? Die RESI-Factsheets vermitteln in leicht verständlicher Weise, wie die einzelnen ÖSL berechnet werden können. Für einige ÖSL, wie z. B. Habitatbereitstellung gibt es ein Übersichtsverfahren sowie einen Vorschlag für ein Detailverfahren. Die Verlässlichkeit der ÖSL-Berechnung hängt dabei von der Qualität und Auflösung der vorhandenen Daten ab.

#### 4.1.4 Darstellung

Wie lassen sich die Ergebnisse darstellen? Zunächst sollten Ergebnisse und Karten für die einzelnen ÖSL auf Fluss-Auen-Kompartiment-Ebene (soweit anwendbar für die entsprechende ÖSL) sowie auf der Ebene der Fluss-Auen-Segmente erstellt werden.

Für die integrierende Visualisierung aller ÖSL sind zwei Darstellungsformen vorgesehen: 1) die Summe aller ÖSL bzw. eine andere Indexvariante (s. Kapitel 4.3) und 2) die Bewertungen der einzelnen ÖSL in Form eines Polar-Diagramms (s. Abbildung 4-2, Seite 27).

Auf der Grundlage der Gesamtdarstellung für den *Bezugszustand* sowie für das jeweilige Szenario oder den Planungszustand, ist es möglich, die Veränderungen der Zusammensetzung der verfügbaren ÖSL und deren Interaktionen festzustellen.

In Abhängigkeit von dem Bewertungskontext bieten sich unterschiedliche Darstellungen (bzw. Kombinationen aus Karten und Grafiken) an. Anhand der Zielgruppe sollte entschieden werden, welcher Gesamtindex bzw. welche Kombination aus Darstellungen für die Analyse in dem jeweiligen Kontext am geeignetsten ist, um Unterschiede abzubilden.

#### 4.1.5 Implementierung

Die Implementierung des RESI in Entscheidungsprozesse kann je nach Bewertungskontext (s. Abbildung 4-1, Schritt 1, Seite 26) variiert werden.

Welche Auswirkungen haben die Maßnahmen auf die ÖSL? Der Einfluss der untersuchten Maßnahme auf den RESI kann auf zwei Ebenen erfolgen. Einerseits auf der

Grundlage der Ergebnisse der einzelnen ÖSL, beispielsweise der Habitatbereitstellung oder kulturellen ÖSL in Fluss-Auen-Kompartimenten. Andererseits kann die Summe aller positiven und negativen Veränderungen für jedes Fluss-Auen-Segment dargestellt werden. Diese zeigt beispielweise, in welchen Segmenten es ausschließlich positive Änderungen gibt.

Wie können Synergien (Win-Win-Optionen) bestmöglich erkannt werden? Hierzu bietet es sich an, Segmente mit einer sehr guten Kombination von ÖSL näher zu betrachten und die Kontextfaktoren, wie etwa die Lage und Flächenverhältnisse in der *morphologischen Aue* als mögliche Rahmenfaktoren zu prüfen.

Welche Ergebnisse können zur Lösung von Zielkonflikten in Entscheidungsprozessen beitragen? Hierfür können insbesondere zusätzliche, nicht direkt intendierte Änderungen, wie etwa eine Steigerung der kulturellen ÖSL durch eine *Renaturierung*, eine Argumentationsbasis bieten. Auch eine erfolgreiche Steigerung von diversen regulativen ÖSL bei gleichzeitig nur geringer Verringerung der versorgenden ÖSL kann zur Argumentation genutzt werden.

### 4.2 Bewertung der versorgenden, regulativen und kulturellen Ökosystemleistungen

Eine Übersicht mit Seitenangabe zu den in diesem Kapitel betrachteten ÖSL ist in den *Tabellen 4-1 bis 4-3* zu finden. An den jeweiligen Stellen befinden sich Einführungen zu den ÖSL, gefolgt von detaillierten Beschreibungen zur Bewertung der ÖSL in der Form von Factsheets, und ergänzende Erklärungen zu den Bewertungen.

Tabelle 4-1: Inhaltsverzeichnis zu den versorgenden ÖSL.

Symbol ÖSL	Name ÖSL	Seite
Gruppe der versorgenden Ökosystemleistungen		
	Kulturpflanzen	31
	Pflanzliche Biomasse	37
Ergänzungen zur Gruppe der versorgenden Ökosystemleistungen		40

Tabelle 4-2: Inhaltsverzeichnis zu den regulativen ÖSL.

Symbol ÖSL	Name ÖSL	Seite
Regulative Ökosystemleistungsgruppe Stoffmetabolisierung		
	C-Retention	43
	N-Retention	47
	P-Retention	53
Ergänzungen zur regulativen Ökosystemleistungsgruppe Stoffmetabolisierung		58
Regulative Ökosystemleistungsgruppe Stofftransport		
	Hochwasserregulation	61

Symbol ÖSL	Name ÖSL	Seite
	Niedrigwasserregulation	65
	Sedimentregulation	68
	Bodenbildung	72
	Kühlwirkung	77
	Rückhalt von Treibhausgasen	81
Ergänzungen zur regulativen Ökosystemleistungsgruppe Stofftransport		85
	Habitatbereitstellung	88
Ergänzungen zur regulativen Ökosystemleistung Habitatbereitstellung		101

Symbol ÖSL	Name ÖSL	Seite
	Unspezifische Interaktion mit der Flusslandschaft	115
	Wasserbezogene Aktivitäten	122
Ergänzungen zur Gruppe der kulturellen Ökosystemleistungen		130

Tabelle 4-3: Inhaltsverzeichnis zu den kulturellen ÖSL.

Symbol ÖSL	Name ÖSL	Seite
Gruppe der kulturellen ÖSL		
	Landschaftsbild	104
	Natur- und Kulturerbe	108



Versorgende Ökosystemleistungen

## Kulturpflanzen

### Kurzbeschreibung

Genutzte landwirtschaftliche Kulturpflanzen (z. B. Getreide, Hackfrüchte, Gemüse, Obst) sowie das bereitgestellte Ertragspotenzial.

### Bedeutung

Durch ihre natürlicherweise hohe Bodenfruchtbarkeit sind Auen oftmals insbesondere für den Anbau von Kulturpflanzen oder für die Erzeugung pflanzlicher Rohstoffe wie Futtermittel und Holz geeignet. Das Potenzial dieser ÖSL kann mit Hilfe des RESI berechnet werden.

### Anwendungsempfehlung

Die Erhebung ist zu empfehlen, wenn sich innerhalb der Auen landwirtschaftliche Nutzflächen befinden, deren Zuführung zu einer anderen Landnutzung (z. B. Schutzgebiete) geprüft werden soll. Hier kann die Erhebung helfen, den Wert der landwirtschaftlichen Produktion zu erfassen und Kompensationen für relevante Gebiete zu definieren.

### Sensitivität

Der Indikator reagiert sensitiv auf Änderungen der Landnutzung und der Überflutungsfrequenz (und damit auch auf Maßnahmen zum Hochwasserschutz).

Klasse und Typ	Abk.	Kurzbeschreibung		Raumbezug	
Versorgend Bereitgestellt	EP	Ertragspotenzial der landwirtschaftlich nutzbaren Standorte innerhalb der Auen		Fluss-Auen-Segment (1 km) oder Kompartiment <input checked="" type="checkbox"/> Altaue <input checked="" type="checkbox"/> rezente Aue <input type="checkbox"/> Fluss	
Variable	Abk.	Einheit	Bewertungsgröße	Datenquelle	Anmerkung
Landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF) (Ackerflächen, Grünland, Dauerkulturflächen, Dauerweideflächen)	LF	ha	Flächenberechnung: Acker- und Grünlandfläche (für rezente Aue, Altaue je Auensegment)	- Fluss-Auen-Segmente - Corine Landcover Classification (CLC) - Land-Bedeckungs-Modell - ggf. Luftbilder	
Standortspezifisches Ertragspotenzial (Ertragsstufen) für die landwirtschaftliche Nutzung	EP	Klassen, ordinal skaliert	Gewichtung der Ackerfläche nach Höhe des Ertragspotenziales (Klassifizierung bundesländerspezifisch)	- landwirtschaftliche Standortkartierung (je nach Bundesland)	Klassifizierung bundesländerspezifisch

Berechnungsverfahren					
Schritte			Indikator		
1. Definition der Bezugsflächen für jedes Segment oder Kompartiment j (Geoinformationssysteme (GIS)) 2. Identifikation aller landwirtschaftlich genutzten Flächen i innerhalb der Bezugsflächen j aus Landnutzungsdaten (GIS) 3. Berechnung des Indikators für jede Bezugsfläche 4. Klassifizierung des resultierenden durchschnittlichen Ertragspotenziales in fünf Klassen			Berechnung des landwirtschaftlichen Ertragspotenziales der Fluss-Auen-Segmente (für j = 1, 2, ...n Fluss-Auen-Segmente) $Ind_{EP}(j) = \sum_{i=1}^n (j) \frac{LF_i * EP_i}{LF_{j,gesamt}} \div p(EP)$ j = 1, 2, ...n Fluss-Auen-Segmente i = 1, 2, ...n Teilflächen innerhalb der Fluss-Auen-Segmente p = 1, 2, ...n Anzahl der Klassifizierungsstufen des Ertragspotenziales		
<b>Ind<sub>EP</sub></b>	> 80%	> 60% - 80%	> 40% - 60%	> 20% - 40%	≤ 20%
<b>RESI</b>	5	4	3	2	1
<b>Qualitative Beurteilung</b>	Sehr hohes Ertragspotenzial	Hohes Ertragspotenzial	Mittleres Ertragspotenzial	Geringes Ertragspotenzial	Sehr geringes Ertragspotenzial

Bedeutung des Indikators
<p><b>Interpretation</b></p> <p>Der Indikator gibt an, wie hoch die natürliche Fruchtbarkeit des Bodens als Grundlage für die landwirtschaftliche Produktion ist und beschreibt damit das standortspezifische Potenzial für die Bereitstellung der Ökosystemleistung (ÖSL) für die Landwirtschaft.</p> <p>Der Betriebsmittelinput ist hier nicht berücksichtigt, lediglich die natürlichen Standortbedingungen gehen hier ein. Die Höhe des Indikators gibt einen Anhaltspunkt über die Möglichkeiten der landwirtschaftlichen Produktion (z. B. ist Weizenanbau nur bei hohem und sehr hohem Potenzial möglich) und bestimmt damit auch die Dimension der auf der Fläche nutzbaren ÖSL.</p>

## Monitoring

Die Klassifizierung des Ertragspotenzials basiert auf Bodenschätzungen, die nur in sehr großen zeitlichen Abständen vorgenommen werden. Ein Monitoring würde eine regelmäßige Untersuchung der Bodenqualitätsparameter erfordern, um Stabilität oder Veränderungen abbilden zu können.

## ■ Datenquellen

Datensatz	Beschreibung Typ, Kategorien	Raumbezug	Auflösung/ Genauigkeit	Referenz	Aktualität	Kommentar
Digitales Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM AAA)	Polygon	Bundesweit flächendeckend Kacheln		© GeoBasis-DE / BKG (2016)		Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)
Fluss-Auen-Segmente	Polygon, Fluss, rezente Aue, Altaue	Auen				
Landwirtschaftliche Standortkartierung (LSK)	Polygon	ganz Bayern: hier Standortkartierung West	M 1:25.000, Flächen < 3 ha i. d. R. nicht gesondert erfasst	LBP & LBA, Stand Juni 1999	<i>Kartierung 1974 bis 1981</i>	Enthält auch Angaben zur (potenziellen) Nutzung

Klasse und Typ	Abk.	Kurzbeschreibung		Raumbezug	
Versorgend Genutzt	KULT	Genutzte landwirtschaftliche Kulturpflanzen (z.B. Getreide, Hackfrüchte, Gemüse, Obst)		Fluss-Auen-Segment (1 km) oder Kompartiment <input checked="" type="checkbox"/> Altaue <input checked="" type="checkbox"/> rezente Aue <input type="checkbox"/> Fluss	
Variable	Abk.	Einheit	Bewertungsgröße	Datenquelle	Anmerkung
Bezugsfläche (Segment- oder Kompartiment- fläche)	$A_{Seg}$ $A_{Komp}$	ha	Flächenberechnung	- Fluss-Auen-Segmente - Fluss-Auen-Kompartimente	
Ackerflächen im Auensegment (rezent und Altaue)	$AF_{rez}$ $AF_{alt}$	ha	Flächenberechnung: Ackerfläche innerhalb der Bezugsflächen	- Corine Landcover Classification (CLC) - Land-Bedeckungs-Modell (LBM) - ggf. Luftbilder	
Standortspezifisches Ertragspotenzial für die ackerbauliche Nutzung	$EP$	dt ha <sup>-1</sup>	Gewichtung der Ackerfläche nach Ertragspotenzial	- landwirtschaftliche Standortkartierung (je nach Bundesland)	Klassifizierung Bundesländer-spezifisch
Überflutungsbedingte Ernteauffälle	$EA_{HW}$	Faktor (Konstante)	Berücksichtigung hochwasserbedingter Ernteauffälle in der rezenten Aue	- HQ5, HQ10, HQ20 - Pegeldaten	Vereinfachte Schätzung

### Berechnungsverfahren

Berechnungsschritte	Indikator
<ol style="list-style-type: none"> <li>Ermittlung der Bezugsflächengröße für jedes Segment oder Kompartiment j (Geoinformationssysteme (GIS))</li> <li>Identifikation aller Ackerflächen i innerhalb der Bezugsflächen j aus Landnutzungsdaten (GIS) mit Unterscheidung nach der Lage (rezent oder Altaue)</li> <li>Verschneidung der Ackerflächen mit der landwirtschaftlichen Standortkartierung bzw. mit Daten zum Ertragspotenzial (GIS)</li> <li>Ermittlung der maßgebenden Überflutungswahrscheinlichkeit für die rezente Aue aus Wasserstandsaufzeichnungen (Pegeldata) oder Hochwassergefahrenkarten (Vereinfachtes Vorgehen)</li> <li>Berechnung des Indikators für jede Bezugsfläche</li> <li>Klassifizierung des resultierenden ackerbaulichen Ertrages in fünf Klassen</li> </ol>	<p>Berechnung der potenziellen ackerbaulichen Erträge innerhalb der Fluss-Auen-Segmente (für j = 1, 2, ...n Auensegmente)</p> $Ind_{KULT}(j) = \sum_{i=1}^n (j) \frac{AF_{alt,i} * EP_i}{A_{seg,j}} + \frac{AF_{rez,i} * EP_i}{A_{seg,j}} * EA_{HW}$ <p>j = 1, 2, ...m Auensegmente oder -kompartimente i = 1, 2, ...n Teilflächen innerhalb der Bezugsfläche</p>

<b>Ind<sub>KULT</sub></b>	> 40 dt ha <sup>-1</sup>	> 30 – 40 dt ha <sup>-1</sup>	> 20 - 30 dt ha <sup>-1</sup>	> 10 – 20 dt ha <sup>-1</sup>	≤ 10 dt ha <sup>-1</sup>
<b>RESI</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Qualitative Beurteilung</b>	Sehr hohe Erträge	Überdurchschnittliche Erträge	Durchschnittliche Erträge	Unterdurchschnittliche Erträge	Sehr geringe Erträge

### Bedeutung des Indikators

#### Interpretation

Der Indikator beschreibt die nutzbare Ökosystemleistung (ÖSL) unter Berücksichtigung der Standortverhältnisse (Ertragspotenzial, Überflutungsregime) auf den vorhandenen Ackerflächen in Form von Erträgen für Kulturpflanzen. Er gibt an, welche Höhe ackerbaulicher Erträge in den Auensegmenten oder Kompartimenten mit Bezug zu deren Größe zu erwarten ist. Dazu wird der Anteil der Ackerfläche an der Bezugsfläche mit dem jeweiligen Ertragspotenzial multipliziert und das Ergebnis anhand der Skala der Ertragspotenziale klassifiziert. Durch den Bezug zum Ackerlandanteil beträgt der minimale Ertrag in einem Segment 0 dt ha<sup>-1</sup>, auch wenn die Daten zum Ertragspotenzial eine hohe Bodenfruchtbarkeit ausweisen.

Der Betriebsmittelinput ist hier nicht berücksichtigt, lediglich die natürlichen Standortbedingungen gehen hier ein. Die Höhe des Indikators gibt einen Anhaltspunkt über die Möglichkeiten der landwirtschaftlichen Produktion (z. B. ist Weizen-Anbau nur bei hohem und sehr hohem Potenzial möglich) und bestimmt damit auch die Dimension der auf der Fläche genutzten ÖSL.

#### Monitoring

Die Klassifizierung des Ertragspotenzials basiert auf Bodenschätzungen, die nur in sehr großen zeitlichen Abständen vorgenommen werden. Ein Monitoring würde eine regelmäßige Untersuchung der Bodenqualitätsparameter erfordern, um Stabilität oder Veränderungen abbilden zu können.

#### Überflutungsdynamik

Die Berücksichtigung hochwasserbedingter Ertragsverluste in der rezenten Aue kann durch eine Auswertung von ortstypischen Überflutungscharakteristika sowie eine detailliertere Prognose der realen Verluste noch deutlich ausgebaut werden. Im vorliegenden Beispiel wurde eine Abminderung um 10 % (50 % Ernteausschlag alle fünf Jahre) als Annahme gewählt. Hier wäre eine aufgabenspezifische Modellierung unter Berücksichtigung der Überstaudauer, des Überflutungszeitpunktes, der maximalen Fließgeschwindigkeit und der Resistenz der betrachteten Kultur nötig.

#### Quellen / Literatur

Stahl, H., Zacharias, S. & Röhrlich, C. (2005). Veränderte Landnutzungssysteme in hochwassergefährdeten Gebieten. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 12, 10.Jg. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Pflanzliche Erzeugung, Dresden.

ZALF e.V. (2010). MinHorLam. Minderung von Hochwasserrisiken durch nicht-strukturelle Landnutzungsmaßnahmen in Abflussbildungs- und Überschwemmungsgebieten – eine transdisziplinäre Studie zur Effektivität solcher Maßnahmen – Ergebnisbericht.

## ■ Datenquellen

Datensatz	Beschreibung Typ, Kategorien	Raumbezug	Auflösung/ Genauigkeit	Referenz	Aktualität	Kommentar
Land-Bedeckungsmodell (LBM_DE2012)	Polygon	Bundesweit flächendeckend Kacheln		©GeoBasis-DE / BKG (2016)	2012	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)
Fluss-Auen-Kompartimente	Polygon, Fluss, rezente Aue, Altaue	Auen				Aggregierbar zu Fluss-Auen-Segmenten
Landwirtschaftliche Standortkartierung (LSK)	Polygon	ganz Bayern: hier Standortkartierung West	M 1:25.000, Flächen < 3 ha i.d.R. nicht gesondert erfasst	LBP & LBA, Stand Juni 1999	<i>Kartierung 1974 bis 1981</i>	Enthält auch Angaben zur (potenziellen) Nutzung



## Regulierende Ökosystemleistungen

# Pflanzliche Biomasse

### Kurzbeschreibung

Genutzte pflanzliche Biomasse für den Einsatz in der Landwirtschaft (Ertragsleistung von Wiesen und Weiden). Der Index beschreibt die Ertragsleistungen auf intensiv oder extensiv genutztem Grünland bzw. Ackergrünland in Abhängigkeit vom natürlichen Standortpotenzial und unter Berücksichtigung des Überflutungsregimes in der rezenten Aue.

### Bedeutung

Durch ihre natürlicherweise hohe Bodenfruchtbarkeit sind Auen oftmals insbesondere für den Anbau von Kulturpflanzen oder für die Erzeugung pflanzlicher Rohstoffe wie Futtermittel und Holz geeignet. Das Potenzial dieser ÖSL kann mit Hilfe des RESI-Factsheets berechnet werden. Aus naturschutzfachlicher Sicht wird in Auen eine Umwandlung von intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen zu extensiv genutztem Weideland befürwortet.

### Anwendungsempfehlung

Die Erhebung ist zu empfehlen, wenn sich innerhalb der Auen landwirtschaftliche Nutzflächen befinden, deren Zuführung zu einer anderen Landnutzung (z. B. Schutzgebiete) geprüft werden soll. Hier kann die Erhebung helfen, den Wert der landwirtschaftlichen Produktion zu erfassen und Kompensationen für relevante Gebiete zu definieren.

### Sensitivität

Der Indikator reagiert sensitiv auf Änderungen der Landnutzung und der Überflutungsfrequenz (und damit auch auf Maßnahmen zum Hochwasserschutz).

Klasse und Typ	Abk.	Kurzbeschreibung		Raumbezug	
Versorgend Genutzt	PBM	Genutzte pflanzliche Biomasse für den Einsatz in der Landwirtschaft (Ertragsleistung von Wiesen und Weiden)		Fluss-Auen-Segment (1 km) oder Kompartiment <input checked="" type="checkbox"/> Altaue <input checked="" type="checkbox"/> rezente Aue <input type="checkbox"/> Fluss	
Variable	Abk.	Einheit	Bewertungsgröße	Datenquelle	Anmerkung
Bezugsfläche (Segment- oder Kompartimentfläche)	$A_{Seg}$ $A_{Komp}$	ha	Flächenberechnung	- Fluss-Auen-Segmente - Fluss-Auen-Kompartimente	
Grünland im Auensegment (rezent und Altaue)	$GL_{rez}$ $GL_{alt}$	ha	Flächenberechnung: Grünlandflächen innerhalb der Bezugsflächen	- Corine Landcover Classification - Land-Bedeckungs-Modell - ggf. Luftbilder	
Standortspezifisches Ertragspotenzial von Wiesen und Weiden	$EP$	kStE ha <sup>-1</sup> (Kilo-Stärke-Einheiten /ha)	Gewichtung der Grünlandfläche nach Ertragspotenzial	- landwirtschaftliche Standortkartierung (je nach Bundesland)	Klassifizierung bundesländer-spezifisch
Überflutungsbedingte Ernteauffälle (Nutzungseinschränkungen)	$EA_{HW}$	Faktor (Konstante)	Berücksichtigung hochwasserbedingter Nutzungseinschränkungen in der rezenten Aue	- HQ5, HQ10, HQ20 - Pegeldata	Vereinfachte Schätzung

## Berechnungsverfahren

Berechnungsschritte	Indikator
<ol style="list-style-type: none"> <li>Ermittlung der Bezugsflächengröße für jedes Segment oder Kompartiment j (Geoinformationssysteme (GIS))</li> <li>Identifikation aller Grünlandflächen i innerhalb der Bezugsflächen j aus Landnutzungsdaten (GIS) mit Unterscheidung nach der Lage (rezent oder Altaue)</li> <li>Verschneidung der Grünlandflächen mit der landwirtschaftlichen Standortkartierung bzw. mit Daten zum Ertragspotenzial (GIS)</li> <li>Ermittlung der maßgebenden Überflutungswahrscheinlichkeit für die rezente Aue aus Wasserstandsaufzeichnungen (Pegeldata) oder Hochwassergefahrenkarten (Vereinfachtes Vorgehen)</li> <li>Berechnung des Indikators für jede Bezugsfläche</li> <li>Klassifizierung der resultierenden Erträge auf Wiesen und Weiden in fünf Klassen</li> </ol>	<p>Berechnung der potenziellen Erträge von Wiesen und Weiden innerhalb der Auensegmente (für j = 1, 2, ...n Auensegmente)</p> $Ind_{PBM}(j) = \sum_{i=1}^n (j) \frac{GL_{alt,i} * EP_i}{A_{seg,j}} + \frac{GL_{rez,i} * EP_i}{A_{seg,j}} * EA_{HW}$ <p>j = 1, 2, ...m Auensegmente oder -kompartimente i = 1, 2, ...n Teilflächen innerhalb der Bezugsfläche</p>

<b>Ind<sub>PBM</sub></b>	> 4300 kStE ha <sup>-1</sup>	> 3700 – 4300 kStE ha <sup>-1</sup>	> 3100 – 3700 kStE ha <sup>-1</sup>	> 2500 – 3100 kStE ha <sup>-1</sup>	≤ 2500 kStE ha <sup>-1</sup>
<b>RESI</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Qualitative Beurteilung</b>	Sehr hohe Erträge	Überdurchschnittliche Erträge	Durchschnittliche Erträge	Unterdurchschnittliche Erträge	Sehr geringe Erträge

### Bedeutung des Indikators

#### Interpretation

Der Indikator beschreibt die nutzbare Ökosystemleistung (ÖSL) unter Berücksichtigung der Standortverhältnisse (Ertragspotenzial, Überflutungsregime) auf den vorhandenen Grünlandflächen in Form von Biomasseerträgen auf Weiden und Wiesen. Er gibt an, welche Höhe der Grünlanderträge in den Fluss-Auen-Segmenten oder Kompartimenten mit Bezug zu deren Größe zu erwarten ist. Dazu wird der Anteil der Grünlandfläche an der Bezugsfläche mit dem jeweiligen Ertragspotenzial multipliziert und das Ergebnis anhand der Skala der Ertragspotenziale klassifiziert. Durch den Bezug zum Grünlandanteil beträgt der minimale Ertrag in einem Segment 0 kStE ha<sup>-1</sup>, auch wenn die Daten zum Ertragspotenzial eine hohe Bodenfruchtbarkeit ausweisen.

Der Betriebsmittelinput ist hier nicht berücksichtigt, lediglich die natürlichen Standortbedingungen gehen hier ein.

#### Monitoring

Die Klassifizierung des Ertragspotenzials basiert auf Bodenschätzungen, die nur in sehr großen zeitlichen Abständen vorgenommen werden. Ein Monitoring würde eine regelmäßige Untersuchung der Bodenqualitätsparameter erfordern, um Stabilität oder Veränderungen abbilden zu können.

#### Überflutungsdynamik

Die Berücksichtigung hochwasserbedingter Ertragsverluste in der rezenten Aue kann durch eine Auswertung von ortstypischen Überflutungscharakteristika sowie eine detailliertere Prognose der realen Verluste noch deutlich ausgebaut werden. Im vorliegenden Beispiel wurde eine Abminderung um 10 % (50 % Ernteausfall alle fünf Jahre) als Annahme gewählt. Hier wäre eine aufgabenspezifische Modellierung unter Berücksichtigung der Überstaudauer, des Überflutungszeitpunktes, der maximalen Fließgeschwindigkeit und der Resistenz der betrachteten Kultur nötig.

#### Quellen / Literatur

Stahl, H., Zacharias, S. & Röhrlich, C. (2005). Veränderte Landnutzungssysteme in hochwassergefährdeten Gebieten. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 12, 10.Jg. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Pflanzliche Erzeugung, Dresden.

ZALF e.V. (2010). MinHorLam. Minderung von Hochwasserrisiken durch nicht-strukturelle Landnutzungsmaßnahmen in Abflussbildungs- und Überschwemmungsgebieten – eine transdisziplinäre Studie zur Effektivität solcher Maßnahmen – Ergebnisbericht.

## ■ Datenquellen

Datensatz	Beschreibung Typ, Kategorien	Raumbezug	Auflösung/ Genauigkeit	Referenz	Aktualität	Kommentar
Land-Bedeckungsmodell (LBM_DE2012)	Polygon	Bundesweit flächendeckend Kacheln		©Geo-Basis-DE / BKG (2016)	2012	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)
Fluss-Auen-Kompartimente	Polygon, Fluss, rez. Aue, Altaue	Auen				Aggregierbar zu Fluss-Auen-Segmenten
Landwirtschaftl. Standortkartierung (LSK)	Polygon	ganz Bayern: hier Standortkartierung West	M 1:25.000, Flächen < 3 ha i. d. R. nicht gesondert erfasst	LBP & LBA, Stand 1999	Kartierung 1974 bis 1981	Enthält auch Angaben zur (potenziellen) Nutzung

### Ergänzungen zur Gruppe der versorgenden Ökosystemleistungen

Aufgrund ihrer tendenziell hohen natürlichen Bodenfruchtbarkeit (Wiechmann 2000) werden Auenböden oftmals intensiv landwirtschaftlich genutzt. Auch wenn heute vielerorts eine Extensivierung mit größerem Grünlandanteil in der *rezenten Aue* angestrebt wird, bleibt die Landwirtschaft insgesamt eine (auch wirtschaftlich) bedeutende Nutzung der Auen.

Bei der landwirtschaftlichen Produktion wird zwischen Ackerflächen und Grünland unterschieden. Für jede dieser Landnutzungen wird für den RESI ein separater Index berechnet. Eine Integration ist später auf Grundlage monetarisierter Erträge möglich, da dann eine einheitliche Messgröße zur Verfügung steht. Eine Aggregation der Indizes ist aufgrund unterschiedlichen wirtschaftlichen Bedeutungen dieser Landnutzungen nicht möglich.

Neben den Flächen und Böden der Auen als Grundlage für die Rohstoffversorgung wird auch das Wasser der *Flüsse* vielerorts für die Aufbereitung zu Trinkwasser oder für die Verwendung als Brauchwasser verwendet. Diese Leistungen werden unter dem Begriff Wasserbereitstellung zusammengefasst. Zusätzlich zu den hier genannten (und im Folgenden näher beschriebenen) Leistungen können Wildtiere und Fische sowie Holzträge aus den Auen als weitere versorgende Leistungen betrachtet werden.

#### Landwirtschaftliches Ertragspotenzial

Die Bedeutung der landwirtschaftlichen Produktion in der Aue wird über mehrere Indizes erfasst. Es wird zunächst zwischen den natürlichen Möglichkeiten auf den Auen-

standorten (landwirtschaftliches Ertragspotenzial) und den tatsächlichen Erträgen, die von der jeweiligen Landnutzung abhängig sind, unterschieden. Das landwirtschaftliche Ertragspotenzial beschreibt die Eignung eines Auenstandortes für die ackerbauliche bzw. Grünlandnutzung ohne Berücksichtigung des Betriebsmitteleinsatzes. Dieser Index beschreibt damit die *bereitgestellte ÖSL*, die jedoch nicht zwangsweise genutzt wird. Die tatsächlich *genutzte ÖSL* wird über die reale (oder eine als Szenario angenommene) Landnutzung in der Aue beschrieben, wobei die Standortqualität bei der Bewertung als bereitgestellte ÖSL miterfasst wird. Bei der Verwendung des RESI sind nur die Indizes für die genutzte ÖSL (Kulturpflanzen und pflanzliche Biomasse) zu verwenden, da diese in verschiedenen Landnutzungsszenarien variieren, während das natürliche Ertragspotenzial in den meisten Fällen davon unabhängig ist.

Zur Berechnung des Indexes werden die verfügbaren Standortkartierungen oder Bodenschätzungskarten für den Auenkorridor ausgewertet. Die Quellen enthalten meist Einzelparameter wie die Nutzungseignung, die Ertragsklassen und Gefällestufen (s. LBP & LBA 1999) oder (nur) Acker- und Grünflächenzahlen. Die Ausgangsdaten werden mit den Fluss-Auen-Segmenten verschnitten und für jedes Segment flächengewichtet zu einem Wert zusammengefasst.

#### Kulturpflanzen - Ackerbau

Um die durch die Landwirtschaft genutzte ÖSL zu beschreiben, wird die derzeitige oder eine angenommene Landnutzungsverteilung im Auenkorridor mit dem ermittelten Ertragspotenzial verschnitten. Im Ergebnis erhält man eine Schätzung der Höhe der Erträge auf Ackerflächen und Grünland. Diese

Erträge sind natürlich stark von der Bewirtschaftungsform abhängig. Für den RESI werden landesspezifische Mittelwerte aus den Daten des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBI 2018) verwendet; für Bayern gibt die Bayerische Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur und die Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP & LBA (1999) eine Größenordnung für die zu erwartenden Erträge in Abhängigkeit vom Standortpotenzial an.

Ein auenspezifischer Aspekt bei der landwirtschaftlichen Nutzung der rezenten Aue besteht in den wiederkehrenden Überflutungen der rezenten Aue bei *Hochwasser*. Hierbei kann es in Abhängigkeit von Parametern des Hochwasserereignisses (wie Überflutungsdauer, Stauhöhe oder Fließgeschwindigkeit) sowie dem Zeitpunkt des Ereignisses in Bezug auf die pflanzliche Entwicklung zu teilweisen oder vollständigen Ertragsverlusten kommen (Stahl et al. 2005). Um diesen Umstand im RESI zu berücksichtigen werden die Erträge in der rezenten Aue gegenüber denen in der *Altaue* verringert. Der Faktor hierfür kann im Einzelfall geschätzt oder über eine Auswertung von relevanten Pegeldaten bestimmt werden. Da jedoch viele Faktoren, nicht zuletzt die Bewirtschaftungsart, hierbei eine Rolle spielen, können die Ertragsverluste nur grob geschätzt werden. In jedem Fall bietet die Berücksichtigung des Überflutungsregimes die Möglichkeit, den Effekt von Verlegungen der Deichlinien auf die Landwirtschaft im RESI abzubilden. Hierfür ist eine Berechnung auf Ebene der Fluss-Auen-Kompartimente (getrennt nach rezenter und Altaue) nötig.

Die mit diesem Verfahren geschätzten Erträge auf Ackerflächen im Auenkorridor können im Einzelfall, aufgrund der Verwendung von

Mittelwerten für die Erträge pro Hektar sowie der zahlreichen nicht erfassten Einflussfaktoren, bedeutend von den realen Werten abweichen. Eine genauere Ermittlung wäre durch eine Erhebung in den Betrieben möglich. Die Vorteile der hier beschriebenen Methode bestehen vor allem in der einfachen Anwendung, dem geringen Datenbedarf und in der Möglichkeit, den Bezugszustand und unterschiedliche Szenarien vergleichend zu betrachten.

Die geschätzten Erträge können in einem nächsten Schritt über die Verwendung von Standarddeckungsbeiträgen (KTBL 2018) monetarisiert werden. Diese beziffern den Wert landwirtschaftlich erzeugter Produkte auf Basis von Marktpreisen abzüglich aller eingesetzten Betriebsmittel. Damit beschreiben sie den Wert, der allein durch die Nutzung der Flächen und deren Potenzialen erwirtschaftet wurde.

### Pflanzliche Biomasse (Grünland)

Biomasse wird in Auenwäldern sowie hauptsächlich auf (Acker-) Grünland produziert. Sie dient vor allem als Futtermittel und für die Energiegewinnung. Das Grünland kann auch direkt als Weide genutzt werden. Die Berechnung des Indexes für die Produktion pflanzlicher Biomasse für den RESI erfolgt analog zur Berechnung für Kulturpflanzen auf Ackerflächen.

### Wasserbereitstellung

Wasser wird vielerorts aus Flüssen oder aus mit ihnen korrespondierenden Grundwasserkörpern für die Aufbereitung zu Trinkwasser, zur Bewässerung, als Brauch- oder Kühlwasser entnommen. Die Leistung des Ökosystems besteht hierbei in der Bereitstellung einer bestimmten Menge und Qualität.

Der Umgang mit dieser ÖSL im Rahmen des RESI-Konzepts erfordert allerdings weitere Klarstellungen. Zunächst einmal kann das verfügbare Wasser in einem Flussabschnitt kaum als Produkt des Flusses oder der Auen an sich betrachtet werden, auch wenn die Aue einen gewissen Einfluss auf die Wasserqualität (etwa durch Nährstoffrückhalt) haben kann. So muss für den RESI zunächst die Bedeutung des Fluss-Auen-Segments innerhalb des regionalen Wasserhaushaltes erfasst werden. In Abhängigkeit davon ist des Weiteren zu klären, ob ein Index für die Wasserentnahme überhaupt sensitiv gegenüber angenommenen Entwicklungen (Szenarien) wäre.

Trotz dieser Aspekte ist eine Bewertung der verfügbaren Wasserressourcen im Gewässerabschnitt möglich. Der Wert der ÖSL Wasserbereitstellung ist dabei der Wert des Rohwassers an der Entnahmestelle. Die Werte variieren stark mit dem Entnahmezweck, d. h. in Abhängigkeit davon, ob das Wasser

oder der Zweck leicht substituierbar sind oder ob sie von essentieller Bedeutung sind. Entsprechend groß ist die Bandbreite der möglichen Werte zwischen  $0,04 \text{ € m}^{-3}$  bis zu  $130 \text{ € m}^{-3}$ . Für Deutschland liegt hierzu eine aktuelle Studie vor (Geyler et al. 2018).

Exemplarisch wurde für die Nahe ein Ansatz für die Berechnung der ÖSL Wasserbereitstellung (Trink- und Brauchwasser) entwickelt. Dieser berücksichtigt den aus ökologischer Sicht notwendigen Mindestabfluss sowie die Grundwasserneubildung und wurde, basierend auf den Angaben aus dem Hydrologischen Atlas von Deutschland (BMU 2003), berechnet.





## Regulative Ökosystemleistungen

# C-Retention

### Kurzbeschreibung

Diese ÖSL gibt an, in welchem Umfang die organische Kohlenstofffracht des Flusswassers innerhalb eines 1 km-Fluss-Auen-Segments durch *Retentionsprozesse* zurückgehalten wird. Die ÖSL C-Retention umfasst zum einen die dauerhafte Entfernung von organischem Kohlenstoff (org. C) durch Respiration, zum anderen den temporären Rückhalt durch Aufnahme in die benthische Biomasse in der Flusssohle (z. B. Muschelbiomasse) oder durch Aufnahme in die *Sedimente* (Sedimentation). Der Indikator berücksichtigt ebenfalls den Aufbau von org. C durch assimilative Prozesse (negative Retentionsrate).

### Bedeutung

Zu einer organischen Belastung von Fluss-Ökosystemen kommt es hauptsächlich durch abgestorbene pflanzliche Biomasse oder Abwassereinleitung. Der Abbau des organischen Kohlenstoffs erfolgt unter Sauerstoffzehrung und kann sich je nach Intensität nachteilig auf die Gewässergüte (saprobiellen Zustand) und damit auf die Biozönose auswirken. Dies erschwert wiederum das Erreichen des „guten ökologischen Zustands/Potenzials“ nach *europäischer Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)*.

### Anwendungsempfehlung

Im Fokus dieser ÖSL stehen Fluss-Ökosysteme, die durch die Einleitung organisch belasteter Abwässer beeinflusst sind oder in denen es aufgrund einer hohen Nährstoffbelastung zu einer erhöhten Primärproduktion kommt. In diesen belasteten Gewässern ist die Erhebung der ÖSL zu empfehlen.

### Sensitivität

Der Indikator reagiert sensitiv auf Maßnahmen, welche 1) die Kohlenstoffeinträge in den Fluss verändern, 2) die Produktion von Biomasse im Fluss beeinflussen oder 3) die Fließgeschwindigkeit, die Sauerstoffverfügbarkeit im sedimentnahen Wasserbereich und/oder die Akkumulation von organischem Material beeinflussen z. B. durch Stauhaltungen.





## C - Retention

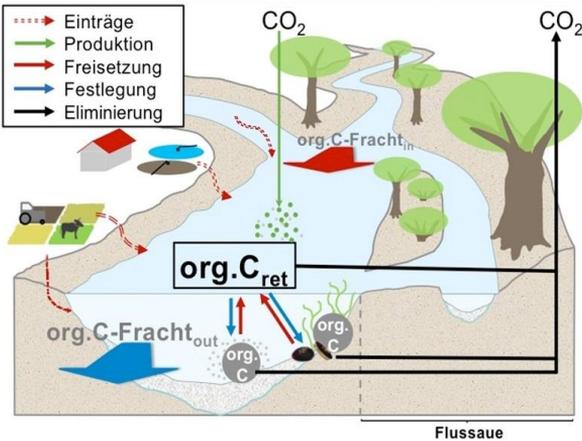
Bearbeiter: Stephanie Ritz (BfG), Helmut Fischer (BfG), Kathrin Linnemann (BfG), Antje Becker (DHI), Markus Venohr (IGB), Marcus Wildner (IGB)

Stand: 12.07.2018

Klasse und Typ	Abk.	Kurzbeschreibung			Raumbezug
Regulativ Bereitgestellt	C <sub>ret</sub>	Dauerhafte flussinterne Eliminierung von organischem Kohlenstoff (org. C) durch Respiration (Umwandlung in CO <sub>2</sub> ) oder temporäre Retention durch Aufnahme in benthische Biomasse (z. B. Muschelbiomasse) oder Sedimente (Sedimentation)			Fluss-Auen-Segment (1 km) <input type="checkbox"/> Altaue <input type="checkbox"/> rezente Aue <input checked="" type="checkbox"/> Fluss
Variable	Abk.	Einheit	Bewertungsgröße	Datenquelle	Anmerkung
C-Fracht	org.C	t a <sup>-1</sup> am Einlass des 1 km-Fluss-Abschnitt	Jährliches Mittel der in den Flussabschnitt eingetragene org. C-Fracht	Modellierungen (QSim (BfG 2012)) oder Berechnungen aus Monitoringdaten	
Retention/Freisetzung (+/-) von org. C im Fluss	RetF	t a <sup>-1</sup> pro 1 km-Fluss-Abschnitt	Jährliche org. C-Retention in dem Flussabschnitt durch Respiration, dauerhafte Festlegung von refraktärem C oder durch temporäre Aufnahme in benthische Biomasse	Modellierungen (QSim (BfG 2012)) oder direkte Messungen	Vorzeichen: Positiv (+) im Fall einer Retention Negativ (-) im Fall einer Freisetzung
Produktion von org. C im Fluss	AssC	t a <sup>-1</sup> pro 1 km-Flussabschnitt	Jährliche org. C-Produktion in dem Flussabschnitt durch Assimilation des Phytoplanktons	Modellierungen (QSim (BfG 2012)) oder direkte Messungen	Vorzeichen: Negativ (-) im Falle einer Freisetzung

## Berechnungsverfahren

### Eintrags- und Retentionspfade für org. C im Fluss



### Indikator

$$Ind_{Cret} = \frac{\sum (RetF, AssC)}{org.C} \times 1000$$

Skalierung	Ind <sub>Cret</sub> [%o]	> 1,9	> 1,0 – 1,9	> 0,3 – 1,0	> 0 – 0,3	≤ 0
<input type="checkbox"/> lokal <input checked="" type="checkbox"/> de						
RESI (Skala für Abflüsse von 100 -1000 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )		5	4	3	2	1
<b>Qualitative Beurteilung</b>		Sehr hohe Retention	Hohe Retention	Mäßige Retention	Geringe Retention	Freisetzung oder keine Retention

### Bedeutung des Indikators

#### Interpretation

Der Indikator beschreibt die Selbstreinigungsleistung eines Fluss-Auen-Segments bezüglich des Rückhalts von eingetragenen organischen Kohlenstoff. Er gibt an in welchem Umfang die organische C-Fracht des Wassers innerhalb eines betrachteten Fluss-Auen-Segments reduziert wird.

#### Erweiterungsmöglichkeiten

Die hier dargestellte Bewertungsskala bezieht sich auf Flüsse mit Abflüssen zwischen 100-1000 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. Für eine Bewertung von kleineren oder größeren Flüssen sollte eine alternative Skala (s. PED 3.2\_3.3 Kapitel 2.2) verwendet werden.

Unterschiedliche Umsatzraten in verschiedenen Kompartimenten (z. B. Talweg, Uferzone) können entsprechend ihrer Flächenanteile im Indikator berücksichtigt werden.

Szenarien: Der Effekt veränderter Stoffeinträge lässt sich über Modellierungen berechnen (z. B. mit QSim).

#### Monitoring

Die Eingangsdaten für QSim können aus regelmäßig erhobenen Daten aus dem Monitoring der Gewässergüte (z. B. für die europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und des Abflusses gewonnen werden. Direkte Messungen der Retentionsraten (für alternative Quantifizierungsmethoden) sind nicht in einem regulären Monitoring inbegriffen.

## Quellen / Literatur

BfG (2012). QSim - das Gewässergütemodell der BfG. Ein Instrument zur Simulation und Prognose des Stoffhaushalts und der Planktodynamik in Fließgewässern.

Viergutz, C., Bergfeld-Wiedemann, T. & Kirchesch, V. (2013). EU-Studie Donau: Gewässergüte des Ist-Zustandes und der verschiedenen Ausbauvarianten. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz. BfG-Bericht, BfG-1740.

## ■ Datenquellen

Datensatz	Beschreibung Typ, Kategorien	Raumbezug	Auflösung/ Genauigkeit	Referenz	Aktualität (im Fallbeispiel)	Kommentar
C-Retention im Fluss (org.C, RetF, AssC)  (Eingangsdaten Modellierung in QSim)	<p>Biologische Daten: Biochemischer Sauerstoffbedarf, planktische Algenbiomasse (Chl a), Anteil von Kiesel-, Grün- und Blaualgen, Biomasse der Nitrifikanten, Zooplankton (Abundanz), benthische Filtrierer (Biomasse)</p> <p>Physikalisch-chemische Daten: Wassertemperatur, Sauerstoff, Chemischer Sauerstoffbedarf, Gesamt-N, Nitrat, Nitrit, Ammonium, Silikat, pH, Alkalinität, Schwebstoffe, Gesamt-P, gelöster Phosphor, Calcium, Leitfähigkeit</p>	Punktmessdaten an Startpunkt und Einleitern	Flexibel, mind. monatlich für Daten in der Wassersäule	Abhängig vom Landesamt (z. B. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU))	2008-2012	Liegen zu einzelnen Parametern keine Messwerte vor müssen Annahmen getroffen werden (vgl. Viergutz et al. 2013)
	Hydrologie: Abfluss, Wasserstand	Punktmessdaten an Startpunkt, Einleitern und Stauhaltungen	Abhängig vom Landesamt	Abhängig vom Landesamt (Fallbeispiel: Monitoringdaten des LfU Bayern)	2008-2012	
	Meteorologie: Globalstrahlung, Lufttemperatur, Bedeckungsgrad und Wolkentyp, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit	Punktmessdaten im Einzugsgebiet (EZG) in Flussnähe	Abhängig von der Strecke	Deutscher Wetterdienst (DWD)	2008-2012	
	Morphologie: Querprofile	Fließstrecke	Querprofilabstand im Modell	Abhängig vom Landesamt (s. Kommentar)	1988-2012	Fallbeispiel: Daten des LfU Bayern



## Regulative Ökosystemleistungen

# N-Retention

### Kurzbeschreibung

Diese ÖSL gibt an, in welchem Umfang die Stickstofffracht des Flusswassers innerhalb eines 1 km-Fluss-Auen-Segments durch Retentionsprozesse zurückgehalten wird. Die N-Retention umfasst zum einen die dauerhafte Entfernung von Stickstoff (N) durch *Denitrifikation*, zum anderen den temporären Rückhalt durch Aufnahme in die stationäre Biomasse der Flusssohle und Aue (z. B. Muschelbiomasse, Auenvegetation) oder durch Aufnahme in die Sedimente (Sedimentation).

### Bedeutung

Durch den Einsatz von Düngemitteln in der Landwirtschaft, Einträge aus Kläranlagen und Luftverschmutzung kommt es zu einem verstärkten Eintrag von N in Fluss-Auen-Systeme. Die daraus resultierende höhere N-Fracht kann zur Eutrophierung der Küstengewässer und zu einer Beeinträchtigung der *Biodiversität* führen und damit das Erreichen des „guten ökologischen Zustands/Potenzials“ nach WRRL erschweren.

### Anwendungsempfehlung

Die Erhebung ist generell zu empfehlen. Im Fokus dieser ÖSL stehen Fluss-Auen-Systeme, die hohen Stickstoffeinträgen ausgesetzt sind, z. B. in Gebieten mit einem hohen Anteil landwirtschaftlich genutzter Flächen.

### Sensitivität

Der Indikator reagiert sensitiv auf Maßnahmen im Fluss, welche die Fließgeschwindigkeit, die Sauerstoffverfügbarkeit im sedimentnahen Wasserbereich und/oder die Akkumulation von organischem Material beeinflussen, z. B. durch Stauhaltungen oder Bühnenfelder. In der rezenten Aue sind es Maßnahmen, welche die Überflutungshäufigkeit und -dauer beeinflussen sowie den Flächenanteil von Gewässern, *Feuchtgebieten*, Wald oder Grünland verändern.

## N - Retention

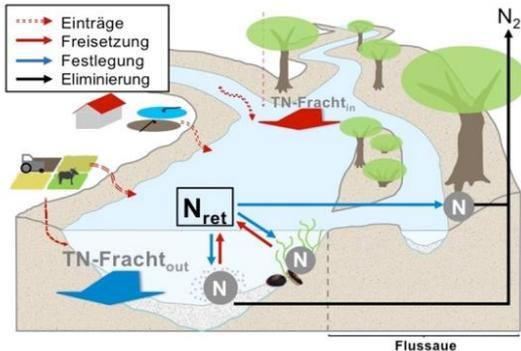
Bearbeiter: S. Ritz (BfG), H. Fischer (BfG), K. Linnemann (BfG), A. Becker (DHI), H. D. Kasperidus (UFZ), M. Scholz (UFZ), C. Schulz-Zunkel (UFZ), M. Venohr (IGB), M. Wildner (IGB)

Stand: 12.07.2018

Klasse und Typ	Abk.	Kurzbeschreibung		Raumbezug	
Regulativ Bereitgestellt	N <sub>ret</sub>	Dauerhafte Eliminierung von Stickstoff (N) durch Denitrifikation (Umwandlung in N <sub>2</sub> ) oder temporäre Retention durch Aufnahme in stationäre Biomasse (z. B. Muscheln, Auenvegetation) oder in Flusssedimenten (Sedimentation)		Fluss-Auen-Segment (1 km) <input type="checkbox"/> Altaue <input checked="" type="checkbox"/> rezente Aue <input checked="" type="checkbox"/> Fluss	
Variable	Abk.	Einheit	Bewertungsgröße	Datenquelle	Anmerkung
N-Fracht	TN	t a <sup>-1</sup> am Einlass des 1 km-Fluss-Abchnitt	Jährliches Mittel der in den Flussabschnitt eingetragenen N-Fracht	Modellierungen (QSim (BfG 2012) und/ oder MONERIS (Venohr et al. 2011) oder Berechnungen aus Monitoringdaten	Quality Simulation (QSim), Modelling Nutrient Emissions in River Systems (MONERIS)
Retention/Freisetzung (+/-) von N im Fluss	RetF	t a <sup>-1</sup> pro 1 km-Fluss-Abchnitt	Jährliche N-Retention in dem Flussabschnitt durch Denitrifikation oder durch temporäre Aufnahme in benthische Biomasse	Modellierungen (QSim (BfG 2012) und/ oder MONERIS (Venohr et al. 2011) oder direkte Messungen	Vorzeichen: Positiv (+) im Fall einer Retention Negativ (-) im Falle einer Freisetzung
Retention von N in der rezenten Aue	RetA	t a <sup>-1</sup> pro 1 km-Auen-Abchnitt	Jährliche N-Retention in dem Auenabschnitt durch Denitrifikation bei Hochwasser	Modellierungen (Schulz-Zunkel et al. 2012)	Vorzeichen: Positiv (+) In den Auen wird keine N-Freisetzung modelliert

## Berechnungsverfahren

### Eintrags- und Retentionspfade für N in Fluss und Aue



### Indikator

$$Ind_{Nret} = \frac{\sum (RetF, RetA)}{TN} \times 1000$$

### Skalierung

lokal

de

$Ind_{Nret}$   
[%]

> 0,4

> 0,2 – 0,4

> 0,06 – 0,2

> 0 – 0,06

≤ 0

**RESI**  
(Skala für Abflüsse von  
100 -1000 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>)

5

4

3

2

1

**Qualitative  
Beurteilung**

Sehr hohe  
Retention

Hohe  
Retention

Mäßige  
Retention

Geringe  
Retention

Freisetzung  
oder keine Retention

### Bedeutung des Indikators

#### Interpretation

Der Indikator beschreibt die Selbstreinigungsleistung eines Fluss-Auen-Abschnitts bezüglich des Rückhalts von eingetragener Stickstoff. Er gibt an in welchem Umfang die N-Fracht des Wassers innerhalb eines betrachteten Fluss-Auen-Abschnitts reduziert wird.

#### Erweiterungsmöglichkeiten

Die hier dargestellte Bewertungsskala bezieht sich auf Flüsse mit Abflüssen zwischen 100-1.000 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. Für eine Bewertung von kleineren oder größeren Flüssen sollte eine alternative Skala (s. PED 3.2, 3.3 Kapitel 2.2) verwendet werden.

Unterschiedliche Umsatzraten in verschiedenen Kompartimenten (z. B. Talweg, Uferzone, versch. Auenbereiche) können entsprechend ihrer Flächenanteile im Indikator berücksichtigt werden. Einträge über Stickstofffixierer (z. B. Blaulagen) können als zusätzliche Variable berücksichtigt werden.

Wenn hydrologische Daten zur Überflutungsdauer vorliegen, können diese in die Modelle integriert werden, um die Berechnungen zur Retention in der Aue zu ergänzen (Horchler et al. 2015; Natho et al. 2013).

Szenarien: Durch eine veränderte Landnutzung ändern sich ebenfalls die Nährstofffracht sowie weitere biologisch und chemisch-physikalische Parameter des Einzugsgebiets bzw. der Nebenflüsse. Im Fallbeispiel werden die Szenarien veränderter Stoffeinträge mit MONERIS berechnet. Diese stellen wiederum Eingangsdaten an den Modellrändern des Gewässergütemodells QSim dar. Der Effekt einer veränderten Nutzung auf die Aue (RetA) lässt sich über das Auen-Modell (Schulz-Zunkel et al. 2012) berechnen.

## Monitoring

Die Eingangsdaten für die Modelle MONERIS und QSim können aus regelmäßig erhobenen Daten aus dem Monitoring der Gewässergüte (z. B. für die europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und des Abflusses gewonnen werden. Direkte Messungen der Retentionsraten (für alternative Quantifizierungsmethoden) sind nicht in einem regulären Monitoring inbegriffen.

Ein regelmäßig durchgeführtes Monitoring in Auen existiert nicht flächendeckend. Zudem sind direkte Messungen der Denitrifikation und somit der N-Retentionsleistung in Auen in einem regulären Monitoring nicht inbegriffen. Jedoch können die im Modell verwendeten Faustzahlen angepasst werden, wenn Werte solcher direkten Messungen in ausreichendem Umfang zur Verfügung stehen. Somit kann das Modell grundsätzlich durch konkrete Monitoringdaten angepasst werden.

## Quellen / Literatur

BfG (2012). QSim - das Gewässergütemodell der BfG. Ein Instrument zur Simulation und Prognose des Stoffhaushalts und der Planktodynamik in Fließgewässern.

BMU & BfN – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit & Bundesamt für Naturschutz (2009). Auenzustandsbericht. Flussauen in Deutschland. URL: [https://www.bfn.de/0324\\_auenzustandsbericht.html](https://www.bfn.de/0324_auenzustandsbericht.html)

Brunotte, E., Dister, E., Günther-Diringer, D., Koenzen, U. & Mehl, D. (2009). Flussauen in Deutschland – Erfassung und Bewertung des Auenzustandes. Naturschutz und Biologische Vielfalt 87, 244 S.

Venohr, M., Hirt, U., Hofmann, J., Opitz, D., Gericke, A., Wetzig, A., Natho, S., Neumann, F., Hürdler, J. & Matrang, M. (2011). Modelling of nutrient emissions in river systems – MONERIS – methods and background. International Review of Hydrobiology, 96, 435-483.

Viergutz, C., Bergfeld-Wiedemann, T. & Kirchesch, V. (2013). EU-Studie Donau: Gewässergüte des Ist-Zustandes und der verschiedenen Ausbauvarianten. Bundesanstalt für Gewässerkunde. Koblenz.

Schulz-Zunkel, C., Scholz, M., Kasperidus, H.D., Krüger, F., Natho, S. & M. Venohr (2012). Nährstoffrückhalt. In: Scholz, M., Mehl, D., Schulz-Zunkel, C., Kasperidus, H.D., Born, W. & K. Henle (2012). Ökosystemfunktionen von Flussauen. Naturschutz und Biologische Vielfalt 124, 48-72.

Horchler, P.J., Scholz, M. & Fuchs, E. (2015). Was würde es kosten, die Sohlerosion am Niederrhein nicht zu bekämpfen? – Versuch einer Bilanzierung der Veränderung der Auenvegetation. Ökosystemeleistungen – Herausforderungen und Chancen im Management von Fließgewässern. 5. Ökologisches Kolloquium am 5./6. Mai 2015 in Koblenz. BfG Veranstaltungen 3, 69-82.

## ■ Datenquellen

Datensatz	Beschreibung Typ, Kategorien	Raumbezug	Auflösung/ Genauigkeit	Referenz	Aktualität und Kommentar
N-Retention im Fluss (TN, RetF) (Eingangsdaten Modellierung in QSim)	Biologische Daten: Biochemischer Sauerstoffbedarf, planktische Algenbiomasse (Chl a), Anteil von Kiesel, Grün- und Blaualgen, Biomasse der Nitrifikanten, Zooplankton (Abundanz), benthische Filtrierer (Biomasse)  Physikalisch-chemische Daten: Wassertemperatur, Sauerstoff, Chemischer Sauerstoffbedarf, Gesamt-N, Nitrat, Nitrit, Ammonium, Silikat, pH, Alkalinität, Schwebstoffe, Gesamt-P, gelöster Phosphor, Calcium, Leitfähigkeit	Punktmessdaten an Startpunkt und Einleitern	Flexibel, mind. monatlich für Daten in der Wassersäule	Daten der jeweiligen Landesbehörden (z. B. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Daten aus der Modellierung mit MONERIS	2008-2012 Liegen keine Messwerte zu einzelnen Parametern vor müssen Annahmen getroffen werden (vgl. Viergutz et al. 2013)

Datensatz	Beschreibung Typ, Kategorien	Raumbezug	Auflösung/ Genauigkeit	Referenz	Aktualität und Kommentar
	Hydrologie: Abfluss, Wasserstand	Punktmessdaten an Startpunkt, Einleitern und Stauhaltungen	Flexibel, i. d. R. Tageswerte	Daten der Landesbehörden oder der WSV (z. B. LfU Bayern)	2008-2012
	Meteorologie: Globalstrahlung, Lufttemperatur, Bedeckungsgrad und Wolkentyp, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit	Punktmessdaten im Einzugsgebiet (EZG) in Flussnähe	Flexibel	Deutscher Wetterdienst (DWD)	2008-2012
	Morphologie: Querprofile	Fließstrecke	Querprofilabstand im Modell	Daten der Landesbehörden oder der WSV (z. B. LfU Bayern)	1988-2012
N-Retention im Einzugsgebiet (TN, RetF)  (Eingangsdaten Modellierung in MONERIS)	Morphologie und Boden: Höhe, Gefälle (abgeleitet), Bodenparameter, Bodenabtrag, Hochmoor- / Niedermooranteile, Hydro-Geologie	EZG			
		Rasterdaten	100 m	BKG	2015
		Rasterdaten	100 m	BKG	2015
	Landnutzung und -intensität: Landnutzung (abgeleitete MONERIS-Klassifizierung nach Venohr et al. 2011), Gewässernetz, Dränagen, N-Überschuss auf landwirt. Böden	Polygone	1:1.000.000	BGR	2013
		Rasterdaten	100 m	Gericke 2017	2000-2010
Soziogeographie: Einwohner, Anschluss- und Abwasserbehandlung, Kläranlagen	Polygone	1:1.000.000	BGR	2013	
		Polygone	1:1.500.000	BGR	2014
		EZG			
		Rasterdaten	10 m	© GeoBasis-DE (2013) / BKG	2013
		Polygone	10 m	Feick et al. 2007	2013
		Rasterdaten	1.000 m	Venohr unveröffentlicht	2005
		Rasterdaten	1.000 m		2009
		EZG			
		Polygone	Gemeinde	FDZ 2007	2006-2008
		Polygone	Gemeinde	FDZ 2007	2006-2008
		Punktmessung	Gemeinde	FDZ 2007	2006-2008
	Meteorologie: Niederschlag,	EZG			
	Evapotranspiration,	Rasterdaten	1.000 m, monatl.	DWD	2008-2012
	Globalstrahlung,	Rasterdaten	1.000 m, monatl.	E-OBS	2008-2012
	Atmosphärische Deposition	Rasterdaten	100 m, monatl.	Eumetsat	2008-2012
		Rasterdaten	50 km, jährlich	EMEP	2008-2012

Datensatz	Beschreibung Typ, Kategorien	Raumbezug	Auflösung/ Genauigkeit	Referenz	Aktualität und Kommentar
	Physikalisch-chemische Gewässerdaten: Wassertemperatur, Gesamt-P, Gesamt-N, gelöster-anorganischer-N	EZG Punktmes- sung	monatl.	LfU Bayern	2008-2012
	Hydrologie: Abfluss	EZG Punktmes- sung	monatl.	LfU Bayern	2008-2012
N-Retention in der Aue (RetA) (Eingangsdaten Modellierung nach Schulz-Zunkel et al. 2012)	Abgrenzung rezente Aue – entspricht HQ 100	1 km-Fluss-Auen-Seg- ment	1:25.000	Bundesamt für Natur- schutz (BfN) (2009) © GeoBasis- DE/BKG (2009)	2009 Brunotte et al. 2009
	Bodenkarte BÜK 1000	1 km-Fluss-Auen-Seg- ment (Kom- partiment rez- Aue)	1:1.000.000	© BGR (2009)	2009 Die Ergebnisse können bei höher aufgelösten Bodenkarten abweichen
	Landnutzung	1 km-Fluss-Auen-Seg- ment (Kom- partiment rez- Aue)	1:25.000	© GeoBasis- DE (2009-2012)	2009-2012 Die Ergebnisse können bei höher aufgelösten Landnutzungen abweichen
	Auenzustandsbewertung	1 km-Fluss-Auen-Seg- ment (Kom- partiment rez- Aue)	1:25.000	Brunotte et al. (2009), BMU & BfN (2009)	2009



Regulative Ökosystemleistungen

## P-Retention

### Kurzbeschreibung

Diese ÖSL gibt an, in welchem Umfang die Phosphorfracht des Flusswassers innerhalb eines 1 km-Fluss-Auen-Segments durch Retentionsprozesse zurückgehalten wird. Die P-Retention umfasst zum einen den temporären Rückhalt von Phosphor (P) durch Aufnahme in die stationäre Biomasse der Flusssohle und Aue (z. B. Muschelbiomasse, Auenvegetation), zum anderen die temporäre Retention durch Aufnahme in die Sedimente (Sedimentation).

### Bedeutung

Durch den Einsatz von Düngemitteln in der Landwirtschaft und Einträgen aus Kläranlagen kommt es zu einem verstärkten Eintrag von P in Fluss-Auen-Systeme. Die daraus resultierende höhere P-Fracht kann zu einer Eutrophierung der *Binnengewässer* führen sowie die Biodiversität nachteilig beeinflussen und damit das Erreichen des „guten ökologischen Zustands/Potenzials“ nach WRRL erschweren.

### Anwendungsempfehlung

Die Erhebung ist generell zu empfehlen. Im Fokus dieser ÖSL stehen Fluss-Auen-Systeme, die hohen Phosphoreinträgen ausgesetzt sind z. B. in Gebieten mit einem hohen Anteil landwirtschaftlich genutzter Flächen oder hohem Siedlungsanteil und der damit verbundenen Einleitung von Abwässern.

### Sensitivität

Der Indikator reagiert sensitiv auf Maßnahmen im Fluss, welche die Fließgeschwindigkeit, die Sauerstoffverfügbarkeit im sedimentnahen Wasserbereich und/oder die Akkumulation von organischem Material beeinflussen z. B. durch Stauhaltungen. In der rezenten Aue sind es Maßnahmen, welche die Überflutungshäufigkeit und -dauer beeinflussen sowie den Flächenanteil von Feuchtgebieten und Wald verändern.

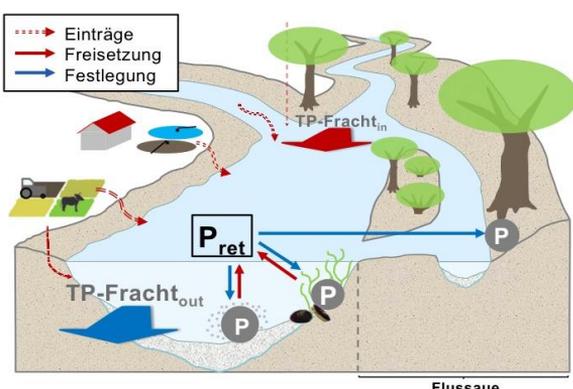
## P - Retention

Bearbeiter: S. Ritz (BfG), H. Fischer (BfG), K. Linnemann (BfG), A. Becker (DHI), H. D. Kasperidus (UFZ), M. Scholz (UFZ), C. Schulz-Zunkel (UFZ), M. Venohr (IGB), M. Wildner (IGB)

Stand: 12.07.2018

Klasse und Typ	Abk.	Kurzbeschreibung			Raumbezug
Regulativ Bereitgestellt	P <sub>ret</sub>	Temporäre Retention von Phosphor (P) durch Aufnahme in stationäre Biomasse (z. B. Muscheln, Makrophyten, Auenvegetation) oder durch Aufnahme in Sedimente (Sedimentation, Sorption)			Fluss-Auen-Segment (1 km) <input type="checkbox"/> Altaue <input checked="" type="checkbox"/> rezente Aue <input checked="" type="checkbox"/> Fluss
Variable	Abk.	Einheit	Bewertungsgröße	Datenquelle	Anmerkung
P-Fracht	TP	t a <sup>-1</sup> am Einlass des 1 km-Fluss-Abschnitts	Jährliches Mittel der in den Flussabschnitt eingetragenen P-Fracht	Modellierungen (QSim (BfG 2012) und/oder MONERIS (Venohr et al. 2011)) oder Berechnungen aus Monitoringdaten	Quality Simulation (QSim), Modelling Nutrient Emissions in Rlver Systems (MONERIS)
Retention/Freisetzung (+/-) von P im Fluss	RetF	t a <sup>-1</sup> pro 1 km-Fluss-Abschnitt	Jährliche P-Retention in dem Flussabschnitt durch Aufnahme in stationäre Biomasse oder in Sedimente	Modellierungen (QSim und/oder MONERIS) oder direkte Messungen	Vorzeichen: Positiv (+) im Fall einer Retention Negativ (-) im Fall einer Freisetzung
Retention von P in der rezente Aue	RetA	t a <sup>-1</sup> pro 1 km-Auen-Abschnitt	Jährliche P-Retention in dem Auenabschnitt durch Sedimentation bei Hochwasser	Modellierungen (Schulz-Zunkel et al. 2012)	Vorzeichen: Positiv (+) In den Auen wird keine P-Freisetzung modelliert

### Berechnungsverfahren

Eintrags- und Retentionspfade für P in Fluss und Aue	Indikator
 <p>Legend:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>..... Einträge</li> <li>→ Freisetzung</li> <li>→ Festlegung</li> </ul> <p>TP-Fracht<sub>in</sub>, P<sub>ret</sub>, TP-Fracht<sub>out</sub>, P, Flussauemündungspunkt</p>	$Ind_{Pret} = \frac{\sum (RetF, RetA)}{TP} \times 1000$

Skalierung <input type="checkbox"/> lokal <input checked="" type="checkbox"/> de	Ind <sub>Pret</sub> [%]	> 0,05	> 0,02 – 0,05	> 0,005 – 0,02	> 0 – 0,005	≤ 0
<b>RESI</b> (Skala für Abflüsse von 100 -1000 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )		5	4	3	2	1
<b>Qualitative Beurteilung</b>		Sehr hohe Retention	Hohe Retention	Mäßige Retention	Geringe Retention	Freisetzung oder keine Retention

### Bedeutung des Indikators

#### Interpretation

Der Indikator beschreibt die Selbstreinigungsleistung eines Fluss-Auen-Abschnittes bezüglich des Rückhalts von eingetragener Phosphor. Er gibt an in welchem Umfang die P-Fracht des Wassers innerhalb eines betrachteten Fluss-Auen-Abschnittes reduziert wird.

#### Erweiterungsmöglichkeiten

Die hier dargestellte Bewertungsskala bezieht sich für Flüsse mit Abflüssen zwischen 100-1.000 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. Für eine Bewertung von kleineren oder größeren Flüssen sollte eine alternative Skala (s. PED 3.2, 3.3 Kapitel 2.2) verwendet werden.

Unterschiedliche Umsatzraten in verschiedenen Kompartimenten (z. B. Talweg, Uferzone, versch. Auebereiche) können entsprechend ihrer Flächenanteile im Indikator berücksichtigt werden.

Wenn hydrologische Daten zur Überflutungsdauer vorliegen, können diese in die Modelle integriert werden, um die Berechnungen zur Retention in der Aue zu ergänzen (Horchler et al. 2015).

Szenarien: Durch eine veränderte Landnutzung ändern sich ebenfalls die Nährstofffracht sowie weitere biologisch und chemisch-physikalische Parameter des Einzugsgebiets bzw. der Nebenflüsse. Im Fallbeispiel werden die Szenarien veränderter Stoffeinträge mit MONERIS berechnet. Diese stellen wiederum Eingangsdaten an den Modellrändern des Gewässergütemodells QSim dar. Der Effekt einer veränderten Nutzung auf die Aue (RetA) lässt sich über das Auen-Modell (Schulz-Zunkel et al. 2012) berechnen.

#### Monitoring

Die Eingangsdaten für die Modelle MONERIS und QSim können aus regelmäßig erhobenen Daten aus dem Monitoring der Gewässergüte (z. B. für die WRRL) und des Abflusses gewonnen werden. Direkte Messungen der Retentionsraten (für alternative Quantifizierungsmethoden) sind nicht in einem regulären Monitoring inbegriffen.

Ein regelmäßig durchgeführtes Monitoring in Auen existiert nicht flächendeckend. Zudem sind direkte Messungen der Sedimentation und somit der P-Retentionsleistung in Auen in einem regulären Monitoring nicht inbegriffen. Jedoch können die im Modell verwendeten Faustzahlen angepasst werden, wenn Werte solcher direkten Messungen in ausreichendem Umfang zur Verfügung stehen. Somit kann das Modell grundsätzlich durch konkrete Monitoringdaten angepasst werden.

#### Quellen / Literatur

BfG (2012). QSim - das Gewässergütemodell der BfG. Ein Instrument zur Simulation und Prognose des Stoffhaushalts und der Planktodynamik in Fließgewässern.

Brunotte, E., Dister, E., Günther-Diringer, D., Koenzen, U. & Mehl, D. (2009). Flussauen in Deutschland - Erfassung und Bewertung des Auenzustandes. Naturschutz und Biologische Vielfalt 87, 244 S.

Horchler, P.J., Scholz, M., Fuchs, E. (2015). Was würde es kosten, die Sohlerosion am Niederrhein nicht zu bekämpfen? Versuch einer Bilanzierung der Veränderung der Auenvegetation. Ökosystemleistungen - Herausforderungen und Chancen im Management von Fließgewässern. 5. Ökologisches Kolloquium am 5./6. Mai 2015 in Koblenz. BfG Veranstaltungen 3, Koblenz, 69 – 82.

Venohr, M., Hirt, U., Hofmann, J., Opitz, D., Gericke, A., Wetzig, A., Natho, S., Neumann, F., Hürdler, J., Matranga, M. (2011). Modelling of nutrient emissions in river systems - MONERIS - methods and background. International Review of Hydrobiology, 96, 435 - 483.

Viergutz, C. Bergfeld-Wiedemann, T., Kirchesch, V. (2013). EU-Studie Donau: Gewässergüte des Ist-Zustandes und der verschiedenen Ausbauvarianten. Bundesanstalt für Gewässerkunde. Koblenz.

## Quellen / Literatur

Schulz-Zunkel, C., Scholz, M., Kasperidus, H.D., Krüger, F., Natho. S. & M. Venohr (2012). Nährstoffrückhalt. In: Scholz, M., Mehl, D., Schulz-Zunkel, C., Kasperidus, H.D., Born, W. & K. Henle. Ökosystemfunktionen von Flussauen. Naturschutz und Biologische Vielfalt 124, 48-72.

## ■ Datenquellen

Datensatz	Beschreibung Typ, Kategorien	Raumbezug	Auflösung/ Genauigkeit	Referenz	Aktualität und Kommentar
P-Retention im Fluss (TP, RetF)  (Eingangsdaten Modellierung in QSim)	Biologische Daten: Biochemischer Sauerstoffbedarf, planktische Algenbiomasse (Chl a), Anteil von Kiesel-, Grün- und Blaualgen, Biomasse der Nitrifikanten, Zooplankton (Abundanz), benthische Filtrierer (Biomasse)  Physikalisch-chemische Daten: Wassertemperatur, Sauerstoff, Chemischer Sauerstoffbedarf, Gesamt-N, Nitrat, Nitrit, Ammonium, Silikat, pH, Alkalinität, Schwebstoffe, Gesamt-P, gelöster Phosphor, Calcium, Leitfähigkeit	Punktmessdaten an Startpunkt und Einleitern	Flexibel, mind. monatlich für Daten in der Wassersäule	Daten der jeweiligen Landesbehörden (z. B. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)), Daten aus der Modellierung mit MONERIS	2008-2012 Liegen keine Messwerte zu einzelnen Parametern vor müssen Annahmen getroffen werden (vgl. Viergutz et al. 2013)
	Hydrologie: Abfluss, Wasserstand	Punktmessdaten an Startpunkt, Einleitern und Stauhaltungen	Flexibel, i.d.R. Tageswerte	Daten der Landesbehörden oder der WSV (z. B. LfU Bayern)	2008-2012
	Meteorologie: Globalstrahlung, Lufttemperatur, Bedeckungsgrad und Wolkentyp, Luftfeuchtigkeit, Windschwindigkeit	Punktmessdaten im EZG in Flussnähe	Flexibel	Deutscher Wetterdienst (DWD)	2008-2012
	Morphologie: Querprofile	Fließstrecke	Querprofilabstand im Modell	Daten der Landesbehörden oder der WSV (z. B. LfU Bayern)	1988-2012
P-Retention im Einzugsgebiet (TP, RetF)  (Eingangsdaten Modellierungen in MONERIS)	Morphologie und Boden: Höhe, Gefälle (abgeleitet), Bodenparameter, Bodenabtrag, Hochmoor- / Niedermooranteile, Hydro-Geologie	EZG Rasterdaten Rasterdaten Polygone Rasterdaten Polygone  Polygone	100 m 100 m 1:1.000.000 100 m 1:1.000.000  1:1.500.000	BKG BKG BGR Gericke 2017 BGR  BGR	2015 2015 2013 2000-2010 2013  2014

Datensatz	Beschreibung Typ, Kategorien	Raumbezug	Auflösung/ Genauigkeit	Referenz	Aktualität und Kommentar	
	Landnutzung und -intensität: Landnutzung (abgeleitete MONERIS-Klassifizierung nach Venohr et al., 2011), Gewässernetz, Dränagen, P-Akkumulation und P-Sättigung landwirt. Böden	EZG				
		Rasterdaten	10 m	© GeoBasis-DE (2013)/BKG	2013	
		Polygone Rasterdaten Rasterdaten	10 m 1000 m 1000 m	Feick et al. 2007 Venohr unveröffentlicht	2013 2005 2009	
	Soziogeographie: Einwohner, Anschluss- und Abwasserbehandlung, Kläranlagen	EZG				
		Polygone Polygone	Gemeinde Gemeinde	FDZ 2007 FDZ 2007	2006-2008 2006-2008	
		Punktmessung	Gemeinde	FDZ 2007	2006-2008	
	Meteorologie: Niederschlag,  Evapotranspiration,  Globalstrahlung,  Atmosphärische Deposition	EZG				
Rasterdaten		1.000 m, monatl.	DWD	2008-2012		
Rasterdaten		1.000 m, monatl.	E-OBS	2008-2012		
Rasterdaten		1.000 m, monatl.	Eumetsat	2008-2012		
Physikalisch-chemische Gewässerdaten: Wassertemperatur, Gesamt-P, Gesamt-N, gelöster-anorganischer-N	Rasterdaten	50 km, jährlich	EMEP	2008-2012		
	EZG					
	Punktmessung Punktmessung Punktmessung Punktmessung	monatl. monatl. monatl. monatl.	LfU Bayern LfU Bayern LfU Bayern LfU Bayern	2008-2012 2008-2012 2008-2012 2008-2012		
Hydrologie: Abfluss	EZG Punktmessung	monatl.	LfU Bayern	2008-2012		
P-Retention in der Aue (RetA)  (Eingangsdaten Modellierung nach Schulz-Zunkel et al. 2012)	Abgrenzung rezente Aue - entspricht HQ100	1 km-Fluss-Auen-Segment (Kompartiment rez-Aue)	1:25.000	Bundesamt für Naturschutz (BfN) (2009) Geobasisdaten © GeoBasis-DE/BKG (2009)	2009 Erläuterungen - Brunotte et al. (2009)	
	Landnutzung	1 km-Fluss-Auen-Segment (Kompartiment rez-Aue)	1:25.000	© GeoBasis-DE (2009-2018)	2009	
	Rauigkeit der Landnutzung	1 km-Fluss-Auen-Segment (Kompartiment rez-Aue)	1:25.000	Mehl et al. (2012), Schulz-Zunkel et al. (2012)	2012	

### Ergänzungen zur regulativen Ökosystemleistungsgruppe Stoffmetabolisierung

Die ÖSL Retention wird als Fähigkeit eines Fluss-Auen-Segments verstanden, die stofflichen Belastungen aus dem *Einzugsgebiet* durch gewässerinterne Prozesse zu kompensieren. Zur Retention tragen verschiedene Prozesse bei, die entweder zu einer Transformation, zu einem temporären Rückhalt oder einer dauerhaften Entfernung von Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kohlenstoff (C) aus dem Fluss-Auen-Ökosystem führen (Ritz et al. 2018). Da die Quantifizierung der *Retention* im RESI auf jährlicher Ebene stattfindet, bezieht sich diese maßgeblich auf Prozesse, die eine dauerhafte Entfernung von N, P und C aus dem *Ökosystem* bewirken, wohingegen Transformationsprozesse und ein temporärer Rückhalt weitestgehend aus der Betrachtung fallen. Zudem wurden für die C-Retention im Fluss nur die Prozesse als ÖSL berücksichtigt, die mit einem Umsatz organischen Materials verbunden sind. Dies entspricht der „biologischen Selbstreinigung“ im Falle des Abbaus von Material und der sogenannten „Sekundärverschmutzung“ im Falle des Aufbaus organischen Materials, hier vor allem der Biomasse von Planktonalgen.

Die Retention wird über den Indikator %-Retention ( $\text{IndN}_{\text{ret}}$ ,  $\text{IndP}_{\text{ret}}$ ,  $\text{IndC}_{\text{ret}}$ ; s. *Factsheets: Retention*, ab Seite 43) separat für N, P und C angegeben und beschreibt den Anteil der jeweiligen *Stofffracht* des Flusswassers, der innerhalb eines 1 km langen Fluss-Auen-Segments reduziert wird. Hierfür werden die absolute Retention in Fluss (RetF) und Aue (RetA), sowie im Fall der C-Retention auch der gegenläufige Prozess der C-Produktion im selben Flussabschnitt (AssC) addiert (jeweils in  $\text{t a}^{-1}$ ) und in Relation zur Fracht am

Beginn eines Abschnitts gesetzt (s. Ritz et al. 2018). Für die Berechnung der Variablen (RetF, RetA, TN, TP, AssC, OrgC) können Datensätze aus unterschiedlichen Quellen, Modellansätzen, aber auch aus Bilanzierungsrechnungen oder direkten Messungen verwendet werden (s. Ritz et al. 2018). Innerhalb von RESI wurden die modellbasierten Ansätze *Quality Simulation (QSim)* (RetF, TN, TP, AssC, orgC; BfG 2012), *Modelling Nutrient Emissions in River Systems (MONERIS)*, (RetF, TN, TP; Venohr et al. 2011) und der Auenretentionsansatz (RetA, TN, TP) nach Schulz-Zunkel et al. (2012) verwendet.

Der Indikator wurde auf eine räumliche Bezugseinheit von 1 km Fluss-Auen-Segmenten festgelegt, um die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Abschnitte zu ermöglichen. Die Bewertung des Retentionsindikators erfolgt mit einer fünfstufigen Skala, wobei Stufe 5 einer sehr hohen Retention entspricht und Stufe 1 keine oder eine negative Retention anzeigt.

Die beteiligten gewässerinternen Retentionsprozesse finden zu einem großen Teil im Sediment statt. Da sich mit zunehmender Flussgröße im Allgemeinen das Verhältnis von Abfluss (Wassersäule) zur überströmten Sedimentfläche erhöht, nimmt hier, in der Regel, die %-Retentionen deutlich ab (Alexander et al. 2000). Daher wurden die Skalengrenzen des Retentionsindikators separat für fünf Abflussklassen abgeleitet (s. *Factsheets: Retention*, ab Seite 43). Der abflussspezifische Ansatz verhindert zudem, dass größere Flüsse, die meist mit einer höheren stofflichen Belastung konfrontiert sind, grundsätzlich schlechter bewertet werden.

Die Herleitung der Abflussklasseneinteilung und Skalierung des Retentionsindikators sind dem RESI Projektergebnisdokument 3.2/3.3 „Quantifizierung und Bewertung von regulativen Ökosystemleistungen“ (Ritz et al. 2018) zu entnehmen.

### Berechnung der Nährstoffretention im Fluss

Für die Modellregionen Elbe (von Schmilka bis Geesthacht) und Donau (von Ulm bis Passau) wurde die N-, P- und C-Retention mit dem Gewässergütemodell (*QSim*) quantifiziert. Dieses Modell berechnet die Änderungen der jeweiligen Stofffracht unter Berücksichtigung von Einleitungen, flussinternen Umsatzprozessen und der abschnittsbezogenen Flussmorphologie. Es ist mit dem hydrodynamischen Modell HYDRAX (Oppermann et al. 2015) gekoppelt und berücksichtigt somit auch die Transportzeiten im Gewässer und deren Einfluss auf den Stoffumsatz.

Für die Modellregionen Nahe (von Kirn bis Bingen) wurde die N- und P-Retention mit MONERIS berechnet. MONERIS verbindet die Modellierung von landseitigen diffusen und punktförmigen Einträgen aus dem hydrologischen Einzugsgebiet und die gewässerinterne Retention in Oberflächengewässern auf Teileinzugsgebietsebene. Die gewässerinterne Retention wird in MONERIS auf Basis von Abfluss, Wasserfläche (als Indikator für die überströmte Sedimentfläche) und Wassertemperatur berechnet.

### Berechnung der Retention in der Aue

Für die Erfassung der N-Retention durch Denitrifikation in der Aue wurde ein Schätzverfahren nach Schulz-Zunkel et al. (2012) verwendet. Zusätzlich integriert wurden die

Landnutzungsklassen (GeoBasis-DE 2009-2018) sowie der Auenzustand (Brunotte et al. 2009). Es erlaubt eine Zuordnung von Denitrifikationsstufen für die in Auen vorkommenden Kombinationen aus Bodentypen (BÜK 1000, BÜK 200) und den Landnutzungsklassen „Wald“ und „Grünland“. Die Landnutzungsklassen „Feuchtgebiete“ und „Gewässer“ werden aufgrund ihrer hohen Relevanz für die Denitrifikation in Auen anhand von veröffentlichten Werten aus Fallstudien bewertet. Aufgrund der starken *anthropogenen* Überprägung von Ackerflächen und Siedlungsbereichen bleiben diese Landnutzungsklassen hier unberücksichtigt.

Die P-Retention erfolgt maßgeblich über Sedimentation und ist somit wesentlich von den Fließgeschwindigkeiten abhängig. Daher erfolgt die Berechnung der P-Retention über die Abschätzung des Rauigkeitsbeiwertes für verschiedene Landnutzungsklassen (Schulz-Zunkel et al. 2012).

### Interpretation und Grenzen des Retentionsindikators

Die hier verwendeten Modelle wurden alle mehrfach für deutsche Fließgewässer angewendet und validiert. Da Flüsse jedoch hoch dynamische Systeme sind, die einer ständigen, natürlichen und anthropogen überprägten Veränderung unterliegen, sind die ermittelten Ergebnisse und ÖSL-Bewertungen nur auf den aktuellen Zeitraum zu beziehen und gelten nur für die zu Grunde gelegten Abflussbedingungen. Während MONERIS und *QSim* eine N- und P-Retention in ähnlicher Größenordnung liefern, kann die Verwendung weiterer Berechnungsansätze oder Freilandmessungen zu anderen Werten und damit einer abweichenden ÖSL-Bewertung führen. Somit ist ein Vergleich von ÖSL-Indikatoren, die mit unterschiedli-

chen Ansätzen berechnet wurden, generell nur bei genauer Kenntnis der verwendeten Methoden und der berücksichtigten Prozesse ratsam.

Bei der Betrachtung der Retention als ÖSL ist weiterhin zu beachten, dass eine hohe Retention nicht mit einem guten ökologischen Zustand gleichzusetzen ist. So können beispielsweise Flusssstauhaltungen zu einer höheren N-Retention führen und somit in dieser ÖSL positiv bewertet werden. Gleichzeitig können sie aber die Durchgängigkeit der Gewässer einschränken und die Habitatstruktur beeinträchtigen, so dass sie unter diesen Aspekten in anderen ÖSL schlechter bewertet werden (Trade-off). Unter gleichen Rahmenbedingungen haben wenig belaste-

te Gewässer häufig eine geringere absolute Retention als belastete Gewässer. Dies wurde in den Retentionsindikatoren berücksichtigt, indem der Anteil der zurückgehaltenen Stofffracht und nicht die absolute Retention zur Bewertung herangezogen wird.

Um die Vielzahl verschiedener ÖSL im RESI zusammenführen zu können, wurden mittlere jährliche Bewertungen vereinbart. Eine hohe temporäre Retention in der biologisch aktiven Zeit kann allerdings zu einer kurzzeitigen Reduktion der Nährstoffkonzentrationen führen und hier einen signifikant positiven Effekt zur Begrenzung der Eutrophierung haben. Dieser saisonale Aspekt wurde im RESI-Kontext nicht bewertet.



© Marion Gelhaus



Regulative Ökosystemleistungen

# Hochwasserregulation

## Kurzbeschreibung

Die ÖSL beschreibt das natürliche Vermögen der Fließgewässer und Auen zur Rückhaltung bzw. Abflachung von Hochwasserwellen. Infolge von Ausuferung/Überflutung wird Rückhaltevolumen genutzt. Die natürliche Rauigkeit von Gewässern und Auen trägt zusätzlich zur Drosselung des Hochwasserabflusses bei.

## Bedeutung

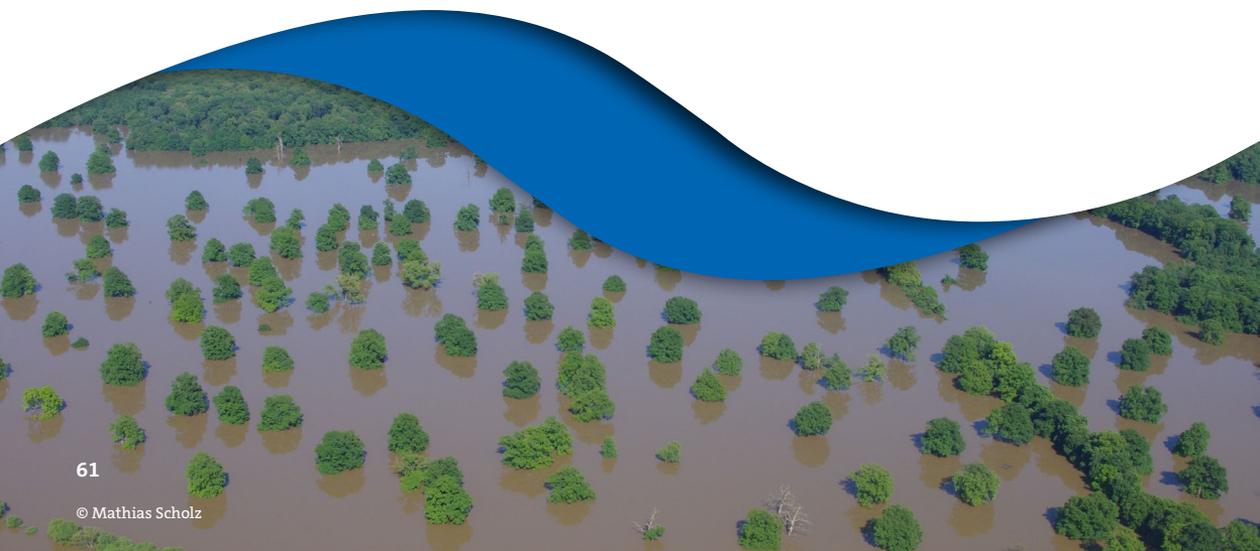
Die ÖSL bildet ab, inwieweit natürliche Prozesse zum Hochwasserschutz beitragen können. Damit können technische Hochwasserschutzmaßnahmen ergänzt werden oder ggf. ganz ersetzt werden, was angesichts der hohen Synergieeffekte zu anderen Umweltsektoren erhebliches Effizienzpotenzial bietet und zudem die Umsetzung europäischer Umwelt- und Naturschutzrichtlinien erleichtert.

## Anwendungsempfehlung

Die ÖSL sollte betrachtet werden, wenn Hochwasserschutzaspekte im Untersuchungsgebiet eine große Bedeutung haben. Da in der Wasserwirtschaft systemhaftes Denken und Agieren notwendig ist, sind auch Beiträge kleiner Gewässer und Auen bei der Hochwasserrückhaltung bzw. Wellenabflachung auf Einzugsgebietsebene von Bedeutung. Die ÖSL hat zudem eine hohe Bedeutung als Klimaanpassungsmaßnahme. Von daher sollte die ÖSL grundsätzlich immer bewertet werden.

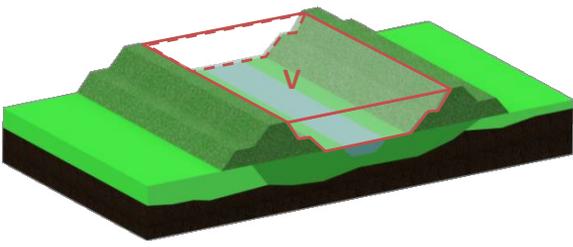
## Sensitivität

Die ÖSL reagiert stark auf Maßnahmen, die zu Veränderungen in der Größe des Hochwasserrückhalteraaumes führen (z. B. Abdeichungen oder Deichrückverlegungen) sowie Maßnahmen, die zu Veränderungen der morphologischen Verhältnisse und/oder der hydraulischen Rauigkeit führen.



Klasse und Typ	Abk.	Kurzbeschreibung		Raumbezug
Regulativ Bereitgestellt	HW	Drosselung des Hochwasserabflusses und Absenkung des Hochwasserscheitels: Wellenabflachung (durch Ausuferung/Überflutung wird Rückhaltevolumen genutzt, Fluss-/Auenmorphologie erzeugt Rauigkeit)		Fluss-Auen-Segment (1 km) <input checked="" type="checkbox"/> Altaue <input checked="" type="checkbox"/> rezente Aue <input checked="" type="checkbox"/> Fluss
Variable	Abk.	Einheit	Rechengröße	Datenquelle
Volumen der rezenten Aue	$V_{rezAue}$	m <sup>3</sup>	Volumen zwischen Mittel- und Hochwasserstand („bordvolle“ rezente Aue)	– Deiche und Längsbauwerke – DGM 10 – HQ 100
Volumen der morphologischen Aue	$V_{morphAue}$	m <sup>3</sup>	Volumen zwischen Mittel- und Hochwasserstand (Höhe der Anschlaglinie der morphologischen Aue, Übergang Talboden-Talflanke)	– Deiche und Längsbauwerke – DGM 10 – HQ 100
Fließstrecke des relevanten Kartierabschnittes	$L_i$	m	Länge	– Fließgewässerstrukturgütekartierung (FGSK)
Bewertungen für Ufer (U), Land (L), Sohle (S)	$BU_i, BL_i, BS_i$	relativ 5 ... 1	Bewertungsklasse (5 entspricht RESI-Klasse 1, 1 entspricht RESI-Klasse 5)	– FGSK
Gesamtließstrecke	$L_{Ges}$	m	Länge	– FGSK

## Berechnungsverfahren

Volumenbestimmung	Teilindikator HW <sub>1</sub>				
	Berechnung des Volumenverhältnisses der rezenten Aue zur morphologischen Aue:				
	$Ind_{HW_1} = \frac{V_{rezAue}}{V_{morphAue}}$				
	$Ind_{HW_1}$	> 80 %	> 60 % ... ≤ 80 %	> 40 % ... ≤ 60 %	> 20 % ... ≤ 40 %
$HW_1$	5	4	3	2	1

Teilindikator HW <sub>2</sub>						
Berechnung der längengewichteten mittleren Gesamtklassifizierung des Fließgewässers:		$Ind_{HW_2}$	> 1,5	> 2,5	> 3,5	> 4,5
			≤ 1,5	...	...	...
			≤ 2,5	≤ 3,5	≤ 4,5	
$Ind_{HW_2} = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{L_{Ges}} \cdot \left( \frac{BU_i + BL_i + BS_i}{3} \right)$		HW <sub>2</sub>	5	4	3	2
						1

### Gesamtindikator

Berechnung des Gesamtindikators *HW* als Mittelwert aus den Ergebnissen der Teilindikatoren *HW<sub>1</sub>* und *HW<sub>2</sub>*:

$$Ind_{HW} = \frac{HW_1 + HW_2}{2}$$

Skalierung	<i>Ind<sub>HW</sub></i>	≥ 4,5	< 4,5 ... ≥ 3,5	< 3,5 ... ≥ 2,5	< 2,5 ... ≥ 1,5	< 1,5
<input type="checkbox"/> lokal						
<input checked="" type="checkbox"/> de						
<b>RESI</b>		<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Qualitative Beurteilung</b>		Kein oder nur sehr geringfügiger Verlust an rezentem Auenvolumen, sehr hohe Wellenabflachung	Geringer Verlust an rezentem Auenvolumen, hohe Wellenabflachung	Mäßiger Verlust an rezentem Auenvolumen, mäßige Wellenabflachung	Hoher Verlust an rezentem Auenvolumen, geringe Wellenabflachung	Gravierender Verlust an rezentem Auenvolumen, keine oder sehr geringe Wellenabflachung

### Bedeutung der Indikatoren

#### Interpretation

Der Teilindikator *HW<sub>1</sub>* gibt vereinfachend an, wie stark sich der theoretische Hochwasserrückhalteraum in einem Auenabschnitt im Vergleich zum ursprünglichen Zustand verändert hat und spiegelt damit einen direkten Bezug zur ÖSL Hochwasserregulation wider. Der Teilindikator *HW<sub>2</sub>* erfasst vereinfachend die Prozesse der Wellenabflachung infolge von Profiländerungen, Rauigkeiten und induzierter Turbulenz in Abhängigkeit der kartierten strukturellen Ausprägung.

#### Erweiterungsmöglichkeiten

Im Falle der Verfügbarkeit von berechneten Ausuferungsflächen (z. B. aus Hochwassergefahrenkarten) können diese direkt für eine genauere Bestimmung des Retentionsvolumens der Aue genutzt werden.

Für etwaige Szenario-Berechnungen, die das Anlegen von Polderflächen vorsehen, kann wie folgt vorgegangen werden:

- Ermittlung der folgenden Variablen: Fläche der rezenten Aue ( $A_{rezAue}$  in m<sup>2</sup>), Fläche der morphologischen Aue ( $A_{morphAue}$  in m<sup>2</sup>), Polderfläche ( $A_{Polder}$  in m<sup>2</sup>), Polderfläche innerhalb der rezenten Aue ( $A_{rezPolder}$  in m<sup>2</sup>), Volumen der rezenten Aue ( $V_{rezAue}$  in m<sup>3</sup>), Volumen der morphologischen Aue ( $V_{morphAue}$  in m<sup>3</sup>)
- Zuordnung der Gewichtung ( $G_{Polder}$ ) der Polderart in Abhängigkeit der Überflutungshäufigkeit:
  - ungesteuerter Polder HQ 50 und seltener als HQ 50 -  $G_{Polder} = 0,5$
  - ungesteuerter Polder häufiger als HQ 50 -  $G_{Polder} = 1,5$
  - gesteuerter Polder HQ 50 und seltener als HQ 50 -  $G_{Polder} = 2,5$
  - gesteuerter Polder häufiger als HQ 50 -  $G_{Polder} = 5$

- Bestimmung der mittleren Rückhaltehöhe der rezenten ( $h_{rez} = V_{rezAue} / A_{rezAue}$ ) und morphologischen Aue ( $h_{morph} = V_{morphAue} / A_{morphAue}$ )
- Bestimmung der mittleren Rückhaltehöhe des Polders ( $h_{Polder}$ ):

$$h_{Polder} = \left( \frac{h_{morph} - h_{rez}}{A_{morphAue}} \cdot A_{Polder} \right) + h_{rez}$$

- Berechnung des neuen Volumens der rezenten Aue ( $V_{rezSzenario}$ ) mit dem gewichteten Volumen des Polders in Flächenabhängigkeit zu der rezenten und morphologischen Aue; anschließend kann mit  $V_{rezSzenario}$  als  $V_{rezAue}$  weiterverfahren werden (siehe Teilindikator  $HW_1$ ):

$$V_{rezSzenario} = (A_{Polder} \cdot h_{Polder} \cdot G_{Polder}) + ((A_{rezAue} - A_{rezPolder}) \cdot h_{rez})$$

## ■ Datenquellen

Datensatz	Beschreibung Typ, Kategorien	Raumbezug	Auflösung / Genauigkeit	Referenz	Aktualität	Kommentar
Digitales Geländemodell - DGM10	Raster	Bundesweit flächendeckende Kacheln	Lage 10 m Höhe 0,01 m/ ± 2 m	© GeoBasis-DE/BKG (2016)	MV 2006 – 2012	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)
Fluss-Auen-Segmente	Polygon, Fluss, rezente Aue, Altaue	Auen	1:25.000 (basiert auf Basis DLM)	Fallbeispiel Institut biota GmbH, alternativ Bundesamt für Naturschutz (BfN) Auenkulisse	2016	Rückgriff auf Deichlinien, HQ100-Ausferungslinien (Anschlagslinien) und DGM-Daten (Höhengradienten, Höhenlagen)
Informationen zu Deichen und Längsbauwerken	Linie	Auen	1:10.000 (basiert auf Angaben der DTK10 M-V)	© GeoBasis-DE/M-V (2016)	2009	Digitalisierungen aus Topographischer Karte
Angaben zur HQ100-Ausuferung	Polygon	Auen	1:5.000	nichtöffentliche Objektpläne	1995-2015	Auswertung verschiedener Renaturierungsplanungen im Hinblick auf Wirkräume
FGSK	Linie	Fluss	1:25.000	Institut biota GmbH	2016	



## Regulative Ökosystemleistungen

# Niedrigwasserregulation

### Kurzbeschreibung

Die ÖSL steht für den Niedrigwasserausgleich durch hydrologische Selbstregulation infolge von *Makrophytenaufwuchs* und Morphologie (Dämpfung des Wasserstandsabfalls), ggf. auch für den Ausgleich durch starken Grundwasserzustrom. Die ÖSL bildet insofern ab, inwieweit natürliche Prozesse zur Niedrigwasserregulation beitragen können.

### Bedeutung

Niedrigwasser beschreibt aus der ökohydrologischen Perspektive heraus Zeiträume und/oder Schwellenwerte mit sehr geringem Abfluss, was zu extremen Bedingungen für die Arten und Lebensräume führt (bei Grundwasserinteraktion auch für Landlebensräume); zugleich schränkt dies die meisten Nutzungsmöglichkeiten des Wassers entsprechend ein (z. B. Entnahmen, Schifffahrt).

### Anwendungsempfehlung

Die ÖSL sollte betrachtet werden, wenn Niedrigwasser Aspekte eine große Bedeutung haben. Vor allem für die aquatischen Systeme selbst, aber auch für vom Wasserhaushalt abhängige Landökosysteme bedeuten starke und/oder langandauernde Niedrigwasserphasen Stress. Die ÖSL hat zudem eine hohe Bedeutung als Klimaanpassungsmaßnahme. Von daher sollte die ÖSL grundsätzlich immer bewertet werden.

### Sensitivität

Vor allem die Querschnittsform, die hydraulische Rauigkeit (auch infolge des Bewuchses) und die Lauflänge bzw. das Krümmungsverhalten sowie die relative Stärke von Grundwasserzustrom haben einen Einfluss auf die Bereitstellung der ÖSL Niedrigwasserregulation.

Klasse und Typ		Abk.	Kurzbeschreibung			Raumbezug
Regulativ Bereitgestellt Erweiterung Genutzt		NW	Niedrigwasserausgleich durch hydrologische Selbstregulation infolge von Makrophytenaufwuchs und Morphologie (Dämpfung des Wasserstandsabfalls), ggf. auch Ausgleich durch starken Grundwasserzuström (Expertenbeurteilung)			Fluss-Auen-Segment (1 km) <input type="checkbox"/> Altaue <input type="checkbox"/> rezente Aue <input checked="" type="checkbox"/> Fluss
Variable	Abk.	Einheit	Rechengröße	Datenquelle	Anmerkung	
Fließstrecke der einzelnen relevanten Kartierabschnitte innerhalb des Fluss-Auen-Segments	$L_i$	m	Länge	– Fließgewässerstruktur-güte (FGSK)		
Gesamtfließstrecke	$L_{Ges}$	m	Länge	– FGSK		
Bewertungen der Klassifizierungen: Ufer, Sohle	$BU, BS$	relativ 5 ... 1	Bewertungsklasse (5 entspricht RESI-Klasse 1 1 entspricht RESI-Klasse 5)	– FGSK		
Erweiterungsmöglichkeit genutzte ÖSL: menschlicher Einfluss Rückstau	$R$		Ermittlung des menschlichen Einflusses in Form von Rückstau durch Querbauwerke: Rückgestaute Gewässerabschnitte sind der Bewertungsklasse 1 zuzuordnen ( $BU, BS$ entfällt).	– Information über rückgestaute Gewässerabschnitte aus der FGSK-Kartierung	Beschreibt die genutzte Ökosystemleistung (ÖSL).	
Berechnungsverfahren						
Indikator						
Berechnung der längengewichteten mittleren Bewertungseinheit aus „Ufer“ und „Sohle“ des Fließgewässers im Fluss-Auen-Segment:						
$Ind_{NW} = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{L_{Ges}} \cdot \left( \frac{BU_i + BS_i}{2} \right)$						
Skalierung	$Ind_{NW}$	$\leq 1,5$	$> 1,5 \dots \leq 2,5$	$> 2,5 \dots \leq 3,5$	$> 3,5 \dots \leq 4,5$	$> 4,5$
<input type="checkbox"/> lokal <input checked="" type="checkbox"/> de						
RESI		<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
Qualitative Beurteilung		Sehr hoher Niedrigwasserausgleich; rückgestaute Gewässerabschnitte und/oder sehr hoher Grundwasserzuström	Hoher Niedrigwasserausgleich und/oder hoher Grundwasserzuström	Mittlerer Niedrigwasserausgleich und/oder mäßiger Grundwasserzuström	Geringer Niedrigwasserausgleich	Kein oder sehr geringfügiger Niedrigwasserausgleich

## Bedeutung des Indikators

### Interpretation

Vor allem die Querschnittsform und die hydraulische Rauigkeit (auch infolge des Bewuchses) sowie die Lauflänge bzw. das Krümmungsverhalten haben einen Einfluss auf die Bereitstellung der ÖSL Niedrigwasserregulation. Der Indikator erfasst über die Mittelwerte der Gewässerstrukturklassifizierung (Sohle, Ufer) integrativ die wesentlichen hydraulischen Faktoren, die zu einer Dämpfung des mit Niedrigwasser einhergehenden Wasserstandsabfalls beitragen. Zur Feststellung der genutzten ÖSL ist zusätzlich der menschliche Einfluss in Form von Rückstau durch Querbauwerke zu berücksichtigen. Diese Gewässerabschnitte sind mit einem sehr hohen Niedrigwasserausgleich zu bewerten und mit den restlichen Abschnitten im Auensegment längengewichtet zu mitteln.

### Erweiterungsmöglichkeiten

Lassen die Daten einen Rückschluss auf natürlich rückgestaute Gewässerabschnitte (Meereseinfluss, Seeneinfluss, Einmündungsbereiche in größere Fließgewässer) zu, sind diese mit einem sehr hohen Niedrigwasserausgleich zu bewerten.

Besteht Wissen über den Einfluss zuströmenden Grundwassers, kann dieser niedrigwasserausgleichende Faktor ebenfalls in die Bewertung miteinbezogen werden (Expertenbewertung).

## ■ Datenquellen

Datensatz	Beschreibung Typ, Kategorien	Raumbezug	Auflösung/ Genauigkeit	Referenz	Aktualität	Kommentar
Fluss-Auen-segmente	Polygon, Fluss, rezente Aue, Altaue	Auen	1:25.000 (basiert auf Basis DLM)	Fallbeispiel Institut biota GmbH, alternativ Bundesamt für Naturschutz (BfN) Auenkulisse	2016	Rückgriff auf Deichlinien, HQ 100-Ausufe-rungslinien (Anschlagslinien) und DGM-Daten (Höhengradienten, Höhenlagen)
Einzugsgebiet (EZG)	Polygon	EZG	1:25.000 (DLM 25 W)	© GeoBasis-DE/M-V (2016)	2012	
Fließgewässerstrukturgü-tekartierung (FGSK)	Linie	Auen	1:25.000	Institut biota GmbH	2016	Im Falle der Be-rechnung der ge-nutzten ÖSL sind Informationen zu rückgestauten Ge-wässerabschnit-ten der FGSK zu entnehmen, ggf. Informationen zu Querbauwerken heranzuziehen.



### Regulative Ökosystemleistungen

## Sedimentregulation

### Kurzbeschreibung

Die ÖSL Sedimentregulation steht für den gewässerinternen Sedimenthaushalt. Zum Sediment wird die an der Gewässersohle transportierte Bodenfracht (Geschiebe) und die in Suspension transportierte Schwebstofffracht gezählt. Welche Korngrößen transportiert oder abgelagert werden, hängt entscheidend von den hydrodynamischen Verhältnissen ab (Fließgeschwindigkeit, Sohlschubspannung). Schwebstoffe werden durch die Turbulenz der Strömung in Suspension gehalten.

### Bedeutung

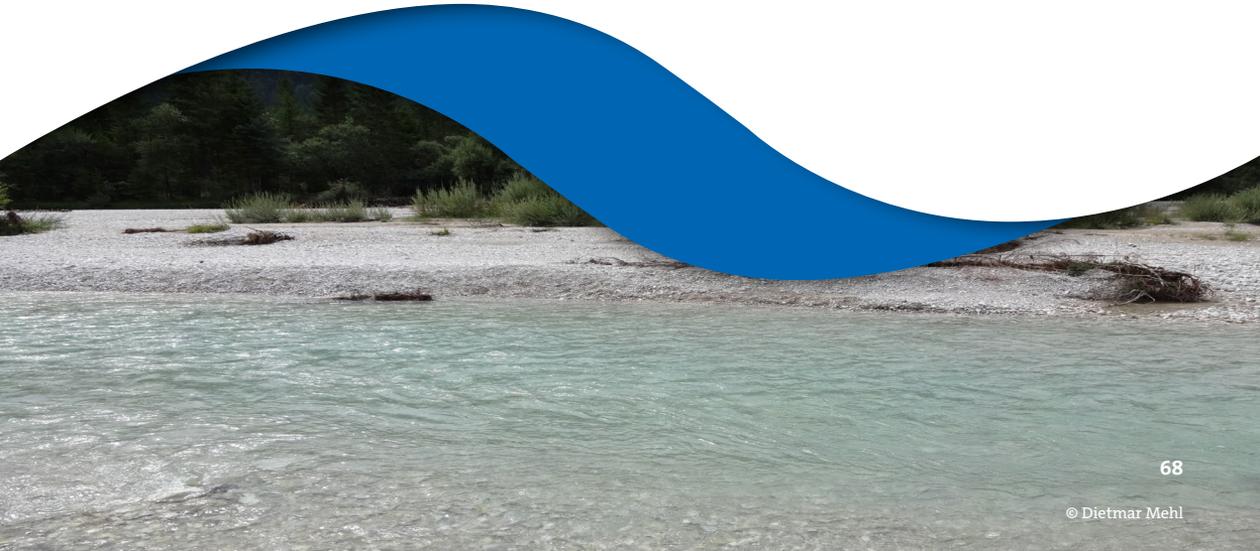
In einem ungestörten, über langen Zeitraum entwickelten, naturnahen Fließgewässer stellt sich ein (weitgehendes) morphologisches Gleichgewicht ein, das Voraussetzung für eine funktionsfähige Sedimentregulation ist. Der Sedimenthaushalt beeinflusst die hydromorphologischen Strukturen und die Gewässerhabitate bzw. steht mit diesen in Wechselwirkung. Aber auch für die Bodenbildung in den Auen und die damit verbundenen *abiotischen* Faktoren für die terrestrische Lebewelt ist der Sedimenthaushalt zusammen mit dem Überflutungsregime bestimmend.

### Anwendungsempfehlung

Die Bewertung dieser ÖSL ist grundsätzlich immer zu empfehlen, weil sie fundamentale Bedeutung für die Hydromorphologie der Gewässer besitzt und auch für die Auenbodenbildung von hohem Belang ist.

### Sensitivität

Die ÖSL reagiert besonders stark auf Störungen wie Bauwerke, welche die Sedimentdurchgängigkeit ver-/behindern, auf Sedimententnahmen und -zugaben sowie morphologische Veränderungen (Gewässerausbaumaßnahmen).



Klasse und Typ	Abk.	Kurzbeschreibung	Raumbezug
Regulativ Bereitgestellt	SR	Bewertung des gewässerinternen Sedimenthaushalts über die Naturnähe morphologischer Strukturen und die Auswirkungen von Querbauwerken auf die Sedimentdurchgängigkeit/Morphologische Wirkung	Fluss-Auen-Segment (1 km) <input type="checkbox"/> Altaue <input type="checkbox"/> rezente Aue <input checked="" type="checkbox"/> Fluss

Variable	Abk.	Einheit	Rechengröße	Datenquelle
Fließstrecke der einzelnen relevanten Kartierabschnitte innerhalb des Fluss-Auen-Segments	$L_i$	m	Länge	– Fließgewässerstruktur- güte (FGSK) – Fluss-Auen-Segmente
Gesamtließstrecke	$L_{Ges}$	m	Länge	– FGSK – Fluss-Auen-Segmente
Bewertungen der Klassifizierung: Sohle	BS	relativ 5 ... 1	Bewertungsklasse (5 entspricht RESI-Klasse 1 1 entspricht RESI-Klasse 5)	– FGSK

## Berechnungsverfahren

Indikator  $MSB$ : Berechnung der längengewichteten mittleren Sohl-Bewertungseinheit des Fließgewässers

Indikator  $B_{QBW}$ : Kurzbewertung der hydraulischen und morphologischen Wirkungen von Querbauwerken nach LAWA (2017), in Hinblick auf die RESI-Indikation (Klassifizierung) erweitert/verändert

$$MSB = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{L_{Ges}} \cdot BS_i$$

Bauwerkstyp	$B_{QBW}$
Kein Querbauwerk	1
Sohlschwelle	1
Grundschwelle	2
Stützwehr und Stützwelle	4
Bewegliches Wehr und Sperwerk	4
Schöpfwerk und Schleusen	4
Schütz	2
Durchlass, Verrohrung, Verdohlung	3
Sohlrampe, Sohlgleite	2
Absturz, Absturztreppe	2
Talsperre	5

Gesamtindikator	Beeinflussung der Sedimentregulation durch QBW
Bestimmung der schlechtesten Bewertung (Worst-Case-Methode) aus den Ergebnissen der Indikatoren $MSB$ und $B_{QBW}$ :  $Ind_{SR} = MAX(MSB, B_{QBW})$	

Skalierung <input type="checkbox"/> lokal <input checked="" type="checkbox"/> de	$Ind_{SR}$	1	2	3	4	5
		<b>RESI</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
<b>Qualitative Beurteilung</b>	Ungestörter/ weitgehend ungestörter Sediment- haushalt	Leicht gestörter Sediment- haushalt	Deutlich gestörter Sediment- haushalt	Stark gestörter Sedimenthaus- halt	Sehr stark gestörter Sedimenthaushalt	

Bedeutung des Indikators
<p><b>Interpretation</b></p> <p>Zum Sediment wird die an der Gewässersohle transportierte Bodenfracht (Geschiebe) und die in Suspension transportierte Schwebstofffracht gezählt (vgl. zu den Definitionen z. B. DWA-M 525). Welche Korngrößen transportiert oder abgelagert werden, hängt entscheidend von den hydrodynamischen Verhältnissen ab (Fließgeschwindigkeit, Sohlschubspannung). Schwebstoffe werden durch die Turbulenz der Strömung in Suspension gehalten. In einem ungestörten, über langen Zeitraum entwickelten, naturnahen Fließgewässer stellt sich ein (weitgehendes) morphologisches Gleichgewicht ein. Der Indikator nutzt die Strukturgütebewertung der Sohle sowie die Auswirkungen von Querbauwerken auf die Sedimentdurchgängigkeit/Morphologische Wirkung als Maß für die Intaktheit des Sedimenthaushalts.</p> <p><b>Erweiterungsmöglichkeiten</b></p> <p>Bei Vorliegen von Messdaten oder kalibrierten Sedimenttransportmodellen kann/sollte auf diese akkurateren Daten orientiert werden; in diesem Fall ist die Skala sachgerecht anzuwenden bzw. zu modifizieren.</p> <p><b>Quellen / Literatur</b></p> <p>DWA-M 525. Sedimentmanagement in Fließgewässern – Grundlagen, Methoden, Fallbeispiele. Merkblatt. – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. – DWA [Hrsg.], 2012.</p> <p>DWA-M 526. Grundlagen morphodynamischer Phänomene in Fließgewässern. Merkblatt. – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. – DWA [Hrsg.], 2015.</p> <p>LAWA (2017). Bewertung der Durchgängigkeit von Fließgewässern für Sedimente, im Rahmen des Projektes "Bewertung der Durchgängigkeit von Fließgewässern für Fische und Sedimente", Projekt-Nr. O 5.14, Anwenderhandbuch Sedimente Entwurf Februar 2017.</p>

## ■ Datenquellen

Datensatz	Beschreibung Typ, Kategorien	Raumbezug	Auflösung/ Genauigkeit	Referenz	Aktualität	Kommentar
Fluss-Auen-Segmente	Polygon, Fluss, rezente Aue, Altaue	Auen	1:25.000 (basiert auf Basis DLM)	Fallbeispiel Institut biota GmbH, alternativ Bundesamt für Naturschutz (BfN) Auenkulisse	2016	Rückgriff auf Deichlinien, HQ100-Ausferungslinien (Anschlagslinien) und DGM-Daten (Höhengradienten, Höhenlagen)
Fließgewässerstruktur- gütekartierung (FGSK)	Linie	Auen	1:25.000	Institut biota GmbH	2016	Europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) Monitoring
Querbauwerke	Punkt	Auen	1:1.000/ 1:25.000	Landesamt für Umwelt und Geologie (LUNG)	2013-2016	



## Regulative Ökosystemleistungen

# Bodenbildung

### Kurzbeschreibung

Bei der ÖSL Bodenbildung stehen die Bewertung der natürlichen Moorbildung (Torfakkumulation) bzw. der anthropogen verursachten Moordegradation (Gewässervertiefungen, Grundwasserspiegelabsenkungen, Veränderung der Überschwemmungsdynamik) und der Auenbodenbildung im Mittelpunkt.

### Bedeutung

Die natürliche Moorbildung benötigt möglichst ganzjährig flurgleiche *Grundwasserstände* und/oder Überstau als eine wesentliche Grundlage der Torfbildung in Mooren und Anmooren. Die Bildung von mineralischen Auenböden benötigt eine möglichst naturnahe Auenüberflutungsdynamik sowie einen entsprechenden *Sedimenttransport* der Fließgewässer.

### Anwendungsempfehlung

Die Bewertung dieser ÖSL ist besonders ratsam in organischen Auen, aber hat auch hohe Bedeutung in anorganischen Auen. Die ökologische Funktionsfähigkeit der Auen hängt wesentlich von den standörtlichen Bedingungen ab.

### Sensitivität

Sehr hohen Einfluss auf die ÖSL haben mit Nutzungen verbundene Entwässerungsmaßnahmen, z. B. Gewässerausbau/-vertiefung, Gräben, Dränung und/oder Eindeichung und Schöpfwerksbetrieb.





River Ecosystem Service Index

## Bodenbildung in Auen, hier Moordegradationsstufen und Auenbodenbildung

Bearbeiter: D. Mehl, T. G. Hoffmann, J. Iwanowski (biota GmbH)

Stand: 02.05.2018

Klasse und Typ	Abk.	Kurzbeschreibung			Raumbezug	
Regulativ Bereitgestellt	BB	Bewertung der natürlichen Moorbildung (Torfakkumulation) bzw. der anthropogen verursachten Moordegradation (Gewässervertiefungen, Grundwasserspiegelabsenkungen, Veränderung der Überschwemmungsdynamik) und der Auenbodenbildung			Fluss-Auen-Segment (1 km) <input checked="" type="checkbox"/> Altaue <input checked="" type="checkbox"/> rezente Aue <input type="checkbox"/> Fluss	
Variable	Abk.	Einheit	Rechengröße	Datenquelle	Anmerkung	
Einzelmoorfläche	$A_i$	ha	Fläche der Einzelmoorflächen in der morphologischen Aue	– Fluss-Auen-Segmente – Analyse des Bodenpotenzials (Bodenfunktionsbereiche)		
Gesamtmoorfläche	$A_{Ges}$	ha	Gesamtmoorfläche in der morphologischen Aue	– Fluss-Auen-Segmente – Analyse des Bodenpotenzials (Bodenfunktionsbereiche)		
Mittlerer Grundwasserflurabstand	$m_{GWFA}$	m	Mittlere Höhendifferenz zwischen der Geländeoberfläche und des Grundwasserspiegels des oberen Grundwasserleiters	– DGM 10 – Wasserspiegellagen (basiert auf DGM 10)	Digitales Geländemodell (DGM)	
Bewertungsindex	$BI$	relativ	$m_{GWFA}$	alternativ: Wasserstufen	$BI$	Petersen (1952), Hundt (1957; 1964), zusammengestellt bei Succow & Joosten (2001)
			$\leq 0$ m (Überstau oder flurgleich, Wasserwechselzone)	6+, 5+	5	
			$> 0$ m ... $\leq 0,35$ m	4+, 3+	4	
			$> 0,35$ m ... $\leq 0,70$ m	2+	3	
			$> 0,70$ m ... $\leq 1,20$ m	2-	2	
			$> 1,20$ m	2- bis 5-	1	
Flächenanteil der Moorböden im Fluss-Auen-Segment	$F_{Moor}$	Prozent	Moorbodenanteil	– Fluss-Auen-Segmente – Analyse des Bodenpotenzials (Bodenfunktionsbereiche)		

Variable	Abk.	Einheit	Rechengröße	Datenquelle	Anmerkung
Flächenanteil der Auenböden im Auensegment	$F_{AuB}$	Prozent	Auenbodenanteil	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fluss-Auen-Segmente</li> <li>– Analyse des Bodenpotenzials (Bodenfunktionsbereiche)</li> </ul>	
Auenbodenfläche innerhalb der Altaue	$A_{Alt}$	ha	Berechnung der Auenbodenfläche in der Altaue	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fluss-Auen-Segmente</li> <li>– Analyse des Bodenpotenzials (Bodenfunktionsbereiche)</li> </ul>	
Auenbodenfläche innerhalb der rezenten Aue	$A_{Rez}$	ha	Berechnung der Auenbodenfläche in der rezenten Aue	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fluss-Auen-Segmente</li> <li>– Analyse des Bodenpotenzials (Bodenfunktionsbereiche)</li> </ul>	
Gesamtfläche des Auenbodens	$A_{AuB}$	ha	Berechnung der Gesamtfläche des Auenbodens	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fluss-Auen-Segmente</li> <li>– Analyse des Bodenpotenzials (Bodenfunktionsbereiche)</li> </ul>	
Bewertung der Sedimentregulation	$B_{SR}$	relativ	Ergebnis der Bewertung für die Ökosystemleistung: Sedimentregulation des Auensegments	– siehe Indikatoren-Factsheet: Sedimentregulation	

### Berechnungsverfahren

Teilindikator $B_{Moor}$	Teilindikator $B_{AuB}$
$B_{Moor} = \left( \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{A_{Ges}} \cdot BI_i \right)$	$B_{AuB} = \frac{(\sum_{i=1}^n A_{Alt_i}) + (\sum_{i=1}^n A_{Rez_i} \cdot B_{SR})}{A_{AuB}}$

### Gesamtindikator

Berechnung des flächengewichteten Gesamtindikators der Teilindikatoren  $B_{Moor}$  und  $B_{AuB}$ :

$$Ind_{BB} = B_{Moor} \cdot F_{Moor} + B_{AuB} \cdot F_{AuB}$$

Skalierung	$Ind_{BB}$	$\geq 4,5$	$< 4,5 \dots \geq 3,5$	$< 3,5 \dots \geq 2,5$	$< 2,5 \dots \geq 1,5$	$< 1,5$
<input type="checkbox"/> lokal <input checked="" type="checkbox"/> de						
<b>RESI</b>		5	4	3	2	1
<b>Qualitative Beurteilung</b>		Torfbildung oder weitgehende Torferhaltung, keine oder sehr geringe Moordegradation, sehr hohe Auenbodenbildung	Torfabbau, geringe Moordegradation, hohe Auenbodenbildung	Torfabbau, mäßige Moordegradation, mäßige Auenbodenbildung	Torfabbau, hohe Moordegradation, geringe Auenbodenbildung	Torfabbau, sehr hohe Moordegrad., keine oder sehr geringfügige Auenbodenbildung

## Bedeutung des Indikators

### Interpretation

Der Indikator beschreibt die standörtlichen Voraussetzungen in Bezug auf den Bodenwasserhaushalt als eine wesentliche Grundlage der Torfbildung in Mooren und Anmooren, indem auf die übliche Wasserstufensystematik der Bodenkunde bzw. Bodenschätzung zurückgegriffen wird. Die Bewertung der Bodenbildung erfolgt als anthropogen verursachte Moordegradationsstufen flächengewichtet mit dem Potenzial der Auenbodenbildung (abgeleitet über die Sedimentregulation im Auensegment).

### Erweiterungsmöglichkeiten

Im Falle der Verfügbarkeit von flächenhaften Daten zu Wasserwechselzonen infolge Renaturierung in organischen Flussauen bzw. an organischen Fließgewässertypen (potenzielle Neustandorte der Moorbildung bzw. Bereiche einer Moorreaktivering) können diese in die Bewertung miteinbezogen werden; hierzu sollten sachgerechte Annahmen für eine Aufwertung der Wasserstufe getroffen werden.

Für etwaige Szenario-Berechnungen, die das Anlegen von Polderflächen vorsehen, kann wie folgt vorgegangen werden:

1. Zuordnung der Gewichtung ( $G_{Polder}$ ) der Polderart in Abhängigkeit der Überflutungshäufigkeit:
  - Polder HQ 50 und seltener als HQ 50 -  $G_{Polder} = 0,5$
  - Polder häufiger als HQ 50 -  $G_{Polder} = 1$
2. Anpassung der Formeln  $B_{Moor}$  und  $B_{AuB}$  wie folgt:

$$B_{Moor} = \left( \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{A_{Ges}} \cdot BI_i \cdot G_{Polder_i} \right)$$

$$B_{AuB} = \frac{(\sum_{i=1}^n A_{Alt_i}) + (\sum_{i=1}^n A_{Rezi_i} \cdot B_{SR} \cdot G_{Polder_i})}{A_{AuB}}$$

### Quellen / Literatur

Succow, M. & Joosten, H. [Hrsg.] (2001). Landschaftsökologische Moorkunde. Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele & Obermiller)), 2. völlig neu bearb. Aufl., 622 S.

## ■ Datenquellen

Datensatz	Beschreibung Typ, Kategorien	Raumbezug	Auflö- sung/ Genauig- keit	Referenz	Aktua- lität	Kommentar
Digitales Geländemodell - DGM10	Raster	Bundesweit flächendeckende Kacheln	Lage 10 m Höhe 0,01 m/ ± 2 m	© GeoBasis-DE/BKG (2016)	MV 2006 – 2012	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)
Fluss-Auen-Segmente	Polygon, Fluss, rezente Aue, Altaue	Auen	1:25.000 (basiert auf Basis DLM)	Fallbeispiel Institut biota GmbH, alternativ BfN Auenkulisse	2016	Rückgriff auf Deichlinien, HQ100-Ausführungslinien (Anschlagslinien) und DGM-Daten (Höhengradienten, Höhenlagen)
Analyse des Bodenpotenzials (Bodenfunktionsbereiche)	Polygon, Code des Bodenfunktionsbereiches (code_fb): fb09, fb10, fb11, fb12	Mecklenburg-Vorpommern	1:50.000	„Landesweite Analyse und Bewertung der Landschaftspotenziale in Mecklenburg-Vorpommern“, UTAG-Consulting GmbH; Ingenieurbüro Wasser und Umwelt Stralsund (1996), Im Auftrag des Umweltministeriums M-V	1993- 1996	
Wasserwechselzonen (siehe Erweiterungsmöglichkeiten)	Polygon	Auen	1:5.000	Nicht öffentliche Objektpläne	1995- 2015	Auswertung verschiedener Renaturierungsplanungen im Hinblick auf Wirkräume



## Regulative Ökosystemleistungen

# Kühlwirkung

### Kurzbeschreibung

Die ÖSL beschreibt das hohe Potenzial der Gewässer und Feuchtgebiete im Hinblick auf Temperatur- und Feuchteregulierung ihres Umfeldes, dabei wird als wesentlicher physikalischer Prozess auf die Kühlung infolge der Verdunstung (Umwandlung von Wärmeenergie in latente Verdunstungswärme) zurückgegriffen.

### Bedeutung

Die Gewässer- und feuchten Auenbereiche übernehmen tagsüber mikroklimatisch relevante Kühlfunktionen (Verdunstungskälte = latente Wärme) und können nächtliche Dämpfungen der ausstrahlungsbedingten Abnahme der Lufttemperatur bewirken (Kondensationswärme). Der Vorteil für den Menschen liegt damit in der Dämpfung von Temperatur und Verdunstung.

### Anwendungsempfehlung

Eine Bewertung dieser ÖSL ist besonders zu empfehlen, wenn die Temperatur- und Verdunstungsdämpfung von hoher Bedeutung sind, z. B. in urbanen Bereichen entlang der Flüsse oder bei in dieser Hinsicht besonders empfindlichen Acker-/Gartenbaukulturen.

### Sensitivität

Die ÖSL reagiert besonders sensibel auf Veränderungen der Gewässer und Feuchtgebiete (Flächenumfang), aber auch auf Verdunstungsänderungen infolge von Nutzungsänderungen (Versiegelung, Entwaldung und dergleichen).

Klasse und Typ	Abk.	Kurzbeschreibung		Raumbezug
Regulativ Bereitgestellt	KW	Kühleffekt infolge von Verdunstung basierend auf der latenten Verdunstungswärme (angesetzte Relevanz April bis einschließlich September)		Fluss-Auen-Segment (1 km) <input checked="" type="checkbox"/> Altaue <input checked="" type="checkbox"/> rezente Aue <input checked="" type="checkbox"/> Fluss
Variable	Abk.	Einheit	Bewertungsgröße	Datenquelle
Fläche der morphologischen Aue	$A_{morphAue}$	m <sup>2</sup>	Fläche	– Fluss-Auen-Segmente Einzugsgebietsfläche (EZG)
Mittlere reale Evapotranspiration je Hydrotop (Zeitraum 1.04.-30.09.)	$ETR_{HT}$	mm	Berechnung der Hydrotope mittels gängigen Wasserhaushaltsverfahren zur Berechnung vieljähriger Mittelwerte der tatsächlichen (realen) Verdunstung und des Gesamtabflusses; Anwendung des BAGLUVA-Verfahrens nach Bagrov (1953) modifiziert von Glugla et al. (2003)	– Hydrometeorologische Werte (Niederschlag, Sonnenscheindauer/Globalstrahlung, Lufttemperatur) – Bodenübersichtskarte (BÜK200) – Landnutzung (LBM-DE) Versiegelungsgrade – Grundwasserflurabstände (basiert auf mittlere Wasserspiegellagen, DGM10)
Mittlere reale Evapotranspiration (Zeitraum 1.04.-30.09.)	$ETR_{AuSeg}$	mm	Flächengewichteter Mittelwert der $ETR_{HT}$ über alle Hydrotope	– basiert auf $ETR_{HT}$ , Fläche der Hydrotope und $A_{morphAue}$
Mittlere potenzielle Evapotranspiration (Zeitraum 1.04.-30.09.)	$ETP_{AuSeg}$	mm	Gängige empirische Verfahren zur Berechnung vieljähriger Mittelwerte der potenziellen Verdunstung nach Turc-Wendling (Wendling et al. 1991)	– Hydrometeorologische Werte (Niederschlag, Sonnenscheindauer/Globalstrahlung, Lufttemperatur) – Bodenübersichtskarte (BÜK200) – Landnutzung (LBM-DE) – Versiegelungsgrade – Grundwasserflurabstände (basiert auf mittlere Wasserspiegellagen, DGM10)

**Berechnungsverfahren**

<p><b>Ausgangspunkt der Berechnung der Evapotranspiration ist die von Bagrov (1953) konzipierte Differenzialgleichung:</b></p>	<p><b>Indikator</b></p>
--	-------------------------

$\frac{d\overline{ETa}}{d\overline{P}_{korr}} = 1 - \left( \frac{\overline{ETa}}{\overline{ET}_{max}} \right)^n$ <p>mit</p> <p><i>ETa</i> - tatsächliche Verdunstung [mm]</p> <p><i>P<sub>korr</sub></i> - korrigierter Niederschlag [mm]</p> <p><i>ET<sub>max</sub></i> - maximale Verdunstung [mm]</p> <p><i>n</i> - Effektivitätsparameter nach Bagrov [-]</p>	<p>Berechnung des Verhältnisses zwischen der flächengewichteten realen Evapotranspiration zur potenziellen Evapotranspiration des Fluss-Auen-Segments:</p> $Ind_{KW} = \frac{ETR_{AuSeg}}{ETP_{AuSeg}}$
---	---

Skalierung						
<input checked="" type="checkbox"/> lokal	Ind <sub>KW</sub>	> 80 %	> 60 %	> 40 %	> 20 %	≤ 20 %
<input type="checkbox"/> de			...	...	...	
		≤ 80 %	≤ 80 %	≤ 60 %	≤ 40 %	
<b>RESI</b>		<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Qualitative Beurteilung</b>		<b>Sehr hohe</b> Kühlwirkung	<b>Hohe</b> Kühlwirkung	<b>Mäßige</b> Kühlwirkung	<b>Geringe</b> Kühlwirkung	<b>Sehr geringe</b> Kühlwirkung

**Bedeutung des Indikators**

**Interpretation**

Der Indikator beschreibt das hohe Potenzial der Gewässer und Feuchtgebiete im Hinblick auf Temperatur- und Feuchteregulierung ihres Umfeldes, dabei wird als wesentlicher physikalischer Prozess auf die Kühlung infolge der Verdunstung (Umwandlung von Wärmeenergie in latente Verdunstungswärme) zurückgegriffen. Er gibt eine Aussage über die Leistungsfähigkeit der tatsächlichen Verdunstung gegenüber der maximal möglichen Verdunstung im Auensegment, in Abhängigkeit der klimatischen und geologischen Gegebenheiten sowie des Vegetationsstatus.

**Erweiterungsmöglichkeiten**

Ggf. Fokussierung auf bestimmte Zeiträume, z. B. nur Sommertage oder Hitzetage nach einschlägigen Definitionen der World Meteorological Organization bei entsprechender Anpassung der meteorologischen/hydrologischen Berechnungsverfahren. Weitere alternative Methoden zur Berechnung der realen und potenziellen Evapotranspiration können der folgenden Literatur entnommen werden.

**Quellen / Literatur**

Bagrov, N. A. (1953). O srednem mnogoletnem isparenii s poverchnosti susi (Über den vieljährigen Durchschnittswert der Verdunstung von der Oberfläche des Festlandes). Meteorologia i Gidrologia 10, 20-25.

Glugla, G., Jankiewicz, P., Rachimow, C., Lojek, K., Richter, K., Fürtig, G. & Krahe, P. (2003). Wasserhaushaltsverfahren zur Berechnung vieljähriger Mittelwerte der tatsächlichen Verdunstung und des Gesamtabflusses. Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), BfG-Bericht Nr. 1342, 103 S.

Haude, W. (1955). Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. Mitt. Deutscher Wetterdienst (DWD) 2, Bad Kissingen, Eigenverlag.

Kunkel, R. & Wendland, F. (2002). The GROWA98 model for water balance analysis in large river basins. Journal of Hydrology 259, 152-162. Meyer, T. & Tesmer, M. (2000). Ermittlung der flächendifferenzierten Grundwasserneubildungsrate in Südost-Holstein nach verschiedenen Verfahren unter Verwendung eines Geoinformationssystems, Dissertation im Fachbereich Geowissenschaften der Freien Universität Berlin, 201 S.

Penman, H. L. (1956). Estimating evaporation, Transactions, American Geophysical Union 37, 43-46.

Renger, M. & Wessolek, G. (1990). Auswirkungen von Grundwasserabsenkung auf die Grundwasserneubildung. Mitteilungen des Instituts für Wasserwesen der Universität der Bundeswehr München 386, 295-307.

## Quellen / Literatur

Turc, L. (1961). Évaluation des besoins en eau irrigation, l'évapotranspiration potentielle. Annales Agronomiques 12, 13-49.

Wendling, U., Schellin, H.-G. & Thomä, M. (1991). Bereitstellung von täglichen Informationen zum Wasserhaushalt des Bodens für Zwecke der agrarmeteorologischen Beratung. Meteorologische Zeitschrift 34, 82-85.

## ■ Datenquellen

Datensatz	Beschreibung Typ, Kategorien	Raumbezug	Auflösung/ Genauigkeit	Referenz	Aktualität	Kommentar
Digitales Geländemodell – DGM10	Raster	Bundesweit flächendeckende Kacheln	Lage 10 m Höhe 0,01 m/ ± 2 m	© GeoBasis-DE/BKG (2016)	MV 2006 – 2012	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)
Fluss-Auen-Segmente	Polygon, Fluss, rezente Aue, Altaue	Auen	1:25.000 (basiert auf Basis DLM)	Fallbeispiel Institut biota GmbH, alternativ Bundesamt für Naturschutz (BfN) Auenkulisse	2016	Rückgriff auf Deichlinien, HQ100-Auferungslinien (Anschlagslinien) und DGM-Daten (Höhengradienten, Höhenlagen)
Einzugsgebiet	Polygon	EZG	1:25.000 (DLM 25 W)	© GeoBasis-DE/M-V (2016)	2012	
Hydrometeorologische Werte	Textdatei	Bundesweit		Deutscher Wetterdienst	1981-2010	Abruf über das Climate Data Center (CDC)
Bodenübersichtskarte (BÜK200)	Polygon	Bundesweit	1:200.000	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2016)	2010	
Landnutzung (LBM-DE) / abgeleitete Versiegelungsgrade	Polygon, LN_AKT	Bundesweit	1:25.000	© GeoBasis-DE/BKG (2016)	2012	Polygon, LN_AKT
Grundwasserflurabstände	Raster	Auensegment		Datengrundlage: © GeoBasis-DE/BKG (2016)		Generiert aus mittleren Wasserspiegellagen, DGM10



## Regulative Ökosystemleistungen

# Rückhalt von Treibhausgasen

### Kurzbeschreibung

Die ÖSL steht dafür, dass vor allem die organischen Böden (Torf, Moorboden) in den Auenlandschaften in der Lage sind, auf natürliche Weise große Mengen an klimarelevanten Treibhausgasen wie Kohlendioxid zu binden.

### Bedeutung

Moore bilden eine der wichtigsten globalen Ökosystemtypen im Zusammenhang mit der Verstärkung oder Verminderung des globalen Treibhauseffektes. Gerade entwässerte und genutzte Moore stellen bedeutende Emittenten der unterschiedlich wirksamen Treibhausgase ( $\text{CO}_2$ ), Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) dar.

### Anwendungsempfehlung

Eine Bewertung dieser ÖSL ist generell sinnvoll bei dem Vorhandensein organischer Auen bzw. nennenswerten Anteilen von Mooren/Anmooren, deren Klimawirksamkeit vom Wasserhaushalt und den Nutzungen abhängt.

### Sensitivität

Grundwasserstände bzw. Wasserstufen und Nutzungen sind prozessbestimmend und damit Größen, auf welche die ÖSL sensibel reagiert. Intensive Landnutzung und Entwässerungsmaßnahmen führen zu verstärkten Emissionen von Treibhausgasen.



# Rückhalt von Treibhausgasen (THG) / Kohlenstoff-sequestrierung in Mooren

Bearbeiter: D. Mehl, T. G. Hoffmann, J. Iwanowski (biota GmbH)

Stand: 02.05.2018

Klasse und Typ	Abk.	Kurzbeschreibung	Raumbezug
Regulativ Bereitgestellt	THG	Emission der Treibhausgase Kohlendioxid, Methan und Lachgas aus Mooren (als CO <sub>2</sub> -Äquivalente), dadurch Unterschiede im Rückhalt von THG	Fluss-Auen-Segment (1 km) <input checked="" type="checkbox"/> Altaue <input checked="" type="checkbox"/> rezente Aue <input type="checkbox"/> Fluss

Variable	Abk.	Einheit	Rechengröße	Datenquelle
Einzelmoorfläche in der morphologischen Aue mit zugeordneter Landnutzung	$A_i$	ha	Fläche	– Fluss-Auen-Segmente – Analyse des Bodenpotenzials (Bodenfunktionsbereiche) – Landnutzung (LBM-DE)
Gesamtfläche der Moorflächen im Fluss-Auen-Segment	$A_{Ges}$	ha	Fläche	– Analyse des Bodenpotenzials (Bodenfunktionsbereiche)
Globales Erwärmungspotenzial (GWP 100) als CO <sub>2</sub> -Äquivalent entsprechend Landnutzung für die Fläche i	$GWP_i$	kg CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>		– nach Höper 2007, Schäfer 2009 und Couwenberg et al. (2008), leicht geändert nach Scholz et al. (2012), Mehl et al. (2013)

## Berechnungsverfahren

Indikator	Globales Erwärmungspotenzial (GWP100) unterschiedlicher Nutzungsformen (nach Höper 2007, Schäfer 2009 und Couwenberg et al. (2008), leicht geändert nach Scholz et al. (2012))		
Berechnung des flächengewichteten Mittelwertes der Emission auf den Moorflächen im Fluss-Auen-Segment:  $Ind_{THG} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{A_{Ges}} \cdot GWP_i$	Landnutzung (LBM)	Zugeordneter Niedermoor-Nutzungstyp	GWP100 in kg CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
	Acker	Acker	24.000
	Feuchtgebiete	Naturnah / ungenutzt	4.921
	Gewässer	Ohne GWP	0
	Grünland	Grünland	23.678
	Siedlung	Sonstige	17.835
	Vegetationslos	Sonstige	17.835
	Wald	Forst	17.835

Skalierung <input type="checkbox"/> lokal <input checked="" type="checkbox"/> de	$Ind_{THG}$	$< 8.737$ kg CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	$\geq 8.737$ ... $< 12.553$ kg CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	$\geq 12.553$ ... $< 16.368$ kg CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	$\geq 16.368$ ... $< 20.184$ kg CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	$\geq 20.184$ kg CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
		RESI	5	4	3	2
Qualitative Beurteilung	Sehr geringe THG-Emission	Geringe THG-Emission	Mäßige THG-Emission	Hohe THG-Emission	Sehr hohe THG-Emission	

## Bedeutung des Indikators

### Interpretation

Der Indikator steht dafür, dass vor allem die organischen Moorböden in den Auenlandschaften in der Lage sind, auf natürliche Weise große Mengen an klimarelevanten Treibhausgasen wie Kohlendioxid zu binden. Aufgrund von intensiver Landnutzung und Entwässerungsmaßnahmen haben sie häufig ihre natürliche Funktion als Kohlenstoffsenke verloren und stellen nun weltweit eine bedeutende Quelle für Treibhausgase dar.

### Erweiterungsmöglichkeiten

Im Falle der Verfügbarkeit von arealen Daten zu Wasserwechselzonen infolge Renaturierung in organischen Flussauen bzw. an organischen Fließgewässertypen (potenzielle Neustandorte der Moorbildung bzw. Bereiche einer Moorreaktivierung) können diese in die Bewertung miteinbezogen werden; hierzu sollte die beabsichtigte bzw. realisierte Änderung der Landnutzung berücksichtigt werden.

### Quellen / Literatur

- Couwenberg, J., Augustin, J., Michaelis, D., Wichtmann, W. & Joosten, H. (2008). Entwicklung von Grundsätzen für eine Bewertung von Niedermooren hinsichtlich ihrer Klimarelevanz. Endbericht. Institut für Dauerhaft Umweltgerechte Entwicklung von Naturräumen der Erde (DUENE) e.V. und Institut für Botanik und Landschaftsökologie der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, 33 S.
- Höper, H. (2007). Freisetzung von Treibhausgasen aus deutschen Mooren. TELMA 37, 85-116.
- Mehl, D., Scholz, M., Schulz-Zunkel, C., Kasperidus, H. D., Born, W. & Ehlert, T. (2013). Analyse und Bewertung von Ökosystemfunktionen und -leistungen großer Flussauen. KW Korrespondenz Wasserwirtschaft 6, 493-499.
- Schäfer, A. (2009). Moore und Euros - die vergessenen Millionen. Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie 43, 156-160.
- Scholz, M., Mehl, D., Schulz-Zunkel, C. Kasperidus, H.-D., Born, W. & Henle (2012). Ökosystemfunktionen in Flussauen. Analyse und Bewertung von Hochwasserretention, Nährstoffrückhalt, Treibhausgas-Senken-/Quellenfunktion und Habitatfunktion. Naturschutz und biologische Vielfalt 124, 257 S.

## ■ Datenquellen

Datensatz	Beschreibung Typ, Kategorien	Raumbezug	Auflösung/ Genauigkeit	Referenz	Aktualität	Kommentar
Digitales Geländemodell - DGM10	Raster	Bundesweit flächendeckende Kacheln	Lage 10 m Höhe 0,01 m/ ± 2 m	© GeoBasis-DE/BKG (2016)	MV 2006 – 2012	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)
Fluss-Auen-Segmente	Polygon, Fluss, rezente Aue, Altaue	Auen	1:25.000 (basiert auf Basis DLM)	Fallbeispiel Institut biota GmbH, alternativ Bundesamt für Naturschutz (BfN) Auenkulisse	2016	Rückgriff auf Deichlinien, HQ100-Ausferungslinien (Anschlagslinien) und DGM-Daten (Höhengradienten, Höhenlagen)
Landnutzung (LBM-DE)	Polygon, LN_AKT	Bundesweit	1:25.000	© GeoBasis-DE/BKG (2016)	2012	
Analyse des Bodenpotenzials (Bodenfunktionsbereiche)	Polygon, Code des Bodenfunktionsbereiches (code_fb): fb09, fb10, fb11, fb12	Mecklenburg-Vorpommern	1:50.000	„Landesweite Analyse und Bewertung der Landschaftspotenziale in Mecklenburg-Vorpommern“, U-TAG-Consulting GMBH; Ingenieurbüro Wasser und Umwelt Stralsund (1996), im Auftrag des Umweltministeriums M-V	1993-1996	
Wasserwechselzonen	Polygon	Auen	1:5.000	nichtöffentliche Objektpläne	1995-2015	Auswertung verschiedener Renaturierungsplänen im Hinblick auf Wirkräume

### Ergänzungen zur regulativen Ökosystemleistungsgruppe Stofftransport

In der Kategorie Stofftransport werden diejenigen ÖSL der Flüsse und Auen zusammengefasst, die sich aus der Regulation der Stofftransporte von Wasser und Sediment, insbesondere hinsichtlich der Dämpfung von Hoch- und Niedrigwasserständen sowie hinsichtlich der Aufrechterhaltung stabiler Sohlenlagen der Flüsse einschließlich ihrer Mündungsbereiche (Vermeidung von anhaltender Sohlerosion oder Auflandung) ergeben. Zusätzlich werden einzelne weitere regulative ÖSL betrachtet, die bereits in *Kapitel 2.5.3* übersichtlich aufgeführt wurden. Entsprechende Veröffentlichungen für ein Fallbeispiel der Flüsse und Auen finden sich bei Mehl et al. (2018a) bzw. für kleinere urbane Gewässer und Feuchtgebiete bei Mehl et al. (2018b, c, d).

### Hochwasserregulation

Die Hochwasserregulation ist eine bedeutende ÖSL der Flüsse und Auen. Die wesentlichen Leistungen bestehen in der Bereitstellung von Überschwemmungsräumen und der Dämpfung der Fließgeschwindigkeit infolge natürlicher Rauheit. 70 % der Flussauen der 79 größten deutschen Flüsse sind als Überschwemmungsflächen aber nicht mehr vorhanden (Brunotte et al. 2009).

Insbesondere naturnahe Fließgewässer und Auen können jedoch eine wichtige Rolle bei der Anpassung an den Klimawandel spielen, da sie *Hochwasser* in der Fläche zurückhalten und den Abfluss verzögern. Eine naturnahe Entwicklung von Fließgewässern und die Erhaltung und Schaffung bzw. Rückgewinnung von *Retentionsräumen* sind daher als bedeutsame Anpassungsstrategie an den Klimawandel anzusehen (Zebisch et al.

2005), vor allem vor dem Hintergrund des vorsorgenden Hochwasserschutzes (vgl. § 77 WHG).

Liegen keine hydraulischen Modellierungsdaten vor, dann müssen zur Bewertung der Hochwasserregulation zwangsweise einfache Ansätze genutzt werden (Scholz et al. 2012; Mehl et al. 2013). Für den RESI wird auf zwei Methoden zurückgegriffen.

Als erster Indikator wird das Verhältnis des Hochwasservolumens der rezenten zu demjenigen der morphologischen Aue genutzt (vgl. ähnlichen Ansatz bei Gleason & Laubhan 2008). Bestehen keine Abdeichungen, Verwallungen oder Beeinträchtigungen durch Infrastrukturanlagen (z. B. Straßendämme), dann ist das Hochwasservolumen praktisch unbeeinträchtigt.

Zentrale Datengrundlage für alle Berechnungen bildet das digitale Geländemodell (DGM). In der rezenten Aue ergibt sich der Raum über die Differenzen des DGM der Höhe der *Deiche* und Dämme (Kronenhöhe) und der Höhe bei mittlerem Wasserstand sowie der Länge des Fluss-Auen-Segments. In der morphologischen Aue wird die Grenze der morphologischen Aue pragmatisch als Höhendatensatz interpretiert.

### Niedrigwasserregulation

Alle hydraulischen Faktoren, die zu einer Dämpfung des mit Niedrigwasser einhergehenden Wasserstandsabfalls beitragen, sind für den Menschen eher vorteilhaft. So kann z. B. eine verringerte bzw. verzögerte Grundwasserabsenkung in den Auen zu besserer Bodenwasserversorgung und damit stabileren Erträgen in der Land- und Forstwirtschaft beitragen.

Im RESI-Projekt wurde hilfsweise der Mittelwert aus den Klassifizierungen für Ufer und Sohle der *Fließgewässerstrukturgüte* als Indikator herangezogen bzw. berechnet. Die Gewässer-/Auentypabhängigkeit einer Bewertung wird in diesem Fall durch die Ausgangsdaten abgesichert (Strukturgüte).

### Sedimentregulation

Bei der Betrachtung eines ausreichend langen, der hydrologischen Dynamik gerecht werdenden Zeitfensters von mindestens fünf bis zehn Jahren kann eine ausgeglichene Bilanz zwischen den externen Sedimenteinträgen, der gewässerinternen Erosion und Akkumulation sowie den Sedimentaustträgen an der Mündung erwartet werden (Mangelsdorf & Scheurmann 1980).

Diese Verhältnisse werden indirekt auch durch sehr gute gewässerstrukturelle Verhältnisse angezeigt. So gibt z. B. das Krümmungsverhalten eines Gewässers Aufschluss über seinen morphologischen Entwicklungsstand, mit anderen Worten über seine „Reife“ (Mehl 2006). Auch die Kolk-zu-Kolk-Abstände bzw. die Ausprägung von Kolken und Furten sind entsprechende Indizien (Harnischmacher 2002; DWA-M 526 2015). Deshalb kann ersatzweise die ÖSL Sedimentregulation im Hinblick auf den gewässerinternen Sedimenthaushalt über die Naturnähe morphologischer Strukturen indiziert werden. Als Indikator wurde die Klassifizierung für „Sohle“ der Fließgewässerstrukturgüte verwendet. Die Gewässer-/Auentypabhängigkeit einer Bewertung wird in diesem Fall wiederum durch die Ausgangsdaten abgesichert (Strukturgüte).

### Bodenbildung

Die Bodenbildung in den Auen bildet eine Grundlage für viele ökologische Prozesse bzw. Funktionen und vielfacher Möglichkeiten der Landnutzung (z. B. Land- und Forstwirtschaft).

Hier werden im RESI zwei Teilindikatoren verwendet: 1) eine Bewertung der Degradationsstufen in Mooren (flächengewichtet) sowie 2) das Potential der Auenbodenbildung (abgeleitet über die Flächenanteile und die ÖSL Sedimentregulation).

Im Folgenden wird auf die natürliche Moorbildung (Torfakkumulation) bzw. die anthropogen verursachte Moordegradation und die daraus folgende Handhabung im RESI eingegangen. In moorerfüllten Auen können Gewässervertiefungen, Grundwasserspiegelabsenkungen und die Veränderung der Überschwemmungsdynamik zur Moordegradation führen. Wasser muss im langfristigen Mittel jedoch nahe an, in oder über der Mooroberfläche stehen, damit Torf akkumuliert wird, das Moor also wächst (Edom 2001). Fehlendes Wasser bewirkt eine Volumenkontraktion des Torfes und folglich Moorsackungserscheinungen. In dem Maße, in dem Wasser durch Entwässerung aus den oberen Moorbodenschichten abgeführt wird, dringt Luft in die Grobporen ein. Infolge der Belüftung werden sekundäre Bodenbildungsprozesse ausgelöst. Die Belüftung führt zum bodenbiologischen Prozess der Mineralisierung, wobei leicht abbaubare Torfsubstanzen unter Freisetzung anorganischer Nährstoffe (vor allem Stickstoff und Phosphor) zerlegt und schwer abbaubare Torfsubstanzen in höhermolekulare Huminstoffe umgewandelt werden (Succow & Joosten 2001).

Über die Prozesskonstellation bei Mooren entscheidet das Wasserregime, das demnach ein geeigneter ÖSL-Indikator ist, insbesondere durch seinen Bezug auf den mittleren Grundwasserflurabstand (mGWFA). Deshalb werden beim RESI für den mGWFA fünf Klassen nach Flächenanteilen und mGWFA bzw. adäquaten Wasserstufen analysiert (in Anlehnung an Succow & Joosten 2001).

### Kühlwirkung

Das immense Potenzial der Gewässer und Feuchtgebiete im Hinblick auf die Temperatur- und die Feuchteregulierung des Umfeldes wird häufig unterschätzt (Kastler et al. 2015). Am meisten spürbar dürften entsprechende regulative Wirkungen bei innerstädtischen Wärmeinseln, an urbanen Gewässern sowie in Feuchtgebieten sein. Auch für die Landwirtschaft oder in bzw. im Umfeld der Flussauen sind diese Effekte nachweislich positiv (Joosten et al. 2013). Hier führen, neben der Kühlung, die Auffeuchtung der Luft über Gewässern und Feuchtgebieten zur Verringerung des Sättigungsdefizits und damit zur Dämpfung der Verdunstung über Agrarflächen. Auch eine verstärkte morgendliche Taubildung führt zur verbesserten Wasserversorgung der Pflanzenbestände.

Im RESI wird als Indikator für die Kühlwirkung die latente Verdunstungswärme (notwendige Energie zur Umwandlung von Wasser in Wasserdampf) herangezogen und mit ihrer Relevanz im hydrologischen Sommerhalbjahr (1.4. bis 30.9.) bewertet. Hierzu wird die reale Verdunstung für mehrjährige Zeiträume nach einem geeigneten Wasserhaushaltsverfahren berechnet, z. B. nach dem Verfahren von Bagrov (1953) bzw. Glugla et al. (2003) einschließlich erforderlicher potenzieller Verdunstung, z. B. nach

dem TURC-Verfahren (Wendling et al. 1991). Die berechneten realen Verdunstungen in mm können in  $\text{l m}^{-2}$  und folglich wegen der Dichte des Wassers von ca.  $1 \text{ kg l}^{-1}$  einfach in Masse je Flächeneinheit umgerechnet werden. Die Verdunstungswärme  $L$  berechnet sich bei  $T \geq 0$  zu  $L = 2498 - 2,42 \cdot T \text{ [J g}^{-1}\text{]}; 1 \text{ kJ} = 0,278 \text{ Wh}$ .

### Rückhalt von Treibhausgasen

Nach Schätzungen von Bridgham et al. (2006; 2008), Kaat & Joosten (2008) und Parish et al. (2008) sind weltweit 329 bis 550 Mrd. t Kohlenstoff in Mooren gebunden. Dies entspricht bis zu 30 % des globalen, in Böden gebundenen Kohlenstoffes (Batjes 1996). Moore sind aber auf Grund natürlicher und anthropogen induzierter Prozesse auch verantwortlich für ca. 10 % der globalen Methanemissionen (Bartless & Harriss 1993). Entwässerte und genutzte Moore müssen als ein bedeutender Emittent der unterschiedlich wirksamen Treibhausgase (THG) Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) betrachtet werden. Hierbei sind Wasserstände und Nutzungen prozessbestimmend (Succow & Joosten 2001).

Als Indikator für die THG-Emission in der morphologischen Aue wurden im RESI die Emissionsfaktoren für Moor- und Nutzungstypen nach Höper (2007), modifiziert von Schäfer (2009), verwendet. Datengrundlagen sind Landnutzungsformen, Grundwasserflurabstände, Geologie und Böden sowie Raum der Wasserwechselzone. Die Typabhängigkeit des einzelnen Fluss-Auen-Abschnitts wird durch die Moorflächenanteile berücksichtigt.



### Regulative Ökosystemleistungen

## Habitatbereitstellung

### Kurzbeschreibung

Die ÖSL Habitatbereitstellung bewertet die Habitatqualität von Flussauen für Lebensgemeinschaften und Arten. Die *Habitate* mit ihrer naturraumtypischen Vielfalt an Tier- und Pflanzengemeinschaften der Natur- und Kulturlandschaft spiegeln die charakteristischen Standortverhältnisse von Flussauenlandschaften wider.

### Bedeutung

Die ÖSL Habitatbereitstellung nimmt eine besondere Stellung innerhalb der regulativen ÖSL ein. Sie ist Grundlage für viele andere ÖSL und die Basis für die Biodiversität mit ihrem Eigenwert, zu deren Erhalt wir durch gesellschaftliche Normen verpflichtet sind.

### Anwendungsempfehlung

Der Habitatindex ermöglicht eine Übersicht über den Wert der flussautentypischen Habitatausstattung. Er ist bei der Bewertung aller Maßnahmen/Managementoptionen anwendbar, die absehbar Auswirkungen auf Arten und Lebensräumen von Flussauen haben.

### Sensitivität

Die Sensitivität des Habitatindex hängt stark von verfügbaren Datengrundlagen und dem Bearbeitungsmaßstab ab. Um ein möglichst breites Spektrum an Handlungsoptionen darstellen zu können, gibt es verschiedene Herangehensweisen: eine Übersichtsmethode, basierend u. a. auf Landnutzungstypen (bundesweiter Ansatz), ein detaillierterer, biotoptypenbasierter Ansatz (Detailansatz) sowie ein Index, der ausschließlich die Habitatbereitstellung im Fluss anhand von biologisch relevanten Gewässerstrukturen, der biologischen Ausstattung und der Wasserqualität abbildet. Mit diesen verschiedenen Herangehensweisen ist der Habitatindex in der Lage, sowohl großräumige als auch kleinräumige Eingriffe in Flussauen sensitiv darzustellen und zu bewerten.



Klasse und Typ	Abk.	Kurzbeschreibung	Raumbezug
Regulativ Bereitgestellt und genutzt	HAB <sub>nat</sub>	Die ÖSL Habitatbereitstellung betrachtet die funktionelle und strukturelle Qualität flussauentypischer Habitats, Lebensgemeinschaften und Arten, die als Grundlage vielfältiger menschlicher Nutzungen dienen. Die Habitats mit ihrer naturraumtypischen Vielfalt der Tier und Pflanzengemeinschaften der Natur- und Kulturlandschaft sind Ausdruck der charakteristischen Standortverhältnisse von Flussauenlandschaften.	Fluss-Auen-Segment (1 km) <input checked="" type="checkbox"/> Altaue <input checked="" type="checkbox"/> rezente Aue <input type="checkbox"/> Fluss

### Verwendete Parameter

Variable	Abk.	Einheit/ Skala	Bewertungsgröße	Datenquelle
Natura 2000-Gebiete	A	Ordinal (1-5)	Flächenanteil Natura 2000-Gebiete im Fluss-Auen-Segment	Brunotte et al. (2009) Scholz et al. (2012)
Landnutzungsintensität	B	Ordinal (1-5)	Nutzungsintensität	verändert nach Planungsbüro Koenzen in Scholz et al. (2012)
Feuchtlebensräume	C	Ordinal (1-5)	Flächenanteil an Feuchtlebensräumen und geschützten Biotopen	auf Grundlage von Fuchs et al. (2010), Brunotte et al. (2009), Scholz et al. (2012)
Rückstau	D	Nominal (ja/nein)	Abwertung von -1 wenn Rückstau vorhanden	verändert nach Brunotte et al. (2009), Scholz (2012) und Koenzen (2016, unveröffentlicht)
Altaue	E	Nominal (ja/nein)	Abwertung von -1 wenn Altaue	Fluss-Auen-Segmente (überarbeitet)

Berechnungsverfahren						
Schema zur Berechnung				Indikator		
<b>Merkmale/Indikatoren</b> <b>A) Natura2000-Gebiete</b> ↑ ja % in 5 Klassen ↓ nein <b>B) Landnutzungsintensität</b> ↑ Gewässer in 5 Klassen ↑ Feuchtgebiete ↑ Wald ↑ Grünland ↓ Acker ↓ Siedlung ↓ sonstige Flächen <b>C) Feuchtlebensräume</b> ↑ hoch % in 5 Klassen ↓ niedrig <b>D) Rückstau</b> ↑ ja Ja / nein ↓ nein <b>E) Altaue</b> ↑ ja Ja / nein ↓ nein				<b>Berechnung Index:</b> Der Indikator integriert fünf Merkmale: A) Flächenanteil an Natura 2000-Gebieten B) Landnutzungsintensität C) Flächenanteil an Feuchtlebensräumen und geschützten Biotopen D) Rückstau durch Querbauwerke (Malus) E) Lage in der rezenten Aue bzw. der Altaue $HAB_{nat} = \frac{\sum(A+B+C)}{3} + (D + E) *$ * wenn Index 2-5 für rezente Aue und 2,5 - 5 für Altaue		
<b>Skalierung</b>	<b>HAB<sub>nat</sub></b>	≥ 4,5	< 4,5 - ≥3,5	< 3,5 - ≥2,5	< 2,5 - ≥1,5	<1,5
<input checked="" type="checkbox"/> de <input type="checkbox"/> lokal						
<b>RESI</b>		<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Qualitative Beurteilung</b>		<b>Sehr hohe</b> Bedeutung für die Habitat-bereitstellung	<b>Hohe</b> Bedeutung für die Habitat-bereitstellung	<b>Mittlere</b> Bedeutung für die Habitat-bereitstellung	<b>Geringe</b> Bedeutung für die Habitat-bereitstellung	<b>Sehr geringe</b> Bedeutung für die Habitat-bereitstellung
Bedeutung des Indikators						
<b>Interpretation</b>						
Der Indikator erfasst über „integrierende“ Merkmale die Quantität und Qualität auentypischer Arten und Lebensräume für die 1 km Fluss-Auen-Kompartimente und stellt somit eine Maßzahl für die Ökosystemleistung (ÖSL) Habitatbereitstellung im bundesweiten Maßstab dar.						
<b>Erweiterungsmöglichkeiten</b>						
Aufgrund der heterogenen Datenlage und Schwierigkeiten bei der räumlichen Zuordnung auf Fluss-Auen-Kompartiment-Ebene erfolgten keine zusätzlichen Erweiterungen wie beispielsweise die Einbeziehung auentypischer Arten. Es wurden nur die o. g. fünf Parameter oder Variablen ausgewählt, da aktuell nur diese mehr oder weniger flächendeckend für die bundesweite Auswertung zur Verfügung stehen.						
<b>Monitoring</b>						
Ein Monitoring ist möglich, wenn zusätzliche Parameter/Variablen eingearbeitet werden, um z. B. die Altaue bzw. Deichrückverlegungen entsprechend darzustellen.						
<b>Quellen / Literatur</b>						
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.						
BMU & BfN - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit & Bundesamt für Naturschutz. (2009). Auenzustandsbericht. Flussauen in Deutschland. URL: <a href="http://www.bfn.de/0324_auenzustand.html">www.bfn.de/0324_auenzustand.html</a>						
Brunotte, E., Dister, E., Günther-Diringer, D., Koenzen U., & Mehl, D. (2009). Flussauen in Deutschland - Erfassung und Bewertung des Auenzustandes.						
Fuchs, D., Hänel, K., Lipski, A., Reich, M., Finck, P. & Riecken, U. (2010). Länderübergreifender Biotoptypverbund in Deutschland – Grundlage und Fachkonzept. Naturschutz und Biologische Vielfalt 96, 193 S.						

## ■ Datenquellen

Datensatz	Beschreibung Typ, Kategorien	Raumbezug	Auflösung/ Genauigkeit	Referenz	Aktualität	Kommentar
LBM-DE 2012	Polygon	Auen	1:25.000 (basiert auf Basis DLM)	© GeoBasis-DE/BKG	2016	Digitales Basis-Landschaftsmodell mit Objekten nach dem ATKIS-Objektartenkatalog, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), Digitales Landschaftsmodell (DLM)
Fluss-Auen-Segmente	Polygon, Fluss, rezente Aue, Altaue	Auen	1:25.000	Brunotte et al. 2009	2018	Im Rahmen des Projektes überarbeitete / ergänzte Fassung der Bundesamt für Naturschutz (BfN)-Auenkulisse
Feucht-lebensräume	Bundesweite Zusammenfassung von Feuchtlebensräumen	Auen	1:25.000 (basiert auf Basis DLM)	Landesverwaltungen	2012	Fuchs et al. (2010), update BfN (2016)
Natura 2000-Datenbank	Sachinformationen zu FFH-Gebieten und Vogelschutzgebieten Deutschlands	Auen	1:25.000 (basiert auf Basis DLM)	LANIS-BUND, BfN	2015	
Rückstau-bereiche	Polygon, Informationen zu Querbauwerken und daraus resultierendem Rückstau	Auen	1:25.000 (basiert auf Basis DLM)	Brunotte et al. (2009) Scholz et al. (2012)	2018	Fassung von Scholz et al. (2012) und Koenzen (2016, überarbeitet)

Klasse und Typ	Abk.	Kurzbeschreibung	Raumbezug
Regulativ Bereitgestellt und genutzt	Hab <sub>reg</sub>	Die ÖSL Habitatbereitstellung betrachtet die funktionelle und strukturelle Qualität flussauentypischer Habitate, Lebensgemeinschaften und Arten, die als Grundlage vielfältiger menschlicher Nutzungen dienen. Die Habitate mit ihrer naturraumtypischen Vielfalt der Tier- und Pflanzengemeinschaften der Natur- und Kulturlandschaft sind Ausdruck der charakteristischen Standortverhältnisse von Flussauenlandschaften.	Fluss-Auen-Segment (1 km) <input checked="" type="checkbox"/> Altaue <input checked="" type="checkbox"/> rezente Aue <input type="checkbox"/> Fluss

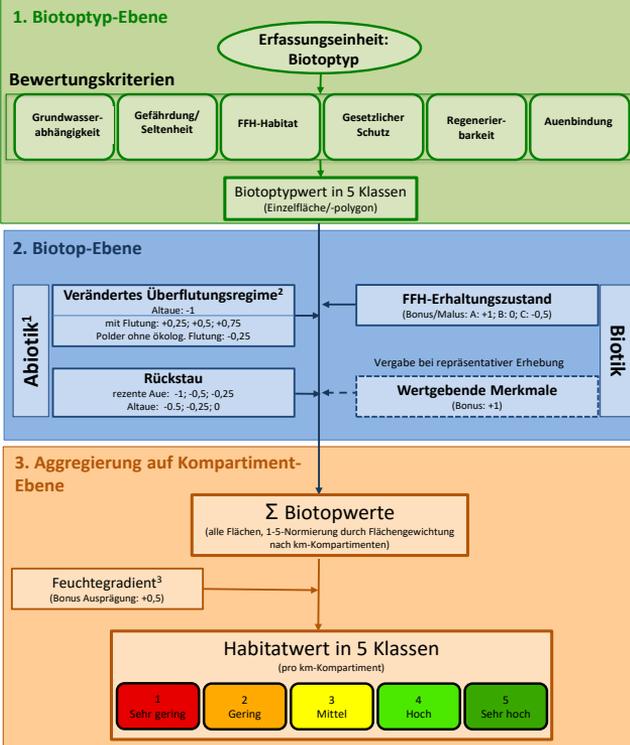
### Verwendete Parameter

Variable	Abk.	Einheit/ Skala	Bewertungs- größe	Datenquelle	Anmerkung
Biotoptyp	BT <sub>i</sub>	Nominal	RESI-Biotoptyp	Biotopkartierungen der Länder, LN 7	Zuordnung/Anpassung der in den Modellregionen vorkommenden „Lebensraum Flussaue“ - spezifischen Biotoptypen nach Finck et al. (2017)
Grundwasserabhängigkeit gemäß europäischer Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)	GW <sub>i</sub>	Ordinal (5, 3, 1)	Grundwasserabhängigkeit des BT <sub>i</sub>	Finck et al. (2017) (gem. WRRL)	
Gefährdung/Seltenheit (Rote Listen des Bundes/der Länder)	RL <sub>i</sub>	Ordinal (5, 3, 1)	Rote Liste Status des BT <sub>i</sub>	Finck et al. (2017)	
FFH-Status	FFH <sub>i</sub>	Ordinal (5, 3, 1)	Einstufung des BT <sub>i</sub> als Lebensraumtyp (LRT) der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-RL)	Finck et al. (2017) (gem. FFH-RL)	Nicht Erhaltungszustand
Gesetzlicher Schutz	GS <sub>i</sub>	Ordinal (5, 3, 1)	Gesetzlicher Schutz des BT <sub>i</sub> gem. BNatschG bzw. Bundesland	Finck et al. (2017) (gem. BNatschG)	Nach Bundesland
Regenerierbarkeit (Wiederherstellbarkeit/Entwicklungszeit)	RE <sub>i</sub>	Ordinal (5, 3, 1)	Regenerierbarkeit des BT <sub>i</sub>	Finck et al. (2017)	
Auenbindung (Abhängigkeit von extremen Standortbedingungen)	AB <sub>i</sub>	Ordinal (5, 3, 1)	Bindung des BT <sub>i</sub> an den Lebensraum Flussaue und dessen Funktionalität	expertenbasiert	

Variable	Abk.	Einheit/ Skala	Bewertungs- größe	Datenquelle	Anmerkung
FFH-Erhaltungszustand	FFH <sub>EHZ</sub>	Ordinal (A, B, C)	FFH-Erhaltungszustand des BT <sub>i</sub>	FFH-LRT-Kartierung	Bonus/Malus auf Biotop-Ebene
Wertgebendes Merkmal	Wert Zusatz	Nominal	Naturschutzfachlich höherer Wert eines BT <sub>i</sub> z.B. durch Vorkommen wertgebender Arten	projektspezifisch (z.B. Wiesenbrütergebiete)	Bonus auf Biotop-Ebene
Verändertes Überflutungsregime	V <sub>Regime</sub>	Ordinal (5, 3, 1)	Je nach Überflutungshäufigkeit reduzierter (bzw. ohne Anpassungsflutung erhöhter) Malus für die Altaue	BfN-Auenkulisse; lokale Daten	Malus auf Biotopebene
Rückstau	Stau	Ordinal	Lage im Rückstaubereich eines Querbauwerks (z.B. Staustufe)	verändert nach Brunotte et al. (2009), Scholz et al. (2012) und Koenzen (2016, unveröffentlicht)	Malus auf Biotop-Ebene
Feuchtegradient	Feucht	Ordinal (1-5)	Vollständigkeit des Feuchtegradienten innerhalb der gesamten Aue	Einstufung expertenbasiert	Bonus auf Kompartiment-Ebene

# Berechnungsverfahren

## Bedeutung für die Habitatbereitstellung



- 1: Malus/Bonus nur für auentypische/naturnahe Biotoptypen (Biotoptypen mit Auenbindung 3 und 5)
- 2: Sommerpolder und andere, von Deichen geschützte Auenbereiche, Überflutungsräume mit Einlaufschwelen oder steuerbaren Einlassbauwerken (z.B. der Riedstrom an der Donau) und gesteuerte Polder (ggf. mit Stufen ökologischer Flutungen)
- 3: nur für Biotoptypen mit Auenbindung 5

## (Teil)Indikator

1. Arbeitsschritt Biotoptyp-Ebene: Biotoptypwert (BTWi)

$$BTW = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n GW_i + RL_i + FFH_i + GS_i + RE_i + AB_i$$

n = Anzahl der Kriterien

Mittelwert aus der Zuordnung der BT<sub>i</sub> –Werte von Grundwasserabhängigkeit gemäß WRRL (GW), Gefährdung/Seltenheit (RL), FFH-Status (FFH), Gesetzlicher Schutz (GS) und Regenerierbarkeit (RE) nach Finck et al. (2017). Auenbindung (AB) wurde expertenbasiert bestimmt. Für die Kriterien GW und RE erfolgte für „keine Einstufung sinnvoll“ nach Finck et al. (2017) keine Bewertung. Bei Fehlen dieser Werte erfolgte die Mittelwertbildung aus den restlichen Variablen.

2. Arbeitsschritt Biotopwert BWi auf Biotop-Ebene

$$BW_i = BTW_i + FFH_{EHZ} + V_{Regime} + Stau + Wert_{Zusatz}$$

Die Bewertung erfolgt nach abiotischen und biotischen Standort-Parametern. Zur ersten Gruppe zählen verändertes Überflutungsregime ( $V_{Regime}$ ) und Lage des Fluss-Auen-Kompartiments im Rückstaubereich einer Staustufe (Stau). Zur zweiten Gruppe zählen FFH-Erhaltungszustand ( $FFH_{EHZ}$ ) und wertgebende Merkmale ( $Wert_{Zusatz}$ ). Addition von Bonus ( $FFH_{EHZ}$ ,  $Wert_{Zusatz}$ ) und Malus ( $V_{Regime}$ ,  $FFH_{EHZ}$ , Stau).

3. Arbeitsschritt: Aggregation des Habitatwerts Habreg auf Kompartimentenebene

$$Hab_{reg} = \frac{\sum_{i=1}^n (BW_i \times A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i} + Feucht$$

Flächengewichtete Mittelwertbildung aus allen  $BW_i$  eines Kompartimentes ( $A_i$ ). Bonus für Feuchtgradient (Feucht), wenn 3, 4 oder 5 verschiedene Feuchtstufen in dem BT mit Auenbindung 5 vorhanden sind.

Skalierung <input checked="" type="checkbox"/> lokal <input type="checkbox"/> de	HAB <sub>reg</sub>	≥ 4,5	< 4,5 - ≥3,5	< 3,5 - ≥2,5	< 2,5 - ≥1,5	<1,5
RESI		5	4	3	2	1
Qualitative Beurteilung		Sehr hohe Bedeutung für die Habitatbereitstellung	Hohe Bedeutung für die Habitatbereitstellung	Mittlere Bedeutung für die Habitatbereitstellung	Geringe Bedeutung für die Habitatbereitstellung	Sehr geringe Bedeutung für die Habitatbereitstellung

#### Bedeutung des Indikators

##### Interpretation

Der Indikator gibt vereinfachend an, welche Bedeutung das untersuchte Auensegment für die funktionelle und strukturelle Qualität flussauentypischer Habitats, Lebensgemeinschaften und Arten als Grundlage vielfältiger menschlicher Nutzungen hat und spiegelt damit die Ökosystemleistung (ÖSL) Habitatbereitstellung wider.

##### Erweiterungsmöglichkeiten

Liegen Angaben zum Erhaltungszustand der FFH-LRTs oder zu anderen wertgebenden Merkmalen (s. o.) für ein Einzel-polygon vor, so können diese ergänzend zur Bewertung der Biotoptypen hinzugenommen werden. Dabei ist darauf zu achten, dass diese möglichst homogen über die zu bewertenden Auensegmente/Projektgebiete/etc. verteilt sind.

##### Monitoring

Wichtige Voraussetzung bei einer Erfolgskontrolle oder Zeitreihenanalyse ist, dass die Bewertungsparameter, insbesondere diejenigen, die als Zusatz zur Bewertung auf Biotop-Ebene bzw. Fluss-Auen-Kompartiment-Ebene herangezogen werden (z. B. FFH-EHZ, wertgebende Merkmale), auch bei allen zu vergleichenden Zuständen vorhanden sein müssen, um eine konsistente Bewertung zu ermöglichen. Werden Szenarien betrachtet, sind die Veränderungen einiger Parameter (v.a. Artvorkommen) schwierig vorherzusagen. Als Hilfestellung dafür wird auf entsprechende Habitat-/Prognosemodelle (z. B. das Integrated Floodplain Response Modell (INFORM) der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) mit den entsprechenden Biotik-Systemkomponenten, z. B. MOVER für Pflanzen, MOMOR für Mollusken) verwiesen.

##### Quellen / Literatur

- Finck, P., Heinze, S., Raths, U., Riecken, U. & Ssymank, A. (2017). Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands. Dritte fortgeschriebene Fassung 2017. Bundesamt für Naturschutz (BfN; Hrsg). Naturschutz und Biologische Vielfalt 156, 637 S.
- Riecken U., Finck, P., Raths, U., Schröder, E. & Ssymank, A. (2006). Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands. Zweite fortgeschriebene Fassung 2006. Bundesamt für Naturschutz (BfN; Hrsg). Naturschutz und Biologische Vielfalt 85.

## ■ Datenquellen

Datensatz	Beschreibung Typ, Kategorien	Raumbezug	Auflösung/ Genauigkeit	Referenz	Aktualität	Kommentar
Biotoptypen	Polygon, projektspezifisch					In den einzelnen Bundesländern unterschiedliche Datensätze, auch Kartierungen verwendbar
Fluss-Auen-Segmente	Polygon, Fluss, rezente Aue, Altaue	Auen	1:25.000	Brunotte et al. (2009)	2018	Im Rahmen des Projektes überarbeitete/ergänzte Fassung des Bundesamts für Naturschutz (BfN)-Auenkulisse
LBM-DE 2012	Polygon	Auen	1:25.000 (basiert auf Basis DLM)	© GeoBasis-DE/BKG	2016	Digitales Basis-Landschaftsmodell mit Objekten nach dem ATKIS-Objektartenkatalog, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)
Rückstaube-reiche	Polygon	Auen	km-Segmente aus BfN-Auenkulisse	Brunotte et al. (2009)	2018	Fassung von Scholz (2012) und Koenzen (2016) überarbeitet
GW, RL, FFH, GS, RE	Datenbank	Deutschland		Finck et al. (2017)	2018	Überarb. Fassung von Riecken et al. (2006)
FFH-Erhaltungszustand				FFH-Managementpläne der Bundesländer		
Naturschutzfachliche Bewertungen/Kartierungen		(v. a.) Detailgebiet				Optional bes. auf Detailgebietsebene als wertgebende Merkmale nutzbar

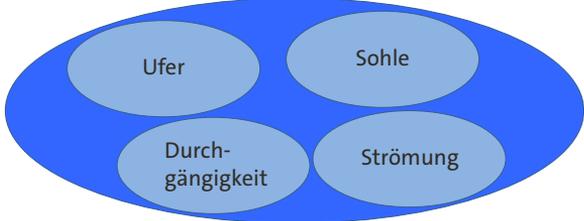
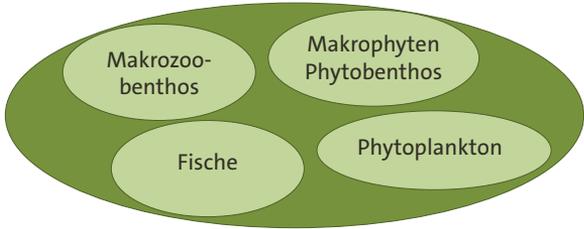
Klasse und Typ	Abk.	Kurzbeschreibung	Raumbezug
Regulativ Bereitgestellt und genutzt	Hab <sub>Fluss</sub>	Der Habitatindex Fluss betrachtet die Wasserqualität sowie die funktionelle und strukturelle Qualität biologisch relevanter Gewässerstrukturen im Fluss und den unmittelbar angrenzenden Uferbereichen. Die Habitate mit ihrer naturraumtypischen Vielfalt an Tier- und Pflanzengemeinschaften der Natur- und Kulturlandschaft sind Ausdruck der charakteristischen Standortverhältnisse von Flussauenlandschaften, abhängig von deren Naturnähe.	Fluss-Auen-Segment (1 km) <input type="checkbox"/> Altaue <input type="checkbox"/> rezente Aue <input checked="" type="checkbox"/> Fluss

### Verwendete Parameter

Variable	Abk.	Einheit/ Skala	Bewertungsgröße	Datenquelle	Anmerkung
Sohle	Soh	Kardinal (1-7)	Mittelwert der Einzelparameter (EP) die Sohle betreffend: i.d.R. Substrat, Substratdiversität, Verbau, Struktur, Belastung	Fließgewässerstrukturgütekartierung (FGSK)	EP können zwischen den Bundesländern (BL) voneinander abweichen
Strömung	Str	Kardinal (1-7)	Mittelwert der EP die Strömung betreffend: i. d. R. Rückstau, Querbänke, Tiefenvarianz, Strömungsdiversität	FGSK	EP können zwischen den BL voneinander abweichen
Ufer	U	Kardinal (1-7)	Mittelwert der EP das Ufer betreffend: i. d. R. Bewuchs, Belastung, Verbau, Beschattung, Struktur	FGSK	EP können zwischen den BL voneinander abweichen
Durchgängigkeit	Dgk	Kardinal (1-7)	Mittelwert der EP die Durchgängigkeit betreffend: i. d. R. Querbauwerke, Verrohrung, Durchlässe	FGSK	EP können zwischen den BL voneinander abweichen
Phytoplankton	PP	Kardinal (1-5)		Europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)	
Makrozoobenthos	MZZB	Kardinal (1-5)		WRRL	
Fische	Fische	Kardinal (1-5)		WRRL	

Variable	Abk.	Einheit/ Skala	Bewertungsgröße	Datenquelle	Anmerkung
Makrophyten/ Phyto-benthos	MPPB	Kardinal (1-5)		WRRL	
Chemischer Zustand des Fließkörpers	Chemie	Nominal (nicht gut, gut)		WRRL	

### Berechnungsverfahren

Bedeutung für die aquatische Habitatbereitstellung	(Teil)Indikator
<p><b>Biologisch relevante Gewässerstrukturen</b></p>  <p><b>Biologische Ausstattung Fluss</b></p>  <p><b>Chemischer Zustand Fluss</b></p>  <p><b>Habitatbereitstellung Fluss</b></p> 	<p>1. Ermittlung der Habitatbereitstellung im Fluss auf Abschnittsebene (i.d.R. 100 m)</p> <p>a) <u>Bewertung der biologisch relevanten Gewässerstrukturen <math>GWS_{Fluss}</math></u> (in Anlehnung an Förster et al. (2017))</p> <p>Berechnung des Mittelwertes aus den relevanten Einzelparametern Soh, Str, U und Dgk</p> $GWS_{Fluss} = \frac{Soh + Str + U + Dgk}{4}$ <p>Überführen in fünfstufige RESI-Skala; bei Fehlen von Einzelparametern erfolgt die Mittelwertbildung aus den verbleibenden Einzelparametern.</p> <p>b) <u>Bewertung der biologischen Ausstattung des Fließgewässers <math>Bio_{Fluss}</math></u></p> <p>Berechnung des Mittelwertes aus den Einzelparametern der biologischen Qualitätskomponente; bei Fehlen von Werten erfolgt die Mittelwertbildung aus den restlichen Variablen.</p> $Bio_{Fluss} = \frac{Fische + MZZB + PP + MPPB}{4}$ <p>c) <u>Ermittlung des Habitatwertes im Fluss <math>Hab_{Fluss100}</math> auf Abschnittsebene</u></p> <p>Mittelwertbildung aus <math>GWS_{Fluss}</math> und <math>Bio_{Fluss}</math>, Addition von Bonus oder Malus (Chemie)</p> $Hab_{Fluss100} = \frac{GWS_{Fluss} + Bio_{Fluss} + Chemie}{2}$ <p>2. Bewertung der Habitatbereitstellung im Fluss <math>Hab_{Fluss}</math> auf Kompartiment-Ebene</p> <p>Längengewichtete Mittelwertbildung aus allen <math>Hab_{Fluss100}</math> eines km-Segments, wobei <math>A_i</math> = Summe aller in einem Auensegment enthaltenen Abschnitte.</p> $Hab_{Fluss} = \frac{\sum_{i=1}^n (Hab_{Fluss100}_i \times A_i)}{\sum_{i=1}^n (A_i)}$

Skalierung <input checked="" type="checkbox"/> lokal <input type="checkbox"/> de	Hab <sub>Fluss</sub>	≥ 4,5	< 4,5 - ≥3,5	< 3,5 - ≥2,5	< 2,5 - ≥1,5	<1,5
RESI		5	4	3	2	1
Qualitative Beurteilung		Sehr hohe Bedeutung für die Habitatbereitstellung im Fluss	Hohe Bedeutung für die Habitatbereitstellung im Fluss	Mittlere Bedeutung für die Habitatbereitstellung im Fluss	Geringe Bedeutung für die Habitatbereitstellung im Fluss	Sehr geringe Bedeutung für die Habitatbereitstellung im Fluss
<b>Bedeutung des Indikators</b>						
<p>Interpretation</p> <p>Der Indikator gibt vereinfachend an, welche Bedeutung Flusslauf und Ufer des untersuchten Auensegmentes für die funktionelle und strukturelle Qualität aquatischer Habitate, Lebensgemeinschaften und Arten hat und spiegelt deren Ökosystemleistung (ÖSL) Habitatbereitstellung wider.</p> <p>Die Quantifizierung der Habitatbereitstellung im Fluss basiert hauptsächlich auf Bewertungsparametern der Fließgewässerstrukturkartierung sowie der Wasserqualität (i. S. d. chemischen Zustands gem. WRRL). Das Verfahren der FGSK und deren Bewertungsgrößen variieren allerdings von Bundesland zu Bundesland. Demnach muss die Auswahl der Berechnungsparameter für den Hab<sub>Fluss</sub> aus der FGSK nach inhaltlichen Kriterien getroffen werden.</p> <p>Die biologische Qualitätskomponente (BQK) wurde ausschließlich an den WRRL-Messstellen erhoben, welche weit voneinander entfernt liegen. Darum handelt es sich hierbei um stark interpolierte Werte.</p> <p>Erweiterungsmöglichkeiten</p> <p>Ergänzend können zur Bewertung weitere Einflussfaktoren hinzugenommen werden, welche den „Ist-Zustand“ der aquatischen Habitatbereitstellung im Fluss mit beeinflussen, wie z. B. das Vorhandensein von Fischauftiegsanlagen. Dabei ist darauf zu achten, dass diese in mehr als 50 % des Auensegmentes wirksam werden.</p> <p>Monitoring</p> <p>Wichtige Voraussetzung bei einer Erfolgskontrolle oder Zeitreihenanalyse ist, dass die Bewertungsparameter auch bei allen zu vergleichenden Zuständen vorhanden sein müssen, um eine konsistente Bewertung zu ermöglichen.</p> <p>Quellen / Literatur</p> <p>Förster, J., Halle, M. &amp; Müller, A. (2017). Entwicklung eines Habitatindex zur Beurteilung biozönotisch relevanter Gewässerstrukturen. Korrespondenz Wasserwirtschaft 8, 466-471.</p>						

## ■ Datenquellen

Datensatz	Beschreibung Typ, Kategorie rien	Raumbe- zug	Auflösung/ Genauigkeit	Referenz	Aktua- lität	Kommentar
Flus-Auen-Segmente	Polygon, Fluss, rezente Aue, Altaue	Auen		Bundesamt für Natur- schutz (BfN) (2012) - Geo-Basis- DE/BKG (2009)	2018	Bundesamt für Kar- tographie und Geo- däsie (BKG)
Fließgewässerstruk- turgüteklassifizie- rung	Datenbank	Rhein- land-Pfalz	100 m	Landesamt für Umwelt (LfU) Rhein- land-Pfalz (2012)	2012	ATKIS-Daten des Landesvermes- sungsamtes Rhein- land-Pfalz; Nachkartierungen 2003 und 2004
WRRL_OWK_Moni- toring	Polygone	Rhein- land-Pfalz		LfU Rhein- land-Pfalz (2015)	2015	
WRRL_Fließgewäs- ser	Polygone	Rhein- land-Pfalz		LfU Rhein- land-Pfalz (2015)	2015	

### Ergänzungen zur regulativen Ökosystemleistung Habitatbereitstellung

Die Bewertung beruht auf naturschutzfachlichen Bewertungskriterien, es erfolgt ein Vergleich zwischen dem Bezugszustand und den zu bewertenden Handlungsoptionen. Neben der Dynamik und Vielfalt als natürliche, autotypische Eigenschaften werden auch Lebensräume der Kulturlandschaft berücksichtigt. Beides kann zwischen einzelnen Flusslandschaften variieren und muss bei der Bewertung entsprechend angepasst werden.

#### Bundesweiter Ansatz

Zur Bewertung der Habitatbereitstellung auf Bundesebene (s. *Habitatbereitstellung/bundesweit*, Seite 89) wird auf insgesamt fünf Teilmerkmale zurückgegriffen (nach Scholz et al. 2012) (*Abbildung in Factsheet: Habitatbereitstellung/bundesweit*, Seite 90).

- **A) Flächenanteil an Natura 2000-Gebieten:** Als Maßzahl für einen hohen naturschutzfachlichen Wert: kein (Klasse 1: 0 %) bis sehr hoher Anteil (Klasse 5: >75-100 %).
- **B) Landnutzungsintensität:** Sieben Landnutzungsklassen wurden drei Nutzungsintensitäten zugewiesen - gering: Wald, Gewässer, Feuchtgebiete; mittel: Grünland; hoch: Acker, Siedlung, sonstige Flächen. Nadelwald wurde, wenn er mehr als 50 % der Waldfläche des Fluss-Auen-Kompartiments ausmacht, als Malus eingerechnet (nicht bei Alpen- und Voralpen-Standorten). Zusätzlich zu dieser Klassifizierung wurden Abbaugewässer nach ihrer Naturnähe abgestuft berücksichtigt. Ist der Anteil der Abbaugewässer am Kompartiment

>10 %, kann der Habitatwert maximal Klasse 3 erreichen (verändert nach Planungsbüro Koenzen in Scholz et al. 2012).

- **C) Flächenanteil an Feuchtlebensräumen und geschützten Biotopen:** Innerhalb eines Fluss-Auen-Kompartiments wurde in kein (Klasse 1, 0 %) bis sehr hoher Anteil (Klasse 5, >75-100 %) aufgeteilt (auf Grundlage von Fuchs et al. 2010, Brunotte et al. 2009, Scholz et al. 2012).
- **D) Rückstau:** Rückstau durch Querbauwerke (verändert nach Brunotte et al. (2009), Scholz (2012) und Koenzen et al. (2016, unveröffentlicht)) - als Maß für eine fehlende bzw. eingeschränkte Auendynamik sowie fehlende Durchgängigkeit: Vergabe eines Malus für das Fluss-Auen-Kompartiment, dabei rezente Aue: -1, Altaue: -0,5.
- **E) Lage in der Altaue:** Vom Überflutungsgeschehen abgetrennte Fluss-Auen-Kompartimente der Altaue erhalten einen Malus von -1.

Für die Berechnung des Habitat-Indexes werden für jedes Fluss-Auen-Kompartiment die Klassenwerte für die ersten Merkmale A, B und C gemittelt und auf eine ganze Zahl gerundet. Eine Abwertung des Indexwertes erfolgt, wenn im Kompartiment das Merkmal „Rückstau“ (D) und/oder Altaue (E) vorhanden ist.

#### Detailansatz Aue

Die Berechnung der ÖSL Habitatbereitstellung/Biototypbewertung erfolgt in drei Schritten (*Abbildung in Factsheet: Habitatbereitstellung/Biototypbewertung*,

Seite 92; Fischer et al. 2017), die im Folgenden beschrieben werden.

### 1. Biotoptypenbezogene Bewertung

Wesentliche Eingangsgröße und die maßgebliche Bewertungsgrundlage für den RESI-Indikator Habitatbereitstellung sind die *Biotoptypen*. Um eine bundeseinheitliche Nutzung dieses Index zu gewährleisten, wurden alle in den RESI-Modellregionen vorkommenden und weiteren für Flusslandschaften anzunehmenden Biotoptypen ausgewählt und dem aktuellen bundesweiten Standard-Biotoptypenschlüssel (Finck et al. 2017) zugeordnet. Damit können Biotoptypen aus einzelnen Modellregionen oder Bundesländern einem entsprechenden RESI-Biotoptyp zugeordnet werden und erhalten damit zugleich einen RESI-spezifischen Biotopwert.

Dieser RESI-Biotopwert integriert verschiedene naturschutzfachlich relevante Parameter, die sich an den Zielen und Aufgaben von Naturschutz und Landschaftspflege (BNatSchG, Art.1) und gesellschaftlichen Normen orientieren. Er umfasst zudem den neu entwickelten Parameter Auenbindung. Folgende Kriterien gehen in den Biotopwert ein: A) Grundwasserabhängigkeit im Sinne der WRRL; B) Gefährdung/Seltenheit (Rote Listen des Bundes/der Länder); C) *Flora-Fauna-Habitat Lebensraumtyp (FFH-LRT)* (Lebensraumtyp: ja/nein); D) Gesetzlicher Schutz (BNatSchG, LNatSchG); E) Regenerierbarkeit (Wiederherstellbarkeit/Entwicklungszeit); F) Auenbindung (Abhängigkeit von extremen auentypischen Standortbedingungen). Die Wertstufen der Bewertungskriterien werden bis auf die Auenbindung aus dem Standardwerk Finck et al. (2017) abgeleitet; die Auenbindung wurde expertenbasiert bestimmt. Dabei wurde

jeweils eine dreistufige Skala angewandt. Um dem fünfstufigen RESI-Index gerecht zu werden, wurden diese drei Stufen auf 1, 3 und 5 verteilt. Bei der Mittelwertberechnung des Biotopwerts können so Werte von 1 bis 5 erreicht werden.

### 2. Bewertung auf Einzelbiotopebene

Die genaue Betrachtung der Ausprägung auf Einzelbiotopebene erlaubt im zweiten Bearbeitungsschritt eine bestandspezifische Auf- oder Abwertung des im ersten Schritt festgelegten Biotoptypwertes (max. +2/-2,25). Die Bewertung erfolgt nach *abiotischen* (verändertes Überflutungsregime und Lage des Fluss-Auen-Kompartiments im Rückstaubereich einer Staustufe; nur für naturnahe und auentypische Biotope) und *biotischen* (FFH-Erhaltungszustand und wertgebende Merkmale bei allen Biotopen) Standort-Parametern. Mit einem Bonus können naturschutzfachlich wertvolle Ausprägungen (z. B. günstige FFH-Erhaltungszustände) oder faunistische und floristische Daten mit in die Bewertung einbezogen werden. Letzteres ist zum Beispiel möglich für naturschutzfachlich bedeutende Vorkommen von Mollusken über den Mollix (Foekler et al. 2018), für Pflanzen über den Florix (Stammel et al. 2018), oder über bekannte Vorkommen von Wiesenbrütern. Ein Malus dagegen ergibt sich aus dem FFH-Erhaltungszustand C, durch anthropogene Maßnahmen beeinträchtigtes Überflutungsregime (gestaffelt nach Flutungshäufigkeit) oder der Rückstau durch Querbauwerke (gestaffelt nach Entfernung zur Stauhaltung).

### 3. Aggregierung auf Fluss-Auen Kompartiment-Ebene

Die Biotopwerte aller Einzelbiotope eines Fluss-Auen-Kompartiments aus Schritt zwei

werden flächengewichtet zusammengefasst, um eine Bewertung auf Fluss-Auen-Kompartiment-Ebene zu erhalten. Dieser Wert kann nochmals durch einen Bonuswert aufgewertet werden, wenn im Fluss-Auen-Kompartiment ein vollständig ausgeprägter Feuchtegradient von aquatischen Standorten wie Altwässern bis hin zu sehr hohen oder trockenen Standorten wie beispielsweise Sandtrockenrasen oder Brennen vorhanden ist. Dafür werden nur die auentypischen Biotoptypen (Auenbindung 5) betrachtet. Ein Bonus von 0,5 wird dann addiert, wenn mindestens drei der fünf Feuchtestufen in einem Fluss-Auen-Kompartiment vorkommen und die Flächen der Biotoptypen einer Feuchtestufe einen Mindestanteil von 1 % einnehmen.

### Detailansatz Fluss

Die Berechnung der Habitatbereitstellung im Fluss erfolgt in zwei Schritten anhand von Angaben zur strukturellen und chemischen Gewässerbeschaffenheit ( $GWS_{\text{Fluss}}$  und Chemie) sowie Informationen zur biologischen Ausstattung ( $Bio_{\text{Fluss}}$ ) (s. *Factsheet: Habitatbereitstellung/Fluss, Seite 97*).

## 1. Ermittlung der Habitatbereitstellung im Fluss auf Abschnittsebene (i. d. R. 100 m)

### a) Bewertung der biologisch relevanten Gewässerstrukturen $GWS_{\text{Fluss}}$

In Anlehnung an Förster et al. (2017) wird zur Quantifizierung der ÖSL Habitatbereitstellung im Fluss in einem ersten Schritt die Bewertung biologisch relevanter Gewässerstrukturen der Fließgewässerstrukturgütekartierung (FGSK) herangezogen: Sohle (Soh), Ufer (U), Strömung (Str) und Durchgängigkeit (Dgk). Zunächst wird aus den jeweiligen Einzelparametern zu den o. g. Parametern (Soh, U, Str, Dgk) der Mittel-

wert (siebenstufige Skala nach FGSK, 1 = unverändert bis 7 = vollständig verändert) pro Abschnitt berechnet. Wenn mindestens die Hälfte der Einzelparameter bewertet werden konnten, kann anschließend ein zusammenfassender biologisch relevanter Gewässerstrukturwert  $GWS_{\text{Fluss}}$  ermittelt werden. Dieser wird in eine fünfstufige Bewertungsskala überführt.

### b) Bewertung der biologischen Ausstattung des Fließgewässers $Bio_{\text{Fluss}}$

Ergänzt wird der  $GWS_{\text{Fluss}}$  um Angaben zur biologischen Ausstattung des Fließgewässers  $Bio_{\text{Fluss}}$ . Diese wird anhand der biologischen Qualitätskomponenten (BQK) der WRRL bewertet. Bestandteile der BQK sind die im Fließgewässer lebenden Organismen: Fische, *Makrozoobenthos*, Makrophyten/Phytobenthos und Phytoplankton. Der BQK-Wert ergibt sich aus dem Mittelwert der vier BQK-Bewertungen. Bei fehlender Bewertung einer Komponente setzt sich die BQK aus der Mittelwertbildung der restlichen Komponenten zusammen.

### c) Ermittlung des Habitatwertes im Fluss $Hab_{\text{Fluss100}}$

Aus dem Mittelwert von  $GWS_{\text{Fluss}}$  und  $Bio_{\text{Fluss}}$  kann für jeden Abschnitt der Habitatwert  $Hab_{\text{Fluss100}}$  ermittelt werden. Je nach chemischem Zustand des Fließgewässers (zwei Klassen: gut, nicht gut) wird dieser anschließend um eine Stufe auf- bzw. abgewertet.

## 2. Bewertung der Habitatbereitstellung im Fluss $Hab_{\text{Fluss}}$

Die Habitatwerte aller Abschnitte eines Kompartiments werden Abschnittslängen gewichtet zusammengefasst, um die Bewertung der Habitatbereitstellung im Fluss  $Hab_{\text{Fluss}}$  auf Fluss-Auen-Kompartiment-Ebene zu erhalten.



## Kulturelle Ökosystemleistungen

# Landschaftsbild

### Kurzbeschreibung

Diese ÖSL erfasst die Ästhetik der Landschaft, welche durch ihre Vielfalt, Eigenart und Natürlichkeit charakterisiert ist.

### Bedeutung

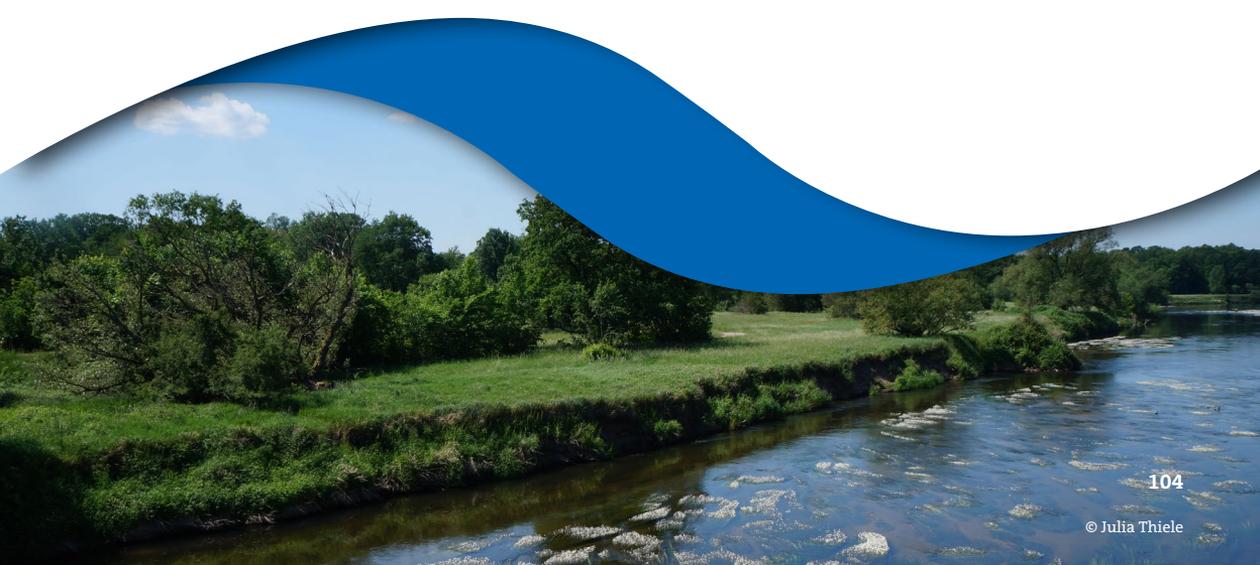
Das Landschaftsbild ist ein Leitindikator für bereitgestellte kulturelle ÖSL, da es z. B. positiven Einfluss auf den Erholungseffekt hat und zur Inspiration beiträgt.

### Anwendungsempfehlung

Die Erhebung des Landschaftsbildes ist zu empfehlen, wenn es zu einer Veränderung der Landnutzung durch Maßnahmen kommt, die einen Einfluss auf die Hauptvariablen Vielfalt, Natürlichkeit und Eigenart haben.

### Sensitivität

Deichrückverlegungen haben einen positiven Einfluss auf das Landschaftsbild, da es beispielsweise durch die Umwandlung von Ackerland in Feuchtgebiete, Wiesen und Auwald zu einer Zunahme der (Struktur-) Vielfalt und wahrgenommenen Natürlichkeit kommt.



Klasse und Typ	Abk.	Kurzbeschreibung der KÖSL		Raumbezug
Kulturell Bereitgestellt	LaBi- BE	Die Ästhetik der Landschaft charakterisiert durch ihre Vielfalt, Eigenart und wahrgenommene Natürlichkeit.		Auensegment (1 km) <input checked="" type="checkbox"/> Altaue <input checked="" type="checkbox"/> rezente Aue <input checked="" type="checkbox"/> Fluss
Basisvariable	Abk.	Einheit	Bewertungsgröße	Datenquelle
Vielfalt	$V_{de}$	0-100	Berechnung der Landnutzungsvielfalt, Strukturvielfalt und topographischen Vielfalt über den Einbezug verschiedener Landschaftsstrukturmaße, z. B. Shannon Diversity Index, Patch-Density-Index (s. Hermes et al. (2018), Seite 6)	Basis-DLM, EU-DEM, LBM-DE
Natürlichkeit	$N_{de}$	0-100	Berechnung über die wahrgenommene Natürlichkeit (Modifikation des Hemerobie-Indexes) sowie die Abwesenheit von Lärm und technischen Strukturen (s. Hermes et al. (2018), Seite 6)	Basis-DLM, LBM-DE
Eigenart	$E_{de}$	0-100	Berechnung über drei Subvariablen: Seltenheit von Landschaftstypen nach Gharadjedaghi et al. (2004), Seltenheit von Landbedeckungen und landschaftlich prägnante Elemente (s. Hermes et al. (2018), Seite 6)	Basis-DLM, LBM-DE

## Berechnungsverfahren

### Berechnungsschritte und Indikator



Bundesweit:

1. Berechnung der Variablen  $V_{de}$ ,  $N_{de}$  und  $E_{de}$  in Rasterzellen mit 100 m Auflösung nach Hermes et al. (2018) für den Indikator:

$$\text{Landschaftsbild} = \sum V_{de}, N_{de}, E_{de}$$

→ anschließende bundesweite Normalisierung des Ergebnisrasters zwischen 0-100 mit folgender Formel

(Rabe et al. 2018): 
$$\frac{\max_{new} - \min_{new}}{\max_{old} - \min_{old}} \cdot (v - \max_{old}) + \max_{new}$$

$v$  ist das erzeugte Ergebnisraster

Auenkompartimentsebene:

2. Resample in ein Raster mit 10 m Zellen und Berechnung des flächengewichteten Mittelwerts für die Fluss-Auen-Kompartimente Fluss, rezente Aue und Altaue (jeweils rechtes und linkes Ufer)
3. Für die Skalierung in den RESI:  
Klassifizierung in die fünfstufige RESI-Bewertungsskala über die Bildung von Quintilen für die RESI-Modellregionen (Die Quintile des  $\text{Ind}_{\text{Labi-BE}}$  beziehen sich auf die Ergebnisse über alle RESI-Modellregionen.)

<b>Skalierung</b> <input type="checkbox"/> lokal <input checked="" type="checkbox"/> RESI-Modellregionen	<b>Ind<sub>Labi-BE</sub></b> <b>(Quintilgrenzen)</b>	> 59,9 - 81,5	> 52,3 - 59,9	> 41,4 - 52,3	> 36,1 - 41,4	0 – 36,1
		<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>RESI</b>						
<b>Qualitative Beurteilung</b>		Sehr hohe Bewertung des Landschaftsbilds	Hohe Bewertung des Landschaftsbildes	Mittlere Bewertung des Landschaftsbildes	Geringe Bewertung des Landschaftsbildes	Sehr geringe Bewertung des Landschaftsbildes

### Bedeutung des Indikators

#### Interpretation

Der Indikator berechnet das Landschaftsbild unter Einbezug der Vielfalt, Natürlichkeit und Eigenart als Hauptvariablen. Es wurde die Methode von Hermes et al. (2018) angewandt, da sie über räumliche Daten die allgemeine Präferenz auf Grundlage aktueller Literatur ermittelt. Die Vielfalt der Landschaft wurde vor allem über Landschaftsstrukturmaße erhoben, wie beispielsweise den Shannon Diversity Index. Die Natürlichkeit wurde über eine Modifikation des Hemerobie-Index (Walz und Stein 2014) und über die Abwesenheit von Lärm und technischen Elementen analysiert. Die Eigenart wurde über selten vorkommende Landschaftstypen (Gharadjedaghi et al. 2004), seltene Landbedeckung (weniger als drei Prozent auf der Fläche von Deutschland) und landschaftsprägende Elemente berechnet (Hermes et al. 2018).

Für eine detailliertere Darstellung einzelner Maßnahmegebiete können die Rasterzellen mit der relativen Bewertung zwischen 0-100 betrachtet werden. Für die Gesamtbewertung im Zusammenhang mit anderen Ökosystemleistungen (ÖSL) wurde diese kulturelle ÖSL-Bewertung in die fünfstufige RESI-Skala übertragen. Eine Anwendung außerhalb von Deutschland ist möglich, wenn geeignete Daten zur Berechnung vorliegen.

Erweiterungsmöglichkeiten für regionale Quantifizierungen unter Einbezug regional verfügbarer Daten

- Durch die Klassifizierung der Rasterzellen auf Modellregions-Ebene in die fünf RESI-Klassen ist bereits eine regionale Quantifizierung erfolgt. Bei einer lokalen Bewertung des Indikators kann auf den zweiten und dritten Bewertungsschritt verzichtet werden, wenn nur kulturelle ÖSL betrachtet werden.
- Einbezug von einer Biotoptypenkartierung bei der Bewertung der Eigenart von Flusslandschaften. Voraussetzend wäre eine flächendeckende Kartierung für das Untersuchungsgebiet, um über die Normalisierung einen regionalen Minimal- und Maximalwert generieren zu können.

## Monitoring

Die Daten für die vorgeschlagenen Variablen werden regelmäßig aktualisiert.

### Quellen / Literatur

Gharadjedaghi, B., Heimann, R. & Lenz, K. et al. 2004. Verbreitung und Gefährdung schutzwürdiger Landschaften in Deutschland. *Natur und Landschaft* 79, 71–81.

Hermes, J., Albert, C. & Haaren, C (2018). Assessing the aesthetic quality of landscapes in Germany. *Ecosystem Services* 34, 296-307.

Rabe, S.-E., Gantenbein, R., Richter, K.-F. & Grêt-Regamey, A. (2018). Increasing the credibility of expert-based models with preference surveys – Mapping recreation in the riverine zone. *Ecosystem Services* 31, 308-317.

Walz, U. & Stein, C. (2014). Indicators of hemeroby for the monitoring of landscapes in Germany. *Journal for Nature Conservation* 22, 279-289.

## ■ Datenquellen

Datensatz	Beschreibung Typ, Kategorien	Raumbezug	Auflösung/ Genauigkeit	Referenz	Aktualität
Basis-DLM (AAA)	Polygone, Linien und Punkte	DE	1:25.000 (angestrebt sind $\pm 3$ m)	© GeoBasis-DE / BKG (2016)	2016
LBM-DE	Beschreibung der geometrischen Objekte der Landbedeckung und Landnutzung im Vektorformat	DE		© GeoBasis-DE / BKG (2012)	2012
EU-DEM	Raster mit 25 m	EU	vertikale Genauigkeit +/- 7 m	© EEA2016	2016
Landschaftstypen	Polygone	DE		© Bundesamt für Naturschutz (BfN) (2015)	2011



## Kulturelle Ökosystemleistungen

# Natur- und Kulturerbe

### Kurzbeschreibung

Die ÖSL Natur- und Kulturdenkmale wird berechnet anhand der Dichte an ausgewählten Landschaftselementen. Dabei wird die Gesamtheit der vorhandenen materiellen Objekte (z. B. Denkmäler) quantifiziert.

### Bedeutung

Flusslandschaften wurden und werden durch kulturelle Aktivitäten geformt. Aus diesen Landschaften, die beispielsweise durch historische Monumente geprägt sind, entsteht ein kultureller Nutzen.

### Anwendungsempfehlung

Vor allem in Regionen, in denen Tourismus ein wichtiger Bestandteil der Wirtschaftskraft darstellt oder in denen das Potenzial für Tourismus bestimmt werden sollte.

### Sensitivität

Die ÖSL reagiert sensitiv, wenn Natur- und Kulturdenkmäler durch Maßnahmen verändert werden.



Klasse und Typ		Abk.	Kurzbeschreibung der KÖSL			Raumbezug
Kulturell Bereitgestellt		NKE- BE	Gesamtheit von materiellen Objekten (z.B. Denkmäler) sowie gedankliche und kulturelle Reflexion materieller Naturgüter durch den Menschen und lebendige kulturelle Ausdrucksformen, die nicht fassbar sind.			Auensegment (1 km) <input checked="" type="checkbox"/> Altaue <input checked="" type="checkbox"/> rezente Aue <input checked="" type="checkbox"/> Fluss
Basisvariable		Abk.	Einheit	Bewertungsgröße	Datenquelle	Anmerkung
Punkte mit Bedeutung für das Natur- und Kulturerbe		$PNKE_{de}$	1-100	Normalisierung der Anzahl pro 10.000 m <sup>2</sup> zwischen 1 und 100 (bundesweit)	- Basis-DLM - UNESCO	Selektion: Datenquellen
Polygone mit Bedeutung für das Natur- und Kulturerbe (Selektion aus dem Basis DLM und UNESCO)		$FNKE_{de}$	1-100	Normalisierung der Anzahl pro 10.000 m <sup>2</sup> zwischen 1 und 100 (bundesweit)	- Basis-DLM - UNESCO	
Linien mit Bedeutung für das Natur- und Kulturerbe (Selektion aus dem Basis DLM)		$LNKE_{de}$	1-100	Normalisierung der Anzahl pro 10.000 m <sup>2</sup> zwischen 1 und 100 (bundesweit)	- Basis-DLM - UNESCO	
Berechnungsverfahren						
Berechnungsschritte				Indikator		
<p>Bundesweit:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Berechnung der Variablen in Rasterzellen mit 100 m Auflösung</li> <li>Berechnung des Indikators (siehe Spalte rechts) mit einer Normalisierung zwischen 0-100</li> </ol> <p>Auenkompartimentebene:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Berechnung des flächengewichteten Mittelwerts für die Auenkompartimente Fluss, rezente Aue und Altaue (jeweils rechtes und linkes Ufer)</li> <li>Für die Skalierung in den RESI: Klassifizierung des <math>Ind_{WA-BE}</math> in die fünfstufige RESI-Bewertungsskala über die Bildung von Quintilen für die RESI-Modellregionen</li> </ol>				$f_{NKE_{DE}} = \sum PNKE_{de}, FNKE_{de}, LNKE_{de}$ <p>→ anschließende bundesweite Normalisierung des Ergebnisrasters zwischen 0-100 (Rabe et al. 2018):</p> $\frac{max_{new} - min_{new}}{max_{old} - min_{old}} \cdot (v - max_{old}) + max_{new}$ <p>v ist das durch <math>f_{(NKE_{DE})}</math> erzeugte Ergebnisraster</p>		
Skalierung	$Ind_{NKE-BE}$ (Quintilgrenzen)	> 0,006 - 6,278	> 0,004 - 0,006	> 0,002 - 0,004	> 0 - 0,002	0
<input type="checkbox"/> lokal <input checked="" type="checkbox"/> RESI-Modellregionen						
RESI		5	4	3	2	1
Qualitative Beurteilung		Sehr hohe Bereitstellung	Hohe Bereitstellung	Mittlere Bereitstellung	Geringe Bereitstellung	Sehr geringe bis fehlende Bereitstellung

## Bedeutung des Indikators

### Interpretation

Der Indikator berechnet die Dichte an selektierten Elementen, die für die Bereitstellung von Natur- und Kulturerbe von Bedeutung sind. Materielles Kulturerbe umfasst Kulturlandschaften, Architekturdenkmäler und -ensembles, archäologische Stätten, Museums- und Bibliothekbestände (Bierwerth 2014). Dieser Definition folgend werden für die Indikatorberechnung entsprechende Elemente aus dem Basis-DLM selektiert, wenn sie als Grunddatenbestand gekennzeichnet sind. Die betrachteten Flusslandschaften sind Kulturlandschaften, deswegen werden hier anthropogenen Bauwerke als Ausdruck der Interaktion und Durchführung von kulturellen Praktiken bewertet. Durch genutzte Baumaterialien und die Standortwahl besteht eine Verbindung zwischen den Denkmälern und der sie umgebenden Ökosysteme. Der Indikator ist als Ergänzung zu der Bewertung des Landschaftsbildes zu interpretieren, da die bewerteten Elemente ebenso die Eigenart einer Landschaft und somit ihre Ästhetik beeinflussen (Hermes et al. 2018).

Für eine detailliertere Darstellung einzelner Maßnahmenggebiete können die Rasterzellen mit der relativen Bewertung zwischen 0-100 betrachtet werden. Für die Gesamtbewertung im Zusammenhang mit anderen ÖSL wurde diese kulturelle ÖSL-Bewertung in die fünfstufige RESI-Skala übertragen. Eine Anwendung außerhalb von Deutschland ist möglich, wenn geeignete Daten zur Berechnung vorliegen.

Erweiterungsmöglichkeiten für regionale Quantifizierungen unter Einbezug regional verfügbarer Daten

- Durch die Klassifizierung der Rasterzellen auf Modellregions-Ebene in die fünf RESI-Klassen ist bereits eine regionale Quantifizierung erfolgt. Bei einer lokalen Bewertung des Indikators kann auf den vierten und fünften Bewertungsschritt verzichtet werden, wenn nur kulturelle ÖSL betrachtet werden.
- Bei einer regionalen oder lokalen Quantifizierung des Indikators ist anzumerken, dass die Basis-DLM-Selektionen durch Geodaten von Boden- und Baudenkmalern der jeweiligen Landesämter für Denkmalpflege ersetzt werden könnten, da die Daten der Landesämter mitunter detaillierter sind. Beispielsweise kartiert das Bayerische Landesamt für Denkmalpflege im Maßstab von 1:1000 bekannte Baudenkmalern nach Art.1 Abs.2 und Art.2 BayDSchG (Denkmalliste).
- Quantifizierung von immateriellem Natur- und Kulturerbe, jedoch ist eine Verortung nicht immer möglich. Die Aufnahme ist aufgrund eines hohen Rechercheaufwands nur bei lokalen Analysen zu empfehlen.
- Flächen des „Nationalen Naturerbes“: Sie werden bei einer deutschlandweiten Quantifizierung nicht berücksichtigt, da keine Geodaten zur Verfügung standen.

### Monitoring

Insbesondere die Daten für die vorgeschlagenen Basisvariablen ( $PNKE_{de}$ ,  $FNKE_{de}$ ,  $LNKE_{de}$ ) werden regelmäßig aktualisiert. Je nach Datenverfügbarkeit sind regional die Erweiterungsvorschläge prinzipiell für ein Monitoring geeignet.

### Quellen / Literatur

AdV - Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (2008). ATKIS-Objektartenkatalog Basis-DLM, Version 6.0.

Bierwerth, G. (2014). Kulturerbe. In: Online-Lexikon zur Kultur und Geschichte der Deutschen im östlichen Europa. URL: [ome-lexikon.uni-oldenburg.de/p32713](http://ome-lexikon.uni-oldenburg.de/p32713) (Stand 16.06.2014).

Gärtner, R. (2008). Politiklexikon. Kulturerbe. Verlag Jungbrunnen. Wien, [www.politik-lexikon.at/print/kulturerbe/](http://www.politik-lexikon.at/print/kulturerbe/), zuletzt geprüft am 14.05.2016.

Hermes, J., Albert & Haaren, C. (2018). Assessing the aesthetic quality of landscapes in Germany. *Ecosystem Services* 34, 296-307.

Rabe, S.-E., Gantenbein, R., Richter, K.-F. & Grêt-Regamey, A. (2018). Increasing the credibility of expert-based models with preference surveys – Mapping recreation in the riverine zone. *Ecosystem Services* 31, 308-317.

Schauch, H., Bieling, C., Plieninger, T. (2010). Linking ecosystem services with cultural landscape research. *Gaia*, Vol. 19, No. 4, 01.12.2010, 269-277.

## ■ Datenquellen

Datensatz	Beschreibung Typ, Kategorien	Raumbezug	Auflösung/ Genauigkeit	Referenz	Aktualität	Kommentar
Basis-DLM (AAA)	<p>Polygone, Linien und Punkte</p> <p>Selektion: sie02: OBJART = '41007' AND FKT = '1130' OR OBJART = '41008' AND FKT = '4250';</p> <p>Geb03: OBJART = '71006' AND ADF = '1653';</p> <p>Sie03: OBJART = '51009' AND BWF = '1750' OR OBJART = '51007' AND ATP IN ('1010', '1020', '1100', '1110', '1200', '1210', '1300', '1410', '1420', '1430') (siehe ATKIS-Objektartenkatalog Basis-DLM (AdV 2008))</p>	Bundesweit, nur Objektarten aus dem Grunddatenbestand	1:25.000 (angestrebt sind $\pm 3$ m)	© GeoBasis-DE / BKG (2016)	2016	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)
UNESCO: Punkte und Flächen	Polygone, Punkte	weltweit	Keine Angabe	© UNESCO/WHC	1992-2015	Heruntergeladen: <a href="http://whc.unesco.org/en/syndication/">http://whc.unesco.org/en/syndication/</a>
Fluss-Auen-Segmente	Polygon (Fluss, rezente Aue, Altaue)	Auen	1:25.000 (basiert auf Basis DLM)	Bundesamt für Naturschutz (BfN) Auenkulisse © GeoBasis-DE / BKG (2009)	2009	

Klasse und Typ	Abk.	Kurzbeschreibung der KÖSL		Raumbezug	
Kulturell Bereitgestellt	NKE- BE	Gesamtheit von materiellen Objekten, wie beispielsweise (Natur-) Denkmäler, sowie gedankliche und kulturelle Reflexion materieller Naturgüter durch den Menschen.		Auensegment (1 km) <input checked="" type="checkbox"/> Altaue <input checked="" type="checkbox"/> rezente Aue <input checked="" type="checkbox"/> Fluss	
Variablen (lokal)	Abk.	Einheit	Bewertungsgröße	Datenquelle	Anmerkung
Dichte der Baudenkmäler	<i>BaD<sub>BY</sub></i>	0-100	Normalisierung der Dichte pro 100 m <sup>2</sup> mit 1.000 m Suchradius (Hermes et al. 2018)	Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege	
Dichte der Bodendenkmäler	<i>BoD<sub>BY</sub></i>	0-100	Normalisierung der Dichte pro 100 m <sup>2</sup> mit 1.000 m Suchradius (Hermes et al. 2018)	Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege	
Dichte der Naturdenkmäler	<i>ND</i>	0-100	Normalisierung der Dichte pro 100 m <sup>2</sup> mit 1.000 m Suchradius (Hermes et al. 2018)	Basis-DLM	Selektion: Datenquellen
Berechnungsverfahren					
Berechnungsschritte			Indikator		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Berechnung der Variablen in Rasterzellen mit 10 m Auflösung</li> <li>2. Berechnung des Indikators (siehe Spalte rechts) mit einer Normalisierung zwischen 0-100</li> </ol> <p>Auenkompartimentsebene:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3. Berechnung des flächengewichteten Mittelwerts für die Auenkompartimente Fluss, rezente Aue und Altaue (jeweils rechtes und linkes Ufer)</li> <li>4. Für die Skalierung in den RESI: Klassifizierung in die fünfstufige RESI-Bewertungsskala über die Bildung von Quintilen für ein Untersuchungsgebiet</li> </ol>			$f_{(NKE\_lokal)} = \sum BaD_{BY}, BoD_{BY}, ND$ <p>→ anschließende Normalisierung des Ergebnistrasters zwischen 0-100 (Rabe et al. 2018) für die jeweilige morphologische Aue als Raumbezug:</p> $\frac{max_{new} - min_{new}}{max_{old} - min_{old}} \cdot (v - max_{old}) + max_{new}$ <p><i>v</i> ist das durch <math>f_{(NKE\_lokal)}</math> erzeugte Ergebnistraster</p>		

<b>Skalierung</b> <input checked="" type="checkbox"/> lokal <input type="checkbox"/> RESI-Modellregionen	<b>Ind<sub>NKE-BE-LOKAL</sub></b> <b>(Quintilgrenzen)</b>	> 1,3	> 0,8- 1,3	> 0,5- 0,8	> 0,2 - 0,5	0 - 0,2
<b>Bl<sub>NKE-BE-LOKAL</sub></b>		<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Qualitative Beurteilung</b>		Sehr hohe Bereitstellung	Hohe Bereitstellung	Mittlere Bereitstellung	Geringe Bereitstellung	Sehr geringe bis fehlende Bereitstellung

### Bedeutung des Indikators

#### Interpretation

Der Indikator berechnet die Dichte an selektierten Elementen, die für die Bereitstellung von Natur- und Kulturerbe von Bedeutung sind. Materielles Kulturerbe wird über die Dichte von Boden- und Baudenkmalern bewertet, da hierfür geeignete räumliche Daten vorliegen (Bierwerth 2014). Die betrachteten Flusslandschaften sind Kulturlandschaften, deswegen werden hier anthropogene Bauwerke als Ausdruck der Interaktion und Durchführung von kulturellen Praktiken bewertet. Durch genutzte Baumaterialien und die Standortwahl besteht eine Verbindung zwischen den Denkmälern und der sie umgebenden Ökosysteme. Der Indikator ist als Ergänzung zu der Bewertung des Landschaftsbildes zu interpretieren, da die bewerteten Elemente ebenso die Eigenart einer Landschaft und somit ihre Ästhetik beeinflussen (Hermes et al. 2018).

Für eine detailliertere Darstellung einzelner Maßnahmenggebiete können die Rasterzellen mit der relativen Bewertung zwischen 0-100 betrachtet werden. Für die Gesamtbewertung im Zusammenhang mit anderen ÖSL wurde diese KÖSL-Bewertung in die fünfstufige RESI-Skala übertragen. Eine Anwendung außerhalb von Deutschland ist möglich, wenn geeignete Daten zur Berechnung vorliegen.

Erweiterungsmöglichkeiten für regionale Quantifizierungen unter Einbezug regional verfügbarer Daten

- Quantifizierung von immateriellem Natur- und Kulturerbe, jedoch ist eine Verortung nicht immer möglich. Die Aufnahme ist aufgrund eines hohen Rechercheaufwands nur bei lokalen Analysen zu empfehlen.
- Flächen des „Nationalen Naturerbes“: Sie werden nicht berücksichtigt, da keine Geodaten zur Verfügung standen.

#### Monitoring

Die Daten für die Berechnung der Variablen werden regelmäßig aktualisiert.

#### Quellen / Literatur

AdV - Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (2008). ATKIS-Objektartenkatalog Basis-DLM, Version 6.0.

Bierwerth, G. (2014). Kulturerbe. In: Online-Lexikon zur Kultur und Geschichte der Deutschen im östlichen Europa. URL: [ome-lexikon.uni-oldenburg.de/p32713](http://ome-lexikon.uni-oldenburg.de/p32713) (Stand 16.06.2014).

Gärtner, R. (2008). Politiklexikon. Kulturerbe. Verlag Jungbrunnen. Wien, zuletzt aktualisiert am <http://www.politiklexikon.at/print/kulturerbe/>, zuletzt geprüft am 14.05.2016.

Hermes, J., Albert, C. & Haaren, C. (2018). Assessing the aesthetic quality of landscapes in Germany. Ecosystem Services 34, 296-307

Rabe, S.-E., Gantenbein, R., Richter, K.-F. & Grêt-Regamey, A. (2018). Increasing the credibility of expert-based models with preference surveys – Mapping recreation in the riverine zone. Ecosystem Services 31, 308-317.

## ■ Datenquellen

Datensatz	Beschreibung Typ, Kategorien	Raumbezug	Auflösung/ Genauigkeit	Referenz	Aktualität
Bodendenkmal	Bodendenkmäler nach Art.1 Abs.4 u. Art.2 BayDSchG (Denkmalliste), Vektor	Bayern	1:25.000	© Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege (BLfD)	2014
Baudenkmal	Baudenkmäler nach Art.1 Abs.2 und Art.2 BayDSchG (Denkmalliste)	Bayern	1:1.000	© BLfD	2014
Basis-DLM (AAA)	Polygone, Linien und Punkte Selektion: geb03: OBJART='71006' AND DF='1653'; siehe ATKIS-Objekt-artenkatalog Basis-DLM (Adv 2008)	Bundesweit, nur Objektarten aus dem Grunddatenbestand	1:25.000 (angestrebt sind ± 3m)	© GeoBasis-DE / BKG (2016)	2016
Fluss-Auen-Segmente	Polygon (Fluss, rezente Aue, Altaue)	Auen, Deutschland	1:25.000 (basiert auf Basis DLM)	Bundesamt für Naturschutz (BfN) Auenkulisse © GeoBasis-DE / BKG (2009)	2009



Kulturelle Ökosystemleistungen

## Unspezifische Interaktion mit der Flusslandschaft

### Kurzbeschreibung

Der Indikator für diese ÖSL berechnet die Bereitstellung einer Flusslandschaft für unspezifische Aktivitäten (z. B. Radfahren, Naturbeobachtung, Aufenthalt in der Flusslandschaft zum Entspannen, Picknick, etc.).

### Bedeutung

Das menschliche Wohlergehen kann durch die Nutzung dieser ÖSL hinsichtlich seiner physischen und psychischen Gesundheit gesteigert werden, da beispielsweise Stress durch das Beobachten von Natur abgebaut werden kann.

### Anwendungsempfehlung

Die Erhebung dieser kulturellen ÖSL ist bei einer Veränderung der Landnutzung durch (Renaturierungs-) Maßnahmen und bei einer Veränderung von Ufern und Gewässern, insbesondere in Naherholungsgebieten, zu empfehlen.

### Sensitivität

Diese ÖSL reagiert sensitiv auf die Schaffung und Veränderung von Gewässern und Ufern, da hierdurch der Indikator „Ufer- und Gewässerverfügbarkeit“ beeinflusst wird.



Klasse und Typ	Abk.	Kurzbeschreibung der KÖSL			Raumbezug
Kulturell Bereitgestellt	UI-BE	Erleben von Tieren, Pflanzen und Landschaften (z. B. Spazieren, Naturbeobachtung, Aufenthalt in der Flusslandschaft zum Entspannen, Picknick, etc.)			Fluss-Auen-Segment (1 km) <input checked="" type="checkbox"/> Altaue <input checked="" type="checkbox"/> rezente Aue <input checked="" type="checkbox"/> Fluss
Basisvariable	Abk.	Einheit	Bewertungsgröße	Datenquelle	Anmerkung
Ufer- und Gewässerverfügbarkeit	$UGV_{de}$	1-100	Summe aus normalisierter Uferlänge pro 100 m * 100 m und normalisierter Wasserfläche pro 100 m * 100 m mit abschließender Normalisierung	LBM-DE2012	Selektion: Datenquelle
Erlebbarkeit des Raums	$EdR_{de}$	0-100	Möglichkeit eine Landoberfläche aufgrund ihrer Landbedeckung zu erleben (Bewertung auf Grundlage der CORINE Klassifikation)	LBM-DE2012	
Anzahl von überlagerten Schutzgebietskategorien	$Aüs_{de}$	1-100	Normalisierte Anzahl von Schutzgebietskategorien (vgl. Grizzetti et al. 2015)	Nationalparks, Biosphärenreservat, Naturparks, Naturschutzgebiete, Landschaftsschutzgebiete, Vogelschutzgebiete, FFH-Gebiete	
Berechnungsverfahren					
Berechnungsschritte			Indikator		
<p>Bundesweit:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Berechnung der Variablen <math>UGV_{de}</math>, <math>EdR_{de}</math> und <math>Aüs_{de}</math> in Rasterzellen mit 100 m Auflösung</li> <li>2. Berechnung des Indikators (siehe Spalte rechts) mit einer Normalisierung zwischen 0-100</li> </ol> <p>Auenkompartimentsebene:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3. Berechnung des flächengewichteten Mittelwerts für die Auenkompartimente Fluss, rezente Aue und Altaue (jeweils rechtes und linkes Ufer)</li> <li>4. Für die Skalierung in den RESI: Klassifizierung in die fünfstufige RESI-Bewertungsskala über die Bildung von Quintilen für die RESI-Modellregionen. (Die Quintile des <math>Ind_{UI-BE}</math> beziehen sich auf die Ergebnisse über alle RESI-Modellregionen.)</li> </ol>			$f_{(UI-DE)} = \sum UGV_{de}, EdR_{de}, Aüs_{de}$ <p>→ anschließende bundesweite Normalisierung des Ergebnistrasters zwischen 0-100 (Rabe et al. 2018):</p> $\frac{max_{new} - min_{new}}{max_{old} - min_{old}} \cdot (v - max_{old}) + max_{new}$ <p>v ist das durch <math>f_{(UI-DE)}</math> erzeugte Ergebnistraster</p>		

<b>Skalierung</b> <input type="checkbox"/> lokal <input checked="" type="checkbox"/> RESI-Modellregionen	<b>Ind<sub>UI-BE</sub></b> <b>(Quintilgrenzen)</b>	> 33,0 - 73,0	> 23,4 - 33,0	> 17,9 - 23,4	> 14,7 - 17,9	0 - 14,7
<b>RESI</b>		<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Qualitative Beurteilung</b>		Sehr hohe Bereitstellung	Hohe Bereitstellung	Mittlere Bereitstellung	Geringe Bereitstellung	Sehr geringe bis fehlende Bereitstellung

### Bedeutung des Indikators

#### Interpretation

Der Indikator berechnet die Bereitstellung einer Flusslandschaft für unspezifische Aktivitäten (z.B. Radfahren, Naturbeobachtung, Aufenthalt in der Flusslandschaft zum Entspannen, Picknick, etc.). Für regionale Analysen kann eine Erweiterungsmöglichkeit in die Berechnung aufgenommen werden.

Für eine detailliertere Darstellung einzelner Maßnahmenggebiete können die Rasterzellen mit der relativen Bewertung zwischen 0-100 betrachtet werden. Für die Gesamtbewertung im Zusammenhang mit anderen ÖSL wurde diese kulturelle ÖSL-Bewertung in die fünfstufige RESI-Skala übertragen. Eine Anwendung außerhalb von Deutschland ist möglich, wenn geeignete Daten zur Berechnung vorliegen.

Erweiterungsmöglichkeiten für regionale Quantifizierungen unter Einbezug regional verfügbarer Daten

- Besondere Luftqualität über ausgewiesene Luftkurorte: Gemeinden mit besonderer Luftqualität wird der Wert 100 zugewiesen (siehe Kapitel 4.2.3 im PED 6.1).
- Durch die Klassifizierung der Rasterzellen auf Modellregions-Ebene in die fünf RESI-Klassen ist bereits eine regionale Quantifizierung erfolgt. Bei einer lokalen Bewertung des Indikators kann auf den vierten und fünften Bewertungsschritt verzichtet werden, wenn nur kulturelle ÖSL betrachtet werden.

#### Monitoring

Die Daten für die vorgeschlagenen Basisvariablen ( $UGV_{de}$ ,  $EdR_{de}$ ,  $AüS_{de}$ ) werden regelmäßig aktualisiert.

#### Quellen / Literatur

- Grizzetti, B., Lanzanova, D., Liqueste, C. & Reynaud, A. (2015). Cook-book for water ecosystem service assessment and valuation, JRC Science and policy Report. European Commission Luxembourg.
- Rabe, S.-E., Gantenbein, R., Richter, K.-F. & Grêt-Regamey, A. (2018). Increasing the credibility of expert-based models with preference surveys – Mapping recreation in the riverine zone. *Ecosystem Services* 31, 308-317.
- Villamagna, A. M., Mogollón, B. & Angermeier, P. L. (2014). A multi-indicator framework for mapping cultural ecosystem services. The case of freshwater recreational fishing. *Ecological Indicators* 45, 255–265.

## ■ Datenquellen

Datensatz	Beschreibung Typ, Kategorien	Raum- bezug	Auflösung/ Genauigkeit	Referenz	Aktualität
LBM-DE2012 Selektion von 511 und 512	Beschreibung der geometrischen Objekte der Landbedeckung und Landnutzung im Vektorformat auf der Grundlage der Transformation von Teilen des ATKIS <sup>®</sup> -Objektartenkatalogs (ATKIS <sup>®</sup> -OK) mittels Zwischenklassen (LB/LN) zur Nomenklatur von CORINE Land Cover (CLC).	DE		© GeoBasis-DE / Bundesamt für Karto- graphie und Geodäsie(BKG) (2012)	2012
Nationalparks in Deutschland	Polygon	DE	1:10.000 - 1:25.000	© Bundesamt für Naturschutz (BfN) (2015)	2015
Naturparks in Deutschland	Polygon	DE	1:10.000 - 1:25.000	© BfN (2015)	2016
Naturschutzgebiete in Deutschland	Polygon	DE	1:5.000 - 1:50.000	© BfN (2015)	2015
Landschaftsschutz- gebiete in Deutschland	Polygon	DE	1:5.000 - 1:50.000	© BfN (2015)	2015
FFH-Gebiete in Deutschland	Polygon	DE	1:25.000	© BfN (2015)	2015
Vogelschutzgebiete in Deutschland (SPA)	Polygon	DE	1:25.000	© BfN (2015)	2015
Biosphärenreservate in Deutschland (UNESCO)	Polygon	DE	1:10.000 - 1:25.000	© BfN (2015)	2016



# Unspezifische Interaktion mit der Flusslandschaft / lokal

Bearbeiter: J. Thiele, C. v. Haaren, C. Albert (LUH)

Stand: 02.05.2018

Klasse und Typ	Abk.	Kurzbeschreibung der KÖSL	Raumbezug
Kulturell Bereitgestellt	UI-BE	Erleben von Tieren, Pflanzen und Landschaften (z.B. Spazieren, Naturbeobachtung, Aufenthalt in der Flusslandschaft zum Entspannen, Picknick, etc.)	Fluss-Auen-Segment (1 km) <input checked="" type="checkbox"/> Altaue <input checked="" type="checkbox"/> rezente Aue <input checked="" type="checkbox"/> Fluss

Variablen (lokal)	Abk.	Einheit	Bewertungsgröße	Datenquelle	Anmerkung
Ufer- und Gewässerverfügbarkeit	<i>UGV</i>	0-100	Summe aus normalisierter Uferdichte je 100 m <sup>2</sup> und normalisierter Dichte der Wasserfläche je 100 m <sup>2</sup> mit abschließender Normalisierung zur <i>UGV</i>	LBM-DE2012	Selektion: Datenquellen
Erlebbarkeit des Raums	<i>EdR</i>	0-100	Möglichkeit, eine Landoberfläche aufgrund ihrer Landbedeckung zu erleben (Bewertung auf Grundlage der CORINE Klassifikation)	LBM-DE2012	
Anzahl von überlagerten Schutzgebietskategorien	<i>AüS</i>	1-100	Normalisierte Anzahl von Schutzgebietskategorien pro 100 m <sup>2</sup> (vgl. Grizzetti et al. 2015)	Nationalparks, Biosphärenreservate, Naturparks, Naturschutzgebiete, Landschaftsschutzgebiete, Vogelschutzgebiete, FFH-Gebiete	

## Berechnungsverfahren

Berechnungsschritte	Indikator
<ol style="list-style-type: none"> <li>Berechnung der Variablen <i>UGV</i>, <i>EdR</i> und <i>AüS</i> in Rasterzellen mit 10 m Auflösung</li> <li>Berechnung des Indikators (siehe Spalte rechts) mit einer Normalisierung zwischen 0-100</li> </ol> <p>Auenkompartimentsebene:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Berechnung des flächengewichteten Mittelwerts für die Auenkompartimente Fluss, rezente Aue und Altaue (jeweils rechtes und linkes Ufer)</li> <li>Für die Skalierung in den RESI: Klassifizierung in die fünfstufige RESI-Bewertungsskala über die Bildung von Quintilen für ein Untersuchungsgebiet. Die morphologische Aue der bayerischen Donau war der Raumbezug dieser Berechnung.</li> </ol>	$f_{(UI_{lokal})} = \sum UGV, EdR, AüS$ <p>→ anschließende Normalisierung des Ergebnisrasters zwischen 0-100 (Rabe et al. 2018) für das jeweilige Untersuchungsgebiet:</p> $\frac{max_{new} - min_{new}}{max_{old} - min_{old}} \cdot (v - max_{old}) + max_{new}$ <p><i>v</i> ist das durch <math>f_{(UI_{lokal})}</math> erzeugte Ergebnisraster</p>

<b>Skalierung</b> <input checked="" type="checkbox"/> lokal <input type="checkbox"/> RESI-Modellregionen	<b>Ind<sub>UI-BE-LOKAL</sub></b> <b>(Quintilgrenzen)</b>	> 28,9	> 20,7 - 28,9	> 17,2 - 20,7	> 15,0 - 17,2	0 – 15,0
RESI		5	4	3	2	1
Qualitative Beurteilung		Sehr hohe Bereitstellung	Hohe Bereitstellung	Mittlere Bereitstellung	Geringe Bereitstellung	Sehr geringe bis fehlende Bereitstellung
Bedeutung des Indikators						
<p><b>Interpretation</b></p> <p>Der Indikator berechnet die Bereitstellung einer Flusslandschaft für unspezifische Aktivitäten (z. B. Radfahren, Naturbeobachtung, Aufenthalt in der Flusslandschaft zum Entspannen, Picknick, etc.).</p> <p>Für eine detailliertere Darstellung einzelner Maßnahmenggebiete können die Rasterzellen mit der relativen Bewertung zwischen 0-100 betrachtet werden. Für die Gesamtbewertung im Zusammenhang mit anderen ÖSL wurde diese kulturelle ÖSL-Bewertung in die fünfstufige RESI-Skala übertragen. Eine Anwendung außerhalb von Deutschland ist möglich, wenn geeignete Daten zur Berechnung vorliegen.</p> <p>Erweiterungsmöglichkeiten für regionale Quantifizierungen unter Einbezug regional verfügbarer Daten</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Besondere Luftqualität über ausgewiesene Luftkurorte: Gemeinden mit besonderer Luftqualität wird der Wert 100 zugewiesen.</li> </ul> <p><b>Monitoring</b></p> <p>Die Daten für die vorgeschlagenen Variablen (<i>UGV, EdR und AüS</i>) werden regelmäßig aktualisiert.</p> <p><b>Quellen / Literatur</b></p> <p>Grizzetti, B., Lanzanova, D., Lique, C. &amp; Reynaud, A. (2015). Cook-book for water ecosystem service assessment and valuation, JRC Science and policy Report. European Commission Luxembourg.</p> <p>Rabe, S.-E., Gantenbein, R., Richter, K.-F. &amp; Grêt-Regamey, A. (2018). Increasing the credibility of expert-based models with preference surveys – Mapping recreation in the riverine zone. <i>Ecosystem Services</i> 31, 308-317.</p> <p>Villamagna, A. M., Mogollón, B. &amp; Angermeier, P. L. (2014). A multi-indicator framework for mapping cultural ecosystem services. The case of freshwater recreational fishing. <i>Ecological Indicators</i> 45, 255-265.</p>						

## ■ Datenquellen

Datensatz	Beschreibung Typ, Kategorien	Raumbezug	Auflösung/ Genauigkeit	Referenz	Aktualität
LBM-DE2012 Selektion von 511 und 512	Beschreibung der geometrischen Objekte der Landbedeckung und Landnutzung im Vektorformat auf der Grundlage der Transformation von Teilen des ATKIS <sup>®</sup> -Objektartenkatalogs (ATKIS <sup>®</sup> -OK) mittels Zwischenklassen (LB/LN) zur Nomenklatur von CORINE Land Cover (CLC).	DE		© GeoBasis-DE / Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) (2012)	2012
Nationalparks in Deutschland	Polygon	DE	1:10.000 - 1:25.000	© Bundesamt für Naturschutz (BfN) (2015)	2015
Naturparks in Deutschland	Polygon	DE	1:10 000 - 1:25 000	© BfN (2015)	2016
Naturschutzgebiete in Deutschland	Polygon	DE	1:5.000 - 1:50.000	© BfN (2015)	2015
Landschaftsschutzgebiete in Deutschland	Polygon	DE	1:5.000 - 1:50.000	© BfN (2015)	2015
FFH-Gebiete in Deutschland	Polygon	DE	1:25.000	© BfN (2015)	2015
Vogelschutzgebiete in Deutschland (SPA)	Polygon	DE	1:25.000	© BfN (2015)	2015
Biosphärenreservate in Deutschland (UNESCO)	Polygon	DE	1:10.000 - 1:25.000	© BfN (2015)	2016



## Kulturelle Ökosystemleistungen

# Wasserbezogene Aktivitäten

### Kurzbeschreibung

Diese ÖSL erfasst die Bereitstellung von Möglichkeiten für wasserbezogene Aktivitäten (Baden, nichtmotorisiertes Bootfahren, motorisiertes Bootfahren) in einer Flusslandschaft.

### Bedeutung

Die Quantifizierung der Bereitstellung ermittelt, inwiefern sich ein Fließgewässer für die wasserbezogenen Aktivitäten (Baden, nichtmotorisiertes Bootfahren, motorisiertes Bootfahren) eignet.

### Anwendungsempfehlung

Diese ÖSL sollte in allen Gebieten erhoben werden, in denen Naherholung oder Tourismus eine Rolle spielen.

### Sensitivität

Diese kulturelle Leistung reagiert sensitiv auf Maßnahmen, die das Ufer (z. B. Uferlänge, Uferstruktur) oder den Wasserlauf beeinflussen.



Klasse und Typ	Abk.	Kurzbeschreibung der KÖSL		Raumbezug	
Kulturell Bereitgestellt	WA- BE	Baden, nichtmotorisiertes Bootfahren, motorisiertes Bootfahren und Angeln als spezifische, wasserbezogene Aktivitäten, die zum Zweck der Erholung stattfinden (vgl. Russi et al. 2013)		Fluss-Auen-Segment (1 km) <input checked="" type="checkbox"/> Altaue <input checked="" type="checkbox"/> rezente Aue <input checked="" type="checkbox"/> Fluss	
Basisvariable	Abk.	Einheit	Bewertungsgröße	Daten- quelle	Anmerk- ung
Normalisierte Dichte von Sand/Sandbänken	<i>DSB<sub>de</sub></i>	1-100	Normalisierung der bundesweiten Dichteberechnung zwischen 1 und 100	Basis- DLM	Selektion: Daten- quellen
Min. Breite von 5 m (Mindestbreite für nichtmotorisiertes Bootfahren)	<i>NMB<sub>de</sub></i>	100 $\triangleq$ ja 0 $\triangleq$ nein	Gewässerabschnitt mit mindestens 5 m Breite als Voraussetzung für nicht-motorisiertes Bootfahren	DLM250	
Min. Breite von 12 m (Mindestbreite für motorisiertes Bootfahren)	<i>MB<sub>de</sub></i>	100 $\triangleq$ ja 0 $\triangleq$ nein	Gewässerabschnitt mit mindestens 12 m Breite als Voraussetzung für motorisiertes Bootfahren	DLM250	
Berechnungsverfahren					
Berechnungsschritte			Indikator		
<p>Bundesweit:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Berechnung der Variablen <i>DSB<sub>de</sub></i>, <i>NMB<sub>de</sub></i> und <i>MB<sub>de</sub></i> in Rasterzellen mit 100 m Auflösung</li> <li>Berechnung des Indikators (siehe Spalte rechts) mit einer Normalisierung zwischen 0-100</li> </ol> <p>Auenkompartimentsebene:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Berechnung des flächengewichteten Mittelwerts für die Auenkompartimente Fluss, rezente Aue und Altaue (jeweils rechtes und linkes Ufer)</li> <li>Für die Skalierung in den RESI: Klassifizierung in die fünfstufige RESI-Bewertungsskala über die Bildung von Quintilen für die RESI-Modellregionen. Die Quintile des <math>Ind_{WA\_BE}</math> beziehen sich auf die Ergebnisse über alle RESI-Modellregionen.</li> </ol>			$f_{(WA\_DE)} = \sum DSB_{de}, NMB_{de}, MB_{de}$ <p>→ anschließende bundesweite Normalisierung des Ergebnistrasters zwischen 0-100 mit folgender Formel (Rabe et al. 2018):</p> $\frac{max_{new} - min_{new}}{max_{old} - min_{old}} \cdot (v - max_{old}) + max_{new}$ <p>v ist das durch <math>f_{(WA\_DE)}</math> erzeugte Ergebnistraster</p>		

<b>Skalierung</b> <input type="checkbox"/> lokal <input checked="" type="checkbox"/> RESI- Modellregionen	<b>Ind<sub>WA, BE</sub></b> <b>(Quintil-  grenzen)</b>	> 2,6 - 68,9	> 1,1 - 2,6	> 0,4 - 1,1	> 0,02 - 0,44	0 - 0,02
<b>RESI</b>		<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Qualitative Beurteilung</b>		Sehr hohe Bereit- stellung	Hohe Bereit- stellung	Mittlere Bereit- stellung	Geringe Bereit- stellung	Sehr geringe bis fehlende Bereit- stellung

### Bedeutung des Indikators

#### Interpretation

Der Indikator ermittelt die Bereitstellung einer Flusslandschaft für wasserbezogene Aktivitäten (Baden, nichtmotorisiertes Bootfahren, motorisiertes Bootfahren) und kann durch Erweiterungsmöglichkeiten (siehe nächster Abschnitt) ergänzt werden. Die Dichte von Sand und Sandbänken spiegelt eine Bereitstellung für die Aktivität „Schwimmen“ wider. Für weitere Variablen (z. B. hygienische Wasserqualität, Fließgeschwindigkeit, Sichttiefe) können regionale Daten hinzugezogen werden. Die Breite der Fließgewässer ist eine Variable, die die Möglichkeit einer potentiellen Befahrbarkeit mit einem (Motor-) Boot ermittelt.

Für eine detailliertere Darstellung einzelner Maßnahmegebiete können die Rasterzellen mit der relativen Bewertung zwischen 0-100 betrachtet werden. Für die Gesamtbewertung im Zusammenhang mit anderen ÖSL wurde diese kulturelle ÖSL-Bewertung in die fünfstufige RESI-Skala übertragen. Eine Anwendung außerhalb von Deutschland ist möglich, wenn geeignete Daten zur Berechnung vorliegen.

Erweiterungsmöglichkeiten für regionale Quantifizierungen unter Einbezug regional produzierter Daten

- Hygienische Wasserqualität und Struktur über die Konzentration von intestinalen Enterokokken (KbE/100 ml) und Escherichia coli (KbE/100 ml) (EU Bathing Water Directive (Richtlinie 76/160/EEC) (vgl. Paracchini et al. 2014).
- Quantifizierung des Uferbewuchses aus Daten der Gewässerstrukturkartierung: Expertenbasierte Bewertung des Uferbewuchs zwischen 0-100 vor dem Hintergrund der Ausübung von wasserbezogenen Aktivitäten (z.B. Baden).
- Sichttiefe: Indirekt über die Schwebstoffkonzentration  $\text{g m}^{-3}$  (Interpolieren und Klassifizieren, wenn der Median der Messwerte Mai-September unter  $10 \text{ g m}^{-3}$  liegt) (Morrison o. J.).
- Mindesttiefe von 60 cm berechnet über den Mittelwert der Wasserstände aus fünf Jahren. Wegen möglicher Extremereignisse wird ein Betrachtungszeitraum von fünf Jahren vorgeschlagen (beispielsweise von 2011-2015): Variable für nichtmotorisiertes Bootfahren.
- Abwechslungsreiche Laufkrümmung: Quantifizierung über Daten aus der Bewertung der Gewässerstrukturgüte ( $100 \triangleq$  mäandriert und  $0 \triangleq$  gradlinig).
- Fließgeschwindigkeit (Variable für Wildwasser).
- Min. Tiefe von 90 cm über den Mittelwert der Wasserstände für fünf Jahre von 2011-2015: Variable für motorisiertes Bootfahren.
- Bewertung der Gewässerstrukturgüte als Variable für die Vorliebe möglichst naturnaher Gewässer zum Angeln (Arlinghaus 2004; Hunt 2005): Normalisierung der Strukturgütebewertung 1-7, wobei 7 den kleinsten und 1 den höchsten Wert erhält.
- Durch die Klassifizierung der Rasterzellen auf Modellregions-Ebene in die fünf RESI-Klassen ist bereits eine regionale Quantifizierung erfolgt. Bei einer lokalen Bewertung des Indikators kann auf den vierten und fünften Bewertungsschritt verzichtet werden, wenn nur kulturelle ÖSL betrachtet werden.

#### Monitoring

Insbesondere die Daten für die vorgeschlagenen Basisvariablen ( $DSB_{de}$ ,  $NMB_{de}$ ,  $MB_{de}$ ) werden regelmäßig aktualisiert. Je nach Datenverfügbarkeit sind die Erweiterungsmöglichkeiten prinzipiell für ein Monitoring geeignet.

## Quellen / Literatur

- Arlinghaus, R. (2004). Angelfischerei in Deutschland - eine soziale und ökonomische Analyse. Hg. v. Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) im Forschungsverbund Berlin e. V. Berlin (Berichte des IGB, 18/2004).
- Hunt, L. M. (2005). Recreational Fishing Site Choice Models. Insights and Future Opportunities. *Human Dimensions of Wildlife* 10, 153–172.
- Morrison, W. Water transparency in Willamette River at Portland. Data from U.S. Geological Survey. Online verfügbar unter [http://or.water.usgs.gov/will\\_morrison/images/secd\\_tbdy\\_linear\\_graph.png](http://or.water.usgs.gov/will_morrison/images/secd_tbdy_linear_graph.png), zuletzt geprüft am 19.12.2016.
- Richtlinie 76/160/EEC vom 15. Februar 2006 über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung und zur Aufhebung der Richtlinie 76/160/EWG
- Paracchini, M. L., Zulian, G., Kopperoinen, L., Maes, J., Schägner, J. P., Termansen, M., Zandersen, M., Perez-Soba, M., Scholefield, P.A. & Bidoglio, D. (2014). Mapping cultural ecosystem services. A framework to assess the potential for outdoor recreation across the EU. *Ecological Indicators* 45, 371–385.
- Rabe, S.-E., Gantenbein, R., Richter, K.-F. & Grêt-Regamey, A. (2018). Increasing the credibility of expert-based models with preference surveys – Mapping recreation in the riverine zone. *Ecosystem Services* 31, 308-317.
- 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, London and Brussels, Ramsar Secretariat, Gland.

## ■ Datenquellen

Datensatz	Beschreibung Typ, Kategorien	Raumbezug	Auflösung/ Genauigkeit	Referenz	Aktualität
Basis-DLM (AAA)	Polygone, Linien und Punkte Selektion Objektart 55001, Art 1640 in gew02 und 43007, OFM 1040 in veg03	Bundesweit, nur Objektarten aus dem Grunddatenbestand	1:25.000	© GeoBasis- DE / Bundesamt für Karto- graphie und Geodäsie (BKG) (2016)	2016
DLM250	Linien	Bundesweit, nur Objektarten aus dem Grunddatenbestand	1:250.000	© GeoBasis- DE / BKG (2014)	2014
Fluss-Auen- Segmente	Polygon (Fluss, rezente Aue, Altaue)	Auen	1:25.000 (basiert auf Basis DLM)	Bundesamt für Naturschutz (BfN) Auenkulisse © GeoBasis-DE / BKG (2009)	2009

Klasse und Typ	Abk.	Kurzbeschreibung der KÖSL		Raumbezug	
Kulturell Bereitgestellt	WA-BE	Baden, nichtmotorisiertes Bootfahren, motorisiertes Bootfahren und Angeln als spezifische, wasserbezogene Aktivitäten, die zum Zweck der Erholung stattfinden (vgl. Russi et al. 2013)		Fluss-Auen-Segment (1 km) <input checked="" type="checkbox"/> Altaue <input checked="" type="checkbox"/> rezente Aue <input checked="" type="checkbox"/> Fluss	
Variablen (lokal)	Abk.	Einheit	Bewertungsgröße	Datenquelle	Anmerkung
Dichte von Sand/Sandbänken	<i>DSB</i>	0-100	Normalisierung der Kernel Dichte pro 100 m <sup>2</sup> mit 1.000 m Suchradius (Hermes et al. 2018) für das Untersuchungsgebiet;	Basis-DLM	Selektion: Daten- quellen
Min. Breite von 5 m	<i>NMB</i>	0-100	Gewässerabschnitt mit mindestens 5 m Breite als Voraussetzung für nicht-motorisiertes Bootfahren; Die selektierten Line Features werden über eine Kernel Dichte mit 100 m Suchradius in einem Raster mit 10 m Auslösung berechnet und für das Untersuchungsgebiet normalisiert.	Basis-DLM	
Min. Breite von 12 m	<i>MB</i>	0-100	Gewässerabschnitt mit mindestens 12 m Breite als Voraussetzung für motorisiertes Bootfahren; Die selektierten Polygon Features werden nach einer Überführung in Punkt Features über eine Kernel Dichte mit 100 m Suchradius in einem Raster mit 10 m Auslösung berechnet und für das Untersuchungsgebiet normalisiert.	Basis-DLM	
Sichttiefe	<i>ST</i>	0-100	Interpolation der Schwebstoffkonzentration: Bei einer Schwebstoffkonzentration unter 10 g m <sup>-3</sup> liegt die Sichttiefe bei einem Meter oder darüber (Morrison, o.J.) und anschließende Dichteberechnung mit 100 m Suchradius.	Schwebstoffkonzentrationen und Pegel	

Variablen (lokal)	Abk.	Einheit	Bewertungsgröße	Datenquelle	Anmerkung
Laufkrümmung	LK	0-100	Bewertung der Laufkrümmung durch die Gewässerstrukturkartierung: Reklassifikation der Laufkrümmungsbewertung mit einer anschließenden Dichteberechnung über einen 1.000 m Suchradius (Hermes et al. 2018) für das Untersuchungsgebiet.	Gewässerstrukturkartierung (GSK)	
Uferbewuchs	UB	0-100	Bewertung des Uferbewuchses durch die Gewässerstrukturkartierung: Reklassifikation der Bewertung des Bewuchses mit einer anschließenden Dichteberechnung über einen 1.000 m Suchradius (Hermes et al. 2018) für das Untersuchungsgebiet.	GSK	
Strukturgüte	StK <sub>ges</sub>	0-100	Umkehrung der Skalierung und Reklassifikation der Strukturgüteskala mit einer Dichteberechnung über einen 1.000 m Suchradius (Hermes et al. 2018) für das Untersuchungsgebiet.	GSK	
Wasserstand	WS <sub>d60</sub>	0-100	Mittelwert der täglichen Wasserstände von 01.01.2011 - 31.12.2015 normalisiert zwischen 0-100. Wasserstände unter 60 cm werden mit Null bewertet.	Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) und Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)	
Wasserstand	WS <sub>d90</sub>	0-100	Mittelwert der täglichen Wasserstände von 01.01.2011 - 31.12.2015 normalisiert zwischen 0-100. Wasserstände unter 90 cm werden mit Null bewertet.	BfG und Bayerisches LfU	

## Berechnungsverfahren

Berechnungsschritte	Indikator
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Berechnung der Variablen in Rasterzellen mit 10 m Auflösung</li> <li>2. Berechnung des Indikators (siehe Spalte rechts) mit einer Normalisierung zwischen 0-100</li> </ol> <p style="margin-left: 20px;">Auenkompartimentsebene:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3. Berechnung des flächengewichteten Mittelwerts für die Auenkompartimente Fluss, rezente Aue und Altaue (jeweils rechtes und linkes Ufer)</li> <li>4. Für die Skalierung in den RESI: Klassifizierung in die fünfstufige RESI-Bewertungsskala über die Bildung von Quintilen für das Untersuchungsgebiet</li> </ol>	$f_{(WA_{lokal})} = f_{(WA_{lokal})}$ $= \sum StK_{ges}, \sum ST, DSB, UB, \left( \sum Wsd_{90, MB}, \sum Wsd_{60, NMB, LK} \right)$ <p>→ die Summen mit Klammern wurden normalisiert;</p> <p>→ anschließende Normalisierung des Ergebnisrasters zwischen 0-100 (Rabe et al. 2018) für das Untersuchungsgebiet:</p> $\frac{max_{new} - min_{new}}{max_{old} - min_{old}} \cdot (v - max_{old}) + max_{new}$ <p>v ist das durch <math>f_{(WA_{lokal})}</math> erzeugte Ergebnisraster</p>

Skalierung	Ind <sub>WA-BE-LOKAL</sub> (Quintilgrenzen)	> 17,8 - 69,1	> 9,0 - 17,8	> 6,2 - 9,0	> 2,8 - 6,1	0 - 2,8
<input checked="" type="checkbox"/> lokal <input type="checkbox"/> RESI-Modellregionen						
<b>RESI</b>		<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Qualitative Beurteilung</b>		Sehr hohe Bereitstellung	Hohe Bereitstellung	Mittlere Bereitstellung	Geringe Bereitstellung	Sehr geringe bis fehlende Bereitstellung

### Bedeutung des Indikators

#### Interpretation

Der Indikator ermittelt die Bereitstellung einer Flusslandschaft für wasserbezogene Aktivitäten (Baden, nichtmotorisiertes Bootfahren, motorisiertes Bootfahren, Angeln) und kann durch Erweiterungsmöglichkeiten (siehe nächster Abschnitt) ergänzt werden. Die Dichte von Sand und Sandbänken spiegelt eine Bereitstellung für die Aktivität „Schwimmen“ wider. Für weitere Variablen (z. B. hygienische Wasserqualität, Fließgeschwindigkeit, Sichttiefe) können regionale Daten hinzugezogen werden. Die Breite der Fließgewässer ist eine Variable, die die Möglichkeit einer potentiellen Befahrbarkeit mit einem (Motor-) Boot ermittelt.

Für eine detailliertere Darstellung einzelner Maßnahmenggebiete können die Rasterzellen mit der relativen Bewertung zwischen 0-100 betrachtet werden. Für die Gesamtbewertung im Zusammenhang mit anderen ÖSL wurde diese kulturelle ÖSL-Bewertung in die fünfstufige RESI-Skala übertragen. Eine Anwendung außerhalb von Deutschland ist möglich, wenn geeignete Daten zur Berechnung vorliegen.

## ■ Datenquellen

Datensatz	Beschreibung Typ, Kategorien	Raumbezug	Auflösung/ Genauigkeit	Referenz	Aktualität
Basis-DLM (AAA)	Polygone, Linien und Punkte Selektion Objektart 55001, Art 1640 in gew02 und 43007, OFM 1040 in veg03	Bundesweit, nur Objektarten aus dem Grunddatenbestand	1:25.000	© GeoBasis-DE / Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) (2016)	2016
Basis-DLM (AAA)	Polygone, Linien und Punkte Selektion über 44001 und WDM 1310, 1320, 44004 Gewässerbreite über das Feld BRG)	Bundesweit, nur Objektarten aus dem Grunddatenbestand	1:25.000	© GeoBasis-DE / BKG (2016)	2016
Gewässerstrukturkartierung	Linienshape		1:25.000	©Bayerisches LfU	2002
Chemiedaten	Tabelle (Excel Datei) für Pegel	Bayern		©Bayerisches LfU	2011-2014
Pegel mit Wasserständen	Tabellen			Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV), bereitgestellt durch die BfGund Bayerisches LfU <a href="http://www.gkd.bayern.de">www.gkd.bayern.de</a>	Oktober 2016
Flus-Auen-Segmente	Polygon (Fluss, rezente Aue, Altaue)	Auen	1:25.000 (basiert auf Basis DLM)	Bundesamt für Naturschutz (BfN) Auenkulisse © GeoBasis-DE / BKG (2009)	2009

## Ergänzungen zu den kulturellen Ökosystemleistungen

Die folgenden Abschnitte beschreiben das allgemeine Vorgehen, die Erfassung und die Bewertung der kulturellen ÖSL-Klassen Landschaftsbild, Natur- und Kulturerbe, unspezifische Interaktion mit der Flusslandschaft und wasserbezogenen Aktivitäten.

### Allgemeines Vorgehen bei der Generierung der Bereitstellungsindikatoren

Für die Bewertung eines Indikators werden zunächst die räumlichen Eingangsdaten (s. *Factsheets der kulturellen ÖSL ab Seite 105: Kategorie Datenquelle*) für die Quantifizierung der Basisvariablen in einem Geoinformationssystemen (GIS) zusammengestellt und ausgewählt (Thiele et al. 2018). In einem weiteren Geoverarbeitungsschritt erfolgt die Berechnung der Basisvariablen in einem 100 m \* 100 m Raster (s. *Abbildung 4-3*).

Die Berechnung der Basisvariablen kann auf der gesamten Fläche von Deutschland vorgenommen werden, da die integrierten

räumlichen Daten deutschlandweit verfügbar sind. Die Bewertung der einzelnen Variablen und des daraus gebildeten Indikators erfolgt auf einer normalisierten Skala von 0-100. Die Normalisierung der Variablen zwischen 0 und 100 ermöglicht eine Überlagerung zu einem Indikatoren für die Bewertung der Bereitstellung kultureller Leistungen. Das Maximum (100) und Minimum (0) bezieht sich jeweils auf den untersuchten Raum.

Um die Bewertung der einzelnen Bereitstellungsindikatoren in die fünfstufige RESI-Skalierung zu übertragen, werden je Fluss-Auen-Kompartiment Mittelwerte berechnet. Die daraus resultierenden Mittelwerte werden über die Bildung von Quintilen in die fünfstufige RESI-Bewertungsskala übertragen. In den hier aufgeführten Factsheets sind die Quintilgrenzen für die RESI-Modellregionen beispielhaft abgebildet.

Die Berechnung der Basisvariablen und der Bereitstellungsindikatoren wurde im Projekt RESI mit der GIS-Software ArcGIS 10.5.x von ESRI und ihrer Erweiterung „Spatial Analyst“ durchgeführt.

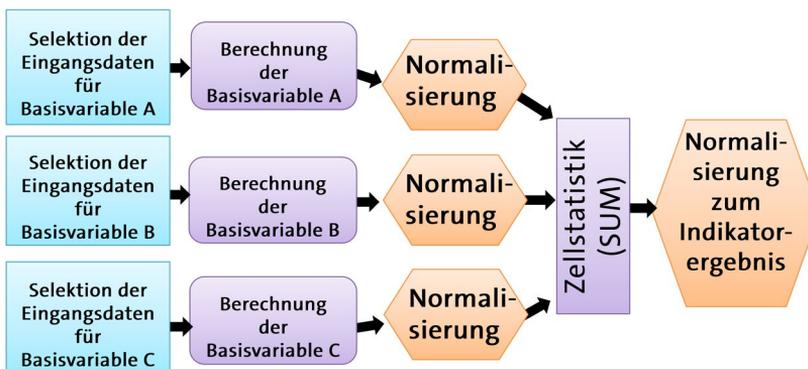


Abbildung 4-3: Schema zum Vorgehen bei der Modellierung im GIS zur Bewertung der Bereitstellung kultureller ÖSL. Aus Thiele et al. (2018).

Die in den Factsheets vorgeschlagenen Indikatoren können mit Erweiterungsvariablen ausgebaut werden, die auf eventuell vorhandenen regionalen Geodaten basieren (vgl. *Factsheets der kulturellen ÖSL*, ab Seite 105, Abschnitt: *Erweiterungsmöglichkeiten*).

### Berechnung der Bereitstellungsindikatoren kultureller ÖSL im RESI

#### Landschaftsbild (LaBi)

Die Berechnung des LaBi im RESI erfolgt nach der Methode von Hermes et al. (2018). Dies ist die erste Methode, die auf Grundlage einer Literaturobwohl das Landschaftsbild mit einem intersubjektiven Ansatz für die gesamte Fläche Deutschlands mit räumlichen Daten in einem GIS bewertet (s. *Factsheet: Landschaftsbild*, ab Seite 104). Das Landschaftsbild wird über die drei Charakteristika Vielfalt, Eigenart und Natürlichkeit bewertet, deren Generierung in Hermes et al. (2018) detailliert dargestellt ist.

#### Natur- und Kulturerbe (NKE)

Die Basisvariablen Anzahl an Punkten, Linien und Flächen mit Bedeutung für das NKE wurden für die Quantifizierung der Bereitstellung entwickelt (Thiele et al. 2018). Ein möglicher Nutzen der kulturellen ÖSL NKE ist eine spirituelle Bereicherung oder die durch historische Merkmale hervorgerufene Identifikation mit und Identität durch die Reflexion und Interaktion mit einer Landschaft und ihrer historischen Prägung, aber auch eine ästhetische Erfahrung. Der Indikator ist deswegen als Ergänzung zu der Bewertung des LaBis zu interpretieren, da die bewerteten Elemente ebenso die Eigenart einer Landschaft und somit ihr Landschaftsbild beeinflussen. Das Basis-DLM liefert die Eingangsdaten für die Berechnung der drei Ba-

sisvariablen (s. *Factsheets: Natur- und Kulturerbe*, ab Seite 108).

Die Polygone der Basisvariable Flächen mit Bedeutung für das Natur- und Kulturerbe ( $FNKE_{de}$ ) erhalten für die Quantifizierung ein neues Feld mit dem Wert 1. Sie werden über dieses Wertefeld in Raster umgewandelt, um sie anschließend zu überlagern, wobei die Anzahl der überlagerten Elemente berechnet wird. Die Quantifizierung dieser und der anderen Variablen werden mit einer Normalisierung abgeschlossen. Für die Berechnung der Basisvariable  $PNKE_{de}$  und  $LNKE_{de}$  wird dieses Vorgehen wiederholt, jedoch werden hier die Raster aus Linien bzw. Punkten berechnet.

#### Unspezifische Interaktion mit der Flusslandschaft (UI)

Die Basisvariable Ufer- und Gewässer Verfügbarkeit ( $UGV_{de}$ ) setzt sich zusammen aus der Berechnung der Uferlänge je 100 m \* 100 m Raster und der Berechnung der Wasserfläche je Raster (s. *Factsheet: Unspezifische Interaktion mit der Flusslandschaft*, ab Seite 115). Beide Berechnungen werden normalisiert. Die beiden normalisierten Raster werden summiert und erneut zu der Variable  $UGV_{de}$  normalisiert. Das Landbedeckungsmodell (LBM-DE 2012) ist die Datengrundlage dieser Variable und der Basisvariable Erlebarkeit des Raums ( $EdR_{de}$ ). Die Bewertung der Variable  $EdR_{de}$  basiert auf einer Einschätzung der Durchlässigkeit von Landnutzungsklassen, um eine Flusslandschaft erleben zu können. Bebaute Flächen werden bei dieser Bewertung nicht berücksichtigt. Den Landnutzungsklassen werden Werte zwischen 0-95 zugewiesen (vgl. Tabelle 6 in Thiele et al. 2018). Für die Berechnung der weiteren Basisvariable  $AÜS_{de}$  (Anzahl von überlagerten Schutzgebetskategorien) werden die Poly-

gone der Schutzgebietskategorien in Rasterzellen mit dem Wert 1 transformiert, überlagert und normalisiert (Thiele et al. 2018).

### Wasserbezogene Aktivitäten (WA)

Drei Basisvariablen wurden für eine bundesweit vergleichbare Quantifizierung der Bereitstellung von wasserbezogenen Aktivitäten konzipiert (s. *Factsheet: Wasserbezogene Aktivitäten*, ab Seite 122). Diese Basisvariablen können durch Erweiterungsvariablen ergänzt werden, wie beispielsweise Laufkrümmung oder Sichttiefe (vgl. Thiele et al. 2018). Für die Berechnung der Basisvariable Dichte von Sand und Sandbänken ( $DSB_{de}$ ) werden die entsprechenden Objekte aus dem Basis-DLM selektiert und in Raster transformiert. Die Dichte der Objekte wird in einem anschließenden Geoverarbeitungsschritt ermittelt. Eine Normalisierung schließt die Variablengenerierung ab. Die Basisvariable  $NMB_{de}$  (Mindestbreite für nichtmotorisiertes

Bootfahren) erforderte die Festsetzung der Mindestbreite. Befragte Experten schätzten fünf Meter als Mindestbreite für kleine Kajaks. Die Mindestbreite setzt sich zusammen aus der Möglichkeit das Boot zu drehen, mindestens aber das Paddel zu bewegen ohne das Ufer zu berühren (Thiele et al. 2018). Für die Berechnung werden somit diejenigen Fließgewässerabschnitte als Dateninput selektiert, die breiter als fünf Meter sind. Die Selektion der Gewässerabschnitte wird in ein Raster überführt und mit dem Wert 100 klassifiziert. Die Berechnung der Basisvariable  $MB_{de}$  (Mindestbreite für motorisiertes Bootfahren) erfolgt in Anlehnung an die Berechnung der Basisvariable  $NMB_{de}$ . Die Mindestbreite von 12 m (Expertenbefragung) ist zurückzuführen auf die Wellen- und Sogwirkung, die zwischen zwei fahrenden Booten entsteht, sowie einem ausreichenden Abstand zum Ufer, da hier oft Steinpackungen vorhanden sind (Abstand zum Ufer 2,5 m, Boot A 2,5 m, Abstand zwischen den Booten



© Julia Thiele

12 m, Boot B 2,5 m, Abstand zum Ufer 2,5 m) (Thiele et. al. 2018). Diese 12 m Mindestbreite bezieht sich auf ein kleines motorisiertes Boot mit einer Breite von 2,5 m und einer Länge von 6 m.

### 4.3 Wie können die Bewertungen der Ökosystemleistungen im RESI zusammengefasst werden?

Für die Zusammenfassung des integrativen RESI gibt es verschiedene Varianten, die je nach Fragestellung, gewünschtem geografischem oder fachlichem Detaillierungsgrad der Darstellung und der Zielgruppe gewählt werden können.

#### Variante A) RESI-Mittelwert

Der RESI-Mittelwert ( $RESI_{Mittel}$ ) gibt den Durchschnitt der Einzelbewertungen der einzelnen ÖSL an. Er fasst alle durchgeführten ÖSL-Bewertungen, z. B. für ein Fluss-Auen-Segment durch einfache, transparente Durchschnittsbildung zu einem einzigen Wert zwischen 1 und 5 zusammen. Dieser Wert kann wahlweise auch für eine Teilfläche eines Fluss-Auen-Segments oder andererseits auch für einen größeren Flussabschnitt angegeben werden.

Der  $RESI_{Mittel}$  führt somit die vorhandenen Informationen zu einem Mittelwert zusammen, die Interpretationsmöglichkeiten sind, jedoch eingeschränkt. Ein geringer  $RESI_{Mittel}$  weist auf geringe oder sehr einseitige Verfügbarkeit einzelner ÖSL hin, ein hoher auf mehrheitlich gut verfügbare ÖSL.

Allerdings treten sehr häufig mittlere Durchschnittswerte um 3 auf, was eine Darstellung erschwert. Diese können entweder durch überwiegend mäßige ÖSL (Wert 3)

oder durch einige hoch- und einige niedrig bewertete ÖSL bedingt sein, die sich gegenseitig zu einem mittleren Wert ausgleichen.

#### Variante B) RESI-Summenindex

Der RESI-Summenindex ( $RESI_{Summe}$ ) gibt die Summe der Einzelbewertungen der ÖSL an. Er muss zur korrekten Interpretation immer zusammen mit der Anzahl der bewerteten Einzel-ÖSL oder mit der dadurch bedingten möglichen RESI-Maximalsumme (= Anzahl der bewerteten ÖSL \* 5) angegeben werden. Der  $RESI_{Summe}$  ist ähnlich transparent wie der  $RESI_{Mittel}$ , enthält jedoch zusätzlich implizit die Information der Anzahl der bewerteten ÖSL, die – auch in Abhängigkeit von der Fragestellung der Studie – ein Qualitätskriterium der ÖSL-Bewertung darstellt.

#### Variante C) RESI-Multifunktionalitäts-Index

Der etwas komplexere RESI-Multifunktionalitätsindex ( $RESI_{MuFu}$ ) gibt als Quotient das Verhältnis der Bewertungspunkte gut und sehr gut verfügbarer ÖSL zu den Bewertungspunkten sehr gering bis mäßig verfügbarer ÖSL an. Er wird berechnet pro Fluss-Auen-Segment als die Anzahl der ÖSL, die einen Wert größer gleich 4 erhielten, geteilt durch die Anzahl der ÖSL, die mit kleiner gleich 3 bewertet wurden. Ist  $RESI_{MuFu}$  kleiner als 1, überwiegt die Anzahl der schlecht bewerteten ÖSL. Bei  $RESI_{MuFu}$  von 1 sind die Trade-offs ausgeglichen. Umso höher  $RESI_{MuFu}$ , desto höher die Multifunktionalität. Die Vorteile dieses Index liegen in der differenzierten Darstellung, die unabhängig von der Gesamtanzahl der ÖSL ist, und in der Tatsache, dass die Werte, die der  $RESI_{MuFu}$  annehmen kann, nach oben offen sind. Bei diesem Index wird - wie bei den vorigen - davon ausgegangen, dass alle ÖSL als gleich

gewichtet angesehen werden.

#### Variante D) Auenspezifitäts-Index

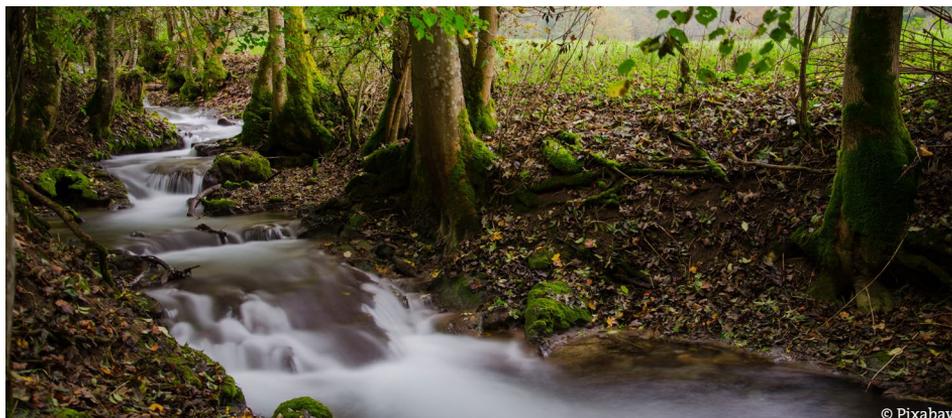
Der RESI-Auenspezifitätsindex ( $RESI_{AuSI}$ ) gibt das Verhältnis der Bewertungspunkte fluss- und auenspezifischer ÖSL zu den Bewertungspunkten nicht fluss- und auenspezifischer ÖSL an. Er ermöglicht somit eine Gewichtung oder Priorisierung bestimmter ÖSL, die außerhalb von Flusslandschaften nicht oder selten verfügbar sind.

Als fluss- und auenspezifischer ÖSL werden dabei innerhalb der RESI-Gesamtliste der ÖSL diejenigen aufgefasst, die außerhalb

von Flusslandschaften nicht oder kaum verfügbar sind. Hierzu werden gezählt 1) alle ÖSL, die innerhalb der *Wasserkörper* des Flusses, von Auengewässern und des Auen Grundwassers verfügbar sind, nämlich Trink- und Brauchwasser aus Oberflächen- und *Grundwasser*), Retention von N, P und von organischem C, Hoch- und Niedrigwasserregulation, Sedimentregulation und wasserbezogene Aktivitäten sowie 2) diejenigen ÖSL, die im terrestrischen Bereich in dieser Ausprägung fast nur in Auengebieten verfügbar sind, nämlich die Habitatbereitstellung (von Auenlebensräumen), Natur- und Kulturerbe sowie Bildung und Wissenschaft.

#### Kernaussagen:

- Der RESI-Fünf-Schritte-Ansatz hilft bei der effektiven Anwendung des RESI.
- Die Methoden zur Erfassung und Bewertung der ÖSL des RESI sind auf die Anwendung in Flüssen und ihren Auen optimiert, d. h. anhand der Relevanz von typischen Naturfunktionen, der Sensitivität der ÖSL gegenüber Eingriffen und der Datenverfügbarkeit in Auen angepasst worden.
- Für mehrere ÖSL wurden sowohl Übersichtsverfahren (angelehnt an bundesweit verfügbare Daten) sowie Detailverfahren entwickelt.
- Die Bewertungen der einzelnen ÖSL können für jedes Fluss-Auen-Segment in Polar-Diagrammen visualisiert und zum integrativen RESI zusammengefasst werden.
- Für die Zusammenführung der Einzelbewertungen gibt es mehrere RESI-Varianten, die je nach Kontext und Zielgruppe gewählt werden können.



© Pixabay

# 5 Die Anwendung des RESI in der Praxis

5.1 Wie kann der RESI eingesetzt werden?

5.2 Detaillierte Anwendung des RESI am Fallbeispiel Donau

5.3 Detaillierte Anwendung des RESI am Fallbeispiel Nahe

5.4 Fallbeispiel Nebel

5.5 Fallbeispiel Wupper

5.6 Erfahrungen aus der Arbeit mit dem RESI

*In diesem Kapitel wird die Anwendung des RESI vorgestellt. Dabei werden die Fallbeispiele Donau und Nahe im Detail erläutert sowie kurz ein Einblick in die Fallstudien Nebel und Wupper gegeben. Die Kapiteleinteilung folgt den in Kapitel 4.1 vorgestellten Schritten.*



## 5.1 Wie kann der RESI eingesetzt werden?

Der River Ecosystem Service Index (RESI) kann auf verschiedenen Ebenen der Landesplanung, Wasserwirtschaft und des Naturschutzes als Instrument zur Entscheidungsunterstützung und/oder zur Kommunikation von Entscheidungen eingesetzt werden.

### RESI als Instrument für planerische Entscheidungen

Durch die Anwendung des RESI werden verschiedenste Datenbestände aufbereitet und zusammengeführt und können so in Entscheidungsprozessen genutzt werden. Dabei können Szenarien auch unter der Prämisse der Förderung einer bestimmten *Ökosystemleistung (ÖSL)* oder Gruppe von ÖSL analysiert werden, beispielsweise ein Vergleich der Effekte verschiedener Renaturierungsmaßnahmen auf ÖSL.

In der Vorbereitung von Raumordnungsverfahren oder Planfeststellungsverfahren kann der RESI genutzt werden, um die Effekte von *Maßnahmen* bzw. Maßnahmenkombinationen auf die ÖSL abzuschätzen. Beispielsweise wurden im Rahmen der Erarbeitung des Projekts RESI im Donauabschnitt zwischen

Neu-Ulm und Donauwörth im Kontext des Hochwasserschutz-Aktionsprogramms des Wasserwirtschaftsamts Donauwörth (WWA DON) verschiedene *Planungszustände* verglichen. Dabei stellte sich heraus, dass sich die Wirkungen auf die ÖSL erheblich unterscheiden. Der RESI wurde in diesem Fall zur Vorhersage der Auswirkungen wasserwirtschaftlicher Maßnahmen eingesetzt (s. Kapitel 5.2). Weitere Maßnahmen und Anwendungsbeispiele sind in *Tabelle 5-1* (s. Seite 137) zusammengefasst.

### RESI als Kommunikationsinstrument

Die Ergebnisse des RESI können zur Information der Öffentlichkeit beitragen, um den gesellschaftlichen Stellenwert von ÖSL zu erhöhen. Durch offengelegte, relativ einfach gehaltene Bewertungsalgorithmen und die Visualisierungen der Auswirkungen von Maßnahmen (z. B. *Renaturierung*) kann einerseits der Entscheidungsprozess (z. B. Abwägung von zwei Varianten) transparent gemacht werden, und andererseits stellt der RESI anschauliche Argumente bereit zur Erarbeitung und Darstellung von Win-win-Situationen (z. B. Erhöhung kultureller ÖSL als Nebeneffekt), die die Akzeptanz von Maßnahmen durch die *Akteur\*innen* erhöhen können.



**Tabelle 5-1: Beispiele für wasserwirtschaftliche und naturschutzfachliche Maßnahmen, bei denen der RESI als Planungs- und Kommunikationshilfe sowie zur Entscheidungsunterstützung eingesetzt werden kann.**

Maßnahme	Anwendungsbeispiel
Deichrückverlegungen	Durch Deichrückverlegungen kommt es zu Deichtrassenverlagerungen und oftmals zu Landnutzungsänderungen im Deichrückverlegungsraum. Letztere sowie veränderte Überflutungsbedingungen haben Einfluss auf diverse ÖSL. Umfangreiche Initiativen zu Deichrückverlegungen wurden bereits in den 1990er Jahren an der Elbe geplant und mittlerweile sind auch erste Vorhaben umgesetzt.
Flutpolder gesteuert/ungesteuert	Eingedeichte Rückhalteräume ( <i>Flutpolder</i> ) können bei extremen Hochwasserereignissen gezielt geflutet werden. Zwischen Neu-Ulm und Donauwörth sind im Rahmen des Hochwasserschutz-Aktionsprogramms der Bayerischen Wasserwirtschaft drei gesteuerte Rückhalteflächen sowie sechs ungesteuerte Rückhalteräume in Konzeption (s. <i>Kapitel 5.2</i> ).
Auenrenaturierung	Auenrenaturierungen beinhalten die Herstellung der Durchgängigkeit, Habitatverbesserungen und Initiierung einer eigendynamischen Entwicklung des Gewässerlaufs und der Uferstrukturen. An der Nebel in Mecklenburg-Vorpommern wurden seit 1990 umfangreiche Renaturierungsmaßnahmen durchgeführt. Durch den Vergleich zwischen 1990 und 2016 konnte über die ÖSL-Erfassung ein erhöhter Nutzen für die Gesellschaft aufgezeigt werden (vgl. <i>Kapitel 5.4</i> ). Innerhalb des Projekts Donauwald zwischen Neu-Ulm und Donauwörth sind Uferdynamisierungen/Uferrückbau an 14 Stellen geplant.
Landnutzungsänderung	Für eine nachhaltige Landnutzung sind in Gebieten mit Deichrückverlegungen, veränderter Überflutungshäufigkeit oder der Umsetzung von Gewässerentwicklungskorridoren sind Änderungen der bisherigen Nutzung notwendig. Im Falle der Nahe wurde im Entwicklungskorridor eine naturnähere Nutzung angenommen (vgl. <i>Kapitel 5.3</i> ). Auch die Einrichtung von Hochwasserrückhalteräumen (vgl. z. B. <i>Kapitel 5.2</i> ) kann zur Überführung intensiver Landnutzung in extensivere Nutzung nach sich ziehen.
Maßnahmen gegen Sohlerosion	Der Uferverbau schränkt den natürlichen Verlauf der Nahe vor allem in Siedlungsgebieten stark ein. Die Modellierung der potentiell natürlichen Gewässerbreiten des Landesamts für Umwelt (LfU) Rheinland-Pfalz an der Nahe ermöglicht einen Vergleich der heutigen Situation mit einem umfangreichen Renaturierungs-Szenario innerhalb von Rheinland-Pfalz. Bei einer Verbreiterung würde sich die Fließtiefe zwangsläufig verringern, was die Abschätzung der Veränderung der Retention erlaubt (s. <i>Kapitel 5.3</i> ).
Geschiebegleichgewicht	Bei einer Verbreiterung des Flusses und Ausweisung eines Entwicklungskorridors würden sich viele ÖSL zwangsläufig verändern (s. <i>Kapitel 5.3</i> ).

## 5.2 Detaillierte Anwendung des RESI am Fallbeispiel Donau

5.2.1 Bewertungskontext

5.2.2 Betrachtete Ökosystemleistungen

5.2.3 Bewertung

5.2.4 Darstellung

5.2.5 Implementierung



### 5.2.1 Bewertungskontext

Aufgrund umfangreicher aktueller Planungen wasserwirtschaftlicher Maßnahmen wurde der Donauabschnitt von der Iller- bis zur Lechmündung als Modellregion ausgewählt. Dieser erstreckt sich von Neu-Ulm bis unterhalb Donauwörth (ca. 80 km Fließstrecke). Innerhalb des Gebietes befinden sich neun Staufufen, die jeweils beidseitig mit einem Stauhaltungsdamm von ca. 2,5 bis 5 km Länge versehen sind. Über 60 % der ursprünglichen bis zu 10 km breiten *morphologischen Aue* sind dadurch vom *Fluss* getrennt und damit zur *Altaue* geworden.

Südlich der Donau befindet sich ein großflächiger *Hochwasser-Retentionsraum*, der „Riedstrom“. Dieser springt ab einem etwa zweijährlichen *Hochwasser* an und fließt in einem dynamischen Wechsel bis Donauwörth. Die *Altaue* wird größtenteils landwirtschaftlich genutzt (46 % Acker, 22 % Grünland), während die *rezente Aue* noch größere Waldbereiche (29 %) enthält. Der Hochwasserschutz ist derzeit nicht überall

auf einem HQ 100-Schutzniveau (plus 15 % Klimazuschlag) und teilweise nicht auf dem Stand der Technik.

Aus diesem Grund wurde in Zusammenarbeit mit dem WWA DON das im Hochwasserschutz Aktionsprogramm "Schwäbische Donau" integrierte Rückhalte-Projekt als Fallbeispiel herangezogen, mit dem RESI verglichen und zur Entscheidungsunterstützung visualisiert. Durch die Anwendung des RESI konnten die Auswirkungen der verschiedenen Rückhalteräume auf die ÖSL im Vergleich zum derzeitigen *Bezugszustand* dargestellt werden. Gemäß aktuellem Planungsstand wurden Annahmen zu den gesteuerten und ungesteuerten Rückhalteräumen getroffen: kleinere Fläche mit *ökologischen Flutungen* oder größere, nur selten geflutete Fläche.

Zur Bewertung der Optionen wurden insgesamt neun Rückhalteräume in zwei Varianten der Flächenausdehnung betrachtet. Während im Planungszustand 2 die komplette Fläche einbezogen wird, sind im Pla-

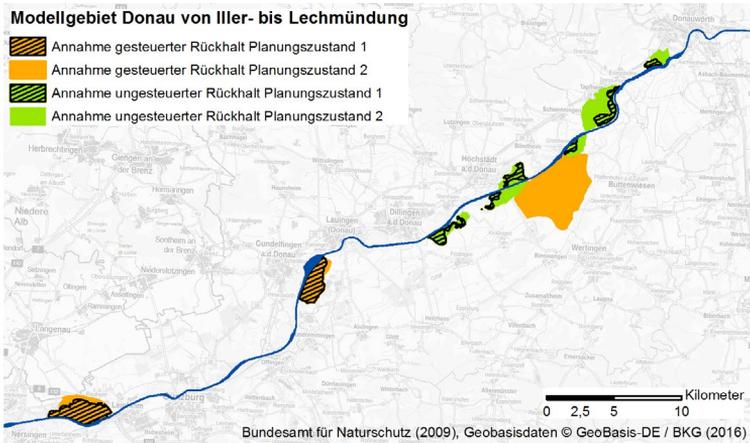


Abbildung 5-1: Übersichtskarte der Modellregion Donau. Annahmen zu den gesteuerten (orange) und ungesteuerten (grün) Rückhalteräumen (Planungszustand 1 schraffiert und 2 nicht schraffiert) im Hochwasserschutz-Aktionsprogramm.

nungszustand 1 die landwirtschaftlichen Flächen ausgenommen, da dort ohne Landnutzungsänderungen ökologische Flutungen naturschutzfachlich nicht sinnvoll sind. Für beide Planungszustände gibt es dabei gesteuerte und ungesteuerte Rückhalteräume (Abbildung 5-1).

### Annahmen Planungszustand 1

Sechs ungesteuerte Rückhalteräume (ca. 500 ha) und zwei gesteuerte Rückhalteräume (ca. 875 ha): Ökologische Flutungen von (überwiegend) Wald- und Wasserflächen mehrmals im Jahr (ab HQ 0,3); neue Deichlinie erforderlich zum Schutz der angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen und Bebauungen für alle ungesteuerten Rückhalteräume und für zwei der drei gesteuerten Rückhalteräume aufgrund der dort vorhandenen landwirtschaftlichen Nutzung, die eine Flutung ausschließt.

### Annahmen Planungszustand 2

Vier ungesteuerte Rückhalteräume (ca. 1030 ha) und drei gesteuerte Rückhalteräume (ca. 2830 ha) mit seltenen Flutungen (ungesteuert ab HQ 50, gesteuert ab HQ extrem) im Hochwasserfall, aber keine ökologischen Flutungen; neue Deichlinie erforderlich zum Schutz der angrenzenden Bebauungen für alle gesteuerten Rückhalteräume und vier der sechs ungesteuerten Rückhalteräume, von denen zwei bereits jetzt im Riedstrom liegen.

#### 5.2.2 Betrachtete Ökosystemleistungen

Für die Modellregion Donau wurden insgesamt 13 verschiedene ÖSL betrachtet (s. Tabelle 5-2).

Aufgrund des erhöhten Aufwands bei erstmaliger Berechnung bestimmter ÖSL und angesichts der begrenzten Projektkapazitäten konnten nicht alle im Bearbeitungsraum verfügbaren ÖSL bearbeitet werden. Die Auswahl deckt jedoch die wichtigsten ÖSL aus verschiedenen Bereichen ab, von denen zu erwarten ist, dass sie durch die wasserwirtschaftlichen Planungen verändert werden.

Die Auswirkungen der Maßnahmen auf die ÖSL Hochwasserregulation bilden den Anlass der Untersuchung, während die Auswirkungen auf die Habitatbereitstellung, nicht nur aufgrund gesetzlicher Vorgaben, sondern auch wegen der hohen Bedeutung des Gebiets für den Naturschutz, zu prüfen sind. Darüber hinaus wurden Auswirkungen auf die *genutzte* ÖSL Kulturpflanzen erwartet. Die ÖSL pflanzliche Biomasse für den Einsatz in der Landwirtschaft spielt allerdings in der Modellregion kaum eine Rolle, da Grünland nur auf 22 % der Aue und kaum in den ge-

Tabelle 5-2: Übersicht der im Fallbeispiel Donau bewerteten ÖSL.

KP	Kulturpflanzen
N-Ret	N-Retention
P-Ret	P-Retention
HW	Hochwasserregulation
NW	Niedrigwasserregulation
SR	Sedimentregulation
BB	Bodenbildung
KW	Kühlwirkung
Hab	Habitatbereitstellung
LaBi	Landschaftsbild
NKE	Natur- & Kulturerbe
UI	Unspezifische Interaktion
WA	Wasserbezogene Aktivitäten

planten Retentionsräumen vorhanden ist – sie wurde daher nicht näher betrachtet. Die bearbeiteten regulativen ÖSL (N-Ret, P-Ret, NW, SR, BB, KW) sind relevante Nebenzielgrößen. Kulturelle ÖSL werden direkt von der Bevölkerung wahrgenommen und sind daher relevant, um die Gesamtwirkung der Planungszustände darstellen zu können. Dabei stellt der Fahrradtourismus entlang der Donau eine wichtige touristische Einnahmequelle der Region dar.

### 5.2.3 Bewertung

Landesweite Daten in unterschiedlicher Auflösung wurden vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) zur Verfügung gestellt. Weitere lokale Daten brachte das WWA DON ein.

Aufgrund der guten Datenverfügbarkeit konnten alle ÖSL im höchstmöglichen Detaillierungsgrad berechnet werden, d. h. versorgende und kulturelle ÖSL sowie Habitatbereitstellung auf *Fluss-Auen-Kompartiment-Ebene*, die regulativen ÖSL auf *Fluss-Auen-Segment-Ebene*. Die ÖSL Habitatbereitstellung, Natur- und Kulturerbe, unspezifische Interaktion mit der Flusslandschaft und wasserbezogene Aktivitäten wurden jeweils mit einem Detailansatz berechnet.

Als Grundlage für eine detaillierte Bewertung der Planungszustände für die Maßnahmengebiete wurde der ÖSL-Bezugszustand für alle Fluss-Auen-Segmente in dem 80 km langen Abschnitt berechnet. Die Planungsumrisse für die gesteuerten Rückhalteräume stellte das WWA DON (Stand: Oktober 2017) zur Verfügung. Die Flächen für die ungesteuerten Rückhalteräume/Deichrückverlegungen wurden aufgrund des noch frühen Planungsstadiums vom Aueninstitut Neuburg

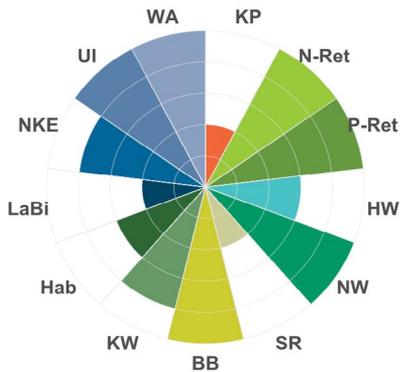
in Absprache mit dem WWA DON für diese vorgezogene Untersuchung abgegrenzt (Stand: Oktober 2017).

Für beide Planungszustände sind keine Änderungen in der Landnutzung beschrieben, daher ließen sich durchaus mögliche Änderungen in Bezug auf die ÖSL Kühlwirkung oder die kulturellen ÖSL nicht abbilden. Solche anzunehmenden Änderungen wurden, soweit möglich, textlich in qualitativer Weise beschrieben.

### 5.2.4 Darstellung

Zur Synthese der Einzelbewertungen der ÖSL wurden diese über flächengewichtete Mittelwerte auf Fluss-Auen-Segment-Ebene zusammengefasst. Aufgrund der einheitlichen Bewertungsstufen 1 bis 5 können alle ÖSL auf einfache Weise zusammengeführt werden, was eine integrierte Darstellung für den Bezugszustand, den Planungszustand 1 sowie den Planungszustand 2 ermöglicht.

Für alle Segmente, in denen Maßnahmen vorgesehen sind, wurden die Bewertungen der 13 ÖSL mittels Polargrafiken zur Übersicht visualisiert (*Abbildung 5-2, Seite 142*). Für die Planungszustände wurden jeweils nur diejenigen dargestellt, in denen es Änderungen zum Bezugszustand gibt. Anhand der Zusammensetzung der „ÖSL-Strahlen“ in den jeweiligen Segmenten können in dieser Darstellung Wechselwirkungen (Trade-offs und Synergien) zwischen den einzelnen ÖSL abgelesen werden. Außerdem wurde auch die Gesamtsumme aller 13 ÖSL berechnet ( $RESI_{\text{Summe}}$ ), die in der Praxis unter dem maximal möglichen Wert von 65 ( $13 \text{ ÖSL} * 5$ ) liegt. Im Bezugszustand für den Donauabschnitt unterscheiden sich die einzelnen Fluss-Auen-Segmente bereits teilweise erheblich hinsichtlich  $RESI_{\text{Summe}}$  der verfügbaren ÖSL.



**Abbildung 5-2: Polargrafik mit den Bewertungen (min = 1 bis max = 5) von 13 ÖSL für das Fluss-Auen-Segment DON-303000 (Donau).** Die  $RESI_{Summe}$  beträgt hier 50 (der höchste Wert im Untersuchungsgebiet), bei einem  $RESI_{Mittel}$  von 3,9 für alle ÖSL (Abkürzungen s. Tabelle 5-2).

Es zeigen sich Wechselwirkungen zwischen den ÖSL, da diese z. B. räumlich in direkter Konkurrenz stehen oder auf den gleichen Treiber reagieren. Im Donausegment zwischen Lauingen und Dillingen (DON-303000, *Abbildung 5-2*) wird der höchste Wert im Untersuchungsgebiet erreicht mit  $RESI_{Summe} = 50$  (entsprechend  $RESI_{Mittel} = 3,9$ ).

### 5.2.5 Implementierung

#### Ergebnisdikussion Bezugszustand

Für den Bezugszustand (s. *Abbildung 5-3, Seite 143*) wurden für den gesamten Donauabschnitt folgende Bandbreiten von ÖSL-Einzelbewertungen auf Segmentebene erreicht: 1-5 für P-Retention, Niedrigwasserregulation, Bodenbildung und Habitatbereitstellung, 1-4 für Kulturpflanzen, Landschaftsbild und Natur- und Kulturerbe, 2-5 für unspezifische Interaktion mit der Flusslandschaft und wasserbezogene Aktivitäten, 3-5 für N-Retention sowie 1-3 für Hochwasserregulation. Während die Bewertungen der Kulturpflanzen, der Habitat-

bereitstellung und der kulturellen ÖSL sehr heterogen über das Gebiet verteilt sind, wurde die Hochwasserregulation in längeren Abschnitten relativ einheitlich in insgesamt nur drei Stufen bewertet. Eine sehr homogene Bewertung über das gesamte Gebiet hinweg zeigen N- und P-Retention, Sedimentregulation und Kühlwirkung.

#### Ergebnisdiskussion Planungszustand 1

Für den Planungszustand 1 (s. *Abbildung 5-6, Seite 147*) ergeben sich Änderungen des RESI für sechs Segmente, die von einer Verbesserung von +1 bis +9 reichen. In den übrigen Segmenten veränderten sich die ÖSL nicht. Die häufigen Flutungen werden somit vor allem in den größeren gesteuerten Rückhalteräumen als positiv bewertet. Dabei verändert sich die Bewertung für die Kulturpflanzen, Niedrigwasserregulation, Sedimentregulation, Kühlwirkung und die kulturellen ÖSL (aufgrund der fehlenden Modellierungen) nicht, während es für die Habitatbereitstellung, die N- und P-Retention sowie die Hochwasserregulation und die Bodenbildung infolge der häufigeren Flutungen teilweise zu einem Anstieg der Werte kommt. Allerdings haben diese Verbesserungen auf den kleineren ungesteuerten Rückhalteflächen oftmals nur einen geringen oder gar keinen Einfluss auf den Gesamtwert der ÖSL pro Segment.

Die ökologischen Flutungen der gesteuerten Rückhalteräume Leipheim und Helmeringen zeigen aber deutlich positive Effekte, z. B. bei Leipheim (DON-327000 bis 331000) parallele Verbesserungen in den ÖSL Habitatbereitstellung, N- und P-Retention, Bodenbildung und Hochwasserregulation (vgl. *Abbildung 5-4, Seite 144, Tabelle 5-3, Seite 145*). Für zwei Segmente (DON-328000, DON-329000) werden in diesem Planungszustand neue

Bezugszustand

KP	Kulturpflanzen
N-Ret	N-Retention
P-Ret	P-Retention
HW	Hochwasserreg.
NW	Niedrigwasserreg.
SR	Sedimentreg.
BB	Bodenbildung
KW	Kühlwirkung
Hab	Habitatbereitstellung
LaBi	Landschaftsbild
NKE	Natur- & Kulturerbe
UI	Unspez. Interaktion
WA	Wasserbez. Aktivitäten

Summe der ÖSL

31 - 35
36 - 40
41 - 45
46 - 50

0 5 10 km

Bundesamt für Naturschutz (2009)  
©GeoBasis-DE / BKG (2016)  
Podschun und Hornung

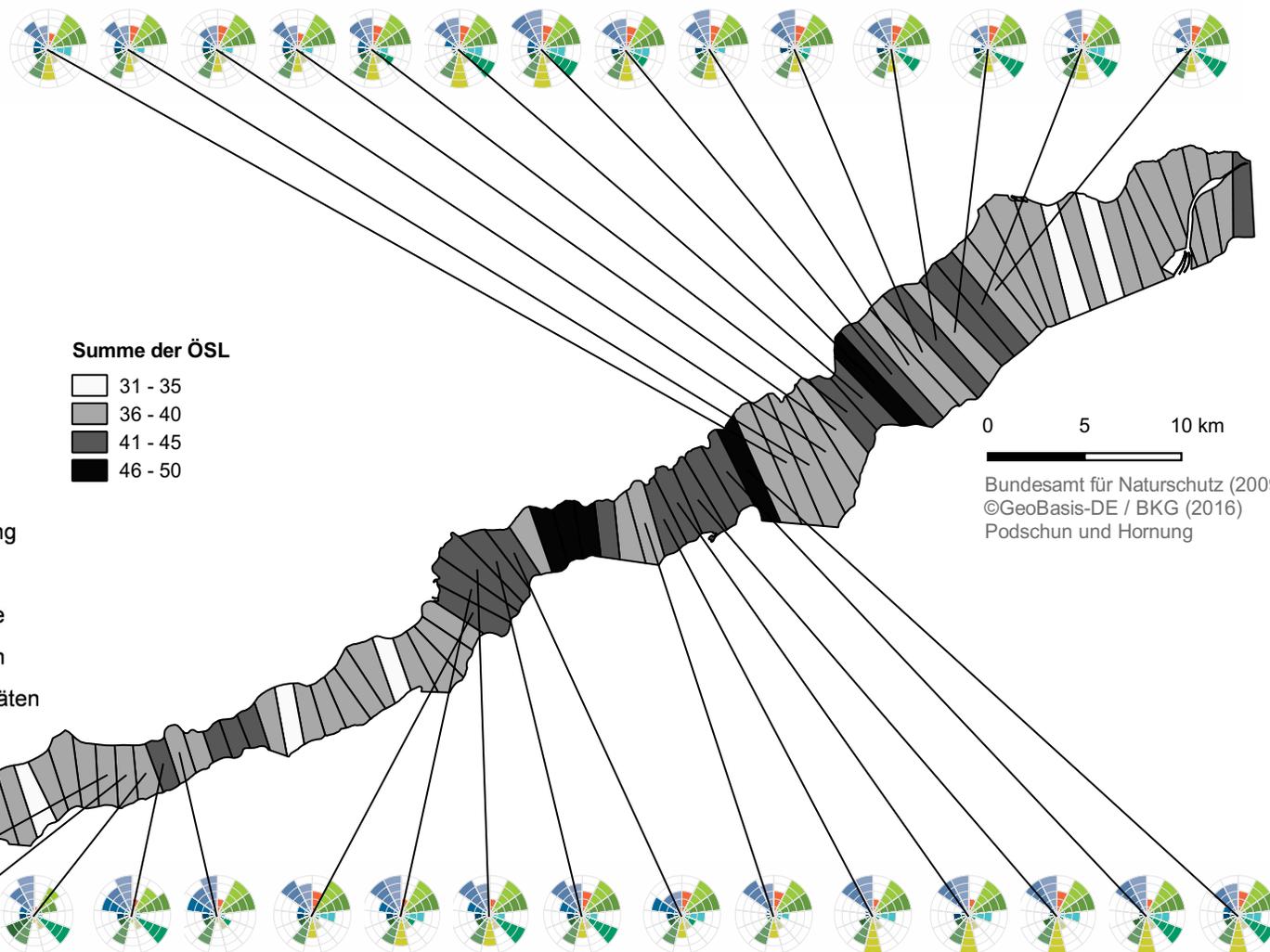


Abbildung 5-3: Bewertung von 13 ÖSL für den gesamten untersuchten Donauabschnitt (80 km) im derzeitigen Bezugszustand. Die Breite der Fluss-Auen-Segmente entspricht der Breite der Flussaue (einschl. Altaue), ihr Grauton entspricht der Gesamtsumme der ÖSL (RESI<sub>summe</sub>). Die Polargrafiken zeigen die Ausprägung der individuellen ÖSL in jedem Fluss-Auen-Segment.

Höchstwerte von  $RESI_{\text{summe}}$  erreicht (Abbildung 5-6, Seite 147, schwarze Segmente).

Neben einer Steigerung der Hochwasserregulation verbessern häufige Flutungen die Bodenbildung und es können sich autotypischere *Biotope* entwickeln, was sich in der Steigerung der Habitatbereitstellung widerspiegelt. Eine Zunahme der Vielfalt des Artenspektrums hätte ebenfalls einen positiven Einfluss auf die kulturelle ÖSL unspezifische Interaktion mit der Flusslandschaft, der hier aber aus methodischen Gründen nicht in die Bewertung mit einbezogen werden konnte. Auch die Retentionsleistung für N und P steigt durch häufigere Flutungen weiter an, diese ist aber bereits im Bezugszustand auf einem sehr hohen Niveau. Nur

durch zusätzliche strukturelle Maßnahmen könnten hier weitere Verbesserungen in der Niedrigwasserregulation, Sedimentregulation und Kühlwirkung erreicht werden.

### Ergebnisdiskussion Planungszustand 2

Für den Planungszustand 2 (s. Abbildung 5-7, Seite 148) ergeben sich Änderungen des RESI für 16 Segmente, die von einer Verschlechterung um -2 bis hin zu einer Verbesserung um +2 gegenüber dem Bezugszustand reichen. Für zwei Segmente (DON-280000, 282000) kommt es nur zu einer Verschlechterung in Bezug auf die ÖSL Kulturpflanzen. Für die ÖSL Habitatbereitstellung kommt es teilweise im Bereich der gesteuerten Rückhalteräume zu einer Verschlechterung.

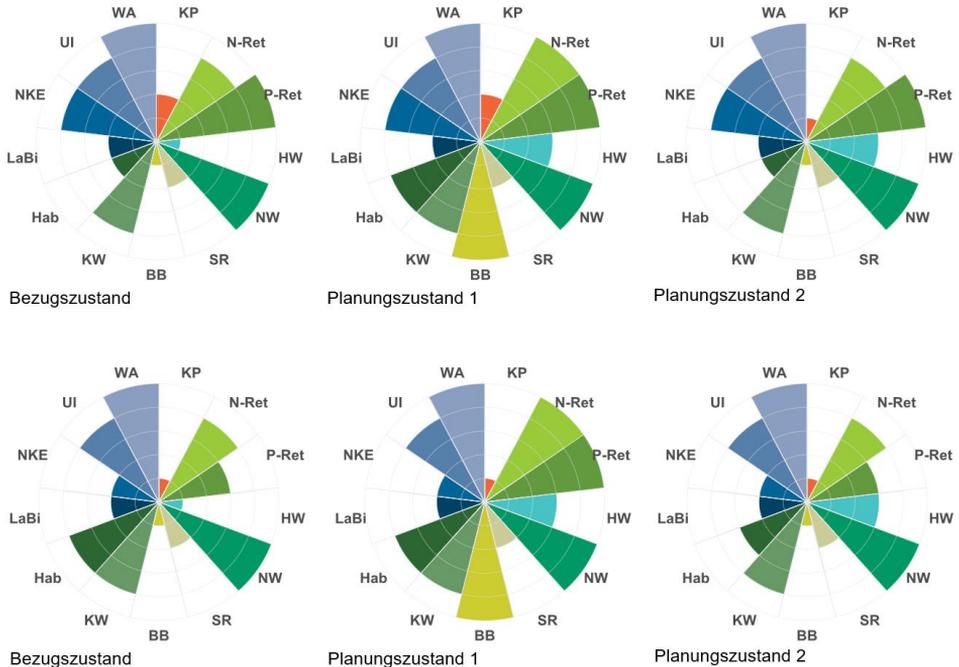
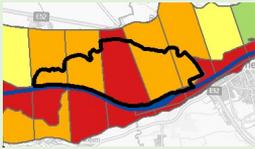


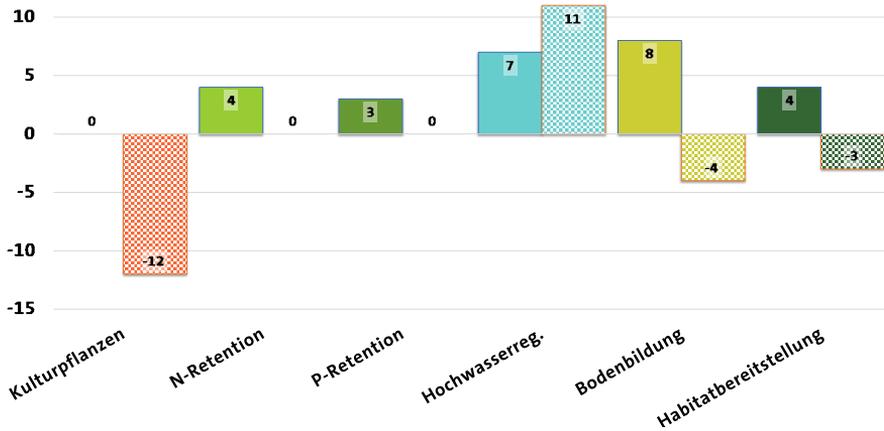
Abbildung 5-4: Übersicht über die Einzelbewertungen der ÖSL für drei Zustände (derzeitiger Bezugszustand, Planungszustand 1, Planungszustand 2) für zwei ausgewählte 1-km-Fluss-Auen-Segmente der Donauauen bei Leipheim. Oben: DON-328000; unten: DON-329000). Zur Erklärung der ÖSL-Abkürzungen und Farbcodierung s. Tabelle 5-2, Seite 140.

**Tabelle 5-3: Flächenspezifische Bewertung von drei ÖSL für drei Zustände (derzeitiger Bezugszustand, Planungszustand 1, Planungszustand 2) für einen 7 km langen Abschnitt der Donauauen bei Leipheim. Die Farbkodierung für den Bezugszustand bezieht sich auf die RESI-Skala (1: rot, 2: orange, 3: gelb, 4: grün), während für die Planungszustände nur die Differenzen zum Bezugszustand dargestellt sind (-1: orange, +1: gelb; +2: grün; keine Änderung: grau).**

ÖSL	Bezugszustand	Planungszustand 1	Planungszustand 2
<b>Kulturpflanzen</b>	Im Bezugszustand haben Ackerflächen nur einen geringen Flächenanteil, der sich auch im Planungszustand 1 nicht ändert. Im Planungszustand 2 sind Verschlechterungen aufgrund der größeren betroffenen Fläche zu erwarten, die allerdings lediglich temporär im (extrem seltenen) Hochwasserfall beeinträchtigt werden.		
<b>Hochwasserregulation</b>	Die rezente Aue weist infolge von Abweichungen nur eine geringe Kapazität zur Hochwasserregulation auf. In beiden Planungszuständen wird eine Verbesserung um bis zu +2 erreicht aufgrund der höheren Überflutungshäufigkeit (HQ 0,3) bzw. des größeren Rückhaltevolumens.		
<b>Habitatbereitstellung</b>	Die bisher mäßige Habitatbereitstellung würde im Planungszustand 1 durch häufige ökologische Flutungen der Rückhalteräume verbessert, was im Wesentlichen auf die angenommene Entwicklung hin zu einer auentypischeren Biotopausstattung zurückzuführen ist. Im Planungszustand 2 (Flutung nur im Extremfall) verändern sich die Biotoptypen nicht, die aber durch die Überflutungen selten aber dann stark beeinträchtigt würden.		

Gleichzeitig gibt es auch Segmente mit rein positiven Einflüssen des Planungszustands 2 (DON-277000, DON-327000) auf die ÖSL, v. a. auf die ÖSL Hochwasserregulation. Neben diesen eindeutigen Tendenzen gibt es für den Planungszustand 2 insgesamt acht Segmente, in denen sich sowohl negative als auch positive Effekte zeigen (Abbildung 5-7, Seite 148, weiße Punkte). Im Bereich Leipheim (DON-328000 bis 330000, Tabelle 5-3) zeigen sich Verschlechterungen der ÖSL Habitatbereitstellung und der ÖSL Kul-

turpflanzen parallel zu einer deutlichen Verbesserung der Hochwasserregulation und der Bodenbildung. Im Bereich Neugeschüttwörth (DON-287000 bis 290000) zeigten sich Verschlechterungen der Kulturpflanzen und der Bodenbildung bei gleichzeitiger Verbesserung der Hochwasserregulation. Die Bewertung der Sedimentregulation, Niedrigwasserregulation, Kühlwirkung und der N- und P-Retention ändert sich aufgrund der nur seltenen Flutung nicht.



**Abbildung 5-5: Summe der ÖSL-Veränderungen im Planungszustand 1 und 2 der Donau für alle betrachteten Fluss-Au-Segmente.** Die voll gefärbten Balken (jeweils links) stellen die Werte für den Planungszustand 1 dar, Balken mit kariertem Färbung (jeweils rechts) den Planungszustand 2.

Generell sind die sehr viel größeren Flächen im Planungszustand 2 als positiv einzuschätzen, und insbesondere im Fall der ÖSL Hochwasserregulation deutlich wirksamer. Allerdings lassen die sehr seltenen Flutungen keine Anpassung von *Biotoptypen* erwarten, was sich (ebenfalls auf großer Fläche) negativ auf die Habitatbereitstellung auswirkt.

### Fazit

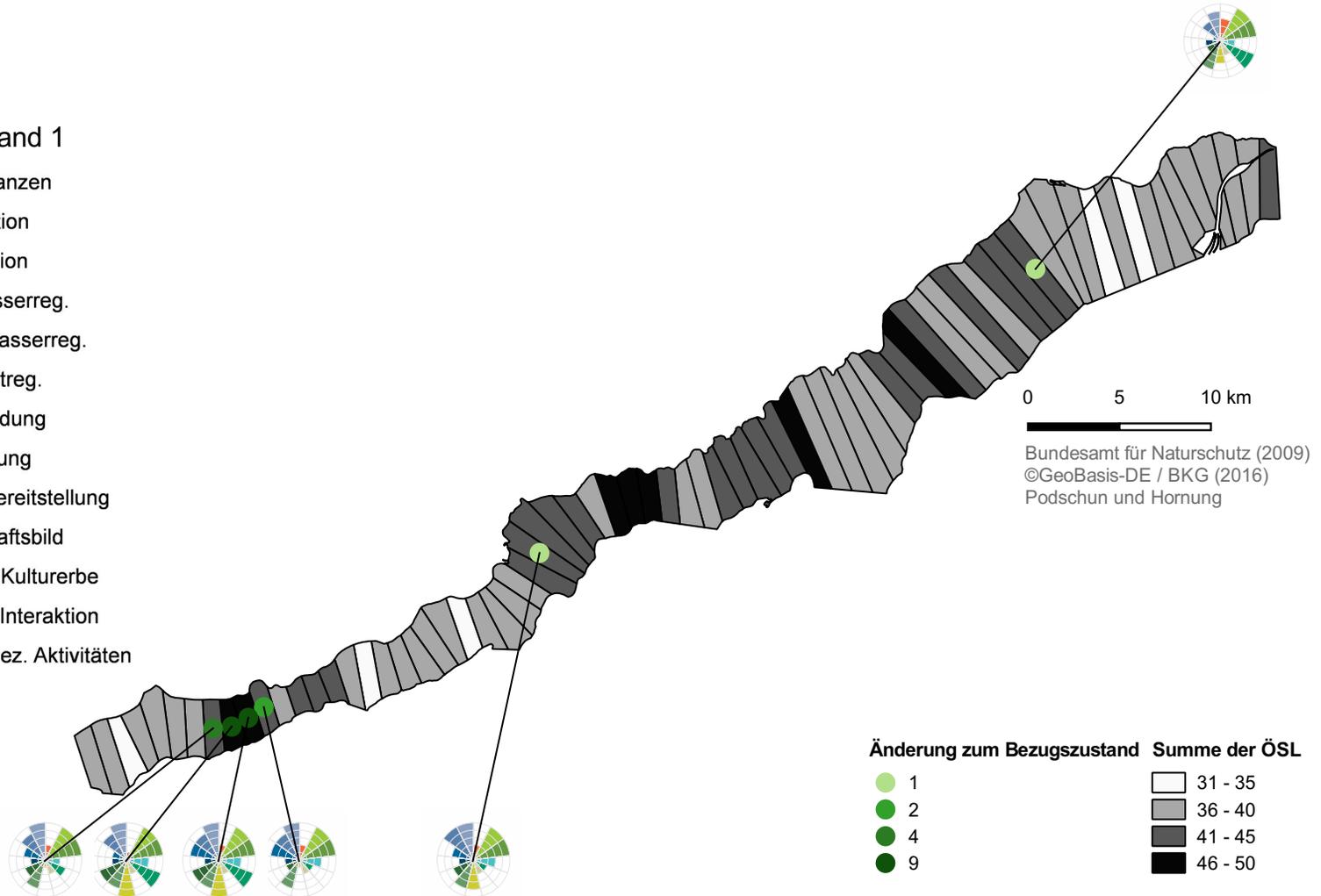
Im Planungszustand 1 verändern sich die Bewertungen vieler ÖSL positiv. Im Planungszustand 2 kommt es zu einer noch höheren Verbesserung der ÖSL Hochwasserregulation, jedoch zu Verschlechterungen bei den ÖSL Kulturpflanzen, Habitatbereitstellung und der Bodenbildung. Die regulativen ÖSL N- und P-Retention verändern sich im Planungszustand 2 gegenüber dem Bezugszustand nicht (s. *Abbildung 5-5*). Der Verbesserung der ÖSL Hochwasserregulation würden somit deutliche Verluste bei anderen ÖSL gegenüberstehen. Die RESI-Analyse zeigt

somit anschaulich, dass eine Steigerung der Hochwasserregulation entweder so gestaltet werden kann, dass es zu Synergien mit anderen ÖSL kommt, oder aber in einer Weise, die andere ÖSL deutlich beeinträchtigt.

Diese Informationen können im Entscheidungsprozess der laufenden Planungen zum Raumordnungsverfahren herangezogen werden, um Synergien zu fördern oder bewusst Prioritäten zu setzen. Es ist offensichtlich, dass eine Reihe von ÖSL (fast) ausschließlich in Auengebieten verfügbar sind, wie etwa natürliche Hochwasserregulation, Stickstoff und Phosphor-Retention sowie die Bereitstellung auentypischer *Habitats* und einigen kulturellen ÖSL (vgl. *Kapitel 4.3, Seite 134, Auenspezifitäts-Index*). Landschaftsplanerische Argumente sprechen daher dafür, diese gegenüber anderen ÖSL zu bevorzugen, die auch außerhalb der relativ kleinen Auengebiete zur Verfügung stehen.

Planungszustand 1

KP	Kulturpflanzen
N-Ret	N-Retention
P-Ret	P-Retention
HW	Hochwasserreg.
NW	Niedrigwasserreg.
SR	Sedimentreg.
BB	Bodenbildung
KW	Kühlwirkung
Hab	Habitatbereitstellung
LaBi	Landschaftsbild
NKE	Natur- & Kulturerbe
UI	Unspez. Interaktion
WA	Wasserbez. Aktivitäten

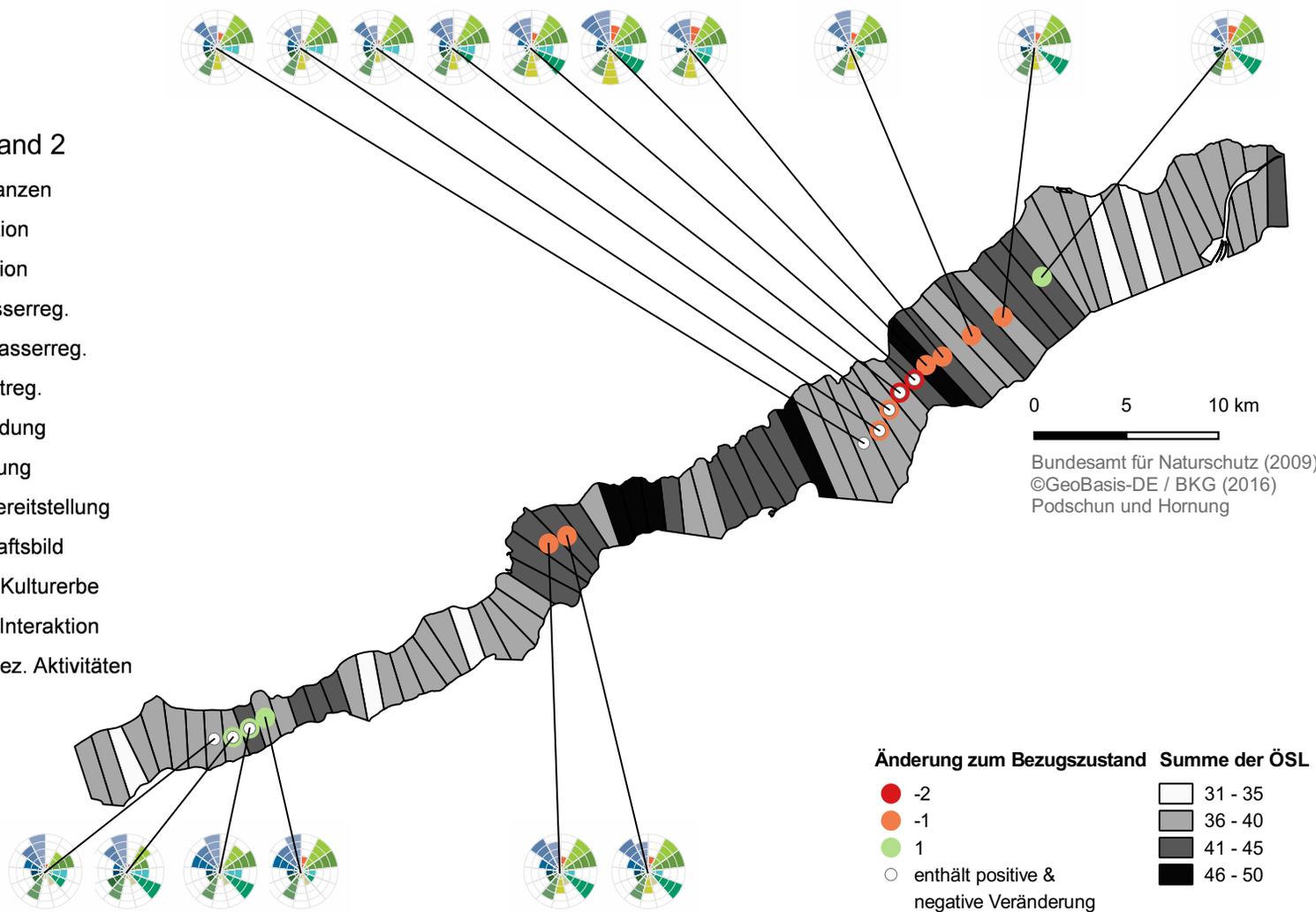


Bundesamt für Naturschutz (2009)  
©GeoBasis-DE / BKG (2016)  
Podschn und Hornung

**Abbildung 5-6: Bewertung von 13 ÖSL für den gesamten untersuchten Donauabschnitt (80 km) im Planungszustand 1.** Die Breite der Fluss-Auen-Segmente entspricht der Breite der Flussaue (einschl. Altaue), ihr Grauton entspricht der Gesamtsumme der ÖSL ( $RESi_{summe}$ ). Die Polargrafiken zeigen die Ausprägung der individuellen ÖSL in jedem Fluss-Auen-Segment. Die Differenz zwischen Bezugszustand und Planungszustand 1 wird über Punkte (siehe Legende) auf den Segmenten illustriert.

Planungszustand 2

- KP Kulturpflanzen
- N-Ret N-Retention
- P-Ret P-Retention
- HW Hochwasserreg.
- NW Niedrigwasserreg.
- SR Sedimentreg.
- BB Bodenbildung
- KW Kühlwirkung
- Hab Habitatbereitstellung
- LaBi Landschaftsbild
- NKE Natur- & Kulturerbe
- UI Unspez. Interaktion
- WA Wasserbez. Aktivitäten



Bundesamt für Naturschutz (2009)  
©GeoBasis-DE / BKG (2016)  
Podschun und Hornung



Abbildung 5-7: Bewertung von 13 ÖSL für den gesamten untersuchten Donauabschnitt (80 km) im Planungszustand 2. Die Breite der Fluss-Auen-Segmente entspricht der Breite der Flussaue (einschl. Altaue), ihr Grauton entspricht der Gesamtsumme der ÖSL (RESi<sub>Summe</sub>). Die Polargrafiken zeigen die Ausprägung der einzelnen ÖSL in jedem Fluss-Auen-Segment. Die Differenz zwischen Bezugszustand und Planungszustand 2 wird über Punkte (siehe Legende) auf den Segmenten illustriert.

## 5.3 Detaillierte Anwendung des RESI am Fallbeispiel Nahe

5.3.1 Bewertungskontext

5.3.2 Betrachtete Ökosystemleistungen

5.3.3 Bewertung

5.3.4 Darstellung

5.3.5 Implementierung



### 5.3.1 Bewertungskontext

Die Nahe ist ein Mittelgebirgsfluss mit einem *Einzugsgebiet* von 4.065 km<sup>2</sup> und etwa 120 km Fließstrecke, die großteils in Rheinland-Pfalz liegt. Die Nahe mündet bei Bingen in den Rhein. Bis 1968 blieb die Nahe weitgehend unverbaut und ist seither aber stark begradigt und ihre Ufer befestigt worden. Im Einzugsgebiet leben rund 635.000 Einwohner, schwerpunktmäßig in Kaiserslautern, Bad Kreuznach, Idar-Oberstein und Kirn. Im Projektgebiet wird das Einzugsgebiet der Nahe weitgehend ohne die Quellbereiche im Saarland betrachtet.

Das Einzugsgebiet der Nahe ist geprägt durch eine ackerbauliche Nutzung, teilweise mit größeren Anteilen an Grünland und Weinbau. Neben Einträgen aus der Landwirtschaft wird das gereinigte Abwasser von 120 kommunalen Kläranlagen in die Nahe eingeleitet. Die Durchgängigkeit wird von den vier Stauseen (zwei davon zur Wasserkraftgewinnung) und durch 16 kleinere Stauhaltungen beeinträchtigt. Die rezente Aue des Untersuchungsgebietes besteht zu 32 % aus Acker-, Siedlungs-, Verkehrs- und Gewerbeflächen, 43 % werden als Grünland bewirtschaftet, nur 15 % sind Wälder. Die Nutzungsverhältnisse der Altauen weisen mit knapp 69 % einen deutlich höheren Anteil an Acker-, Siedlungs-, Verkehrs- und Gewerbeflächen auf. Die Nahe ist im Winter/Frühjahr und nach starken Regenfällen schiffbar. Die Untersuchungsstrecke von ca. 60 km Länge beschränkt sich auf den unteren Nahe-Abschnitt zwischen Kirn bis zur Mündung bei Bingen (s. *Abbildung 5-8, Seite 151*).

Der ökologische Zustand von Fließgewässern gemäß *europäischer Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)* wird in Deutschland am

meisten durch hydromorphologische Veränderungen beeinträchtigt. Daher müssen diese renaturiert werden. Der benötigte Renaturierungsumfang, um das gegebene Ziel zu erreichen, ist hierbei oft unklar. Insbesondere die Inanspruchnahme zusätzlicher Flächen für breitere Gewässerläufe und Auen ist in der Praxis oft schwierig zu begründen und durchzusetzen.

Daher hat das Landesamt für Umwelt (LfU) Rheinland-Pfalz den Ansatz der typspezifischen Gewässerentwicklungsflächen entwickelt. Dieser Ansatz ermöglicht es, den Flächenbedarf bei der Renaturierung von Fließgewässern zu ermitteln, um diese in einen guten oder sehr *guten ökologischen Zustand* zu überführen. Dabei wird davon ausgegangen, dass Fließgewässer wieder ihre typspezifischen Werte für Gerinnebreite, Fließgefälle und Mäandrierungsgrad erreichen müssen. Auf diese Weise werden die auftretenden Sohlschubspannungen begrenzt und ein ausgeglichenes Sedimentbudget erreicht, das wiederum eine Voraussetzung für die typspezifische Ausprägung von Gewässer- und Auenlebensräumen darstellt.

Dies ist selbstverständlich nur möglich, wenn die Landnutzung der Gewässerentwicklungsflächen verändert werden kann. Die konkrete räumliche Verortung der Gewässerentwicklungsflächen ist im gewissen Maße flexibel, so dass diese unter Berücksichtigung von Zwangspunkten, anderen Nutzungen und auch finanziellen Aspekten etwas angepasst werden können. Hierbei kann die RESI-Analyse dazu beitragen abzuwägende Planungsalternativen zu visualisieren und somit die Entscheidungen unterstützen.

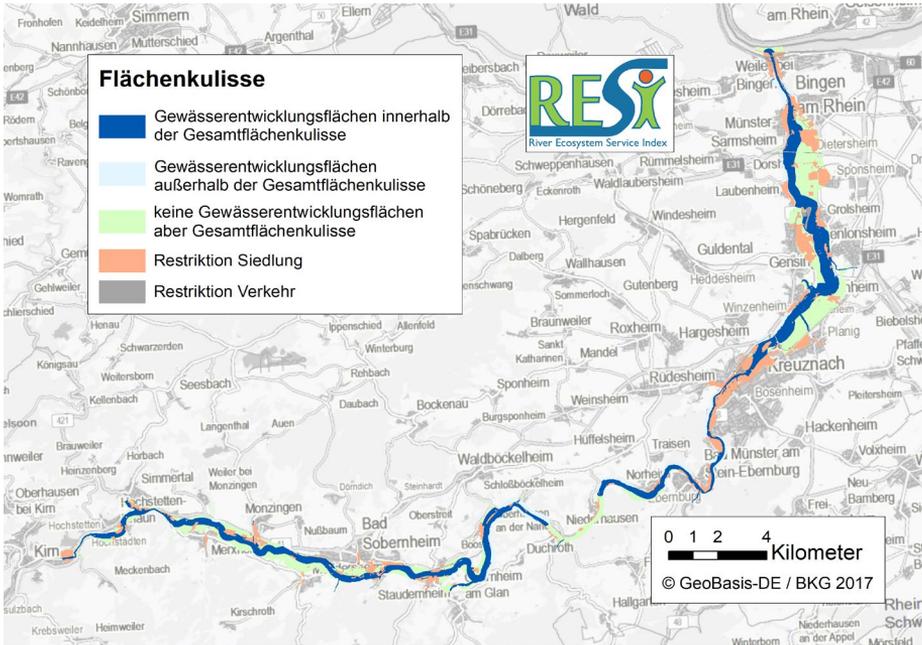


Abbildung 5-8: Übersichtskarte der Modellregion Nahe. Flächenkulisse der typspezifische Gewässerentwicklungsflächen. Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz.

Zur Bestimmung der notwendigen Ausdehnung der rezenten Aue wurden die Fluss-Auen-Segmente und die typspezifischen Gewässerentwicklungsflächen (s. Abbildung 5-8) herangezogen. Die im derzeitigen Bezugszustand in der Altaue liegenden Flächen der Gewässerentwicklungsflächen wurden im Szenario entsprechend als neue rezente Aue ausgewiesen. Diese Flächen werden also im Szenario zur Verbesserung der hydromorphologischen Bedingungen reaktiviert.

Zur Berücksichtigung der notwendigen Änderungen der Landnutzung innerhalb der Gewässerentwicklungsflächen, wurde diesen Flächen vereinfacht die heutige potentielle natürliche Vegetation (HpnV) zugewiesen, wobei Restriktionsflächen (Siedlungs- und Verkehrsflächen) unberührt blieben. Die HpnV wurde nach dem Auen-

leitbild von Koenzen (2005) abgeleitet (Flächenverteilung einer gefällereichen schottergeprägten Flussaue des Grundgebirges: Gewässer = 10 %, Röhrlicht = 10 %, Niederungswald = 50 %, Hochwald = 22 %, offene Landschaft = 2 %) und diesen entsprechend der LBM CLC-Nutzungscode zugeordnet.

Für das Szenario wurden Veränderungen infolge von Renaturierungsmaßnahmen je nach ÖSL auf der Grundlage von 1) der Ausdehnung der rezenten Aue (gemäß Gewässerentwicklungsflächen), 2) der Änderung in der Landbedeckung (LBM s. o.) und 3) der potenziellen Verbesserung des hydromorphologischen Gewässerzustandes (in Abhängigkeit von Restriktionsflächen; 50 m Abstand Berücksichtigung linker und rechter Aue, da sonst nur teilweise Maßnahmen erfolgen können) abgeleitet.

**Tabelle 5-4: Übersicht der im Fallbeispiel Nahe bewerteten ÖSL.**

KP	Kulturpflanzen
PB	Pflanzliche Biomasse
WB	Wasserbereitstellung
N-Ret	N-Retention
P-Ret	P-Retention
HW	Hochwasserregulation
NW	Niedrigwasserregulation
SR	Sedimentregulation
BB	Bodenbildung
KW	Kühlwirkung
Hab	Habitatbereitstellung
LaBi	Landschaftsbild
NKE	Natur- & Kulturerbe
UI	Unspezifische Interaktion
WA	Wasserbezogene Aktivitäten

### 5.3.2 Betrachtete Ökosystemleistungen

Für die Modellregion Nahe wurden für den Bezugszustand insgesamt 15 ÖSL betrachtet (s. Tabelle 5-4). Für die ÖSL Wasserbereitstellung und die kulturellen ÖSL konnte aus zeitlichen Gründen keine Szenario-Berechnung durchgeführt werden. Eine qualitative Analyse, d. h. Beschreibung potentieller Änderungen ergab, dass eher von einer Verbesserung auszugehen ist. Um diese ÖSL in der Summenbildung trotzdem betrachten zu können, wurde im Szenario der gleiche Wert wie im Bezugszustand angenommen.

### 5.3.3 Bewertung

Landesweite Daten in unterschiedlicher Auflösung und die Daten der Vorstudie zu den Gewässerentwicklungsflächen (s. Kapitel 5.3.1) wurden durch das LfU Rheinland-Pfalz zur Verfügung gestellt. In Kombination mit

den bundesweiten Daten (z. B. LBM) konnte dadurch für das Szenario eine gute Datengrundlage geschaffen werden. Die versorgenden ÖSL, die kulturellen ÖSL sowie die regulativen ÖSL Habitatbereitstellung, Stickstoffretention und Phosphorretention konnten auf der detaillierten Ebene der *Fluss-Auen-Kompartimente* bewertet werden. Die regulativen ÖSL Bodenbildung, Sedimentregulation, Niedrigwasserregulation, Hochwasserregulation und Kühlwirkung wurden aufgrund der großflächigeren Funktionszusammenhänge und Eingangsdaten auf der Ebene der Fluss-Auen-Segmente bewertet.

### 5.3.4 Darstellung

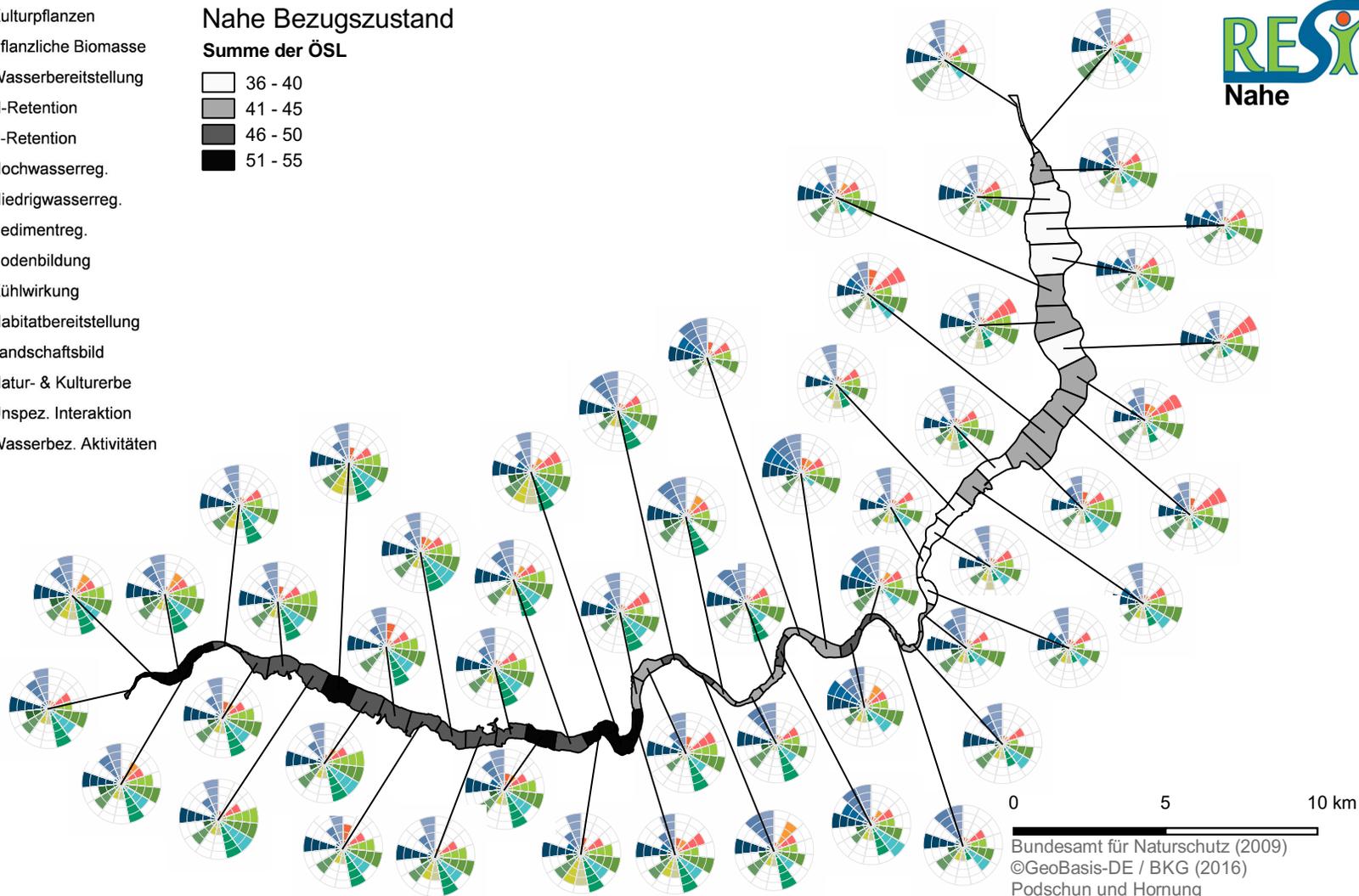
Für die Synthese zum RESI wurden über flächengewichtete Mittelwerte alle ÖSL auf Ebene der Fluss-Auen-Segmente zusammengeführt, um eine integrierende Darstellung zu ermöglichen. Um einen Eindruck über die Entwicklung über den gesamten Verlauf in der Modellregion zu erhalten, wurden für alle Segmente die Bewertungen der 15 ÖSL mittels Polargrafiken visualisiert (Abbildung 5-9, Seite 153). Trotz der Vielzahl an Information, können so Muster der ÖSL-Zusammensetzung für bestimmte Regionen schnell erfasst werden. Diese können dann mit Hilfe der Daten oder weiteren Grafiken im Detail analysiert werden. In den Polargrafiken zum Szenario (Abbildung 5-10, Seite 154) sind diejenigen ÖSL, für die keine Szenario-Berechnung erfolgte, (hier wurde der Bezugszustand verwendet), grau dargestellt. Dies ermöglicht einen direkten visuellen Vergleich zum Bezugszustand. Außerdem wurde die Gesamtsumme aller ÖSL Bewertungen pro Segment berechnet ( $RESI_{\text{Summe}}$ ), die ein theoretisches Maximum von 75 (15 ÖSL \* 5) aufweisen kann. Die Bewertungen der ÖSL ergaben schließlich einen  $RESI_{\text{Summe}}$ -Maximalwert von 55.

- KP Kulturpflanzen
- PB Pflanzliche Biomasse
- WB Wasserbereitstellung
- N-Ret N-Retention
- P-Ret P-Retention
- HW Hochwasserreg.
- NW Niedrigwasserreg.
- SR Sedimentreg.
- BB Bodenbildung
- KW Kühlwirkung
- Hab Habitatbereitstellung
- LaBi Landschaftsbild
- NKE Natur- & Kulturerbe
- UI Unspez. Interaktion
- WA Wasserbez. Aktivitäten

## Nahe Bezugszustand

### Summe der ÖSL

- 36 - 40
- 41 - 45
- 46 - 50
- 51 - 55



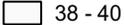
Bundesamt für Naturschutz (2009)  
 ©GeoBasis-DE / BKG (2016)  
 Podschun und Homung

**Abbildung 5-9: Bewertung von 15 ÖSL für die Modellregion Nahe im derzeitigen Bezugszustand.** Die Breite der Fluss-Auen-Segmente entspricht der Breite der Flussaue (einschl. Altsaue), ihr Grauton entspricht der Gesamtsumme der ÖSL ( $RES_{\text{Summe}}$ ). Die Polargrafiken zeigen die Ausprägung der einzelnen ÖSL in jedem Fluss-Auen-Segment.

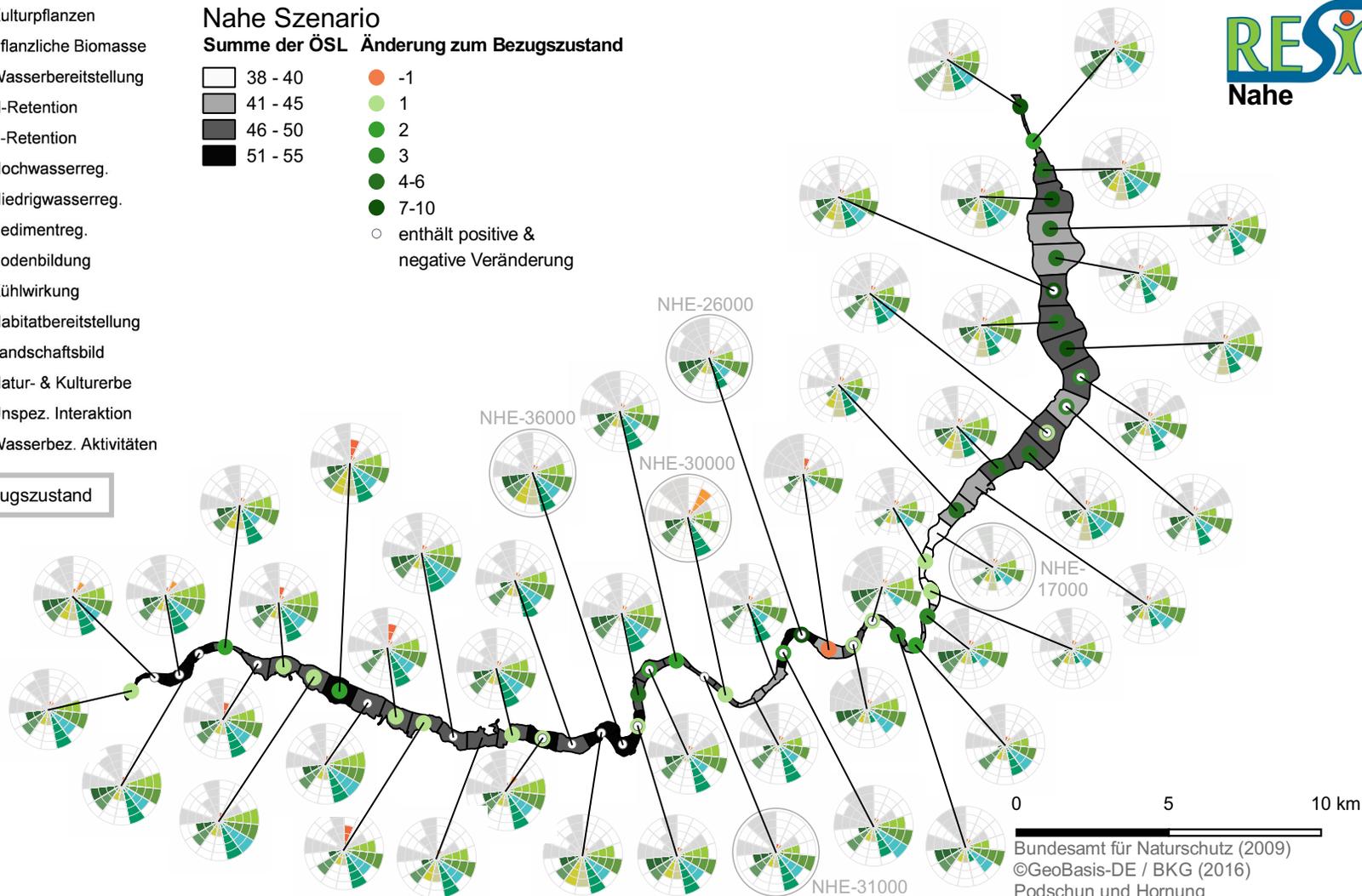
- KP Kulturpflanzen
- PB Pflanzliche Biomasse
- WB Wasserbereitstellung
- N-Ret N-Retention
- P-Ret P-Retention
- HW Hochwasserreg.
- NW Niedrigwasserreg.
- SR Sedimentreg.
- BB Bodenbildung
- KW Kühlwirkung
- Hab Habitatbereitstellung
- LaBi Landschaftsbild
- NKE Natur- & Kulturerbe
- UI Unspez. Interaktion
- WA Wasserbez. Aktivitäten

## Nahe Szenario

Summe der ÖSL Änderung zum Bezugszustand

- |   |         |   |   |
|---|---------|---|---|
|  | 38 - 40 |  | -1                                      |
|  | 41 - 45 |  | 1                                       |
|  | 46 - 50 |  | 2                                       |
|  | 51 - 55 |  | 3                                       |
|   |         |  | 4-6                                     |
|   |         |  | 7-10                                    |
|   |         |  | enthält positive & negative Veränderung |

Bezugszustand



**Abbildung 5-10: Bewertung von 10 ÖSL für die Modellregion Nahe im Szenario.** Die Breite der Fluss-Auen-Segmente entspricht der Breite der Flussaue (einschl. Altaue), ihr Grauton entspricht der Gesamtsumme der ÖSL ( $RES_{summe}$ ). Die Polargrafiken zeigen die Ausprägung der einzelnen ÖSL in jedem Fluss-Auen-Segment. Die Differenz zwischen Bezugszustand und Szenario wird über Punkte (siehe Legende) auf den Segmenten illustriert. Für die ÖSL Wasserbereitstellung und die kulturellen ÖSL konnte keine Berechnung durchgeführt werden, daher wird hier zu Vergleichszwecken der Bezugszustand in grau dargestellt.

### 5.3.5 Implementierung

#### Ergebnisdiskussion Bezugszustand

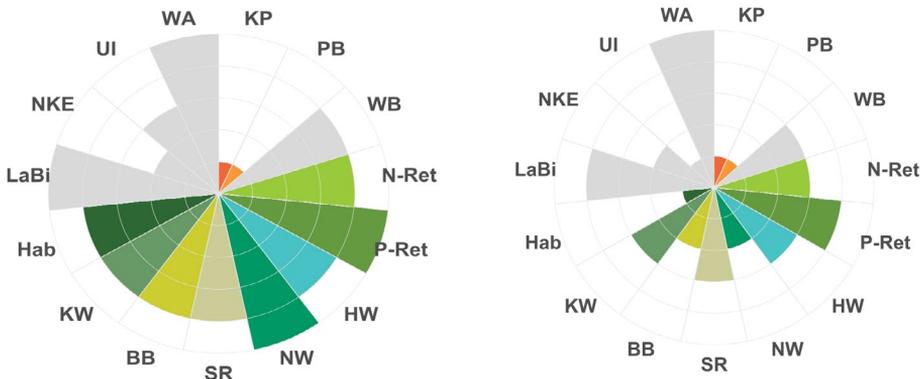
Für den Bezugszustand (s. *Abbildung 5-9, Seite 153*) werden für die Fluss-Auen-Segmente folgende Bandbreiten von ÖSL-Einzelbewertungen erreicht: 1-5 für Hochwasserregulation, Niedrigwasserregulation, Natur- und Kulturerbe und unspezifische Interaktion mit der Flusslandschaft, 1-4 für pflanzliche Biomasse, Sedimentregulation und Bodenbildung, 1-3 für Kulturpflanzen und Habitatbereitstellung, 2-5 für N-Retention und Kühlwirkung, 3-5 für Wasserbereitstellung und wasserbezogene Aktivitäten sowie 4-5 für P-Retention und Landschaftsbild.

Im Bezugszustand für die Modellregion Nahe unterscheidet sich die  $RESI_{Summe}$  teilweise erheblich. Generell ist ein Gradient von höher bewerteten Fluss-Auen-Segmenten im Südwesten (Kirn bis Bad Sobernheim) und niedriger bewerteten Segmenten im Nordosten (Kreuznach bis Bingen) festzustellen.

#### Ergebnisdiskussion Szenario

Im Szenario (s. *Abbildung 5-10, Seite 154*) ändert sich  $RESI_{Summe}$  für den Großteil der Segmente (39 von 54), für fünf Segmente ergeben sich keine Änderungen. Für zehn Segmente nehmen einzelne regulative ÖSL zu und versorgende ÖSL ab, sodass sich keine Veränderung der  $RESI_{Summe}$  ergeben (s. *Abbildung 5-10, Seite 154*, nur weiße Punkte). Beispielsweise erreicht das Segment NHE-36000 östlich von Bad Sobernheim (s. *Abbildung 5-10, Seite 154*, schwarze Segmente) im Bezugszustand den höchsten Wert  $RESI_{Summe} = 55$  ( $RESI_{Mittel} = 3,7$ ). *Abbildung 5-11* zeigt, dass sich im Szenario die ÖSL pflanzliche Biomasse um einen Punkt verschlechtert, während sich die ÖSL Habitatbereitstellung um einen Punkt verbessert. Dies führt dazu, dass die  $RESI_{Summe}$  (55) des Segments NHE-36000 unverändert bleibt.

Die Veränderung gegenüber dem Bezugszustand reicht von einer Verschlechterung um -1 bis hin zu einer Verbesserung um +10. Für zehn Segmente ergibt sich eine Verschlech-



**Abbildung 5-11: Polargrafik für die "extremen" 1 km-Fluss-Auen-Segmente NHE-36000 (links) und NHE-17000 (rechts) der Nahe im Szenario.** Maximum mit  $RESI_{Summe} = 55$ : NHE-36000 Szenario (links), Minimum  $RESI_{Summe} = 28$ : NHE-17000 Szenario (rechts). Bewertungen (min = 1 bis max = 5) für 10 ÖSL (Farbcodierung und Abkürzungen s. Tabelle 5-3, Seite 152).

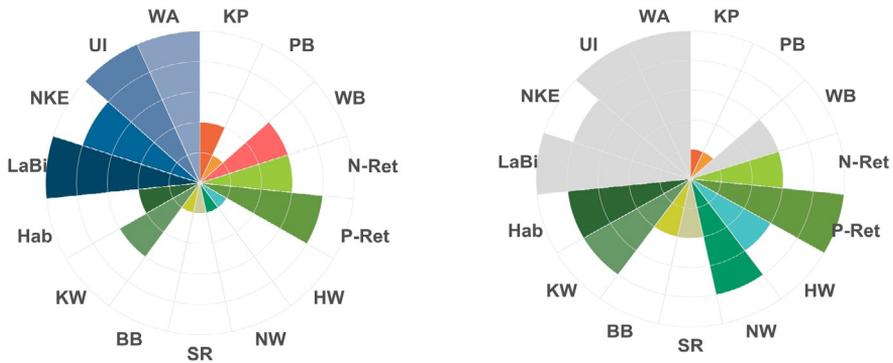


Abbildung 5-12: Polargrafik für das 1 km-Fluss-Auen-Segment NHE-26000 (Nahe) im Bezugszustand (links) und im Szenario (rechts). Fluss-Auen-Segment NHE-26000 im Bezugszustand:  $RESI_{Summe}=41$ , im Szenario:  $RESI_{Summe}=41$ , Bewertungen (min=1 bis max=5) für 10 ÖSL (Farbcodierung und Abkürzungen s. Tabelle 5-3, Seite 152).

terung der ÖSL Kulturpflanzen und für 16 Segmente eine Verschlechterung der ÖSL pflanzliche Biomasse. Im Segment NHE-31000 nimmt die ÖSL pflanzliche Biomasse sogar um 3 ab, da im Szenario die Landnutzungsflächen durch die HpnV ersetzt wurden. Eine Ausnahme stellt das Segment NHE-30000 dar, in der die ÖSL pflanzliche Biomasse von 3 auf 4 zunimmt.

Durch die Umwidmung von landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen (überwiegend Acker) in Feuchtlebensräume, Auen, Gewässer und Auwald verbessert sich die Habitatbereitstellung, vor allem im unteren Lauf zwischen Bad Kreuznach und Bingen. Auch die ÖSL Hochwasserregulation, Niedrigwasserregulation, Bodenbildung und Sedimentregulation verbessern sich haupt-

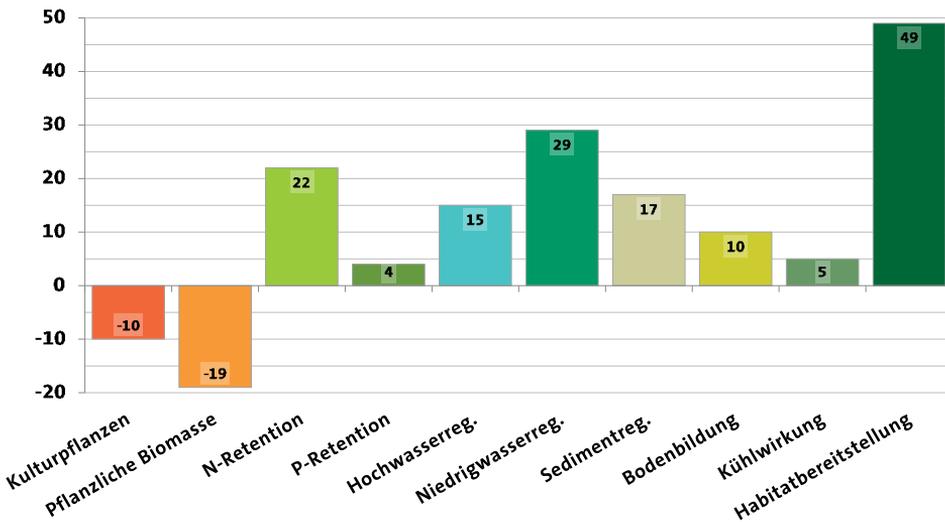


Abbildung 5-13: Summe der ÖSL-Veränderungen zwischen Bezugszustand und Szenario der Nahe für alle betrachteten Segmente.

sächlich im unteren Lauf der Nahe, bedingt durch die Aufweitung der rezenten Aue und strukturellen Verbesserungen am Gewässer. Für 91 % der Fluss-Auen-Segmente bleibt die ÖSL Kühlwirkung trotz Landnutzungsänderungen unverändert. Die ÖSL N-Retention und P-Retention haben sich erhöht, allerdings ergeben sich wenige Veränderungen bei der P-Retention, da diese ÖSL bereits im Bezugszustand hohe Werte aufweist.

Durch die Verbesserungen vieler ÖSL erhöht sich  $RESI_{\text{Summe}}$  vor allem im Unterlauf deutlich. Im Bereich um die Stadt Bad Kreuznach bleibt die Summe der ÖSL niedrig, die Segmente NHE-17000 (s. *Abbildung 5-11, Seite 155*) und NHE-18000 weisen die niedrigste Summe ( $RESI_{\text{Summe}} = 28$ ) auf. Die höchste Zunahme von 10 Punkten von  $RESI_{\text{Summe}}$  von 41 auf 51 findet man im Segment NHE-26000. *Abbildung 5-12* (Seite 156) zeigt, dass es bei den regulativen ÖSL insgesamt zu einer Verbesserung um 11 Stufen kommt, während die ÖSL Kulturpflanzen um einen Punkt abnimmt (vgl. *Abbildung 5-10, Seite 154*, weiße Punkte).

## Fazit

Insgesamt zeigt sich, dass sich die Ausweitung eines Gewässerentwicklungskorridors deutlich positiv auf die Summe der ÖSL auswirkt. Insbesondere die regulativen ÖSL N-Retention, Niedrigwasserregulation und Habitatbereitstellung werden im Szenario stark erhöht (s. *Abbildung 5-13, Seite 156*). Gleichzeitig wird durch die Veränderungen im Szenario, der Trade-off zwischen versorgenden und regulativen ÖSL offengelegt. Die RESI-Fallstudie Nahe zeigt vor diesem Hintergrund auch, dass ein *guter ökologischer Zustand* nicht äquivalent zu einer Maximierung aller ÖSL ist bzw. sein kann.



© Marcus Wildner

## 5.4 Fallbeispiel Nebel

5.4.1 Bewertungskontext

5.4.2 Betrachtete Ökosystemleistungen

5.4.3 Bewertung

5.4.4 Darstellung

5.4.5 Implementierung



**5.4.1 Bewertungskontext**

Die Nebel mit einem Einzugsgebiet von 998 km<sup>2</sup> entspringt in 60 m Meereshöhe im Malkwitzer See in Mecklenburg-Vorpommern und mündet nach 70 km Fließlänge bei Bützow in die Warnow. Die Nebel wird durch die Abfluss- (3,8 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>) und Gefälleverhältnisse (1 ‰) als überwiegend ruhig fließender, sommerwarmer Flachlandbach des Norddeutschen Tieflands charakterisiert. Im Oberlauf bewirken die sechs natürlichen Seen hohe Sommertemperaturen. Die Nebel als morphologisch heterogener Tieflandfluss weist viele charakteristische

Naturräume (durchflossene Niedermoore, Durchbruchstäler, ausgedehnte Erlenbrüche, Schilfgebiete und Großseggenriede sowie rückgestaute Bereiche und langsam fließende Unterlaufstrecken) auf. Von der Quelle bis zur Mündung ist die Nebel durch einen schnellen Wechsel der Fließgewässerausprägungen (Typen) gekennzeichnet. Nach einem gefällearmen Oberlauf folgt ein langer, kaskadenartiger Mittellauf mit größeren Sohlengefällen (1-4 ‰, abschnittsweise bis zu 15 ‰) insbesondere in den Durchbruchstälern bei Kuchelmiß und Koppellow (Mehl et al. 1995).

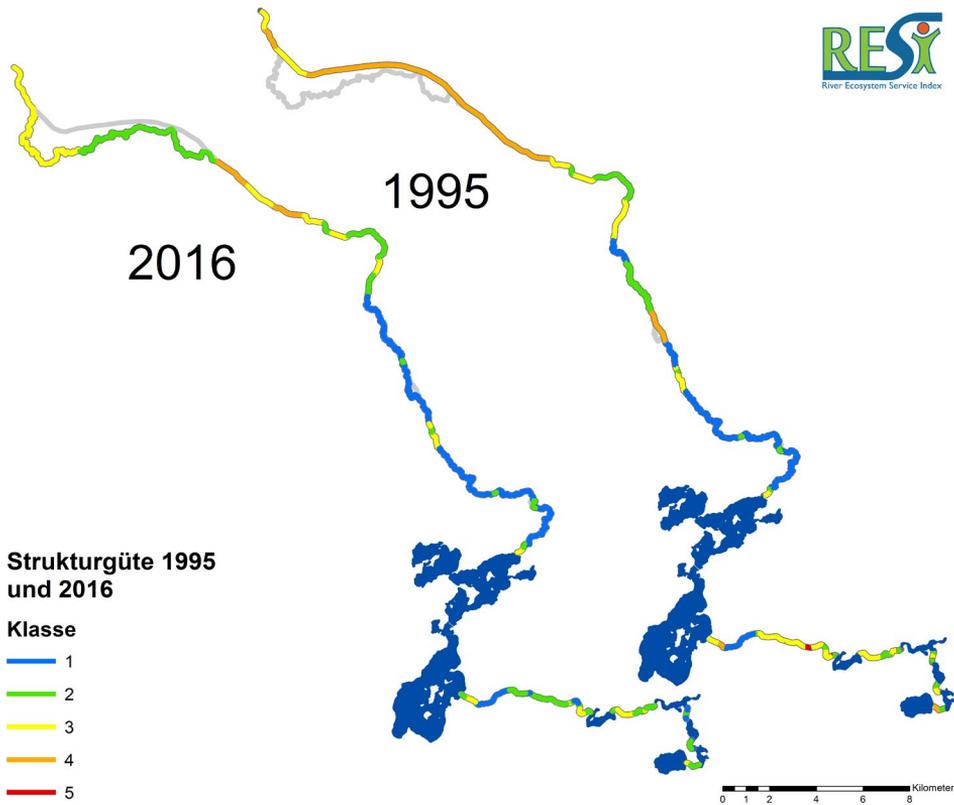


Abbildung 5-14: Klassifizierung der Fließgewässerstruktur der Modellregion Nebel. Vergleich der Jahre 1995 und 2016 (aus Mehl et al. 2017). Auf Grundlage der Daten und Methodik von biota GmbH (1994, 1995).

Seit Jahrhunderten haben an der Nebel wasserbauliche und kulturtechnische Eingriffe stattgefunden. So entstanden zwölf Wehre zur Wasserstandsregulierung. Des Weiteren wurden einige Teilstrecken infolge der Kultivierung ausgebaut. In einzelnen Abschnitten erfolgte die Rodung der Wälder. Auf diesen Flächen wird heute Grünlandwirtschaft betrieben. Für das Fallbeispiel Nebel konnte sich die RESI-Untersuchung auf Dokumentationen von umfangreichen, bereits umgesetzten Renaturierungsmaßnahmen stützen, so dass eine reale Folgenabschätzung von Maßnahmen durchgeführt werden konnte. Zwischen 1990 und 2016 wurden Renaturierungsmaßnahmen an etwa 22 Flusskilometern umgesetzt.

Zur Initiierung einer eigendynamischen Entwicklung des Gewässerlaufes und der Uferstrukturen wurden verschiedene Habitatverbesserungen (u. a. Anschluss von Altarmen, Laufverlegungen und Neutrassierungen, Gehölzentwicklung) sowie Maßnahmen zur Herstellung der linearen Durchgängigkeit und zur Vitalisierung des Gewässers durchgeführt. Eine gute und für die Nebel vollständige Vergleichsmöglichkeit des morphologischen Zustandes vor und nach den Renaturierungsmaßnahmen bietet die Fließgewässerstrukturgütekartierung (FGSK), die sowohl 1994/95 als auch 2016 durchgeführt wurde (s. *Abbildung 5-14, Seite 159*).

#### 5.4.2 Betrachtete Ökosystemleistungen

Für die Modellregion Nebel wurden für den Zustand von 2016 insgesamt elf verschiedene ÖSL bewertet (s. *Tabelle 5-5*). Für die vier kulturellen und die versorgenden ÖSL konnte allerdings aufgrund begrenzter Projektkapazitäten keine Berechnung für den Zustand im Jahr 1990 durchgeführt werden.

*Tabelle 5-5: Übersicht der im Fallbeispiel Nebel bewerteten ÖSL.*

HW	Hochwasserregulation
NW	Niedrigwasserregulation
SR	Sedimentregulation
BB	Bodenbildung
KW	Kühlwirkung
THG	Treibhausgas-Rückhalt
Hab	Habitatbereitstellung
LaBi	Landschaftsbild
NKE	Natur- & Kulturerbe
UI	Unspezifische Interaktion
WA	Wasserbezogene Aktivitäten

Durch die betrachteten regulativen ÖSL insbesondere HW, NW, SR können funktionelle Änderungen in der Morphologie gut aufgezeigt werden. In Kombination mit der Habitatbereitstellung deckt dies die relevanten Zielgrößen von Renaturierungsmaßnahmen ab.

#### 5.4.3 Bewertung

Für die Jahre 2016 und 1990 wurden Daten für das Einzugsgebiet der Nebel in Kombination mit den Dokumentationen zu den bereits umgesetzten Renaturierungsmaßnahmen (zumeist durchgeführt von biota GmbH) bereitgestellt.

Die Datengrundlagen der zwei Zeitabschnitte variieren zeitlich etwas (1990-1994 sowie 2012-2016). Die Abweichungen sind aber vernachlässigbar, da die Daten für die Landschafts- und Gewässerverhältnisse für die Jahre 1990 und 2016 repräsentativ sind. Die FGSK wurde bereits 1994 durch die biota GmbH mit einem annähernd der heutigen Methodik entsprechenden Parametersatz kartiert und ausgewertet. Im Jahr 2016 wur-

de die Nebel mit dieser Methodik neu kartiert, um eine Vergleichsbasis zu erhalten. Zudem wurde auf historische und aktuelle Landnutzungsdatensätze zum Vergleich zurückgegriffen.

Der Unterlauf der Nebel wurde als jüngste Maßnahme renaturiert; dem bestehenden Kanal wurde dafür das Gros des Wassers (des Durchflusses) entzogen (vgl. *Abbildung 5-14, Seite 159*). Durch die komplette Änderung des Laufs werden zwei Fluss-Auen-Segmente (NEB-003000 und NEB-004000) nicht mehr vom Wasser erreicht, weswegen sie in der Bewertung nicht abgebildet wurden.

#### 5.4.4 Darstellung

Die ÖSL wurden für alle Fluss-Auen-Segmente bei der Synthese zusammengeführt und die Gesamtsumme aller ÖSL Bewertungen wurde pro Segment berechnet ( $RESI_{Summe}$ , theoretisches Maximum 55). Sowohl für den Zustand 2016 (*Abbildung 5-16, Seite 164*) als auch 1990 (*Abbildung 5-15, Seite 163*) wurden hier nur einige Polargrafiken, die jeweils verschiedene ÖSL-Zusammensetzungen zeigen, visualisiert. Um einen direkten visuellen Vergleich zu ermöglichen, wurden für die kulturellen ÖSL im Zustand 1990 die Werte von 2016 verwendet und diese grau dargestellt.

#### 5.4.5 Implementierung

##### Ergebnisdiskussion Zustand 1990

Für 1990 (s. *Abbildung 5-15, Seite 163*) wurden auf Fluss-Auen-Segment-Ebene folgende Bandbreiten von ÖSL-Einzelbewertungen erreicht: 1-5 für Hochwasserregulation, Rückhalt von Treibhausgasen und Habitatbereitstellung, 2-5 für Niedrigwasserregulation und Sedimentregulation, 1-4 für Boden-

bildung sowie 4-5 für Kühlwirkung. Generell zeigen sich niedrigere Werte im Bereich des Kanals (bei Bützow) sowie nahe der Stadt Güstrow.

##### Ergebnisdiskussion Zustand 2016

In der Praxis erreichte  $RESI_{Summe}$  einen Höchstwert von 50 (entsprechend  $RESI_{Mittel} = 4,5$ ) im Fluss-Auen-Segment bei Kuchelmiß (NEB-033000, s. *Abbildung 5-16, Seite 164*), was als sehr hoch einzustufen ist. Allerdings ist hier zu berücksichtigen, dass die Aussagekraft im Hinblick auf Trade-offs eingeschränkt ist, da keine versorgenden ÖSL berücksichtigt wurden. Im Bereich von Güstrow (s. *Abbildung 5-16, Seite 164*) verbleibt die Summe der ÖSL im Vergleich von 1990 zu 2016 auf einem niedrigen Niveau. Beispielsweise weist das Fluss-Auen-Segment NEB-015000 bei Güstrow (s. *Abbildung 5-15, 5-16*) in beiden Untersuchungsjahren den Wert  $RESI_{Summe} = 23$  auf.

Für 2016 ergaben sich insgesamt Änderungen des RESI für 43 Fluss-Auen-Segmente, die von einer Verbesserung von +17 bis zu einer Verschlechterung von -3 reichen. Die schlechteren Werte wurden durch die lokale Abnahme des Treibhausgas-Rückhalts z. B. am Krakower See (NEB-042000), infolge der Renaturierung von Niedermoorflächen, verursacht.

Bei den meisten Fluss-Auen-Segmenten (z. B. NEB-006000, NEB-033000) resultieren die morphologischen Verbesserungen in einer Steigerung der regulativen ÖSL Hochwasserregulation, Niedrigwasserregulation, Sedimentregulation und Treibhausgas-Rückhalt.

Eine Verbesserung des Habitatwertes von 1990 bis 2016 durch Renaturierungsmaß-

nahmen ist vor allem im Bereich des ehemaligen Unterlaufs (bei Bützow) zu verzeichnen. Hier steigt er von „gering“ (2) auf „mittel“ (3), hauptsächlich durch die Reaktivierung der Altaue zur rezenten Aue und dem Wegfall des Rückstaus durch den 1990 noch vorhandenen Kanal. Andere Bereiche erfuhren eine Verbesserung durch Umwandlung in Feuchtlebensräume nach 1990. Die „sehr geringen“ Habitatwerte treten vorrangig im Unterlauf, vor allem im Bereich der Stadt Güstrow, auf.

Für die kulturellen ÖSL, welche mit einem bundesweiten Ansatz erfasst wurden, zeigt sich, dass die ÖSL Landschaftsbild, unspezifische Interaktion mit der Flusslandschaft und wasserbezogene Aktivitäten eher als „hoch“ bewertet wurden. Im Gegensatz dazu wurde die ÖSL Natur- und Kulturerbe eher „gering“ bewertet. Der Abschnitt zwischen Krakower See und der Stadt Güstrow stellt jeweils eine Ausnahme dar (s. *Abbildung 5-16, Seite 164*). Hier wurde die ÖSL Landschaftsbild in schmalen Fluss-Auen-Segmenten als „gering“ und die ÖSL Natur- und Kulturerbe an einzelnen Fluss-Auen-Segmenten als „hoch“ eingestuft. Ausnahmen der durchweg „hoch“ bewerteten wasserbezogenen Aktivitäten zeigen sich bei der Stadt Güstrow und

kleinen Segmenten östlich des Krakower Sees. Die höchsten Ergebnisse für die ÖSL unspezifische Aktion mit der Flusslandschaft wurden am Krakower See aufgrund der hohen Anzahl von Schutzgebieten erreicht.

### Fazit

Insgesamt ist die Funktionalität, im Sinne einer Bereitstellung von ÖSL, infolge der umfangreichen Renaturierungen an der Nebel deutlich gesteigert worden. Die wenigen negativen Veränderungen im Vergleich von 1990 zu 2016 sind nicht mit den erfolgten Maßnahmen, sondern primär mit der gleichzeitigen ökonomischen Entwicklung in der Region (beispielsweise Zunahme an Siedlungsfläche) zu erklären.

Die Fallstudie Nebel zeigt, dass der RESI für einen Vorher-Nachher-Vergleich und damit auch für ein Monitoring zur Erfolgskontrolle von Maßnahmen geeignet ist.

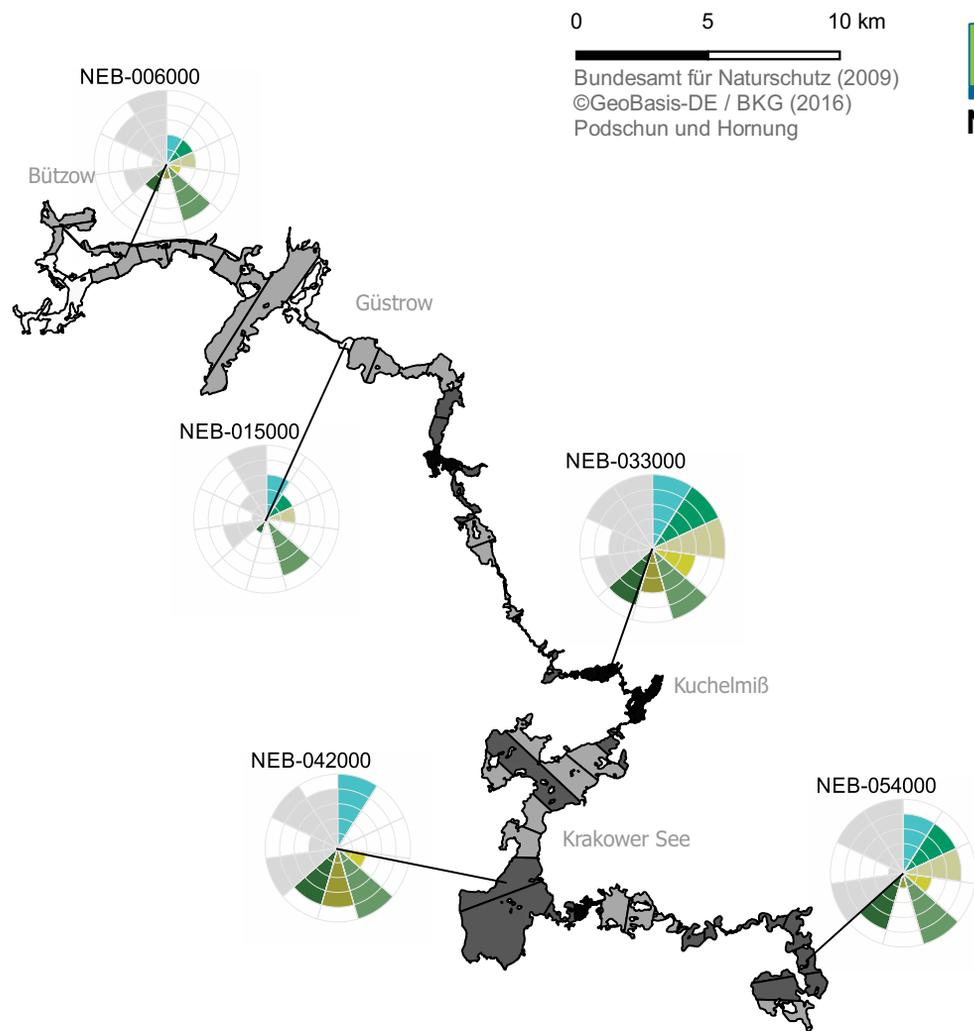


- HW Hochwasserreg.
- NW Niedrigwasserreg.
- SR Sedimentreg.
- BB Bodenbildung
- KW Kühlwirkung
- THG THG-Rückhalt
- Hab Habitatbereitstellung
- LaBi Landschaftsbild
- NKE Natur- & Kulturerbe
- UI Unspez. Interaktion
- WA Wasserbez. Aktivitäten

2016

**Summe der ÖSL**

- 18 - 25
- 26 - 35
- 36 - 45
- 46 - 50



**Abbildung 5-15: Bewertung von 7 ÖSL für die Modellregion Nebel im Zustand 1990.** Die Breite der Fluss-Auen-Segmente entspricht der Breite der Flussaue (einschl. Altaue), ihr Grauton entspricht der Gesamtsumme der ÖSL ( $RESi_{summe}$ ). Die Polargrafiken zeigen die Ausprägung der individuellen ÖSL im Fluss-Auen-Segment. Für die ÖSL die kulturellen ÖSL konnte 1990 keine Berechnung durchgeführt werden, daher wird hier zu Vergleichszwecken der Zustand 2016 in grau dargestellt.

HW	Hochwasserreg.
NW	Niedrigwasserreg.
SR	Sedimentreg.
BB	Bodenbildung
KW	Kühlwirkung
THG	THG-Rückhalt
Hab	Habitatbereitstellung
LaBi	Landschaftsbild
NKE	Natur- & Kulturerbe
UI	Unspez. Interaktion
WA	Wasserbez. Aktivitäten

0 5 10 km  
 Bundesamt für Naturschutz (2009)  
 ©GeoBasis-DE / BKG (2016)  
 Podschun und Hornung



Summe der ÖSL	Änderung zu 1990
18 - 25	-3
26 - 35	-2
36 - 45	-1
46 - 50	1
	2
	3-5
	6-8
	9-17
	enthält positive & negative Veränderung

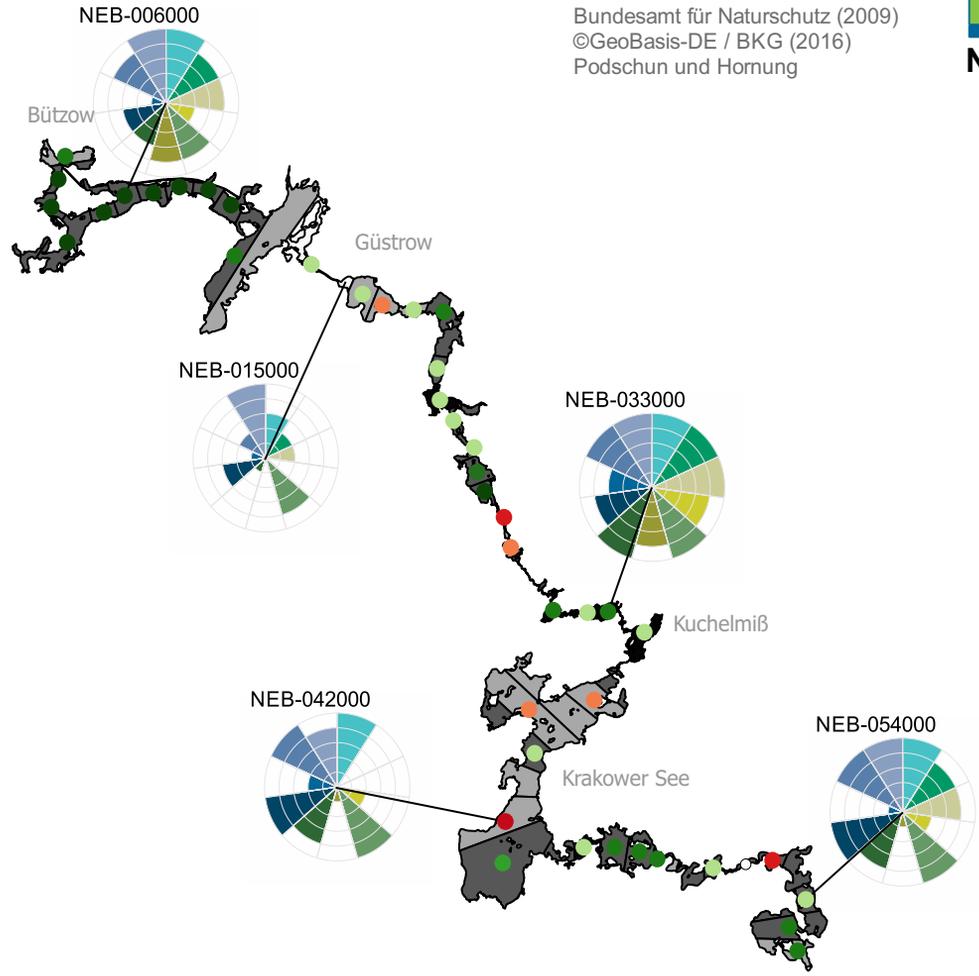


Abbildung 5-16: Bewertung von 11 ÖSL für die Modellregion Nebel im Zustand 2016. Die Breite der Fluss-Auen-Segmente entspricht der Breite der Flussaue (einschl. Altaue), ihr Grauton entspricht der Gesamtsumme der ÖSL (RESi<sub>summe</sub>). Die Polargrafiken zeigen die Ausprägung der individuellen ÖSL im Fluss-Auen-Segment. Die Differenz zwischen Bezugszustand und Szenario wird über Punkte (siehe Legende) auf den Segmenten illustriert.

## 5.5 Fallbeispiel Wupper

5.5.1 Bewertungskontext

5.5.2 Betrachtete Ökosystemleistungen

5.5.3 Bewertung

5.5.4 Darstellung

5.5.5 Implementierung



### 5.5.1 Bewertungskontext

Die Wupper ist ein rechter Nebenfluss des Rheins mit einem Einzugsgebiet von 813 km<sup>2</sup>. Sie entspringt im Bergischen Land auf einer Meereshöhe von 444 m und mündet nach 116 km Fließlänge auf 37 m Meereshöhe bei Leverkusen in den Rhein. Das Einzugsgebiet der Wupper mit den Städten Wuppertal, Solingen, Remscheid und Leverkusen ist charakterisiert durch eine sehr hohe Bevölkerungsdichte (1040 Einwohner pro km<sup>2</sup>).

Das Gebiet wurde als eine der ersten Regionen Deutschlands industrialisiert. Bereits seit dem 16. Jahrhundert wurde der Fluss intensiv mit Mühlen für verschiedene Zwecke und zur Entsorgung von Abwässern, u. a. aus der Textilindustrie, genutzt. Zur Nutzung der Wasserkraft, zur Trinkwassergewinnung sowie zur Regulation von Hoch- und Niedrigwasser wurden im Einzugsgebiet 17 Talsperren mit einem Gesamtvolumen von 166 Mio m<sup>3</sup> errichtet. Seit den 1980er Jahren wird (trotz hohem Siedlungsdruck) durch den Wupperverband ein ganzheitlicher Ansatz verfolgt, um die Wasserqualität zu verbessern sowie die Gewässerstruktur und andere Parameter des Gewässerzustands auf einen guten Stand zu bringen (MUNLV 2005).

Im untersuchten Gebiet entspricht die Wupper den Fließgewässertypen eines silikatischen, fein- bis grobmaterialreichen Mittelgebirgsflusses sowie eines grobmaterialreichen, silikatischen Mittelgebirgsbaches. Mit 32 % entfällt der größte Flächenanteil der Landnutzung im Einzugsgebiet auf Wald und Forstflächen. Als früh industrialisiertes Gebiet weist das Wupper-Einzugsgebiet mit 27 % städtischen Flächen und mit nur 9 % Ackerflächen und 29 % Grünland

relativ kleine Anteile landwirtschaftlicher Flächen auf. In der Fallstudie Wupper bezieht sich der Bewertungsanlass nicht auf durchgeführte Maßnahmen, sondern auf eine Bestandsaufnahme, d. h. eine Charakterisierung eines so diversen Gebietes (im Sinne von Landnutzungsverteilung, Stauhaltungen etc.) mit Hilfe des RESI.

### 5.5.2 Betrachtete Ökosystemleistungen

Für das Fallbeispiel Wupper wurden insgesamt zehn ÖSL bewertet (s. Tabelle 5-6). Da die Landwirtschaft im Untersuchungskontext eher eine untergeordnete Rolle spielt, wurden nur regulative und kulturelle ÖSL untersucht.

*Tabelle 5-6: Übersicht der im Fallbeispiel Wupper bewerteten ÖSL.*

HW	Hochwasserregulation
NW	Niedrigwasserregulation
SR	Sedimentregulation
BB	Bodenbildung
KW	Kühlwirkung
Hab	Habitatbereitstellung
LaBi	Landschaftsbild
NKE	Natur- & Kulturerbe
UI	Unspezifische Interaktion
WA	Wasserbezogene Aktivitäten

### 5.5.3 Bewertung

Detaillierte Datensätze für das Einzugsgebiet im derzeitigen Zustand wurden vom Wupperverband zur Verfügung gestellt.

Herausforderungen in diesem Fallbeispiel waren einerseits die natürlicherweise bereits sehr schmale Aue und andererseits die Vielzahl an Talsperren, mit denen bereits in den Ausgangsdaten je nach betrachteten Pa-

rametersatz und auch Auswertungsansatz unterschiedlich umgegangen wurde. Für die Berechnung der kulturellen ÖSL sowie der Habitatbereitstellung auf Fluss-Auen-Kompartiment-Ebene kam hier der jeweilige bundesweite Ansatz zum Einsatz. Die weiteren regulativen ÖSL wurden auf Fluss-Auen-Segment-Ebene betrachtet.

### 5.5.4 Darstellung

Rechnerisch kann  $RESI_{\text{Summe}}$  bei zehn ÖSL minimal den Wert 10 und maximal den Wert 50 annehmen. Praktisch werden Werte zwischen 16 und 38 erreicht.

Nach Sichtung der Ergebnisse für die gesamte Modellregion wurden, abhängig von der ÖSL-Zusammensetzung, für verschiedene Abschnitte charakteristische Segmente visualisiert. Diese lassen sich annäherungsweise anhand der dominierenden Landnutzungen beschreiben: Im oberen Lauf (bei Marienheide, *Abbildung 5-17, Seite 168*) dominiert Grünlandnutzung, der anschließende Abschnitt ist durchmischelt und primär durch große Stauanlagen geprägt, urbane Prägung findet man im Bereich Wuppertal, die größten Waldanteile im Bereich bei Solingen, und nahe Leverkusen existieren diverse Landnutzungen inklusive Ackerflächen.

### 5.5.5 Implementierung

#### Ergebnisdiskussion Bezugszustand

Im Segment südlich von Solingen (WUP-022000, *Abbildung 5-17, Seite 168*) wird der höchste RESI-Wert erreicht. ( $RESI_{\text{Summe}} = 38$ ,  $RESI_{\text{Mittel}} = 3,8$ ). Dieser Talabschnitt ist teilweise als Naturschutzgebiet ausgewiesen.

Im Bereich von Wuppertal ist  $RESI_{\text{Summe}}$  am niedrigsten. Dort weisen vier Fluss-Auen-

Segmente jeweils Werte von 16 auf (WUP-034000, WUP-036000, WUP-038000, WUP-039000, vgl. *Abbildung 5-17, Seite 168*).

Insgesamt werden im Fallbeispiel Wupper folgende Bandbreiten von ÖSL-Einzelbewertungen erreicht: 1-5 für alle kulturellen ÖSL (Landschaftsbild, Natur- und Kulturerbe, unspezifische Interaktion mit der Flusslandschaft und wasserbezogene Aktivitäten), 1-4 für Niedrigwasserregulation und Sedimentregulation, sowie 1-3 für Bodenbildung, Hochwasserregulation, Habitatbereitstellung und Kühlwirkung.

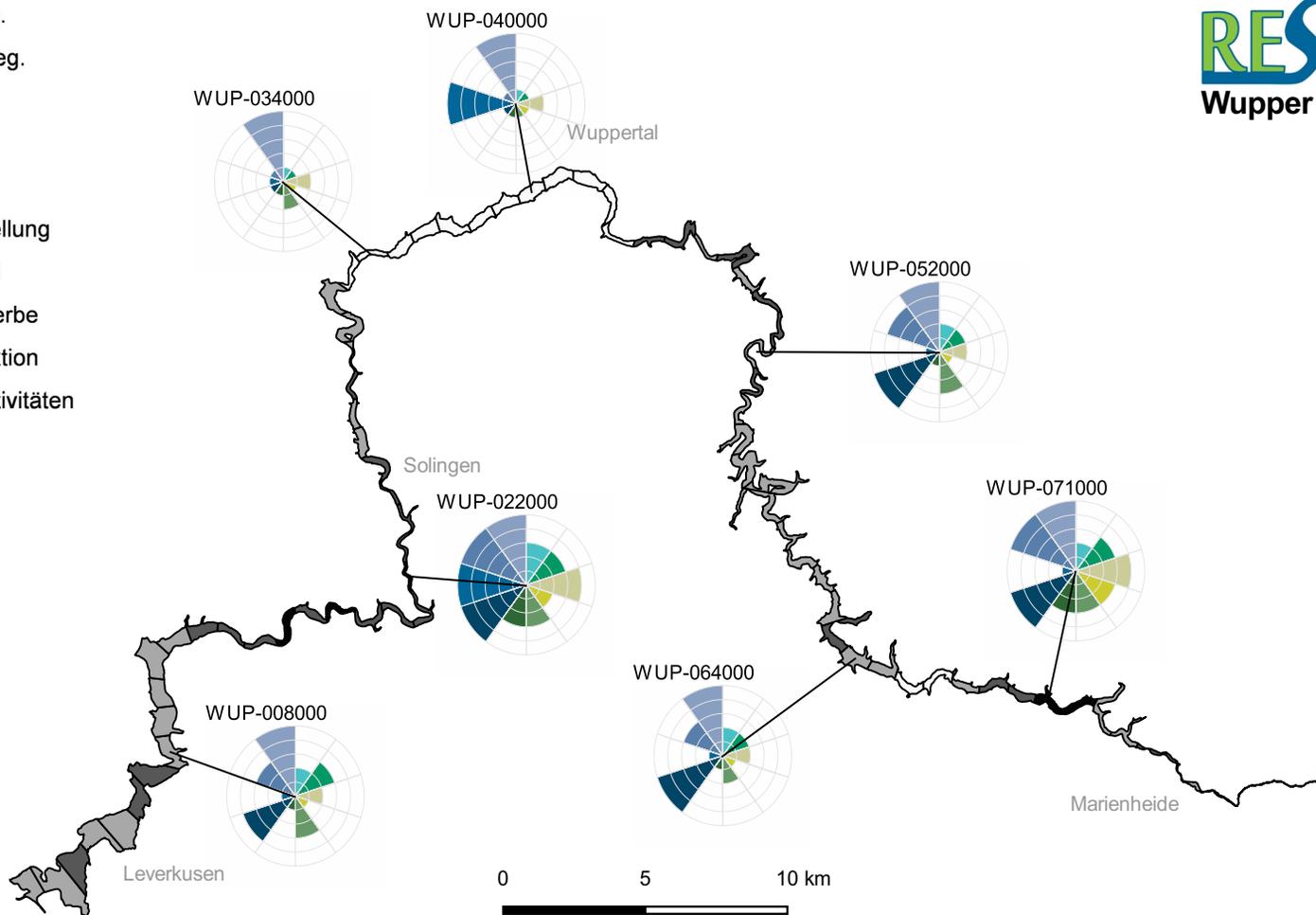
Nur wenige Fluss-Auen-Segmente erreichen in der Gruppe regulative ÖSL eine „sehr hohe“ Bewertung. Größtenteils bewegen sich die Bewertungen im „mäßigen“ (WUP-008000, WUP-052000, WUP-071000) bis „geringen“/„sehr geringen“ (WUP-064000, WUP-034000) Bewertungsbereich. Die Auswirkungen der Stauhaltungen und *Querbauwerke* sowie die Siedlungs-, Verkehrs- und Gewerbeflächen führen zu stark veränderten Verhältnissen in der ohnehin nur schmalen morphologischen Aue. Durch weitere Renaturierungsmaßnahmen könnte dort die ÖSL-Verfügbarkeit weiter entwickelt werden und damit einen größeren Teil des Potenzials dieser Flusslandschaft ausschöpfen.

Im Gegensatz zu den regulativen ÖSL wurden die kulturellen ÖSL teilweise „sehr hoch“ bewertet. So wurden die ÖSL Landschaftsbild und unspezifische Interaktion mit der Flusslandschaft – außer im Bereich der Städte Wuppertal und Leverkusen – als „hoch“ bewertet (z. B. WUP-071000). Natur- und Kulturerbe erreichten zumeist nur Werte von „gering“ bis „sehr gering“, mit Ausnahme der urbanisierten Gebiete (WUP-040000), die eine höhere Dichte an Elementen aufweisen, welche für die Bereitstellung der ÖSL

HW	Hochwasserreg.
NW	Niedrigwasserreg.
SR	Sedimentreg.
BB	Bodenbildung
KW	Kühlwirkung
Hab	Habitatbereitstellung
LaBi	Landschaftsbild
NKE	Natur- & Kulturerbe
UI	Unspez. Interaktion
WA	Wasserbez. Aktivitäten

### Summe der ÖSL

16 - 21
22 - 27
28 - 33
34 - 38



Bundesamt für Naturschutz (2009)  
 ©GeoBasis-DE / BKG (2016)  
 Podschun und Hornung

**Abbildung 5-17: Bewertung von 10 ÖSL für die Modellregion Wupper im Zustand 2016.** Die Breite der Fluss-Auen-Segmente entspricht der Breite der Flussaue (einschl. Altaue), ihr Grauton entspricht der Gesamtsumme der ÖSL ( $RES_{summe}$ ). Die Polargrafiken zeigen die Ausprägung der individuellen ÖSL im Fluss-Auen-Segment.

von Bedeutung sind. Wasserbezogene Aktivitäten zeigen zumeist „sehr hohe“ Werte an der Wupper.

### Fazit

Das Fallbeispiel Wupper zeigt, dass die Anwendung des RESI es ermöglicht in einem stark urbanisierten Gebiet mit vielen Nutzungen und einer langen Geschichte von Gewässerveränderungen, einschließlich einer großen Zahl an Stauhaltungen, Defizite zu identifizieren und somit das Entwicklungspotential aufzuzeigen. Die Erarbeitung des RESI stieß erfreulicherweise auf große Un-

terstützung vonseiten des Wupperverbands, der mit breiten Bewirtschaftungskompetenzen ausgestattet ist und daher einen integrativen Ansatz der Gewässerbewirtschaftung verfolgen kann.



## 5.6 Erfahrungen aus der Arbeit mit dem RESI

Die Erarbeitung des RESI-Konzepts und die Anwendung des RESI führten zu immer stärkerem Austausch und engerer Kooperation zwischen den im Projektteam vertretenen

Disziplinen. Dies führte zu einer Reflexion der verschiedenen Ansätze und zu vielfältigen Erfahrungen und Lernprozessen auf allen Seiten. Einige Aspekte davon werden in *Tabelle 5-7* vorgestellt.

**Tabelle 5-7: Übersicht über die verschiedenen Erfahrungen aus der Arbeit im Projekt RESI.**

Thema	Inhalt
RESI-Konzept/ Anwendung	Ansätze zur Bewertung von ÖSL können zwischen verschiedenen Disziplinen stark variieren. Eine Analyse der Literatur machte deutlich, dass für die Bewertung einiger ÖSL eher von der „benefit“-Seite ausgegangen wird, während andere die Strukturen und Prozessen des <i>Ökosystems</i> zugrunde legten. Da es derzeit nur vereinzelt umfassende Ansätze gibt, die die ÖSL aller Hauptgruppen analysieren, war die theoretische Fundierung und somit die intensive Auseinandersetzung mit dem Verständnis des ÖSL-Konzepts ein wichtiger Punkt der interdisziplinären Zusammenarbeit. Hierbei sind besonders die Punkte Verständnis von ÖSL und Operationalisierung von ÖSL-Konzepten hervorzuheben.
Verfügbarkeit von Daten	Für die Bewertung der ÖSL werden oft detaillierte Daten benötigt. Zwar sollten diese Daten prinzipiell zur Verfügung stehen, doch in der Praxis erfordert die Datenbeschaffung Verhandlungsgeschick und intensive Recherchen zu bundeslandspezifischen Regelungen und Zuständigkeiten.  Bei einer Analyse die bundeslandübergreifend oder für verschiedene Zeitabschnitte durchgeführt wird, ist zusätzlich die Qualität der Daten im Sinne von Genauigkeit, Kategorisierung (z. B. WRRL fünf- oder siebenstufig) und Metadatenverfügbarkeit von Bedeutung. Hier ist eine enge Kooperation mit den Eigentümern der Daten zu empfehlen.  Auch für die Berechnung des RESI konnten die detaillierten Daten teilweise nicht in gleicher Qualität für die Berechnung einer Variablen beschafft werden. In diesem Falle wurde z. B. bei den kulturellen ÖSL diese Variable in einer lokalen Berechnungsmethode integriert. Wenn eine Variable generell als geeignet zur Verwendung eines Indikators angesehen wurde, jedoch keine flächendeckenden Daten zur Verfügung standen (z. B. Konzentration von intestinalen Enterokokken und <i>Escherichia coli</i> (KbE/100 ml)), wurde dies Variable im betreffenden Factsheet im Bereich „Erweiterungsmöglichkeiten“ aufgeführt.
Umgang mit Szenarien	Häufig ist die Datenverfügbarkeit für den heutigen Zustand sehr gut. Doch für Szenarien müssen zumeist individuell an den Bewertungszweck angepasste Datensätze abgeleitet werden, um beispielsweise Datensätze zur Landnutzung oder potentiellen FGSK zu generieren. Im Projekt RESI wurden hierbei zwei Ansätze genutzt: 1) einige Kerndatensätze wurden übergreifend erstellt und allen Bearbeitern zur Verfügung gestellt (wie etwa Landnutzung oder die Auenkulisse Fallstudie Nahe) oder 2) für eher ÖSL-spezifische Datensätze (z. B. FGSK-Parameter, Informationen zum Rückstau) wurde jeweils ein Regelwerk, das Annahmen systematische umsetzt, aufgestellt. Auch bei Vorher-Nachher-Vergleichen können ähnlich gelagerte Herausforderungen auftauchen, beispielsweise der Umstieg von einem siebenstufigen auf ein fünfstufiges System bei WRRL-Parametern muss entsprechend bundeslandspezifisch übersetzt werden.
Sensitivität	Teilweise führen einzelne (insbes. kleinräumige) Maßnahmen zu keinen messbaren Änderungen der ÖSL, da die verwendeten Ansätze nicht sensitiv darauf reagieren. Hierbei ist eine Anpassung der Berechnungsmethoden an unterschiedliche Faktoren erforderlich, wobei diese auch durch experientbasierte Abschätzungen sinnvoll ergänzt werden können.

## Glossar

### Abiotisch

Nicht von Lebewesen erzeugt oder beeinflusst.

### Altaue

Bereiche der *morphologischen Aue*, die infolge menschlicher Aktivitäten (z. B. Deichbau) abgetrennt worden sind. Die Altaue schließt *Polder* ohne *ökologische Flutung* mit ein.

### Akteur\*innen

Person oder Gruppe, die ein Interesse am Ergebnis oder Verlauf eines Prozesses oder Projektes hat (engl. „Stakeholder“).

### Anthropogen

Vom Menschen verursacht.

### Auentyp

Gruppe von Auen mit ähnlicher Einzugsgebietscharakteristik und ähnlichen hydro-morphologischen Merkmalen.

### Bereitgestellte Ökosystemleistungen (ÖSL)

Umfassen alle Beiträge des *Ökosystems*, die Menschen heute oder zukünftig nutzen könnten, aber nicht zwangsweise heute genutzt werden (von Haaren et al. 2014). Dementsprechend beschreiben bereitgestellte ÖSL die Leistungsfähigkeit oder das Angebot an ÖSL (Burkhard et al. 2014).

### Bezugszustand

Steht synonym für den Ausgangs-, Ist- bzw. Referenzzustand einer betrachteten Region. Bezeichnet den gegenwärtigen Zustand, der in der Analyse mit einem *Planungszustand*, einem *Szenario* oder einem anderen Zeitabschnitt verglichen wird.

### Binnengewässer

Auch Binnenoberflächengewässer; nach DIN 4049 Teil 1 bzw. DIN 4054 umfasst dies das in der Natur fließende oder stehende Wasser einschließlich Gewässerbett.

### Biodiversität

“Die Variabilität unter lebenden Organismen jeglicher Herkunft, darunter unter anderem Land-, Meeres- und sonstige aquatische *Ökosysteme* und die ökologischen Komplexe, zu denen sie gehören“ (Convention on Biological Diversity (CBD)). Dies beinhaltet die Artenvielfalt, die genetische Vielfalt und Ökosystemvielfalt.

### Biotisch

Von Lebewesen erzeugt oder beeinflusst.

### Biotop

Lebensraum einer typischen Lebensgemeinschaft von Organismen (Biozönose), der durch bestimmte Umweltfaktoren geprägt ist.

### Biotoptyp

Ist ein abstrahierter Typus aus der Gesamtheit gleichartiger *Biotope*.

### Deich

Wasserbauliche Schutzanlagen an Küsten und entlang von *Flüssen*.

### Denitrifikation

Mikrobielle Umwandlung des in Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) gebundenen Stickstoffs zu molekularem Stickstoff ( $\text{N}_2$ ).

### Einzugsgebiet

Das Einzugsgebiet eines *Flusses* umfasst das durch Wasserscheiden begrenzte Gebiet, das durch einen Fluss mit allen seinen Ne-

benflüssen entwässert wird.

### **Europäische Hochwasserrisikomanagementrichtlinie (HWRM-RL)**

Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie der EU (2007/60/EG), die den Umgang mit dem Hochwasserrisiko innerhalb der EU vereinheitlicht. Sie zielt darauf ab, die Risiken und Schäden durch Hochwässer in bezug auf Gesundheit, Umwelt, Kulturgüter und wirtschaftliche Tätigkeit zu verringern. Hierzu werden u. a. Karten möglicher Überschwemmungsgebiete erstellt, die zumeist den historischen Auengebieten entsprechen.

### **Europäische Wasserrahmenrichtliche (WRRL)**

Die europäische Wasserrahmenrichtlinie (Europäische Union 2000) ist eine Richtlinie, welche in der EU die Vorgaben für den Schutz und die Bewirtschaftung von Gewässern mit Hilfe von Regeln und Vorgaben vereinheitlicht, wobei verpflichtende Ziele und Zeitvorgaben zur Überführung in den *guten ökologischen Zustand* gemacht werden.

### **Feuchtgebiet**

Ökosystem im Übergangsbereich von trocken zu aquatisch, wobei Grund- oder Oberflächenwasserspiegel ganzjährig oder periodisch schwanken können.

### **Fauna-Flora-Habitat-Gebiet/ Natura 2000-Gebiet**

Schutzgebietskategorie der *Fauna-Flora-Habitat Richtlinie (FFH-RL) 92/43/EWG* vom 21. Mai 1992. Die Gebiete gehören zum europäischen Naturschutznetz *Natura 2000*.

### **Fauna-Flora-Habitat Lebensraumtyp (FFH-LRT)**

In der *FFH-RL* im Anhang I aufgeführte Lebensraumtypen. Für diese haben die EU-

Mitgliedsstaaten einen besonderen Schutz einzurichten.

### **Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-RL)**

Naturschutz-Richtlinie der Europäischen Union (Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992). Ziel der Richtlinie ist die Erhaltung wildlebender Tier- und Pflanzenarten, die Erhaltung ihrer Lebensräume sowie der Aufbau eines zusammenhängenden Systems von Schutzgebieten (Vernetzung, *Natura 2000-Gebiete*).

### **Filtrierer**

Organismen (zumeist Wirbellose), die zur Ernährung aktiv oder passiv organische Feinpartikel aus dem Wasser entnehmen.

### **Fließgewässerstrukturgüte**

Bewertung der morphologischen Strukturvielfalt von Fließgewässer-Abschnitten, zumeist durch Vor-Ort-Kartierungen mittels, zumeist in den Bundesländern, standardisierter Kartierungsmethoden.

### **Fluss**

Bezeichnet ein größeres, fließendes Gewässer der Landflächen (Fließgewässer, fließendes *Binnenoberflächengewässer*), das abschnittsweise auch unterirdisch fließen kann (Karsterscheinung). Kleinere Fließgewässer werden gemeinhin als Bäche bezeichnet; sehr große Fließgewässer auch als Ströme. Der Begriff Fluss wird im rechtlichen Kontext (z. B. *europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)*) teilweise auch als Überbegriff für alle Fließgewässer genutzt.

### **Fluss-Auen-Kompartiment**

Abgrenzbare funktionelle Einheiten der *morphologischen Aue*, unterteilt in *Altaue*, *rezente Aue*, und *Fluss*.

### Fluss-Auen-Segment

Abschnitte in Längsrichtung des Flusskorridors mit einer Standardlänge von 1 km (Brunotte et al. 2009). Die Fluss-Auen-Segmente werden als einheitlicher Bewertungsraum für den RESI genutzt. Die Segmente können weiter in *Fluss-Auen-Kompartimente* untergliedert werden.

### Flusslandschaft

Bezeichnet den für die Hauptinteraktion von Fluss und Aue maßgeblichen Landschaftsausschnitt als Areal in der Gesamtheit von Fluss und Aue; die konkrete Abgrenzung im Längsverlauf eines Flusses ist eine Frage des Zwecks, wird aber gemeinhin nach auen- und gewässertypologischen Aspekten vorgenommen.

### Fracht

Die Gewässerfracht bezieht sich auf die Konzentration von Nährstoffen (im RESI N, P, C) und der jährlichen Wasserabflussmenge (Durchfluss), als mittlere Fracht eines gewählten Bezugszeitraumes.

### Genutzte Ökosystemleistungen (ÖSL)

Werden direkt von Menschen konsumiert oder in Anspruch genommen (von Haaren et al. 2014). Sie beschreiben den de facto genutzten Teil des Bündels von ÖSL in einer bestimmten Fläche zu einer bestimmten Zeit (Burkhard et al. 2014).

### Gewässerentwicklungskonzept

Planwerk zur regionalen Umsetzung der Maßnahmenprogramme, die für ein Erreichen der Ziele der *europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)* erforderlich sind. Dabei wird auch ein Abgleich mit Zielen des Hochwasserschutzes und der *Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-RL)* angestrebt.

### Grundwasser

Unterirdisches Wasser in der Sättigungszone, räumlich abgegrenzt auch als Grundwasserkörper. In den Sedimentablagerungen von Auen liegen oft große Grundwasservorkommen.

### Guter ökologischer Zustand

Der von *menschlicher Einflussnahme* nur gering beeinflusste Zustand eines entsprechenden Oberflächenwasserkörpers nach den Kriterien und Bewertungen entsprechend *europäischer Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)* (Anhang V) bzw. OGWV; dies bildet das grundsätzliche Ziel der WRRL für alle *Wasserkörper*.

### Gutes ökologisches Potenzial

Der angestrebte Zustand eines erheblich veränderten oder künstlichen *Wasserkörpers*, gemäß *europäischer Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)* (Anhang V). Während ein künstlicher Wasserkörper ein vom Menschen geschaffener Oberflächenwasserkörper ist, liegt ein erheblich veränderter Wasserkörper dann vor, wenn er infolge physikalischer Veränderungen in seinem Wesen durch den Menschen erheblich beeinflusst und durch den Mitgliedsstaat entsprechend ausgewiesen wurde (Artikel 2 (8), (9) WRRL). Das höchste ökologische Potenzial stellt den Zustand dar, bei dem der biologische Zustand so weit wie möglich denjenigen des am ehesten vergleichbaren (natürlichen) Oberflächenwasserkörpers widerspiegelt.

### Habitat

Charakteristischer Lebensraum und Standort einer Art. Wird auch als Synonym zu *Biotoptop* verwendet.

### Hartholzaue

Weniger häufig überschwemmte Bereiche von Auen, in denen die Hartholz-Baumarten

Stieleiche, Feld- und Flatter-Ulme oder Esche den Auwald dominieren.

### Hochwasser

Natürlich entstandenes, zeitlich begrenztes Wasserstandsmaximum eines *Flusses*.

HQ 100: 100-jährliches Hochwasser und tritt im Durchschnitt einmal in 100 Jahren auf.

HQ extrem: Seltenes Hochwasser mit besonders hohem Wasserstand (vgl. *europäische Hochwasserrisikomanagementrichtlinie (HWRM-RL)*).

### Makrozoobenthos

Sichtbare, mit normalem Auge, erkennbare und am Gewässergrund bzw. benetztem Ufer lebende Tiere, z. B. Muscheln, Wasserschnecken, Wasserkäfer, Insektenlarven.

### Makrophyten

In Gewässern lebende Gefäßpflanzen und mit bloßem Auge sichtbare Algen, in *Binnengewässern* vor allem Armleuchteralgen.

### Maßnahmen

Sind darauf ausgerichtet, infolge zielgerichteter *anthropogener* Tätigkeiten Veränderungen in Fluss-Auen-Systemen zu bewirken. Diese umfassen z. B. bauliche Veränderungen (wasserwirtschaftlich oder naturschutzfachlich), Nutzungsänderungen oder Veränderungen der Unterhaltungsaktivitäten durch Behörden. Je nach Kontext können Maßnahmen zu einer Verbesserung oder Verschlechterung von Umweltzuständen und damit auch der ÖSL-Zusammensetzung führen. Beispiele sind Maßnahmen der *europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)*-Umsetzung, zur Erreichung der *Natura-2000*-Ziele oder für Aktivitäten des Auen- und Moorschutzes. Weiterhin sind synergistisch wirksame Maßnahmen (z. B. in einer Planung) möglich,

z. B. Verbindung von Hochwasserschutz und Auenentwicklung.

### Menschliche Einflüsse

Im Kontext von RESI machen diese den Unterschied zwischen *bereitgestellten* und *genutzten* ÖSL aus und beschreiben Handlungen bzw. Aktivitäten zur Nutzung von ÖSL und zur Gestaltung des Ökosystems. Dabei bedingen menschliche Entscheidungen zur Einflussnahme 1) Veränderung des menschlichen Beitrags (Input) zur Erbringung von ÖSL und 2) beabsichtigte oder unbeabsichtigte Veränderung (Modifikationen) des Ökosystems Flusslandschaft (Podschun et al. 2018).

### Menschliches Wohlergehen

Ein kontext- und situationsbezogener Status, der verschiedene Aspekte beinhaltet unter anderem Material zum Leben, Gesundheit und körperliches Wohlbefinden, soziale Beziehungen, Sicherheit und Spiritualität (MA 2005). Im Kontext des ÖSL-Konzepts lassen sich Elemente des Wohlbefindens in die Gruppen menschliche Grundbedürfnisse, ökonomisches Wohlbefinden, ökologisches Wohlbefinden und subjektives Wohlbefinden einteilen (Summers et al. 2012).

### Modellregion

Der räumliche Rahmen von repräsentativen Testgebieten bzw. Systemen, in dem Fragestellungen bearbeitet wurden. Im Projekt RESI waren das landschaftlich und hydrologisch verschiedene Fallbeispiele von Fluss-Auen-Systemen mit unterschiedlicher *anthropogener* Belastung sowie variierender Flussgröße, Flusslänge, Flusstyp und *Auentypen*, sodass gewonnene Erkenntnisse auch auf andere Regionen übertragen werden können.

### Modeling Of Nutrient Emissions into River Systems (MONERIS)

(Modeling Of Nutrient Emissions into River Systems): Bilanzierungsmodell zur Ermittlung von diffusen und punktuellen *Stofffrachten* über alle Eintragspfade ins Gewässer sowie innerhalb von Fließgewässersystemen.

### Morphologische Aue

Beschreibt den kompletten natürlichen Überschwemmungsbereich eines Flusses, der sich unterteilen lässt in die räumlichen Kompartimente *rezente Aue*, *Altaue* und *Fluss*.

### Nachfrage nach Ökosystemleistungen (ÖSL)

Die tatsächliche Entscheidung oder der geäußerte Bedarf nach Gütern und Leistungen ist eine Voraussetzung dafür, einen *Nutzen aus Ökosystemen* ziehen zu können (Wolff et al. 2015). Dabei können zwei Definitionen unterschieden werden: Die Nachfrage kann die tatsächliche Nutzung (Konsum) von ÖSL definiert werden (Burkhard et al. 2014), oder sie leitet sich aus den geäußerten individuellen bzw. gesellschaftlichen Präferenzen nach ÖSL ab (Schröter et al. 2014).

### Natura 2000

Innerhalb der Europäischen Union vorhandenes kohärentes Netz von Schutzgebieten nach den Maßgaben der Richtlinie 92/43/EWG (*Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie*) sowie der europäischen Vogelschutzrichtlinie (Richtlinie 79/409/EWG von 1979).

### Nutzen von Ökosystemleistungen (ÖSL)

Entsteht, wenn die ÖSL vom Menschen direkt oder indirekt in Anspruch genommen werden, gesellschaftliche und/oder rechtliche Normen (siehe auch *Wertmaßstäbe*) erfüllen oder/und eine positive Bedeutung

haben (TEEB DE 2012).

### Ökologischer Zustand oder Potenzial

Einstufung des Zustands bzw. Potentials (bei künstlichen oder erheblich veränderten Wasserkörpern) im Hinblick auf die Qualität von Struktur und Funktionsfähigkeit aquatischer, in Verbindung mit Oberflächengewässern stehender *Ökosysteme* nach den Qualitätskomponenten (Anhang V WRRL, OGewV). Maßgebend für die Einstufung der Wasserkörper in eine von fünf Klassen (sehr gut bis schlecht) sind die biologischen Qualitätskomponenten (BQK).

### Ökosystem

Gesamtheit der Wechselwirkungen zwischen Arten (biotisch) und zwischen Arten und ihrer unbelebten Umwelt (*biotisch* und *abiotisch*) in einem begrenzten Raum.

### Ökosystemfunktion

Umfasst physikalische, chemische und biologische Prozesse und Wechselwirkungen, die in den verschiedenen *Ökosystemen* stattfinden (TEEB DE 2012)

### Ökosystemleistung (ÖSL)

Bezeichnet direkte und indirekte Beiträge von *Ökosystemen* zum *menschlichen Wohlergehen*, das heißt Leistungen und Güter, die dem Menschen einen direkten oder indirekten wirtschaftlichen, materiellen, gesundheitlichen oder psychischen Nutzen bringen. In Abgrenzung zum Begriff *Ökosystemfunktion* entsteht der Begriff *Ökosystemleistung* aus einer anthropozentrischen Perspektive, und ist an einen Nutzen des Ökosystems für den Menschen gebunden (TEEB DE 2015). In RESI wird konzeptionell zwischen *bereitgestellten ÖSL* und den meist unter zusätzlichen menschlichen Einflüssen *genutzten ÖSL* unterschieden (Podschn et al. 2018).

### Ökologische Flutung

Episodische, kontrollierte Überflutung von Auenflächen, die durch Hochwasserschutzbauwerke (*Deiche*) vom natürlichen Überflutungsregime abgeschnitten sind (v. a. Hochwasserschutzpolder). Die ökologische Flutung (besser: Anpassungsflutung) hat zum Ziel, naturnähere Überflutungsbedingungen herzustellen, um damit die auentypischen Lebensgemeinschaften zu fördern. Aufgrund geringer Überflutungsdauer, -höhe, -dynamik oder -fläche werden damit aber zumeist nur begrenzt naturnahe Bedingungen in Auenflächen erreicht.

### Planungszustand

Beschreibt den infolge einer Kombination aus Maßnahmen angestrebten möglichen zukünftigen Ziel-Zustand. Während des Entscheidungsprozesses werden meist verschiedene Planungszustände, d. h. unterschiedliche Handlungsalternativen verglichen (z. B. Variation der Flächengröße der Maßnahme, unterschiedliche Intensität der Bewirtschaftung)

### Polder/Flutpolder

Beschreibt eine von *Deichen* umgebene Fläche, die bei *Hochwasser* ab einer bestimmten Höhe ungesteuert (über eine Überlaufschwelle) oder gesteuert (mittels eines regelbaren Wehrs) geflutet werden kann.

### Quality Simulation (QSIM)

Deterministisches Gewässergütemodell der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) zur Simulation von Stoffhaushalt und planktischen Organismen in Fließgewässern.

### Renaturierung

Maßnahmen, die *anthropogen* veränderte Lebensräume in einen naturnäheren Zustand überführen.

### Retention

Rückhalt oder Verzögerung von Wasserabfluss bzw. Stoffflüssen in der Landschaft und den Gewässern wie z. B. von Nährstoffen oder Kohlenstoff (N, P, C).

### Retentionsraum

Natürlich oder künstlich (s. *Polder*) erzeugte Fläche zum teilweisen Rückhalt von *Hochwässern* in einem Gebiet, die im Hochwasserfall überflutet wird.

### Rezente Aue

Beschreibt die noch überflutbaren Bereiche der *morphologischen Aue*. Die rezente Aue schließt *Flutpolder* mit *ökologischer Flutung* ein.

### Sediment

In Gewässern transportierte und dann unter der Wirkung der Schwerkraft abgelagerte Feststoffe unterschiedlicher Korngröße, wie etwa Kies, Sand, Schluff.

### Sedimenttransport

Transport von Feststoffen in Fließgewässern infolge der durch die Fließgeschwindigkeit erzeugten Schleppspannung.

### Querbauwerk

Ein quer oder schräg zur Fließrichtung verlaufendes, durchgehendes, künstliches Bauwerk, z. B. Sohlrampe, Sohlgleite oder Grundschwelle, Wehr, Stauanlage. Mit Staustufen wird das Ziel verfolgt, eine Vergrößerung der Wassertiefe zu erreichen, z. B. zur schiff-fahrtlichen Nutzung, zur verbesserten Gewinnung von Wasserkraft infolge Erhöhung der Fallhöhe, gleichmäßigere Bedingungen durch die Regelung des Abflusses. Staustufen, sind grundsätzlich mit negativen ökologischen Folgen für Fließgewässer und Auen verbunden (Mehl et al. 2002).

### Szenario

Ein Szenario ist eine erdachte oder entworfene Beschreibung einer möglichen zukünftigen Situation oder Abfolge von Ereignissen. Sie beruhen auf aktuellen Sachlagen und Trends sowie erwarteten Veränderungen in der Zukunft.

### Wasseraufenthaltszeit/Verweilzeit/Wasseraustauschzeit

Durchschnittliche Zeit eines Wassermoleküls im Gewässerkörper, berechnet über die Daten von oberirdischem Zufluss und/oder Abfluss sowie Speichervolumen (ggf. unter Berücksichtigung von Verdunstung oder Grundwasserzu-/abstrom); vereinfacht bzw. üblicherweise: Quotient aus mittlerem Gewässervolumen und mittlerem Abfluss.

### Wasserkörper

In der *europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)* bzw. Wasserhaushaltsgesetz (WHG) die Grundeinheit für die Zustandsbewertung und für Bewirtschaftungsmaßnahmen. Wasserkörper umfassen einheitliche und bedeutende Abschnitte eines oberirdischen Gewässers sowie abgegrenzte *Grundwasservolumen* innerhalb eines oder mehrerer Grundwasserleiter.

### Wert von Ökosystemleistungen (ÖSL)

Nach de Groot et al. (2010) kann man drei hauptsächliche Kategorien unterscheiden: ökologische Werte, gemessen über ökologischen Indikatoren; sozio-kulturelle Werte, gemessen über die Bedeutung, die Menschen der mit ÖSL verbundenen kulturellen Identität beimessen; ökonomische Werte, die über das Konzept des ökonomischen Gesamtwertes („total economic value“) bestimmt werden. Das Wertekonzept umfasst somit alle Nutzenaspekte, die die Nachfrage nach Umweltgütern allgemein bestimmen. Diese umfassen nutzungsabhängige Werte

und nutzungsunabhängige Werte. Die individuelle Wertschätzung ist also ein Maß für den Nutzen, den Individuen aus einer Wahlhandlung (z. B. einer Umweltqualitätsverbesserung) ziehen.

### Weichholzaue

Häufig überschwemmte Bereiche von Auen, in denen die Weichholz-Baumarten Schwarzpappel, Schwarz-Erle oder Weide (mit mehreren Arten) dominieren.

### Wertmaßstäbe

Umfassen sowohl rechtliche Ziele und Standards, das heißt Normen (z. B. aus dem BNatSchG oder der *europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)*), aber auch individuelle Präferenzen (von Haaren et al. 2014). Sie bedingen sowohl die Auswahl der Ökosystemaspekte, die als ÖSL aufgefasst werden, als auch die Bewertung dieser ÖSL (z. B. im Sinne von Zielerreichungsgraden).

## Literaturverzeichnis

- Albert, C., Neßhöver, C., Wittmer, H., Hinzmann, M. & Görg, C. (2014). Sondierungsstudie für ein nationales Assessment von Ökosystemen und ihren Leistungen für Wirtschaft und Gesellschaft in Deutschland-National Ecosystem Assessment, NEA-DE.
- Bagrov, N.A. (1953). O srednem mnogoletnem isparenii s poverchnosti susi (Über den vieljährigen Durchschnittswert der Verdunstung von der Oberfläche des Festlandes), *Meteorologia i Gidrologia* 10, 20-25.
- Bark, R.H., Barber, M., Jackson, S., Maclean, K., Pollino, C. & Moggridge, B. (2015). Operationalising the ecosystem services approach in water planning: a case study of indigenous cultural values from the Murray-Darling Basin, Australia. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management* 11, 239-249.
- Bartless, K.B. & R.C. Harriss, (1993). Review and assessment of methane emissions from wetlands. *Chemosphere* 26, 261-320.
- Batjes, N.H. (1996). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science* 47, 151-163.
- Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau & Bayerische Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur. LBP & LBA (1999). Erläuterungen zur Landwirtschaftlichen Standortkartierung (LSK) in Bayern, Stand 1999.
- Beichler, S.A., Bastian, O., Haase, D., Heiland, S., Kabisch, N. & Müller, F. (2017). Does the Ecosystem Service Concept Reach its Limits in Urban Environments? *Landscape Online*, 1-21.
- BMU (2003). Hydrologischer Atlas von Deutschland. - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn/Berlin - erweiterte Ausgabe 2003.
- Bridgham, S.D., Megonigal, J.P., Keller, J.K., Bliss, N.B. & Trettin, C. (2006). The carbon balance of North American Wetlands, *Wetlands* 26, 889-916.
- Bridgham, S.D., Pastor, J., Dewey, B., Weltzin, J.F. & Updegraff, F. (2008). Rapid carbon response of peatlands to climate change. *Ecology* 89, 3041-3048.
- BNatschG. Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 15. September 2017 (BGBl. I S. 3434) geändert worden ist.
- Brunotte, E., Dister, E., Günther-Diringer, D., Koenzen, U. & Mehl, D. (2009). Flussauen in Deutschland. Erfassung und Bewertung des Auenzustandes, Schriftenr. Naturschutz und biologische Vielfalt 87, 141 S.
- Burkhard, B., Kandziora, M., Hou, Y. & Müller, F., (2014). Ecosystem Service Potentials, Flows and Demands – Concepts for Spatial Localisation, Indication and Quantification. *Landscape Online*, 1-32.
- Burkhard, B., & Maes, J. (Eds.) (2017). Mapping ecosystem services. Pensoft Publishers, Sofia, 376 S. Open Access.
- Chan, K. M. A., Guerry, A. D., Balvanera, P., Klain, S., Satterfield, T., Basurto, X., Bostrom, A. & Woodside, U. (2012). Where are Cultural and Social in Ecosystem Services? A Framework for Constructive Engagement. *Bioscience*, 62, 744-756.
- Clerici, N., Paracchini, M.L. & Maes, J. (2014). Land-cover change dynamics and insights into ecosystem services in European stream riparian zones. *Ecohydrology & Hydrobiology* 14, 10-120.
- de Groot, R.S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L. & Willemsen, L., (2010c). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity* 7, 260-272.

- Die Bundesregierung der Republik Deutschland (2018). Biodiversität in und an Flüssen. Drucksache 19/1128. Abgerufen 8. Juli, 2018, von <http://dipbt.bundestag.de/doc/btd/19/014/1901415>.
- DIN 4049 Teil 1: Hydrologie. Begriffe quantitativ. Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Köln (Beuth Verlag GmbH).
- DIN 4054: Verkehrswasserbau. Begriffe. Fachnormenausschuss Wasserwesen (FNW) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Köln (Beuth Verlag GmbH).
- DWA-M 525: Sedimentmanagement in Fließgewässern – Grundlagen, Methoden, Fallbeispiele. Merkblatt, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., DWA [Hrsg.], 2012.
- DWA-M 526: Grundlagen morphodynamischer Phänomene in Fließgewässern. Merkblatt, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. DWA [Hrsg.], 2015.
- Edom, F. (2001). Hydrologische Eigenheiten, in: Succow, M. & Joosten, H. [Hrsg.]: Landschaftsökologische Moorkunde. Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung), S. 92-111.
- Ehrlich, P.R. & Ehrlich, A.H. (1981). Extinction: The causes and consequences of the disappearance of species. Verlag Radow House, New York.
- Europäische Union (2000). Richtlinie 2000/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, 327(22.12).
- Finck, P., Heinze, S., Raths, U., Riecken, U. & Ssymank, A. (2017): Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands. Dritte Fortgeschriebene Fassung 2017. Münster (Landwirtschaftsverlag). Naturschutz und Biologische Vielfalt, 156 S.
- Fischer, C., Rumm, A., Damm, C., Foeckler, F., Gelhaus, M., Gerstner, L., Horchler, P., Kasperidus, H., Stammel, B. & Scholz, M. (2017). Quantifizierung und Bewertung von regulativen Ökosystemleistungen - Modul Habitatbereitstellung. River Ecosystem Service Index (RESI) Projektergebnisdokument 4.2-3, 42 S.
- Fish, R., Church, A., Willis, C., Winter, D.M., Tratalos, J., Haines-Young, R. & Potschin, M. (2016). Making space for cultural ecosystem services: insights from a study of the UK Nature Improvement Initiative. *Ecosystem Services* 21, 329–343.
- Foeckler, F., Scholz, M., Stammel, B., Schmidt, H. & Rumm, A. (2018). Quantifizierung und Bewertung der regulativen Ökosystemleistungen „Habitatbereitstellung“, Teil C. Bewertung der Habitatbereitstellung anhand der Molluskenfauna - Mollix. River Ecosystem Service Index (RESI) Projektergebnisdokument 4.2-3, 21 S.
- Geyler, S., Laforet, L., Rüger, J., Nowak, K., Holländer, R., Bertzbach, F., Raehmel, P., Klauer, B., Schulz, A. & Schade, C. (2018): Indikatoren für die ökonomische Bedeutung von Wasser und Gewässern. Abschlussbericht, Texte des Umweltbundesamtes 47/2018.
- Gleason, R.A. & Laubhan, M. K. (2008). Chapter A: Background and Approach to Quantification of Ecosystem Services, in: Gleason, R.A., Laubhan, M.K. & Euliss, N. H. Jr. [Hrsg.]: Ecosystem Services Derived from Wetland Conservation Practices in the United States Prairie Pothole Region with an Emphasis on the U.S. Department of Agriculture Conservation Reserve and Wetlands Reserve Programs, Professional Paper 175, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, 3-14.
- Glugla, G., Jankiewicz, P., Rachimow, C., Lojek, K., Richter, K., Fürtig, G. & Krahe, P. (2003). Wasserhaushaltsverfahren zur Berechnung vieljähriger Mittelwerte der tatsächlichen Verdunstung und des Gesamtabflusses, Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), BfG-Bericht Nr. 1342, 103 S.
- Grizzetti, B., Lanzanova, D., Liqueste, C. & Reynaud, A. (2015). Cook-book for water ecosystem service assessment and valuation. JRC Science and policy Report. European Commission Luxembourg.

- Grunewald, K. & Bastian, O. (2012). *Ökosystemdienstleistungen: Konzept, Methoden und Fallbeispiele*. Springer, 332 S.
- Haines-Young, R. & M. Potschin (2010). The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. In: *Ecosystem Ecology: A New Synthesis*.
- Haines-Young, R. & Potschin, M. (2013). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES)*, Version 4.3, 2013 ed. EEA, [www.cices.eu](http://www.cices.eu).
- Hanna, D. E. L., Tomscha, S. A., Ouellet, D. C. & Bennett, E. M. (2018): A review of riverine ecosystem service quantification: Research gaps and recommendations. *Journal of Applied Ecology*, 55, 1299–1311.
- Hansjürgens, B. (2012). Werte der Natur und ökonomische Bewertung – eine Einführung. In: Hansjürgens, B. & Herkle, S. (Hrsg.): *Der Nutzen von Ökonomie und Ökosystemleistungen für die Naturschutzpraxis – Workshop II: Gewässer, Auen und Moore*. 2., überarb. Aufl. Bonn, BfN-Skripten 319, 8-22.
- Harnischmacher, S. (2002). Fluvialmorphologische Untersuchungen an kleinen, naturnahen Fließgewässern, *Bochumer Geographische Arbeiten* 70, 323 S.
- Hermes, J., Van, B. D., Burkhard, B., Plieninger, T., Fagerholm, N., von, H. C., & Albert, C. (2018). Assessment and valuation of recreational ecosystem services of landscapes. *Ecosystem Services*, 31, 289-295.
- Hermann, A., Schleifer, S. & Wrbka, T. (2011). The Concept of Ecosystem Services Regarding Landscape Research: A Review. *Living Reviews in landscape research* 5, 1-37.
- Höper, H. (2007). Freisetzung von Treibhausgasen aus deutschen Mooren. *TELMA* 37, 85-116.
- Joosten, H., Brust, K., Couwenberg, J., Gerner, A., Holsten, B., Permien, T., Schäfer, A., Tanneberger, F., Trepel, M. & Wahren, A. (2013). *MoorFutures. Integration von weiteren Ökosystemdienstleistungen einschließlich Biodiversität in Kohlenstoffzertifikate - Standard, Methodologie und Übertragbarkeit in andere Regionen*, BfN-Skripten 350, 130 S.
- Kaat, A. & Joosten, H. (2008). *Factbook for UNFCCC policies on peatland emissions*. *Wetlands International*, Wageningen, 26 S.
- Kastler, M., Molt, C., Kaufmann-Boll, C. & Steinrücke, M. (2015). Kühlleistung von Böden. Leitfaden zur Einbindung in stadtklimatische Konzepte in NRW, LANUV-Arbeitsblatt 29, 69 S.
- Koenzen, U. (2005). *Fluss- und Stromauen in Deutschland: Typologie und Leitbilder; Ergebnisse des F+E-Vorhabens "Typologie und Leitbildentwicklung für Flussauen in der Bundesrepublik Deutschland" des Bundesamtes für Naturschutz*. FKZ: 803 82 100. Münster: BfN-Schr.-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag
- Koenzen, U., Döbbelt-Grüne, S., Pottgiesser, T., Sommerhäuser, M., Binder, W., Patt, H., Podraza, P., Hering, D., Wieprecht, S., Schackers, B., Burkart, B. & Steuer, U. (2016). *Planung der Fließgewässer- und Auenentwicklung*, 271-398.
- Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. *Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau* (2018). KTI. Online Anwendung, <https://daten.ktbl.de/dslkrpflanze/postHv.html>, abgerufen am 01.10.2018
- MA (2005). *Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC
- Mangelsdorf, J. & Scheurmann, K. (1980). *Flußmorphologie. Ein Leitfaden für Naturwissenschaftler und Ingenieure*. München, Wien (Oldenbourg), 262 S.
- Mehl, D., Thiele, V., Degen, B. & Wolff, A. (2002). Ökologische Wirkungsanalysen im Zusammenhang mit Bundeswasserstraßenplanungen, 148 S., in: UBA-Texte 02/02: *Umweltorientierte Bewertung von Bundeswasserstraßenplanungen*. Forschungsbericht 298 85 106, Umweltbundesamt, UBA-FB 000292 - *Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit*.

- Mehl, D. (2006). Erreichtes und Probleme bei der Einfügung der Fließgewässer in das Verfahren der übergreifenden Naturraumerkundung, *Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung* 45, 91-116.
- Mehl, D., Scholz, M., Schulz-Zunkel, C., Kasperidus, H.-D., Born, W. & Ehlert, T. (2013). Analyse und Bewertung von Ökosystemfunktionen und -leistungen großer Flussauen, *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft* 6, 493-499.
- Mehl, D., Hoffmann, T. G., Friske, V., Kohlhas, E., Linnenweber, Ch., Mühlner, C. & Pinz, K. (2015): Der Wasserhaushalt von Einzugsgebieten und Wasserkörpern als hydromorphologische Qualitätskomponentengruppe nach WRRL – der induktive und belastungsbasierte Ansatz des Entwurfs der LAWA-Empfehlung. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 59, 96-108.
- Mehl, D., Hoffmann & T. G., Iwanowski, J. (2017). Quantifizierung und Bewertung von regulativen Ökosystemleistungen. *River Ecosystem Service Index (RESI) Projektergebnisdokument 2.2 und 2.3*, 31 S.
- Mehl, D., Hoffmann, T.G., Iwanowski, J., Lüdecke, K. & Thiele, V. (2018a). 25 Jahre Fließgewässerrenaturierung an der mecklenburgischen Nebel: Auswirkungen auf den ökologischen Zustand und auf regulative Ökosystemleistungen. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 62, 6-24.
- Mehl, D., Hoffmann, T.G., Iwanowski, J., Schneider, M. & Foy, T. (2018b): Ein Beitrag zur Analyse und Bewertung der Ökosystemleistungen kleiner urbaner Gewässer und Feuchtgebiete am Beispiel der Hansestadt Rostock. Teil 1: Einleitung, Zielstellung, Grundlagen und Vorgehensweise. *Korrespondenz Wasserwirtschaft* 11, 148-153.
- Mehl, D., Hoffmann, T.G., Schneider, M., Iwanowski, J., Ewert, J. & Foy, T. (2018c). Ein Beitrag zur Analyse und Bewertung der Ökosystemleistungen kleiner urbaner Gewässer und Feuchtgebiete am Beispiel der Hansestadt Rostock. Teil 2: Methoden und Ergebnisse für ausgewählte regulative Ökosystemleistungen. *Korrespondenz Wasserwirtschaft* 11, 200-205.
- Mehl, D., Renner, M., Gottelt-Trabandt, C., Böx, S., Hoffmann, T.G. & Iwanowski, J. (2018d). Ein Beitrag zur Analyse und Bewertung der Ökosystemleistungen kleiner urbaner Gewässer und Feuchtgebiete am Beispiel der Hansestadt Rostock. Teil 3: Methoden und Ergebnisse für ausgewählte regulative und kulturelle Ökosystemleistungen, nutzenbasierte ökonomische Bewertung, Diskussion und Schlussfolgerungen. *Korrespondenz Wasserwirtschaft* 11, 257-264.
- MUNLV (2005). Ergebnisbericht Wupper. Wasserrahmenrichtlinie in NRW – Bestandsaufnahme. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 301 S.
- OGewV: Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung – OGewV) vom Juni 2016 (BGBl. I S. 1373).
- Oppermann, R., Schumacher, F. & Kirchesch, V. (2015). *Hydrax - Ein hydrodynamisches 1-D Modell*. Koblenz.
- Parish, F., Sirin, A., Charman, D., Joosten, H., Minayeva, T., Silvius, M. & Stringer, L. (Eds.) (2008). *Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change: Main Report*. Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen, [http://www.imcg.net/media/download\\_gallery/books/assessment\\_peatland.pdf](http://www.imcg.net/media/download_gallery/books/assessment_peatland.pdf), 179 S.
- Podschun, S.A., Thiele, J., Dehnhardt, A., Mehl, D., Hoffmann, T.G., Albert, C., von Haaren, C., Deutschmann, K., Fischer, C., Scholz, M., Costea, G., Pusch, M.T. (2018): Das Konzept der Ökosystemleistungen – eine Chance für Integratives Gewässermanagement. *Hydrologie & Wasserbewirtschaftung*, 62, 453-468.
- Potschin, M., Haines-Young, R, Fish, R, & Turner, R.K.T. (2016). *Routledge Handbook of Ecosystem Services*. 645 S.
- Plieninger, T., Dijks, S., Oteros-Rozas, E. & Bieling, C. (2013). Assessing, mapping, and quantifying cultural ecosystem services at community level. *Land Use Policy* 33, 118-129.

- Ritz, S., Dähnke, K. & Fischer, H. (2018). Open-channel measurement of denitrification in a large lowland river. *Aquatic Sciences* 80, 1-13.
- Saarikoski, H., Jax, K., Harrison, P.A., Primmer, E., Barton, D.N., Mononen, L., Vihervaara, P. & Furman, E. (2015). Exploring operational ecosystem service definitions: The case of boreal forests. *Ecosystem Services* 14, 144-157.
- Ritz, S.; Linnemann, K.; Becker, A.; Kasperidus, H. D.; Scholz, M.; Schulz-Zunkel, C.; Venohr, M.; Wildner M. Fischer, H. (2017). Quantifizierung und Bewertung von regulativen Ökosystemleistungen. *River Ecosystem Service Index (RESI) Projektergebnisdokument 3.2-3*, 48 S.
- Schäfer, A. (2009). Moore und Euros - die vergessenen Millionen, *Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie* 43, 156-160.
- Schröter, M., van der Zanden, E.H., van Oudenhoven, A.P.E., Remme, R.P., Serna-Chavez, H.M., de Groot, R.S. & Opdam, P. (2014). Ecosystem Services as a Contested Concept: a Synthesis of Critique and Counter-Arguments. *Conservation Letters* 7, 514-523.
- Scholz, M., Kasperidus, H.D., Ilg, C. & Henle, K. (2012). Habitatfunktion. In: 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, 102-146.
- Scholz, M., Kasperidus, H.D., Schulz-Zunkel, C., Born, W., Mehl, D. & Ehlert, T. (2015). Herausforderungen der Erfassung und Bewertung von Ökosystemleistungen an Bundeswasserstraßen aus ökologischer Sicht. *Ökosystemleistungen - Herausforderungen und Chancen im Management von Fließgewässern*, S. 18 – 30.
- Schulz-Zunkel, C., Scholz, M., Kasperidus, H. D., Krüger, F., Natho, S., & Venohr, M. (2012). Nährstoffretention, In: *Ökosystemfunktionen von Flussauen - Analyse und Bewertung von Hochwasserretention, Nährstoffrückhalt, Kohlenstoffvorrat, Treibhausgasemissionen und Habitatfunktion*. In M. Scholz, D. Mehl, C. Schulz-Zunkel, H. D. Kasperidus, W. Born, & K. Henle (Eds.), *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 124, 48-72.
- Stahl, H., Zacharias, S. & Röhrich, C. (2005). Veränderte Landnutzungssysteme in hochwassergefährdeten Gebieten. *Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft*, Heft 12, 10.Jg. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Pflanzliche Erzeugung, Dresden
- Stammel, B., Fischer, C., Gelhaus, M., Scholz & P. Horschler (2018). Quantifizierung und Bewertung von regulativen Ökosystemleistungen-Modul Habitatbereitstellung, Teil B. Bewertung der Habitatbereitstellung anhand der floristischen Ausstattung - Florix. *River Ecosystem Service Index (RESI) Projektergebnisdokument 4.2-3*, 16 S.
- Succow, M. & Joosten, H. [Hrsg.] (2001). *Landschaftsökologische Moorkunde*. - Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele & Obermiller)), 2. völlig neu bearb. Aufl., 622 S.
- Summers, J.K., Smith, L.M., Case, J.L., Linthurst, R.A., (2012). A review of the elements of human well-being with an emphasis on the contribution of ecosystem services. *Ambio* 41, 327-340.
- TEEB DE (2012): *Der Wert der Natur für Wirtschaft und Gesellschaft - Eine Einführung*. München, ifuplan; Leipzig, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ; Bonn, Bundesamt für Naturschutz, 90 S.
- TEEB DE (2015): *Naturkapital und Klimapolitik – Synergien und Konflikte*. Hrsg. von Hartje, V., Wüstemann, H. & Bonn, A. Technische Universität Berlin, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ. Berlin, Leipzig, 216 S.
- Thiele, J., von Haaren, C. & Albert, C. (2018). Quantifizierung und Bewertung der Bereitstellung kultureller Ökosystemleistungen in Flusslandschaften. *River Ecosystem Service Index (RESI) Projektergebnisdokument 6.1*, 16 S.

- Vermaat, J., Ansink, E., Perez, M.C., Wagtendonk, A. & Brouwer, R. (2013). Valuing the ecosystem services provided by European river corridors – an analytical framework, REFORM- REstoring rivers FOR effective catchment Management, D 2.3 Analytical framework ecosystem services.
- 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, 1335-1346.
- WHG. Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG), 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. Juli 2017 (BGBl. I S. 2771) geändert worden ist.
- Wiechmann, H. (2000). Bodensystematische Kennzeichnung von Auenböden. In: Friese, K., Witter, B. & Rode, M. (Hrsg.): Stoffhaushalt von Auenökosystemen. Böden und Hydrologie, Schadstoffe, Bewertungen, S. 19-25.
- Wolff, S., Schulp, C.J.E. & Verburg, P.H., (2015). Mapping ecosystem services demand: A review of current research and future perspectives. *Ecological Indicators* 55, 159-171.
- Zebisch, M., Grothmann, T., Schröter, D., Haase, C., Fritsch, U. & Cramer, W. (2005). Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme, UBA-Texte 08/2005, 203 S.

# Liste der bisher veröffentlichten Berichte des IGB

Hrsg.: IGB, Berlin.  
ISSN 1432-508X

- 
- Heft 1**     **Behrendt, H. & Opitz, D.**  
Ableitung einer Klassifikation für Gewässergüte von planktondominierten Fließgewässern und Flusseen im Berliner Raum und güteklassenbezogene Zielvorgaben zur Nährstoffreduzierung im Berliner Gewässersystem.  
1996. 91 S.
- 
- Heft 2**     **Gelbrecht, J. et al.**  
Stoffeinträge in Oberflächengewässer und Stoffumsetzungsprozesse in Fließgewässern im Einzugsgebiet der Unteren Spree als Grundlage für Sanierungskonzepte.  
1996. 148 S. (vergriffen)
- 
- Heft 3**     **Prochnow, D. et al.**  
Schweb- und Schadstoffe der unteren Spree 1994 – 1996, Modellierung und Simulation des dynamischen Verhaltens von Schwebstoffen in eutrophen Fließgewässern.  
1997. 127 S.
- 
- Heft 4**     **Jahresforschungsbericht 1996.**  
1997. 289 S.
- 
- Heft 5**     **Jahresforschungsbericht 1997.**  
1998. 166 S.
- 
- Heft 6**     **Sonderheft I**  
Proceedings of the Workshop on Order Theoretical Tools in Environmental Sciences, held on November, 16th, 1998 in Berlin.  
1998. 117 S.
- 
- Heft 7**     **Sonderheft II**  
Zusammenfassungen der Beiträge des 13. Treffens deutschsprachiger DiatomologInnen mit internationaler Beteiligung vom 25. bis 28. März 1999.  
1999. 208 S.: mit CD.

- 
- Heft 8**     **Jahresforschungsbericht 1998.**  
1999. 208 S.: mit CD.
- 
- Heft 9**     **Ausgewählte Forschungsergebnisse aus dem IGB zum Themenkreis „Einfluss von Einzugsgebietscharakteristika auf die Wasserbeschaffenheit von Oberflächengewässern in Brandenburg.**  
1999. 170 S.
- 
- Heft 10**    **Annual Report 1999.**  
2000. 234 S.
- 
- Heft 11**    **Pusch, M. et al.**  
Ökologisch begründetes Bewirtschaftungskonzept für die Spree unter dem Aspekt der bergbaubedingten Durchflussreduktion.  
2001. 244 S.
- 
- Heft 12**    **Sonderheft III**  
Casper, P., et al.  
Stechlinsee-Bibliographie.  
2001. 85 S.
- 
- Heft 13**    **Annual Report.**  
2001. 238 S.
- 
- Heft 14**    **Pudenz, S. et al.**  
Proceedings of the Workshop on Order Theoretical Tools in Environmental Science and Decision Systems, held on November 6th-7th 2001 in Berlin.  
2001. 224 S.
- 
- Heft 15**    **Annual Report 2001.**  
2002. Internet: [www.igb-berlin.de](http://www.igb-berlin.de).  
[Erschienen nur als CD-ROM.]
- 
- Heft 16**    **Schauser, I. et al.**  
Seeinterne Maßnahmen zur Beeinflussung des Phosphor-Haushaltes eutrophierter Seen. Leitfaden zur Auswahl eines geeigneten Verfahrens.  
2003. 106 S.: mit CD-ROM.
- 
- Heft 17**    **Annual Report 2002.**  
2003. 127 S.

- 
- Heft 18**    **Arlinghaus, R.**  
Angelfischerei in Deutschland – eine soziale und ökonomische Analyse.  
2004. 160 S.
- 
- Heft 19**    **Pusch, M. et al.**  
Die Elbe – Gewässerökologische Bedeutung von Flussbettstrukturen  
The River Elbe – ecological importance of channel morphology  
2004. 304 S.
- 
- Heft 20**    **Annual Report 2003.**  
Jahresforschungsbericht 2003.  
2004. 206 S.
- 
- Heft 21**    **Mehner, T. et al.**  
Entwicklung einer leitbildorientierten Methode zur Bewertung des ökologischen  
Zustands von Seen anhand der Fischfauna.  
2004. 202 S.
- 
- Heft 22**    **Annual Report 2004.**  
Jahresforschungsbericht 2004.  
2005. 214 S.
- 
- Heft 23**    **Annual Report 2005.**  
Jahresforschungsbericht 2005.  
2006. 215 S.
- 
- Heft 24**    **Annual Report 2006.**  
Jahresforschungsbericht 2006.  
2007. 186 S.
- 
- Heft 25**    **Umlauf, L. & Kirillin, G. (Eds.)**  
Proceedings of the 11th Workshop on Physical Processes in Natural Waters:  
Warnemünde, Germany, 3 – 6 September, 2007.  
2007. 197 S.
- 
- Heft 26**    **Gelbrecht, J. et al.**  
Phosphor- und Kohlenstoff-Dynamik und Vegetationsentwicklung in wiederver-  
nässten Mooren des Peenetales in Mecklenburg Vorpommern.  
2008. 190 S.

- 
- Heft 27**    **Riepe, C. & Arlinghaus, R.**  
Einstellungen der Bevölkerung in Deutschland zum Tierschutz in der Angelfischerei.  
2014. 196 S.
- 
- Heft 28**    **Arlinghaus, R. et al.**  
Hand in Hand für eine nachhaltige Angelfischerei. Ergebnisse und Empfehlungen aus fünf Jahren praxisorientierter Forschung zu Fischbesatz und seinen Alternativen.  
2015. 200 S.
- 
- Heft 29**    **Köfler-Tockner, B. et al.**  
Auf den historischen Spuren des IGB. Ein Jahrhundert Forschung an Gewässern.  
2016. 120 S.
- 
- Heft 30**    **Köfler-Tockner, B. et al.**  
Auf den historischen Spuren des IGB. Ein Jahrhundert Forschung an Gewässern.  
2016. 120 S.
- 
- Heft 31**    **Arlinghaus, R. et al.**  
Nachhaltiges Management von Angelgewässern: ein Praxisleitfaden.  
2017. 231 S.



ISSN 1432-508X

DOI 10.4126/FRL01-006410777