

River Ecosystem Service Index (RESI) - Methoden zur Quantifizierung und Bewertung ausgewählter Ökosystemleistungen in Flüssen und Auen

Titelbild: Untere Mulde im Biosphärenreservat Mittelelbe, Foto: Michael Vieweg, UFZ

Herausgeber: Christine Fischer-Bedtke, Helmut Fischer, Dietmar Mehl, Simone A. Podschun, Martin Pusch, Barbara Stammel & Mathias Scholz

Redaktion:

Dr. Christine Fischer-Bedtke
Dipl.-Ing. Mathias Scholz
Department Naturschutzforschung
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
Permoserstraße 15, 04318 Leipzig
E-Mail: mathias.scholz@ufz.de

Druck: DDF Digitaldruckfabrik GmbH, Werkstättenstraße 31/ Halle K, 04319 Leipzig



Förderhinweis:

Die Arbeiten erfolgten im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Verbundprojektes „River Ecosystem Service Index“ (RESI) mit dem Förderkennzeichen 033W024A-K. RESI ist Teil der Fördermaßnahme „Regionales Wasserressourcen-Management für den nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland“ (ReWaM) im BMBF-Förderschwerpunkt „Nachhaltiges Wassermanagement“ (NaWaM) im Rahmenprogramm „Forschung für Nachhaltige Entwicklung“ (FONA). Die Verantwortung für den Inhalt dieser und der folgenden Veröffentlichungen liegt bei den Autoren.

Weitere Informationen gibt es auf der Projekt-Homepage www.resi-project.info/



UFZ-BERICHT 2|2020

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ

ISSN 0948-9452

River Ecosystem Service Index (RESI) - Methoden zur Quantifizierung und Bewertung ausgewählter Ökosystemleistungen in Flüssen und Auen

Inhaltsverzeichnis

Vorwort und Danksagung	1
Einführung in den River Ecosystem Services (RESI) - Ansatz	5
PODSCHUN, S. A., FISCHER-BEDTKE, C., ALBERT, C., DAMM, C., DEHNHARDT, A., FISCHER, H., FOCKLER, F., GELHAUS, M., HARTJE, V., HOFFMANN, T. G., KASPERIDUS, H. D., MEHL, D., PUSCH, M., RITZ, S., RUMM, A., SCHULZ-ZUNKEL, C., STAMMEL, B., THIELE, J., VENOHR, M., VON HAAREN, C. & M. SCHOLZ	
Ökosystemleistungen der Flüsse und ihrer Auen: Einflussfaktoren und Nutzungen	17
FISCHER-BEDTKE, C., VILOVIĆ, V., PODSCHUN, S. A., ALBERT, C., DAMM, C., FISCHER, H., FOCKLER, F., GELHAUS, M., HARTJE, V., HOFFMANN, T. G., KASPERIDUS, H. D., MEHL, D., PUSCH, M., RITZ, S., RUMM, A., SCHULZ-ZUNKEL, C., STAMMEL, B., THIELE, J., VENOHR, M., VON HAAREN, C., SCHOLZ, M. & A. DEHNHARDT	
Quantifizierung und Bewertung versorgender Ökosystemleistungen	59
DEHNHARDT, A., RAYANOV, M., HARTJE, V., SANDER, A., HORLITZ, T. & T. BENNER	
Quantifizierung und Bewertung regulativer Ökosystemleistungen: Rückhalt von Treibhausgasen / Kohlenstoffsequestrierung, Hochwasser-, Niedrigwasser- und Sedimentregulation, Bodenbildung in Auen sowie Kühlwirkung der Gewässer und terrestrischen Böden	77
MEHL, D., HOFFMANN, T. G. & I. IWANOWSKI	
Quantifizierung und Bewertung regulativer Ökosystemleistungen: Retention	93
RITZ, S., LINNEMANN, K., BECKER, A., KASPERIDUS, H. D., SCHOLZ, M., SCHULZ-ZUNKEL, C., VENOHR, M., WILDNER, M. & H. FISCHER	
Analyse und Bewertung der Ökosystemleistung Habitatbereitstellung – bundesweiter Ansatz für die Aue	141
SCHOLZ, M., DAMM, C., FISCHER-BEDTKE, C., FOCKLER, F., GELHAUS, M., GERSTNER, L., KASPERIDUS, H. D., RUMM, A., STAMMEL, B. & K. HENLE	
Quantifizierung und Bewertung der Ökosystemleistung Habitatbereitstellung – Detailansatz für die Aue	149
FISCHER-BEDTKE, C., DAMM, C., FOCKLER, F., GELHAUS, M., GERSTNER, L., KASPERIDUS, H. D., RUMM, A., STAMMEL, B. & M. SCHOLZ	
Quantifizierung und Bewertung der Ökosystemleistung Habitatbereitstellung im Fluss – AquaRESI	171
NISSL, M., STAMMEL, B., LENTZ, A., FOCKLER, F., PARZEFALL, C., FISCHER-BEDTKE, C., DAMM, C., GELHAUS, M., GERSTNER, L., KASPERIDUS, H. D., SCHOLZ, M. & A. RUMM	
Quantifizierung und Bewertung der Ökosystemleistung Habitatbereitstellung anhand der floristischen Ausstattung – Florix	181
STAMMEL, B., DAMM, C., FISCHER-BEDTKE, C., FOCKLER, F., GELHAUS, M., HORCHLER, P., KASPERIDUS, H. D., RUMM, A. & M. SCHOLZ	
Quantifizierung und Bewertung der Ökosystemleistung Habitatbereitstellung anhand der Molluskenfauna – Mollix	193
RUMM, A., SCHOLZ, M., STAMMEL, B., FISCHER-BEDTKE, C., DAMM, C., GELHAUS, M., GERSTNER, L. & F. FOCKLER	

Regelwerk für Maßnahmen in den Modellgebieten für den Habitatindex	209
DAMM, C., GERSTNER, L., FISCHER-BEDTKE, C., FOCKLER, F., GELHAUS, M., RUMM, A., STAMMEL, B. & M. SCHOLZ	
Erfassung und Bewertung kultureller Ökosystemleistungen von Flusslandschaften	213
THIELE, J., ALBERT, C. & C. VON HAAREN	
Anwendung des RESI Habitatindex für die Modellregionen am Oberrhein	253
DAMM, C., LOTTI, J., FISCHER-BEDTKE, C., FOCKLER, F., GELHAUS, M., RUMM, A., SCHOLZ, M., STAMMEL, B. & L. GERSTNER.	
Ergebnisse der Quantifizierung und Bewertung von Ökosystemleistungen vor und nach der Renaturierung der Nebel	273
MEHL, D., FISCHER-BEDTKE, C., DAMM, C., GELHAUS, M., GERSTNER, L., HOFFMANN, T. G., IWANOWSKI, J., PODSCHUN, S. A., RUMM, A., SCHOLZ, M. & B. STAMMEL	
Ergebnisse der Quantifizierung und Bewertung von Ökosystemleistungen bei Umsetzung typspezifischer Gewässerentwicklungsflächen an der Nahe von Hoppstädten-Weiersbach bis zur Mündung in den Rhein bei Bingen	293
FISCHER-BEDTKE, C., IWANOWSKI, J., PODSCHUN, S. A., BECKER, A., FISCHER, H., DAMM, C., GELHAUS, M., GERSTNER, L., HOFFMANN, T. G., HORNUNG, L., KASPERIDUS, H. D., LINNEMANN, K., RITZ, S., RUMM, A., STAMMEL, B., SCHOLZ, M., SCHULZ-ZUNKEL, C., THIELE, J., VENOHR, M., WILDNER, M. & D. MEHL	
Ergebnisse der Ökosystemleistungs-Quantifizierung und -bewertung für geplante Hochwasserschutzmaßnahmen an der Donau von der Iller- bis zur Lechmündung	325
GELHAUS, M., PODSCHUN, S. A., ALBERT, C., BECKER, A., CHAKHVASHVILI, E., FISCHER-BEDTKE, C., FISCHER, H., DAMM, C., GERSTNER, L., HOFFMANN, T. G., IWANOWSKI, J., KASPERIDUS, H. D., LINNEMANN, K., MEHL, D., PUSCH, M., RAYANOV, M., RITZ, S., RUMM, A., SANDER, A., SCHOLZ, M., SCHULZ-ZUNKEL, C., THIELE, J., VENOHR, M., VON HAAREN, C., WILDNER, M. & B. STAMMEL	
Anwendung des River Ecosystem Service Index (RESI) in der Wasserwirtschaft und im Naturschutz	365
PUSCH, M., PODSCHUN, S. A., STAMMEL, B., FISCHER, H., FISCHER-BEDTKE, C., MEHL D. & M. SCHOLZ	
Anschriften der Autoren	373
Abkürzungsverzeichnis	375
Glossar	377

Quantifizierung und Bewertung der Ökosystemleistung Habitatbereitstellung anhand der Molluskenfauna – Mollix

RUMM, A., SCHOLZ, M., STAMMEL, B., FISCHER-BEDTKE, C., DAMM, C., GELHAUS, M., GERSTNER, L. & F. FOECKLER

Inhaltverzeichnis

1	Einführung	194
2	Methodisches Vorgehen	194
2.1	Ermittlung des Habitattyps einer Probestelle	196
2.2	Bewertungskriterien	199
2.1.1	Anteil auenabhängiger Arten (Aue _{PS})	199
2.1.2	Anteil Wechselwasserzeiger (Wechsel _{PS})	199
2.1.3	Anteil habitattypischer Indikatorarten (Ind _{PS})	200
2.1.4	Habitattypische Artenanzahl (AZ _{PS})	201
2.1.5	Anzahl gefährdeter und geschützter Arten (SG _{PS})	201
2.1.6	(Potenziell) Invasive Arten (Inv _{PS})	202
2.3	Bewertung der Molluskenfauna auf Probestellenebene	203
3	Anwendung	204
4	Literaturverzeichnis	205

1 Einführung

Um die Anwendung von faunistischen Daten im Habitatindex des Projektes "River Ecosystem Service Index (RESI)" (wertgebende Merkmale; s. Fischer-Bedtke et al. 2020 in diesem Bericht) zu testen, wurde am Beispiel der Mollusken (Schnecken und Muscheln) der sog. Molluskenindex ("Mollix", nach Foeckler et al. 2017a, verändert) als Teilindikator zur Quantifizierung der Ökosystemleistung Habitatbereitstellung entwickelt. Mollusken haben sich bereits in zahlreichen Projekten als sensitive Indikatorgruppe für Auenlebensräume und deren Veränderungen bewährt (Foeckler 1990, Čejka 2006, Foeckler et al. 2009, 2010, Rumm et al. 2014a, b). Vor allem durch ihre kleinräumigen Habitatansprüche und geringe Mobilität spiegeln sie, im Gegensatz zu mobileren Artengruppen (Vögel, Libellen, etc.), die unmittelbaren Bedingungen ihres Fundortes wider. Der hier vorgestellte Bewertungsansatz lässt sich prinzipiell auch auf andere, zur Indikation in Flussauen geeignete Artengruppen (ÖKON 2005) übertragen bzw. um diese ergänzen. Bewährt hat sich hier insbesondere die Kombination der Indikatorgruppen Mollusken, Laufkäfer (Januschke et al. 2018) und Vegetation (Scholz et al. 2009, Stammel et al. 2020 in diesem Bericht). Auch Makrozoobenthos bzw. ausgewählte Ordnungen daraus (wie z. B. Odonata (Libellen)) haben sich für die Bewertung semiaquatischer/semiterrestrischer Auenlebensräume als aussagekräftig und sensitiv erwiesen (u. a. Foeckler et al. 1994a, b, 1995a, b, Chovanec et al. 2005, Graf & Chovanec 2016, Funk et al. 2017).

Bisher werden faunistische Verfahren zur Erfassung und Bewertung von Ökosystemleistungen nur selten angewandt (z. B. Fuchs & Sachteleben 2015), v.a. aufgrund des oftmals nur punktuellen Vorhandenseins aussagekräftiger Erhebungsdaten (lokal begrenzte bzw. habitattypspezifische Aufnahmen). In den RESI-Habitatindex geht der Mollix aufgrund dieser vergleichsweise eingeschränkteren Datenverfügbarkeit nur als zusätzliches Kriterium in Form eines wertgebenden Merkmals ein (s. Fischer-Bedtke et al. 2020 in diesem Bericht). Er kann allerdings als eigenständiger Bewertungsindex, z. B. im Rahmen von Planfeststellungsverfahren, Zustandsbewertungen, Monitoring oder Beweissicherungen genutzt werden. In allen Fällen ist jedoch eine wichtige Voraussetzung für seine Anwendung, dass die Molluskenfauna in dem zu bewertenden Gebiet repräsentativ erfasst wurde, d. h. dort alle für Mollusken relevanten Habitatstrukturen mit vergleichbarer Methodik untersucht wurden und damit ein guter Erfassungsgrad der Artengemeinschaften vorliegt.

2 Methodisches Vorgehen

Bewertungsgrundlage des Mollix sind, im Gegensatz zu anderen Verfahren, die nur das Vorkommen einzelner Arten in einem Gebiet betrachten (z. B. Fuchs & Sachteleben 2015), die Artengemeinschaften der im Untersuchungsgebiet/in einer Region erfassten Probestellen. Zur Ermittlung des Mollix werden insgesamt sechs Bewertungskriterien herangezogen: Anteil auenabhängiger Arten, Anteil Wechselwasserzeiger, Anteil habitattypischer Indikatorarten, habitattypische Artenzahl, Anzahl gefährdeter und geschützter Arten sowie Anteil invasiver Arten (Kap. 2.2.1. bis 2.2.6, Abb. 1). Diese geben Auskunft über die Flussauenspezifität, die naturschutzfachlich-faunistische Bedeutung und die Degradation der an der Probestelle vorgefundenen Molluskenartengemeinschaft (Foeckler et al. 2017a). Die Kriterien werden zunächst einzeln bewertet und dann zu einem Mollix-Wert zusammengeführt, der die Bedeutung des Habitats (der Probestelle) für die Molluskenfauna widerspiegelt.

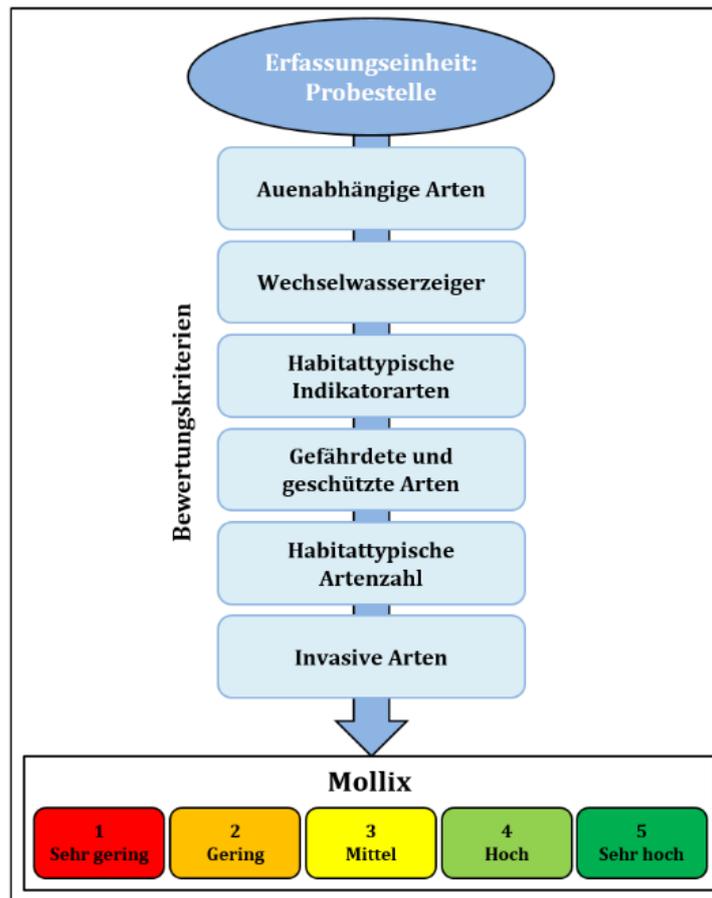


Abb. 1: Schematische Darstellung der Bewertung des Mollix

Die Molluskenfauna verschiedener Flüsse unterscheidet sich oftmals deutlich voneinander (z. B. zwischen Elbe und Donau, Rumm et al. 2014b). Deswegen sollte sich die Festlegung der Bewertungsgrenzen, insbesondere bei den Kriterien "Habitattypische Artenzahlen" sowie "Gefährdete und geschützte Arten", am regionalen Maximum der jeweils betrachteten Flussregion orientieren und muss somit für die Bewertung anderer Flüsse/Flussregionen jeweils angepasst werden. Die Einstufung der Kriterien erfolgte zunächst nur für die bayerische Donau, von der v. a. aus dem unteren Bereich (Pfatter bis Vilshofen) repräsentative Molluskenerhebungen vorliegen (Rumm et al. 2014b). Insgesamt wurden aus diesem Donauabschnitt gut 700 Datensätze verwendet (Foeckler 1990, Foeckler et al. 2010, Arge KÖSS 2011, ÖKON 2011, IVL & ÖKON 2012, ÖKON 2014).

2.1 Ermittlung des Habitattyps einer Probestelle

Zwei der Bewertungskriterien, "Habitattypische Indikatorarten" und "Habitattypische Artenzahlen", sind vom Habitattyp der jeweiligen Probestelle abhängig. Um diese Kriterien fachlich sinnvoll bewerten zu können, muss zunächst der an der Probestelle von der Molluskenfauna indizierte Habitattyp mit Hilfe des sog. "erweiterten Floodplain Index" (erwFI, nach Foeckler et al. 2017a, verändert) ermittelt werden. Dieses Verfahren wurde in Anlehnung an den "Floodplain Index (FI)" von Chovanec et al. (2005) entwickelt, der u. a. dazu eingesetzt wird, anhand der an einer Probestelle vorgefundenen Artenzusammensetzung Auenhabitate entlang eines theoretischen lateralen Konnektivitätsgradienten zu indizieren. Dieser Ansatz wurde bereits für verschiedene Tier-/Artengruppen, z. B. Makrozoobenthos oder aquatische Mollusken, angewandt und ist u. a. bei Chovanec & Waringer (2001), Chovanec et al. (2005), Waringer et al. (2005) oder Funk et al. (2017) detailliert beschrieben. Folglich wird hier nur auf die Anpassungen im Rahmen des erwFI eingegangen.

Für den erwFI wurden neben aquatischen auch terrestrische Auenhabitate mit einbezogen und insgesamt sechs Habitattypen entlang eines idealisierten "Feuchtegradientens" (Permanenz der Wasserführung bei den aquatischen und Überflutungshäufigkeit bzw. Bodenfeuchte bei den terrestrischen Habitaten) definiert (Abb. 2). Abweichend von der ursprünglichen Definition der Habitattypen von Foeckler et al. (2017a; 9 Habitate, unterschieden in die drei Lebensraumgruppen Wasser, Offenland und Wald) wurden die Landhabitate nicht mehr zwischen Offenland und Wald unterschieden, sondern je nach Feuchtegrad zusammengefasst betrachtet.

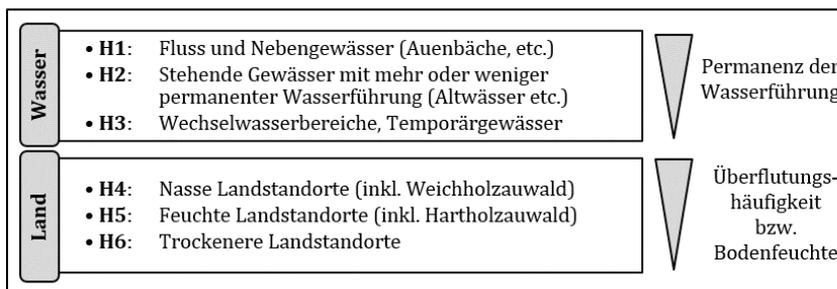


Abb. 2: Die Habitattypen des erweiterten Floodplain Index, angeordnet entlang eines idealisierten "Feuchtegradientens" (Permanenz der Wasserführung bei den aquatischen und Überflutungshäufigkeit bzw. Bodenfeuchte bei den terrestrischen Habitaten) (in Anlehnung an Foeckler et al. 2017a)

Die Ermittlung des Habitattyps erfolgt mit Hilfe artspezifischer Habitatwerte und Indikationsgewichte. Der Habitatwert beschreibt dabei numerisch (1 = H1 bis 6 = H6) die Präferenz einer Art für einen der sechs definierten Habitattypen und wird mit Hilfe von zehn Valenzpunkten, die zwischen den Habitattypen verteilt werden, ermittelt (Foeckler et al. 2017a). Grundlage für die Verteilung der Valenzpunkte stellt die Datenbank von Falkner et al. (2001) für Gehäuseschnecken dar, welche Moorkens & Killeen (2009) um Muscheln ergänzt haben. Dort sind fuzzy-kodierte Informationen zum Vorkommen der Arten in für Mollusken relevanten Makrohabitaten hinterlegt. Diese geben die Affinität/Präferenz einer Art für ein bestimmtes Makrohabitat an (3: hohe Affinität; 2: mittlere Affinität; 1: geringe Affinität; 0: keine Affinität; Falkner et al. 2001). Insgesamt wurden daraus 37 Makrohabitat-kategorien verwendet. Diese wurden den sechs Habitattypen des erwFI bzw. der Kategorie "Sonstige Habitate" zugeordnet (Tab. 1).

Tab. 1: Habitattypen des erweiterten Floodplain Indexes und zugeordnete Makrohabitat-kategorien aus Falkner et al. (2001) und Moorkens & Killeen (2009)

Habitattyp des erwFI [zugehörige Makrohabitat-kategorien aus Falkner et al. (2001) und Moorkens & Killeen (2009)]	
H1	Fluss und Nebengewässer (Auenbäche, etc.) [[62] Running freshwater (gen.)]
H2	Stehende Gewässer mit mehr oder weniger permanenter Wasserführung (Altwässer, etc.) [[611] Lake (gen.); (612) Permanent pool]
H3	Wechselwasserbereiche, Temporärgewässer [[613] Temporary pool]
H4	Nasse Landstandorte (inkl. Weichholzauwald) [[132] Alnus swamp; (133) Salix swamp; (141) Softwood; (2322) Unimproved grassland, flooded; (71) Fen (gen.); (72) Reeds/Tall sedges beds (gen.); (73) Water edge (gen.)]
H5	Feuchte Landstandorte (inkl. Hartholzauwald) [[112] Humid/mesophilous deciduous forests (gen.); (131) Betula/Pinus swamp; (142) Hardwood; (152) Mixed forest, humid; (21) Tall herb communities; (2321) Unimproved grassland, humid]
H6	Trockenere Landstandorte [[111] Dry/thermophilous (gen.) deciduous forests; (121) Scrub, dry; (122) Scrub, atlantic; (123) Scrub, Ulex thickets; (151) Mixed forest, dry; (161) Coniferous forests (gen.); (22) Thermophilous forest fringes; (231) Dry/semi-arid unimproved grassland (gen.); (24) Heathland; (33) Inland sand dunes]
-	Sonstige Habitate [[31] Coastal beaches (gen.); (32) Coastal dunes (gen.); (41) Cliff and rock (gen.); (42) Scree and old walls (gen.); (51) Ancient hedges; (52) Recent hedges; (63) Spring/flushes (gen.); (81) Estuarine (gen.); (82) Lagoons; (83) Salt marsh (gen.)]

Für die Verteilung der Valenzpunkte auf die sechs definierten Habitattypen wurde anschließend die höchste Affinität der jeweiligen Art aus den dazugehörigen Makrohabitaten übernommen und diese entsprechend auf 10 Valenzpunkte standardisiert. Beispielsweise hat Art x eine hohe Affinität (3) zu den zu H4 und eine mittlere Affinität (2) zu den zu H5 zugehörigen Makrohabitaten. Folglich ergeben sich 6 Valenzpunkte für H4 und 4 Valenzpunkte für H5. Die so verteilten Valenzpunkte werden anschließend gemäß Gleichung 1 zu einem Habitatwert (HV) für die Art verrechnet:

$$HV = \frac{(1 * H1 + 2 * H2 + \dots + 6 * H6)}{10} \quad \text{Gl. 1}$$

Mit Hilfe von Tabelle 2 kann dieser Wert in den von der Art indizierten Habitattyp "übersetzt" werden. Ein Beispiel zur Berechnung ist in Abbildung 3 dargestellt.

Tab. 2: Zuordnung der erweiterten Floodplain Index-Werte (erwFI) zu den Habitattypen

Habitattyp des erwFI		erwFI-Wert
H1	Fluss und Nebengewässer (Auenbäche etc.)	< 1,6
H2	Stehende Gewässer mit mehr oder weniger permanenter Wasserführung (Altwässer etc.)	1,6–<2,6
H3	Wechselwasserbereiche, Temporärgewässer	2,6–<3,6
H4	Nasse Landstandorte (inkl. Weichholzauwald)	3,6–<4,6
H5	Feuchte Landstandorte (inkl. Hartholzauwald)	4,6–<5,6
H6	Trockenere Landstandorte	≥ 5,6

Habitatbereitstellung: Molluskenfauna (Mollix)

Habitattyp	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Valenzpunktverteilung für Art x	0	0	0	6	4	0

1) Ermittlung des Habitatwerts (HV) der Art x:

$$HV = \frac{(1 \times 0 + 2 \times 0 + 3 \times 0 + 4 \times 6 + 5 \times 4 + 6 \times 0)}{10} = 4,4$$

2) Übersetzung des HV in einen Habitattyp gem. Tab. 2
 → Art x indiziert Habitattyp H4

Abb. 3: Beispiel zur Ermittlung des Habitatwerts einer Art x

Nicht alle der erfassten Arten sind in den genannten Datenbanken gelistet, sodass bei einzelnen Arten eine eigene Einstufung basierend auf der gängigen Literatur (Falkner 1990, Jungbluth & von Knorre 2009, Moorkens & Killeen 2009, Boschi 2011, Glöer 2002, 2015, Wiese 2014) vorgenommen wurde.

Ergänzend zum Habitatwert gibt das Indikationsgewicht die "Nischenbreite" der jeweiligen Art (1 = eurytop bis 5 = stenotop) wieder. Abweichend vom FI, bei dem die Einnischung mit Hilfe des Ansatzes von Sládeček (1964) innerhalb der indizierten Habitattypen ermittelt wird, wird das Indikationsgewicht beim erwFI anhand der Anzahl des Vorkommens einer Art innerhalb der 37 Makrohabitat-kategorien festgelegt. Mit dieser anderen Herangehensweise soll verhindert werden, dass Arten, die ihren Verbreitungsschwerpunkt außerhalb der Auenhabitats haben, zu stark gewichtet werden. Durch die Integration terrestrischer Arten/Habitats ist nicht zwangsläufig gegeben, dass die Art ihren Verbreitungsschwerpunkt innerhalb der sechs Habitattypen bzw. innerhalb von Flussauen allgemein hat, was bei den im FI definierten aquatischen Habitattypen prinzipiell der Fall ist. Orientierend am Vorkommen der Arten in den 37 Makrohabitats wurde folgende Einstufung für das Indikationsgewicht vorgenommen: Vorkommen in 1 oder 2 Makrohabitats: 5; in 3 oder 4 Makrohabitats: 4; in 5 oder 6 Makrohabitats: 3; in 7 oder 8 Makrohabitats: 2; in mehr als 8 Makrohabitats: 1.

Für die Ermittlung des Habitattyps werden die Habitatwerte und Indikationsgewichte aller an einer Probestelle vorgefundenen Arten gemäß Gleichung 2 verrechnet:

$$erwFI = \frac{\sum_{i=1}^n (HV_i \times A_i \times IW_i)}{\sum_{i=1}^n (A_i \times IW_i)} \tag{Gl. 2}$$

mit HV_i : Präferenz der Art i für die Habitats des erwFI, IW_i : Indikationsgewicht der Art i, A_i : $\ln(x+1)$ -transformierte Individuenzahl der Art i an der Probestelle

Es ergeben sich für den erwFI Werte zwischen 1 und 6, die über die in der Tabelle 2 angegebenen Grenzen einem der sechs Habitattypen zugeordnet werden. Für die Berechnung können Präsenz- oder Abundanzdaten verwendet werden. Um die Dominanz der häufigen Arten nicht zu stark zu gewichten und das Indikationspotenzial der seltenen Arten damit zu "überprägen", wird empfohlen $\ln(x+1)$ -transformierte Individuenzahlen einzusetzen. Im Falle der Mollusken führt dies zu einer guten Abbildung des idealisierten "Feuchtegradienten" innerhalb der definierten Habitattypen.

2.2 Bewertungskriterien

2.2.1 Anteil auenabhängiger Arten (Aue_{PS})

Ähnlich wie beim Habitatindex (Fischer-Bedtke et al. 2020 in diesem Buch) wird auch beim Mollix die "Auenbindung" der Arten für die Bewertung der Habitatbereitstellung herangezogen. Dafür wurden die Mollusken analog zu den Biotopen in drei Gruppen unterteilt: auenabhängige Arten (Arten, die ausschließlich bzw. zumindest mit deutlichem Verbreitungsschwerpunkt in Flussauen vorkommen), Arten mit mittlerer Auenbindung (Arten, die regelmäßig und charakteristischerweise in Flüssen und Auen anzutreffen sind, aber auch außerhalb von Flussauen auf ähnlich feuchten Standorten vorkommen können) sowie auenunabhängige Arten (Arten, die ihren Verbreitungsschwerpunkt außerhalb von Flussauen haben; vgl. Auenbindung für Habitate; Fischer-Bedtke et al. 2020 in diesem Buch). Die Einteilung der Molluskenarten in diese drei Gruppen erfolgte ebenfalls mit Hilfe der Makrohabitate von Falkner et al. (2001) und Moorkens & Killeen (2009). Dabei werden alle Makrohabitate, die den Habitattypen H1 bis H5 des erwFI zugeordnet wurden (Tab. 1), als auentypisch angesehen. Die Makrohabitate, die zum Habitattyp H6 (ausgenommen der Makrohabitate "(33) Inland sand dunes" und "(231) Dry/semi-arid unimproved grassland (gen.)" - hier als auentypisch eingestuft) bzw. der Kategorie "Sonstige Habitate" gehören, gelten als auenuntypisch. Alle Arten, die mit mehr als 66,6 % Affinität in auentypischen Makrohabitaten vorkommen, werden als auentypisch eingestuft. Arten mit Werten größer als 33,3 % bis max. 66,6 % gelten als Arten mit mittlerer Auenbindung und Arten mit max. 33,3 % Affinität zu auentypischen Makrohabitaten werden als auenunabhängige Arten definiert. Hat beispielsweise eine Art eine hohe Affinität (3) für ein auentypisches und jeweils eine geringe Affinität (1) für zwei nicht auentypische Makrohabitate, wird diese Art mit $((3+0+0)/(3+1+1)) \times 100 = 60 \%$ Affinität zu auentypischen Makrohabitaten als Art mit mittlerer Auenbindung eingestuft.

Bewertet wird für das Kriterium Aue_{PS} der prozentuale Anteil der auentypischen Arten an der Gesamtartenzahl einer Probestelle (Gleichung 3, Übersetzung in Punkte in Tab. 3):

$$Aue_{PS} = \frac{n_{Aue}}{N_{Art}} \times 100 \quad \text{Gl. 3}$$

mit n_{Aue} : Anzahl auenabhängiger Arten, N_{Art} : Gesamtartenzahl einer Probestelle

Tab. 3: Einstufung des Bewertungskriteriums Aue_{PS}

Aue_{PS} (%)	Punkte
< 20	1
20-< 40	2
40-< 60	3
60-< 80	4
≥ 80	5

2.2.2 Anteil Wechselwasserzeiger ($Wechsel_{PS}$)

Sogenannte Wechselwasserzeiger sind Arten, die Habitate mit sich periodisch ändernden hydrologischen Verhältnissen (zeitweise Überflutung terrestrischer bzw. Trockenfallen aquatischer Lebensräume) tolerieren bzw. auf diese angewiesen sind. Das Vorkommen von Wechselwasserarten kann als Maß für die Intaktheit einer naturnahen Wasserstandsdynamik in Flussauen herangezogen werden (Foeckler et al. 2016). Als Wechselwasserzeiger werden alle Landmolluskenarten definiert, die nach Falkner et al. (2001) eine hohe Überflutungstoleranz haben (mind. 1 in der Kategorie "inundation tolerance-high"), bzw. Wassermolluskenarten, die nach Falkner et al. (2001)

Habitatbereitstellung: Molluskenfauna (Mollix)

mehrere Wochen bis Monate Austrocknung tolerieren (mind. 1 in den Kategorien "survival of dry period-weeks" oder "survival of dry period-months").

Bewertet wird der prozentuale Anteil der Wechselwasserarten an der Gesamtartenzahl einer Probestelle (Gleichung 4, Übersetzung in Punkte in Tab. 4):

$$Wechsel_{PS} = \frac{n_{Wechsel}}{N_{Art}} \times 100 \quad \text{Gl. 4}$$

mit $n_{Wechsel}$: Anzahl Wechselwasserzeiger, N_{Art} = Gesamtartenzahl einer Probestelle

Tab. 4: Einstufung des Bewertungskriteriums Wechsel_{PS}

Wechsel _{PS} (%)	Punkte
<20	1
20 - <40	2
40 - <60	3
60 - <80	4
≥80	5

2.2.3 Anteil habitattypischer Indikatorarten (Ind_{PS})

Die verschiedenen Habitattypen sind in ihrer naturnahen Ausprägung von charakteristischen Molluskengesellschaften besiedelt (u.a. Jungbluth et al. 1986, Foeckler 1990, 2009, Körnig 2009, Čejka & Hamerlik 2009). Die Anzahl der darin für den Habitattyp auftretenden charakteristischen Arten gibt Auskunft über die Intaktheit des Habitats (Foeckler 1990, Foeckler et al. 1991). Da diese Vergesellschaftungen stark von den jeweiligen Bedingungen vor Ort abhängen, wird im Mollix das Vorkommen von habitattypischen Indikatorarten als Proxy für diese habitattypischen Molluskengesellschaften verwendet. Habitattypische Indikatorarten (Ind_{PS}) werden hier als Arten definiert, die mit ihrem Habitatwert den Habitattyp der Probestelle sensitiv (i.S.v. stenök, Indikationsgewicht ≥ 3) indizieren (Kap. 2.1). Da innerhalb intakter Flussauen die verschiedenen Habitate oftmals eng verzahnt sind, können je nach Habitat auch Arten anderer Habitattypen dort typischerweise auftreten und eine charakteristische Begleitfauna ausbilden. Sofern diese nicht als "Degradationszeiger" zu werten sind (wie z. B. Stillgewässerarten im Fließgewässer), werden diese ebenfalls zur Bewertung mit herangezogen.

Bewertet wird der prozentuale Anteil der Indikatorarten des jeweiligen Habitattyps und der dafür charakteristischen Begleitfauna an der Gesamtartenzahl einer Probestelle (Gleichung 5, Übersetzung in Punkte in Tab. 5). Dabei werden für H1 nur Indikatorarten von H1, für H2 auch Indikatorarten von H3, für H3 und H4 Indikatorarten von H3, H4 und H5, für H5 auch Indikatorarten von H4 und H6 sowie für H6 auch Indikatorarten von H5 bewertet:

$$Ind_{PS} = \frac{n_{Ind}}{N_{Art}} \times 100 \quad \text{Gl. 5}$$

mit n_{Ind} : Anzahl habitattypischer Indikatorarten, N_{Art} = Gesamtartenzahl einer Probestelle

Tab. 5: Einstufung des Bewertungskriteriums Ind_{PS}

Ind_{PS}	Punkte
< 20	1
20-< 40	2
40-< 60	3
60-< 80	4
≥ 80	5

2.2.4 Habitattypische Artenanzahl (AZ_{PS})

Die Anzahl der in einem Habitat angetroffenen Arten kann als Maß für die Degradation (i.S.v. Verarmung der Molluskenfauna) einer Probestelle herangezogen werden, z. B. durch Schadstoffbelastung, Überdüngung oder aufgrund von Versauerung (u. a. Jungbluth et al. 1986, Körnig 2009, Strätz 2011). Da die Artenzahlen zwischen den verschiedenen Habitattypen stark variieren können (u. a. Foeckler 1990, Jurkiewicz-Karnkowska 2011), wird bei der Bewertung zwischen den Habitattypen differenziert (Tab. 6). Dafür wird der mit Hilfe des erwFI ermittelte Habitattyp herangezogen (Kap. 2.1). Auch unterscheiden sich die Artenzahlen zwischen den Flussregionen (Rumm et al. 2014b), sodass die Bewertung zudem regionspezifisch erfolgen sollte. Die in Tabelle 6 dargestellten Grenzen wurden anhand der im Datensatz zur bayerischen Donau maximal im jeweiligen Habitattyp vorkommenden Artenzahlen ermittelt. Die Grenzen der fünf Klassen wurden dazwischen gleichmäßig verteilt.

Tab. 6: Einstufung des Bewertungskriteriums AZ_{PS} (regionspezifisch, hier für die bayerische Donau) (in Klammern die Anzahl der Probestellen mit diesem Habitattyp im vorhandenen Datensatz der bayerischen Donau, die als Referenz herangezogen wurden; *nicht verifiziert, da nur 1 Probestelle, Grenzen analog zu H5)

H1 (49)	H2 (341)	H3 (189)	H4 (77)	H5 (75)	H6* (1)	Punkte
< 6	< 9	< 10	< 8	< 6	< 6	1
6 - 11	9 - 17	10 - 19	8 - 15	6 - 11	6 - 11	2
12 - 17	18 - 26	20 - 29	16 - 23	12 - 17	12 - 17	3
18 - 23	27 - 35	30 - 39	24 - 31	18 - 23	18 - 23	4
≥ 24	≥ 36	≥ 40	≥ 32	≥ 24	≥ 24	5

2.2.5 Anzahl gefährdeter und geschützter Arten (SG_{PS})

Bewertet wird die Anzahl an Arten, die gefährdet bzw. gesetzlich geschützt sind, also Arten, die auf der Roten Liste (RL) des jeweiligen Bundeslandes bzw. Deutschlands stehen und/oder im Anhang II bzw. IV der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-RL) gelistet sind.

Die Bewertung sollte an die jeweilige Region und Fragestellung (z. B. Verwenden der RL des jeweiligen Bundeslands) angepasst werden. Vorkommen von Arten der RL-Kategorie 0 („ausgestorben oder verschollen“), 1 („vom Aussterben bedroht“), R („extrem seltene Arten und Arten mit geographischer Restriktion“) und/oder von Arten der FFH-Anhänge II und IV ergeben die höchste Punktzahl (5 Punkte). Beim Vorkommen von Arten der RL-Kategorie 2 („stark gefährdet“) werden – je nach Anzahl – 4 oder 5 Punkte, beim Vorkommen von Arten der RL-Kategorie 3 („gefährdet“) 2, 3 oder 4 Punkte sowie beim Vorkommen von Arten der Vorwarnliste und/oder der RL-Kategorie G („Gefährdung anzunehmen, aber Status unbekannt“) 1, 2 oder 3 Punkte vergeben (Tab. 7). Die für die Bewertungsstufen (ausgenommen der 5 Punkte-Kategorie) notwendige Mindestzahl an Arten der RL-Kategorien 2, 3, V und/oder G wird anhand der in der Region durchschnittlich

Habitatbereitstellung: Molluskenfauna (Mollix)

vorkommenden Arten der jeweiligen Kategorie bestimmt. Überdurchschnittlich viele Arten der jeweiligen RL-Kategorie ergeben die höhere, unterdurchschnittlich viele die niedrigere Bewertung. An der bayerischen Donau kommen z. B. durchschnittlich an einer Probestelle zwei Arten der RL-Kategorie 3 vor, dies führt zur Vergabe von 3 Punkte. Kommen mehr als zwei Arten vor, werden 4 Punkte, bei weniger als zwei Arten 2 Punkte vergeben (Tab. 7).

Besonders gewichtet wird zudem das Vorkommen von mehreren Arten der RL-Kategorien 0, 1, R und/oder von mehreren Arten der FFH-Anhänge II und IV. Dies führt zur Vergabe von Bonuspunkten - für jede weitere Art dieser Klassen ergibt sich ein Bonus von +1 Punkt.

Tab. 7: Ermittlung des Bewertungskriteriums SG_{PS} (regionsspezifisch, hier für die bayerische Donau) (RL0: „ausgestorben oder verschollen“, RL1: „vom Aussterben bedroht“, RL2: „stark gefährdet“, RL3: „gefährdet“, RLV: „Art der Vorwarnliste“, RLG: „Gefährdung anzunehmen, aber Status unbekannt“, RLR: „extrem seltene Arten und Arten mit geographischer Restriktion“, II: Art des FFH-Anhang II, IV: Art des FFH-Anhang IV)

SG _{PS}	Punkte
Keine bzw. < 3 x RLV, RLG	1
3 x RLV, RLG oder 1 x RL3	2
≥ 4 x RLV, RLG oder 2 x RL3	3
1 x RL2 oder ≥ 3 x RL3	4
≥ 1 x II/IV oder ≥ 1 x RL0 oder ≥ 1 x RL1 oder ≥ 1 x RLR oder ≥ 2 x RL2	5
Für jede weitere II/IV, RL0, RL1 und RLR	Bonus: +1

2.2.6 (Potenziell) Invasive Arten (Inv_{PS})

Aus dem aquatischen Bereich (Makrozoobenthos) ist bekannt, dass das Auftreten von Neozoen durch anthropogene Veränderungen begünstigt wird (Schöll et al. 2016). Insbesondere konkurrenzstarke, invasive Arten beeinflussen durch ihre schnelle Ausbreitung und massenhaftes Auftreten die vorhandene Fauna negativ, z.B. Verdrängung heimischer Arten (z.B. von *Arion rufus* durch *A. lusitanicus*, Strätz 2011), Veränderung der Nahrungsverfügbarkeit, des Nahrungsnetzes und der Sedimentbeschaffenheit (z. B. durch *Dreissena bugensis*, Martens et al. 2007, oder *Corbicula fluminea*, Abb. 4). Somit kann auch der Anteil an (potenziell) invasiven Arten an einer Probestelle als Maß für die Degradation eines Habitats herangezogen werden. Die Einstufung der Arten als invasiv (u. a. *Corbicula fluminalis*, *C. fluminea*, *Dreissena bugensis*, *D. polymorpha*) bzw. potenziell invasiv (z. B. *Potamopyrgus antipodarum*, *Sinanodonta woodiana*) folgt Rabitsch & Nehring (2017).



Abb. 4: Massive Dominanz der Grobgerippten Körbchenmuschel (*Corbicula fluminea*) (Foto: A. Rumm)

Bewertet wird der prozentuale Individuenanteil dieser Arten an der Gesamtindividuenzahl einer Probestelle (Gleichung 6, Übersetzung in Punkte in Tab. 8):

$$Inv_{PS} = \frac{n_{IndiInv}}{N_{Indi}} \times 100 \quad \text{Gl. 6}$$

mit $n_{IndiInv}$: Anzahl der Individuen invasiver Arten, N_{Indi} : Gesamtindividuenzahl einer Probestelle

Tab. 8: Einstufung des Bewertungskriteriums Inv_{PS}

Inv_{PS} (%)	Punkte
≥ 80	1
60-< 80	2
40-< 60	3
20-< 40	4
< 20	5

2.3 Bewertung der Molluskenfauna auf Probestellenebene

Die sechs Kriterien werden zunächst einzeln mit Hilfe eines Punktesystems bewertet, maximal können je Kriterium fünf Punkte (ausgenommen dem Kriterium "Geschützte und gefährdete Arten" SG_{PS}) erreicht werden (s. Kap. 2.1.1 bis 2.1.6). Die Punkte der einzelnen Kriterien werden anschließend zum Mollix (Gleichung 7) aufsummiert und in eine der fünf RESI-Bewertungsklassen überführt (Tab. 9).

$$Mollix = Aue_{PS} + Wechsel_{PS} + Ind_{PS} + SG_{PS} + AZ_{PS} + Inv_{PS} \quad \text{Gl. 7}$$

mit Aue_{PS} : Punktezahl für den Anteil auentypischer Arten, $Wechsel_{PS}$: Punktezahl für den Anteil an Wechselwasserzeiger, Ind_{Pkt} : Punktezahl für den Anteil an habitattypischen Indikatorarten, SG_{PS} : Punktezahl für die Anzahl an geschützten und gefährdeten Arten, AZ_{PS} : Punktezahl für eine habitattypische Artenanzahl, Inv_{PS} : Punktezahl für den Individuenanteil (potenziell) invasiver Arten.

Die Einbindung des Mollix in den Habitatindex hängt stark vom Umfang und der Qualität der vorhandenen Daten ab. Ist beispielsweise die Molluskenfauna aller in der zu bewertenden Region vorhandenen Biotoptypen repräsentativ erfasst worden, so ist denkbar, den Mollix ähnlich wie den Florix auf Einzelbiotop-Ebene des Habitatindex als Bonus und Malus zu berücksichtigen (Stammel et al. 2020, in diesem Bericht, s. dort Tab. 4).

Tab. 9: Einstufung der Probestellen anhand des Mollix-Wertes in die 5-stufige RESI-Bewertungsskala

Mollix Wert	Bedeutung für die Molluskenfauna
< 11	1 (sehr geringe)
11-< 16	2 (geringe)
16-< 21	3 (mittlere)
21-< 26	4 (hohe)
≥ 26	5 (sehr hohe)

Oftmals liegen allerdings nur punktuelle Erhebungen vor. Dann sollte der Mollix als eigenständiger Index verwendet werden, z. B. um die Bedeutung eines Flussauenabschnitts für die Molluskenfauna oder auch die Entwicklung nach Eingriffen und Renaturierungen darzustellen. Dafür

Habitatbereitstellung: Molluskenfauna (Mollix)

kann im Anschluss an die Bewertung auf Probestellenebene noch der Mittelwert der Mollix-Klassen der einzelnen Probestellen, z. B. innerhalb eines Auensegments, gebildet (Gleichung 8) und wiederum in eine der fünf RESI-Bewertungsklassen überführt werden (Tab. 10). Aber auch hier ist eine Aggregation auf einen größeren Abschnitt nur aussagekräftig, wenn die Molluskenfauna in allen relevanten Habitatstrukturen repräsentativ erhoben wurde.

$$Mollix = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Mollix_i \quad \text{Gl. 8}$$

Tab. 10: Einstufung von Auensegmenten/Regionen anhand der Molluskenfauna in die 5-stufige RESI-Bewertungsskala

Mollix Wert	Bedeutung für die Molluskenfauna
< 1,5	1 (sehr geringe)
1,5-< 2,5	2 (geringe)
2,5-< 3,5	3 (mittlere)
3,5-< 4,5	4 (hohe)
≥ 4,5	5 (sehr hohe)

3 Anwendung

Der Mollix wurde an der unteren Bayerischen Donau, im Saalemündungsgebiet sowie an der Mittelelbe getestet und validiert. Insgesamt wurden damit gut 1800 Molluskendatensätze bewertet. Dabei hat sich der Mollix als sensitiv gegenüber degradierten Flussauenabschnitten (z. B. durch Einstau/Staustufen) und Veränderungen im Rahmen einer Deichrückverlegung gezeigt. Die Bewertung der Molluskenfauna anhand des Mollix bestätigt die Ergebnisse detaillierter Auswertungen der Artenzusammensetzung der Molluskenfauna und/oder deren Merkmale/Eigenschaften (Traits) dort. Diese haben gezeigt, dass deutliche Unterschiede in der Artenzusammensetzung gestauter und ungestauter Flussauenabschnitte bestehen (Foeckler et al. 2017b), und, dass sich die Artenzusammensetzung im Rückdeichungsgebiet nach den ersten dort auftretenden Überflutungen zu einer autotypischeren Molluskenfauna verändert hat (Rumm et al. 2016, 2018).

4 Literaturverzeichnis

- Arge KÖSS (Arbeitsgemeinschaft KÖSS (Kagerer, ÖKON, Schlemmer, Seifert)) (2011): Donauausbau Regensburg - Straubing, Stauhaltung Straubing. Ökologische Erfolgskontrolle, Teil Mollusken. Im Auftrag der Bundesrepublik Deutschland (Bundeswasserstraßenverwaltung), vertreten durch die Rhein-Main-Donau AG, diese vertreten durch die RMD Wasserstraßen GmbH, München.
- Boschi, C. (2011): Die Schneckenfauna der Schweiz. Ein umfassendes Bild- und Bestimmungsbuch. – Bern/ Stuttgart/ Wien (Haupt Verlag).
- Čejka, T. & Hamerlik, L. (2009): Land snails as indicators of soil humidity in Danubian woodland (SW Slovakia). – *Polish Journal of Ecology* 57(4): 741-747.
- Čejka, T., (2006): Use of terrestrial molluscs for bioindication of the impact of the Gabčíkovo hydraulic structures (the Danube river, Slovakia). *Malakologický bulletin*: 1-6.
- Chovanec, A. & Waringer, J. (2001): Ecological integrity of river–floodplain systems—assessment by dragonfly surveys (Insecta: Odonata). *Regulated Rivers: – Research & Management* 17(4-5): 493-507.
- Chovanec, A., Waringer, J., Straif, M., Graf, W., Reckendorfer, W., Waringer-Löschenkohl, A., Waidbacher, H. & Schultz, H. (2005): The Floodplain Index – a new approach for assessing the ecological status of river/floodplain-systems according to the EU Water Framework Directive. *Archiv. Hydrobiol. Suppl.* – 155: 169-185.
- Falkner, G. (1990): Vorschlag für eine Neufassung der Roten Liste der in Bayern vorkommenden Mollusken (Weichtiere). *Schriftenreihe Bayer.* – Landesamt für Umweltschutz 97: 61-112.
- Falkner, G., Castella, E., Obrdlík, P. & Speight, M.C.D. (2001): *Shelled Gastropoda of Western Europe*. München (Verlag der Friedrich-Held-Gesellschaft).
- Fischer-Bedtke, C., Rumm, A., Damm, C., Foeckler, F., Gelhaus, M., Gerstner, L., Kasperidus, H., Stammel, B. & Scholz, M. (2020): Quantifizierung und Bewertung der Ökosystemleistung Habitatbereitstellung –Detailansatz für die Aue. In diesem Buch.
- Foeckler, F. (1990): Charakterisierung und Bewertung von Augewässern des Donauraums Straubing durch Wassermolluskengesellschaften. Beiheft 7 zu den Berichten der ANL, Laufen/Salzach, 154 S.
- Foeckler F., Diepolder U. & Deichner O. (1991): Water mollusc communities and bioindication of lower Salzach floodplain waters. *Regulated Rivers: – Research and Management*. 6 (4): 301–312.
- Foeckler, F., Kretschmer, W., Deichner, O. & Schmidt, H. (1994a): Bioindication of former floodplain waters of the lower Salzach river (Bavaria) by macroinvertebrate communities. – *Verh. Internat.* – Verein. Limnol. 25: 1618-1623.
- Foeckler, F., Kretschmer, W., Deichner, O. & Schmidt, H. (1994b): Les communautés de macroinvertébrés dans les chenaux abandonnés par une rivière en cours d'incision, la basse Salzach (Bavière, Allemagne) – *Revue Geographie de Lyon*. 69 (1):31-40.
- Foeckler, F., Orendt, C. & Burmeister, E.G. (1995a): Biozöologische Typisierung von Augewässern des Donauraums Straubing anhand von Makroinvertebratengemeinschaften. – *Arch. Hydrobiol., Supplement* 101, *Large Rivers* 9 (3/4), Stuttgart: 229-308.
- Foeckler, F., Kretschmer, W., Deichner, O. & Schmidt, H. (1995b): Die Rolle aquatischer Makroinvertebraten in den Altwässern der Salzach-Aue. – *Münchener Beiträge zur Abwasser, Fischerei- und Flussbiologie* 48: 120-196.
- Foeckler, F., Deichner, O., Schmidt, H. & Castella, E. (2009): Weichtiergemeinschaften als Indikatoren für Wiesen- und Rinnenstandorte der Elbauen. – In: Scholz et al. (Hrsg.): *Entwicklung von Indikationssystemen am Beispiel der Elbaue*. – Stuttgart (Ulmer Verlag), 1. Auflage: 203–243.

Habitatbereitstellung: Molluskenfauna (Mollix)

- Foeckler, F., Schmidt, H. & Herrmann, T. (2010): Ökologische Untersuchungen im Isarmündungsgebiet. Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.): – BfN-Skript 276: 159 S. + Anhang.
- Foeckler, F., Stammel, B., Schmidt, H. & Rumm, A. (2016): Lebensräume der Flussauen: Wechselwasserzonen - "Kampfzonen" zwischen Land und Wasser. – Auenmagazin 10: 31-37.
- Foeckler, F., Schmidt, H., Heymer, C., Beck, M., Scholz, M., Henle, K. & Rumm, A., (2017): Der Molluskenindex (Mollix) - ein Bewertungsansatz für Flussauen-Ökosysteme: Konzeptentwurf und erste Teilergebnisse. Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 2016 der Deutschen Gesellschaft für Limnologie (DGL) und der deutschen und österreichischen Sektion der Societas Internationalis Limnologiae (SIL), Universität für Bodenkultur Wien, 26.-30. Sept. 2016. – Deutsche Gesellschaft für Limnologie, Hardegsen: 91-96.
- Foeckler, F., Schmidt, H., Scholz, M., Deichner, O., Kobialka, H., Meindorfer, K., Henrichfreise, A. & Rumm, A. (2017b): Die Untere Saale - die Biodiversität ungestauter und gestauter Abschnitte. – In: Schneider, E., Werling, M., Stammel, B., Januschke, K., Ledesma-Krist, G., Scholz, M., Hering, D., Gelhaus, M., Dister, E. & Egger, G. (Hrsg.): Biodiversität in Flussauen. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 163: 167-180.
- Fuchs, D. & Sachteleben, J. (2015): Biodiversität - Fauna. – In: Tiemeyer, B., Bechtold, M., Belting, S., Freibauer, A., Förster, C., Schubert, E., Dettmann, U., Fuchs, D., Frank, S., Gelbrecht, J., Jeuther, B., Laggner, A., Rosinski, E., Leiber-Sauheitl, K., Sachteleben, J., Zak, D. & Drösler, M. (Hrsg.): Instrumente und Indikatoren zur Bewertung von Biodiversität und Ökosystemleistungen von Mooren, Braunschweig. Abschlussbericht.
- Funk, A., Trauner, D., Reckendorfer, W. & Hein, T. (2017): The Benthic Invertebrates Floodplain Index – Extending the assessment approach. – Ecological Indicators 79: 303-309.
- Glöer, P. (2002): Die Süßwassermollusken Nord- und Mitteleuropas. – Hackenheim, 2. Auflage, 262 S.
- Glöer, P. (2015): Süßwassermollusken. – Hrsg.: Deutscher Jungending für Naturbeobachtung, Hamburg, 14. Auflage, 135 S.
- Graf, W. & Chovanec, A. (2016): Entwicklung eines WRRRL-konformen Bewertungssystems für Auen großer Flüsse auf Basis des Makrozoobenthos unter besonderer Berücksichtigung der Donau. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.), Wien.
- IVL & ÖKON ((Institut für Vegetationskunde und Landschaftsökologie & Gesellschaft für Landschaftsökologie, Gewässerbiologie & Umweltplanung mbH) (2012): Erhebung Mollusken. Donauausbau Straubing - Vilshofen. EU-Studie. Ökologische Datengrundlagen. Los 06: Mollusken. Im Auftrag der Bundesrepublik Deutschland (Bundeswasserstraßenverwaltung), vertreten durch die Rhein-Main-Donau AG, diese vertreten durch die RMD Wasserstraßen GmbH, München. Die Studie wurde von der Bundesrepublik Deutschland, dem Land Bayern und der Europäischen Union finanziert.
- Januschke, K., Jachertz, H. & Hering, D. (2018): Machbarkeitsstudie zur biozönotischen Auenzustandsbewertung. – BfN-Skripten 484, 87 S.
- Jungbluth J.H., Falkner, G. & Schmalz K.V. (1986): Kartierung der Mollusken (Weichtiere). – In: OAG (Ornithologische Arbeitsgemeinschaft Ostbayern): Ökologische Grundlagenermittlung Stauhaltung Straubing. Unveröffentlichtes Gutachten, im Auftrag der Rhein-Main-Donau AG, München, 593 S. (inkl. Karten, ASK-Blätter).
- Jungbluth, H. & von Knorre, D. (2009): Rote Liste der Binnenmollusken [Schnecken Gastropoda) und Muscheln (Bivalvia)] in Deutschland. 6. revidierte und erweiterte Fassung 2009. – Mitteilungen der Deutschen Malakozoologischen Gesellschaft 81: 3-25.
- Jurkiewicz-Karnkowska, E. (2011): Effects of habitat conditions on the diversity and abundance of molluscs in floodplain water bodies of different permanence of flooding. – Polish Journal of Ecology 59(1): 165-178.

- Körnig S. (2009): Die Mollusken des Naturschutzgebietes Steckby-Lödderitzer Forst. – Naturschutz im Land Sachsen-Anhalt, Sonderheft 46: 159-168.
- Martens, A. Grabow, K. & Schoolmann, G. (2007): Die Quagga-Muschel *Dreissena rostriformis bugensis* (Andrusov, 1897) am Oberrhein (Bivalvia: Dreissenidae). – *Lauterbornia* 61: 145-152.
- Moorkens, E. A. & Killeen, I. J. (2009): Database of association with habitat and environmental variables for non-shelled slugs and bivalves of Britain and Ireland. Irish Wildlife Manuals, No. 41. National Parks and Wildlife Service, Department of the Environment, Heritage and Local Government, Dublin.
- ÖKON (2005): Faunistische Betrachtung zu Bewertungsverfahren der Fluss- und Stromauen Deutschlands. Im Auftrag des BfN. Unveröffentlichtes Manuskript.
- ÖKON (2011): Ergänzende vegetationskundliche und faunistische Untersuchungen im Rahmen der Planung des Flutpolders Oberauer Schleife. Im Auftrag des Wasserwirtschaftsamtes Deggendorf (© Wasserwirtschaftsamt Deggendorf, www.wwa-deggendorf.bayern.de). Unveröffentlichtes Gutachten.
- ÖKON (2014): Vorlandmanagement Donau, Umsetzungsabschnitt III – Isarmündung bis Staatshausen, Kartierung von Land- und Wassermollusken. Im Auftrag des Wasserwirtschaftsamtes Deggendorf (© Wasserwirtschaftsamt Deggendorf, www.wwa-deggendorf.bayern.de). Unveröffentlichtes Gutachten.
- Rabitsch, W. & Nehring S. (2017): Naturschutzfachliche Invasivitätsbewertungen für in Deutschland wild lebende gebietsfremde aquatische Pilze, Niedere Pflanzen und Wirbellose Tiere. – BfN-Skripten 458, 222 S.
- Rumm, A., Röder, U., Wiesner, A., Deichner, O., Schmidt, H., Adler, M., Berger, C. & Foeckler, F. (2014a): Monitoring von Land- und Wassermollusken im Zuge der Maßnahmen des Vorlandmanagements Donau, Umsetzungsabschnitt III – Isarmündung bis Staatshaufen. – *Auenmagazin* 7: 43-48.
- Rumm, A., Scholz, M., Bushart, M. & Foeckler, F. (2014b): Mollusken als Bioindikatoren in Auenlebensräumen am Beispiel der Elbe und Donau. – *Nationalpark-Jahrbuch Unteres Odertal* 11: 28-34.
- Rumm, A., Foeckler, F., Deichner, O., Scholz, M. & Gerisch, M. (2016). Dyke-slotting initiated rapid recovery of habitat specialists in floodplain mollusc assemblages of the Elbe River, Germany. – *Hydrobiologia* 771(1): 151-163.
- Rumm, A., Foeckler, F., Dziock, F., Ilg, C., Scholz, M., Harris, R. M. & Gerisch, M. (2018). Shifts in mollusc traits following floodplain reconnection: Testing the response of functional diversity components. – *Freshwater biology* 63(6): 505-517.
- Schöll, F., Haybach, A. & Eggers, T.O. (2016): Aquatische Neozoen (Makrozoobenthos) in Fließgewässern Deutschlands. – In: *Handbuch Angewandte Limnologie: Grundlagen - Gewässerbelastung - Restaurierung - Aquatische Ökotoxikologie - Bewertung - Gewässerschutz*: 1-24.
- Scholz, M., Dziock, F., K. Henle, Stab, S. & Foeckler, F. (Hrsg.) (2009): Entwicklung von Indikationssystemen am Beispiel der Elbaue. – Ulmer Verlag, Stuttgart, 482 S. und 1 CD-ROM.
- Sládeček, V. (1964): Zur Ermittlung des Indikations-Gewichtes in der biologischen Gewässeruntersuchung. – *Arch. Hydrobiol.* 60: 241-243.
- Stammel, B., Damm, C., Fischer-Bedtke, C., Francis, F., Gelhaus, M., Gerstner, L., Horchler, P. Rumm, A. & Scholz, M. (2020): Quantifizierung und Bewertung der Ökosystemleistung Habitatbereitstellung anhand der floristischen Ausstattung – Florix. In diesem Buch.
- Strätz, C. (2011): Fachberichte Zoologie - Botanik, Mollusken im Rahmen der Erstellung des Pflege- und Entwicklungsplan für das Naturschutzgroßprojekt "Das Schwäbische Donautal - Auwaldverbund von nationaler Bedeutung". Unveröffentlichtes Gutachten für die Kling Consult Planungs- und Ingenieurgesellschaft für Bauwesen mbH, Baugrundinstitut nach Din 1054, Kulmbach, im Auftrag des Donautal-Aktiv e.V., Dillingen.

Habitatbereitstellung: Molluskenfauna (Mollix)

Waringer, J., Chovanec, A., Straif, M., Graf, W., Reckendorfer, W., Waringer-Löschenkohl, A., Waidbacher, H. & Schultz, H. (2005): The Floodplain Index – habitat values and indication weights for molluscs, dragonflies, caddiesflies, amphibians and fish from Austrian Danube floodplain waterbodies. – *Lauterbornia* 52: 177-186.

Wiese, V. (2014): *Die Landschnecken Deutschlands. Finden – Erkennen – Bestimmen.* – Wiebelsheim (Quelle & Meyer Verlag GmbH &Co.), 352 S.