

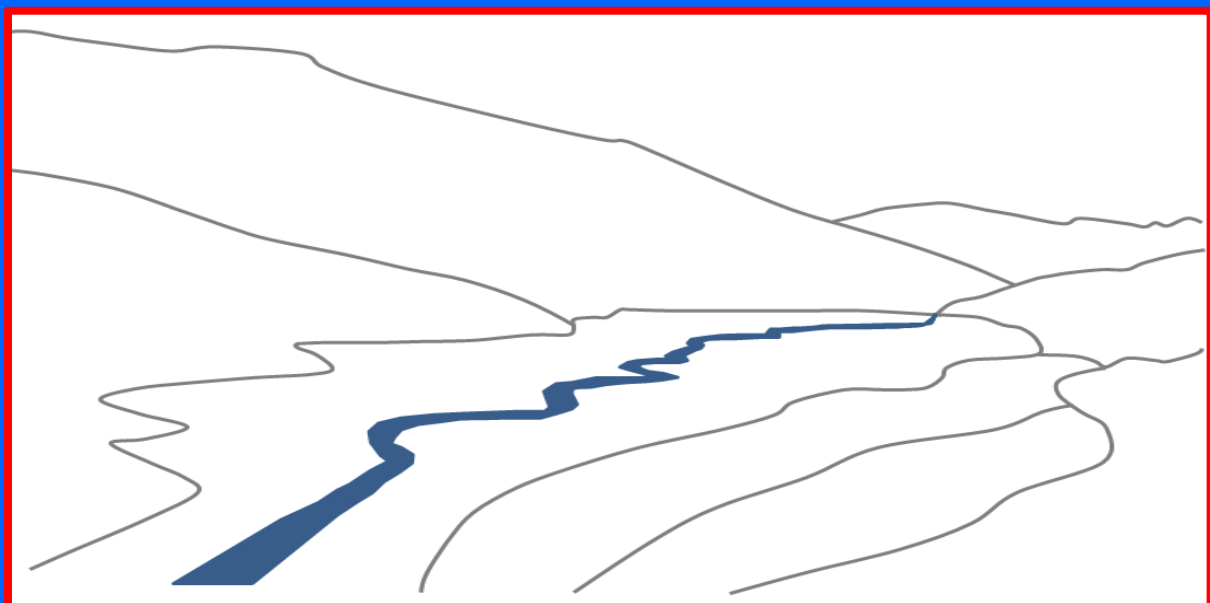


Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH

Im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz,
Projektmanagement LiLa Living Lahn | 2020

Studie „Sozio-ökonomisches Monitoring und Bewertung der Veränderungen von Ökosystemleistungen (ÖSL) im Projekt LiLa Living Lahn“

LIFE14 IPE/DE/022, LILA LIVING LAHN – SOCIO-ECONOMIC MONITORING AND ECO-SYSTEM SERVICES (ESS) MONITORING





biota - Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH

Kontakt:
Nebelring 15
D-18246 Bützow
Tel.: 038461/9167-0
Fax: 038461/9167-55

Internet:
www.institut-biota.de
postmaster@institut-biota.de

Geschäftsführer:
Dr. Dr. Dietmar Mehl
Dr. Volker Thiele
Handelsregister:
Amtsgericht Rostock | HRB 5562

AUFTRAGNEHMER & BEARBEITUNG:

Dr. rer. nat. Dr. agr. Dietmar Mehl
B.Sc. Janette Iwanowski
Dipl.-Ing. Klaudia Lüdecke
Dr. rer. nat. Tim G. Hoffmann
Dr. rer. nat. Matthias Lampe

biota – Institut für ökologische Forschung
und Planung GmbH

18246 Bützow, Nebelring 15
Telefon: 038461/9167-0
Telefax: 038461/9167-50
E-Mail: postmaster@institut-biota.de
Internet: www.institut-biota.de

Unter Mitarbeit von:

Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Albert

30559 Hannover, Marienbader Straße 11A
Telefon: 0177/3349726
E-Mail: christianalbert@yahoo.de

Dr. rer. oec. Alexandra Dehnhardt
M.Sc. Catharina Püffel

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung
(IÖW) GmbH, gemeinnützig

10785 Berlin, Potsdamer Straße 105
Telefon: 030/884594-0
Telefax: 030/8825439
E-Mail: mailbox@ioew.de
Internet: www.ioew.de

AUFTRAGGEBER:

Dr. Stephan von Keitz
Janet Weinig
Dipl.-Ing. Markus Porth

Koordination LIFE14 IPE/DE/022 „LiLa Living
River Lahn – one river, many interests“

Hessisches Ministerium für Umwelt, Klima-
schutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

65189 Wiesbaden, Mainzer Straße 80
Telefon: 0611/815-1360
Telefax: 0611/815-1941
E-Mail: poststelle@umwelt.hessen.de
Internet: www.umweltministerium.hessen.de

Vertragliche Grundlage: Werkvertrag IP-LIFE14/DE/022-D1 vom 28.08./02.09.2019

Bützow, den 25.08.2021

Dr. rer. nat. Dr. agr. Dietmar Mehl
Geschäftsführer

INHALT

1	Einführung	10
1.1	Veranlassung	10
1.2	Untersuchungsgebiet	14
1.3	Aufgabenstellung	27
1.4	Bearbeitungsansatz und -schritte	28
2	Fachliche und methodische Grundlagen	29
2.1	Entwicklung von Handlungsalternativen für den Umgang mit den Staustufen	29
2.2	Verfahren/Methoden zur Bewertung hydromorphologischer Qualitätskomponenten der Fließgewässer	31
2.2.1	Überblick	31
2.2.2	Wasserhaushalt	32
2.2.3	Durchgängigkeit	35
2.2.4	Morphologie	35
2.3	Verfahren/Methoden zur Bewertung der Hydromorphologie der Auen	40
2.4	Maßnahmenoptionen zur Erreichung eines guten ökologischen Potenzials (GÖP): Szenario 1	41
2.5	Maßnahmenoptionen zur Erreichung eines guten ökologischen Zustands (GÖZ): Szenario 2	42
2.6	Gegenüberstellung der Handlungs- bzw. Maßnahmenoptionen: GÖZ und GÖP	44
2.7	Verfügbarkeit und Qualität von Fachdaten	53
2.7.1	Grundlagendaten: Lahn-GIS	53
2.7.2	Spezifische Datengrundlagen	53
2.8	Absicherung der räumlichen Übertragbarkeit	54
3	Erfassung und Bewertung von Ökosystemleistungen	56
3.1	Grundlagen	56
3.1.1	Einführung	56
3.1.2	Definitionen	58
3.2	Systematik und Bewertungsansätze/-verfahren für Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen	60
3.3	Qualitative Bewertung	62
3.4	Ökonomische Bewertung	63
3.4.1	Marktanalysen	63
3.4.2	Präferenzanalysen	64
3.4.3	Sekundäranalysen	65

3.5	Auswahl der relevanten/zielführenden Ökosystemleistungen	66
3.5.1	Grundsätze	66
3.5.2	Überblick der ausgewählten Ökosystemleistungen.....	72
3.5.3	Versorgende Ökosystemleistungen (ÖSL)	73
3.5.3.1	Nahrungsmittel.....	73
3.5.3.2	Rohstoffe.....	76
3.5.3.3	Energie.....	76
3.5.4	Regulative Ökosystemleistungen	77
3.5.4.1	Extremabfluss	77
3.5.4.1.1	Hochwasserregulation	77
3.5.4.1.2	Niedrigwasserregulation	81
3.5.4.2	Sedimente, Böden sowie deren Nährstoffrückhalt	84
3.5.4.2.1	Sedimentregulation.....	85
3.5.4.2.2	Retention der Nährstoffe Phosphor und Stickstoff	87
3.5.4.3	Biologische Selbstreinigung (in Bezug auf organische Belastung), Sauerstoffverhältnisse im Wasserkörper sowie im Interstitial	92
3.5.4.4	Globales Klima.....	95
3.5.4.5	Regional-/Lokalklima	97
3.5.4.6	Biologische Vielfalt.....	102
3.5.5	Kulturelle Ökosystemleistungen	105
3.5.5.1	Vorbemerkungen	105
3.5.5.2	Landschaftserleben	105
3.5.5.3	Erbe und ideeller Wert	110
3.5.5.4	Frage...Erholung und Tourismus	111
3.5.5.5	Intellektuelle Interaktionen	114
3.5.6	Weitere (abiotische) Ökosystemleistungen	117
3.5.6.1	Motorisierte Schifffahrt.....	117
3.5.6.2	Wasserkraft.....	119
3.6	Betrachtungszeitraum bzw. -zeitspanne	120
3.7	Maßstab der räumlichen Analysen	121
3.8	Inhalt und Maßstab der kartographischen Darstellung.....	121
3.9	Ökonomische Bewertung der ausgewählten Ökosystemleistungen	124
3.9.1	Versorgende Ökosystemleistungen.....	127
3.9.2	Regulative Ökosystemleistungen	128
3.9.3	Kulturelle Ökosystemleistungen	129
3.9.4	Abiotische Ökosystemleistungen.....	131
4	Auswahl repräsentativer Staustufen.....	134

4.1	Auswahlkriterien und Überblick	134
4.2	Lage und Kennzeichen	135
4.2.1	Staufufe Lahnstein	135
4.2.2	Staufufe Kirschhofen.....	138
4.2.3	Staufufe Altenberg	141
5	Vergleichende Untersuchungen (Kalibrierung).....	144
5.1	Zielstellung.....	144
5.2	Fallbeispiel der komplexen Renaturierung der Nebel	144
5.3	Tendenzielle und nachgewiesene Veränderungen und Wirkungen, Bewertung	150
5.3.1	Maßnahmen an der oberen Lahn (Hessen)	151
5.3.2	Maßnahmen an der Nebel (Mecklenburg-Vorpommern).....	155
6	Konkretisierung der (hypothetischen) Maßnahmenoptionen für die ausgewählten Staustufen sowie methodische Konventionen.....	159
6.1	Einführung	159
6.2	Systemtheorie und -analyse.....	159
6.3	Systemhierarchien	160
6.4	Generelle Voraussetzungen bzw. grundsätzliche Annahmen.....	160
6.5	Räumlich-inhaltliche Konkretisierung der Maßnahmenoptionen	163
6.5.1	Übersicht.....	163
6.5.2	Bildung der Auenabschnitte (Auensegmente)	164
6.5.3	Horizontale Raumdifferenzierung	166
6.5.4	Maßnahmen der Stauraumstrukturierung als Grundlage des Szenarios 1 (GÖP)....	166
6.5.5	Legung/Beseitigung der drei Staustufen unter Anpassung der Sohllagen der Lahn als eine Grundlage des Szenarios 2 (GÖZ)	167
6.5.6	Etablierung eines Gewässerentwicklungskorridors als weitere Grundlage des Szenarios 2 (GÖZ).....	170
6.6	Weitere Ansätze bzw. Festlegungen zur Analyse und Bewertung beider Maßnahmenszenarien	175
6.7	Kartographische und bildhafte Übersicht zu den Maßnahmenszenarien	177
6.7.1	Staufufe Lahnstein	177
6.7.1.1	Szenario 1: GÖP.....	177
6.7.1.2	Szenario 2: GÖZ.....	177
6.7.2	Staufufe Kirschhofen.....	181
6.7.2.1	Szenario 1: GÖP.....	181
6.7.2.2	Szenario 2: GÖZ	182
6.7.3	Staufufe Altenberg	186
6.7.3.1	Szenario 1: GÖP	186

6.7.3.2	Szenario 2: GÖZ.....	187
6.8	Erläuterungen zur Auswertung der Analysen.....	191
7	Bewertungen der Maßnahmenoptionen an der Staustufe Lahnstein	192
7.1	Versorgende Ökosystemleistungen.....	192
7.2	Regulative Ökosystemleistungen.....	193
7.2.1	ÖSL-Klasse Extremabfluss.....	193
7.2.1.1	Hochwasserregulation	193
7.2.1.2	Niedrigwasserregulation	194
7.2.2	ÖSL-Klasse Sedimente, Böden sowie deren Nährstoffrückhalt	195
7.2.2.1	Sedimentregulation.....	195
7.2.2.2	Retention von Phosphor	196
7.2.2.3	Retention von Stickstoff	198
7.2.3	ÖSL-Klasse Biologische Selbstreinigung	200
7.2.4	ÖSL-Klasse Globales Klima	202
7.2.5	ÖSL-Klasse Regional-/Lokalklima	204
7.2.6	ÖSL-Klasse Biologische Vielfalt	207
7.3	Kulturelle Ökosystemleistungen	209
7.3.1	ÖSL-Klasse Landschaftserleben	209
7.3.2	ÖSL-Klasse Erholung und Tourismus	212
7.3.3	ÖSL-Klasse Intellektuelle Interaktionen.....	213
7.4	Weitere (abiotische) Leistungen	215
7.4.1	ÖSL-Klasse Schifffahrt/ÖSL Motorisierte Schifffahrt.....	215
7.4.2	ÖSL-Klasse Energie/ÖSL Wasserkraft.....	216
7.5	Synopsis.....	217
7.6	Vergleich der Szenarien	223
8	Bewertungen der Maßnahmenoptionen an der Staustufe Kirschhofen.....	228
8.1	Versorgende Ökosystemleistungen.....	228
8.2	Regulative Ökosystemleistungen.....	229
8.2.1	ÖSL-Klasse Extremabfluss.....	229
8.2.1.1	Hochwasserregulation	229
8.2.1.2	Niedrigwasserregulation	230
8.2.2	ÖSL-Klasse Sedimente, Böden sowie deren Nährstoffrückhalt	230
8.2.2.1	Sedimentregulation.....	230
8.2.2.2	Retention von Phosphor	231
8.2.2.3	Retention von Stickstoff	233
8.2.3	ÖSL-Klasse Biologische Selbstreinigung	234

8.2.4	ÖSL-Klasse Globales Klima	236
8.2.5	ÖSL-Klasse Regional-/Lokalklima	239
8.2.6	ÖSL-Klasse Biologische Vielfalt	240
8.3	Kulturelle Ökosystemleistungen	241
8.3.1	ÖSL-Klasse Landschaftserleben	241
8.3.2	ÖSL-Klasse Erholung und Tourismus	243
8.3.3	ÖSL-Klasse Intellektuelle Interaktionen	245
8.4	Weitere (abiotische) Leistungen	246
8.4.1	ÖSL-Klasse Schifffahrt/ÖSL Motorisierte Schifffahrt	246
8.4.2	ÖSL-Klasse Energie/ÖSL Wasserkraft	246
8.5	Synopsis	247
8.6	Vergleich der Szenarien	257
9	Bewertungen der Maßnahmenoptionen an der Staustufe Altenberg	263
9.1	Versorgende Ökosystemleistungen	263
9.2	Regulative Ökosystemleistungen	264
9.2.1	ÖSL-Klasse Extremabfluss	264
9.2.1.1	Hochwasserregulation	264
9.2.1.2	Niedrigwasserregulation	265
9.2.2	ÖSL-Klasse Sedimente, Böden sowie deren Nährstoffrückhalt	266
9.2.2.1	Sedimentregulation	266
9.2.2.2	Retention von Phosphor	266
9.2.2.3	Retention von Stickstoff	270
9.2.3	ÖSL-Klasse Biologische Selbstreinigung	271
9.2.4	ÖSL-Klasse Globales Klima	273
9.2.5	ÖSL-Klasse Regional-/Lokalklima	275
9.2.6	ÖSL-Klasse Biologische Vielfalt	278
9.3	Kulturelle Ökosystemleistungen	280
9.3.1	ÖSL-Klasse Landschaftserleben	280
9.3.2	ÖSL-Klasse Erholung und Tourismus	282
9.3.3	ÖSL-Klasse Intellektuelle Interaktionen	285
9.4	Weitere (abiotische) Leistungen	287
9.4.1	ÖSL-Klasse Schifffahrt/ÖSL Motorisierte Schifffahrt	287
9.4.2	ÖSL-Klasse Energie/ÖSL Wasserkraft	288
9.5	Synopsis	289
9.6	Vergleich der Szenarien	297
10	Zusammenfassung, Plausibilität, Schlussfolgerungen und Fazit	303

10.1 Zusammenfassung.....	303
10.2 Plausibilität.....	308
10.3 Schlussfolgerungen und Fazit	313
11 Quellenverzeichnis	315

1 Einführung

1.1 Veranlassung

Das Projekt „LiLa Living Lahn“ (LiLa) wird im Rahmen des EU-Umweltförderprogramms LIFE gefördert. Es hat am 01.12.2015 begonnen und erstreckt sich über einen Zeitraum von 10 Jahren bis zum 30.11.2025. Das verfügbare Projektbudget beträgt rund 15,7 Millionen Euro bei einem Förderanteil durch die EU in Höhe von rund 8,5 Millionen Euro (<https://www.lila-livinglahn.de/das-projekt/projektbeschreibung/>, Abruf am 28.01.2020).

Dabei ist es übergeordnete Projektzielstellung, die derzeit überwiegend schiffbare Lahn ökologisch aufzuwerten und damit den Fluss und das Leben am Fluss lebenswerter zu machen. Die im Projekt geplanten Maßnahmen beschäftigen sich vor allem damit, ausgehend von den Umsetzungserfordernissen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), das gute ökologische Potenzial für die Lahn zu erreichen (Anforderungen entsprechend Anhang V WRRL bzw. Oberflächengewässerverordnung – OGewV).

Unter Berücksichtigung der bisherigen Nutzung als Bundeswasserstraße sowie naturschutzfachlicher und gewässerökologischer Aspekte soll daher im Vorhaben LiLa ein abgestimmtes Gesamtkonzept erarbeitet werden ("Lahnkonzept", siehe Maßnahme A1, Tabelle 1-1). Das Lahnkonzept verfolgt „einen integrativen ganzheitlichen Ansatz“, „um die zahlreichen Belange und Nutzungsinteressen der Lahnanlieger zu erfassen und soweit wie möglich in die Bearbeitung zu integrieren“. Dabei werden die Projektpartner und die interessierte Öffentlichkeit beteiligt. Das Konzept bietet somit eine Chance, „die Unterhaltung der Lahn neu zu orientieren, den Fluss und die Region ökologisch und touristisch aufzuwerten, die Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie umzusetzen und weitere relevante Wirkungszusammenhänge und Nutzungen zu berücksichtigen.“ (<https://www.lila-livinglahn.de/massnahmen/action-a-1-lahnkonzept>, Abruf am 21.02.2020).

Da die Lahn bereits seit 1981 nicht mehr für den Güterverkehr genutzt wird und als Nebenwasserstraße des Bundes eingestuft ist, ist auch das Bundesprogramm „Blaues Band“ zusätzlich von Interesse. In den Nebenwasserstraßen soll in die Renaturierung von Fließgewässern und Auen investiert werden, womit neue Akzente in Richtung Natur- und Gewässerschutz, Hochwasservorsorge sowie Wassertourismus, Freizeitsport und Erholung gesetzt werden sollen (BMVI & BMUB 2017).

Noch im Wassertourismuskonzept des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI 2016) heißt es: „An nur wenig genutzten Wasserstraßen ist die Vorhaltung aufwendiger Infrastrukturen wie z. B. Schleusen unwirtschaftlich. An diesen Gewässern sollte der Schwerpunkt auf den motorlosen Wassertourismus gelegt werden, welcher erheblich weniger aufwendige Infrastrukturen erfordert, wie z. B. Bootsgassen. Hier besteht Spielraum für die Renaturierungen, die derzeit im Rahmen des „Blauen Bandes“ konzipiert werden.“ (BMVI 2016, S. 11). Im Teilbericht „Wasserbezogene Naherholung und Wassertourismus“ des Lahnkonzeptes (Statusanalyse) schätzt das WSA Koblenz (2019e) die Bedeutung der Lahn in wassertouristischer Hinsicht jedoch als hoch ein. Der Masterplan Freizeitschiffahrt (BMVI 2021) betont die positiven Wirkungen einer Instandsetzung und des Ausbaus der Infrastruktur der Wasserstraßen für die Freizeitschiffahrt und sieht in Schleusen nunmehr eine Grundvoraussetzung „reibunglosen Freizeitverkehrs“ (BMVI 2021, S. 26).

Bereits in einer Broschüre des Naturschutzbund Deutschland (NABU) e. V. „Das Blaue Band. Naturschutz als Chance für die Wasserstraßenreform“ (MEHL et al. 2014a) wurden angesichts des vorhandenen umweltfachlichen Zustands für die Lahn weitreichende Renaturierungslösungen vorgeschlagen. Fachliche Grundlagen für die Umsetzung des Blauen Bandes sind in der zugehörigen Fachstudie dargelegt (https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/WS/blau-es-band-fachstudie.pdf?__blob=publication-File, Abruf am 15.12.2019).

Explizite Handlungsziele im EU-LIFE-Projekt „LiLa“ sind (<https://www.lila-livinglahn.de/das-projekt/projektziele/>, Abruf am 28.01.2020)

- die Umsetzung von Maßnahmen zur Herstellung der linearen Durchgängigkeit an verschiedenen Arten von Querbauwerken und die damit verbundene Verbesserung von Lebensräumen für viele verschiedene Tier- und Pflanzenarten,
- die Wiederherstellung von natürlichen Retentionsräumen und deren Eigenregulierung,
- die Identifizierung von Verunreinigungen und ihre Beseitigung zur Verbesserung der Wasserqualität,
- die Verbesserung der strukturellen Vielfalt in Stauräumen,
- die Förderung von nachhaltigen Tourismusangeboten, z. B. im Bereich Kanu-/Rudersport durch den Bau von Umtrageeinrichtungen sowie die Bereitstellung einer Lahn-App,
- die Verbesserung der behördlichen Zusammenarbeit und die Schulung von Mitarbeitern/-innen in Fragen des Gewässerschutzes und Flussraummanagements sowie
- der transparente Dialog mit allen beteiligten Interessengruppen im Sinne einer lebendigen und vielf gestaltigen Lahn.

Den Handlungszielen entsprechen die in Tabelle 1-1 dargestellten Maßnahmen und Teilzielen.

Tabelle 1-1: Wichtige Maßnahmen im LIFE-Projekt LiLa Lahn (<https://www.lila-livinglahn.de/massnahmen>, ergänzt, nicht vollständig) und deren wesentliche Ziele/Inhalte

Life Action	Maßnahmenbeschreibung	Relevante Ziele/Inhalte
Action A1	Lahnkonzept	Theoretischer Denk-, Kommunikations- und Diskussionsprozess: <ul style="list-style-type: none"> • iterativer Prozess unter Beteiligung aller Akteure vor Ort • beschreibt zukünftige Infrastrukturen und Nutzungen, Art und Umfang der Unterhaltung sowie verkehrliche, ökologische und weitere Ziele unter Berücksichtigung der vielfältigen Belange -> gesamtgesellschaftlich tragfähige Zukunftsperspektive für die Lahn • Praktische Umsetzung nach 2025
Action A2	Sedimentmanagementkonzept	Handlungsoptionen für den Umgang mit (remobilisierten) Sedimenten
Action A4, C4	Studie zur Hochwassersituation im Bereich der Stadt Diez und von weiteren Gemeinden an der unteren Aar	Erschließung weiterer Rückhalteflächen an der Lahn und den Nebengewässern
Action A5 und C1	Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit und Durchführung eines Fischschleusungsmanagements an der Schleuse Lahnstein	Zwischenzeitliche Verbesserung bzw. Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit
Action A6, C9 und E9	Ökologische Aufwertung der Schleuseninsel Furfurt und Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit	Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit Förderung standorttypischer Vegetation Uferentsiegelung

Life Action	Maßnahmenbeschreibung	Relevante Ziele/Inhalte
		Verringerung von Störungen der Avifauna Verbesserte Integration von Schifffahrtsanlagen in die Landschaft Nutzungsveränderung/Extensivierung (sofern Flächen verfügbar)
Action A7, A7A, C6C	Stauraumstrukturierung	Morphologische Maßnahmen zur ökologischen Verbesserung in durch Stauhaltung geprägten Fließgewässerabschnitten
Action A8, C7A und D5	Umgang mit invasiven Arten am Fließgewässer	Konzept für den Umgang mit invasiven Pflanzenarten am Fließgewässer entlang der Einzugsgebiete von Perf und Kerkerbach unter Berücksichtigung von Baumaßnahmen
Action A9, C7B und D4	Maßnahmen zur Stützung von Äsche und Nase in der oberen Lahn	Maßnahmen zur Rettung und Wiederansiedelung der beiden Arten
Action A10 und C8	Aalschonendes Turbinenmanagement	Ermittlung der Aalwanderzeiten und aalschonendes Turbinenmanagement
Action A11	Studie zur Durchgängigkeit der Nebengewässer der Lahn	Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit
Action A12	Strukturverbesserung der Ufer an der unteren Lahn (Rheinland-Pfalz)	Morphologische Entwicklungsmaßnahmen (Entfernen Uferverbau, offene Mündungsbereiche, Uferabgrabung, Stärkung und Mehrung naturnaher Gewässer- und Auenstrukturen)
Action C2	Optimierung der Umtrageeinrichtungen für den muskelbetriebenen Wassertourismus	Im Bereich der Staustufen Ahl und Limburg sollen benutzerfreundliche und sichere Umtragungsmöglichkeiten und somit Alternativen zur Staustufenquerung außerhalb der Schleusungszeiten (Betriebszeiten) entstehen
Action C6A	Gisselberger Spannweite	Morphologische Entwicklungsmaßnahmen (Aufweitungen, Furkationsrinnen, Anlage von Auwald- und Totholzstrukturen)
Action C6B	Heuchelheimer Banane	Ein Lahn-Altarm im Süden Heuchelheims (Gemarkung Gießen-Kleinlinden) soll oberwasserseitig an die Lahn angeschlossen werden
Action C13	Einstiegswehr Ulmbach	Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit am Ulmbach zwischen Allendorf und Biskirchen
Action C14	Lahnau zwischen Atzbach und Gießen	Anlage von Auwald, Anschluss von Altarmen an die Lahn, Verbesserung der Sohlstruktur von Gewässern und Wiedernutzbarmachung von Wehren zur Wiesenbewässerung
Action D1	Sozio-ökonomisches Monitoring und Monitoring von Ökosystemleistungen	Effekte von alternativen Maßnahmen auf bedeutsame Ökosystemleistungen bzw. sozio-ökonomische Einflüsse/Folgen
Action E10	Touch-Kiosk und Vaki-Counter am "Lahnfenster Hessen"	Umweltbildung: digitales Info-Portal, digitaler Fischzähler

Life Action	Maßnahmenbeschreibung	Relevante Ziele/Inhalte
Action E11	Info-Plattform Weststadt Gießen	Umweltbildung: Plattform mit Graphoskop und Info-Tafeln über wasserabhängige, teils seltene Vogelarten und deren Lebensräume

Das zentrale Lahnkonzept (Action A1) soll zur Entscheidungsunterstützung über die zukünftige Entwicklung und Unterhaltung der Lahn beitragen und befasst sich mit dem Flussabschnitt vom Badener Wehr bei Gießen (km -11,075) bis zur Lahnmündung in den Rhein bei Lahnstein (km 137,300). Ein Aspekt stellt dabei der Umgang mit den Staustufen dar, da diese einen ganz wesentlichen Einfluss auf die Hydromorphologie und das Leben in der Lahn haben. Staulegungsmaßnahmen können weitreichende Konsequenzen haben (z. B. Verlust Wasserkraft, Einschränkung Schifffahrt, Absinken Grundwasserstand), bilden aber eine große Chance für die Gewässer- und Auenentwicklung, für angepasste, nachhaltige Nutzungen sowie vor allem auch für die autotypische Pflanzen- und Tierwelt, s. hierzu auch „Anregungen zum Lahnkonzept“ (NABU 2019).

Innerhalb des LILA-Projekts besteht das vonseiten der Auftraggeber konkretisierte Ziel von Action D1 darin, positive und ggf. negative Auswirkungen ausgewählter Handlungsoptionen auf das Dargebot von Ökosystemleistungen abzuschätzen und, soweit möglich, die entsprechenden ökonomischen Kosten und Nutzen zu bewerten. Als Handlungsoptionen werden dabei Varianten im Umgang mit Staustufen verstanden. Staustufen bezeichnen hier das Bauwerk und die gestaute Flussstrecke im Oberlauf, einschließlich angrenzender Auenbereiche.

Hauptzweck bildet mithin „eine nützliche Erweiterung der Entscheidungsgrundlagen“ (ALBERT et al. 2017) für eine nachhaltige Nutzung von Fluss und Aue. „Eine konsequente Anwendung [...] des Konzepts der Ökosystemleistungen kann den „Mehrwert“ der hydromorphologischen und ökologischen Zustandsverbesserung der Gewässer im Sinne gesteigerter Ökosystemleistungen sichtbar machen. Damit bietet eine Anwendung des Ökosystemleistungsansatzes auch eine zielführende Möglichkeit,

- a) Anforderungen der WRRL im Hinblick auf das Verbesserungsgebot sowie das Nutzungspotential der Gewässer begründeter in Einklang bringen zu können (vgl. einleitender Grund Nr. 23 der WRRL),
- b) Kosten der Wassernutzung einschließlich umwelt- und ressourcenbezogener Kosten den Beeinträchtigungen oder Schädigungen der aquatischen Umwelt entsprechend dem Verursacherprinzip besser gegenüber stellen zu können (vgl. einleitender Grund Nr. 38 der WRRL),
- c) eine belastbare und kommunizierbare Grundlage zu schaffen, um eine Beteiligung der breiten Öffentlichkeit im Entscheidungsprozess um die künftigen Maßnahmen an der Lahn zu ermöglichen (vgl. einleitender Grund Nr. 46 der WRRL) sowie insbesondere
- d) in Ergänzung der bisherigen Grundlagen erweiterte Daten und Informationen bereitzustellen, um die gesellschaftliche Abwägung zwischen der gebotenen ökologischen Verbesserung und den nutzbringenden Zielen, denen die künstlichen oder veränderten Merkmale des Wasserkörpers dienen, sowie der Frage der Verhältnismäßigkeit von Kosten in bessere Übereinstimmung bringen zu können (Artikel 4 WRRL).

Vor allem würde eine weitere Grundlage für Kosten-Nutzen-Abwägungen und für den Vergleich von Planungsvarianten zur Verfügung stehen. Zugleich bestände eine gute Chance, den überragenden gesellschaftlichen Nutzen von Gewässer- und Auenschutz im gesellschaftlichen und politischen Raum noch anschaulicher zu kommunizieren (MEHL 2018).

1.2 Untersuchungsgebiet

Gegenstand der Untersuchung bildet der ca. 149 km lange Lahnabschnitt, der sich als Binnenwasserstraße Lahn im Eigentum des Bundes befindet (Abbildung 1-1). Die rechtliche Widmung als Bundeswasserstraße ergibt sich aus § 1 Abs. 1 Nr. 1 und Abs. 5 und § 2 Abs. 2 sowie Anlage 1 Bundeswasserstraßengesetz (WaStrG). Zuständig für die Verwaltung der Wasserstraße Lahn ist das Wasser- und Schifffahrtamt (WSA) Mosel-Saar-Lahn mit seinem Dienstsitz in Koblenz.

Die Lahn wurde im Jahre 1921 von Gießen bis zur Mündung in den Rhein als Reichswasserstraße gewidmet und bildet heute gemäß Bundeswasserstraßengesetz (WaStrG) eine Bundeswasserstraße. Details zur Geschichte der Lahn als Wasserstraße, insbesondere auch zur Historie der Staueinrichtungen und Schleusen, können z. B. ECKOLDT (1998) entnommen werden. Entsprechend WSA Koblenz (2018a, 2019a) erstreckt sich der bundeseigene Lahnabschnitt von der Mündung in den Rhein bis zum Badener Wehr bei Gießen (Lahn-km -11,075). Die Güterschifffahrt auf der Lahn ist seit 1981 eingestellt, aber die Lahn hat heute Bedeutung für die motorisierte und nicht-motorisierte Sport- und Freizeitschifffahrt, zunehmend auch für muskelbetriebene Wassertouristik (insbesondere Kanufahren).

Die Lahn hat insgesamt ein oberirdisches hydrologisches Einzugsgebiet (A_E) von 5.924 km² und eine Gesamtlängelänge von ca. 245 km (Abbildung 1-2). Sie entspringt am Ederkopf im Rothaargebirge (ca. 628 m DHHN) und mündet Höhe Lahnstein (auf ca. 61 m DHHN), oberhalb von Koblenz als rechtsseitiger Nebenfluss in den Rhein. Die Lahn entwässert mehrere Naturräume der Bundesländer Nordrhein-Westfalen, Hessen und Rheinland-Pfalz. Als typischer Mittelgebirgsfluss entwässert sie vor allem größere rechtsrheinische Teile des Rheinischen Schiefergebirges. Dabei werden auch der südliche Teil des Westerwalds und der nördliche Teil des Taunus als Teilgebirge erfasst. Die beiden größten Nebenflüsse der Lahn sind die Ohm ($A_E = 983$ km²) und die Dill ($A_E = 714$ km²). Die hydrologischen Hauptzahlen der Lahn zeigt Tabelle 1-2. Die Lage weiterer gewässerkundlicher Pegel ist in Abbildung 1-3 dargestellt.

Tabelle 1-2: Hydrologische Hauptzahlen für den Lahn-Pegel Kalkofen (Messstellennummer: 25800608, $A_E = 5.304$ km², Pegelnul = 86,39 NN, beobachtet seit 1881), Daten aus: WSA Koblenz (2019f)

Wasserstand	Niedrigstes Niedrigwasser (NNW)	98 cm (01.10.1997, künstlich abgestaut)
	Mittelwasser (MW)	226 cm (Jahresreihe 2009-2018)
	Höchstes Hochwasser (HHW)	900 cm (10.02.1946)
Durchfluss	Niedrigster Niedrigwasserabfluss (NNQ)	3,0 m ³ ·s ⁻¹ (29.06.1976)
	Mittlerer Niedrigwasserabfluss (MNQ)	9,89 m ³ ·s ⁻¹ (Jahresreihe 2009-2018)
	Mittlerer Abfluss (MQ)	39,0 m ³ ·s ⁻¹ (Jahresreihe 2009-2018)
	- Sommer	21,0 m ³ ·s ⁻¹ (Jahresreihe 2009-2018)
	- Winter	57,4 m ³ ·s ⁻¹ (Jahresreihe 2009-2018)
	Mittlerer Hochwasserabfluss (MHQ)	314 m ³ ·s ⁻¹ (Jahresreihe 2009-2018)
	Höchster Hochwasserabfluss (HHQ)	840 m ³ ·s ⁻¹ (10.02.1946)

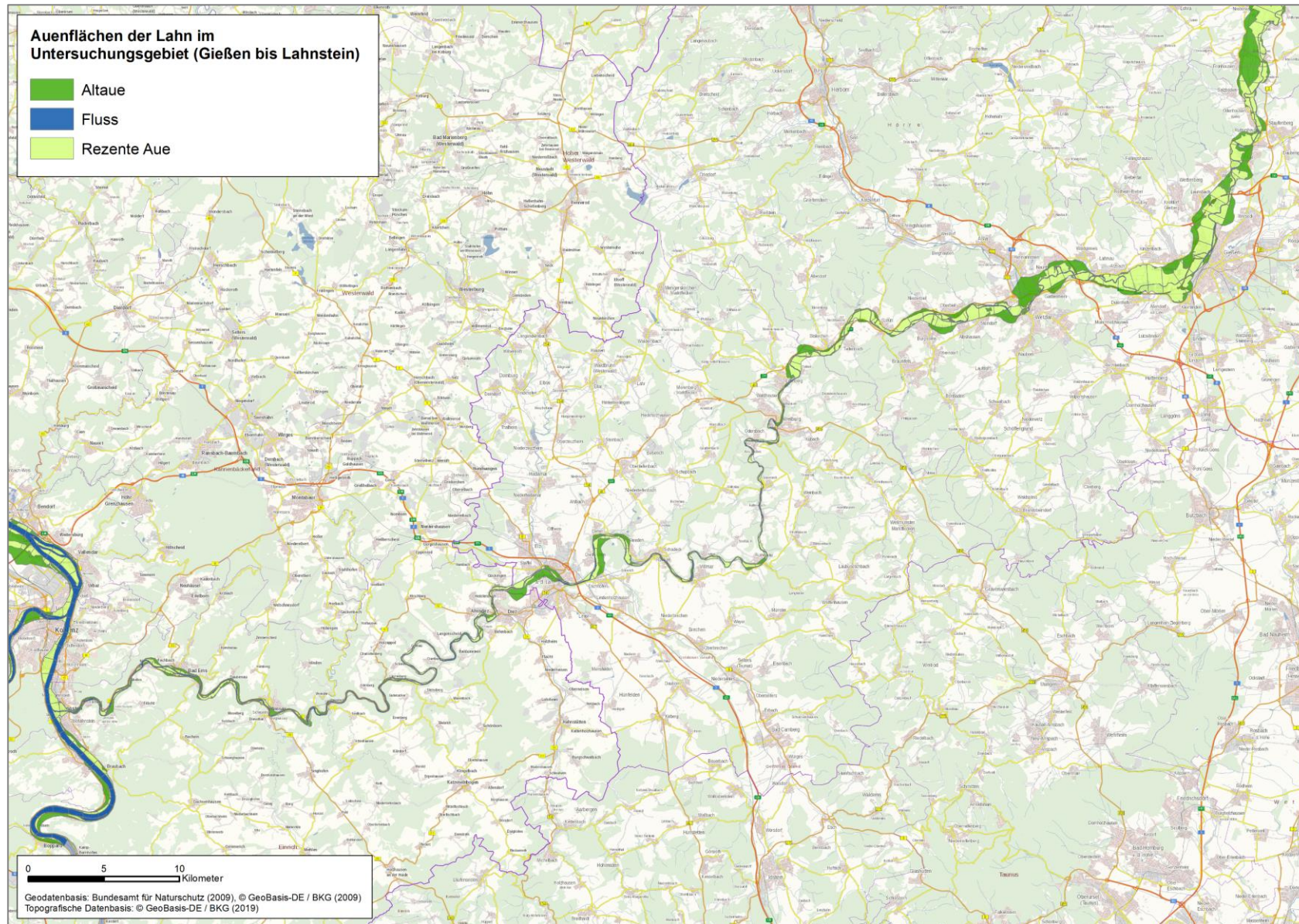


Abbildung 1-1: Untersuchungsgebiet: Lahn/Lahn-Aue zwischen Giessen und Lahnstein/Rheinmündung

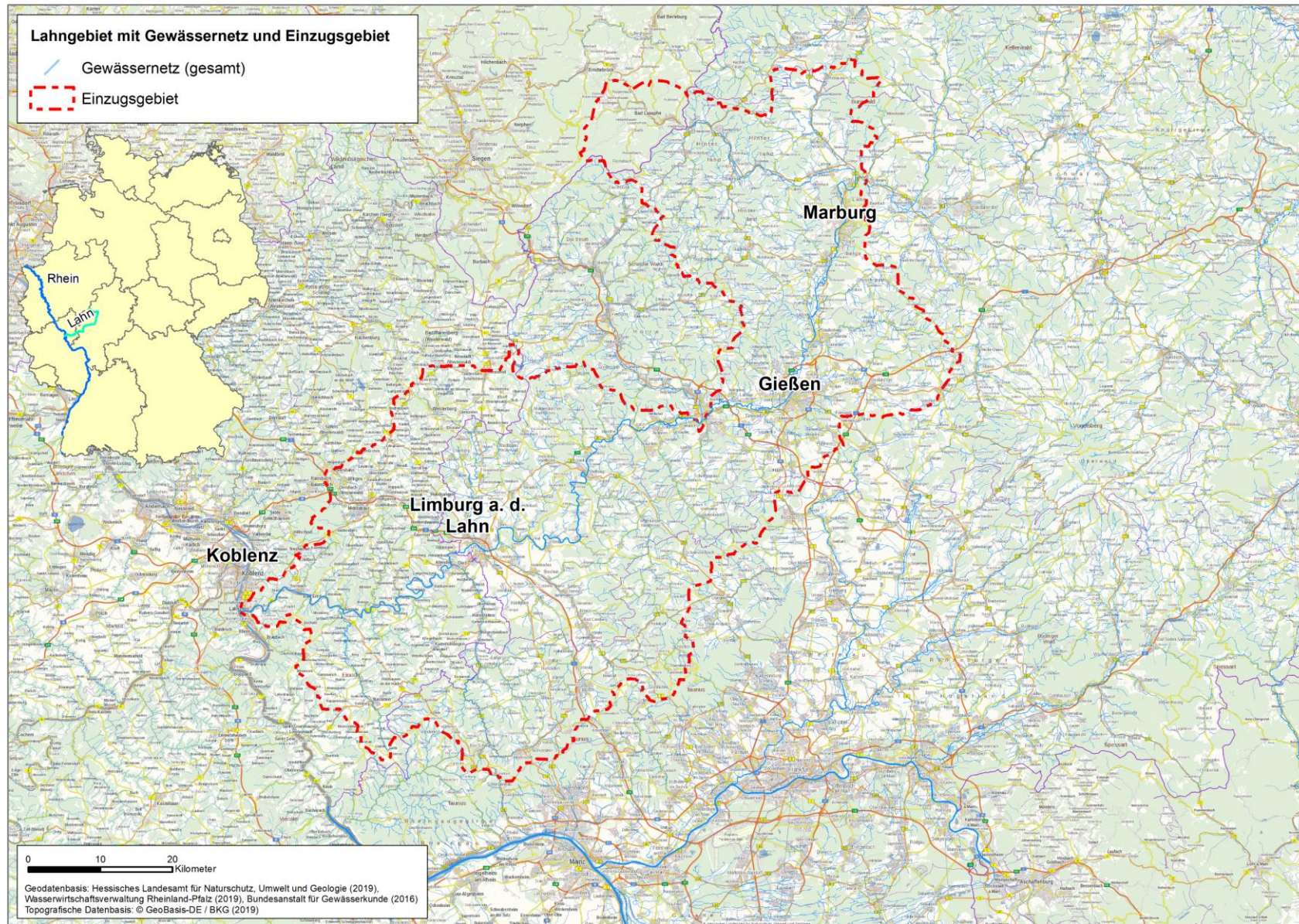


Abbildung 1-2: Karte des gesamten Einzugsgebiets der Lahn und Lage in Deutschland

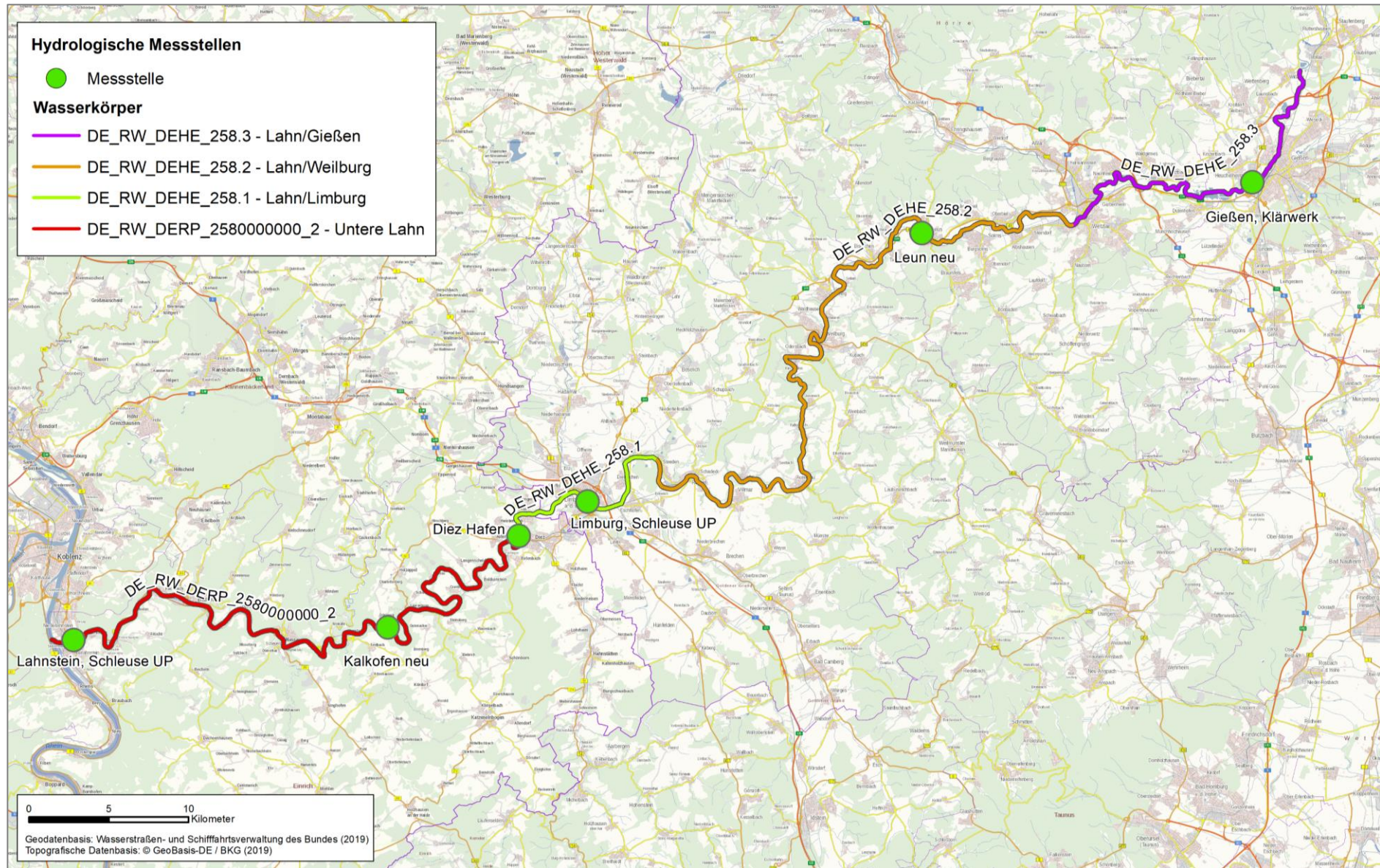


Abbildung 1-3: Hydrologische Messstellen (Pegel) an der Lahn und relevante Wasserkörper nach WRRL

Die Bundeswasserstraße Lahn lässt sich in zwei Abschnitte gliedern, was mit der Geschichte und der Entwicklung der Wasserstraße zusammenhängt. Hier erfolgt der Rückgriff auf Ausführungen in WSA Koblenz (2019a):

1. Voll staugeregelte Strecke (Steeden bis Lahnstein, km 70,000 bis 136,300)

In dieser Strecke befinden sich 13 Wehre und 12 Schleusen, davon sind 8 Wehre mit beweglichen Verschlüssen ausgestattet und damit regelbar. 5 Wehre sind als feste Wehre (Streichwehre) ausgebildet. 3 von diesen Wehren verfügen darüber hinaus über einen zusätzlichen Bohlenaufsatz. Die Schleusen liegen jeweils in Seitenkanälen oder direkt neben den Wehren; Letzteres betrifft die Staustufen Diez, Cramberg, Scheidt, Nassau, Dausenau.

Nach Binnenschiffahrtsstraßen-Ordnung (BinSchStrO) gelten folgende Regelungen:

- 1,60 m Fahrrinntiefe
- Schiffsgrößen bis 42 m Länge, 5,80 m Breite (km 136,300 - 134,100) und
- Schiffsgrößen bis 34 m Länge, 5,26 m Breite (km 134,100 - 70,000)

Die angestrebte Fahrrinntiefe von 1,60 m ist zum Teil lokal eingeschränkt. Deshalb veröffentlicht das WSA Koblenz regelmäßig unter www.elwis.de eine aktualisierte Fehltiefenliste. Von einigen wenigen Ausnahmen abgesehen ist die Lage der Fahrrinne zudem nicht gekennzeichnet.

Die für den Schiffsverkehr limitierende Durchfahrtshöhe bei höchstem Schifffahrtswasserstand (HSW) beträgt 3,61 m an der alten Bahnhofsbrücke Bad Ems, Lahn-km 124,53 (3,20 m im rechten Brückenbogen). Alle Schleusen werden vom Personal des WSA Koblenz, Außenbezirk Diez bedient (Schifffahrtssaison: 01.04...31.10.). Zum Schutz für die am Kanal liegenden Geländeflächen wurde an der oberen Abzweigung des Seitenkanals Bad Ems ein Fluttur (Hochwasserschutztor) eingebaut, das bei Hochwasser geschlossen werden kann. Auch das Obertor der alten Schleuse Nievern am Beginn des Seitenkanals zur neuen Schleuse Nievern wurde aus Gründen des Hochwasserschutzes als Schutztor erhalten.

2. Teilweise staugeregelte Strecke (Gießen bis Steeden, km -11,075 bis km 70,000):

Auf der Strecke oberhalb von Steeden befinden sich insgesamt 19 Wehranlagen (einschließlich Sohlschwelle Heuchelheim) und 11 Schleusenanlagen. Eine „feste“ Schifffahrtsrinne wird auf dieser Strecke nicht vorgehalten. Die teilweise noch aus dem Mittelalter stammenden festen Wehre sind allesamt Steinkörper, die in schräger Richtung streichen. Die Sturzbetten sind dabei nicht befestigt (keine Nachbettsicherung). Einige der festen Wehre überstauen den Fluss nicht bis zum nächsten Wehr, so dass freifließende Abschnitte mit zeitweise geringen Wassertiefen verbleiben, die ein ganzjähriges Befahren mit größeren Booten nicht zulassen. Die Schleusen liegen alle in Seitenkanälen.

Nach BinSchStrO gelten folgende Regelungen:

- keine festgeschriebene Fahrrinntiefe
- Schiffsgrößen bis 34 m Länge und 4,69 m Breite

Zu den Schleusenanlagen gehören im Regelfall auch Ein- und Ausstiegsstellen, so dass leichte Sportboote die Wehrbereiche auch ohne Benutzen der Schleusen passieren können („Umtragen“). Unmittelbar unterhalb des Schifffahrtstunnels Weilburg liegt die einzige Koppelschleuse an der Lahn (dies ist eine Schleusenanlage mit zwei hintereinanderliegenden Schleusenkammern). Schleusenpersonal ist es an der Strecke flussaufwärts von Steeden nicht im Einsatz. Hier müssen die Benutzer die Schleusen selbst bedienen. An den jeweils zwei Wehren in Wetzlar und Gießen bestehen keine Schleusenanlagen, so dass dort keine Durchfahrt möglich ist. Aber es gibt gesonderte Umtragungsmöglichkeiten (Rollenanlage am Unterwehr Wetzlar) und Bootsgassen (Oberwehr Wetzlar, Sohlschwelle Heuchelheim und Ober-/Unterwehr Gießen).

Ab der Schleuse Lahnstein bis zur Mündung in den Rhein (Lahn-km 136,300 bis 137,300) gibt es abweichende Regelungen bzgl. Fahrrinnenbreite, Wassertiefe und zugelassener Schiffsgröße (entsprechend

BinSchStrO). Dieser Lahnabschnitt wird in seinem Wasserstand vom Rhein beeinflusst und durch das WSA Bingen betreut.

Im Bereich der Bundeswasserstraße Lahn existieren zurzeit folgende Art und Zahl von Bauwerken (WSA Koblenz 2019a):

29 Staustufen (Abbildung 1-4, Tabelle 1-3)

32 Wehranlagen (inkl. aller zweiteiligen Wehre und der Sohlschwelle Heuchelheim)

22 Einkammerschleusen

1 Koppelschleuse (Weilburg)

1 Schifffahrtstunnel (Weilburg, Länge: 195 m)

4 Bootsgassen (Ober- und Unterwehr Gießen, Sohlschwelle Heuchelheim, Oberwehr Wetzlar)

1 Rollenanlage (Unterwehr Wetzlar)

25 Wasserkraftanlagen

25 Fischaufstiegsanlagen

3 Bootshäfen (Bad Ems, Hollerich, Hohenrhein)

2 Bauhäfen (Diez, Hollerich)

1 Schutzhafen (Lahnstein)

2 Hochwassersperrtore (Bad Ems, Nievern)

ca. 317 Kreuzungsbauwerke (100 Brücken, ca. 107 Düker, 110 Hochspannungsleitungen)

Tabelle 1-3: Übersicht der Stauhaltungen entlang der Lahn (im Bereich der Bundeswasserstraße), Daten aus: WSA Koblenz (2018a)

Lfd. Nr.	Name	Lahn-km	Baujahr (Umbau)	Fall-höhe bei MNQ	Art des Wehres	Länge der Stauhaltung	Länge des Staubereiches	Länge der freifließenden Strecke
		[-]	[-]	[m]	[-]	[km]	[km]	[km]
1	Lahnstein	135,70	1957	5,9	beweglich	3,3	2,8	0,5
2	Ahl	132,40	1853 (1906)	3,0	fest, Bohlenaufsatz	3,7	3,2	0,5
3	Nievern	128,66	vor 1671 (1906)	2,7	fest, Bohlenaufsatz	2,8	2,8	0,1
4	Bad Ems	125,84	1855 (1906)	2,7	fest, Bohlenaufsatz	3,5	3,4	0,1
5	Dausenau	122,35	1928	4,1	beweglich	4,8	4,2	0,6
6	Nassau	117,59	1928	3,4	beweglich	4,5	4,5	0,0
7	Hollerich	113,07	1928	5,1	beweglich	7,5	7,4	0,1
8	Kalkofen	105,60	1882 (1928) (1969)	5,4	beweglich	8,8	8,8	0,0
9	Scheidt	96,77	1928	3,7	beweglich	5,0	4,9	0,1
10	Cramberg	91,82	1928	4,7	beweglich	8,6	8,5	0,1
11	Diez	83,20	1928	3,4	beweglich	6,5	6,4	0,1
12	Limburg, Unterwehr	76,72	vor 1344	2,4	fest	0,5	0,5	0,0
13	Limburg, Oberwehr	76,18	vor 1344	1,2	fest	10,8	7,0	3,8
14	Runkel	65,36	vor 1538	2,3	fest	2,8	2,8	0,0
15	Villmar	62,56	vor 1790	1,7	fest	11,7	4,4	7,3
16	Füfurfurt	50,89	1859	3,5	fest	5,6	5,0	0,6
17	Kirschhofen	45,28	1859 (1877)	3,5	fest	4,2	3,4	0,8
18	Weilburg, Unterwehr	41,12	unbekannt	2,1	fest	1,3	1,3	0,0
19	Weilburg, Oberwehr	39,77	unbekannt	1,9	fest	3,4	3,3	0,1
20	Löhnberg	36,33	vor 1781 (1883)	2,0	fest	17,3	5,4	11,9
21	Nieder-/Oberbiel	18,99	1687 (1885)	3,0	fest, Bohlenaufsatz	3,2	3,1	0,1
22	Altenberg	15,84	unbekannt	1,4	fest	3,9	3,9	0,0
23	Wetzlar, Unterwehr (zweiteilig)	11,99	1250	2,4	fest	0,4	0,4	0,0
24	Wetzlar, Oberwehr	11,55	11. Jhdt.	1,0	fest	3,6	3,5	0,1
25	Naunheim	7,94	1550	1,4	fest	3,3	3,2	0,1
26	Dorlar (zweiteilig)	4,69	vor 1826 (1882)	1,6	fest	7,0	6,3	0,7
27	Heuchelheim	-2,28	1979	0,5	fest	2,4	k.A.	k.A.
28	Gießen, Unterwehr	-4,69	1972	2,2	fest	0,6	k.A.	k.A.
29	Gießen, Oberwehr	-5,30	1979	2,2	beweglich	k.A.	k.A.	k.A.

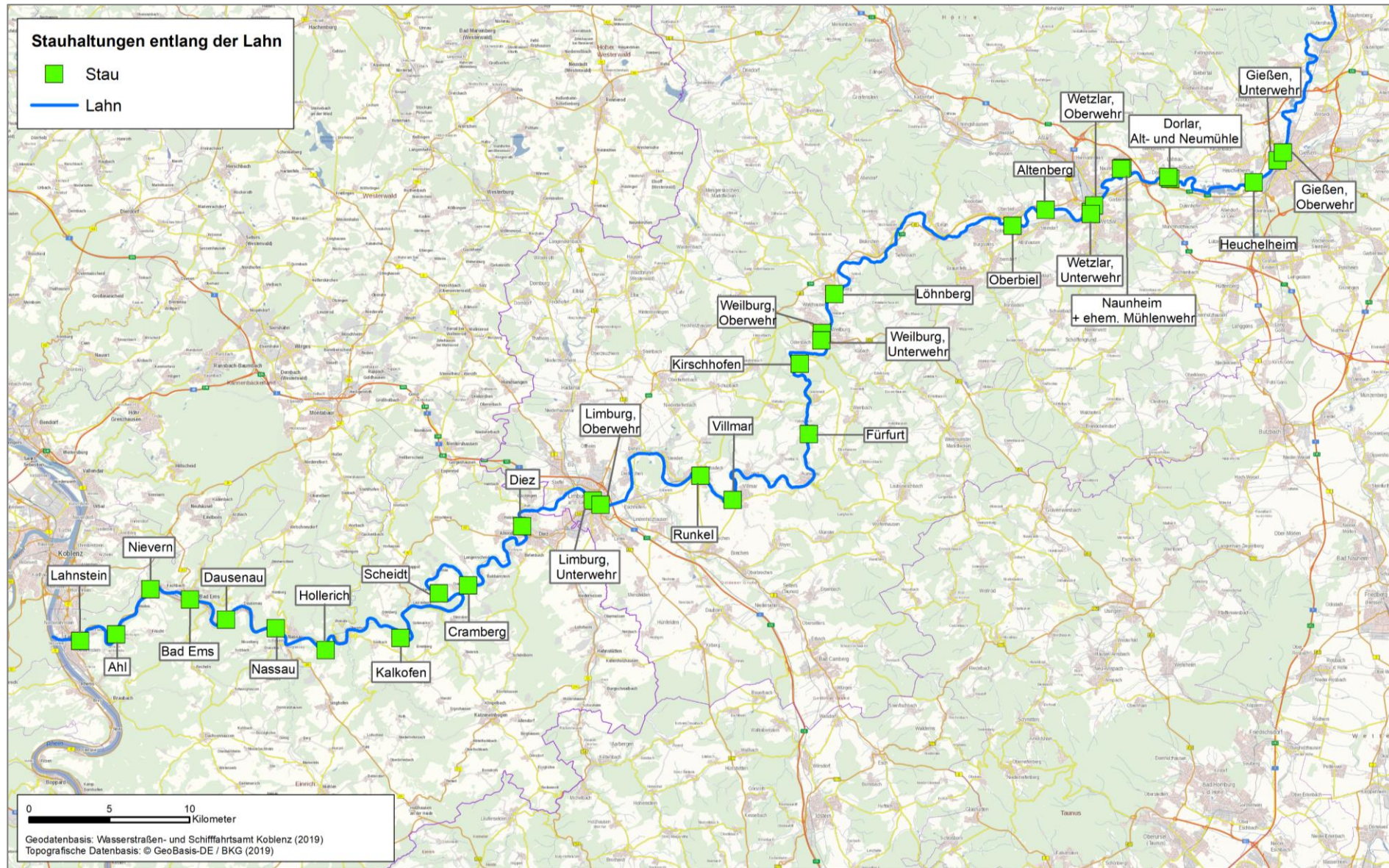


Abbildung 1-4: Stauhaltungen der Lahn im Bereich der Bundeswasserstraße

Die Lahn als typischer Mittelgebirgsfluss durchfließt im Untersuchungsabschnitt im Wesentlichen das Gießen-Koblenzer Lahntal, wobei hier drei naturräumliche Haupteinheiten unterschieden werden können (<http://atlas.umwelt.hessen.de/servlet/Frame/atlas/naturschutz/naturraum/texte/ngl-gi.htm>):

- 1) Weilburger Lahntal: mit steilen Hängen in die randlich begleitenden Rumpfflächen von Oberwesterwald und Östlichem Hintertaunus 40 m bis 80 m tief eingeschnittenes Trogtal; aus der flachen Talsohle steigen die Hänge meistens steil, zum Teil felsig auf und zeigen an der Oberkante zur alten Trogfläche Reste alter Lahnterrassen.
- 2) Limburger Becken: in die Trogfläche des Rheinischen Schiefergebirges tektonisch eingesenktes Becken, das in seinen paläozoischen Grundgesteinen des Untergrundes großflächig von Löß überdeckt ist; immer wieder größere Talweitungen.
- 3) Unteres Lahntal: bis über 200 m tief in das Rheinische Schiefergebirge eingeschnittenes, enges Tal.

Die morphologischen Verhältnisse äußern sich auch im abschnittswisen natürlichen Sohlgefälle der Lahn; die Engtalstrecken waren ursprünglich grundsätzlich deutlich gefällereicher als die Strecken in den Becken.

Geologisch dominieren entlang der Lahn und damit in den angrenzenden Auenbereichen auf dem größten Teil der Fließstrecke holozäne fluviatile Ablagerungen aus Schluff, Sand und Kies. In einem Bereich ca. zwischen Limburg und Weilburg bestimmt feinsandiger Schluff das Bild (Geodaten im Lahn-GIS, WSA Koblenz (2018b)). Bei den besonders für die Untersuchungen relevanten Auenböden sind hiernach folgende Verhältnisse vorzufinden (<http://bodenviewer.hessen.de/mapapps/resources/apps/bodenviewer/index.html?lang=de>, Geodaten im Lahn-GIS (WSA Koblenz (2018b))):

Zwischen Gießen und Wetzlar:

- dominierend Vegen aus Auenschluff oder Auenlehm
- gering verbreitet Vegen aus Kies führendem Auensand über tiefem Flusskiessand
- gering verbreitet Gley-Vegen aus Auenschluff oder Auenlehm über tiefem Flusssand und -kies

Zwischen Wetzlar und Lahnstein (Unterlauf)

- überwiegend Vegen aus Auenschluff oder Auenlehm
- gering verbreitet Vegen aus Kies führendem Auensand über tiefem Flusskiessand
- gering verbreitet Gley-Vegen aus Auenschluff oder Auenlehm über tiefem Flusssand und -kies

Daneben sind entlang der Lahn im Untersuchungsgebiet folgende Böden bereichsweise vorhanden:

- Auengleye und Nassgleye aus Auenschluff, -lehm oder -ton über tiefem Flusssand und -kies
- Pseudogley-Gleye aus Auenschluff über Auenton
- Gley-Vegen, Pseudogley-Gleye und Auenpseudogleye aus Auenschluff über Auenlehm oder -ton

Die naturräumlichen Verhältnisse spiegeln sich auch in den räumlichen Differenzierungen der Lahn in WRRL-Wasserkörper (Abbildung 1-5, Tabelle 1-4) sowie den zugehörigen Leitbildern/Referenzen der Fließgewässer (Tabelle 1-4 enthält die Kürzel der Fließgewässerleitbilder nach der Typsystematik der OGewV) und der Auen (s. im Weiteren) wider.

Für alle relevanten Wasserkörper ist der Fließgewässertyp 9.2 „Große Flüsse des Mittelgebirges“ (entsprechend OGewV) zugewiesen.

„Die großen Mittelgebirgsflüsse verlaufen überwiegend geschwungen bis mäandrierend mit Nebengerinnen. Bei geringem Talbodengefälle und in Engtälern können auch gestreckte und unverzweigte Abschnitte vorkommen. Die Sohle besteht überwiegend aus dynamischem Schotter, Steinen und Kies. In ruhigeren

Bereichen gibt es auch feinere Sedimente wie Lehm, Sand und organische Anteile. Insgesamt ist die Sohle reich an Makrophyten, Sohl- und Uferstrukturen wie vegetationsfreien Bänken, ausgeprägten Prall- und Gleithängen sowie großen Totholzakkumulationen. Totholz nimmt 5 bis 10 % des Sohlsubstrates ein.

Im Längsprofil ist der Wechsel von flachen (Riffles) und tieferen Bereichen (Pools) überwiegend deutlich ausgeprägt. Die Ufer sind sehr dynamisch, sie verändern ihre Gestalt bei jedem Hochwasser. An Pralluferrn treten teils massive Uferabbrüche auf. Der Uferbewuchs wird von Erlen und Weiden dominiert. Die Auen der großen Flüsse sind typischerweise in Weich- und Hartholzauen, feuchte Bruchwaldstandorte sowie Flächen mit Hochstauden und Röhrichtern untergliedert. Eine sehr große Abflussdynamik und extreme Abflussereignisse verursachen Laufverlagerungen, wodurch sich häufig Rinnen, Randsenken und Altwasser bilden. Die Auen beinhalten daher eine große Formenvielfalt, die vor allem von der Intensität und Häufigkeit der Überflutungen und dem Grundwasserstand abhängt.“ (UBA 2014).

Bezüglich des Flussauentyps (nationale Auenkulisse entsprechend BRUNOTTE et al. 2009) sind alle relevanten Auenabschnitte einem einheitlichen Typ zugewiesen: „Gefällereiche Flussaue des Grundgebirges“ (KOENZEN 2005). Als Basissubstrat für die Aue gilt Schotter entsprechend des geologischen Ausgangssubstrates. Das Talbodengefälle ist mit > 0,5 ‰ angegeben.

Bei diesem Auentyp dominieren gefällreiche Engtäler mit schmaler Talsohle sowie zumeist gefällreichen Mäandertälern und Sohlentälern. Vielfach besitzen sie zum Gewässer schwach geneigte Talböden und ein deutlich gegen den höheren Talboden abgesetztes Hochflutbett, so dass die Mehrzahl der Auenüberflutungen räumlich begrenzt auftritt. Die Talbodenfüllung dieses Auentyps ist schottergeprägt, was als Grobsubstrat vor allem in strömungsexponierten Bereichen des Sohl- und Uferraumes, aber auch in Hochflutrinnen folglich dominiert.

Tabelle 1-4: Kenndaten der relevanten Wasserkörper (HMUKLV 2015, MULEWF 2015, SGD Nord 2015, WSA Koblenz 2019d)

Wasserkörper-Nr.	Bezeichnung	Typ nach OGewV	Ggf. Ausweisung als erheblich veränderter Oberflächenwasserkörper (HMWB)	Ggf. Ausweisungsgrund: erheblich veränderter Oberflächenwasserkörper
DE_RW_DEHE_258.3	Lahn/Gießen	9.2 - „Große Flüsse des Mittelgebirges“	ja	Schifffahrt inkl. Häfen, Wasserspeicherung zur Stromerzeugung, Hochwasserschutz, urbane Nutzung und Infrastruktur
DE_RW_DEHE_258.2	Lahn/Weilburg	9.2 - „Große Flüsse des Mittelgebirges“	ja	Schifffahrt inkl. Häfen, Wasserspeicherung zur Stromerzeugung, Hochwasserschutz, urbane Nutzung und Infrastruktur
DE_RW_DEHE_258.1	Lahn/Limburg	9.2 - „Große Flüsse des Mittelgebirges“	ja	Wasserspeicherung zur Stromerzeugung, Hochwasserschutz, urbane Nutzung und Infrastruktur
DE_RW DERP_258000000_2	Untere Lahn	9.2 - „Große Flüsse des Mittelgebirges“	ja	Schifffahrt inkl. Häfen, Wasserspeicherung zur Stromerzeugung, Hochwasserschutz, urbane Nutzung und Infrastruktur

Das aktuelle ökologische Potenzial der vier relevanten Wasserkörper der Lahn ist unbefriedigend (2 Wasserkörper) bzw. sogar schlecht (2 Wasserkörper) (Tabelle 1-5). Entsprechend WRRL-Bewirtschaftungsplanung nach den §§ 27 ff. WHG ist als Bewirtschaftungsziel für alle Wasserkörper das gute ökologische Potenzial vorgegeben. Die hierzu festgelegten Maßnahmen (Tabellen 1-5 und 1-6) zielen demgemäß sehr stark auf die Entwicklung naturnaher Gewässer-, Ufer- und Auenstrukturen und die Verbesserung der hydromorphologischen Bedingungen; diese rechtliche Grundlegung wird in Kapitel 2 inhaltlich-fachlich und methodisch aufgegriffen.

Tabelle 1-5: Kenndaten der relevanten Wasserkörper (HMUKLV 2015, MULEWF 2015, SGD Nord 2015; WSA Koblenz 2019d, www.geoportal.bafg.de)

Wasserkörper-Nr.	Bezeichnung	Ist: Ökologisches Potenzial	Bewirtschaftungsziel: Ökologischer Zustand/ökologisches Potenzial	Ist: Chemischer Zustand	Bewirtschaftungsziel: Chemischer Zustand	Zuordnungskennzahl für vorgesehene Maßnahmen, s. Tabelle 1-6
DE_RW_DEHE_258.3	Lahn/Gießen	schlecht	gut	nicht gut	gut	1
DE_RW_DEHE_258.2	Lahn/Weilburg	unbefriedigend	gut	nicht gut	gut	2
DE_RW_DEHE_258.1	Lahn/Limburg	schlecht	gut	nicht gut	gut	3
DE_RW DERP_258000000_2	Untere Lahn	unbefriedigend	gut	nicht gut	gut	4

Tabelle 1-6: Übersicht der vorgesehenen Maßnahmen gemäß LAWA-Maßnahmenkatalog für die relevanten Wasserkörper der Lahn (www.geoportal.bafg.de)

Maßnahmen gemäß LAWA-Maßnahmenkatalog	Zugeordneter Wasserkörper
Ausbau kommunaler Kläranlagen zur Reduzierung der Phosphoreinträge (LAWA-Code: 3)	2
Ausbau kommunaler Kläranlagen zur Reduzierung sonstiger Stoffeinträge (LAWA-Code: 4)	1
Optimierung der Betriebsweise kommunaler Kläranlagen (LAWA-Code: 5)	1, 2, 3, 4
Sonstige Maßnahmen zur Reduzierung der Stoffeinträge durch kommunale Abwasserreinleitungen (LAWA-Code: 9)	4
Neubau/Anpassung von Anlagen zur Ableitung, Behandlung von Misch- und Niederschlagswasser (LAWA-Code: 10)	2
Anlage von Gewässerschutzstreifen zur Reduzierung der Nährstoffeinträge (LAWA-Code: 28)	1, 2, 3, 4
Sonstige Maßnahmen zur Reduzierung der Nährstoff- und Feinmaterialeinträge aus der Landwirtschaft (LAWA-Code: 29)	1, 2, 3, 4

Maßnahmen gemäß LAWA-Maßnahmenkatalog	Zugeordneter Wasserkörper
Herstellung der linearen Durchgängigkeit an Stauanlagen (Talsperren, Rückhaltebecken, Speicher) (LAWA-Code: 68)	4
Maßnahmen zur Herstellung der linearen Durchgängigkeit an sonstigen wasserbaulichen Anlagen (LAWA-Code: 69)	1, 2, 3, 4
Initiieren/ Zulassen einer eigendynamischen Gewässerentwicklung inkl. begleitender Maßnahmen (LAWA-Code: 70)	1, 2, 3, 4
Vitalisierung des Gewässers (u.a. Sohle, Varianz, Substrat) innerhalb des vorhandenen Profils (LAWA-Code: 71)	1, 2
Habitatverbesserung im Gewässer durch Laufveränderung, Ufer- oder Sohlgestaltung (LAWA-Code: 72)	1, 2, 3
Verbesserung von Habitaten im Uferbereich (z. B. Gehölzentwicklung) (LAWA-Code: 73)	4
Verbesserung von Habitaten im Gewässerentwicklungskorridor einschließlich der Auenentwicklung (LAWA-Code: 74)	4
Beseitigung von / Verbesserungsmaßnahmen an wasserbaulichen Anlagen (LAWA-Code: 76)	1, 2
Konzeptionelle Maßnahme; Vertiefende Untersuchungen und Kontrollen (LAWA-Code: 508)	1

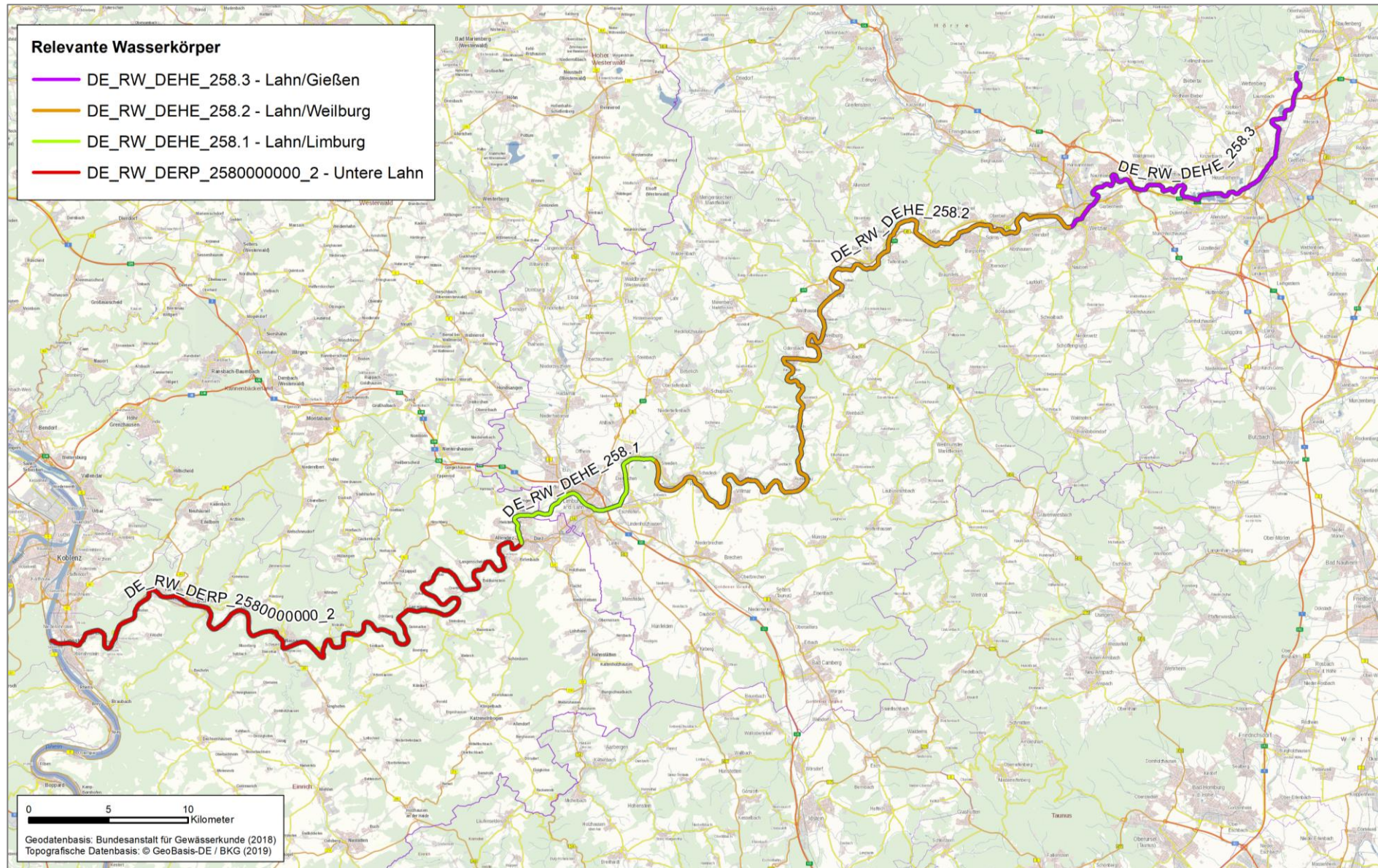


Abbildung 1-5: WRRL-Wasserkörper der Lahn im Untersuchungsgebiet

1.3 Aufgabenstellung

In Fortführung der Vorstudie „Sozio-ökonomisches Monitoring und Bewertung der Veränderungen von Ökosystemleistungen (ÖSL) im Projekt LiLa Living Lahn“ (BIOTA 2018) soll die vorliegende Hauptstudie positive und ggf. negative Auswirkungen ausgewählter Handlungsoptionen (Varianten im Umgang mit ausgewählten Stauhaltungen und den entsprechenden Auengebieten der Lahn) auf das Dargebot von Ökosystemleistungen abschätzen und, soweit möglich, entsprechende ökonomische Kosten und Nutzen bewerten.

Neben der Betrachtung der Wirkungen von Handlungsoptionen auf das Dargebot an Ökosystemleistungen sollen besonders relevante Nutzungen des Naturkapitals der Lahn ergänzend berücksichtigt werden, die zu den abiotischen Ökosystemleistungen gezählt werden. Zu diesen Nutzungen des Naturkapitals werden in erster Linie die Schifffahrt und die Wasserkraft gezählt, ggf. aber auch weitere Nutzungen. Weitere Anforderungen an die Studie zu den Ökosystemleistungen sind:

- Das Wissen aus unterschiedlichen Disziplinen soll zusammengeführt und integrativ betrachtet werden. Auch „versteckte“, also oftmals nicht auf den ersten Blick sichtbare, Leistungen sollen berücksichtigt und ungewollte Wechselwirkungen („trade-offs“) aufgedeckt werden; die Auswahl der zu betrachtenden Ökosystemleistungen muss daher möglichst alle relevanten Nutzungen und Wechselwirkungen abbilden, um transparente Bewertungen von Kosten und Nutzen der jeweiligen Varianten zu betrachten.
- Transparente Informationen zu den gesellschaftlichen Vor- und Nachteilen von Handlungsoptionen sollen im Sinne einer Multikriterien-Analyse bereitgestellt werden (soweit möglich: ökonomische Kosten- und Nutzen) und somit breite und fachlich fundierte Informationsgrundlagen für Entscheidungen über Handlungsoptionen.
- Über das Konzept der Ökosystemleistungen soll die Möglichkeit geboten werden, dass unterschiedliche Stakeholder gemeinsam über die Vor- und Nachteile unterschiedlicher Handlungsoptionen bzw. -varianten diskutieren können.

Die konkrete Auswahl der Methoden zur Erfassung und Bewertung von Ökosystemleistungen (ÖSL) soll sich u. a. an folgenden Punkten orientieren:

- Der Fokus liegt bei der qualitativen Bewertung auf der Bereitstellung bzw. dem Dargebot an ÖSL sowie deren Veränderungen infolge einer (hypothetischen) Umsetzung der Handlungsoptionen. Die aktuelle Nutzung der ÖSL wird hier zunächst ausgeklammert. Bei der ökonomischen Bewertung wird hingegen auf die tatsächliche Nutzung abgestellt.
- ÖSL, für die deren Erfassung und Bewertung keine hinreichenden Daten bereitstehen, werden begründet ausgeklammert oder ggf. vereinfacht (expertengestützt) eingeschätzt.
- Die für die einzelnen ÖSL gewählten Indikatoren sollen das Dargebot an ÖSL möglichst gut abbilden. Bestehende Indikatoren aus bewährten Ansätzen werden ggf. weiterentwickelt, angepasst und begründet (unter regionalem/lokalem Fokus der Verhältnisse und Datengrundlagen an der Lahn).
- Für alle betrachteten ÖSL werden qualitative (ggf. verbal-argumentative) sowie, soweit möglich, quantitative und ökonomische Bewertungen potenzieller Auswirkungen von Varianten vorgenommen.
- Die Ergebnisse sind so aufzubereiten, dass eine Übertragbarkeit auf annähernd ähnliche Fallkonstellationen an der Lahn oder vergleichbaren Gewässern möglich ist.

1.4 Bearbeitungsansatz und -schritte

Der grundsätzliche Bearbeitungsansatz und die wesentlichen Arbeitsschritte sind in Abbildung 1-6 dargestellt. Dabei werden vier Hauptbearbeitungsphasen mit teilweisen fließenden Übergängen unterschieden:

- A) Methodische und fachliche Grundlagen
- B) Methodenauswahl und -fixierung
- C) Kalibrierung, Bewertung
- D) Ergebnisdokumentation

Abbildung 1-6 verfolgt damit den Anspruch einer übergreifenden, prozessbezogenen Darstellung der Bearbeitung und Abstimmung, dargestellt mit den wesentlichen Fragestellungen und Aspekten.

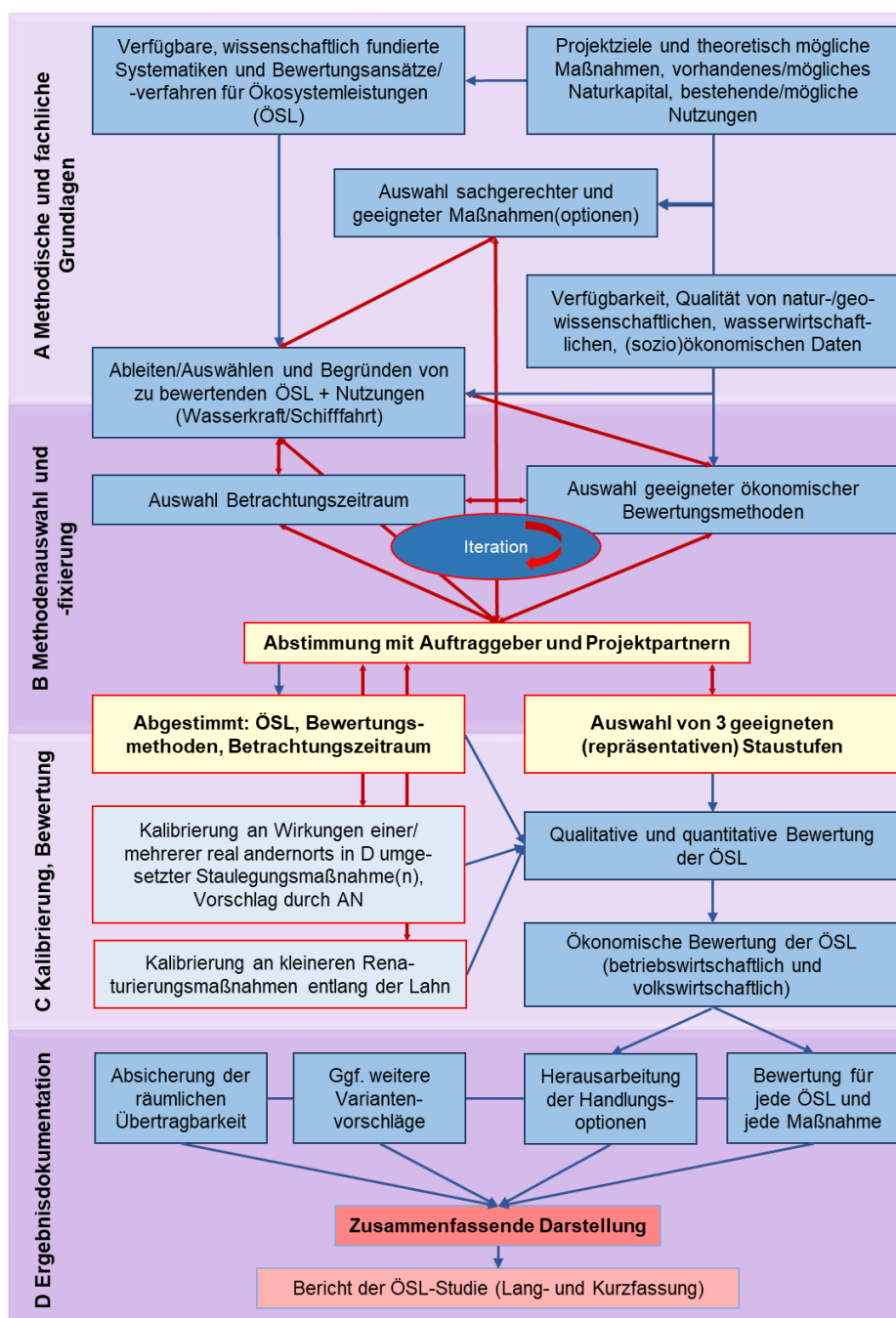


Abbildung 1-6: Projektlauf und wesentliche Bearbeitungsschritte und Abstimmungsprozesse im Rahmen der Bearbeitung der ÖSL-Studie (Design in „LiLa“)

2 Fachliche und methodische Grundlagen

2.1 Entwicklung von Handlungsalternativen für den Umgang mit den Staustufen

Entsprechend der Aufgabenstellung (s. o.) stehen die Auswirkungen möglicher Handlungsalternativen im Umgang mit (ausgewählten, repräsentativen) Staustufen und der damit potenziell verbundenen Veränderungen von Ökosystemleistungen im Fokus. Dies bedingt zunächst die Notwendigkeit einer Ableitung hinreichend konkreter Entwicklungsziele für die Staustufen und der damit verbundenen Handlungsalternativen.

Da alle Handlungsalternativen Veränderungen des Status quo nach sich ziehen bzw. darstellen und derzeit nur hypothetisch sind, müssen die Veränderungen modellhaft abgebildet werden. Das zieht nach sich, dass ein der Fragestellung angepasster Grad der Detaillierung der Teilmodelle (Dimension, Raum-Zeit-Skalen bzw. Maßstab) erreicht wird. Grundsätzlich stellen dabei Modelle und Modellkonzepte eine Vereinfachung der Realität dar, was stets mit vereinfachenden Modellparametern erreicht wird (s. hierzu Kapitel 6.1 bis 6.3). Es bietet sich auf Grund der Fokussierung auf Ökosystemleistungen an (vgl. Kapitel 3), soweit wie möglich auf deterministische Modellansätze zu orientieren, d. h. eine vereinfachende, möglichst „physikalische“ Abbildung der maßgeblichen Prozesse anzustreben. Neben einer Betrachtung des Status quo (im Weiteren als Szenario 0 bezeichnet) werden also veränderungsbestimmte Szenarien unterschiedlichen Maßnahmenumfanges bzw. differierender Maßnahmenintensität untersucht.

Erschwerend kommt hinzu, dass auf Grund nicht oder kaum vorliegender Planungen (konzeptionell und/oder technisch) die Modellkonfiguration der veränderungsbestimmten Szenarien durch eine sachgerechte räumliche Konkretisierung („Verortung“) der Maßnahmenoptionen (im Sinne von veränderten Strukturen und Prozessen) erfolgen muss. Diesem Ansatz dient eine Art „konzeptioneller Vorplanung“, die mit Hilfe geographischer Informationssysteme (GIS) sowie fallweise unter zusätzlicher Einbindung von computer-aided design (CAD) vorab erfolgen muss (Kapitel 6.5).

Eine wesentliche Variable bei Handlungsalternativen im Umgang mit Staustufen der Lahn ist der Grad der Erreichung einer Zielstellung entsprechend der Vorgaben der WRRL („Zielerreichungsgrad“). Dabei sollte für jede betrachtete Staustufe zumindest eine Handlungsalternative den grundsätzlichen Zielstellungen entsprechend Artikel 1 WRRL möglichst nahekommen, während weitere Handlungsalternativen andere Nutzungen stärker berücksichtigen und nicht den gleichen Grad an Umsetzung der WRRL-Ziele erreichen können.

Zugleich ist es fachlich geboten, nur Entwicklungsziele und Handlungsalternativen zu betrachten, die im Fließgewässer Lahn hydromorphologisch möglich sind (vgl. LAWA 2015, vgl. Kapitel 2.2.1). Dabei sollten sowohl Maßnahmen berücksichtigt werden, die den Zielstellungen der WRRL voraussichtlich förderlich sind, als auch zweckmäßige ergänzende Maßnahmen der Aue (vgl. hierzu z. B. HARMS et al. 2018).

Insofern sind neben dem Ist- bzw. Ausgangszustand (Status quo) folgende zwei grundsätzliche Handlungsoptionen von Belang:

1. das gute ökologische Potenzial (GÖP) entsprechend Anhang V WRRL bzw. OGewV (bei Beibehaltung der aktuellen Rahmenbedingungen der Lahnnutzung); dies entspricht den aktuellen Bewirtschaftungszielen für die relevanten WRRL-Wasserkörper (vgl. Kapitel 1.2) sowie
2. der gute ökologische Zustand (GÖZ) entsprechend Anhang V WRRL bzw. OGewV, dessen Erreichbarkeit bei (hypothetischer) Staulegung unterstellt wird (dies ist derzeit aber kein WRRL-Bewirtschaftungsziel für die betroffenen Wasserkörper)

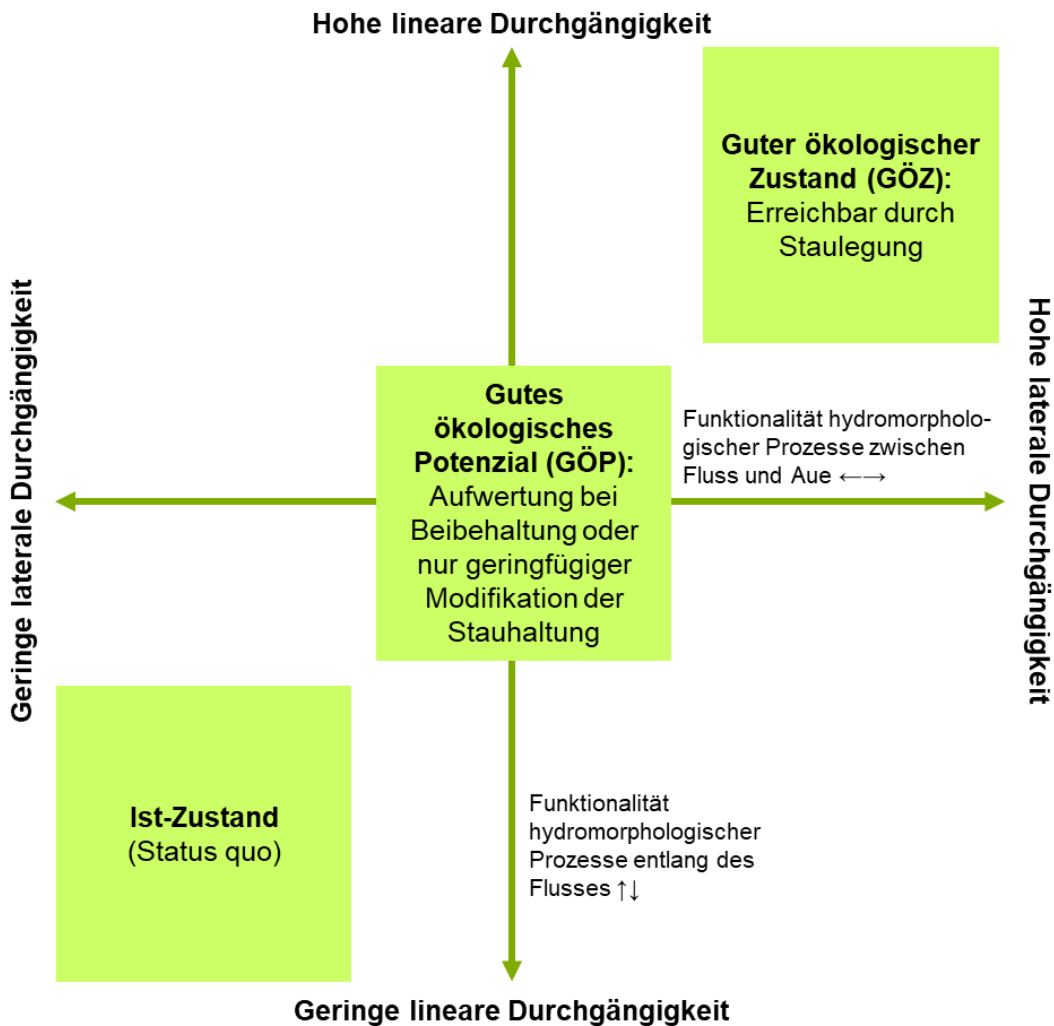


Abbildung 2-1: Grundsätzliche Handlungsoptionen für den Umgang mit Staustufen und Folgen im Sinne der WRRL-Definitionen

Abbildung 2-1 zeigt schematisch und vereinfacht auf, wie sich beide Handlungsoptionen in Bezug auf die sehr wichtigen Aspekte der ökologischen Durchgängigkeit und der hydromorphologischen Prozesse als essentielle Grundlage (bio-)ökologischer Prozesse auswirken. Gerade im Hinblick auf die biologischen Qualitätskomponenten nach Anhang V bzw. OGewV ist das von entscheidender Bedeutung.

In den folgenden Kapiteln 2.2 und 2.3 werden zunächst die bestehenden Verfahren und Methoden zur Beurteilung und Bewertung des hydromorphologischen Zustandes von Fließgewässer und Aue vorgestellt, auch um die prinzipielle Methoden- und Datenlage zu erörtern. Es folgen Kapitel 2.4 (GÖP) und 2.5 (GÖZ), in welchen die beiden Handlungsoptionen bezüglich der sich daraus ergebenden Maßnahmenoptionen zunächst näher aus einer theoretischen Perspektive beschrieben werden. Dabei soll und muss die Handlungsoption GÖZ eine umfangreichere Darstellung erfahren, zum einen, weil die Maßnahmen umfangreicher und weitreichender gefasst werden, und zum anderen, weil es sich beim GÖP im Prinzip um eine durch die Restriktionen inhaltlich deutlich eingeschränkte und damit im Hinblick auf Maßnahmenumfang und -tiefe gegenüber dem GÖZ „abgerüstete“ Umsetzungsvariante handelt. Die konkrete Anwendung der beiden Szenarien auf die ausgewählten Staustufen erfolgt dann im Weiteren mit quasi gleicher Inhalts- und Eindringtiefe.

Die nachstehende Konkretisierung der Projektziele sowie die Ableitung und Prüfung potenzieller Maßnahmenoptionen an der Lahn mittels Analyse und vergleichender Bewertung von Ökosystemleistungen

- erfüllen insofern die gesetzlichen Anforderungen einer expliziten Darlegung und Begründung ggf. durch Maßnahmen bedingter, negativer Auswirkungen auf die durch Artikel 4 Absatz 3 b) WRRL genannten „nachhaltigen Entwicklungstätigkeiten des Menschen“ und
- setzen konsequent den Grundsatz einer nachhaltigen und ökologisch ausgerichteten Gewässerbewirtschaftung nach § 6 WHG um. Entsprechend § 6 Absatz 2 WHG sollen „...nicht naturnah ausgebaute natürliche Gewässer [...] so weit wie möglich wieder in einen naturnahen Zustand zurückgeführt werden, wenn überwiegende Gründe des Wohls der Allgemeinheit dem nicht entgegenstehen.“

2.2 Verfahren/Methoden zur Bewertung hydromorphologischer Qualitätskomponenten der Fließgewässer

2.2.1 Überblick

Die hydromorphologisch bedingten Wirkungen für Arten und Lebensräume bzw. für die biologischen Qualitätskomponenten (entsprechend Anhang V WRRL bzw. § 5 i. V. m. Anlage 3 OGewV) setzen den wesentlichen physikalischen und habitatbestimmenden Rahmen. Dementsprechend ist die Verbesserung der hydromorphologischen Qualitätskomponenten aktuell zentrales Bewirtschaftungsziel in allen deutschen Flussgebietseinheiten (vgl. LAWA 2015) und auch für die Lahn entsprechend geboten und vorgesehen (s. o. bzw. HMUKLV 2015, MULEWF 2015, SGD Nord 2015, WSA Koblenz 2019d, www.geoportal.bafg.de)

Die hydromorphologischen Qualitätskomponenten entsprechend Anlage 3 OGewV stellt Tabelle 2-1 im Überblick dar. Im Folgenden werden zunächst relevante Verfahren und Methoden zur Bewertung wesentlicher hydromorphologischer Qualitätskomponenten der Fließgewässer vorgestellt.

Tabelle 2-1: Hydromorphologische Qualitätskomponenten entsprechend Anlage 3 OGewV (F = Flüsse, S = Seen, Ü = Übergangsgewässer, K = Küstengewässer)

Qualitätskomponente	Parameter	Kategorie			
		F	S	Ü	K
Wasserhaushalt	Abfluss und Abflussdynamik	X			
	Verbindung zu Grundwasserkörpern	X	X		
	Wasserstandsdynamik		X		
	Wassererneuerungszeit		X		
Durchgängigkeit		X			
Morphologie	Tiefen- und Breitenvariation	X			
	Tiefenvariation		X	X	X
	Struktur und Substrat des Bodens	X			X
	Menge, Struktur und Substrat des Bodens		X	X	
	Struktur der Uferzone	X	X		
	Struktur der Gezeitenzone			X	X
Tidenregime	Süßwasserzustrom			X	
	Seegangsbelastung			X	X
	Richtung vorherrschender Strömungen				X

Fragestellungen hydrologischer oder stofflicher Natur (chemische und physikalisch-chemische Qualitätskomponenten nach Anhang V WRRL bzw. § 5 i. V. m. Anlage 3 OGewV, chemischer Zustand entsprechend Artikel 4 WRRL bzw. § 6 i. V. m. Anlage 8 OGewV), die sich hingegen auf der Raumebene des hydrologischen Einzugsgebietes bewegen, entziehen sich bei einem Fokus der vorliegenden Studie auf Fließgewässer und Auenraum einer direkten Beeinflussungsmöglichkeit. Lediglich bei solchen hydrologischen und stofflichen Prozessen, die durch hydromorphologische Veränderungen beeinflusst/verändert werden können (gewässer-/aueninterne Prozesse) ist eine Betrachtung von ggf. veränderten Ökosystemfunktionen und -leistungen als sachgerecht einzustufen.

2.2.2 Wasserhaushalt

Für die WRRL-konforme Klassifizierung/Bewertung des Wasserhaushalts von Einzugsgebieten und Wasserkörpern liegt eine Verfahrensempfehlung der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) vor (MEHL et al. 2014b). In einem Hintergrunddokument (MEHL et al. 2014c) erfolgen zusätzlich ausführliche Betrachtungen und Einordnungen zum Wissensstand. Grundsätzlich wird methodisch auch auf die Intention einer „hydrologischen Güte“ aufgebaut (LEIBUNDGUT & EISELE 2005). Grundansatz und methodische Details basieren aber ganz wesentlich auf früheren Ergebnissen eines Vorhabens des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft des Landes Sachsen-Anhalt (LHW) (MEHL et al. 2009, BIOTA 2010, MEHL et al. 2010, HOFFMANN et al. 2010a, b, HOFFMANN & MEHL 2010, MÜHLNER et al. 2011). Auch die Projektergebnisse des LAWA-Vorhabens sind publiziert (MEHL et al. 2015, 2016).

Der gewählte induktive Klassifizierungsansatz folgt der Struktur der hydrologisch relevanten Eingriffs- bzw. Belastungstypen der LAWA (Pressure Types), die entsprechend geprüft und zusammengestellt wurden. Anschließend wurden diese nach sechs übergreifenden Belastungsgruppen im Sinne von Hauptmerkmalen der anthropogenen Beeinflussung des Wasserhaushalts gruppiert (Abbildung 2-2):

- A) Veränderungen/Nutzungen im Einzugsgebiet
- B) Wasserentnahmen
- C) Wassereinleitungen
- D) Gewässerausbau und Bauwerke im Gewässer
- E) Auenveränderungen
- F) Sonstige Belastungen.

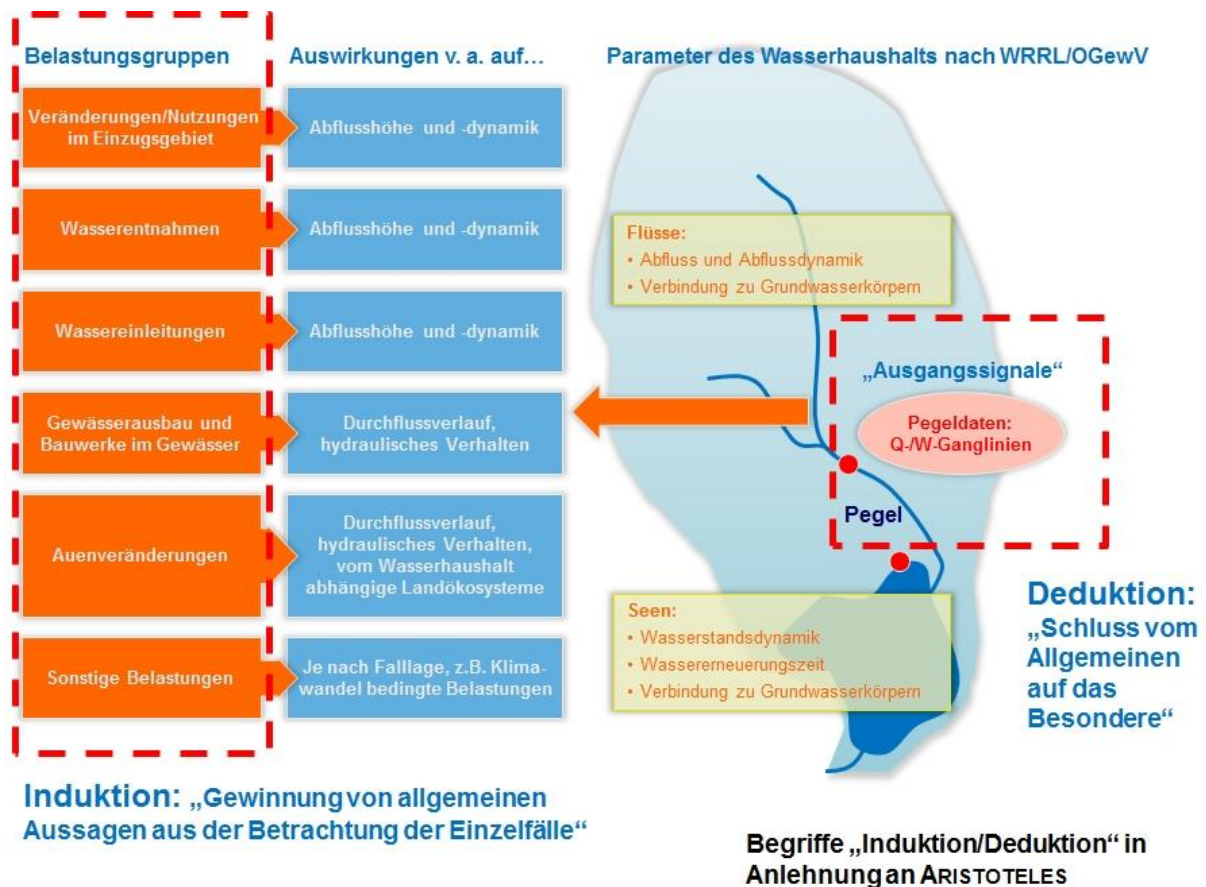


Abbildung 2-2: Gebildete Belastungsgruppen, die wichtigsten hydrologischen Auswirkungen der Belastungen, Zusammenhang mit den Parametern des Wasserhaushalts nach Anhang V WRRL bzw. OGewV, Gegenüberstellung Induktion ./ Deduktion (verändert nach MEHL et al. 2015)

Grundsätzlich sollen im Verfahren möglichst alle hydrologischen Belastungen klassifiziert werden, die auf einen Wasserkörper wirken können; aktuell ausgeschlossen wurden aus pragmatischen Gründen nur Wirkungen/Belastungen infolge des Klimawandels. So müssen sowohl diejenigen Belastungen auf der Einzugsgebietsebene des Oberflächenwasserkörpers als auch die, die sich ggf. nur weitgehend direkt auf den konkreten Oberflächenwasserkörper erstrecken, erfasst werden. Die entsprechend der Gewässernetzstruktur kumulativ wirksamen Eingriffe können klassifiziert werden, indem über die Hierarchie und Struktur der Einzugsgebiete eine nach Abfluss- oder ggf. Einzugsgebietsanteilen gewichtete Berücksichtigung von Belastungen aus Zuflussgebieten erfolgt.

Die Klassifizierung erfolgt im Verfahren äquivalent zur bekannten 5-stufigen Skala (Quality Status Code) entsprechend Anhang V WRRL, die für die AWB- und HMWB-Gewässer (artificial water bodies – AWB bzw. heavily modified water bodies - HMWB) und damit bei der Potenzialbewertung ohne die Klasse 1 (sehr gut) angewandt wird: 1 – unverändert bis sehr gering verändert, 2 – gering verändert, 3 – mäßig verändert, 4 – stark verändert, 5 – sehr stark bis vollständig verändert.

Die Klassifizierung erfolgt einzeln für jeden WRRL-Wasserkörper. Entsprechend der Verfahrensstruktur wird für die sechs einzelnen Belastungsgruppen (Hauptmerkmale) jeder Parameter nach Anhang V WRRL bzw. OGewV mit mindestens einem Kriterium 5-stufig klassifiziert. Die Klassifizierung erfolgt vorzugsweise mittels

- Berechnungsverfahren (bei Vorliegen quantifizierbarer Datensätze quantitativ mit festgelegten Klassengrenzen) oder ggf. mittels

- Expertenbewertung (alternativ semiquantitativ bzw. durch Expertenurteil verbal-argumentativ bzw. durch Wertstufen untersetzt).

Durch die Möglichkeit einer Expertenbewertung wird berücksichtigt, dass die Verfügbarkeit von Daten und Informationen vor dem Hintergrund der grundlegenden Voraussetzungen in den Bundesländern sehr unterschiedlich ist. Insofern wird auch eine zunächst abschätzende Klassifizierung ermöglicht. Generell sollte aber der Klassifizierung auf Basis quantifizierbarer Größen der Vorzug gegeben werden, da nur diese ein Höchstmaß an Objektivität und Nachvollziehbarkeit sichern.

Die Einzelbewertungen werden nach dem „worst-case-Prinzip“ jeweils zu einer Teilbewertung der Belastungsgruppe zusammengeführt. Nur die schlechteste Bewertung je Belastungsgruppe wird insofern gewertet. Am Ende des Klassifizierungsalgorithmus (Abbildung 2-3) werden die für jede Belastungsgruppe vorliegenden Teilbewertungen durch arithmetische Mittelwertbildung zu einer Gesamtklassifizierung zusammengeführt. Je nachdem, ob auch „Sonstige Belastungen“ relevant sind, ist die Mittelwertbildung über 5 oder über 6 Teilbewertungen durchzuführen.

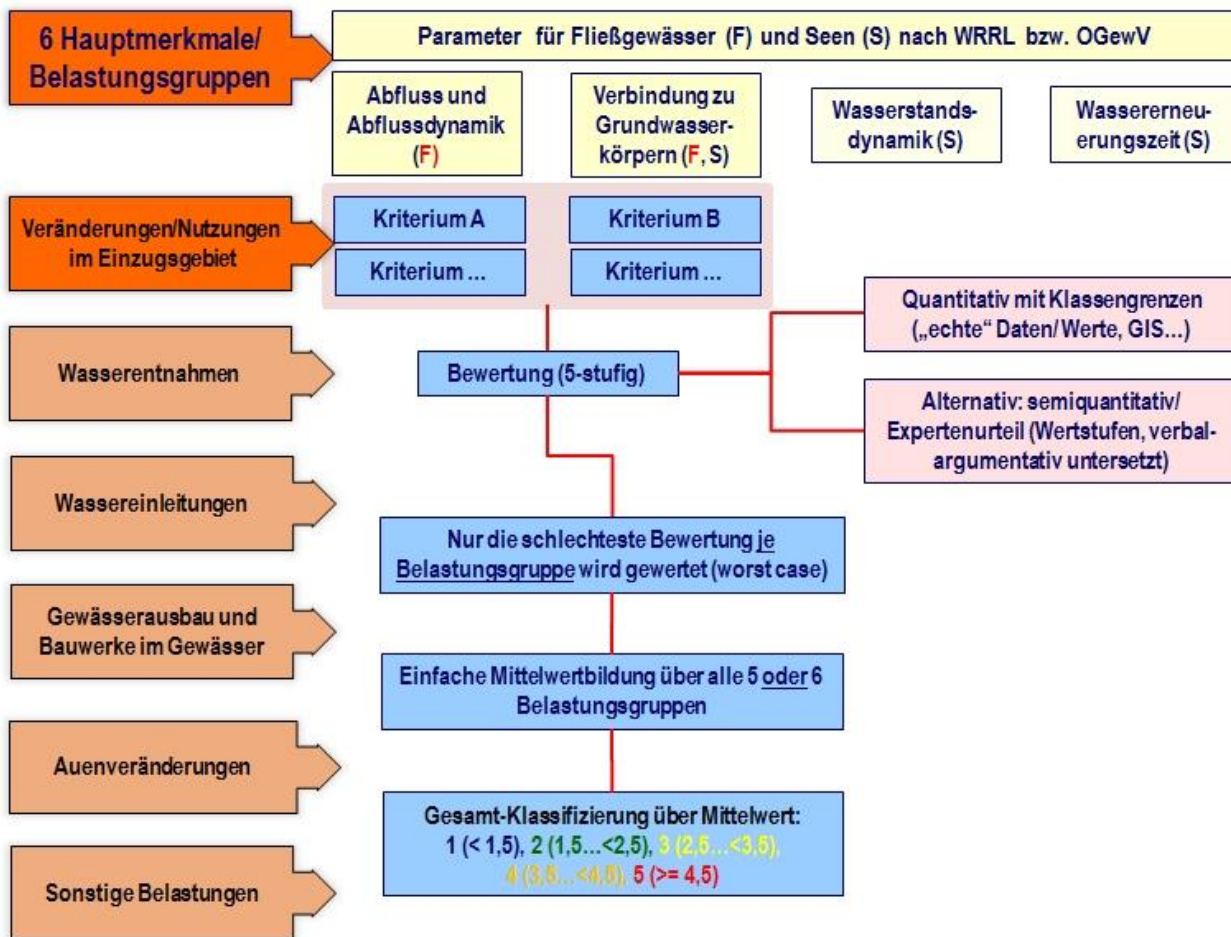


Abbildung 2-3: Verfahrensstruktur bzw. Ablauf der Klassifizierung (aus MEHL et al. 2014b)

2.2.3 Durchgängigkeit

Der Aspekt der Durchgängigkeit umfasst sowohl die Durchgängigkeit der Fließgewässer für aquatische Organismen, als auch die Durchgängigkeit für Sedimente.

Für die Beurteilung der Durchgängigkeit von Bauwerken für aquatische Organismen liegt z. Z. noch kein bundesweit einheitliches Verfahren vor (https://www.gewaesser-bewertung.de/index.php?article_id=137&clang=0, Abruf am 25.01.2020). Bislang wurde die ökologische Durchgängigkeit entweder anhand der Charakteristika der relevanten Bauwerke eingeschätzt oder durch biologische Erfassungen und Kontrollen bewertet (im Regelfall Fische und Rundmäuler, seltener Makrozoobenthos). Bei der ökologischen Durchgängigkeit und der dabei zugrundeliegenden Migration der Organismen spielt sowohl der Aufstieg (gegen die Strömung), als auch der Abstieg (mit der Strömung) eine Rolle.

Für die Sedimentdurchgängigkeit wird aktuell im Rahmen eines Forschungsprojektes der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) eine bundeseinheitliche Methodik entwickelt.

Die Sedimentdurchgängigkeit am Querbauwerksstandort wird dabei in fünf Schritten und mittels drei Einzelparametern (1) Geschiebetransport, (2) Schwebstofftransport und (3) morphologische Entwicklung bewertet (Abbildung 2-4). Von den fünf Schritten sind zwei Schritte für alle Querbauwerksstandorte auch prinzipiell bei geringer Datengrundlage durchführbar, während drei weitere Schritte optional je nach Datengrundlage geprüft werden können. Im Wasserkörper (also auf einer kleinmaßstäbigeren Ebene) wird die Sedimentdurchgängigkeit in sechs Schritten und mit Hilfe von vier Einzelparametern (1) morphologische Bedingungen, (2) longitudinale Sedimentdurchgängigkeit, (3) Geschiebehalt und (4) Feinsedimente, bewertet. Die Bewertung der Sedimentdurchgängigkeit im Gewässersystem stützt sich auf die bereits vorliegenden Parameter der Wasserkörper (z. B. Strukturgütedaten). Hier stehen demzufolge übergeordnete Prozesse und Verknüpfungen zwischen den Wasserkörpern im Vordergrund, so dass eher keine Generalisierung erfolgt, sondern vielmehr der Wirkzusammenhang gewahrt wird (<https://www.mikepoweredbydhi.com/presences/emea/germany/news/2016/08/22/lawa-sedimente>, Abruf am 22.02.2020).



Abbildung 2-4: Vorgehen bei der LAWA-Methodik zur Bewertung der Sedimentdurchgängigkeit, Grafikquelle: <https://www.mikepoweredbydhi.com/presences/emea/germany/news/2016/08/22/lawa-sedimente>, Abruf am 22.02.2020

2.2.4 Morphologie

In Deutschland wird die WRRL-Qualitätskomponente „Morphologie“ mit dem bewährten Verfahren der Gewässerstrukturkartierung klassifiziert. Die Gewässerstrukturen umfassen die geo- bzw. gewässermorphologischen, überwiegend geostrukturellen Merkmale des Fließgewässers.

„Unter dem Begriff Gewässerstruktur werden im Rahmen der Strukturkartierung sämtliche räumlichen und materiellen Differenzierungen des Gewässerbetts und seines Umfeldes verstanden, soweit sie hydraulisch,

gewässermorphologisch und hydrobiologisch wirksam und für die ökologischen Funktionen des Gewässers und der Aue von Bedeutung sind. Die einzelnen Strukturen können natürlicherweise entstanden, anthropogen geschaffen oder initiiert worden sein. Gewässerstrukturen sind damit ein Maß für die morphologische Qualität der Gewässer, die durch diese Strukturen angezeigten dynamischen Prozesse und somit für die Qualität des Lebensraumes Fließgewässer für Fauna und Flora.“ (https://www.gewaesser-bewertung.de/index.php?article_id=138&clang=0, Abruf am 15.12.2019).

Kartiert werden neben Parametern des Gewässerumfeldes vor allem unmittelbare geomorphologische Merkmale der Gewässer. Teilweise lassen sich bestimmte Strukturen aus Karten, Luftbildern oder anderen vorhandenen Informationsgrundlagen bestimmen oder können sogar vorzugsweise aus diesen abgeleitet werden. Stand der Technik ist jedoch an den kleinen und mittelgroßen bis großen Fließgewässern eine umfassende Bewertung mit Hilfe einer Gewässerstrukturkartierung im Rahmen einer Geländebegehung, wobei grundsätzlich bei Wechsel des natürlichen Gewässertyps im Sinne von Stammeigenschaften oder bei wesentlicher Änderung der Zustandseigenschaften ein Abschnittswechsel vollzogen werden muss.

Für die Gewässerstrukturgütekartierung liegen auf Bundes- und Länderebene standardisierte Verfahren vor, die neben den Parametern auch die Kartierbögen sowie die Bewertungsmethodik vorgeben (z. B. LENSCHOW 1998, LAWA 1999, 2004, LUA NRW 2000, 2001, QUICK 2004, THIELE et al. 2011, LANUV-Arbeitsblatt 18). Tabelle 2-2 zeigt die fachliche Übereinstimmung zwischen den Anforderungen von WRRL bzw. OGewV und den Parametern der Strukturkartierung.

Tabelle 2-2: Zuordnung der Einzelparameter der LAWA-Strukturkartierung (LAWA 1999) zu den Kriterien und Komponenten der unterstützenden Qualitätskomponente "Morphologie" entsprechend Anhang V WRRL bzw. Anlage 3 OGewV, leicht geändert nach: https://www.gewaesser-bewertung.de/index.php?article_id=138&clang=0, Abruf am 19.12.2019

Komponenten Anhang V WRRL	Kriterien Anhang V WRRL	LAWA-Strukturkartierung kleine bis mittelgroße Fließgewässer (LAWA 1999)	
		Hauptparameter	Einzelparameter
Struktur des Flussbetts	Laufentwicklung	Laufentwicklung	Laufkrümmung
			Krümmungserosion
			Besondere Laufstrukturen
	Strömungsgeschwindigkeit	Längsprofil	Strömungsdiversität
			Rückstau
			Querbänke
Substrat des Flussbetts	Substratbedingungen	Sohlenstruktur	Substratdiversität
			Sohlenverbau
	Laufentwicklung	Längsbänke	Besondere Sohlstrukturen
Breitenvariation	Variation von Breite	Gewässerumfeld	Gewässerrandstreifen
		Querprofil	Profiltyp
			Breitenvarianz
Tiefenvariation	Variation von Tiefe	Querprofil	Profiltiefe
			Breitenerosion
	Längsprofil	Tiefenvarianz	
Struktur der Uferzone	Struktur und Bedingungen der Uferbereiche	Uferstruktur	Uferbewuchs
			Uferverbau
			Besondere Uferstrukturen

Für große, schiffbare Gewässer kann im Übrigen auch auf das Valmorph-Verfahren (QUICK et al. 2017) zurückgegriffen werden, das als quantitatives Verfahren zur Erfassung, Berechnung und Bewertung hydromorphologischer Zustände und Veränderungen im Fluss-, Ufer- und Auenbereich schiffbarer Oberflächengewässer konzipiert ist. Das Valmorph-Verfahren wurde vor allem zur Unterstützung von Entscheidungsfindungen, z. B. im Rahmen des Sedimentmanagements oder für Umweltverträglichkeitsuntersuchungen, von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) entwickelt.

Das Valmorph-Verfahren basiert auf insgesamt zehn repräsentativen hydromorphologischen Indikatoren („Zeiger-Parametern“), die explizit in Anhang V WRRL benannt werden und darüber hinaus einen relevanten Sediment- und Habitatbezug aufweisen (Breitenvariation, Sedimentdurchgängigkeit, Tiefenvariation, Mittlere Sohlhöhenänderung, Schwebstoffhaushalt, Sohlsubstrat, Uferstruktur, Flächenänderungen der eulitoral Zone, Flächenanteil überflutbarer Auen sowie Sohl- und Auenstrukturen). Die Ausprägung dieser Indikatoren wird im Verfahren mit Hilfe eindeutig parametrisierter Methoden ermittelt.

Die Hauptparameter als gruppierte Merkmale der Gewässerstruktur der LAWA- bzw. Landesverfahren (1) „Laufentwicklung“, (2) „Längsprofil“, (3) „Sohl(en)struktur“, (4) „Querprofil“, (5) „Uferstruktur“ und (6) „Gewässerumfeld“ werden im Folgenden kurz behandelt (in Anlehnung an MEHL 2006), wobei für weiterführende Informationen vor allem auf die o. g. Literatur verwiesen wird.

Laufentwicklung (relevant für Klassifizierung „Sohle“)

Die Laufentwicklung bildet einen Hauptparameter der Gewässerstruktur, indem damit insbesondere die Art und das Ausmaß entsprechender Laufkrümmung charakterisiert werden. Zunächst ist der Lauftyp als Einzelmerkmal von Belang. So können die Fließgewässer nicht nur als Einbett-, sondern auch als Mehrbettgerinne auftreten:

Die einfachste Form ist der unverzweigte Lauftyp, der lediglich vereinzelte Bänke und Inseln im Sinne von Laufspaltungen besitzt, aber im Grunde ein Einbettgerinne aufweist. Ein nebengerinnereicher Verlauf ist dagegen durch einen dominierenden Hauptlauf mit einem oder mehreren Nebengerinnen gekennzeichnet. Häufig sind Nebengerinne erst bei höheren Durchflüssen bzw. Wasserständen durchflossen.

Verzweigte Gerinnesysteme bilden mehrere Rinnen, die durch Bankbildungen oder Inseln getrennt werden. Häufig besteht hier eine große Umlagerungsdynamik des durch den Fluss mitgeführten Materials auf Grund wechselnder Abfluss- und Geschiebeverhältnisse (prägnanter Fall: Deltamündungssysteme).

Tabelle 2-3: Laufkrümmung bzw. Windungsgrade, ergänzt und zusammengestellt nach QUICK (2004)

Windungsgrad	Laufkrümmung	Erläuterung
1,00	geradlinig	anthropogen erzeugte Gewässer, geradlinige Gewässer kommen in der Natur nicht vor
1,01...1,03	gestreckt	leicht gebogene Grundlinie, keine markanten Windungen
1,04...1,07	gestreckt bis schwach gewunden	
1,08...1,23	schwach gewunden	durchgehend oder unregelmäßig Schwingungen mit großen Radien, die Fließrichtung weicht an den Wendepunkten 10 bis 20 Grad, selten bis zu 40 Grad von der Talrichtung ab
1,24...1,27	schwach gewunden bis gewunden	

1,28...1,48	gewunden	durchgehend intensiv und regelmäßig gekrümmt, die Fließrichtung weicht an den Wendepunkten 30 bis 60 Grad, vereinzelt auch bis zu 90 Grad von der Talrichtung ab, selten Mäanderbögen (-abschnürungen)
1,49...1,52	gewunden bis mäandrierend	
1,53...1,98	mäandrierend	durchgehend sehr intensiv und sehr unregelmäßig gekrümmt, Schwingungsbreite überwiegend \geq Schwingungslänge, die Fließrichtung weicht an den Wendepunkten regelmäßig um mehr als 60 Grad, häufig auch um mehr als 90 Grad von der Talrichtung ab, deutliche Tendenz zur Bildung von Mäanderbögen (-abschnürungen)
1,99...2,01	mäandrierend bis stark mäandrierend	
> 2,01	stark mäandrierend	Schwingungsbreite \geq Schwingungslänge, die Fließrichtung weicht an den Wendepunkten regelmäßig um mehr als 90 Grad von der Talrichtung ab, häufig Bildung von Mäanderbögen (-abschnürungen)

Als weiteres Einzelmerkmal ist das Krümmungsverhalten des Gewässers zu beurteilen, das am eindeutigsten aus Karten ableitbar ist. Hierbei kann der Windungsgrad bestimmt werden, indem abschnittsweise das Verhältnis von Gewässerlauflänge zur Tallänge hergestellt wird. Die Tallinie ist identisch mit der Talmitte. Die Division der Gewässerlauflänge durch die Tallänge ergibt für natürliche Fließgewässer einen Wert von größer 1 und kann in den verschiedenen Wertebereichen anschaulich den entsprechenden verbalen Kategorien der Laufkrümmung zugeordnet werden (Tabelle 2-3)

Dabei gilt im Grundsatz, dass mit der Erhöhung des Windungsgrades eine Abnahme des Tal- und Sohlgefälle sowie eine Zunahme von Materialakkumulation bzw. Sedimentation verbunden sind.

Auch „Besondere Laufstrukturen“ sind als Einzelmerkmal geeignet, da sie natürliche Formenelemente anzeigen, die Folge morphodynamischer Prozesse sind. Hierzu zählen beispielsweise Bank- und Inselbildungen, Laufweitungen und -verengungen, Totholz- und Treibselansammlungen sowie Uferabbrüche, die auf die Krümmungs- bzw. Seitenerosion des Gewässers zurückzuführen sind. In einigen Kartierverfahren wird dabei als Einzelmerkmal auch die Zahl der Längsbänke erfasst (z. B. THIELE et al. 2011).

Längsprofil (relevant für Klassifizierung „Sohle“)

Zum Hauptparameter Längsprofil zählen als Einzelmerkmale vor allem das Sohlgefälle, die Sohlgefällestuktur, die Fließgeschwindigkeit oder das Strömungsbild sowie die Strömungsdiversität im Zusammenhang mit der Tiefen- und Breitenvarianz.

Das Sohlgefälle wird abschnittsweise als Höhendifferenz der Gewässersohle an den Anfangs- und Endpunkten in Bezug zur ermittelten Länge des Gewässersegments ermittelt. Dieses ist mit der gebotenen Genauigkeit im Regelfall nur durch Vermessungen oder die Auswertung wasserwirtschaftlicher Bestandsunterlagen möglich. Die Sohlgefällestuktur gibt hingegen an, wie gleichmäßig oder ungleichmäßig das Gefälle im betrachteten Abschnitt abgebaut wird. Der Parameter beschreibt mithin die Gewässersohle im Längsschnitt bzw. -profil und wird vorteilhaft ebenfalls aus Vermessungsergebnissen oder Unterlagen abgeleitet. Sehr anschaulich und im Gelände gut bestimmbar ist auch die Strömungscharakteristik, die visuell über das Strömungsbild (Tabelle 2-4) oder Fließgeschwindigkeitsmessungen (vorherrschende Strömung bzw. Profilverteilung = mittlere Fließgeschwindigkeit über ein Querprofil) ermittelt werden kann. Der Einzelparameter Strömungsdiversität beschreibt dagegen die räumliche Differenziertheit der Strömung im Längsverlauf eines Gewässerabschnitts, wobei diese mit den lokalen Unterschieden von Sohlgefälle, Gewässertiefe und -breite sowie hydraulischer Rauigkeit zusammenhängt. Bei der Interpretation ist die vorgefundene Situation in einen Durchflussbereich einzuordnen (z. B. Niedrigwassersituation), um Fehlschlüsse zu vermeiden und die Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Hier hilft die amtliche hydrologische

Statistik eines Bezugspegels, die über die zuständigen Wasserbehörden erfragt werden kann. Ggf. sind räumliche Übertragungen erforderlich („Regionalisierungsaufgabe“).

Tabelle 2-4: Mögliche Differenzierung im Hinblick auf die Strömungscharakteristik/das Strömungsbild, ergänzt nach MEHL (1998)

Hydraulische Kennzeichen	Fließgeschwindigkeitsbereich	Oberflächen-Erscheinungsbild
(1) stehend bis leicht bewegt	≤ 5 cm/s	kaum sichtbare Fließbewegung
(2) leicht strömend	$> 5 \dots \leq 10$ cm/s	sichtbare, leichte Fließbewegung
(3) strömend	$> 10 \dots \leq 25$ cm/s	deutlich sichtbare Fließbewegung
(4) deutlich strömend	$> 25 \dots \leq 50$ cm/s	schnelle Fließbewegung, ausgeprägte Oberflächenbewegungen, beginnende Wellenbildungen
(5) stark strömend	$> 50 \dots \leq 80$ cm/s	sehr schnelle Fließbewegung, deutlich ausgebildete Wellenkämme, („auf-und-ab-Bewegungen“)
(6) sehr stark strömend, z.T. schießend	> 80 cm/s	rauschend, „gurgelnd“, überstürzende Wellenkämme, Walzenbildungen

Sohlstruktur (relevant für Klassifizierung „Sohle“)

Durch den geologischen Untergrund und die hydrologischen und hydraulischen Verhältnisse werden weitestgehend die Sediment- und Strukturverhältnisse (Sohlstruktur) des Gewässerbettes bestimmt. Geeignete Einzelparameter der Sohlenstruktur sind von daher das Sohlsubstrat und Sohlsubstrattypen, die Substratdiversität, die Substratverteilung und besondere Sohlstrukturen (Flachwasserzonen, Kolke, Tiefenrinnen etc.). Die Substrate werden im Grunde in Analogie zu bodenkundlichen Methoden (z. B. Klassifikation nach Korngrößen) gewonnen. Je nach Naturraum sind hier aber weitere, z. T. „lebende“ Substrate von Belang. Zudem sind anthropogene Sohlstrukturen in Form des Sohlverbau und Belastungen der Sohle (z. B. Müll) von Belang.

Querprofil (relevant für Klassifizierung „Ufer“)

Das Querprofil ist der Querschnitt eines Fließgewässers rechtwinklig zur Längsachse. Die Profilform hängt mit den anderen hydraulischen und morphologischen Kriterien unmittelbar zusammen. Naturprofile zeichnen sich in der Mehrzahl durch eine relativ große Breite aus (relativ geringe Höhe im Verhältnis zur Breite) und sind in der Breite und der Form äußerst abwechslungsreich. Anthropogen durch Gewässerausbau veränderte Profile zielen sehr häufig auf eine Verbesserung der hydraulischen Leistungsfähigkeit des Gewässers und sind deshalb dem hydraulisch günstigsten und widerstandsärmsten Querschnitt, dem Kreisprofil, angenähert. Daher weisen ausgebaute Gewässer häufig einen trapezförmigen Querschnitt auf (wasserwirtschaftlicher Begriff: „Regelprofil“).

Das Querprofil lässt sich u. a. mit folgenden Einzelparametern beschreiben:

- Profiltyp (Naturprofil, Erosionsprofil, technische Profilformen),
- Einschnitttiefe, Wassertiefe, Wasserspiegelbreite, Sohlenbreite, obere Profilbreite,
- Breitenvarianz (Verhältnis der größten zur kleinsten Gewässerbettbreite, z. B. bei bordvollem Abfluss),
- Einschnitttiefe (Höhendifferenz aus Mittel- oder Niedrigwasserspiegels und Geländehöhe/Böschungskante) sowie

- Profiltiefe (Höhendifferenz aus Sohl- und Geländehöhe/Böschungskante).

Uferstruktur (relevant für Klassifizierung „Ufer“)

Mit dem Hauptparameter Uferstruktur werden der Uferbewuchs, der Uferverbau, besondere Uferstrukturen und besondere Uferbelastungen erfasst.

Beim Uferbewuchs werden die Form und die Zusammensetzung des Baumbestandes bzw. der Bodenvegetation zwischen Böschungsfuß und dem Bereich der Böschungsoberkante (Böschungsvegetation) kartiert und bewertet. Beim Uferverbau wird, soweit vorhanden, erfasst und bewertet, inwieweit ein technischer oder ingenieurbioologischer Verbau erfolgt ist. Dabei werden Art und Umfang des Verbauens im Hinblick auf die ökologische Wirksamkeit betrachtet. Besondere Uferstrukturen bilden zum Beispiel Sturzbäume, Böschungsabbrüche und vieles mehr., also solche Strukturen, die im Hinblick auf die ökologische Funktionsfähigkeit und die morphologischen Prozesse im Uferbereich zusätzliche Schlüsse zulassen.

Als besondere Uferbelastungen gelten wiederum kartierbare anthropogene Belastungen wie z. B. Müllablagerungen.

Gewässerumfeld (relevant für Klassifizierung „Land“)

Die Beurteilung des Gewässerumfelds (räumliche Überlappung mit der Auenzustandsbewertung, s. u.) dient der Beurteilung, ob und inwieweit zum einen strukturell ein „räumlich geschlossenes“ Fließgewässer-Auen-Ökosystem vorliegt und zum anderen welche ggf. potenziell negativen anthropogenen Einflüsse aus dem Gewässerumfeld bestehen. Von daher sind hier kartierte Merkmale die Flächennutzung, ggf. vorhandene Gewässerrandstreifen (im Sinne eines Übergangs-/Schutzraumes), besondere Umfeldstrukturen im Sinne naturnaher Auenstrukturen (z. B. Flutrinnen und -mulden, Altarme, Altwasser, Kleingewässer in der Aue) und, adäquat zu den anderen Hauptparametern, auch ggf. vorhandene anthropogene Belastungen im Sinne explizit schädlicher Umfeldstrukturen. Zu Letzteren zählen z. B. auch wieder Müllablagerungen, aber auch Verkehrsanlagen, Fischteiche und dergleichen.

2.3 Verfahren/Methoden zur Bewertung der Hydromorphologie der Auen

Obschon Artikel 1 a) WRRL die „... Vermeidung einer weiteren Verschlechterung sowie Schutz und Verbesserung des Zustands der aquatischen Ökosysteme und der direkt von ihnen abhängenden Landökosysteme und Feuchtgebiete im Hinblick auf deren Wasserhaushalt, [...]“ fordert, fehlen in der WRRL und auch im WHG oder in der OGEV konkrete Umweltziele, Regelungen zu Qualitätskomponenten oder entsprechende Monitoringvorgaben.

Die besondere Bedeutung der Flussauen als hydromorphologische Größe („hydromorphological quality element“) für die Oberflächenwasserkörper wird aber im WRRL-Hintergrundpapier WFD CIS Guidance No 12 (2003) beschrieben und betont. Fließgewässer und ihre angrenzenden Auen (Feuchtgebiete) stehen naturgemäß in enger Wechselwirkung miteinander. Auen und Fließgewässer sind als Bestandteile eines räumlich und funktional untrennbaren Ökosystems anzusehen (WARD 1989, MEHL 1998, MEHL & THIELE 1998, SCHOLZ et al. 2012, DEHNHARDT et al. 2015, DISTER et al. 2018, SCHNEIDER et al. 2018). Gerade eine Wiederherstellung der natürlichen Abflussdynamik bzw. -variabilität in anthropogen veränderten Gewässersystemen bildet damit eine essentielle Grundlage für die natürliche Gewässer- und Auenlebewelt (MEROT et al. 2006). Auf die die notwendige hydrologische Konnektivität zwischen Gewässer und Aue weisen z. B. auch TOCKNER et al. 1999 hin. Diese Konnektivität hat u. a. hohen Einfluss auf standörtlichen Verhältnisse (BARETT et al. 2010) sowie die Nahrungsketten und somit auf die trophische Stellung der Arten, z. B. für die Fischfauna (ROACH et al. 2009).

Rechtlich sind für viele Flussauenbereiche auch die Vorgaben von FFH-RL, VSchRL und BNatSchG bedeutsam, insbesondere im Hinblick auf Schutz-, Erhaltungs- und Reetablierungsvorgaben für auentypische Lebensräume und Arten. Hier erwachsen insbesondere aus Managementplanungen ebenfalls konkrete Ziele und Maßnahmen für die Zustandsverbesserung der Flussaue.

Besonders bedeutsam für Bundeswasserstraßen wie die Lahn (Nebenwasserstraße) ist in dieser Hinsicht das Bundesprogramm „Blaues Band“ (s. o.), vor allem sind es die Zielsetzungen des länderübergreifenden Biotopverbundes an Bundeswasserstraßen und deren Auen. Im zugehörigen „Fachkonzept Biotopverbund Gewässer und Auen“ (https://www.blaues-band.bund.de/Projektseiten/Blaues_Band/DE/neu_05_Informationen/Fachinformationen/Eckpunkte_Fachkonzept_BBD.pdf?__blob=publicationFile&v=1) werden neben den bereits vorstehend vorgestellten Parametern der Gewässerstruktur die folgenden des Auenzustandes als Zielkriterien für Verbesserungsmaßnahmen benannt:

- (1) Morphodynamik
- (2) Hydrodynamik
- (3) Flächennutzung

Zusätzlich werden der Erhalt und die Entwicklung ufer- und auentypischer Lebensräume explizit als weitere Zielkriterien herausgestellt (auch i. S. des Biotopverbunds). Diese Kriterien werden bereits mit dem bewährten bundesweiten Verfahren zur Auenzustandsbewertung nach BRUNOTTE et al. (2009) abgedeckt, das nun in einer aktualisierten und modernisierten Form vorliegt:

- Anleitung für die Erfassung und Bewertung des Auenzustandes an Flüssen. Band 1. Grundlagen und Vorgehensweise (PB Koenzen 2019a)
- Anleitung für die Erfassung und Bewertung des Auenzustandes an Flüssen. Band 2. Benutzerhandbuch zur Software-Anwendung AuenZEB 1.0 (PB Koenzen 2019b)

Dieses Verfahren ist auch gut geeignet, Vergleiche von prognostizierten Planvarianten mit dem Ist-Zustand durchzuführen. Das neue Verfahren gliedert sich in ein Übersichts- und ein Detailverfahren, deren Anwendung in den o. g. Bänden erläutert werden.

2.4 Maßnahmenoptionen zur Erreichung eines guten ökologischen Potenzials (GÖP): Szenario 1

Die Projektziele zur Erreichung eines guten ökologischen Potenzials (GÖP) (im Weiteren als Szenario 1 bezeichnet) sind davon bestimmt, dass sich an den maßgeblichen Ausweisungsgründen der erheblich veränderten Gewässer (1) Schifffahrt auf staugeregelten Gewässern und (2) Wasserkraftnutzung nichts ändert bzw. nichts ändern lässt. Unter diesen Bedingungen ist nur das gute ökologische Potenzial erreichbar.

Dieses Szenario bedeutet eine weniger umfassende umweltfachliche Lösung für die Lahn bzw. die jeweiligen Staustufenabschnitte. Abbildung 2-5 zeigt die nur möglichen Perspektiven für die hydromorphologischen Qualitätskomponenten nach Anhang V bzw. OGewV und die entsprechenden Folgen für die Habitatqualität bzw. die biologischen Qualitätskomponenten.

Morphologie			Wasserhaushalt		Durchgängigkeit	
Sohle	Ufer	Umfeld	Fließverhalten	Wassermenge	Aufwärts	Abwärts
 Sehr stark bis vollständig veränderte Sohlstrukturen	 Deutlich bis stark veränderte Uferstrukturen	 Deutlich bis stark veränderte Umfeldstrukturen	 Sehr stark bis vollständig veränderte Fließverhältnisse	 Deutlich bis stark veränderte Wassermenge	 keine bis mäßige Durchgängigkeitsdefizite	 keine bis mäßige Durchgängigkeitsdefizite

Abbildung 2-5: Hydromorphologische Qualitätskomponenten nach Anhang V bzw. OGewV und Auswirkungen auf die Habitatqualität im GÖP bei Schifffahrt auf staugeregelten Gewässern (grün: Verbesserung, gelb: mögliche (leichte) Verbesserung, rot – keine Verbesserung), aus LAWA (2015)

Als Schlüsselfaktoren bzw. Maßnahmenoptionen für das Erreichen des GÖP bei Schifffahrt auf staugeregelten Gewässern sind insofern besonders relevant (LAWA 2015):

- Erhöhung des Anteils von naturnahem Substrat (v. a. Schotter/Steine/Kies, verringerter Feinsedimentanteil, Totholz)
- möglichst wenig Verbau oberhalb des höchsten schiffbaren Wasserstandes (HSW)
- lebensraumtypische Gehölze und Deckungsstrukturen im Uferbereich
- flache, strukturreiche Uferbereiche
- vor schiffahrtlich bedingtem Wellenschlag sowie Schwall und Sunk geschützte Bereiche
- abschnittsweise Nebengerinne
- naturnah angebundene Nebengewässer
- einzelne Auenstrukturen/Auengewässer
- Durchgängigkeit (Bauwerke und Rückstaubereiche)
- ökologisch verträgliche Gewässerunterhaltung

Entsprechende (hypothetische) Maßnahmenoptionen sind als Alternative zu den Maßnahmen für den guten ökologischen Zustand (GÖZ, vgl. Kapitel 2.3) zu prüfen. Sie bilden eine alternative Gruppe von Maßnahmenoptionen.

2.5 Maßnahmenoptionen zur Erreichung eines guten ökologischen Zustands (GÖZ): Szenario 2

Die relevanten hydromorphologischen Kriterien und Zielstellungen zur Erreichung eines guten ökologischen Zustands (GÖZ) (im Weiteren als Szenario 2 bezeichnet) sind in Tabelle 2-5 in Form von „integrativen“ Komplexzielen für Fluss und Aue zusammengestellt. Dass solche Ansätze an einer (hypothetisch) nicht staugeregelten Nebenwasserstraße fachlich gerechtfertigt sind, zeigt Tabelle 2-6 (grüne Schattierung).

Tabelle 2-5: Kombination hydromorphologisch bestimmter Kriterien des Gewässer- und des Auenschutzes zur Bestimmung von integrativen Komplexzielen für Fluss und Aue (Kriterien des Gewässerzustandes: WRRL/OGewV, Nationale Gewässerstrukturverfahren; Kriterien des Auenzustandes: BRUNOTTE et al. 2009, PB Koenzen 2019a, b, Fachkonzept Biotopverbund im Bundesprogramm Blaues Band)

Hydromorphologische Qualitätskomponenten für Flüsse entsprechend Anlage 3 OGewV	Hydromorphologische Kriterien des Gewässerzustandes	Hydromorphologische Kriterien des Auenzustandes	Komplexziele für Fluss und Aue
Wasserhaushalt	Abfluss-/Abflussdynamik	Hydrodynamik Biotopverbund	(Wieder-)Herstellung einer naturnahen Hydrodynamik
	Verbindung zu Grundwasserkörpern	Hydrodynamik Morphodynamik Biotopverbund	(Wieder-)Herstellung einer naturnahen Verbindung zu Grundwasserkörpern
Durchgängigkeit	Durchgängigkeit	Biotopverbund Morphodynamik	(Wieder-)Herstellung der Durchgängigkeit (linear und lateral)
Morphologie	Laufentwicklung	Hydrodynamik	(Wieder-)Herstellung einer naturnahen Laufentwicklung
	Längsprofil	Hydrodynamik	(Wieder-)Herstellung eines naturnahen Längsprofils
	Sohlstruktur	Morphodynamik	(Wieder-)Herstellung einer naturnahen Sohlstruktur
	Querprofil	Hydrodynamik Morphodynamik	(Wieder-)Herstellung eines naturnahen Querprofils
	Uferstruktur	Hydrodynamik Morphodynamik Flächennutzung Biotopverbund	(Wieder-)Herstellung einer naturnahen Uferstruktur
	Gewässerumfeld	Flächennutzung Morphodynamik Biotopverbund	(Wieder-)Herstellung naturnaher Vegetation/Flächennutzung und naturnaher morphologischer Strukturen in der Aue

Tabelle 2-6: Potenziell erreichbare Zielzustandsklassen zwischen naturnahen (1) und naturfernen (5) Verhältnissen für Fallgruppen, aus: Eckpunkte Fachkonzept Blaues Band Deutschland, https://www.blaues-band.bund.de/Projektseiten/Blaues_Band/DE/neu_05_Informationen/Fachinformationen/Eckpunkte_Fachkonzept_BBD.pdf?__blob=publicationFile&v=1, Abruf am 19.12.2019, Hervorhebung (grüne Schattierung) der möglichen Fallkonstellationen bei Staulegungsmaßnahmen an der Lahn

Restriktion	Ausprägung	Gewässerstruktur					Auenzustand			Ufer-/auentypische Lebensräume	
		Sohle	Ufer	Durchgängigkeit	Fließverhalten	Abflussmenge	Morphodynamik	Hydrodynamik	Flächennutzung	Erhalt	Entwicklung
Schifffahrt	Kernnetz (Kategorie A+B) mit hoher güterverkehrlicher Bedeutung	4-5	3-4				2-3	3-4		Erhalt/Verbesserung bestehender ufer- und auentypischer Lebensräume	Entwicklung neuer ufer- und auentypischer Lebensräume
	Kernnetz (Kategorie C) und Nebennetz mit Sondertransportrelation	3-4	2-3				2-3	2-3			
	Nebennetz mit Güterverkehr	3-4	2-3								
	Nebennetz mit motorisiertem Freizeitverkehr	2-3	1-2								
	Nebennetz mit muskelbetriebenem Freizeitverkehr	1-2	1-2				1-2	1-2			
Stau einfluss	kein Rückstau/Ausleitung	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2		
	Ausleitung vorhanden	2-3	2-3	1-2	2-3	3-4	2-3	3-4	2-3		
	Rückstau vorhanden	4-5	4-5	1-2	4-5	1-2	4-5	4-5	2-3		
Bebauung	ohne Bebauung		1-2					1-2	1-2		
	mit Bebauung		2-3					4-5	3-4		

2.6 Gegenüberstellung der Handlungs- bzw. Maßnahmenoptionen: GÖZ und GÖP

Um die beiden aktiven Handlungsoptionen (neben dem Status quo) in den Maßnahmenoptionen direkt miteinander vergleichen zu können, wird auf die Maßnahmensystematik und auch die grafischen Darstellungen von LAWA (2015) zurückgegriffen. Damit lässt sich sehr anschaulich zeigen, worin die wesentlichen Unterschiede beider Handlungsoptionen bezüglich der Maßnahmenoptionen bestehen (Tabelle 2-7).

Hierbei ist durch rote Durchkreuzung gekennzeichnet, wenn eine Maßnahmenoption nicht durchführbar oder überflüssig ist. Gelbe Durchkreuzung kennzeichnet, wenn eine Maßnahme nicht umfassend durchführbar oder nur teilweise notwendig ist. Jeweils setzen die sich aus den HMWB-Fallgruppen nach LAWA (2015) resultierenden Restriktionen den Rahmen für die Durchführbarkeit oder Sinnhaftigkeit von Maßnahmen. Im Fall der Lahn sind das entsprechend Tabelle 3 in LAWA (2015) bei der Kombination Gewässertypgruppe/Nutzung die HMWB-Fallgruppen:

- a) „Mittelgebirgsflüsse“ und „Schifffahrt auf staugeregelten Flüssen“ und













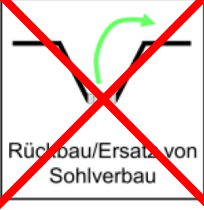
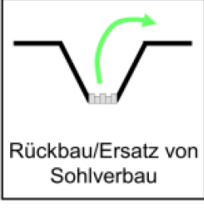
b) „Mittelgebirgsflüsse“ und „Wasserkraft“.








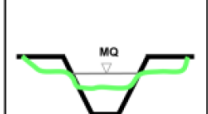
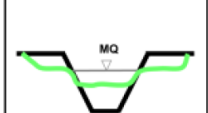
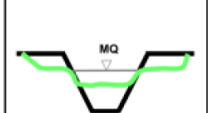
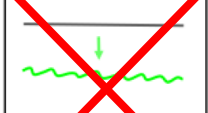
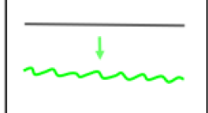
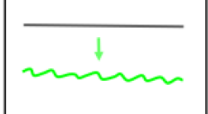
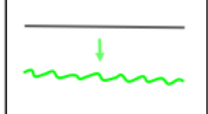
Um die im LiLa-Vorhaben auf jeden Fall angestrebten ökologischen Aufwertungen sachgerecht einordnen zu können, werden in Tabelle 2-7 die Maßnahmenoptionen nach LAWA (2015) dahingehend differenziert,


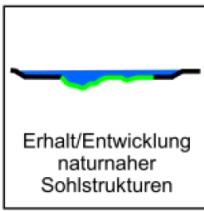
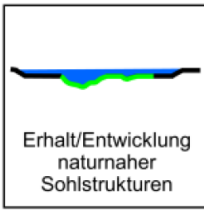
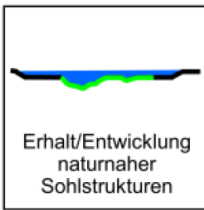

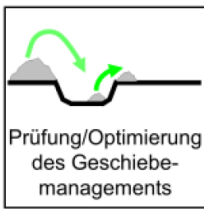

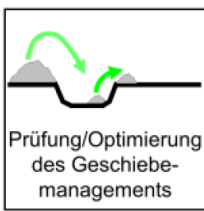



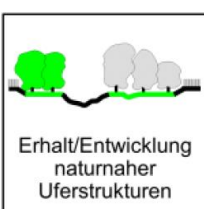
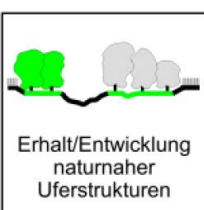
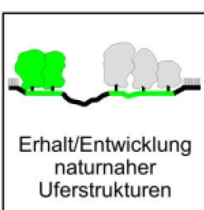
1. wie inhaltlich umfassend die Maßnahmen sind (d. h. eher optimierend/aufwertend oder mit dem ambitionierteren Anspruch der Erreichung naturnaher Verhältnisse und damit als eine Voraussetzung für einen guten ökologischen Zustand) und
2. wie sich die Maßnahmenoptionen auf den Raumebenen „WRRL-Wasserkörper“ (adäquat zu LAWA 2015) oder „Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers“ (im Sinne größerer Streckenabschnitte) auswirken.




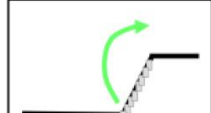
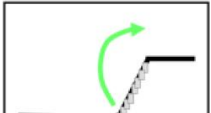
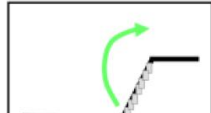
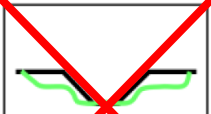
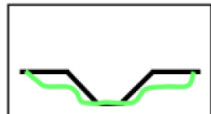
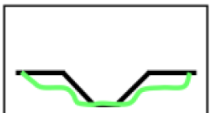
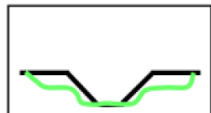
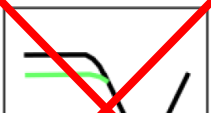



Tabelle 2-7: Gegenüberstellung der Maßnahmenoptionen für die beiden WRRL-Zielstellungen gutes ökologisches Potenzial (GÖP) und guter ökologischer Zustand (GÖZ); Maßnahmen (erweitert, geändert) und Piktogramme entsprechend LAWA (2015), rot durchkreuzt: Maßnahme nicht durchführbar, gelb durchkreuzt: Maßnahme nicht umfassend/nur teilweise durchführbar oder nur teilweise wirksam

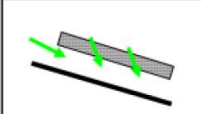
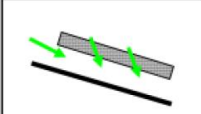

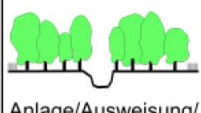
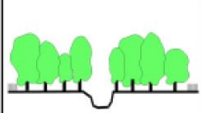
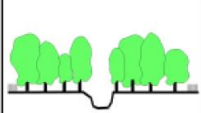








Maßnahmenoptionen entsprechend LAWA (2015)	Ziel: GÖP	Ziel: GÖZ
Wasserhaushalt		
(Wieder-)Herstellung <u>naturnaher</u> Fließverhältnisse <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper</i>	 (Wieder-)Herstellung naturnaher/optimierter Fließverhältnisse	 (Wieder-)Herstellung naturnaher/optimierter Fließverhältnisse
(Wieder-)Herstellung <u>optimierter</u> Fließverhältnisse <i>Betrachtungsebene: Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 (Wieder-)Herstellung naturnaher/optimierter Fließverhältnisse	 (Wieder-)Herstellung naturnaher/optimierter Fließverhältnisse
(Wieder-)Herstellung <u>naturnaher</u> Abflussverhältnisse <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper</i>	 (Wieder-)Herstellung naturnaher/optimierter Abflussverhältnisse	 (Wieder-)Herstellung naturnaher/optimierter Abflussverhältnisse
(Wieder-)Herstellung <u>optimierter</u> Abflussverhältnisse <i>Betrachtungsebene: Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 (Wieder-)Herstellung naturnaher/optimierter Abflussverhältnisse	 (Wieder-)Herstellung naturnaher/optimierter Abflussverhältnisse






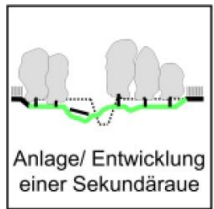
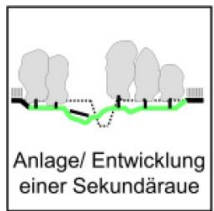
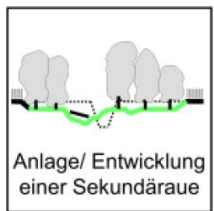

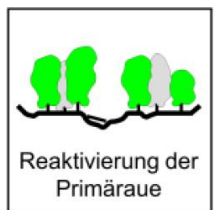
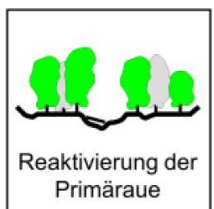
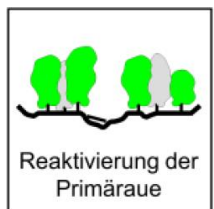


Maßnahmenoptionen entsprechend LAWA (2015)	Ziel: GÖP	Ziel: GÖZ
Beseitigung/Minimierung von Rückstau <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper</i>	 Beseitigung/Minimierung von Rückstau	 Beseitigung/Minimierung von Rückstau
Beseitigung/Minimierung von Rückstau <i>Betrachtungsebene: Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 Beseitigung/Minimierung von Rückstau	 Beseitigung/Minimierung von Rückstau
Durchgängigkeit		
Anlage/Optimierung eines Umgehungsgerinnes/Fischpasses <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper sowie Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 Anlage/Optimierung eines Umgehungsgerinnes/Fischpasses	 Anlage/Optimierung eines Umgehungsgerinnes/Fischpasses
Sicherung/Optimierung des Fischabstieges <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper sowie Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 Sicherung/Optimierung des Fischabstieges	 Sicherung/Optimierung des Fischabstieges
Rückbau/Umbau eines Querbauwerkes <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper</i>	 Rückbau/Umbau eines Querbauwerks	 Rückbau/Umbau eines Querbauwerks
Rückbau/Umbau eines Querbauwerkes <i>Betrachtungsebene: Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 Rückbau/Umbau eines Querbauwerks	 Rückbau/Umbau eines Querbauwerks
Morphologie: Sohle		
Rückbau/Ersatz von Sohlverbau <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper</i>	 Rückbau/Ersatz von Sohlverbau	 Rückbau/Ersatz von Sohlverbau



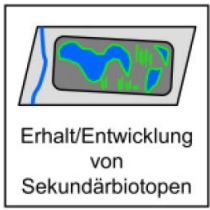
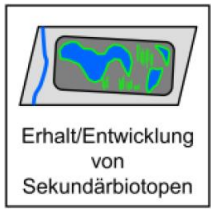






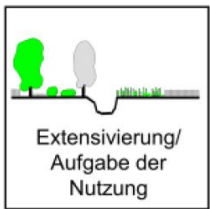
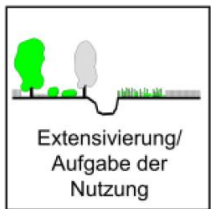


Maßnahmenoptionen entsprechend LAWA (2015)	Ziel: GÖP	Ziel: GÖZ
Rückbau/Ersatz von Sohlverbau <i>Betrachtungsebene: Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 Rückbau/Ersatz von Sohlverbau	 Rückbau/Ersatz von Sohlverbau
Einbringen/Belassen von Totholz <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper</i>	  Einbringen/Belassen von Totholz 	 Einbringen/Belassen von Totholz
Einbringen/Belassen von Totholz <i>Betrachtungsebene: Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 Einbringen/Belassen von Totholz	 Einbringen/Belassen von Totholz
Anhebung der Sohle <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper</i>	  Anhebung der Sohle 	 Anhebung der Sohle
Anhebung der Sohle <i>Betrachtungsebene: Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 Anhebung der Sohle	 Anhebung der Sohle
(Wieder-)Herstellung naturnaher/optimierter Gefälleverhältnisse <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper</i>	  (Wieder-) Herstellung naturnaher/optimierter Gefälleverhältnisse 	 (Wieder-) Herstellung naturnaher/optimierter Gefälleverhältnisse
(Wieder-)Herstellung naturnaher/optimierter Gefälleverhältnisse <i>Betrachtungsebene: Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 (Wieder-) Herstellung naturnaher/optimierter Gefälleverhältnisse	 (Wieder-) Herstellung naturnaher/optimierter Gefälleverhältnisse

Maßnahmenoptionen entsprechend LAWA (2015)	Ziel: GÖP	Ziel: GÖZ
Erhalt/Entwicklung naturnaher Sohlstrukturen <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper</i>	 Erhalt/Entwicklung naturnaher Sohlstrukturen	 Erhalt/Entwicklung naturnaher Sohlstrukturen
Erhalt/Entwicklung naturnaher Sohlstrukturen <i>Betrachtungsebene: Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 Erhalt/Entwicklung naturnaher Sohlstrukturen	 Erhalt/Entwicklung naturnaher Sohlstrukturen
Prüfung/Optimierung des Geschiebemanagements <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper</i>	 Prüfung/Optimierung des Geschiebemanagements	 Prüfung/Optimierung des Geschiebemanagements
Prüfung/Optimierung des Geschiebemanagements <i>Betrachtungsebene: Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 Prüfung/Optimierung des Geschiebemanagements	 Prüfung/Optimierung des Geschiebemanagements
Ökologisch verträgliche Gewässerunterhaltung <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper sowie Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 Ökologisch verträgliche Gewässerunterhaltung	 Ökologisch verträgliche Gewässerunterhaltung
Morphologie: Ufer		
Erhalt/Entwicklung naturnaher Uferstrukturen <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper</i>	 Erhalt/Entwicklung naturnaher Uferstrukturen	 Erhalt/Entwicklung naturnaher Uferstrukturen
Erhalt/Entwicklung naturnaher Uferstrukturen <i>Betrachtungsebene: Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 Erhalt/Entwicklung naturnaher Uferstrukturen	 Erhalt/Entwicklung naturnaher Uferstrukturen

Maßnahmenoptionen entsprechend LAWA (2015)	Ziel: GÖP	Ziel: GÖZ
Erhalt/Entwicklung von lebensraumtypischer Ufervegetation <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper sowie Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 Erhalt/Entwicklung von lebensraumtypischer Ufer Vegetation	 Erhalt/Entwicklung von lebensraumtypischer Ufer Vegetation
Rückbau/Ersatz/Optimierung von Uferverbau <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper</i>	  Rückbau/Ersatz/Optimierung von Uferverbau 	 Rückbau/Ersatz/Optimierung von Uferverbau
Rückbau/Ersatz/Optimierung von Uferverbau <i>Betrachtungsebene: Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 Rückbau/Ersatz/Optimierung von Uferverbau	 Rückbau/Ersatz/Optimierung von Uferverbau
Aufweitung des Gerinnes <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper</i>	  Aufweitung des Gerinnes 	 Aufweitung des Gerinnes
Aufweitung des Gerinnes <i>Betrachtungsebene: Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 Aufweitung des Gerinnes	 Aufweitung des Gerinnes
Abflachen des Ufers <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper</i>	  Abflachen des Ufers 	 Abflachen des Ufers
Abflachen des Ufers <i>Betrachtungsebene: Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 Abflachen des Ufers	 Abflachen des Ufers

Maßnahmenoptionen entsprechend LAWA (2015)	Ziel: GÖP	Ziel: GÖZ
Neubau/Optimierung von Längsbauwerken <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper sowie Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 Neubau/Optimierung von Längsbauwerken	 Neubau/Optimierung von Längsbauwerken
Anlage/Ausweisung/Entwicklung eines Uferstreifens <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper</i>	  Anlage/Ausweisung/Entwicklung eines Uferstreifens 	 Anlage/Ausweisung/Entwicklung eines Uferstreifens
Anlage/Ausweisung/Entwicklung eines Uferstreifens <i>Betrachtungsebene: Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 Anlage/Ausweisung/Entwicklung eines Uferstreifens	 Anlage/Ausweisung/Entwicklung eines Uferstreifens
Morphologie: Umfeld		
Neutrassierung des Gewässerlaufes <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper</i>	  Neutrassierung des Gewässerlaufes 	 Neutrassierung des Gewässerlaufes
Neutrassierung des Gewässerlaufes <i>Betrachtungsebene: Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 Neutrassierung des Gewässerlaufes	 Neutrassierung des Gewässerlaufes
Anlage/Entwicklung von Nebengerinnen/Rinnen <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper</i>	  Anlage/Entwicklung von Nebengerinnen/Rinnen 	 Anlage/Entwicklung von Nebengerinnen/Rinnen
Anlage/Entwicklung von Nebengerinnen/Rinnen <i>Betrachtungsebene: Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 Anlage/Entwicklung von Nebengerinnen/Rinnen	 Anlage/Entwicklung von Nebengerinnen/Rinnen

Maßnahmenoptionen entsprechend LAWA (2015)	Ziel: GÖP	Ziel: GÖZ
Anlage/Entwicklung von Auengewässern/Auenstrukturen <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper</i>	 <p>Anlage/Entwicklung von Auengewässern/Auenstrukturen</p>	 <p>Anlage/Entwicklung von Auengewässern/Auenstrukturen</p>
Anlage/Entwicklung von Auengewässern/Auenstrukturen <i>Betrachtungsebene: Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 <p>Anlage/Entwicklung von Auengewässern/Auenstrukturen</p>	 <p>Anlage/Entwicklung von Auengewässern/Auenstrukturen</p>
Anlage/Entwicklung einer Sekundäraue <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper</i>	 <p>Anlage/Entwicklung einer Sekundäraue</p>	 <p>Anlage/Entwicklung einer Sekundäraue</p>
Anlage/Entwicklung einer Sekundäraue <i>Betrachtungsebene: Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 <p>Anlage/Entwicklung einer Sekundäraue</p>	 <p>Anlage/Entwicklung einer Sekundäraue</p>
Reaktivierung der Primäraue <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper</i>	 <p>Reaktivierung der Primäraue</p>	 <p>Reaktivierung der Primäraue</p>
Reaktivierung der Primäraue <i>Betrachtungsebene: Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 <p>Reaktivierung der Primäraue</p>	 <p>Reaktivierung der Primäraue</p>
Naturnahe/durchgängige Anbindung eines Nebengewässers <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper</i>	 <p>Naturnahe/durchgängige Anbindung eines Nebengewässers</p>	 <p>Naturnahe/durchgängige Anbindung eines Nebengewässers</p>

Maßnahmenoptionen entsprechend LAWA (2015)	Ziel: GÖP	Ziel: GÖZ
Naturnahe/durchgängige Anbindung eines Nebengewässers <i>Betrachtungsebene: Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 Naturnahe/durchgängige Anbindung eines Nebengewässers	 Naturnahe/durchgängige Anbindung eines Nebengewässers
Erhalt/Entwicklung von Sekundärbiotopen <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper sowie Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 Erhalt/Entwicklung von Sekundärbiotopen	 Erhalt/Entwicklung von Sekundärbiotopen
Entfernen/Ersetzen nicht lebensraumtypischer Gehölze <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper sowie Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 Entfernen/Ersetzen nicht lebensraumtypischer Gehölze	 Entfernen/Ersetzen nicht lebensraumtypischer Gehölze
Erhalt/Entwicklung naturnaher Auengebüsche/Auwälder <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper</i>	 Erhalt/Entwicklung naturnaher Auengebüsche/Auwälder	 Erhalt/Entwicklung naturnaher Auengebüsche/Auwälder
Erhalt/Entwicklung naturnaher Auengebüsche/Auwälder <i>Betrachtungsebene: Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 Erhalt/Entwicklung naturnaher Auengebüsche/Auwälder	 Erhalt/Entwicklung naturnaher Auengebüsche/Auwälder
Extensivierung/Aufgabe der Nutzung <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper sowie Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 Extensivierung/Aufgabe der Nutzung	 Extensivierung/Aufgabe der Nutzung
Erhalt/Entwicklung von Nass- und Feuchtwiesen, Röhrichtern und Großseggenriedern <i>Betrachtungsebene: WRRL-Wasserkörper sowie Teilstrecken eines WRRL-Wasserkörpers</i>	 Erhalt/Entwicklung von Nass- und Feuchtwiesen, Röhrichtern, Großseggenriedern	 Erhalt/Entwicklung von Nass- und Feuchtwiesen, Röhrichtern, Großseggenriedern

2.7 Verfügbarkeit und Qualität von Fachdaten

2.7.1 Grundlagendaten: Lahn-GIS

Für das Vorhaben kann auf das sogenannte „Lahn-GIS“ zurückgegriffen werden - eine sehr umfangreiche und fundierte Zusammenstellung von Geo- und Nutzungsdaten in einem geographischen Informationssystem, die das Wasser- und Schifffahrtsamt Koblenz vorgenommen hat (WSA 2018b) und die freundlicherweise bereitgestellt wurde. Dabei basiert das Lahn-GIS auf zahlreichen Daten Dritter; zu den einzelnen Datenquellen wird bei WSA Koblenz (2018b) eine Datei „Datenquellen_Lahn-GIS_Grunddaten.pdf“ vorgehalten. Zudem werden die einzelnen Fachdaten erläutert und kommentiert. Insbesondere werden die GIS-Daten zusätzlich neben dem Hauptbericht (WSA Koblenz 2019a) in folgenden, nach Hauptschwerpunkten gruppierten Teilberichten erläutert:

- „Bauwerke und Strecke“ (WSA Koblenz 2019b)
- „Historie und Denkmalschutz“ (WSA Koblenz 2019c)
- „Ökologie und Naturschutz“ (WSA Koblenz 2019d)
- „Wasserbezogene Naherholung und Wassertourismus“ (WSA Koblenz 2019e)
- „Wasserwirtschaft“ (WSA Koblenz 2019f)

Primäre Geo- und Nutzungsdaten sind damit in sehr guter Qualität und hinreichender Raumabdeckung vorhanden. Auf die einzelnen Datengrundlagen wird im Weiteren bei den Bewertungen der ausgewählten Staustufen und Ökosystemleistungen näher eingegangen.

2.7.2 Spezifische Datengrundlagen

Zu den spezifischen Datengrundlagen gehören all jene, die entweder räumlich nicht unmittelbar etwas mit der Lahn zu tun haben (s. z. B. Kapitel 5 „Vergleichende Untersuchungen (Kalibrierung)“) oder noch nicht in den o. g. Grundlagen vorhanden sind, aber für die Bewertung der Ökosystemleistungen benötigt werden. Diese Datengrundlagen sind in Tabelle 2-8 dargestellt. Auf die Datengrundlagen wird bei den Bewertungen der ausgewählten Staustufen und Ökosystemleistungen näher eingegangen.

Tabelle 2-8: Wesentliche spezifische Informationsquellen bzw. Datengrundlagen

Datensatz	Datenquelle
Bodenübersichtskarte 1:250.000 (BÜK250) von Deutschland	© Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR 2019)
Ertragspotenzial des Bodens (BFD5L)	© Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG 2020), © Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (LGB RLP 2020)
Geologische Übersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1: 250 000 (GÜK250)	© BGR (2019)

Datensatz	Datenquelle
ATKIS Basis-DLM	© Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz (LVerGeo 2020), © Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation (HVBG 2020)
Daten zur WRRRL-Umsetzung in Hessen und Rheinland-Pfalz (Wasserkörper-Steckbriefe, Bewirtschaftungsmaßnahmen, Informationen etc.)	www.geoportal.bafg.de
Topographische Datenbasis	© GeoBasis-DE / BKG (2019)
Digitales Geländemodell – Gitterweite von 1 m (DGM1)	© LVerGeo 2020, © HVBG 2020
Digitales Oberflächenmodell – Gitterweite von 5 m (bDOM5, DOM5)	© LVerGeo 2020, © HVBG 2020
Fachliteratur und spezifische Informationen	Entsprechend Quellenverzeichnis

2.8 Absicherung der räumlichen Übertragbarkeit

Entsprechend der Aufgabenstellung sind die Ergebnisse der Studie so aufzubereiten, dass eine Übertragbarkeit auf annähernd ähnliche Fallkonstellationen an der Lahn oder vergleichbaren Gewässern möglich wird (vgl. Kapitel 1.4).

Forschungspraktisch bedeutet dies, dass wissenschaftliche (insbesondere geowissenschaftliche bzw. geographisch-landschaftsökologische) Arbeitsweisen angewandt werden müssen, die trotz der Individualität der einzelnen Untersuchungsobjekte die Gemeinsamkeiten und die bestimmenden übergreifenden Einflussgrößen erkennbar machen. Dies erzwingt, Möglichkeiten der Verallgemeinerung zu erschließen.

In den Geowissenschaften bestehen zwei Formen der Verallgemeinerung: das Generalisieren und das Typisieren (NEEF 1967):

1. Generalisieren bedeutet die Aussonderung nach Bedeutungsstufen bei Beibehaltung der Lagebeziehungen reeller geographischer Einheiten. Sie geht stets mit einer Verminderung der Inhaltsdichte einher, was man sehr anschaulich beim kartographischen Angleichen des Inhaltes an die maßstäbliche Darstellbarkeit erkennen kann. Das Generalisieren ist mithin keine räumliche Abstraktion.
2. Typisieren bedeutet hingegen ein Verallgemeinern unter Verzicht (zumindest zeitweilig) der Lage und der Lagebeziehungen geographischer Objekte. Beim Typisieren kann man daher räumlich voneinander entfernte Beispiele anhand der zugrunde gelegten Merkmale zu einem (einheitlichen) Kollektiv vereinigen. Da man verschiedene Kollektivmerkmale bilden kann, kann dasselbe geographische Objekt sogar verschiedenen Typen und Kollektiven zugeordnet werden.

Gerade das Typisieren bietet sich damit zur Absicherung räumlicher Übertragbarkeit an. Typisieren bildet einen bewussten und selektiven Abstraktionsprozess, bei dem unwesentliche Merkmale, Eigenschaften und funktionelle Beziehungen außer Acht gelassen werden, so dass die wesentlichen und bestimmenden Zusammenhänge gefunden werden können. Typen beruhen damit auf übereinstimmenden Merkmalen in Struktur, Dynamik und Entwicklung (NEEF 1967). Diese Herangehensweise bildet u. a. auch die Basis für

das im Gewässer- und Auenschutz praktizierte Typisieren von Fließgewässern (z. B. MEHL 1998, MEHL & THIELE 1998, SOMMERHÄUSER & SCHUMACHER 2003) und Auen (KOENZEN 2005).

Eine Übertragbarkeit der Studie kann sich insofern auf folgende Aspekte erstrecken:

- Nachnutzbare Systematik/Methodologie („Modell“) des Herangehens
- Vergleichbare Gewässer-/Auentypen, ggf. auch im Rahmen von „gröberen“ Typen
- Geeignete Indikatoren (mit Maßstabsbezug) sowie Methoden, Parameter und Kriterien
- Jeweils maßgebliche Eigenschaften (Merkmale in Struktur, Dynamik und Entwicklung)
- Vergleichbare und geeignete ökonomische Ansätze und Werte (Preise, Kosten/Nutzen)
- Mit Komplexgrößen übertragbare Bewertungsergebnisse (ggf. „leistungsnormiert“, z. B. flächen- oder abflussnormiert)

Die Grenzen und Möglichkeiten der Übertragbarkeit werden mithin insbesondere durch folgende Kriterien bestimmt:

- Typenzugehörigkeit (vor allem Gewässer- und/oder Auentyp), typologische „Verwandtschaft“, Landschaftsbezug
- Gleichartigkeit/Ähnlichkeit von Fallkonstellationen (vor allem hinsichtlich anthropogener Belastung und Entwicklungsoptionen); ggf. Identifikation von entsprechenden Mustern
- Untersuchungsmaßstab/-dimension, maßstabsgerechte Indikatoren und Verfügbarkeit von Daten in der erforderlichen räumlichen und zeitlichen Auflösung
- Objektgröße
- Ökonomisches System und entsprechende Voraussetzungen (Ansätze und Werte)

3 Erfassung und Bewertung von Ökosystemleistungen

3.1 Grundlagen

3.1.1 Einführung

Ökosystemleistungen sind als direkte und indirekte Beiträge von Ökosystemen zum menschlichen Wohlergehen definiert; sie stehen für den Nutzen, den der einzelne Mensch, eine Gruppe von Menschen oder die Gesellschaft aus entsprechenden Prozessen und Funktionen zieht (WÜSTEMANN et al. 2014, Abbildung 3-1).

Als anthropozentrisches Konzept können ÖSL sowohl als Werte im Sinne der Bedeutung und Wichtigkeit der Natur betrachtet werden, als auch in vielen Fällen in Geldeinheiten ausgedrückt werden. Ein ökonomischer Wert spiegelt am Ende immer die Nachfrage nach ÖSL wider (Naturkapital Deutschland – TEEB DE 2016a), da diese eine Voraussetzung für die Erzielung eines Nutzens darstellt. Die Nachfrage kann dabei aus dem tatsächlichen Konsum oder der tatsächlichen Nutzung eines Gutes oder einer Leistung bestehen, oder aber drückt sich in einer Wertschätzung für Umweltgüter oder -leistungen aus, beispielsweise um diese für künftige Generationen zu erhalten, ohne sie aber selber unmittelbar zu nutzen (WOLFF et al. 2015).

Ökosystemleistungen sind begrifflich zwar in der aktuellen Diskussion deutlich vom Blickwinkel der Umweltökonomie mit(geprägt), stehen aber vor allem im Hinblick auf die Analyse von landschaftlichen Funktionen und Prozessen sowie auch im Hinblick auf gesamtwirtschaftlichen und gesamtgesellschaftlichen Nutzen in einer Reihe mit älteren geographisch und landschaftsökologisch ausgerichteten Arbeiten in Deutschland. Für diese „Naturraum- und Landschaftsforschung“ sind vor allem und exemplarisch zu nennen:

- Aspekte eines gebietswirtschaftlichen Potenzials (NEEF 1966) sowie von Nebenwirkungen der gesellschaftlichen Tätigkeiten im Naturraum (NEEF 1976)
- Funktionsleistungsgrade von Landschaftselementen (NIEMANN 1977)
- Ableitung und Kennzeichnung von Naturraumpotenzialen (HAASE 1978, MANNSFELD 1978)
- Partielle Naturraumpotentiale: Biotisches Ertragspotenzial, Wasserpotenzial, Entsorgungspotenzial, Biotisches Regulationspotenzial, Geoenergetisches Potenzial, Bebauungspotenzial, Rekreationspotenzial (HAASE 1978)
- Möglichkeiten der Leistungssteigerung und Potentialerhöhung von Geosystemen und der optimalen Nutzung natürlicher Prozessabläufe für bestimmte gesellschaftliche Nutzungsziele (NEUMEISTER 1978)
- Messung der „Leistung“ des Geosystems im Sinne physisch-geographischer Prozessforschung (NEUMEISTER 1979)
- Naturraumerkundung und Landnutzungsgrundlagen (KOPP et al. 1982, HAASE et al. 1991)
- Umweltfunktionen im Umweltgutachten des Sachverständigenrates für Umweltfragen (SRU 1987)
- Landschaftsökosystem mit den Kompartimenten Geo- und Biosystem (LESER 1991)
- Leistungsvermögen des Landschaftshaushaltes mit entsprechenden Funktionen und Potenzialen (Analyse- und Bewertungsanleitung des Zentralausschusses für deutsche Landeskunde, MARKS et al. 1992)
- Landschaftsfunktionen als „derzeitige und potenzielle Leistungsfähigkeit der Landschaft zur nachhaltigen Erfüllung menschlicher Ansprüche an den Naturhaushalt und an das Landschaftserleben“ (VON HAAREN 2004)

Es erscheint daher auch als praktikabel, vor allem bei den Methoden zur Bestimmung der ÖSL auf geeignete Naturraumpotenziale, Elemente des Landschaftshaushalts bzw. Landschaftsfunktionen mit hoher arealer Bindung im Sinne einer „Gebrauchseigenschaft der Landschaft“ (HARTSCH & SANDNER 1991) zu setzen.

Bei den ÖSL unterscheidet man bislang neben bzw. aufbauend auf den Basisleistungen drei Typen (WÜSTEMANN et al. 2014):

- (1) Versorgungsleistungen, z. B. Bereitstellung von Gütern wie Trink- und Brauchwasser, Nahrung, Rohstoffe,
- (2) regulative Leistungen, z. B. Selbstreinigung, Abführung von Hochwasser (Minderung von Naturgefahren/Hochwasserschutz), Klimaregulation und
- (3) kulturelle Leistungen im Sinne von Landschaftsbild, Spiritualität und Inspiration, Erholungs- sowie Bildungsmöglichkeiten.

Mittlerweile werden in Europa als weitere Gruppe sogenannte „abiotische Leistungen“ hinzugezogen, vgl. aktuellen Leitfaden der Europäischen Kommission zur Bewertung von Ökosystemleistungen in EU-Life-Vorhaben (Assessing ecosystems and their services in LIFE projects. A guide for beneficiaries, https://ec.europa.eu/easme/sites/easme-site/files/life_ecosystem_services_guidance.pdf).

Das zugrundeliegende ökonomische Wertkonzept des ÖSL-Ansatzes wird anschaulich bei DEHNHARDT et al. (2016) beschrieben. Ökonomische Werte werden gemäß der ökonomischen Theorie in Form individueller Präferenzen ausgedrückt, die grundlegend den Ausgangspunkt für die Erklärung sozialer Phänomene bildet und durch Aggregation der individuellen Werte auch der kollektiven Präferenzen darstellen kann (zu unterschiedlichen Bewertungsmethoden vgl. Kapitel 3.4). Die Wertschätzung für die Verbesserung eines Umweltzustands drücken Individuen dabei über ihre (maximale) Zahlungsbereitschaft (oder aber ihre (minimale) Entschädigungsforderung für die Verschlechterung eines Umweltzustands) aus. Mit diesen Maßstäben wird der monetäre Wert von Umweltveränderungen gemessen. „Eines der normativen Prinzipien, die diesem ökonomischen Wertkonzept zugrunde liegen, ist damit die Orientierung an individuellen Präferenzen und die Annahme, dass diese – und nicht nur Expertenwissen – als ein Maßstab zur Beurteilung der Vorteilhaftigkeit einer Maßnahme herangezogen werden können“ (DEHNHARDT et al. 2016, S. 307). Insofern finden nicht nur materielle Werte Berücksichtigung, sondern alle Werte, die zum menschlichen Wohlergehen beitragen. Hierfür steht der Begriff des „ökonomischen Gesamtwertes“, der nutzungsabhängige und nicht-nutzungsabhängige Werte zusammenfasst. Nutzungsabhängige Werte sind dabei entweder direkt (z. B. Versorgungsleistungen oder kulturelle Leistungen) oder indirekt (z. B. Regulationsleistungen) mit der Nutzung eines Umweltgutes verbunden. Nicht-nutzungsunabhängige Werte können in Form von Existenz-, Options oder Vermächtniswerten auftreten. Insgesamt erfasst der ökonomische Ansatz marktfähige und auch nicht marktfähige Güter – Hauptsache sie dienen dem menschlichen Wohlergehen.

Wesentlicher Ausgangspunkt für die Operationalisierung des ÖSL-Konzepts ist die Wirkungskaskade von natürlichen Strukturen und Prozessen, ökologischen Funktionen, ÖSL und menschlichem Wohlbefinden bzw. Nutzen (DE GROOT et al. 2010). Generelles Ziel ist die Integration der gesellschaftlichen und ökonomischen Auswirkungen in die Entscheidungsprozesse. So kann der Effekt von Fluss- und Auenrenaturierungsmaßnahmen auf die ÖSL sowohl im Vorfeld bzw. konzeptionell, als auch nach Maßnahmenumsetzung bewertet werden (MEHL et al. 2018a, PODSCHUN et al. 2018a, b).



Abbildung 3-1: Zusammenhang zwischen menschlichem Wohlergehen und Ökosystemleistungen, Grafik aus: Naturkapital Deutschland - TEEB DE (2016b)

3.1.2 Definitionen

Als Grundlage im Hinblick auf die wichtigsten Definitionen für Ökosystemleistungen (ÖSL) wird hier vor allem auf die Zusammenstellung des Forschungsvorhabens „RESI“ (Systematische Anwendung des ÖSL-Konzeptes auf Flussauenlandschaften) zurückgegriffen, an dem auch die Autoren beteiligt waren (PODSCHUN et al. 2018a, b). Die Definitionen basieren im Wesentlichen auf denen von „Naturkapital Deutschland“ (TEEB DE 2012, 2015, 2016a, b). Teilweise wurden diese erweitert um aktuelle Definitionen des Weltbiodiversitätsrates (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services - IPBES):

- **Ökosystemfunktion** („ecosystem function“) umfasst physikalische, chemische und biologische Prozesse und Wechselwirkungen, die in den verschiedenen Ökosystemen stattfinden (TEEB DE 2012).
- **Ökosystemleistung (ÖSL)** („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 Nutzen des Ökosystems für den Menschen gebunden (TEEB DE 2015).
- **Menschliches Wohlergehen** („human well-being“) ist 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-Konzeptes lassen sich Elemente des Wohlbefindens in die Gruppen menschliche Grundbedürfnisse sowie ökonomisches, ökologisches und subjektives Wohlbefinden einteilen

(SUMMERS et al. 2012). Dabei stellt die nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen die Grundlage für das menschliche Wohlergehen dar und eine Übernutzung eines Ökosystems kann das menschliche Wohlergehen dauerhaft reduzieren (SUMMERS et al. 2012).

- **Naturkapital:** Der Begriff Naturkapital ist eine ökonomische Metapher für den begrenzten Vorrat an physischen und biologischen Ressourcen der Erde. Dies bildet damit den sogenannten „natürlichen Kapitalbestand“ und steht für die limitierte Bereitstellung von Gütern und Leistungen durch Ökosysteme. Naturkapital bildet zusammen mit Sachkapital (Maschinen, Produktionsanlagen etc.), Geldkapital und Humankapital (Arbeit und Wissen) die Grundlage für Wertschöpfung und Wohlergehen dar. Naturschutz im erweiterten Sinne und ein nachhaltiger Umgang mit unseren natürlichen Lebensgrundlagen sind folglich ein Gebot ökonomischer Weitsicht und Verantwortung (TEEB DE 2012).
- **Nutzen** („benefit“) von ÖSL 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 (Naturkapital Deutschland – TEEB DE 2012). Nach IPBES (2016) bildet der **Nutzen** einen Vorteil, der zum Wohlbefinden im Sinne der Erfüllung von Bedürfnissen und Wünschen beiträgt. Als Beitrag der Natur zum menschlichen Wohlergehen (nature’s contributions to people) ist ein Nutzen ein positiver Beitrag (es kann dabei auch negative Beiträge, Nachteile oder Kosten der Natur geben, wie z. B. Krankheiten).
- **Wertmaßstäbe** umfassen sowohl rechtliche Ziele und Standards, das heißt Normen (z. B. aus dem BNatSchG oder der EU-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 oder monetären Werten).
- **Bereitgestellte (dargebotene) ÖSL** („offered“ oder „potential ecosystem services“): 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).
- **Nachfrage nach ÖSL** („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 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).
- **Genutzte ÖSL** („utilized ecosystem services“ oder „ecosystem service flow“) 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).
- **Menschliche Einflüsse** machen 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 (i) Veränderung des menschlichen Beitrags (Input) zur Erbringung von Ökosystemleistungen und (ii) beabsichtigte oder unbeabsichtigte Veränderung (Modifikationen) des Ökosystems Flusslandschaft.

3.2 Systematik und Bewertungsansätze/-verfahren für Ökosystemleistungen von Fließgewässern und Auen

Im Projekt RESI (vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördertes Verbundprojektes „River Ecosystem Service Index“ (RESI), Förderkennzeichen 033W024A-K) wurden ein Konzept und eine Methodik zur Erfassung und Bewertung von ÖSL in Flüssen und Auen entwickelt. Ziel war es dabei u. a., vor dem Hintergrund des aktuellen Forschungsstandes (Tabelle 3-1) und des Feedbacks von Experten im Gewässermanagement anwendbare konzeptionelle Kernbegriffe zu definieren und eine auf Flusslandschaften angepasste Klassifikation von ÖSL zu erstellen (PODSCHUN et al. 2018a, b). Die Klassifikation wird auch für die ÖSL-Bewertung an der Lahn als fundierte Grundlage angesehen. Abbildung 3-2 zeigt die mit dem RESI-Ansatz bewertbaren Ökosystemleistungen (detaillierte Ausführungen in Kapitel 3.3).

Tabelle 3-1: Übersicht der Studien bzw. Veröffentlichungen, die für den Vergleich der Klassifikation von Ökosystemleistungen im Projekt „RESI“ herangezogen wurden

Studie/Veröffentlichung	Titel (teilweise mit dem zugeordneten Projektkronym)	Schwerpunkt/Fokus
TURNER (2008)	Valuing Ecosystem Services: The Case of Multi-functional Wetlands	aquatisch, semiaquatisch
DE GROOT et al.(2010)	Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making	umfassende ÖSL-Liste
POSTHUMUS et al. (2010)	A framework for the assessment of ecosystem goods and services; a case study on lowland floodplains in England	aquatisch, semiaquatisch
EGOH et al. (2012)	Indicators for mapping ecosystem services: a review	umfassende ÖSL-Liste
KEELER et al. (2012)	Linking water quality and well-being for improved assessment and valuation of ecosystem services	aquatisch
SCHOLZ et al. (2012), MEHL et al. (2013)	Ökosystemfunktionen von Flussauen. Analyse und Bewertung von Hochwasserretention, Nährstoffrückhalt, Kohlenstoffvorrat, Treibhausgasemissionen und Habitatfunktion.	aquatisch, semiaquatisch
HAINES-YOUNG & POTSCHIN (2013)	Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) Version 4.3	international standardisierte ÖSL Klassifikation
LIQUETE et al. (2013)	Current Status and Future Prospects for the Assessment of Marine	aquatisch, semiaquatisch

	and Coastal Ecosystem Services: A Systematic Review	
CLERICI et al. (2014)	Land-cover change dynamics and insights into ecosystem services in European stream riparian zones	aquatich, semiaquatich, bezogen auf Burkhard et al. (2012)
HAINES-YOUNG & POTSCHIN (2014)	Typology/Classification of Ecosystem Services. (OpenNESS Ecosystem Services Reference Book, Vol. 2)	umfassende ÖSL-Liste, Vergleich MA, TEEB, CICES
MAES et al. (2014)	Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services (MAES) Indicators for ecosystem assessments under Action 5 of the EU Biodiversity Strategy to 2020	umfassende ÖSL-Liste
BARK et al. (2015)	Operationalising the ecosystem services approach in water planning: a case study of indigenous cultural values from the Murray–Darling Basin, Australia	aquatich, semiaquatich, kulturelle ÖSL nach CHAN et al. (2012)
GRIZZETTI et al. (2015)	Cook-book for water ecosystem service assessment and valuation (MARS)	umfassende ÖSL-Liste, aquatich, semiaquatich

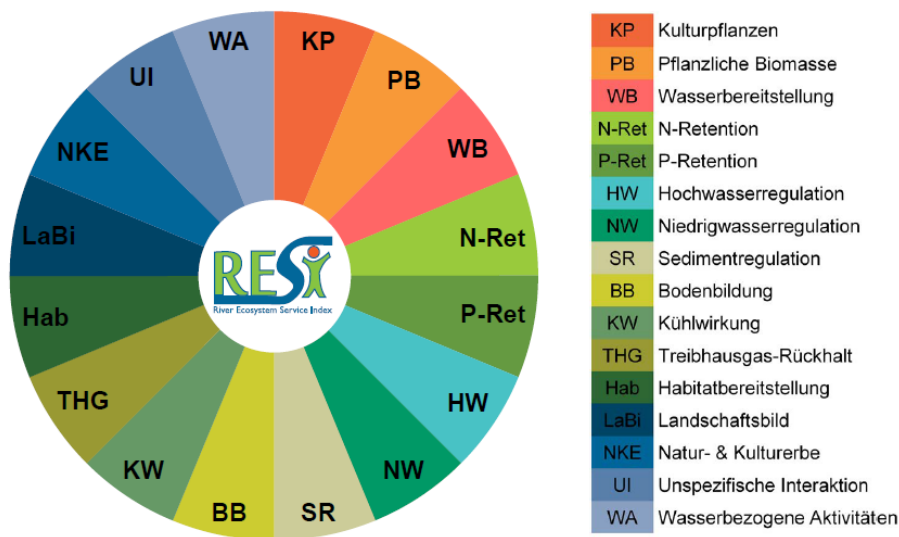


Abbildung 3-2: Mit dem RESI-Index (Stand 09/2018) bewertbare Ökosystemleistungen; Grafik aus: PODSCHUN et al. (2018a)

3.3 Qualitative Bewertung

Die Ökosystemleistungen (ÖSL) können, wie oben beschrieben, gemäß dem anthropozentrischen Ansatz als Werte im Sinne der Bedeutung und Wichtigkeit der Natur betrachtet werden. Dies lässt sich für entsprechende Aufgabenstellungen so operationalisieren, dass ÖSL zunächst quantitativ erfasst (berechnet) werden und dann auf dieser Grundlage z. B. nach Wertstufen bzw. Skalen qualitativ bewertet werden. Fehlen Daten und/oder Methoden, um ÖSL zu quantifizieren, oder entziehen sie sich einer sinnvollen Quantifizierungsmöglichkeit, dann kann ersatzweise auch auf unmittelbare qualitative Abschätzung gesetzt werden (mittels Expertenbewertung). Bei der qualitativen Bewertung wird einheitlich das Dargebot an ÖSL bewertet; die reale Nachfrage spielt zunächst keine Rolle.

Zum anderen können ökonomische Bewertungsmethoden angewandt werden, welche die quantitativen Veränderungen letztlich in monetäre Einheiten überführen (Kapitel 3.4). Als individuelle (monetäre) Wertschätzung steht ein ökonomisches Bewertungsergebnis für das Maß an Nutzen, den Individuen aus einer Wahlhandlung (z. B. einer Umweltqualitätsverbesserung) ziehen.

Egal, ob quantitativ ermittelt oder mangels Daten/Methoden qualitativ abgeschätzt, die Bewertung muss am Ende immer qualitativ erfolgen. Für diese qualitative Bewertung der Ökosystemleistungen wird vorgeschlagen, wie beim RESI (s. o. bzw. PODSCHUN et al. 2018a, b) auf der Basis einer linearen Skalierung zwischen 0 und 100 % bereitgestellter ÖSL zu agieren (Tabelle 3-2), aber gegenüber dem RESI eine weitere Klasse „0“ für äußerst geringe oder gar fehlende ÖSL hinzuzufügen und so das ursprünglich 5-stufige System auf 6 Stufen umzustellen. Bewusst wurde bereits beim RESI die Skala gegenüber der WRRL-Skala entgegengesetzt ausgerichtet (einheitliche Konvention), was hier erhalten bleibt.

Die Klasse „0“ ermöglicht es vor allem, eine treffendere Bewertung bei ggf. nur äußerst gering vorhandener oder gar fehlender ÖSL vorzunehmen, da solche Fälle ansonsten in der „breiteren“ Klasse „1“ aufgewertet würden. Inhaltlich entspricht dies der 6-stufigen Skala von BURKHARD & MAES (2017) bzw. des aktuellen EU-Leitfadens zur Bewertung von Ökosystemleistungen in EU-Life-Projekten (https://ec.europa.eu/easme/sites/easme-site/files/life_ecosystem_services_guidance.pdf).

Tabelle 3-2: Sechsstufige Skalierung bei der Bewertung der Ökosystemleistungen (erweitert nach MEHL et al. 2018a)

Klasse	Ökosystemleistung	Wertebereich der relativen Ökosystemleistung (0-100 %)
5	Sehr hoch	> 80 %
4	Hoch	> 60 % bis ≤ 80 %
3	Mäßig	> 40 % bis ≤ 60 %
2	Gering	> 20 % bis ≤ 40 %
1	Sehr gering	> 5 % bis ≤ 20 %
0	Äußerst gering/fehlend	≤ 5 %

Das Maximum an Ökosystemleistung (100 % Leistung) wird nach dem RESI-Ansatz unter der Maßgabe abgeleitet (berechnet oder abgeschätzt), dass es sich um „die im betreffenden Gebiet beste Ausprägung“ (HARTSCH & SANDNER 1991) handelt (vgl. PODSCHUN et al. 2019a). In dieser Studie wird stark auf vorhandene, vor allem geowissenschaftliche Bewertungsskalen gesetzt (s. im Folgenden). Es erscheint auch daher günstiger, den damit integrierten Bezug auf größere Landschaftsräume (administrativ: Bund und/oder Länder) in Bezug auf das Maximum an Ökosystemleistung auch für erforderliche Herleitungen bislang fehlender Skalen zu nutzen. So wird eine kohärente, inhaltlich-sachlich angemessene Bewertung der Ökosys-

temleistungen ermöglicht, auch wenn das dazu führen kann, dass sich ggf. planvariantenabhängige Veränderungen an Ökosystemleistung nicht durch einen „Klassenwechsel“ auswirken. Spätestens in einer ökonomischen Bewertung würden Unterschiede zwischen Varianten aber deutlich werden.

Da (wie bereits erwähnt) etliche und bewährte, vor allem geowissenschaftliche Klassifizierungs-/Bewertungsskalen bestehen und entsprechende GIS-Daten vorliegen (zudem häufig mit zugrundeliegender landesspezifischer Methodik), macht es keinen Sinn, jede ÖSL-Skala neu aus den fachlichen Grundlagen/Urspungsdaten abzuleiten. Bestehende Skalen (z. B. 5-stufige Skalen des Ertragspotenzials von Böden) sollten dann unter Wahrung der fachlichen Prämissen bestmöglich in die 6-stufige Skala nach Tabelle 3-2 überführt werden.

Um gerade regulative Leistungen bei differierenden Systemgrößen (vor allem Flächengröße) untereinander vergleichbar zu machen, können und sollten ggf. flächennormierte Werte verwendet werden (Leistung je Flächeneinheit). Abhängigkeiten/Konkurrenzen zwischen den ÖSL und daher mögliche Konflikte („trade-offs“) kommen in der Realität häufig vor und können zusätzlich betrachtet werden. Eine Maximierung der Leistungen aller Ökosystemleistungen in einem bestimmten Raum ist ohnehin theoretisch nicht möglich. Allerdings reagieren voneinander abhängige und fachlich-inhaltlich positiv korrelierte ÖSL durchaus gruppenhaft und mit einheitlichem Trend auf Veränderungen der Milieubedingungen.

3.4 Ökonomische Bewertung

Aus ökonomischer Perspektive wird der Wert von ÖSL mit Hilfe individueller, in Form von Zahlungsbereitschaften ausgedrückter Präferenzen gemessen. Dieser Wert lässt sich – je nach Art der ÖSL und der Verfügbarkeit von Daten – mit verschiedenen Methoden ermitteln. Grundsätzlich wird unterschieden zwischen (1) marktbasierter Methoden, die reale Marktpreise oder reale Kosten zugrunde legen; (2) präferenzbasierten Methoden, die die Zahlungsbereitschaften entweder auf Grundlage geäußerter oder offener Präferenzen ermitteln oder (3) Sekundäranalysen, die die Ergebnisse bereits vorliegender Studien auf den aktuellen Bewertungskontext übertragen. Ansätze und Methoden zur ökonomischen Bewertung von ÖSL werden im Überblick dargestellt bei KEHL (2014), Naturkapital Deutschland – TEEB DE (2016), TINCH et al. (2019) oder OECD (2018). Eine aktuelle Zusammenstellung von ökonomischen Bewertungsstudien im Kontext von Feuchtgebieten findet sich bei DEHNHARDT et al. (2019).

3.4.1 Marktanalysen

Marktanalysen umfassen sowohl preisbasierte als auch kostenbasierte Methoden und nutzen Marktpreise zur Bewertung von Ökosystemleistungen oder Umweltgütern (KEHL 2014). Preisbasierte Methoden nutzen Marktpreise für Ökosystemleistungen, die direkt auf Märkten gehandelt werden. Diese Bewertungsmethode wird häufig bei versorgenden Ökosystemleistungen angewendet, da hier Marktpreise verfügbar sind, wie beispielsweise für landwirtschaftliche Kulturpflanzen, Fischereiprodukte oder der Holzertrag eines Waldes. Kostenbasierte Methoden hingegen nutzen Schadens-, Vermeidungs- oder Ersatzkosten, um den Wert einer Ökosystemleistung zu ermitteln. Schadenskosten umfassen die Kosten von Umweltschäden, die durch Ökosystemleistungen vermieden werden können (z. B. vermiedene Hochwasserschäden durch die Reaktivierung von Überschwemmungsaue) bzw. die Nutzenverluste, die aus einer Verschlechterung eines Umweltzustandes oder dem Verlust von Ökosystemleistungen resultieren. Vermeidungskosten entstehen durch die Vermeidung oder Verringerung einer bestimmten Umwelteinwirkung und haben keinen direkten Bezug zum Umweltschaden, werden aber häufig zur Bewertung von Umweltschäden herangezogen (UBA 2018). Ersatzkosten hingegen umfassen die Kosten für technische Substitute zur Erbringung einer äquivalenten Ökosystemleistung. Die entsprechenden technischen Substitute werden über Marktpreise bewertet. Dieser Ansatz findet häufig bei regulativen ÖSL Anwendung. Beispielsweise können die Kosten der Wasserreinigung in Kläranlagen als Indikator für den Wert derselben Reinigungsleistung von Retentionsflächen herangezogen werden.

Aus umweltökonomischer Sicht erfassen die kostenbasierten Ansätze nicht den Nutzen einer ÖSL im engeren Sinne, da sie nicht eine gesellschaftliche Nachfrage nach ÖSL zugrunde legen. Sie können jedoch, vor allem im Falle komplexer regulativer Leistungen, als Proxy für den Wert der Leistung angesehen werden (DEHNHARDT et al. 2019).

Bei dieser Methode werden Ökosystemleistungen, welche in ihrer ursprünglichen oder einer ähnlichen Form an Märkten gehandelt werden können, mit Hilfe der jeweiligen Marktpreise bewertet. Diese Art der Bewertung wird häufig bei versorgenden Ökosystemleistungen angewandt. Sie eignet sich jedoch auch zur Erfassung von regulierenden Ökosystemleistungen. Beispielsweise ist es möglich die Bereitstellung von Fisch anhand des entsprechenden Marktpreises zu bewerten. Gleichermäßen können auch Ersatzkosten für äquivalente Ökosystemleistungen über Marktpreise bewertet werden. Fallen z. B. regulierende Ökosystemleistungen, wie die natürliche Hochwasserregulation eines Ökosystems aus, können technische Substitute diesen Ausfall kompensieren. Die entsprechenden Kosten (Installation und Bereitstellung der Technik sowie Wartungskosten) können ebenfalls über Marktanalysen erfasst werden.

Beispiele für die ökonomische Bewertung von Fließgewässern mit Hilfe kostenbasierter Methoden finden sich u. a. bei GROSSMANN (2012). Hier wurde der ökonomische Wert der Nährstoffretentionsleistung von Flusssauen mit Hilfe der Ersatzkostenmethode ermittelt. Dabei wurden technische Kosten für Abwasserbehandlung, Hoch- und Niedrigwasserregulierung sowie Maßnahmen gegen Erosion berücksichtigt. Ein Beispiel für die Monetarisierung von versorgenden ÖSL durch die Marktpreismethode findet sich bei ACREMANN et al. (2004). Im Rahmen der Studie wurde der monetäre Werte der infolge einer Flussrenaturierung erhöhten Fischfangmengen mit den tatsächlichen Marktpreisen abzüglich der Produktionskosten ermittelt. VERMA et al. (2001) bedienen sich ebenfalls einer Marktanalyse und bewerten die Versorgung mit Trinkwasser in Auengebieten mit Hilfe der anfallenden Wartungs- und Betriebskosten. Allerdings wurden hier keine Veränderungen der Ökosystemleistung bewertet, sondern lediglich die Kosten für den Status quo. Um eine tatsächliche Änderung zu monetarisieren, müsste die Veränderung der Bereitstellungskosten vor und nach einer Maßnahmenumsetzung betrachtet werden. Beispielsweise kann der Betrag, um den sich die Aufbereitungskosten für das Trinkwasser aufgrund einer Qualitätsverbesserung verringern, den Wert der ÖSL darstellen. In diesem Fall würde man die Methode dem Ersatzkostenansatz zuordnen.

3.4.2 Präferenzanalysen

Mit Hilfe von Präferenzanalysen werden Entscheidungen von Konsumenten abgebildet. Über die Zahlungsbereitschaft für ÖSL oder Umweltgüter können Präferenzen auch in monetären Einheiten ermittelt werden. Man unterscheidet hierbei zwischen Methoden der geäußerten Präferenzen (sogenannte „stated preferences“) und Methoden der offenbarten Präferenzen (sogenannte „revealed preferences“). Letztere erfassen real beobachtbare bzw. bereits getroffene Entscheidungen von Konsumenten. Hierzu gehören der Hedonische Preisansatz, bei dem Preisdifferenzen zwischen Marktgütern auf den Einfluss von ÖSL zurückgeführt werden (z. B. unterschiedliche Immobilienpreise in Abhängigkeit zur Nähe von Grünflächen) oder die Reisekostenmethode, bei der die aufgewendeten Kosten für die Inanspruchnahme einer ÖSL (z. B. für den Besuch eines Naturschutzgebietes) als Wert für die entsprechende ÖSL herangezogen werden. Geäußerte Präferenzen hingegen ermitteln den Wert für eine Umweltveränderung auf Grundlage von Befragungsstudien, welche die Befragten vor eine hypothetische Auswahl- oder Kaufentscheidung stellen. Hierzu gehören sowohl die Kontingente Bewertungsmethode als auch die Choice Experimente. Präferenzanalysen werden häufig genutzt, um kulturelle Ökosystemleistungen zu bewerten.

Im Kontext der Entwicklung von Fließgewässern finden sich zahlreiche Anwendungsbeispiele für Präferenzanalysen. Bei der Reisekostenanalyse, einer Methode der offenbarten Präferenz, werden die Kosten betrachtet, die für An- und Abreise zu einem bestimmten Erholungsort und für den Aufenthalt dort in Kauf genommen werden. GETZNER (2014) konnte mit Hilfe dieser Methode einen positiven Zusammenhang zwischen freifließenden Flussabschnitten und deren Erholungswert nachweisen. In einer Studie von GHERMANDI (2018) wurden hingegen georeferenzierte Social-Media-Daten in Reisekosten-Modelle integriert, um

den Erholungswert von Feuchtgebieten zu bestimmen. Die kontingente Bewertungsmethode ermittelt Zahlungsbereitschaften für bestimmte Zielzustände. Ein Beispiel für eine kontingente Bewertung im Bereich aquatischer Ökosysteme findet sich bei MEYERHOFF & DEHNHARDT (2007), die die Zahlungsbereitschaften für Managementmaßnahmen zur verbesserten Erhaltung von bedrohten Tierarten und Habitaten entlang der Elbe untersuchten.

Choice-Experimente haben gegenüber kontingenten Bewertungsstudien den Vorteil, dass Zahlungsbereitschaften nicht für ein (Umwelt-) Gut als Ganzes ermittelt werden, sondern einzelne Merkmale und ihre Ausprägungen, aus denen sich das entsprechende Umweltgut zusammensetzt, in den Fokus der Untersuchung rücken. So haben RAYANOV et al. (2018) die Zahlungsbereitschaft für verschiedene Eigenschaften von Flusslandschaften in Deutschland untersucht. Hierbei wurden Präferenzen (ausgedrückt in Zahlungsbereitschaften) für die Naturnähe des Gewässerumfelds und die Uferbeschaffenheit sowie für die Zugänglichkeit und die Ausstattung mit Rad- und Wanderwegen ermittelt. Eine Übersicht monetärer Werte für Flussrenaturierungsmaßnahmen stellt eine Meta-Analyse von BROUWER & SHEREMET (2017) bereit. Hier finden sich auch Bewertungsstudien für regulative Ökosystemleistungen. MATTMANN et al. (2016) untersuchten ebenfalls im Rahmen einer Meta-Analyse, welche externen Wohlfahrtseffekte durch die Nutzung von Wasserkraft entstehen. In ihrer Studie werden dabei ausschließlich Präferenzanalysen berücksichtigt. Sie kommen u. a. zu dem Schluss, dass die Nutzung von Wasserkraft vor allem in Schutzgebieten, in denen sie die Landschaft, die Vegetation und die Tierwelt beeinträchtigt, zu negativen externen Effekten führt. Die Zahlungsbereitschaft dafür, solche negativen Effekte zu vermeiden, wird hier allerdings als sehr begrenzt eingeschätzt.

Im Kontext des Rückbaus eines Staudamms zur Energiegewinnung aus Wasserkraft berichten GOWAN et al. (2006), dass die Monetarisierung von ÖSL (wie z. B. die Zahlungsbereitschaften für freifließende Flusslandschaften) keinen Einfluss auf die Entscheidung zum Rückbau hatte. Sie kommen zu dem Schluss, dass deliberative Beteiligungsprozesse weit mehr zum Erhalt von Ökosystemen beitragen als eine Inwertsetzung. SOUSA et al. (2019) beschäftigen sich in ihrer Arbeit ebenfalls mit den Auswirkungen von Wasserkraftwerken auf die Umwelt. Sie unterstreichen dabei die Relevanz von Existenzwerten¹ und plädieren weiterhin für deren Berücksichtigung bei der ökonomischen Bewertung von externen Effekten der Wasserkraftnutzung. Darüber hinaus stellen SOUSA et al. (2019) fest, dass bei entsprechenden Präferenzanalysen die Zahlungsbereitschaften davon abhängig sein können, ob die Befragten der Nutzer- oder Nichtnutzergruppe zugeordnet werden können. In einer Studie von HYNES & HANLEY (2006) wird zunächst der auf Fließgewässer bezogene Nutzungskonflikt zwischen dem Kajakfahren und der Gewinnung von Wasserkraft herausgearbeitet. Durch die Anwendung der Reisekostenmethode wurde dem Nutzen, der durch die Wasserkraftgewinnung entsteht, die Zahlungsbereitschaft von Kajakfahrern gegenübergestellt. Hierbei wird auch die Relevanz von Existenzwerten betont, welche nicht durch die Ermittlung von Reisekosten berücksichtigt wird.

3.4.3 Sekundäranalysen

Bei einer Sekundäranalyse werden Ergebnisse bereits durchgeführter Studien über die ökonomische Bewertung von ÖSL (Studienkontext) herangezogen und auf den aktuellen Bewertungskontext (Politikkontext) übertragen (Nutzentransfer) (LIENHOOP 2016). Die übertragenen Werte können entweder von einer einzigen Studie stammen oder als Durchschnitt aus einer Reihe von Studien zusammengetragen werden (DISSANAVAKE & SMAKHTIN 2007). Diese Methode ist vor allem bei der Übertragung nicht auf Marktanalysen

¹ Unter Existenzwert versteht man die Zahlungsbereitschaft für Umweltgüter, aus denen kein direkter Nutzen gezogen werden kann (vgl. PEARCE et al. 2006, EMERTON 2016).

beruhender Werte sinnvoll, die beispielsweise durch ein Choice-Experiment ermittelt wurden (ANDREOPOULUS & DAMIGOS 2016). Die Vergleichbarkeit des Sachverhalts zwischen Primär- und Sekundärstudie muss gegeben sein und sollte in einer vorherigen Analyse ausführlich geprüft werden. Dabei spielen physische Faktoren, ebenso wie die sozioökonomischen Charakteristika einer Region eine Rolle.

In einer Studie des International Water Management Institutes untersuchten DISSANAYAKE & SMAKHTIN (2007) die ÖSL, die der Fluss Menik Ganga in Sri Lanka bereitstellt. Sie verwendeten verschiedene Methoden der ökonomischen Bewertung, um der vielfältigen Nutzung des Flusses für religiöse Festivals, Fischerei oder als Teil des Yala National Parks gerecht zu werden. Für die Schätzung des Wertes des wenig erforschten Pilinnawa Feuchtgebiets wurde mit Werten aus einer Studie über das ebenfalls in Sri Lanka liegende Mutharajawela-Feuchtgebiet gearbeitet. Allerdings mussten einige Nutzenschätzungen für ÖSL anders gewichtet werden, da das Feuchtgebiet am Menic Ganga deutlich ländlicher geprägt war.

BROUWER & BLIEM et al. (2016) ermittelten die nicht-marktbezogenen Werte einer Flussrenaturierung der Donau in Hinblick auf Wasserqualität, verringertes Hochwasserrisiko und testeten mögliche Nutzentransfer in den drei Untersuchungsländern Österreich, Ungarn und Rumänien. Deutlich wurde, dass ein Transfer der in einem Choice-Experiment ermittelten Zahlungsbereitschaften für Ungarn und Rumänien möglich ist, die Präferenzen der Befragten in Österreich sich jedoch zu stark unterscheiden.

Um Übertragungsfehler zu verringern und den Zugang für politische Entscheidungsträger zu erleichtern, werden spezifische Instrumente entwickelt, die eine ökonomische Bewertung von Gewässern in der Region ermöglichen. MORRISON & BENNET (2004) verwenden so beispielweise Daten fünf verschiedener Choice-Experimente in New South Wales führen diese zusammen und entwickeln ein „pooled model“, um andere Flüsse im Land bewerten zu können.

3.5 Auswahl der relevanten/zielführenden Ökosystemleistungen

3.5.1 Grundsätze

Für die Auswahl der für die Lösung der Aufgabenstellung zielführenden und damit im Weiteren relevanten Ökosystemleistungen (ÖSL) wird grundsätzlich auf den RESI-Ansatz und die dafür entwickelten ÖSL zurückgegriffen (Tabelle 3-3), die in Abhängigkeit von der Aufgabenstellung, den Datengrundlagen, aber auch neueren Erkenntnissen fallweise ergänzt oder reduziert werden.

Dabei wird einheitlich auf bereitgestellte (dargebotene, potenzielle) ÖSL in der morphologischen Flussaue (beinhaltet Altaue, rezente Aue und Fluss, Abbildung 3-3, vgl. Details in Kapitel 6.5.2) abgestellt, welche die Menschen heute oder zukünftig nutzen könnten, aber nicht zwangsweise heute bereits nutzen (vgl. Kapitel 3.1.2).

Besonders ist darauf zu achten, dass bei den ausgewählten ÖSL auch Veränderungen zwischen Ist-/Ausgangszustand und Planzustand bestehen (Prognosezustände auf Grund der beiden Handlungsalternativen und entsprechenden hydromorphologischen Notwendigkeiten in Bezug auf die Maßnahmen/-optionen); ÖSL, die wahrscheinlich keine oder nur sehr geringe Veränderungen erwarten lassen, werden konsequent nicht betrachtet. Allerdings ist diese Anfangseinschätzung mit Unsicherheiten behaftet. Nur eine Veränderung in Quantität und/oder Qualität eines Umweltguts entspricht dem Konzept der umweltökonomischen Bewertung (DEHNHARDT et al.2016).

Zusätzlich wird für die Auswahl der ÖSL ein Abgleich mit dem aktuellen Leitfaden der Europäischen Kommission zur Bewertung von Ökosystemleistungen in EU-Life-Vorhaben vorgenommen (Assessing ecosystems and their services in LIFE projects. A guide for beneficiaries, https://ec.europa.eu/easme/sites/easme-site/files/life_ecosystem_services_guidance.pdf). Dieser Leitfaden greift auf die Ausarbeitungen von MAES et al. (2014) zurück: Mapping

and Assessment of Ecosystems and their Services (MAES); Indicators for ecosystem assessments under Action 5 of the EU Biodiversity Strategy to 2020.

Zwar ist der grundsätzliche wissenschaftliche Abgleich mit MAES und der CICES-Klassifikation bereits im RESI-Vorhaben (PODSCHUN et al. 2018 a, b) vorgenommen worden, aber für die nachfolgende Auswahl und Quantifizierung relevanter ÖSL ist besonders die Auswahl der Indikatoren für die einzelnen ÖSL von hoher Bedeutung. Vor allem im Hinblick auf weitere „wohlfahrts-/nutzenbezogene“ Nutzungen erfolgt durch den o. g. Leitfaden eine Erweiterung. Weitere, abiotische Ökosystemleistungen können damit einbezogen werden. Dies ermöglicht eine in jeder Hinsicht gleichrangige Bewertung der Nutzungen „Schifffahrt“ und „Wasserkraft“.

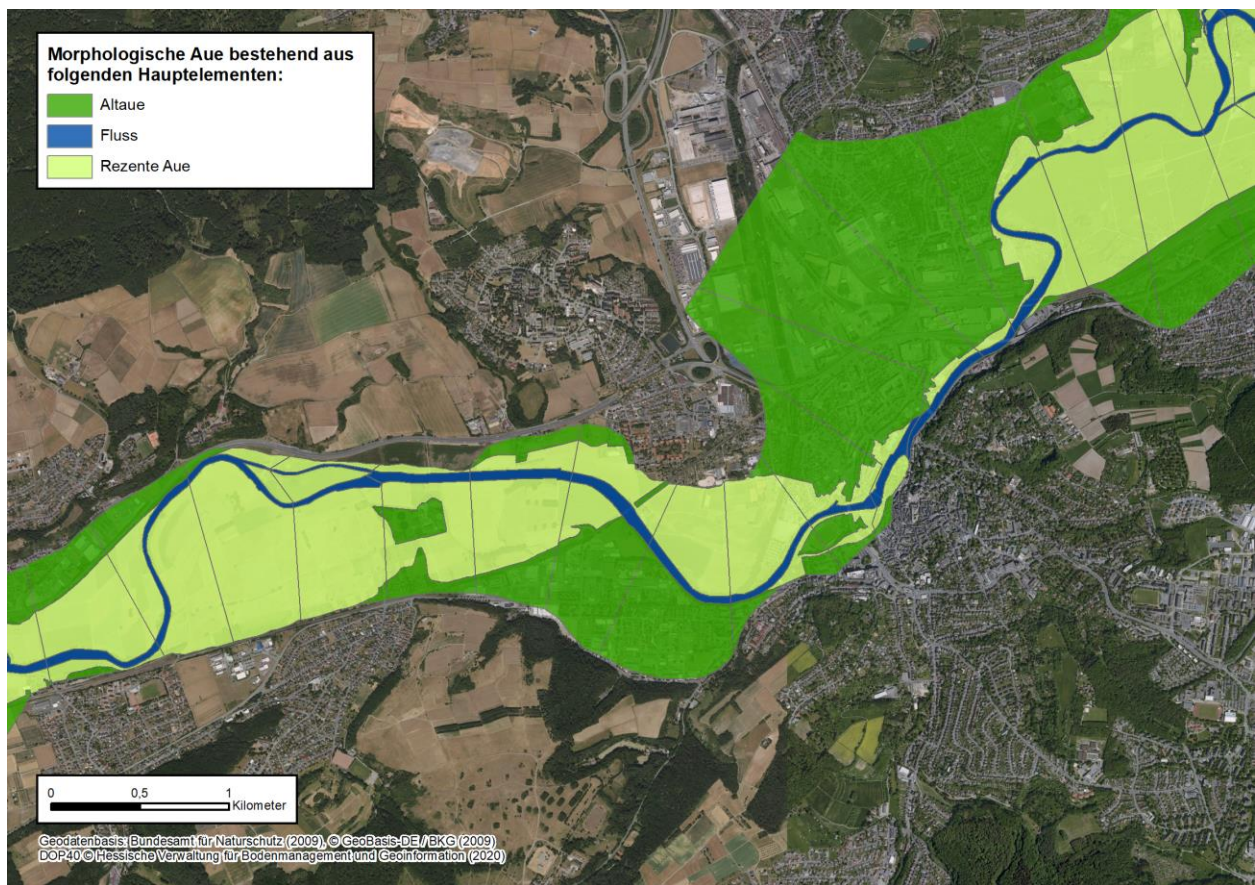


Abbildung 3-3: Räumliche Zonierung der Flussaue entsprechend BRUNOTTE et al. (2009), hier exemplarisch für einen Abschnitt der Lahn

Indikatoren stehen im Ökosystemleistungskonzept für bestimmbar, ggf. sogar messbare Eigenschaften (Merkmale, Parameter) der maßgeblichen Ökosystemfunktion(en) und der darauf basierenden Ökosystemleistungen (ÖSL). Insofern ist „es für die Darstellung und Kommunikation der Leistungen der Ökosphäre entscheidend [...], dass nicht die Belastung der Umwelt, sondern die Leistung mit einem Indikator gemessen wird [...] und die Indikatoren für ÖSL von anderen Indikatoren – z. B. der Nachhaltigkeit – klar zu trennen sind.“ (GRUNEWALD et al. 2015).

Die relevanten Annex-Tabellen des Leitfadens der Europäischen Kommission zur Bewertung von Ökosystemleistungen in EU-Life-Vorhaben enthalten auch Vorschläge für Indikatoren nach ÖSL-Klassen mit einer

farblichen Kennzeichnung, einem 3-stufigen Farblabel (grün...gelb...rot), bezüglich der „Unsicherheit“ einer Anwendung auf der europäischen Betrachtungsebene, was für deutsche Verhältnisse nur teilweise zutreffend ist. Im Allgemeinen ist die nationale Datenlage als besser einzuschätzen.

Vom RESI-Begriff „Nutzungen von Naturkapital“ wird ferner zugunsten des Begriffes „Weitere (abiotische) Ökosystemleistungen“ abgewichen. Das folgt zum einen der aktuellen CICES-Systematik (s. o. bzw. <https://cices.eu/resources/>, Abruf am 01.02.2020 bzw. HAINES-YOUNG & POTSCHIN 2018). Zum anderen wird eine Einbeziehung von „wohlfahrts-/nutzenbezogenen“ Nutzungen von abiotischem Naturkapital, beispielsweise nicht biologisch produzierte regenerative Energie, auch bereits bei STAUB et al. (2011) für die Schweiz vorgeschlagen.

Die Auswahl der Ökosystemleistungen erfolgt in den nachfolgenden Teilkapiteln. Neben der Nennung und Beschreibung der jeweiligen ÖSL erfolgt eine kurze Darstellung zu den Indikatoren und zu den dafür geeigneten Bestimmungs-/Berechnungsmethoden einschließlich Reflexion der dafür benötigten Datengrundlagen. Im Sinne der o. g. Annex-Tabellen des Leitfadens der Europäischen Kommission zur Bewertung von Ökosystemleistungen in EU-Life-Vorhaben handelt es sich bei den nachfolgend dargestellten Indikatoren und zugrundeliegenden Daten um belastbare Grundlagen (beste Kategorie: „grünes Label“).

Tabelle 3-3: Für Fluss-Auen-Systeme relevante Ökosystemleistungen“, aus Projekt „RESI“, leicht verändert/angepasst

Hauptgruppe	Subgruppe bzw. Klasse	Ökosystemleistung	Kurzbeschreibung der Ökosystemleistung
Versorgung	Nahrungsmittel	Kulturpflanzen	Landwirtschaftliche Kulturpflanzen (z. B. Getreide, Knollenfrüchte, Gemüse, Obst)
		Pflanzliche Biomasse für den Einsatz in der Landwirtschaft	Futterpflanzen (Ackerfutter, aus Wiesen und Weiden stammendes Futter) als Grundlage der Erzeugung tierischer Produkte (z. B. Milch, Fleisch)
		Wildtiere und Fische (konsumtiv)	Wild und Fische für den Verzehr
		Trinkwasser (Oberflächenwasser)	Trinkwasser aus Oberflächenwasser
		Trinkwasser (Grundwasser)	Trinkwasser aus Grundwasser
	Rohstoffe	Pflanzliche Rohstoffe für Verarbeitung	Holz (aus Wald und KUP) für Verarbeitungszwecke
		Brauchwasser in Industrie und Landwirtschaft (Oberflächen- und Grundwasser)	Kühlwasser, Bewässerungswasser
Energie	Pflanzliche Energierohstoffe aus Landwirtschaft, KUP, Holzwirtschaft	Land- und forstwirtschaftliche Biomasse (z. B. Mais, Raps, Holz) als Energierohstoff	
Regulation	Retention	Retention von organischem C	(Temporärer) Rückhalt von organischem C durch Aufnahme in stationäre Biomasse (z. B. Assimilation von Muscheln/Biofilm) oder durch Aufnahme in Sedimente (Deposition) Dauerhafte Entfernung von organischem C durch Respiration Mikrobieller Abbau organischer Schadstoffe
		Retention von N	(Temporärer) Rückhalt von N durch Aufnahme in stationäre Biomasse (z. B. Assimilation von Muscheln/Biofilm, Makrophyten) oder durch Aufnahme in Sedimente (Deposition) (Temporärer) Rückhalt von anorg. N durch Aufnahme in pelagische Biomasse (Assimilation von Phytoplankton, Zooplankton) Dauerhafte Entfernung von N durch Denitrifikation in Fluss und Auen als Beitrag zur Wasserreinigung
		Retention von P	(Temporärer) Rückhalt von P durch Aufnahme in stationäre Biomasse (z. B. Assimilation von Muscheln/Biofilm, Makrophyten) oder durch Aufnahme in Sedimente von Fluss und Aue (Deposition) (Temporärer) Rückhalt von anorg. P durch Aufnahme in pelagische Biomasse (Assimilation von Phytoplankton, Zooplankton)
	Globales Klima	Rückhalt von Treibhausgasen / Kohlenstoffsequestrierung	Verminderung von anoxischem C-Abbau (CH ₄ Emission) Verminderung von unvollständigem anoxischem N-Abbau (N ₂ O Emission) Rückhalt von CO ₂ durch Aufnahme in Biomasse (Nettoprimärproduktion/Assimilation) --> Kohlenstoffsequestrierung in Auenvegetation und Auenböden (oberirdisch in toter und lebender Biomasse und unterirdisch im Boden) temporärer Rückhalt durch Aufbau von Biomasse in Flüssen und an Flussufern (z. B. Phytoplankton, annuelle Makrophyten etc.). Hier teilweise Trade Off mit Eutrophierung
	Extremabfluss	Hochwasserregulation	Drosselung des Hochwasserabflusses und Absenkung des Hochwasserscheitels: Wellenabflachung (durch Ausuferung/Überflutung wird Rückhaltevolumen genutzt, Fluss-/Auenmorphologie erzeugt Rauigkeit)
Niedrigwasserregulation		Niedrigwasserausgleich durch Aquiferentlastung, hydrologische Selbstregulation durch Makrophytenaufwuchs und Morphologie (Dämpfung des Wasserstandsabfalls)	

Hauptgruppe	Subgruppe bzw. Klasse	Ökosystemleistung	Kurzbeschreibung der Ökosystemleistung
	Entwässerung	Vorflut	Möglichkeit, dass Wasser im natürlichen Gefälle abfließen kann und von Vorflutern (Gewässern) aufgenommen und fortgeführt wird
	Sedimente (inkl. Schwebstoffe)	Sedimentregulation	Ausgleich von örtlichem Überangebot oder Mangel an Sediment infolge linien- und flächenhafter Erosion oder Ablagerung (in Flussgerinnen, Flussdeltas, an Stränden)
		Bodenbildung in Auen	Auentypische Bodenbildung (vor allem infolge Schwebstoffsedimentation und Moorbildung)
	Regional-/Lokalklima	Temperaturausgleich infolge Kühlwirkung (Gewässer und Böden)	Kühleffekt infolge Verdunstung durch die latente Verdunstungswärme (Relevanz im Sommerhalbjahr)
		Temperaturausgleich infolge Frischluftabflussbahnen und Kaltluftentstehungsgebieten	Kühleffekt durch Frischluftzufuhr über regionale/lokale Windsysteme in der Aue
	Habitatbereitstellung	Betrachtet die funktionelle und strukturelle Qualität flussautentypischer 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.	
Kultur		Landschaftserleben/-ästhetik	Ästhetik der Landschaft oder von Landschaftsteilen, charakterisiert durch Vielfalt, Eigenart und Natürlichkeit
		Natur- und Kulturerbe	Natur- und Kulturerbe umfasst rechtlich geschützte Flächen (z. B. Naturschutzgebiete) und Denkmale, die für zukünftige Generationen erhalten werden.
		Allgemeine Erholung und Tourismus	Allgemeine Erholung und Tourismus wird definiert über die Möglichkeit, sich aufgrund vorhandener Infrastruktur und Aufenthaltsorte erholen zu können.
	Gewässer-/Auenbezogene Aktivitäten	Baden	Spezifische gewässer- und auenbezogene Aktivitäten, die zum Zweck des Erlebens bzw. der Erholung stattfinden
		Freizeit-Bootfahren (motorisiert, muskelbetrieben)	
		Angeln	
		Wandern, Radwandern, Spazieren	
Spezifische Wassersportaktivitäten (Rafting, Wildwasserpaddeln, Tauchen, Schwimmen)			
Naturbeobachtung			
	Bildung & Wissenschaft	Flüsse und ihre Auen als Ort der Bildung und Ausgang von wissenschaftlicher Forschung	
Basis-Funktionen	Wasserhaushalt	Abfluss und Abflussdynamik	Vom Einzugsgebiet und vom oberhalb liegenden Flusssystem hydrologisch bestimmte Eigenschaften des Abflussregimes
		Verbindung zu Grundwasserkörpern	Hydrologische bzw. hydraulische Interaktion Fluss und Grundwasser
	Morphologie	Fließgewässerstruktur (Sohle, Ufer), Auenstruktur	Gewässer- und Auenstrukturen (als Ergebnis von hydromorphologischen Prozessen)

Hauptgruppe	Subgruppe bzw. Klasse	Ökosystemleistung	Kurzbeschreibung der Ökosystemleistung
Nutzungen von Naturkapital		Wasserkraft	Nutzung der potenziellen und/oder der kinetischen Energie des Wassers durch Umwandlung in mechanische Arbeit und (im Regelfall) Transformation in elektrische Energie
		Schifffahrt	Transportfunktion des Wassers, Vorhandensein von Gewässereigenschaften zur Sicherung der Schiffbarkeit (Tauch- oder Abladetiefe, Breite/Fahrrinne, Kurvenradius usw.)

3.5.2 Überblick der ausgewählten Ökosystemleistungen

Die im weiteren ausgewählten und im Hinblick auf Indikatoren und Methoden definierten Ökosystemleistungen sind hier zusammenfassend in Tabelle 3-4 dargestellt. Die Auswahl ergibt sich vor allem im Hinblick auf die Daten- und Methodensituation sowie die voraussichtliche Sensitivität im Hinblick auf Veränderungen infolge der beiden Szenarien.

Tabelle 3-4: Gesamtliste der ausgewählten Ökosystemleistungen

Hauptgruppe	Subgruppe bzw. Klasse	Ökosystemleistung
Versorgende Leistungen	Nahrungsmittel	Kulturpflanzen
		Pflanzliche Biomasse für den Einsatz in der Landwirtschaft
	Rohstoffe	Pflanzliche Rohstoffe für die Verarbeitung
	Energie	Pflanzliche Energierohstoffe aus Landwirtschaft, Kurzumtriebsplantagen, Holzwirtschaft
Regulative Leistungen	Extremabfluss	Hochwasserregulation
		Niedrigwasserregulation
	Sedimente, Böden sowie deren Nährstoffrückhalt	Sedimentregulation im Gewässersystem
		Bodenbildung
		Retention von Stickstoff (N)
		Retention von Phosphor (P)
	Biologische Selbstreinigung, Sauerstoffverhältnisse im Wasserkörper sowie im Interstitial	Biologische Selbstreinigung
	Globales Klima	Rückhalt von Treibhausgasen/Kohlenstoffsequestrierung
Regional-/Lokalklima	Kühlwirkung (Gewässer und Böden)	
Biologische Vielfalt	Habitatbereitstellung	
Kulturelle Leistungen	Landschaftserleben	Landschaftsästhetik
	Erbe und ideeller Wert	Natur- und Kulturerbe
	Erholung und Tourismus	Allgemeine Erholung und Tourismus
		Spezifische Erholungs-, Sport- und Erlebnisformen
Intellektuelle Interaktionen	Bildung und Wissenschaft	
Weitere (abiotische) Leistungen	Schifffahrt	Motorisierte Schifffahrt
	Energie	Wasserkraft

3.5.3 Versorgende Ökosystemleistungen (ÖSL)

3.5.3.1 Nahrungsmittel

Unter die Subgruppe Nahrungsmittel fallen alle ÖSL, die zur menschlichen Ernährung beitragen (Tabelle 3-5): Kulturpflanzen sowie pflanzliche Biomasse für den Einsatz in der Landwirtschaft (als Grundlage für tierische Produkte).

Als relevante Ökosystemfunktion wird allein auf die Primärproduktion gesetzt. Die Bestäubungsfunktion wird nicht betrachtet, da sie bei dieser Aufgabenstellung als nicht besonders maßnahmensensitiv eingestuft wird. Für die Primärproduktion kann der Indikator Bodenfruchtbarkeit als räumlich differenzierend und ausgesprochen maßnahmensensitiv angesehen werden. Bei den möglichen Analyse-/ Klassifizierungsmethoden bzw. Modellkonzepten wird auf den Indikator „Ertragspotenzial des Bodens“ gesetzt, da für beide beteiligten Bundesländer bereits bewertete Daten zum vorliegen. Die Anwendung des Indikators kann auf der Basis der Landnutzungsdaten des Landbedeckungsmodells differenziert angewandt werden, so dass eine zielführende qualitative und anschließende ökonomische Bewertung ermöglicht wird. Hier können ergänzend auch statistische Quoten regionaler Anbau-/Nutzungs- und Ertragsverhältnisse zu plausiblen monetären Ableitungen auf größerer Raumebene führen.

Die ÖSL „Pflanzliche Biomasse“ wird nur für die Grünlandstandorte betrachtet, da deren regionale Bedeutung (Anbauanteile) auf Acker- und Gartenbaustandorten bei der gegebenen Datenlage schwer abschätzbar ist. Zudem wird die ÖSL beim Acker (Ackerfutter) bereits auch bei der ÖSL „Kulturpflanzen“ mit abgebildet (gleicher Indikator „Ertragspotenzial“).

Tabelle 3-5: Ökosystemleistungen der Subgruppe Nahrungsmittel - Kennzeichen und Analysemöglichkeiten (rot hervorgehoben: Vorzugsvariante)

Ökosystemleistung (CICES-Klasse)	Beschreibung	Relevante Ökosystemfunktion(en)	Indikator(en)	Mögliche Analyse-/Klassifizierungsmethode(n), Modellkonzept(e)	Datengrundlage(n)
Kulturpflanzen (auf Acker- und Gartenbaustandorten)	Landwirtschaftliche, gartenbauliche Kulturpflanzen (z. B. Getreide, Knollenfrüchte, Gemüse, Obst)	Primärproduktion Bestäubung (hier unberücksichtigt)	Bodenfruchtbarkeit	Ertragspotenzial Acker- bzw. Grünland-Schätzungsrahmen: Ackerwertzahl, Grünlandwertzahl Soil Quality Rating (SQR) (MÜLLER et al. 2007, DWA-M 920-4)	Ertragspotenzial (Länderdaten Hessen und Rheinland-Pfalz) Landnutzungsdaten/Landbedeckungsmodell Bodenschätzung Geologische und bodenkundliche Karten Hydrogeologische Daten Hydroklimatische Daten

Ökosystemleistung (CICES-Klasse)	Beschreibung	Relevante Ökosystemfunktion(en)	Indikator(en)	Mögliche Analyse-/Klassifizierungsmethode(n), Modellkonzept(e)	Datengrundlage(n)
Pflanzliche Biomasse für den Einsatz in der Landwirtschaft (auf Grünlandstandorten)	Futterpflanzen (aus Wiesen und Weiden stammendes Futter) als Grundlage der Erzeugung tierischer Produkte (z. B. Milch, Fleisch)	Primärproduktion Bestäubung (hier unberücksichtigt)	Bodenfruchtbarkeit	Ertragspotenzial Grünland-Schätzungsrahmen: Grünlandwertzahl Soil Quality Rating (SQR) (MÜLLER et al. 2007, DWA-M 920-4)	Ertragspotenzial (Länderdaten Hessen und Rheinland-Pfalz) Landnutzungsdaten/Landbedeckungsmodell Bodenschätzung Geologische und bodenkundliche Karten Hydrogeologische Daten Hydroklimatische Daten

Das Ertragspotenzial eines Bodens wird in erster Linie durch das Relief, die Bodenbeschaffenheit und durch die bodenhydrologischen Verhältnisse bestimmt. Letztere sind determiniert durch die hydrometeorologischen Bedingungen (Niederschlag, potenzielle Verdunstung, beides für Potenzialanalysen im Regelfall auf einer klimatischen Skala) und die Grundwasserverhältnisse (Grundwasserflurabstand). Bei sehr geringem gar fehlendem Grundwasserflurabstand ist eine land- oder forstwirtschaftliche Nutzung im Grunde nicht, kaum oder nur mit Spezialkulturen möglich. Dann dominiert Sumpf- oder Moorvegetation. Für das Ertragspotenzial in Trockenzeiten sind auch der ggf. vorhandene kapillare Aufstieg von Wasser vom Grundwasser bis in die durchwurzelte Bodenzone sowie die morgendliche Tauwasserbildung von hoher Bedeutung.

Der kapillare Aufstieg von Wasser aus dem Grundwasser unterliegt dem Einfluss von Gradienten des hydraulischen Potentials, das durch die Verdunstung der Pflanzen (Transpiration) oder von der Bodenoberfläche (Evaporation) verursacht wird. Tonige und schluffige Böden erreichen hier ansehnliche Transportraten (Fluxe) noch in beträchtlicher Höhe über dem Grundwasserspiegel; entsprechende Aufstiegshöhen vom Grundwasser bis zur Untergrenze der Wurzelzone können bis zu 2 m betragen (MÜLLER et al. 1989). Die Tauwasserbildung ist dagegen vor allem eine Frage der Entfernung zu verdunstungsintensiven Flächen, vor allem Gewässern und Feuchtgebieten, und auch abhängig von deren Größe.

Das GIS-technisch ausgewiesene Ertragspotenzial der Böden der beiden Bundesländer Hessen und Rheinland-Pfalz wurde anhand der dominanten, stabilen bzw. mittleren Eigenschaften bestimmt (vgl. Bodenkundliche Kartieranleitung - AG BODEN 2005). Der Bewertung des Ertragspotenzials der Böden in Hessen liegen folgende Merkmale zugrunde (<https://www.hlnug.de/themen/boden/information/bodenflaechenkataster-und-kartenwerke/bfd50/themen/ertragspotenzial>):

- Einstufung der nutzbaren Feldkapazität im Hauptwurzelraum (als Maß für die pflanzenverfügbare Wassermenge)
- Einstufung des potenziellen Grundwassereinflusses
- Einstufung der Basenversorgung (Carbonatgehalt im Oberboden)

Tabelle 3-6: Vereinheitlichung der Ökosystemleistungsbewertung für das Ertragspotenzial der Böden; Ergänzung der ÖSL-Klasse „0“

Ökosystemleistungsskala		Skala Hessen*		Skala Rheinland-Pfalz (HLUG & LGB 2008, LBG 2016)	
Klasse	Ökosystemleistung	Klasse	Ertragspotenzial des Bodens	Klasse	Ertragspotenzial des Bodens
5	Sehr hoch	5,0	Sehr hoch	5,0	Sehr hoch
		4,5	Hoch bis sehr hoch		
4	Hoch	4,0	Hoch	4,0	Hoch
		3,5	Mittel bis hoch		
3	Mäßig	3,0	Mittel	3,0	Mittel
		2,5	Gering bis mittel		
2	Gering	2,0	Gering	2,0	Gering
		1,5	Sehr gering bis gering		
1	Sehr gering	1,0	Sehr gering	1,0	Sehr gering
0	Äußerst gering/fehlend	Natürliche Faktoren: Sehr geringer/fehlender Grundwasserflurabstand, grobskelettreicher Boden und/oder starker Überflutungseinfluss Anthropogene Faktoren: Bebaute, versiegelte Flächen			

* <https://www.hlnug.de/themen/boden/information/bodenflaechenkataster-und-kartenwerke/bfd50/themen/ertragspotenzial>

Die abschließend gebildete, 5-stufige Klassifizierungsskala reicht von sehr gering bis sehr hoch und enthält Zwischenstufen. In Rheinland-Pfalz wird ebenfalls auf eine 5-stufige Klassifizierungsskala des Ertragspotenzials gesetzt (ohne Zwischenstufen). Für die Bewertung des Ertragspotenzials wurde hier für jede Bodenklasse des Acker- bzw. Grünland-Schätzungsrahmens sowie für alle Mischentstehungs- und Schichtbodenarten die nutzbare Feldkapazität (nFK) in mm in fünf Stufen klassifiziert. Bei Grünlandschätzungsklassen mit Wasserstufen 4- und 5- erfolgte aufgrund der ungünstigeren Wasserverhältnisse ein Abschlag um eine nFK- bzw. Ertragspotenzialklasse (LGB 2016).

Beide Länder-Skalen wurden in Tabelle 3-6 im Hinblick auf die Ökosystemleistungsbewertung vereinheitlicht; dabei wurde die Ertragspotenzial- bzw. ÖSL-Klasse „0“ ergänzt und fachlich interpretiert. Zudem wird das Ertragspotenzial für naturgeschützte Flächen (Natura-2000-Gebiete (Europäische Vogelschutzgebiete, FFH-Gebiete/Gebiete von gemeinschaftlicher Bedeutung), Naturschutzgebiete, Naturdenkmäler, Geschützte Landschaftsbestandteile, gesetzlich geschützte Biotope) hier auf „sehr gering“ (Klasse 1,0) gesetzt.

3.5.3.2 Rohstoffe

Unter die Subgruppe Rohstoffe fallen alle Ökosystemleistungen, die Materialien für die Verarbeitung, insbesondere für Industrie und Gewerbe liefern (Tabelle 3-7). Betrachtet, weil maßnahmensensitiv, wird die ÖSL „Pflanzliche Rohstoffe für die Verarbeitung“ auf Waldstandorten. Auch hier wird als relevante Ökosystemfunktion allein auf die Primärproduktion gesetzt (s. o.). Für die Primärproduktion kann ebenfalls der Indikator Bodenfruchtbarkeit als räumlich differenzierend und ausgesprochen maßnahmensensitiv angesehen werden. Die methodische Vorgehensweise folgt 1:1 der oben beschriebenen; Tabelle 3-6 ist auch für diese ÖSL maßgebend.

Tabelle 3-7: Ökosystemleistungen der Subgruppe Rohstoffe - Kennzeichen und Analysemöglichkeiten (rot hervorgehoben: Vorzugsvariante)

Ökosystemleistung (CICES-Klasse)	Beschreibung	Relevante Ökosystemfunktion(en)	Indikator(en)	Mögliche Analyse-/Klassifizierungsmethode(n), Modellkonzept(e)	Datengrundlage(n)
Pflanzliche Rohstoffe für die Verarbeitung (Waldstandorte)	Holz (aus Wald und Kurzumtriebsplantagen) für Verarbeitungszwecke Rohstoffe für Arzneipflanzen	Primärproduktion Bestäubung (hier unberücksichtigt)	Bodenfruchtbarkeit	Ertragspotenzial Nährkraftstufen (Wald) Waldbonitierung	Ertragspotenzial (Länderdaten Hessen und Rheinland-Pfalz) Landnutzungsdaten/ATKIS Forstliche Standortkartierung, Forstkataster Hydroklimatische Daten, Grundwasserflurabstände, Nutzungsdaten, hydrogeologische Daten/Karten, Bodenkarten

3.5.3.3 Energie

Unter die Subgruppe Energie fallen alle versorgenden Ökosystemleistungen, die zur Energieerzeugung genutzt werden können (Tabelle 3-8). Die Nutzung von Wasserkraft (potenzielle und kinetische Energie, heute nahezu nur noch Umwandlung in elektrische Energie) wird unter dem Kapitel 3.5.5 (weitere abiotische Ökosystemleistungen) erfasst und behandelt.

Als grundsätzlich maßnahmensensitiv wird die ÖSL „Pflanzliche Energierohstoffe aus Landwirtschaft, Kurzumtriebsplantagen, Holzwirtschaft“ betrachtet. Hier wird ebenso auf die Ökosystemfunktion Primärproduktion, den Indikator Bodenfruchtbarkeit und das Ertragspotenzial als abschließende Klassifizierungsmethode gesetzt (s. o.); Tabelle 3-6 ist daher auch für diese ÖSL maßgebend. Auf Grund der geringen Relevanz für das Untersuchungsgebiet wird diese ÖSL aber separat nicht bewertet, sondern als indirekt abgebildet über die ÖSL Nahrungsmittel und das dort ebenfalls als Klassifizierungsgrundlage verwendete Ertragspotenzial angesehen.

Für die ökonomische Bewertung müssen sachgerechte Annahmen für die Verteilung der Nutzungen getroffen werden, vor allem Anteil Waldnutzung im Sinne einer Rohstoffnutzung, Anteil als Energienutzung (Brennstoff) sowie ggf. Anteile der Ackernutzung für den Energiepflanzenanbau.

Tabelle 3-8: Ökosystemleistungen der Subgruppe Energie - Kennzeichen und Analysemöglichkeiten (rot hervorgehoben: Vorzugsvariante)

Ökosystemleistung (CICES-Klasse)	Beschreibung	Relevante Ökosystemfunktion(en)	Indikator(en)	Mögliche Analyse-/Klassifizierungsmethode(n), Modellkonzept(e)	Datengrundlage(n)
Pflanzliche Energierohstoffe aus Landwirtschaft, Kurzumtriebsplantagen, Holzwirtschaft (bereitgestellte Energie und Einsparung von fossilen Energieträgern)	Land- und forstwirtschaftliche Biomasse (z. B. Mais, Raps, Holz) als Energierohstoff	Primärproduktion Bestäubung (hier unberücksichtigt)	Bodenfruchtbarkeit	Ertragspotenzial Acker- bzw. Grünland-Schätzungsrahmen: Ackerwertzahl, Grünlandwertzahl Nährkraftstufen (Wald) Waldbonitierung	Ertragspotenzial (Länderdaten Hessen und Rheinland-Pfalz) Landnutzungsdaten/Landbedeckungsmodell Bodenschätzung Geologische und bodenkundliche Karten Forstliche Standortkartierung Hydrogeologische Daten Hydroklimatische Daten

3.5.4 Regulative Ökosystemleistungen

3.5.4.1 Extremabfluss

Unter die Subgruppe Extremabfluss fallen alle regulativen Ökosystemleistungen, die zur Dämpfung und Abmilderung (vor allem im Sinne von Schadensvermeidung) von hydrologischen Extremen beitragen (Tabelle 3-9). Als ÖSL werden daher (1) die Hochwasserregulation und (2) die Niedrigwasserregulation betrachtet. Bei beiden ÖSL wird methodisch den RESI-Ansätzen gefolgt, vgl. RESI-Factsheets (PODSCHUN et al. 2018a).

3.5.4.1.1 Hochwasserregulation

Bei der Hochwasserregulation werden zwei Indikatoren eingesetzt. Als erster Indikator wird das Verhältnis des Hochwasservolumens der rezenten zu demjenigen der morphologischen Aue genutzt (vgl. ähnlichen Ansatz bei GLEASON & LABHAN 2008). Bestehen keine Abdeichungen, Verwallungen oder Beeinträchtigungen durch Infrastrukturanlagen (z. B. Straßendämme), dann ist das Hochwasservolumen praktisch unbeeinträchtigt. Grundlage für alle Berechnungen bilden das digitale Geländemodell und die Ausgrenzung der rezenten Aue entsprechend BRUNOTTE et al. (2009). Die überwiegend sehr geringen Abweichungen zu

den neueren, im Zuge hydraulischer Berechnungen für die Umsetzung der HWRM-RL erzeugten Daten (HQ₁₀₀-Ausuferungslinien) werden pragmatisch vernachlässigt.

In der rezenten Aue ergibt sich der Raum über die Differenzen des digitalen Geländemodells der Höhe (H) der Deiche und Dämme (Kronenhöhe) und der Höhe bei mittlerem Wasserstand sowie der Länge des Auensegments (Tabelle 3-10). In der morphologischen Aue wird die Grenze der morphologischen Aue pragmatisch als Höhendatensatz interpretiert.

Als weiterer Indikator wird der Mittelwert der Klassifizierungen für Ufer, Sohle und Land der Fließgewässerstrukturgüte verwendet, da die Strukturgütedaten die hydraulischen Einflüsse auf die Rauigkeit und damit die Fließgeschwindigkeit bzw. die Wellenabflachung (Scheiteldämpfung) hilfsweise abbilden. Die Gewässer- bzw. Auentypabhängigkeit einer Bewertung wird in diesem Fall durch die Ausgangsdaten abgesichert (Strukturgüte, ggf. Auenzustandsklasse). Die Klassifizierungsergebnisse werden, soweit nicht bereits vorliegend, vorab von einer 7-stufigen Skala auf eine 5-stufige transformiert. Dabei werden die Klassen 1 und 2 zur neuen Klasse 1 und die Klassen 6 und 7 zur neuen Klasse 5; die anderen ursprünglichen Klassen 3 bis 5 werden je um eine Stufe gehoben: 3 zu 2, 4 zu 3, 5 zu 2. Bei getrennten Bewertungen zwischen linkem Ufer bzw. Land und rechtem wird der Mittelwert gebildet und mit diesem Wert (eine Dezimalstelle hinter dem Komma) weitergerechnet.

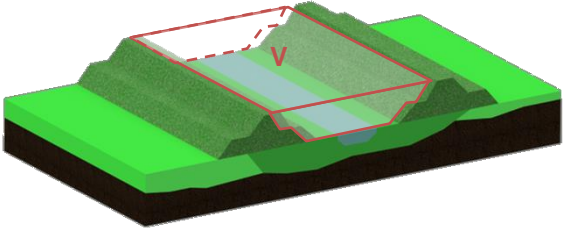
Bei der abschließenden Bewertung der ÖSL Hochwasserregulation werden die Klassifizierungsergebnisse beider Indikatoren gemittelt (arithmetisches Mittel), um das hydraulische Zusammenwirken darzustellen (vgl. MEHL et al. 2018a).

Tabelle 3-9: Ökosystemleistungen der Subgruppe Extremabfluss - Kennzeichen und Analysemöglichkeiten (rot hervorgehoben: Vorzugsvariante)

Ökosystemleistung (CICES-Klasse)	Beschreibung	Relevante Ökosystemfunktion(en)	Indikator(en)	Mögliche Analyse-/Klassifizierungsmethode(n), Modellkonzept(e)	Datengrundlage(n)
Hochwasserregulation	Rückhalt, Retention, Wellenabflachung: Drosselung des Hochwasserabflusses und Absenkung des Hochwasserscheitels	Wellenabflachung (durch Ausuferung/Überflutung wird Rückhaltevolumen genutzt, Fluss-/Auenmorphologie erzeugt Rauigkeit)	Volumenverhältnis der rezenten Aue zur morphologischen Aue Rauigkeit der Kompartimente Sohle, Ufer, Land (FGSK)	RESI-Factsheet , vgl. PODSCHUN et al. (2018a)	Deiche und Längsbauwerke Digitales Geländemodell (DGM) HQ₁₀₀-Ausuferungslinie Fließgewässerstrukturgüte-Kartierung (FGSK) der Länder Auenzustandsbewertung mit neuester Methodik (PB Koenzen 2019a, b) und dafür erforderlicher topographischer Daten, Landnutzungsdaten (LANDBEDECKUNGSMODELL/Landbedeckungsmodell), naturschutzfachliche Daten, DGM-Daten
Niedrigwasserregulation	Hydrologische Selbstregulation durch Makrophytenaufwuchs und Morphologie (Dämpfung des Wasserstandsabfalls, Bündelung des Durchflusses in Niedrigwasserrinnen), Niedrigwasserausgleich durch verzögerte Aquiferentlastung	Dämpfende Gewässerstruktur	Fließgewässerstruktur	RESI-Factsheet , vgl. PODSCHUN et al. (2018a)	Fließgewässerstrukturgüte-Kartierung (FGSK) der Länder

Das konkrete methodische Vorgehen bei der Bewertung der ÖSL Hochwasserregulation wird in Tabelle 3-10 abgebildet. Bei dieser ÖSL ist die Ausweisung einer Klasse „0“ (äußerst geringe/fehlende Ökosystemleistung) fachlich nicht erforderlich, da eine gegen Null tendierende Hochwasserregulationsleistung in Gewässern und Auen praktisch nicht möglich ist (es gibt immer ein Volumen und eine Rauigkeit). Zudem ist der Bezug auf die regelmäßig 5-stufigen Klassifizierungsskalen der Bewertungsverfahren des Gewässerschutzes so einfacher zu gestalten.

Tabelle 3-10: Bestimmung und Bewertung der Ökosystemleistung Hochwasserregulation (geändert nach PODSCHUN et al. 2018a)

Variable	Abk.	Einheit	Rechengröße	Datenquelle	Anmerkung
Volumen der rezenten Aue	V_{rezAue}	m ³	Volumen zwischen Mittel- und Hochwasserstand („gefüllte“ re-zente Aue – bis Anschlaglinie eines HQ100)	– Deiche und Längsbauwerke – DGM10 – HQ ₁₀₀	
Volumen der morphologischen Aue	$V_{morphAue}$	m ³	Volumen zwischen Mittel- und Hochwasserstand („gefüllte“ morphologische Aue bis Höhe der Grenze der morphologischen Aue im Sinne des Übergangs Talboden-Talflanke); hierbei sind ggf. vorhandene Deiche hypothetisch eliminiert	– Deiche und Längsbauwerke – DGM10 – HQ ₁₀₀	
Fließstrecke des relevanten Kartierabschnittes	L_i	m	Länge	– Fließgewässerstrukturgüte-Kartierung (FGSK)	
Bewertungen für Ufer (U), Land (L), Sohle (S)	BU_i, BL_i, BS_i	relativ 5...1	Bewertungsklasse (5 entspricht ÖSL-Klasse 1, 1 entspricht ÖSL-Klasse 5)	– FGSK	
Gesamtließstrecke	L_{Ges}	m	Länge	– FGSK	
Berechnungsverfahren					
Volumenbestimmung			Teilindikator HW_1		
			Berechnung des Volumenverhältnisses der rezenten Aue zur morphologischen Aue:		
			$Ind_{HW_1} = \frac{V_{rezAue}}{V_{morphAue}}$		
			Ind_{HW_1}	> 80 %	> 60 % ... ≤ 80 %
HW_1	5	4	3	2	1

Teilindikator <i>HW₂</i>							
Berechnung der längengewichteten mittleren Gesamtklassifizierung des Fließgewässers:		$Ind_{HW_2} = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{L_{Ges}} \cdot \left(\frac{BU_i + BL_i + BS_i}{3} \right)$					
		<i>Ind_{HW₂}</i>	≤ 1,5	> 1,5 ... ≤ 2,5	> 2,5 ... ≤ 3,5	> 3,5 ... ≤ 4,5	> 4,5
		<i>HW₂</i>	5	4	3	2	1
Gesamtindikator							
Berechnung des Gesamtindikators <i>HW</i> als Mittelwert aus den Ergebnissen der Teilindikatoren <i>HW₁</i> und <i>HW₂</i> :							
$Ind_{HW} = \frac{HW_1 + HW_2}{2}$							
Skalierung <input checked="" type="checkbox"/> de <input type="checkbox"/> lokal	<i>Ind_{HW}</i>	≥ 4,5	< 4,5 ... ≥ 3,5	< 3,5 ... ≥ 2,5	< 2,5 ... ≥ 1,5	< 1,5	
Klasse		5	4	3	2	1	
Qualitative Beurteilung		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	

3.5.4.1.2 Niedrigwasserregulation

Auch die ÖSL Niedrigwasserregulation wird mit einem vereinfachten Ansatz bewertet (vgl. auch MEHL et al. 2018a). Es sind vornehmlich die Querschnittsform und die hydraulische Rauigkeit, gerade auch infolge von Bewuchs, sowie die Lauflänge bzw. das Krümmungsverhalten, die darüber bestimmen, wie sich die Gewässer in hydrometeorologisch verursachten Niedrigwassersituationen verhalten. Die genannten hydraulischen Faktoren, die bei entsprechender Ausprägung zu einer Dämpfung des mit Niedrigwasser einhergehenden Wasserstandsabfalls beitragen, sind für den Menschen eher vorteilhaft. So führt z. B. eine verringerte bzw. verzögerte Grundwasserabsenkung in den Auen zu besserer Bodenwasserversorgung und trägt damit zu stabileren Erträgen in der Land- und Forstwirtschaft bei. Als ein Indikator wird daher der Mittelwert aus den Klassifizierungen für Ufer und Sohle der Fließgewässerstrukturgüte berechnet. Die Gewässer-/Auentypabhängigkeit einer Bewertung wird auch in diesem Fall durch die Ausgangsdaten abgesichert (Strukturgüte).

Zum anderen führen auch natürlicher, künstlich verstärkter und künstlich erzeugter Rückstau zum Aufstau und damit zur Erhöhung der Vorflut. Ein Wasserstandsabfall wird verhindert oder verzögert; eine Grundwasserabsenkung mithin ebenso verzögert. Von daher wird auch der Rückstau als Teilindikator mitbewertet.

Als Dritter Indikator kann ggf. (falls Daten vorliegen) die Höhe/Bedeutung der Grundwasserprägung qualitativ mit bewertet werden.

Das konkrete methodische Vorgehen bei der Bewertung der ÖSL Hochwasserregulation wird in Tabelle 3-11 abgebildet. Auch bei dieser ÖSL ist die Ausweisung einer Klasse „0“ (äußerst geringe/fehlende Ökosystemleistung) fachlich nicht erforderlich, da eine gegen Null tendierende Niedrigwasserregulationsleistung in Gewässern und Auen ebenfalls praktisch nicht möglich ist. Auch hier bleibt der eindeutige Bezug auf die regelmäßig 5-stufige Klassifizierungsskala der Fließgewässerstrukturgütebewertung vorteilhaft.

Tabelle 3-11: Bestimmung und Bewertung der Ökosystemleistung Niedrigwasserregulation (geändert nach PODSCHUN et al. 2018a)

Variable	Abk.	Einheit	Rechengröße	Datenquelle	Anmerkung
Fließstrecke der einzelnen relevanten Kartierabschnitte innerhalb des Auensegments	L_i	m	Länge	– Fließgewässerstrukturgüte (FGSK)	
Gesamtließstrecke	L_{Ges}	m	Länge	– FGSK	
Bewertungen der Klassifizierungen: Ufer, Sohle	BU , BS	relativ 5...1	Bewertungsklasse (5 entspricht ÖSL-Klasse 1 1 entspricht ÖSL-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 ÖSL.
Berechnungsverfahren					
Indikator(en)					

1. Berechnung der längengewichteten mittleren Bewertungseinheit aus „Ufer“ und „Sohle“ des Fließgewässers im Auensegment:

$$Ind_{NW1} = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{L_{Ges}} \cdot \left(\frac{BU_i + BS_i}{2} \right)$$

2. Bewertung/Berechnung (ggf. Einschätzung) der Rückstauerscheinungen (natürlicher, künstlich verstärkter und künstlich erzeugter Rückstau): qualitative Bewertung als Ind_{NW2}
3. Bewertung (ggf. Einschätzung) der Bedeutung des Grundwasserzustroms: qualitative Bewertung als Ind_{NW3}
4. Gesamtbewertung nach dem Maximumprinzip:

$$Ind_{NW_Gesamt} = MAX(Ind_{NW1}, Ind_{NW2}, Ind_{NW3})$$

		Ind_{NW1}	$\leq 1,5$	$> 1,5 \dots \leq 2,5$	$> 2,5 \dots \leq 3,5$	$> 3,5 \dots \leq 4,5$	$> 4,5$
Skalierung <input checked="" type="checkbox"/> de <input type="checkbox"/> lokal	Ind_{NW2}		Bei Niedrigwasserdurchflüssen rückgestaut (Stauwurzel liegt gegen die Fließrichtung oberhalb von 50 % der maßgeblichen Fließstrecke) = mindestens halbe Fließstrecke rückgestaut		Bei mittleren Durchflüssen rückgestaut (Stauwurzel liegt gegen die Fließrichtung oberhalb von 50 % der maßgeblichen Fließstrecke), <u>aber</u> bei Niedrigwasserdurchflüssen nicht mehr rückgestaut (Stauwurzel liegt unterhalb von 50 % der maßgeblichen Fließstrecke)		
	Ind_{NW3}		Sehr hoher/sehr bedeutsamer Grundwasserzustrom	Hoher/bedeutsamer Grundwasserzustrom	-	-	-
Klasse			5	4	3	2	1
Qualitative Beurteilung			Sehr hoher Niedrigwasserausgleich; zeitinvariant rückgestaute Gewässerabschnitte und/oder sehr hoher Grundwasserzustrom	Hoher Niedrigwasserausgleich und/oder hoher Grundwasserzustrom	Mäßiger Niedrigwasserausgleich, nur bei mittleren und höheren Abflüssen rückgestaut und/oder mäßiger Grundwasserzustrom	Geringer Niedrigwasserausgleich	Kein oder sehr geringfügiger Niedrigwasserausgleich

3.5.4.2 Sedimente, Böden sowie deren Nährstoffrückhalt

Unter die Subgruppe Sedimente, Böden sowie deren Nährstoffrückhalt fallen alle regulativen Ökosystemleistungen, die zur Regulation von Leistungen im Zusammenhang mit dem Sedimenthaushalt, der Bodenbildung, den Bodenfunktionen und der Leistungsfähigkeit der Böden (BBodSchG) beitragen. Die Gewässersohlen (soweit nicht durch Festgestein/anstehenden Fels bestimmt) einschließlich der Sedimente sind bodenkundlich als Unterwasserböden bzw. subhydri-sche Böden anzusprechen; sie werden allerdings im Regelfall nicht weiter als Subtypen definiert (vgl. Bodenkundliche Kartieranleitung, AG BODEN 2005). Als relevante, maßnahmensensitive ÖSL werden ausgewählt (Tabelle 3-12): die Sedimentregulation im Gewässersystem sowie die Retention der eutrophierungsrelevanten Makronährstoffe Stickstoff und Phosphor. Auf eine Analyse und Bewertung anderer in diesem Zusammenhang bestehender ÖSL wie z. B. Bodenbildung oder Retention von Schadstoffen wird aus Gründen der Maßnahmensensitivität und/oder der Prognosesicherheit verzichtet.

Tabelle 3-12: Ökosystemleistungen der Subgruppe Sedimente und Böden - Kennzeichen und Analysemöglichkeiten (**rot** hervorgehoben: Vorzugsvariante)

Ökosystemleistung (CICES-Klasse)	Beschreibung	Relevante Ökosystemfunktion(en)	Indikator(en)	Mögliche Analyse-/Klassifizierungsmethode(n), Modellkonzept(e)	Datengrundlage(n)
Sedimentregulation im Gewässersystem	Ausgleich von örtlichem Überangebot oder Mangel an Sediment infolge linien- und flächenhafter Erosion oder Ablagerung (in Flussgerinnen, Flussdeltas, an Stränden)	Sedimentausgleich Kolmation	Bewertung des gewässerinternen Sedimenthaushalts und von Kolmationsprozessen über die Naturnähe morphologischer Strukturen und die Auswirkungen von Querbauwerken auf die Sedimentdurchgängigkeit/morphologische Wirkung	RESI-Factsheet , vgl. PODSCHUN et al. (2018a)	Digitale Gewässerdaten (Polygone) Fließgewässerstrukturgüte-Kartierung (FGSK) der Länder

Ökosystemleistung (CICES-Klasse)	Beschreibung	Relevante Ökosystemfunktion(en)	Indikator(en)	Mögliche Analyse-/Klassifizierungsmethode(n), Modellkonzept(e)	Datengrundlage(n)
Retention von Stickstoff (N)	Dauerhafter Abbau von eutrophierungsrelevanten oder giftigen Stickstoffverbindungen	Dauerhafte Entfernung von N durch Denitrifikation	Flächenspezifische N-Rückhalteraten	Expertenbewertung für N-Rückhalt (Faustzahlen, z. B. nach TREPEL (2008) oder SCHOLZ et al. 2012) Nitratrückhaltevermögen von Böden (https://www.hlnug.de/static/medien/boden/fisbo/bk/bfd50/extdoc/m_nitrat.html)	Nitratrückhaltevermögen (Länderdaten Hessen und Rheinland-Pfalz) Bodenverbreitung Nutzungsdaten Grundwasserflurabstand Überschwemmungsverhältnisse Atmosphärische N-Deposition
Retention von Phosphor (P)	Rückhalt von eutrophierungsrelevanten Phosphorverbindungen	(Temporärer) Rückhalt von P durch Aufnahme in Böden und Sedimente (Deposition) Adsorption (an Kationen)	Flächenspezifische P-Rückhalteraten	Expertenbewertung für P-Rückhalt (Faustzahlen nach TREPEL (2008) oder SCHOLZ et al. 2012)	Bodenverbreitung Landnutzungsdaten/Landbedeckungsmodell Grundwasserflurabstand Überschwemmungsverhältnisse

3.5.4.2.1 Sedimentregulation

Zum Sediment wird die an der Gewässersohle transportierte Bodenfracht (Geschiebe) und die in Suspension transportierte Schwebstofffracht gezählt (DWA-M 525). Von den herrschenden hydrodynamischen Verhältnissen (Fließgeschwindigkeit, Sohlschubspannung) hängt entscheidend ab, welche Korngrößen transportiert oder abgelagert werden. Schwebstoffe werden durch die Turbulenz der Strömung in Suspension gehalten. In einem ungestörten, über einen langen Zeitraum entwickelten und vor allem naturnahen Fließgewässer stellt sich ein morphologisches Gleichgewicht ein. Dieses impliziert, dass bei Betrachtung eines ausreichend langen, der hydrologischen Dynamik gerecht werdenden Zeitfensters von mindestens 5 bis 10 Jahren eine ausgeglichene Bilanz zwischen den externen Sedimenteinträgen, der gewässerinternen Erosion und Akkumulation sowie den Sedimentausträgen an der Mündung zu erwarten ist (MANGELSDORF & SCHEURMANN 1980). Solche Verhältnisse werden indirekt auch durch sehr gute gewässerstrukturelle Verhältnisse angezeigt, vgl. hierzu z. B. HARNISCHMACHER 2002, DWA-M 526). Aus diesem Grunde kann ersatzweise die ÖSL Sedimentregulation im Hinblick auf den gewässerinternen Sedimenthaushalt über die Naturnähe morphologischer Strukturen indiziert werden. Als Indikator wird die Klassifizierung für „Sohle“ der Fließgewässerstrukturgüte verwendet. Die Gewässer-/Auentypabhängigkeit einer Bewertung wird auch in diesem Fall durch die Ausgangsdaten abgesichert (Strukturgüte).

Das methodische Vorgehen bei der Bewertung der ÖSL Sedimentregulation wird in Tabelle 3-13 abgebildet. Auch bei dieser ÖSL ist die Ausweisung einer Klasse „0“ (äußerst geringe/fehlende Ökosystemleistung) fachlich nicht erforderlich, da eine gegen Null tendierende Sedimentregulationsleistung in Gewässern praktisch nicht möglich ist. Der eindeutige Bezug auf die regelmäßig 5-stufige Klassifizierungsskala der Fließgewässerstrukturgütebewertung bleibt mithin vorteilhaft. Die Klassifizierungsergebnisse werden, soweit nicht bereits vorliegend, vorab von einer 7-stufigen Skala auf eine 5-stufige transformiert. Dabei werden die Klassen 1 und 2 zur neuen Klasse 1 und die Klassen 6 und 7 zur neuen Klasse 5; die anderen ursprünglichen Klassen 3 bis 5 werden je um eine Stufe gehoben: 3 zu 2, 4 zu 3, 5 zu 4. Bei getrennten Bewertungen zwischen linkem Ufer bzw. Land und rechtem wird der Mittelwert gebildet und mit diesem Wert (eine Dezimalstelle hinter dem Komma) weitergerechnet.

Tabelle 3-13: Bestimmung und Bewertung der Ökosystemleistung Sedimentregulation (geändert nach PODSCHUN et al. 2018a)

Variable	Abk.	Einheit	Rechengröße	Datenquelle	Anmerkung
Fließstrecke der einzelnen relevanten Kartier-Abschnitte innerhalb des Auensegments	L_i	m	Länge	– Fließgewässerstrukturgüte (FGSK) – Auensegmente	
Gesamtlängstrecke	L_{Ges}	m	Länge	– FGSK – Auensegmente	
Bewertungen der Klassifizierung: Sohle	BS	relativ 5...1	Bewertungsklasse (5 entspricht ÖSL-Klasse 1 1 entspricht ÖSL-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 Stützschwelle	4	
			Bewegliches Wehr und Sperrwerk	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 checked="" type="checkbox"/> de <input type="checkbox"/> lokal	Ind_{SR}	1	2	3	4	5
Klasse	5	4	3	2	1	
Qualitative Beurteilung	Ungestörter/weitgehend ungestörter Sedimenthaushalt	Leicht gestörter Sedimenthaushalt	Deutlich gestörter Sedimenthaushalt	Stark gestörter Sedimenthaushalt	Sehr stark gestörter Sedimenthaushalt	

3.5.4.2.2 Retention der Nährstoffe Phosphor und Stickstoff

Eine weitere wichtige Ökosystemleistung bildet der Rückhalt bzw. die Retention der Nährstoffe Phosphor und Stickstoff in Gewässern und Auen (MITSCH & GOSSELINK 2000, GARCIA-LINARES et al. 2003, SCHOLZ et al. 2012, MEHL et al. 2013, PODSCHUN et al. 2018a, SYMMANK et al. 2020a). Eine übermäßige Nährstoffbelastung kann auf Grund ökosystemarer Unterschiede differenzierte Eutrophierungsphänomene bzw. -erscheinungen in Gewässern auslösen. Grundsätzliche Folgen der Eutrophierung sind vor allem:

- Massenvermehrungen von benthischen und planktischen Algen (vor allem in Stand-, Küsten- und Meeressgewässern sowie in langsam fließenden und gestauten bzw. rückgestauten Flüssen) und/oder

- Massenentwicklungen von Pflanzen (aquatische, semiaquatische Makrophyten) in und an unbeschatteten Bächen und Flüssen sowie
- eine damit verbundene, erhöhte gewässerinterne biologische Primärproduktion, die zu erhöhter Sauerstoffzehrung und bisweilen Sauerstofffreiheit führt (nächtliche Veratmung und extremer Sauerstoffverbrauch beim Abbau der organischen Substanz in der vegetationsärmeren Zeit), womit lebensfeindliche, vielfach todbringende Bedingungen für wasseratmende Tiere der Gewässer entstehen,
- eine Verschlammung der Gewässerböden auf Grund der hohen Abbaumengen organischer Substanz mit stark negativen Folgen für die benthische Besiedlung (Verlust ursprünglicher Habitatbedingungen),
- eine Toxizität der mineralisierten Stickstoffverbindungen Ammoniak (NH₃) bzw. (wenn auch geringer) Ammonium (NH₄⁺) sowie der im Denitrifizierungsprozess entstehenden Zwischenstufe Nitrit (NO₂⁻) für viele Tierarten der Gewässer (vor allem für Fische und Wirbellose) sowie
- eine stark klimaschädliche Wirkung der weiteren Zwischenstufe des Denitrifizierungsprozesses Distickstoffmonoxid (N₂O, „Lachgas“, ca. 300 Mal stärkere Klimawirkung als Kohlendioxid - CO₂), dessen stratosphärisches Abbauprodukt Stickstoffmonoxid (NO) zudem unmittelbar zur Zerstörung der Ozonschicht beiträgt.

Die typische Biomasse weist eine mittlere Zusammensetzung der Kernelemente Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H), Sauerstoff (O), Stickstoff (N) und Phosphor (P) von



auf. Insofern müssen diese chemischen Elemente für die autotrophen Organismen auch im entsprechenden Mengenverhältnis physiologisch verfügbar sein. Für Stickstoff und Phosphor bedeutet dies ein Verhältnis von 16:1, weshalb in vielen Gewässern (vor allem in Standgewässern) ein geringer Phosphorgehalt limitierend wirken kann. Aber auch der Stickstoff kann eine limitierende Größe darstellen, was gerade für marine Gewässerökosysteme gilt. Sowohl in den offenen Ozeanen als auch in den Küstengewässern bildet Stickstoff, von Ausnahmen abgesehen, das entscheidende Manglelement.

Nährstoffrückhalt und -umsetzung (begrifflich hier summarisch unter „Nährstoffretention“ gefasst, vgl. z. B. VENOHR 2006) basieren beim Stickstoffkreislauf auf der Denitrifikation und im Phosphorhaushalt auf der Sedimentation (TREPEL 2008). Ein dauerhafter Entzug durch biologische Inkorporierung in autotrophen und folglich auch heterotrophen Organismen ist nur dann ökologisch wirksam, wenn die Nährstoffe erst in anderen Ökosystemen wieder frei werden (z. B. Nährstoffexport durch Ernte) oder bei überwiegend „dauerhafter“ Festlegung in Akkumulationsräumen (dies sind vor allem wachsende Moore und Sedimente tiefer Seen) (KRONVANG et al. 1999).

Die Denitrifikation ist in der Mikrobiologie definiert als respiratorische bakterielle Reduktion von Nitrat oder Nitrit zu gasförmigem Stickstoffmonoxid (NO), Distickstoffmonoxid bzw. Lachgas (N₂O) oder elementarem Stickstoff (N₂) (ONIGKEIT 2006). Höhere Temperaturen sowie pH-Werte begünstigen diesen Prozess. Eine der Grundvoraussetzungen für den Ablauf der Denitrifikation in der Landschaft ist das Vorhandensein anaerober Zonen im Boden, im Grundwasser oder in Gewässern. Diese können im Boden auftreten, wenn die Bodenporen annähernd oder vollständig wassererfüllt sind (wassergesättigter Zustand). Solche Sättigung kann infolge von Niederschlagsereignissen, bei denen die Niederschlagsintensität die Infiltrationsintensität übersteigt, als Folge hoher Grundwasserstände (hydromorphe Böden), von Überflutungen (Auen, Niederungen) oder sollte vor allem in Mooren auftreten, die dann hydrologisch intakt sind, wenn das

Wasser im langfristigen Mittel nahe an, in oder über der Oberfläche steht (EDOM 2001). Im Grundwasser sowie in Oberflächengewässern müssen gleichfalls anaerobe Bedingungen herrschen. In allen Systemen wirken sich stark sauerstoffzehrende Prozesse, die mit hohen Raten ablaufen, so aus, dass sie die Nachlieferungsrate von Sauerstoff übersteigen, was wiederum die Denitrifikation begünstigt.

Der Phosphorrückhalt in Auen basiert hingegen auf der Sedimentation als wichtigster Prozess. Die Sedimentation ist maßgeblich bestimmt durch die Fracht an suspendiertem Sediment (Abfluss und Stoffkonzentration), die Dauer und die Frequenz der Hochwasserereignisse, die Topografie und die rauhigkeitsbestimmende Landnutzung/Vegetationsbedeckung (vgl. Literaturdiskussion bei SCHOLZ et al. 2012). Inwieweit die Aue Sediment und daran anhaftende Nährstoffe zurückhalten kann, hängt letztlich maßgeblich von der Fließ- und Sinkgeschwindigkeit der feinen Partikel ab (VAN DER LEE et al. 2004). Eine wichtige Einflussgröße ist die Größe der vorhandenen überflutbaren Aue. Der Abfluss und die Fließgeschwindigkeit in Auen werden maßgeblich durch die hydraulische Rauigkeit beeinflusst, die wiederum abhängig von der Rauigkeit von der Nutzung und der Auenvegetation ist (KRONVANG et al. 1999, SCHOLZ et al. 2012).

Für die Bestimmung der Retentionsleistungen als Ökosystemleistung wird letztlich auf folgende Ansätze zurückgegriffen:

- a) Stickstoff: GÄTH et al. (1999), SCHOLZ et al. (2012)

Der Ansatz geht davon aus, dass die Bodentypen auf Grund ihrer Redoxeigenschaften, die insbesondere abhängig vom Wassergehalt sind, unterschiedliche Kapazitäten für die Umwandlung von Nitrat (NO_3) zu elementarem Stickstoff (N_2) besitzen (Denitrifikation). Dabei werden für die GIS-Berechnungen pragmatisch die bei GÄTH et al. (1999) genannten Klassenobergrenzen im Sinne von Maximalwerten angesetzt. Ergänzt wird dies um die Ansätze für Feuchtgebiete (hierzu wird auch der im Weiteren relevante Gewässerentwicklungskorridor gezählt), Auengewässer sowie den Fluss selber; hier wird den Ansätzen nach SCHOLZ et al. (2012) gefolgt (Tabelle 3-14). Mit gleichen oder ähnlichen Ansätzen operieren auch SYMMANK et al. (2020a).

Die Bewertung der potentiellen Denitrifikation wird unter der Annahme vorgenommen, dass die Konzentration an Nitratstickstoff sowohl im Boden als auch im Gewässer nicht begrenzend wirkt. Damit ermöglicht eine GIS-Analyse die Berechnung eines flächengewichteten mittleren Denitrifikationspotenzials im Sinne der ÖSL Stickstoffretention.

Tabelle 3-14: Bestimmung und Bewertung der Ökosystemleistung Retention von Stickstoff, Bewertung der potentiellen Denitrifikationsleistung der Wurzelzone von Böden unter der Annahme, dass die Konzentration an Nitrat-Stickstoff im Boden nicht limitierend wirkt, sowie von Auengewässern und Fluss; ergänzt und geändert nach GÄTH et al. (1999) und SCHOLZ (2012), normiert auf die 6-stufige Ökosystemleistungsskala

Kennzeichnung der Denitrifikationsstufe		Potenzielle Denitrifikationsstufe	Denitrifikationswert (zugewiesen)	Grund-/Stauwassereinfluss in Wurzelzone (Randbedingung)	Geologische Ausgangssubstrate	Bodentypen (Beispiele), Gewässer, Gewässerentwicklungskorridor, Auen-Feuchtgebiete/-Feuchtlebensräume
Klasse	Ökosystemleistung	kg Stickstoff ha ⁻¹ a ⁻¹				
5	Sehr hoch	300	300			Auengewässer, Fluss
		>> 150		Ganzjährig Grundwassereinfluss	Moore und organische Mudden ²⁾	Basisches Niedermoor, Übergangsmoor, Auen-Feuchtgebiete/-Feuchtlebensräume, Gewässerentwicklungskorridor (ohne Fluss)
				Lang anhaltende Wassersättigung	Gesteine mit hohem Anteil an fossilem Kohlenstoff und reduzierten Schwefelverbindungen	Verschiedene Böden ³⁾ , Pelosole
4	Hoch	50...> 150	150	6 bis 9 Monate Grundwassereinfluss	Fluviale, limnogene und marine Lockergesteine sowie Moore	Feucht-Schwarzerde, Gleye, Anmoorgleye, Auenböden ⁵⁾ , Marschen, Saures Niedermoor, Hochmoor
3	Mittel	30...50	50	Grundwasserfern, aber 3 bis 6 Monate Stauwassereinfluss	Schluffig bis tonige Lockergesteine und tiefgründig verwitterte schluffig bis tonige Festgesteine	Pelosol, Pseudogley
2	Mäßig	10...30	30	Ganzjährig keine Wassersättigung	Schluffig bis tonige Lockergesteine Festgesteine, tiefgründig zu Schluff oder Ton verwittert Unterschiedliche Lockergesteinstypen	Pararendzina ¹⁾ , Parabraunerde ¹⁾ , Trocken-Schwarzerde, Auenböden ⁴⁾ , Terra fusca ¹⁾ , Terra rossa ¹⁾ , Kolluvium ¹⁾ , Plaggenesch, Sandmischkultur
1	Gering	< 10	10	Ganzjährig keine Wassersättigung	Sandige Lockergesteine Flachgründig verwitterte Festgesteine und tiefgründig verwitterte sandige Festgesteine	Braunerde, Bänderparabraunerde, Podsol, Syrosem, Ranker, Regosol, Rendzina
0	Sehr gering	0	0			Versiegelte, überbaute Böden

1) bei mittleren bis starken Pseudogleymerkmalen Zuordnung in Stufe 3, 2) bei ganzjähriger Trockenlegung Zuordnung in Stufe 2 oder 3, 3) z. B. Lias, Untere Kreide und braunkohle- bzw. pyritthaltige Geschiebelehme, 4) Grundwasserstand im Kies, 5) Grundwasserstand im Auenboden

b) Phosphor: SCHOLZ et al. (2012)

Dieser Ansatz basiert für die rezente Aue auf einer Abschätzung der Sedimentationsneigung und des damit verbundenen Phosphoreintrages mittels hydraulischen Rauigkeitswerten der Landnutzung bzw. Vegetation entsprechend SCHOLZ et al. (2012). Der Grundgedanke dabei ist, dass vor allem die bodenbedeckende Vegetation und deren Rauigkeit entscheidend darüber bestimmt, wie hoch die Retentionsraten ausfallen. Die Bewertung der potentiellen Phosphorretention wird unter der Annahme vorgenommen, dass die Konzentration an Phosphor im Gewässer nicht begrenzend wirkt. Für die hydraulische Rauigkeit der Landnutzungsklassen entsprechend der empirischen hydraulischen Berechnungsformel nach der GAUKLER-MANNING-STRICKLER-Formel (vgl. PREIBLER & BOLLRICH 1985) werden die Werte nach Tabelle 3-15 angesetzt. Daher ermöglicht eine GIS-Analyse die Berechnung einer flächengewichteten mittleren Rauigkeit. Den Phosphor-Retentionsraten liegen dabei die rauigkeitsabhängigen Werte zwischen 0,5 und 5,0 kg ha⁻¹ a⁻¹ (für fünf Rauigkeitsstufen) und die Angaben zur P-Retention in Auengewässern und am Flussufer nach SCHOLZ et al. (2012) zugrunde. Gleiche oder Ansätze in ähnlicher Höhe nutzen auch SYMMANK et al. (2020a). Der Wert für das Flussufer wird hier für den Gewässerentwicklungskorridor angesetzt (ohne den Raum des Flusses).

Für den eigentlichen Fluss wird keine Phosphorretention angesetzt, da Phosphor hier im Allgemeinen nur zeitweilig einer Retention unterliegt (Adsorption an Sohlsediment, Aufnahme durch Algen und Makrophyten) und regelmäßig wieder remobilisiert wird (vor allem durch Rücklösung und hydraulisch bedingte Verlagerung). Abschließend ermöglicht eine GIS-Analyse die Berechnung eines flächengewichteten mittleren Wertes für jeden Auenabschnitt im Sinne der ÖSL Phosphorretention.

Tabelle 3-15: Bestimmung und Bewertung der Ökosystemleistung Retention von Phosphor, Bewertung der potentiellen Rückhalteleistung (Sedimentation), normiert auf die 6-stufige Ökosystemleistungsskala, Grundlage: Landnutzung (ergänzt) entsprechend BRUNOTTE al. (2009), zugeordnete (mittlere) STRICKLER-Beiwerte k_{ST} für die rezente Aue sowie abgeschätzte Phosphor-Retentionsraten (berechnet und ergänzt nach SCHOLZ et al. 2012)

Kennzeichnung der Sedimentationsstufe		Landnutzung	k_{ST} [m ^{1/3} s ⁻¹]	P-Retentionsraten [kg ha ⁻¹ a ⁻¹]
Klasse	Ökosystemleistung			
5	Sehr hoch	Gewässerentwicklungskorridor (ohne Fluss)	-	50,0
4	Hoch	Wald (außerhalb des Gewässerentwicklungskorridors)	7	5,0
3	Mittel	Feuchtgebiet	11	4,6
2	Mäßig	Acker	15	4,2
		Siedlung, Industrie, Gewerbe	20	3,7
		Grünland	20	3,7
		nicht definierte Landnutzung	20	3,7
1	Gering	Auengewässer	-	3,0
0	Sehr gering	Vegetationslos	50	0,5

3.5.4.3 Biologische Selbstreinigung (in Bezug auf organische Belastung), Sauerstoffverhältnisse im Wasserkörper sowie im Interstitial

Unter die Subgruppe „Biologische Selbstreinigung, Sauerstoffverhältnisse im Wasserkörper sowie im Interstitial“ fallen alle regulativen Ökosystemleistungen, die zur Regulation von organischen stofflichen Belastungen im Zusammenhang mit dem fließenden oder stehenden Flusswasser beitragen (Tabelle 3-16).

Als Interstitial (auch hyporheisches Interstitial oder Hyporheal) wird der Raum unterhalb der Oberflächensedimente der Flussbetten bezeichnet, der sich teilweise auch noch über das Ufer hinaus fortsetzen kann und in welchen das Flusswasser infiltriert (SCHWOERBEL 1964, 1967, SCHÖNBORN 1992). Damit trägt dieser Raum zum Stoffumsatz des Fließgewässers, teilweise in hohem Maße bei. Gerade eine anthropogen verursachte, hohe Schwebstoffführung oder durch verstärktes Sedimentieren infolge von Aufstau und künstlichem Rückstau kann der Porenraum des Interstitials verstopft sein (Kolmation), so dass der Raum seine natürlichen Funktionen ganz oder weitgehend verlieren kann.

Unter Selbstreinigung wird hier der Gesamtprozess in einem Fließgewässer verstanden, der zu einer Verringerung organischer Belastung (überwiegend Abwasserlast) führt. Hier kann man folgende Teilprozesse unterscheiden (UHLMANN 1988):

1. Verdünnung und/oder Vergleichmäßigung
2. Chemische und physikochemische Mechanismen (Flockung, Fällung, Neutralisation, Absorption usw.)
3. Biochemischer Abbau bzw. Einbau von relevanten Inhaltstoffen in Biomasse

Für den Prozess unter 3. wird der Begriff „biologische Selbstreinigung“ verwendet; hier haben die Bakterien und auch die Aufwuchsalgen den mit weitem Abstand größten Anteil am Stoffumsatz, der sich sowohl auf den Oberflächen der biologisch wirksamen Substrate vollzieht („biologischer Rasen“). Die wichtigsten Einflussgrößen der biologischen Selbstreinigung sind (UHLMANN 1988, SCHÖNBORN 1992):

- a) Konzentration der mit dem Wasser in Kontakt stehenden aktiven Biomasse
- b) Geometrie des Flussbettes (vor allem im Hinblick auf die Oberflächengröße biologisch aktiver Fläche)
- c) Fließgeschwindigkeit und Turbulenz (entscheidend für Konzentrationsausgleich/Dispersion und atmosphärische Belüftung)
- d) Konzentration der organischen (aber auch der anorganischen) Nährstoffe
- e) Temperatur
- f) Lichtintensität
- g) Sauerstoffangebot

Aufbauend auf diesen ökologischen Grundprinzipien stellt Tabelle 3-16 einige Möglichkeiten dar, die ÖSL Biologische Selbstreinigung mit relevanten Ökosystemfunktionen und Indikatoren/Methoden zu analysieren und zu bewerten.

Tabelle 3-16: Ökosystemleistungen der Subgruppe Selbstreinigung, Sauerstoffverhältnisse und Stoffumsätze im Wasserkörper sowie im Interstitial - Kennzeichen und Analysemöglichkeiten (rot hervorgehoben: Vorzugsvariante)

Ökosystemleistung (CICES-Klasse)	Beschreibung	Relevante Ökosystemfunktion(en)	Indikator(en)	Mögliche Analyse-/Klassifizierungsmethode(n), Modellkonzept(e)	Datengrundlage(n)
Biologische Selbstreinigung	Biochemischer Abbau bzw. Einbau von relevanten organischen Inhaltsstoffen in Biomasse	Wirksamkeit mikrobieller Aktivität	Sauerstoffhaushalt Organische Belastungsparameter	Expertenbewertung mittels Kriterienkatalog (Prognose): Änderungen des Mittelwerts für BSB ₅ und/oder für TOC nach OGewV Änderungen im Selbstreinigungsquotienten nach SCHÖNBORN (1992): NO ₃ -N/NH ₃ -N (Mittelwert nach OGewV)	Physikalisch-chemische Qualitätskomponenten nach Anhang V WRRL bzw. OGewV
		Biologisch wirksame Fläche	Geometrie des Flussbettes in Bezug auf das Querprofil	Hydraulischer Radius (R) für Ausgangszustand und Planzustand (vereinfacht abgeschätzt): $R = A \cdot U^{-1}$ (A – durchflossener Fließquerschnitt, U – benetzter Umfang)	Vermessungsdaten/Prognosezustand
		Biologisch wirksame Fläche, Fließverhalten (Fließgeschwindigkeit, Turbulenz, Strukturreichtum)	Geometrie des Flussbettes in Bezug auf das Quer- und das Längsprofil, gewässertypischer Strukturreichtum	Strukturgröße (Ist-Zustand und Prognose) und relevante Hauptparameter (1) „Laufentwicklung“, (2) „Längsprofil“, (3) „Sohlstruktur“, (4) „Querprofil“, (5) „Uferstruktur“	Fließgewässerstrukturgüte-Kartierung (FGSK) der Länder

Zurückgegriffen wird am Ende auf die Indikatoren „Geometrie des Flussbettes in Bezug auf das Quer- und das Längsprofil, gewässertypischer Strukturreichtum“, die über Daten und Prognosen zur (veränderlichen und prognostizierbaren) Fließgewässerstruktur analysiert und bewertet werden können. Hierzu wird auf die Länderdaten für die relevanten Hauptparameter (1) „Laufentwicklung“, (2) „Längsprofil“, (3) „Sohlstruktur“, (4) „Querprofil“, (5) „Uferstruktur“ zurückgegriffen. Die Klassifizierungsergebnisse werden, soweit nicht bereits vorliegend, vorab von einer 7-stufigen Skala auf eine 5-stufige transformiert. Dabei werden die Klassen 1 und 2 zur neuen Klasse 1 und die Klassen 6 und 7 zur neuen Klasse 5; die anderen ursprünglichen Klassen 3 bis 5 werden je um eine Stufe gehoben: 3 zu 2, 4 zu 3, 5 zu 4. Bei getrennten Bewertungen zwischen linkem Ufer bzw. Land und rechtem wird der Mittelwert gebildet und mit diesem Wert (eine Dezimalstelle hinter dem Komma) weitergerechnet. Die Strukturgröße-Hauptparameter Querprofil und Uferstruktur werden entsprechend Ihrer geringeren räumlichen und funktionalen Bedeutung für die biologische Selbstreinigung etwas geringer gewichtet. Auch bei dieser ÖSL ist die Ausweisung einer Klasse „0“ (äußerst geringe/fehlende Ökosystemleistung) fachlich nicht erforderlich, da eine gegen Null tendierende Biologische Selbstreinigung in Gewässern normalerweise nicht möglich

ist. Der eindeutige Bezug auf die 5-stufige Klassifizierungsskala der Fließgewässerstrukturgütebewertung bleibt mithin vorteilhaft. Der Indikator für die biologische Selbstreinigung wird mithin entsprechend Tabelle 3-17 berechnet und bewertet. Die Bewertung der biologischen Selbstreinigung wird unter der Annahme vorgenommen, dass die anderen Einflussgrößen (insbesondere organische Belastung) nicht begrenzend wirken.

Tabelle 3-17: Bestimmung und Bewertung der Ökosystemleistung biologische Selbstreinigung

Variable	Abk.	Einheit	Rechengröße	Datenquelle	Anmerkung	
Fließstrecke der relevanten Kartierabschnitte innerhalb des Auensegments	L_i	m	Länge	– Fließgewässerstrukturgüte (FGSK)		
Gesamtließstrecke	L_{Ges}	m	Länge	– FGSK		
Bewertungen der Klassifizierungen der Hauptparameter: HP1 Laufentwicklung, HP 2 Längsprofil, HP 3 Sohlstruktur, HP 4 Querprofil, HP 5 Uferstruktur	HP 1... HP 5	relativ 5...1	Bewertungsklasse (5 entspricht ÖSL-Klasse 1 1 entspricht ÖSL-Klasse 5)	– FGSK		
Berechnungsverfahren						
Indikator						
Berechnung der längen- und bedeutungsgewichteten mittleren Bewertungseinheit der Hauptparameter HP 1 Laufentwicklung, HP 2 Längsprofil, HP 3 Sohlstruktur, HP 4 Querprofil, HP 5 Uferstruktur des Fließgewässers im Auensegment:						
$Ind_{BS} = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{L_{Ges}} \cdot \left(\frac{HP\ 1_i + HP\ 2_i + HP\ 3_i + 0,5\ HP\ 4_i + 0,5\ HP\ 5_i}{4} \right)$						
Skalierung <input checked="" type="checkbox"/> de <input type="checkbox"/> lokal	Ind_{NW}	$\leq 1,5$	$> 1,5 \dots \leq 2,5$	$> 2,5 \dots \leq 3,5$	$> 3,5 \dots \leq 4,5$	$> 4,5$
Klasse		5	4	3	2	1
Qualitative Beurteilung		Sehr hohe biologische Selbstreinigung	Hohe biologische Selbstreinigung	Mäßige biologische Selbstreinigung	Geringe biologische Selbstreinigung	Sehr geringe biologische Selbstreinigung

3.5.4.4 Globales Klima

Unter die Subgruppe Globales Klima fallen alle regulativen Ökosystemleistungen, die zum Rückhalt von Treibhausgasen bzw. zur Kohlenstoffsequestrierung beitragen und damit der Klimamitigation dienen (Tabelle 3-18).

Tabelle 3-18: Ökosystemleistungen der Subgruppe Globales Klima - Kennzeichen und Analysemöglichkeiten (rot hervorgehoben: Vorzugsvariante)

Ökosystemleistung (CICES-Klasse)	Beschreibung	Relevante Ökosystemfunktion(en)	Indikator(en)	Mögliche Analyse-/Klassifizierungsmethode(n), Modellkonzept(e)	Datengrundlage(n)
Rückhalt von Treibhausgasen/Kohlenstoffsequestrierung	<p>Verminderung von anoxischem C-Abbau (CH₄-Emission)</p> <p>Verminderung von unvollständigem anoxischem N-Abbau (N₂O-Emission)</p> <p>Rückhalt von CO₂ durch Aufnahme in Biomasse (Nettoprimärproduktion/Assimilation) --> Kohlenstoffsequestrierung in Vegetation und Böden (oberirdisch in toter und lebender Biomasse und unterirdisch im Boden)</p>	Emission der Treibhausgase Kohlendioxid, Methan und Lachgas	Kohlenstoffvorratsänderung	Grundlage: Methodik des Nationalen Inventarberichts (NIR) zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2017 des Umweltbundesamtes (UBA 2019), durch Einzel-Prozessbezogenheit (Ansätze für jedes einzelne Treibhausgas – CO ₂ , N ₂ O, CH ₄ sowie Unterscheidung zwischen Boden und oberirdischer Biomasse), aber Überlagerung aller THG und Subsysteme notwendig	<p>Landnutzungsdaten/Landbedeckungsmodell</p> <p>Realnutzungskartierung</p> <p>Bodendaten</p>

Für die Abschätzung der Kohlenstoffvorratsänderung wird methodisch auf die Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2018, den Nationalen Inventarbericht (NIR) zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2017 des Umweltbundesamtes (UBA 2019) zurückgegriffen, soweit Methoden und Werte für wesentliche Landnutzungsänderungen greifbar sind (abschätzende, mittlere Ansätze). Der Ansatz ist auf terrestrische und semiterrestrische Flächen ausgerichtet. Für Gewässer ist die Situation hinsichtlich Kohlenstoffvorrat und -änderung in hohem Maße individuell, so dass die NIR-Methodik pragmatisch und einheitlich keinen Kohlenstoffvorrat für Gewässer ausweist. Auch die Freisetzung von Treibhausgasen, gerade in anthropogenen Akkumulationsräumen wie sie Stauräume darstellen, wird nicht betrachtet. Bekannt ist, dass allochthon und autochthon organisch belastete

Flüsse wie die Lahn in den Stauräumen, insbesondere bei den höheren Temperaturen des Sommerhalbjahres, enorme Mengen Methan freisetzen können. Hier liegen demnach Bewertungsreserven des genutzten Ansatzes.

Generell wird das Vorgehen so gewählt, dass für die Prognose der Veränderung nur auf die dominierenden Hauptnutzungen des Ist-Zustandes gesetzt wird. Dies ist erforderlich, weil bei der späteren Definition des Gewässerentwicklungskorridors (vgl. Kap 6.5.6) keine flächenscharfe Verortung der Zielvegetationsausprägung möglich ist (vgl. Kap. 6.6). Dies läuft darauf hinaus, dass grundsätzlich die Hauptnutzungen Grünland und Gewässer als Ist-Zustand anzusetzen sind.

Tabelle 3-19: Emissionsfaktoren [t C ha⁻¹] zur Ermittlung der Kohlenstoffvorratsunterschiede in mineralischen Böden und in der ober- und unterirdischen Biomasse nach Landnutzungsänderung (Datengrundlage: UBA 2019); negativ: Kohlenstoffverluste; positiv: Kohlenstoff

Kohlenstoffvorrat (2017) und Kohlenstoffvorratsänderungen (in 20 Jahren) in mineralischen Böden sowie in der ober- und unterirdischen Biomasse									
Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹]		Kohlenstoffvorrat nach Landnutzungsänderung [t C ha ⁻¹] (nach Zeitraum von 20 Jahren)							
Initial/Final	Ist-Zustand (2017)	Wald	Acker	Grünland	Gehölze	Terrestrische Feuchtgebiete	Gewässer	Siedlungen	Sonstiges Land
Wald	120,97		66,73	84,24	116,34	92,93	66,31	71,16	110,26
Acker	66,73	142,01		84,24	116,34	92,93	60,03	71,17	-
Grünland	84,24	137,92	66,73		116,34	92,93	77,43	71,16	-
Gehölze	116,34	147,67	66,73	84,24		92,93	73,18	71,16	-
Terrestrische Feuchtgebiete	92,93	154,84	66,73	84,24	116,34		74	71,17	-
Gewässer	0,00	72,80	6,70	6,81	43,16	18,93		12,49	-
Siedlungen	71,16	146,60	66,72	84,24	116,34	92,92	58,67		-
Sonstiges Land	55,60	139,11	66,72	84,24	116,34	92,92	55,60	71,16	

Die im NIR-Bericht enthaltenen Berichtstabellen im Common Reporting Format (CRF) wurden gemäß der UNFCCC Richtlinie zur Berichterstattung über jährliche Inventare (FCCC/CP/2013/10/Add.3) und in Übereinstimmung mit den 2006 IPCC Guidelines for national Greenhouse Gas Inventories (IPCC Guidelines, 2006) und dem IPCC Good Practice Guidance (IPCC-GPG, 2000) erstellt (alles zitiert in UBA 2019). Da in der Lahnaue nur mineralische Böden vorkommen, können hierfür die entsprechenden Ansätze genutzt werden. Die Veränderungen der Kohlenstoffvorräte in Mineralböden wurden in UBA (2019) als Differenz zwischen den jeweiligen Vorräten vor und nach den entsprechenden Landnutzungsänderungen berechnet (Bezugsjahr 2017). Hierfür werden Emissionsfaktoren ausgewiesen. In Tabelle 3-19 wird neben den Emissionsfaktoren (zusammen berechnet für die mineralischen Böden sowie ober- und unterirdische Biomasse) auch der anfängliche Kohlenstoffvorrat dargestellt. Die Gesamtänderung bei allen Treibhausgasvorräten wurde gemäß IPCC-Default (IPCC 2006, zitiert in UBA 2019) auf einen Zeitraum von 20 Jahren linear verteilt. Weitere klimarelevante Spurengase werden explizit nicht betrachtet.

Der Maximalwert des Kohlenvorrats nach 20 Jahren ergibt sich (erwartungsgemäß) bei der Nutzungsveränderung „Terrestrische Feuchtgebiete in Wald“ (154,84 t C ha⁻¹). Anhand dieses Maximalwertes lässt sich die 6-stufige Skala für die Ökosystemleistungsbewertung entsprechend Tabelle 3-20 abbilden.

Tabelle 3-20: Bestimmung und Bewertung der Ökosystemleistung Rückhalt von Treibhausgasen/Kohlenstoffsequestrierung

Ökosystemleistungsskala		Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹]
Klasse	Ökosystemleistung	
5	Sehr hoch (> 80 %)	> 123,87
4	Hoch (> 60 % bis ≤ 80 %)	> 92,90 ... ≤ 123,87
3	Mäßig (> 40 % bis ≤ 60 %)	> 61,94 ... ≤ 92,90
2	Gering (> 20 % bis ≤ 40 %)	> 30,97 ... ≤ 61,94
1	Sehr gering (> 5 % bis ≤ 20 %)	> 7,74 ... ≤ 30,97
0	Äußerst gering/fehlend (≤ 5 %)	≤ 7,74

3.5.4.5 Regional-/Lokalklima

Unter die Subgruppe Regional-/Lokalklima fallen u. a. regulative Ökosystemleistungen, die zu verdunstungsabhängigen Kühleffekten dienen (Tabelle 3-21). Als Indikator für die Kühlwirkung kann die latente Verdunstungswärme (notwendige Energie zur Umwandlung von Wasser in Wasserdampf) herangezogen (KASTLER et al. 2015) und mit ihrer Relevanz im hydrologischen Sommerhalbjahr (1.4.-30.9.) bewertet werden (MEHL et al. 2018a, b). Hierfür ist eine Berechnung/Modellierung der mittleren realen Verdunstung vonnöten. Dieses Vorgehen macht aber nur Sinn, wenn anschließend Möglichkeiten der ökonomischen Bewertung (Monetarisierung) bestehen, was im Gegensatz zu urbanen Räumen (z. B. MEHL et al. 2018b) in der freien Landschaft sehr schwierig bis unmöglich ist. Hier

wird deshalb auf eine Monetarisierung verzichtet, so dass einfach das mathematische Verhältnis mittlerer realer Verdunstung (ETR) zu mittlerer potenzieller Verdunstung (ETP) im hydrologischen Sommerhalbjahr (1.4.-30.9.) als Maß für die Kühlwirkung gebildet wird.

Tabelle 3-21: Ökosystemleistungen der Subgruppe Regional-/Lokalklima - Kennzeichen und Analysemöglichkeiten (rot hervorgehoben: Vorzugsvariante)

Ökosystemleistung (CICES-Klasse)	Beschreibung	Relevante Ökosystemfunktion(en)	Indikator(en)	Mögliche Analyse-/Klassifizierungsmethode(n), Modellkonzept(e)	Datengrundlage(n)
Kühlwirkung (Gewässer und Böden)	Kühleffekt infolge Verdunstung durch die latente Verdunstungswärme (Relevanz im Sommerhalbjahr)	Kühlung/latente Verdunstungswärme, insbesondere Abhängigkeit von Nutzungen	Verdunstungshöhe	Wasserhaushaltsberechnung und Multiplikation mit spezifischer Verdunstungswärme, Gesamtmethodik nach MEHL et al. (2018b), basierend auf LANUV-Arbeitsblatt 29 (KASTLER et al. 2015) Wasserhaushaltsberechnung mit dem BAGLUVA-Verfahren und weiteren Ansätzen und (hydrotopbezogene) Bestimmung des Verhältnisses von mittlerer realer Verdunstung zu mittlerer potenzieller Verdunstung (Grasreferenzverdunstung nach TURC-WENDLING) entsprechend BAGROV (1953), WENDLING et al. (1991), GLUGLA et al. (1999), BfG (2003)	Landnutzungsdaten/Landbedeckungsmodell Realnutzungskartierung Geologische und bodenkundliche Karten Hydrogeologische Daten Hydroklimatische Daten (DWD)

Die reale Verdunstung kann nach dem BAGLUVA-Ansatz (GLUGLA et al. 1977, 1999, GLUGLA & FÜRTIG 1997, HAD 2000, 2001, 2003) und die dafür erforderliche potenzielle Verdunstung (Gras-Referenzverdunstung) nach TURC-WENDLING (WENDLING et al. 1991) auf der Basis von Hydrotopen berechnet werden. Die Berechnung wird für die Zeitreihe 1981 bis 2010 durchgeführt. „Grundlage des Verfahrens ist die von BAGROV (1953) entwickelte und von GLUGLA et al. (2003) modifizierte BAGROV-Beziehung (Abbildung 3-4), die basierend auf vieljährigen Mittelwerten wesentliche Zusammenhänge zwischen Wasser- und Wärmehaushalt beschreibt. Die tatsächliche Verdunstung ist abhängig von der Wasserverfügbarkeit aus korrigiertem Niederschlag, Beregnung sowie Kapillaraufstieg aus flurnahem Grundwasser, der Energieverfügbarkeit in Form der maximalen Verdunstung sowie den Standortbedingungen, die durch den Effektivitätsparameter n gekennzeichnet werden. Im BAGROV-Diagramm wird der Quotient aus aktueller zu maximaler Evapotranspiration als Funktion des Quotienten aus

(korrigiertem) Niederschlag zu maximaler Evapotranspiration graphisch dargestellt. Der Verlauf des Funktionsgraphen variiert in Abhängigkeit vom Effektivitätsparameter n , der den Einfluss der Standortbedingungen bezüglich der zeitlichen und räumlichen Verfügbarkeit des stochastisch verteilten Niederschlags auf die tatsächliche Verdunstung im Interzeptionsspeicher und im Bodenspeicher quantifiziert...“ (BGR 2010).

Die kleinste Einheit der Wasserhaushaltsbilanzierung durch das BAGLUVA-Verfahren bilden die Hydrotöpfe, die als Areale mit weitgehend einheitlichen hydrologisch maßgeblichen Eigenschaften und damit einer ähnlichen (vertikalen) hydrologischen Prozessstruktur gelten. Da der Hydrotopf vor allem durch räumlich manifestierte Eigenschaften des Bodens, der Vegetation, der Exposition, der Nutzung usw. bestimmt wird, entzieht er sich im Regelfall einer Abgrenzungsmöglichkeit durch Wasserscheiden. Seine Grenzen lassen sich im konkreten Verfahren dementsprechend durch flächenhafte Kombination der folgenden, hydrologisch maßgeblichen Eigenschaften bestimmen:

- Landnutzung
- Bodenmerkmale
- Hangneigung und -exposition
- Versiegelung
- Grundwasserflurabstand
- Niederschlag und potenzielle (maximale) Evapotranspiration als Grasreferenzverdunstung (näherungsweise ermittelt aus langjährigen Messreihen der nächstliegenden meteorologischen Stationen; Tabelle 3-22, Tabelle 3-23)

Tabelle 3-22: Im Untersuchungsgebiet relevante Niederschlagsstationen (DWD 2016) mit Angaben zum korrigierten Jahresniederschlag nach RICHTER (1995)

Stationsname	Korrigierter mittlerer Niederschlag [$mm \cdot a^{-1}$]	Referenzzeitraum/Zeitreihe
Aßlar Klein-Altenstädten	861	1981-2010
Braunfels	874	1981-2010
Holzheim bei Diez	761	1981-2010
Eppenrod/Bornbach	942	1981-2010
Oberbachheim	771	1981-2010
Gießen/Wettenberg	742	1981-2010
Greifenstein	1076	1981-2010
Koblenz-Horchheim	762	1981-2010
Runkel-Eschenau	849	1981-2010

Tabelle 3-23: Im Untersuchungsgebiet relevante Klimastationen (DWD 2016) mit Angaben zur Grasreferenzverdunstung nach TURC-WENDLING (WENDLING et al. 1991)

Stationsname	Grasreferenzverdunstung [$\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$] (ETP)	Referenzzeitraum/Zeitreihe
Dillenburg	537	1981-2010
Gießen/Wettenberg	588	1981-2010
Koblenz-Horchheim	607	1981-2010
Marienberg, Bad	496	1981-2010
Wiesbaden (Süd)	611	1981-2010

Für alle Hydrotupe wird aus Merkmalen der Landnutzung (Interzeptionsspeicher, Bodenspeicher) der Effektivitätsparameter n bestimmt. Zudem wurde eine eigene Modellmodifikation entwickelt, die es erlaubt, unter Hinzuziehung des BAGROV-Effektivitätsparameters n und der berechneten mittleren Jahreswerte der Wasserhaushaltsgrößen die monatlichen Mittelwerte in guter Näherung zu berechnen. Dabei berücksichtigt ein Speichermodell den Wasserrückhalt im Untersuchungsgebiet. Entsprechend wird das Verhältnis von Sommer- zu Gesamtjahresniederschlag sowie der Einfluss von Beregnung (soweit relevant) und Kapillaraufstieg aus flurnahem Grundwasser berücksichtigt. Je größer der ermittelte Effektivitätsparameter für ein Hydrotop ist, desto größer wird das Verhältnis zwischen realer und maximaler Evapotranspiration (Abbildung 3-4, unten rechts). Damit lässt sich die 6-stufige Skala für die Ökosystemleistungsbewertung entsprechend Tabelle 3-24 auf der Basis einer linearen Klasseneinteilung zwischen Maximum und Minimum abbilden.

Tabelle 3-24: Bestimmung und Bewertung der Ökosystemleistung Kühlwirkung (Gewässer und Böden)

Ökosystemleistungsskala		Verhältnis mittlerer realer Verdunstung (ETR) zu mittlerer potenzieller Verdunstung (ETP) im hydrologischen Sommerhalbjahr (1.4.-30.9.) als Maß für die Kühlwirkung: ETR/ETP
Klasse	Ökosystemleistung	
5	Sehr hoch (> 80 %)	> 0,8
4	Hoch (> 60 % bis ≤ 80 %)	> 0,6 ... ≤ 0,8
3	Mäßig (> 40 % bis ≤ 60 %)	> 0,4 ... ≤ 0,6
2	Gering (> 20 % bis ≤ 40 %)	> 0,2 ... ≤ 0,4
1	Sehr gering (> 5 % bis ≤ 20 %)	> 0,05 ... ≤ 0,2
0	Äußerst gering/fehlend (≤ 5 %)	≤ 0,05

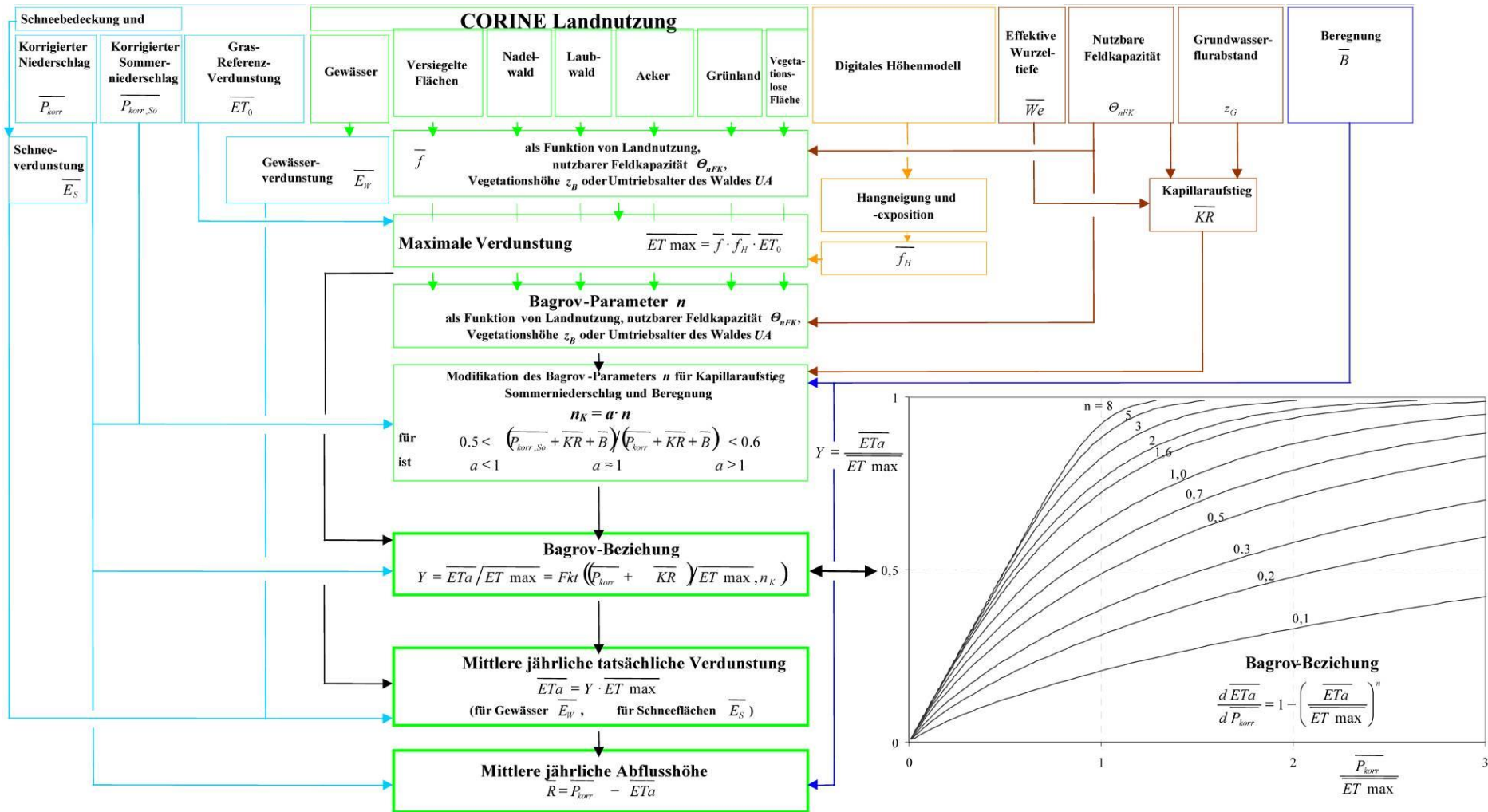


Abbildung 3-4: Schema zur Berechnung der mittleren jährlichen tatsächlichen Verdunstung und des mittleren Gesamtabflusses nach dem Wasserhaushaltsverfahren BAGLUVA (GLUGLA et al. 1999) (Quelle: BfG 2003)

3.5.4.6 Biologische Vielfalt

Unter die Subgruppe Biologische Vielfalt fallen alle regulativen Ökosystemleistungen, die der Erhaltung der biologischen Vielfalt dienen (Tabelle 3-25).

Tabelle 3-25: Ökosystemleistungen der Subgruppe Biologische Vielfalt - Kennzeichen und Analysemöglichkeiten (rot hervorgehoben: Vorzugsvariante)

Ökosystemleistung (CICES-Klasse)	Beschreibung	Relevante Ökosystemfunktion(en)	Indikator(en)	Mögliche Analyse-/Klassifizierungsmethode(n), Modellkonzept(e)	Datengrundlage(n)
Habitatbereitstellung	Funktionelle und strukturelle Qualität der 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	Lebensraumfunktionen Lebensraumqualität Regenerierbarkeit (Wiederherstellungszeit) Biotopverbundqualität	Flächenanteil Natura-2000-Gebiete und weiterer naturgeschützter Flächen Nutzungsintensität Flächenanteil an standorttypischen Lebensräumen und geschützten Biotopen Hotspots der Biodiversität Strukturgüte der Fließgewässer, Seeuferstruktur Ökologischer Zustand nach WRRL (Gewässer) Erhaltungszustand LRT Biotopverbundfunktion(en) inkl. ökologische Durchgängigkeit (Gewässer)	RESI-Factsheet, vgl. PODSCHUN et al. (2018a) Expertenbewertung/Flächenbewertung: Geodatenanalyse nach Anteil und Habitatqualität	Nutzungsdaten/Nutzungsintensität (Corine, Landnutzungsdaten/Landbedeckungsmodell , Realnutzungskartierung) Flächenanteil Natura-2000-Gebiete Flächenanteil an standorttypischen Lebensräumen und geschützten Biotopen Hotspots der Biodiversität Strukturgüte der Fließgewässer Ökologischer Zustand nach WRRL (Gewässer) Erhaltungszustand von FFH-Lebensraumtypen Naturnähe der Bodenlebewelt

Da im Untersuchungsraum keine flächendeckenden Daten und Informationen in ausreichender Quantität, Qualität, Aktualität und Repräsentanz zu Biotoptypen, Biotopen oder gar Arten und Lebensgemeinschaften zur Verfügung stehen, muss auf eine vereinfachte Ökosystemleistungsbewertung gesetzt werden. Dabei werden relevante naturschutzfachliche/-rechtliche Raumkategorien, Landnutzungskategorien oder auch teilweise vorliegende Bewertungsergebnisse zur Naturnähe von Landschaftsbestandteilen genutzt. Die so definierten ÖLSL-Klassen nach Tabelle 3-26 können per GIS den Teilräumen zugewiesen werden (als Flächeneigenschaften, d. h. auch Bewertungsergebnisse der Gewässer werden über die Fläche einbezogen). Abschließend ermöglicht eine GIS-Analyse die Berechnung eines flächengewichteten mittleren Wertes für jeden Auenabschnitt im Sinne der ÖSL Habitatbereitstellung. Die Ergebnisse sind als Datensatz für die ökonomische Bewertung und mittels 6-stufiger Skalierung über den Untersuchungsraum entsprechend für eine qualitative ÖSL-Bewertung nutzbar. Bei mehreren zutreffenden Eigenschaften eines Teilraumes und damit mehreren ÖSL-Klassen wird nur das Maximum bewertet:

$$Ind_{HB} = MAX(Ind_{HB\ 1}; Ind_{HB\ 2}; Ind_{HB\ 3}; Ind_{HB\ 4})$$

Tabelle 3-26: Bestimmung und Bewertung der Ökosystemleistung Habitatbereitstellung mittels Schutzkategorien, Landnutzungskategorien sowie Bewertungsergebnissen Dritter, normiert auf die 6-stufige Ökosystemleistungsskala

Klasse	Ökosystemleistung	Indikator Ind _{HB} 1: Schutzzerklärung nach Naturschutzrecht		Indikator Ind _{HB} 2: Ökologischer Zustand gemäß Anhang V WRRL bzw. § 5 OGewV für Fließgewässer, ggf. Auengewässer/Seen	Indikator Ind _{HB} 3: Ökologisches Potenzial gemäß Anhang V WRRL bzw. § 5 OGewV für Fließgewässer, ggf. Auengewässer/Seen	Indikator Ind _{HB} 4: Landnutzungskategorie
		Schutzkategorie	Rechtsgrundlage BNatSchG			
5	Sehr hoch	Natura-2000-Gebiete (Europäische Vogelschutzgebiete, FFH-Gebiete/Gebiete von gemeinschaftlicher Bedeutung)	§ 32	Sehr guter ökologischer Zustand		
		Naturschutzgebiete	§ 23			
		Nationalparke, Nationale Naturmonumente	§ 24			
		Biosphärenreservate	§ 25			
		Naturdenkmäler (mit 100 m Puffer)	§ 28			

Klasse	Ökosystemleistung	Indikator Ind _{HB} 1: Schutzzerklärung nach Naturschutzrecht		Indikator Ind _{HB} 2: Ökologischer Zustand gemäß Anhang V WRRL bzw. § 5 OGewV für Fließgewässer, ggf. Auengewässer/Seen	Indikator Ind _{HB} 3: Ökologisches Potenzial gemäß Anhang V WRRL bzw. § 5 OGewV für Fließgewässer, ggf. Auengewässer/Seen	Indikator Ind _{HB} 4: Landnutzungs-kategorie
		Schutzkategorie	Rechtsgrundlage BNatSchG			
		Geschützte Landschaftsbestandteile	§ 29			
		Gesetzlich geschützte Biotope	§ 30			
4	Hoch			Guter ökologischer Zustand	Höchstes ökologisches Potenzial	Gewässerentwicklungskorridor (ohne Fluss bei gutem ökologischen Zustand)
						Wald
						Gehölze
						Auengewässer/Seen
						Feuchtgebiet
3	Mäßig			Mäßiger ökologischer Zustand	Gutes ökologisches Potenzial	Grünland
2	Gering			Unbefriedigender ökologischer Zustand	Mäßiges ökologisches Potenzial	Brache
1	Sehr gering			Schlechter ökologischer Zustand	Unbefriedigendes ökologisches Potenzial	Siedlung
						Acker
0	Äußerst gering/fehlend				Schlechtes ökologisches Potenzial	Industrie, Gewerbe
						Straßen und Infrastruktur

3.5.5 Kulturelle Ökosystemleistungen

3.5.5.1 Vorbemerkungen

Kulturelle Ökosystemleistungen (ÖSL) stellen im Ökosystemleistungsansatz einen Sonderfall dar. Zwar basieren die Leistungen auch auf ökosystemaren Prozessen, aber erst die menschliche kognitive Fähigkeit lässt sie zur eigentlichen Leistung werden. „Die [...] Bedeutung einer spezifischen Landschaft wird hingegen von Menschen konstruiert und kann nicht unabhängig von der menschlichen Wahrnehmung bewertet werden.“ (KELLER 2016). Einige Autoren argumentieren sogar, dass man deshalb die kulturellen Ökosystemleistungen nicht mehr mit dem Ökosystemleistungsansatz fassen sollte, sondern eher eine eigene Kategorie, eine eigene „Konzeptualisierung“ von ästhetisch, symbolisch und auch moralisch wahrgenommener Natur vorgenommen werden müsste (KIRCHHOFF 2018). Bei arealbezogener Bewertung kultureller ÖSL bestehen daher häufig folgende Probleme:

- a) Etliche Leistungen werden nicht nur im Areal erbracht, sondern auch darüber hinaus, tlw. sogar geographisch davon unabhängig (hohe Bedeutung visueller und akustischer Wahrnehmung, auch Betrachtung von Bildern, Gemälden, Zeichnungen, Fotos etc.).
- b) Die Leistungen sind immaterieller Natur, haben aber eine physische und/oder psychische Wirkung.

LEYSHON (2014) sieht aber als Ausweg gerade auch die Möglichkeit, verstärkt auf Methoden und Erkenntnisse aus der Naturraum- und Landschaftsforschung (s. o.) zu setzen, um hier eine naturwissenschaftliche Brücke zu bauen. Von daher kann auf geeignete Naturraumpotenziale bzw. Elemente des Landschaftshaushalts/Landschaftsfunktionen mit hoher arealer Bindung im Sinne einer „Gebrauchseigenschaft der Landschaft“ (HARTSCH & SANDNER 1991) gesetzt werden.

3.5.5.2 Landschaftserleben

Das Landschaftserleben bildet gewissermaßen die Kulisse für sämtliche weiteren kulturellen ÖSL und kann als eine zentrale ÖSL über die Landschaftsästhetik (Landschaftsbild) abgebildet werden (Tabelle 3-27). Dabei bietet es sich an, auf zwei Komponenten zu setzen:

- a) die Sichtbarkeit/Einsehbarkeit der Landschaft sowie
- b) die Bewertung des Landschaftsbildes,

und diese Einzelbewertungen dann zu kombinieren.

Tabelle 3-27: Ökosystemleistung Landschaftsästhetik - Kennzeichen und Analysemöglichkeiten (rot hervorgehoben: Vorzugsvariante)

Ökosystemleistung (CICES-Klasse)	Beschreibung	Relevante Ökosystemfunktion(en)	Indikator(en)	Mögliche Analyse-/Klassifizierungsmethode(n), Modellkonzept(e)	Datengrundlage(n)
Landschaftsästhetik	Ästhetik der Landschaft charakterisiert durch ihre Vielfalt, Eigenart und Natürlichkeit	Landschaftsbild	Vielfalt des Landschaftsbildes Berechnung der Landnutzungsvielfalt, Strukturvielfalt und topographischen Vielfalt über den Einbezug verschiedener Landschaftsstrukturmaße	a) Sichtbarkeit/Einsehbarkeit der Landschaft b) Landschaftsbildbewertung mittels Landschaftsstrukturmaßen: Landnutzungsvielfalt, Strukturvielfalt und topographische Vielfalt	DGM/Relief Landnutzungsdaten/Landbedeckungsmodell

„Schutzgegenstand des Naturschutzrechts ist nach § 1 Abs. 1 Nr. 3 BNatSchG die Vielfalt, Eigenart und Schönheit sowie der Erholungswert von Natur und Landschaft. Zu deren dauerhafter Sicherung sind nach § 1 Abs. 4 BNatSchG insbesondere Naturlandschaften und historisch gewachsene Kulturlandschaften, auch mit ihren Kultur-, Bau- und Bodendenkmälern, vor Verunstaltung, Zersiedelung und sonstigen Beeinträchtigungen zu bewahren. Zum Zweck der Erholung in der freien Landschaft sind die nach ihrer Beschaffenheit und Lage geeigneten Flächen vor allem im besiedelten und siedlungsnahen Bereich zu schützen und zugänglich zu machen. Nach § 1 Abs. 5 BNatSchG sind großflächige, weitgehend unzerschnittene Landschaftsräume vor weiterer Zerschneidung zu bewahren. Der Begriff „Landschaftsbild“ selbst taucht im Gesetzestext nicht auf.“ (ROTH & BRUNS 2016). Das Schutzgut „Landschaftsbild“ entsprechend UVPG wird mindestens im Hinblick auf die Kriterien Vielfalt, Eigenart und Schönheit bewertet. Üblicherweise berücksichtigen Methoden zur Erfassung und Bewertung der Landschaftsästhetik Indikatoren für die Vielfalt, Eigenart und Schönheit von Natur und Landschaft und beziehen dabei Störwirkungen mit ein (s. bspw. HERMES et al. 2018, THIELE et al. 2020). Sichtbarkeitsanalysen werden jedoch bewusst nicht berücksichtigt oder in einer besonderen Betrachtungsebene aufgenommen.

Ziel der in diesem Bericht angewendeten Methodik ist dagegen die Bewertung des Landschaftsbilds bzw. der Landschaftsästhetik im Sinne visuellen, kognitiven Erlebens mit besonderer Berücksichtigung des „überblickten Raumes“ bzw. „überblickter Areale“. Die Bewertung besteht hierbei aus zwei Hauptkriterien:

1. Quantität (Sichtbarkeit) und
2. Qualität (Vielfalt, Natürlichkeit, Randeffect/Grenzsäume, Reliefkontrast).

Für die Analyse werden zur rechentechnischen Vereinfachung Punkte („Sichtpunkte“/„Betrachterpunkte“ mit Abstand 500 m x 500 m) erzeugt und als Referenzpunkte genutzt. Methodenabfolge:

1. Quantität

- Sichtbarkeitsanalyse (Ind_{quan}): Sichtbarkeitsanalyse mit Sicht- bzw. Referenzpunkten (500 m x 500 m) auf der Basis eines digitalen Oberflächenmodells (DOM: Gelände und Objekte) mit 5 m x 5 m Auflösung: Von wie vielen Sichtpunkten aus kann eine Fläche 5 m x 5 m eingesehen werden (bei off-Set im DGM von 1,57 m - gängiger Ansatz für die Augenhöhe, vgl. z. B. FISCHER & ROTH 2020)

2. Qualität

- (1) Einteilung der Realnutzung (Nutzungsarten) nach MARKS et al. (1992) (Tabelle 3-29)
- (2) Für jeden Sichtpunkt wird ein 1-km-Puffer erstellt, in diesem Raum werden folgende Kriterien betrachtet:
 - Vielfalt ($Ind_{quali,1}$)
Anzahl der unterschiedlichen signifikanten Landnutzungen im Puffer (Nutzungsarten nach Tabelle 3-29); nur bei Flächen einer Landnutzung größer als 5 % der gesamten Pufferfläche)
 - Natürlichkeit ($Ind_{quali,2}$)
Bewertung der Landnutzungen entsprechend der Natürlichkeit (Tabelle 3-29)
 - Randeffekt/Grenzsäume ($Ind_{quali,3}$)
Summe der Randlänge von nichtbebauten Flächen (Wald-, Gehölz- und Gewässerfläche) innerhalb des Untersuchungsraumes
 - Reliefkontrast ($Ind_{quali,4}$)
Standardabweichung der Höhe aus dem DGM im Puffer
- (3) Rasterberechnung (Punktergebnisse bzw. Polygone werden umgewandelt in 5 m x 5 m Raster)
- (4) Jedes Einzelkriterium wird auf 0 bis 100 skaliert (Ausreißerbereinigung: Werte größer als Mittelwert + 2 x Standardabweichung = Indikatorwert 100).
- (5) Zusammenfassung der vier Kriterien zur Komponente „Qualität“ (Tabelle 3-28):

$$Ind_{quali} = \frac{Ind_{quali,1} + Ind_{quali,2} + Ind_{quali,3} + Ind_{quali,4}}{4}$$

Tabelle 3-28: Bewertung der Komponente „Qualität“ als Teilergebnis des Landschaftserlebens, normiert auf die 6-stufige Ökosystemleistungsskala zur Weiterverwendung für das Bewertungsverfahren der Ökosystemleistung „Erholung und Tourismus“

Ökosystemleistungsskala		Ind _{quali}
Klasse	Ökosystemleistung	
5	Sehr hoch (> 80 %)	> 80
4	Hoch (> 60 % bis ≤ 80 %)	> 60 ... ≤ 80
3	Mäßig (> 40 % bis ≤ 60 %)	> 40 ... ≤ 60
2	Gering (> 20 % bis ≤ 40 %)	> 20 ... ≤ 40
1	Sehr gering (> 5 % bis ≤ 20 %)	> 5 ... ≤ 20
0	Äußerst gering/fehlend (≤ 5 %)	≤ 5

3. Zusammenfassung der Komponenten „Quantität“ und „Qualität“, jeweils als unklassifizierte Ergebnisse

$$\text{Landschaftsbild}_{sum} = \frac{\text{Ind}_{quan} + \text{Ind}_{quali}}{2},$$

und skalieren (Tabelle 3-30).

Tabelle 3-29: Einteilung der Flächennutzung und Beurteilung im Hinblick auf die Natürlichkeit, ergänzt und geändert nach MARKS et al. (1992)

Nutzungsart/Vegetationsausprägung	Zugeordnete Landnutzungsklassen		Klasse (Natürlichkeit)
	Corine-Landcover	Basis DLM	
Bebaute Flächen, sonstige erholungsunwirksame Flächen	111, 112, 121, 122, 123, 124, 131, 132, 133, 334, 997	41001, 41002, 41005, 41006, 41007, 41008-4100, -4200, -4240, -4310, -4320, 41009, 42001, 42002, 42009, 42010, 42015, 42016, 44003, 51002, 51004, 51006, 52003, 53001, 53002, 53004, 53007	0
Acker	211	43001-1010	1
Grünland, Obst- und Weinbaukulturen, Parks mit geringem natürlichen und/oder standorttypischem Vegetationsbestand	141, 142, 221, 222, 231, 242, 243	41008-4330, -4400, -4420, -4440, 43001-1020, -1030, -1031, -1040, -1050	2,5
Acker- und Grünlandbrachen, Schlagfluren	334, 332, 333	43007	3
Forst (standortfremde Baumarten, Monokulturen/Reinbestände, naturferne Ausprägung); Ansatz (Auenbereich): Nadelwald = standortuntypisch, Misch- und Laubwald = standorttypisch	312	43002 -1200, 43003	4
Naturnahe Waldgesellschaften: Standorttypischer Wald, Mischwald oder mehrstufig aufgebauter Laub- und Nadelwald, naturnaher Altholzreinbestand, naturnahe Parks	311, 313	43002-1100, -1300	4,5
Gewässer, naturnahe Auenbereiche (Gewässerentwicklungskorridore)	511, 512, 521, 522, 523	44001, 44002, 44006, 44007	5
Alleen, Hecken, Gebüsche	324	-	5
Waldfreie naturnahe und standorttypische Vegetationsausprägungen: Moore, Verlandungsgürtel, Küsten-/Dünenvegetation, Strände, Heideflächen, Trockenrasen	322, 331, 411, 412, 421, 423	43004, 43005, 43006	5

Tabelle 3-30: Bewertung der Ökosystemleistung Landschaftsästhetik, normiert auf die 6-stufige Ökosystemleistungsskala

Ökosystemleistungsskala		Landschaftsbild _{sum}
Klasse	Ökosystemleistung	
5	Sehr hoch (> 80 %)	> 80
4	Hoch (> 60 % bis ≤ 80 %)	> 60 ... ≤ 80
3	Mäßig (> 40 % bis ≤ 60 %)	> 40 ... ≤ 60
2	Gering (> 20 % bis ≤ 40 %)	> 20 ... ≤ 40
1	Sehr gering (> 5 % bis ≤ 20 %)	> 5 ... ≤ 20
0	Äußerst gering/fehlend (≤ 5 %)	≤ 5

3.5.5.3 Erbe und ideeller Wert

Erbe und ideeller Wert stehen für das Natur- und Kultererbe, welches sich auf die vielfältige naturhistorische und kulturelle Bedeutung von Natur und Landschaft in Flüssen und ihren Auen bezieht. Die ÖSL kann aus der Menge bzw. räumlichen Dichte der vorhandenen relevanten materiellen Objekte abgeschätzt werden (Tabelle 3-31). Mit Blick auf mögliche Änderungen durch Handlungsoptionen an der Lahn ist die ÖSL aber als schwierig anzusehen, da sie als wenig sensitiv eingeschätzt wird. Insofern wird auf deren Bewertung nachfolgend verzichtet.

Tabelle 3-31: Ökosystemleistung Natur- und Kulturerbe - Kennzeichen und Analysemöglichkeiten (rot hervorgehoben: Vorzugsvariante)

Ökosystemleistung (CICES-Klasse)	Beschreibung	Relevante Ökosystemfunktion(en)	Indikator(en)	Mögliche Analyse-/Klassifizierungsmethode(n), Modellkonzept(e)	Datengrundlage(n)
Natur- und Kulturerbe	Natur- und Kulturerbe umfasst rechtlich geschützte Flächen (z. B. Naturschutzgebiete) und Denkmale, die für zukünftige Generationen erhalten werden	Vorgeprägt durch Rechtssetzung	Kultur- und Sachgüter	RESI-Fachsheets, vgl. PODSCHUN et al. (2018a) Expertenbewertung: Dichte der Baudenkmäler Dichte der Bodendenkmäler Dichte der Naturdenkmäler Dichte an weiterem materiellem Kulturgut (Kulturlandschaften, Architekturdenkmäler und -ensembles, archäologische Stätten, Museums- und Bibliothekbestände)	Geodaten der Länder Hessen und Rheinland-Pfalz in Bezug auf Kultur- und Sachgüter: <ul style="list-style-type: none"> • Baudenkmäler • Bodendenkmäler • Kulturhistorische Landschaftselemente

3.5.5.4 Frage...Erholung und Tourismus

Aufenthalt in Flusslandschaften kann die physische und psychische Gesundheit steigern, wenn beispielsweise Stress abgebaut und besondere Naturerlebnisse erfahren werden. Die Erhebung der Ökosystemleistungen kann sich sowohl auf die Erlebbarkeit des Raums beziehen als auch empirische Daten zu tatsächlichen Nutzungshäufigkeiten für die Erholung und den Tourismus. Hier wird nur auf die ÖSL Allgemeine Erholung und Tourismus abgestellt (Tabelle 3-32). Spezifische Erholungs-, Sport- und Erlebnisformen werden mitgefasst und nicht separat behandelt. Dafür sprechen u. a. folgende Gründe:

- Geringe Verfügbarkeit von empirischen und räumlich hinlänglich aufgelösten Daten zu Erholungsnutzungen
- Schwierige Prognosemöglichkeit bei stärkeren Landschaftsänderungen, zumal mit gegenläufigen Tendenzen bei spezifischen Wassersportformen

Tabelle 3-32: Ökosystemleistung Allgemeine Erholung und Tourismus - Kennzeichen und Analysemöglichkeiten (rot hervorgehoben: Vorzugsvariante)

Ökosystemleistung (CICES-Klasse)	Beschreibung	Relevante Ökosystemfunktion(en)	Indikator(en)	Mögliche Analyse-/Klassifizierungsmethode(n), Modellkonzept(e)	Datengrundlage(n)
Allgemeine Erholung und Tourismus	Allgemeine Erholung und Tourismus wird definiert über die Möglichkeit, sich aufgrund vorhandener Infrastruktur und Aufenthaltsorte erholen zu können	Komplex: Vorhandensein für allgemeine Erholung und Tourismus geeigneter Landschaftsräume/-teileräume	Erholungs- und Erlebniswert	Möglichkeit, eine Landoberfläche (einschließlich Wasserflächen) zu erleben oder für spezifische Aktivitäten zu nutzen; GIS-Analyse, Expertenbewertung , z. B. Verfahren nach MARKS et al. (1992) und Adaption/Erweiterung Ggf. empirische Erhebungen	DGM/Relief Randeffekt im Umkreis von attraktiven Landschaftsbestandteilen Landnutzungsdaten/Landbedeckungsmodell Vorgeprägte/gewidmete Flächennutzungskategorien

Eine Bewertung dieser Ökosystemleistung greift daher auf arealer Differenzierungsebene zweckmäßigerweise auf folgende Komponenten zurück:

- a) Ind_{Erh1} : Landschaftsbildbewertung (nur Komponente „Qualität“, Ergebnis-/Datenübernahme der ÖSL-Bewertung aus Kapitel 3.5.5.2)
- b) Ind_{Erh2} : Störwirkung (störende, benachbarte Nutzungen: Lärm, Optik, Bewertung entsprechend Tabelle 3-33)

Die Bedeutung der Verkehrsinfrastruktur und damit der Erreichbarkeit wird hingegen vernachlässigt, da im Lahntal generell eine gute Anbindung an die Verkehrsträger und öffentliche Verkehrsträger gegeben sind. Zudem würde auch beim Szenario GÖZ sicher eine zielführende Infrastruktur (für spezifische Formen der Gewässernutzung (Wassersport, Baden, Kanu etc.) mit etabliert. Grundsätzliche Variantenunterschiede sind in dieser Hinsicht eher nicht zu erwarten, so dass bei der Erreichbarkeit als Merkmal/Kriterium nicht die erforderliche Maßnahmensensitivität bestehen dürfte.

Die o. g. Teilindikatoren werden wie folgt zusammengefasst:

$$Erholung_{sum} = \frac{Ind_{Erh1} + Ind_{Erh2}}{2}$$

Die abschließende Bewertung erfolgt entsprechend Tabelle 3-34.

Tabelle 3-33: Störende, räumliche benachbarte Landnutzungen: Flughäfen, Häfen, Straßen, Autobahnen, Bahnstrecken und -anlagen, Industrie- und Gewerbegebiete, Industrieanlagen, Ver- und Entsorgungsanlagen

Störung: Ausprägung		Entfernung	Klasse
Visuelle Störungen (regelmäßig, bedeutsam)	Akustische Störungen, Lärmemissionen (regelmäßig, bedeutsam)		
Unmittelbar neben visuellen Störungen	Unmittelbar neben Lärmquellen	25 m	0
Sehr kleine Entfernung zu visuellen Störungen	Sehr kleine Entfernung zu Lärmquellen	100 m	1
Kleine Entfernung zu visuellen Störungen	Kleine Entfernung zu Lärmquellen	250 m	2
Mittlere Entfernung zu visuellen Störungen	Mittlere Entfernung zu Lärmquellen	500 m	3
Große Entfernung zu visuellen Störungen	Große Entfernung zu Lärmquellen	1.000 m	4
Sehr große Entfernung zu visuellen Störungen	Sehr große Entfernung zu Lärmquellen	5.000 m	5

Tabelle 3-34: Bewertung der Ökosystemleistung Erholung und Tourismus, normiert auf die 6-stufige Ökosystemleistungsskala

Ökosystemleistungsskala		Erholung _{sum}
Klasse	Ökosystemleistung	
5	Sehr hoch (> 80 %)	> 4,5
4	Hoch (> 60 % bis ≤ 80 %)	> 3,5... ≤ 4,5
3	Mäßig (> 40 % bis ≤ 60 %)	> 2,5 ... ≤ 3,5
2	Gering (> 20 % bis ≤ 40 %)	> 1,5 ... ≤ 2,5
1	Sehr gering (> 5 % bis ≤ 20 %)	> 0,5 ... ≤ 1,5
0	Äußerst gering/fehlend (≤ 5 %)	≤ 0,5

3.5.5.5 Intellektuelle Interaktionen

Die Ökosystemleistung Bildung und Wissenschaft als zentrale Ökosystemleistung der intellektuellen Interaktionen bezieht sich auf Natur und Landschaft als Orte der Bildung und als Betrachtungsgegenstand von wissenschaftlicher Forschung (Tabelle 3-35).

Tabelle 3-35: Ökosystemleistung Bildung und Wissenschaft - Kennzeichen und Analysemöglichkeiten (rot hervorgehoben: Vorzugsvariante)

Ökosystemleistung (CICES-Klasse)	Beschreibung	Relevante Ökosystemfunktion(en)	Indikator(en)	Mögliche Analyse-/Klassifizierungsmethode(n), Modellkonzept(e)	Datengrundlage(n)
Bildung & Wissenschaft	Landschaft oder deren Teile als Orte der Bildung und Betrachtungsgegenstand von wissenschaftlicher Forschung	Komplex: Natürlichkeit/Naturnähe, Landschaftsgenese, spezielle Landschaftsfunktionen i. S. nachhaltiger Landschaftsnutzung	Landschaftsteile mit besonderer Eignung für Bildung und Wissenschaft, vgl. u. a. § 6 BNatSchG (Beobachtung von Natur und Landschaft, Anhang V WRRL bzw. OGewV und GrwV und entsprechende wissenschaftliche Grundlagen des Gewässerschutzes	Expertenbewertung: GIS-/Geodatenanalyse	Kulturgüter (-denkmäler) Flächenkulisse der naturschutzrechtlichen Flächen (§§ 20 ff. sowie §§ 31 ff. BNatSchG) Naturnahe Gewässer

Für eine Geodatenanalyse im Hinblick auf die ÖSL Bildung & Wissenschaft wird auf ein vereinfachtes Vorgehen gesetzt. Adäquat zur Vorgehensweise bei der regulativen ÖSL Biologische Vielfalt werden relevante naturschutzfachliche/-rechtliche Raumkategorien, Landnutzungskategorien oder auch teilweise vorliegende Bewertungsergebnisse zur Naturnähe von Landschaftsbestandteilen genutzt. Ergänzt wird diese um die Kategorie „Kulturdenkmäler“.

Die so definierten ÖSL-Klassen nach Tabelle 3-36 können per GIS den Teilräumen zugewiesen werden (als Flächeneigenschaften, d. h. auch Bewertungsergebnisse der Gewässer werden über die Fläche einbezogen). Abschließend ermöglicht eine GIS-Analyse die Berechnung eines flächengewichteten mittleren Wertes für jeden Auenabschnitt im Sinne der ÖSL Bildung und Wissenschaft. Die Ergebnisse sind als Datensatz für die ökonomische Bewertung und mittels 6-stufiger Skalierung über den Untersuchungsraum entsprechend für eine qualitative ÖSL-Bewertung nutzbar. Bei mehreren zutreffenden Eigenschaften eines Teilraumes und damit mehreren ÖSL-Klassen wird nur das Maximum bewertet:

$$Ind_{HB} = MAX(Ind_{HB} 1; Ind_{HB} 2; Ind_{HB} 3; Ind_{HB} 4)$$

Tabelle 3-36: Bestimmung und Bewertung der Ökosystemleistung Bildung und Wissenschaft mittels Schutzkategorien, Landnutzungskategorien sowie Bewertungsergebnissen Dritter, normiert auf die 6-stufige Ökosystemleistungsskala

Klasse	Ökosystemleistung	Indikator Ind _{HB} 1: Schutzzerklärung nach Naturschutzrecht (BNatSchG) und Kulturgüter (-denkmäler) (i. S. des UVPG)		Indikator Ind _{HB} 2: Ökologischer Zustand gemäß Anhang V WRRL bzw. § 5 OGeV für Fließgewässer, ggf. Auengewässer/Seen	Indikator Ind _{HB} 3: Ökologisches Potenzial gemäß Anhang V WRRL bzw. § 5 OGeV für Fließgewässer, ggf. Auengewässer/Seen	Indikator Ind _{HB} 4: Landnutzungskategorie
		Schutzkategorie	Rechtsgrundlage BNatSchG			
5	Sehr hoch	Natura-2000-Gebiete (Europäische Vogelschutzgebiete, FFH-Gebiete/Gebiete von gemeinschaftlicher Bedeutung)	§ 32	Sehr guter ökologischer Zustand		
		Naturschutzgebiete	§ 23			
		Nationalparke, Nationale Naturmonumente	§ 24			
		Biosphärenreservate	§ 25			
		Naturdenkmäler (mit 100 m Puffer)	§ 28			
		Geschützte Landschaftsteile	§ 29			
		Gesetzlich geschützte Biotope	§ 30			
		Kulturdenkmäler (mit 100 m Puffer)				
4	Hoch			Guter ökologischer Zustand	Höchstes ökologisches Potenzial	Gewässerentwicklungskorridor (ohne Fluss bei gutem ökologischen Zustand)
						Wald

Klasse	Ökosystemleistung	Indikator Ind _{HB} 1: Schutzklärung nach Naturschutzrecht (BNatSchG) und Kulturgüter (-denkmäler) (i. S. des UVPG)		Indikator Ind _{HB} 2: Ökologischer Zustand gemäß Anhang V WRRL bzw. § 5 OGewV für Fließgewässer, ggf. Auengewässer/Seen	Indikator Ind _{HB} 3: Ökologisches Potenzial gemäß Anhang V WRRL bzw. § 5 OGewV für Fließgewässer, ggf. Auengewässer/Seen	Indikator Ind _{HB} 4: Landnutzungs-kategorie
		Schutzkategorie	Rechtsgrund-lage BNatSchG			
						Gehölze
						Auengewässer/Seen
						Feuchtgebiet
3	Mäßig			Mäßiger ökologischer Zustand	Gutes ökologisches Potenzial	Grünland
2	Gering			Unbefriedigender ökologischer Zustand	Mäßiges ökologisches Potenzial	Brache
1	Sehr gering			Schlechter ökologischer Zustand	Unbefriedigendes ökologisches Potenzial	Siedlung
						Acker
0	Äußerst gering/fehlend				Schlechtes ökologisches Potenzial	Industrie, Gewerbe
						Straßen und Infrastruktur

3.5.6 Weitere (abiotische) Ökosystemleistungen

3.5.6.1 Motorisierte Schifffahrt

Unter die Subgruppe motorisierte Schifffahrt (eigentlich Schiffbarkeit) fallen alle abiotischen Ökosystemleistungen, die im Zusammenhang mit der Nutzung von Oberflächengewässern für Zwecke der Fracht- und/oder Passagierschifffahrt oder für Zwecke der motorisierten Freizeitschifffahrt stehen (Tabelle 3-37). Die unmotorisierte Freizeitschifffahrt wird zur Vermeidung einer Doppelbewertung bei den kulturellen Ökosystemleistungen miterfasst (Kapitel 3.3.4).

Aufbauend auf den in Tabelle 3-37 genannten Indikatoren und ergänzt durch weitere Merkmale wird eine expertengestützte, 6-stufige Bewertung der Ökosystemleistung motorisierte Schifffahrt (Schiffbarkeit) abgeleitet (Tabelle 3-38). Für jede Staustufe gilt dabei das Minimumprinzip: die fahrtechnisch ungünstigste Teilstrecke bestimmt das Bewertungsergebnis. Eine fachtechnische Entsprechung der Schiffbarkeit bildet das von der Arbeitsgruppe der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (ECE) ausgearbeitete Klassifizierungssystem für Binnenwasserstraßen der Europäischen Verkehrsministerkonferenz (CEMT) von 1992. Dieses Klassifizierungssystem wurde 1993 durch Erlass des Bundesverkehrsministeriums in Deutschland eingeführt. Dabei wird bei der Klassifizierung der Binnenwasserstraßen nach Schiffbarkeit ihres Fahrwassers/ihrer Fahrrinne in Klassen je nach maximaler Größe der Schiffe eingeteilt; das System ist grundsätzlich eher auf die Güterschifffahrt bezogen, aber wird hier als Ansatz genutzt.

Tabelle 3-37: Ökosystemleistung motorisierte Schifffahrt - Kennzeichen und Analysemöglichkeiten (rot hervorgehoben: Vorzugsvariante)

Weitere (abiotische) Ökosystemleistung	Beschreibung	Relevante Ökosystemfunktion(en)	Indikator(en)	Mögliche Analyse-/Klassifizierungsmethode(n), Modellkonzept(e)	Datengrundlage(n)
Motorisierte Schifffahrt	Nutzung von Oberflächengewässern für Zwecke der Fracht- und/oder Passagierschifffahrt oder für Zwecke der motorisierten Freizeitschifffahrt	Wasserhaushalt Gewässermorphologie/Fließverhalten	Abflussverhältnisse Sohlgefälle Gerinneform (Quer- und Längsprofil) Wasserstand (i. S. von Tauchtiefe oder Abtiefen) Breite der Fahrrinne Kurvenradius Durchgängigkeit des Gewässerbettes	Expertenbewertung: Komplexe Eignung für motorisierte Schifffahrt/Freizeitschifffahrt einschließlich menschlichem Input (Schleusen, Gewässerausbau mit Baggerung, Stauhaltung, Wasserstände, Veränderung Kurvenradien etc.), hierfür Expertenbewertung, ggf. Eignung für Fahrzeugarten-/größen und Durchflussverhältnissen	Geodaten Daten der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung, Bauwerksdaten Fließgewässerstrukturgüte

Tabelle 3-38: Bestimmung und Bewertung der Ökosystemleistung Schifffahrt (auf Flüssen)

Ökosystemleistungsskala		Hydrologische und hydromorphologische Merkmale (Fahrwasser)				Klassifizierung der Binnenwasserstraße		
Klasse	Ökosystemleistung	Abfluss- bzw. Wasserstandsverhältnisse (Wasserführung: Abfluss und/oder Wasserstand)	Kurvenradien	Laufentwicklung, Längsprofil	Querprofil, Sohlenstruktur	Wasserstraßenklasse	Nötiger Tiefgang (m) für Motorschiffe und Schleppkähne	Nötiger Tiefgang (m) für Schubverbände
5	Sehr hoch (> 80 %)	Sehr stabil bzw. ausgeglichen	Sehr große Kurvenradien	Sehr geringe Tiefenvarianz, keine Längs und Querbänke	Sehr geringe Breitenvarianz	VII	3,90	2,50...4,50
4	Hoch (> 60 % bis ≤ 80 %)	Stabil bzw. ausgeglichen	Große Kurvenradien	Sehr geringe Tiefenvarianz, keine Längs und Querbänke	Sehr geringe Breitenvarianz	VI b, VI c	3,90	2,50...4,50
3	Mäßig (> 40 % bis ≤ 60 %)	Mäßig stabil bzw. ausgeglichen	Mittlere Kurvenradien	Sehr geringe Tiefenvarianz, keine Längs- und Querbänke	Sehr geringe Breitenvarianz	V a, V b, VI a	2,50...2,80	2,50...4,50
2	Gering (> 20 % bis ≤ 40 %)	Gering stabil bzw. ausgeglichen	Geringe Kurvenradien	Geringe Tiefenvarianz, leichte Längs- und Querbänke	Geringe Breitenvarianz	II, III, IV	2,50	1,60...2,80
1	Sehr gering (> 5 % bis ≤ 20 %)	Sehr gering stabil bzw. ausgeglichen	Sehr geringe Kurvenradien	Mäßige Tiefenvarianz, deutliche Längs- und Querbänke	Mäßige Breitenvarianz, teilweise besondere Sohlenstrukturen	I, 0 (unklassifiziert)	1,80...2,20	
0	Äußerst gering/fehlend (≤ 5 %)	Sehr gering stabil bzw. ausgeglichen	Sehr geringe Kurvenradien	Hohe bis sehr hohe Tiefenvarianz, ausgeprägte Längs und Querbänke	Hohe bis sehr hohe Breitenvarianz, ausgeprägte besondere Sohlenstrukturen		< 1,80...1,00	

3.5.6.2 Wasserkraft

Unter die Subgruppe Wasserkraft fallen alle abiotischen Ökosystemleistungen, die im Zusammenhang mit der Nutzung des energetischen Wasserkraftpotentials des fließenden und ruhenden (aufgestauten) Wassers stehen. Bei der Wasserkraft werden daher potenzielle und kinetische Energie in mechanische Energie (Rotation) und heutzutage in elektrische Energie (Strom) umgewandelt. In dieser Studie wird als Indikator auf eine Berechnung/Bewertung des energetischen Potenzials (Dargebot) für die einzelnen Auenabschnitte (vgl. Kapitel 3.7) gesetzt. Dieser integriert den mittleren Abfluss und die Höhendifferenz/das Gefälle (Tabelle 3-39). E_{Max} wird in Deutschland durch die Staustufe Iffezheim am Rhein bestimmt (höchstes energetisches Potenzial in einem Fluss). Hier sind ein mittlerer Durchfluss von ca. $1.500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ und eine Höhendifferenz von 11 m relevant (<https://www.enbw.com/erneuerbare-energien/wasser/standorte.html>), so dass entsprechend der Gleichung in Tabelle 3-39 $E_{Max} = 161.865 \text{ kJ}$ bzw. rund 162 MJ (dieser Wert steht für die mittlere Energie je Sekunde). Entsprechend lässt sich die 6-stufige Skala definieren (Tabelle 3-40).

Tabelle 3-39: Ökosystemleistung Wasserkraft - Kennzeichen und Analysemöglichkeiten (rot hervorgehoben: Vorzugsvariante)

Weitere (abiotische) Ökosystemleistung	Beschreibung	Relevante Ökosystemfunktion(en)	Indikator(en)	Mögliche Analyse-/Klassifizierungsmethode(n), Modellkonzept(e)	Datengrundlage(n)
Wasserkraft	Energetisches Wasserkraftpotential des fließenden und ruhenden (aufgestauten) Wassers (zum Antrieb von Mühlen, zur Stromerzeugung), ohne Berücksichtigung von hydraulischen und mechanischen Verlusten und Verlusten infolge Energieumwandlung (in Strom)	Abflussmenge Wasserspiegelgefälle/Höhenunterschied	Mittlerer Durchfluss Gefälle und mittlere Höhendifferenz auf Gewässerstrecken bezogen Höhendifferenz an Staustufen Energetisches Potenzial (integrierend)	Bewertung des energetischen Potenzials der Auenabschnitte (Vergleich Staustufe/freifließende Strecke) mit m = mittlere Wassermasse je s (vereinfacht mit $1 \text{ m}^3 = 1 \text{ t}$ bzw. 1.000 kg), $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$ (Fallbeschleunigung), h_{Diff} = Höhendifferenz in m Energie in $\text{kg m}^2 \text{ s}^{-2}$ entspricht J (Joule) $Ind_{WK} = \frac{E_{AuSeg}}{E_{Max}}$ mit E_{Max} bzw. $E_{AuSeg} = m g h_{Diff}/1.000$ (in kJ)	Geodaten Daten der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung, Bauwerksdaten, ggf. Daten der Stromerzeuger/Kraftwerksbetreiber Hydrologische Daten

Tabelle 3-40: Bestimmung und Bewertung der Ökosystemleistung Wasserkraft

Ökosystemleistungsskala		$Ind_{WK} = \frac{E_{AuSeg}}{E_{Max}}$, mit $E_{Max} = 161.865 \text{ kJ}$
Klasse	Ökosystemleistung	
5	Sehr hoch (> 80 %)	> 0,8
4	Hoch (> 60 % bis ≤ 80 %)	> 0,6 ... ≤ 0,8
3	Mäßig (> 40 % bis ≤ 60 %)	> 0,4 ... ≤ 0,6
2	Gering (> 20 % bis ≤ 40 %)	> 0,2 ... ≤ 0,4
1	Sehr gering (> 5 % bis ≤ 20 %)	> 0,05 ... ≤ 0,2
0	Äußerst gering/fehlend (≤ 5 %)	< 0,05

3.6 Betrachtungszeitraum bzw. -zeitspanne

Zur Bewertung der Effekte von Veränderungen zwischen Ist- bzw. Ausgangszustand und Planzustand (Umsetzung der Maßnahmenoptionen) soll immer der Zustand **20 Jahre** nach Umsetzung von entsprechenden Maßnahmen einheitlich angesetzt werden. Ein einheitlicher Betrachtungszeitraum ist für die Vergleichbarkeit der verschiedenen Maßnahmenoptionen wichtig.

Die Abgrenzung des Untersuchungsraumes und die Festlegung des Betrachtungszeitraumes ist der erste Bewertungsschritt in Kosten-Nutzen-Analysen (HANLEY et al. 2019). Für diesen Zeitraum werden alle mit einer Maßnahmenumsetzung verbundenen Kosten und Nutzen (d. h. hier die Veränderungen von Ökosystemleistungen), die zu unterschiedlichen Zeiträumen anfallen, betrachtet und mit Hilfe der Diskontierung auf einen einheitlichen Bewertungszeitpunkt, den Gegenwartszeitpunkt, bezogen und so in der Maßnahmenbewertung berücksichtigt. Damit wird grundsätzlich kein dauerhaft zu erwartender Nutzen bewertet. Auch werden keine Restwerte oder Re-Investitionen berücksichtigt.

Bei der Wahl eines geeigneten Betrachtungszeitraumes ist grundsätzlich eine Abwägung zwischen der technischen und wirtschaftlichen Nutzungsdauer sowie der Einbeziehung der voraussichtlichen kurz-, mittel- und langfristigen Auswirkungen eines Projektes einerseits und der Kosten der Informationsbeschaffung und Unsicherheit der Prognose künftiger Effekte andererseits vorzunehmen. Die übliche Nutzungsdauer von Investitionen bzw. die Wirkungsdauer von Projekten ist bei Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im öffentlichen Sektor die Grundlage für die Wahl des Betrachtungszeitraumes (MÜHLENKAMP 2011). Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen bei wasserwirtschaftlichen Maßnahmen legen in der Regel einen Untersuchungszeitraum zwischen 30 und 80 Jahren zugrunde, je nach Lebensdauer der wasserwirtschaftlichen Anlagen (DWA 2012). Lange Zeiträume werden dabei vor allem bei technischen Großbauwerken, wie zum Beispiel Talsperren oder Küstenschutzbauwerken zugrunde gelegt, die durch hohe Investitionskosten aber auch eine lange wirtschaftliche Lebensdauer gekennzeichnet sind. Übliche Planungshorizonte bei anderen Infrastrukturprojekten sind mit durchschnittlich 20-30 Jahren kürzer, wobei hier Unterschiede zwischen verschiedenen Sektoren bestehen (Europäische Kommission 2003). Maßnahmen der Fließgewässerrenaturierung sind in erster Linie darauf ausgerichtet, die eigendynamische Entwicklung der Gewässer zu fördern. Damit verbundene Investitionen, beispielsweise Baumaßnahmen zum Abbau von Uferbefestigungen, fallen einmalig zum Beginn der Maßnahmenumsetzung an, bedürfen aber in der Regel keiner Re-Investitionen, da das Maßnahmenziel, die Initiierung einer Eigendynamik damit erreicht ist.

Mit dem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren wird zum einen dem Umstand Rechnung getragen, dass in Ökosystemen eine gewisse Entwicklungszeit (Prozesse) und Entwicklungsreife (Strukturen) erforderlich sind, um die jeweiligen Ökosystemfunktionen erfüllen und auf dieser Grundlage die Ökosystemleistungen bereitstellen zu können. Die durch die Maßnahmenumsetzung angestrebten Ziele müssen innerhalb des

gewählten Betrachtungszeitraumes auch erreicht werden können. Zum anderen wird damit ein noch überschaubarer und „nachprüfbarer“ Zeithorizont aus Sicht der Projektumsetzung in den Fokus genommen (Maßgaben des öffentlichen Haushaltsrechts im Hinblick auf Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit, vgl. HGRG, BHO oder Haushaltsordnungen der Länder). Zudem wird diese Zeitspanne u. a. beim Nationalen Inventarbericht (NIR) zum Deutschen Treibhausgasinventar (UBA 2019) angesetzt, in welchem auch Prozesse der Treibhausgasfreisetzung über einen 20-Jahres-Zeitraum betrachtet werden. Auch einige Studien zur Bewertung des Erfolges von durchgeführten Fließgewässerrenaturierungen nutzen einen gleichen oder ähnlichen Zeitsprung, z. B. 25 Jahre bei MEHL et al. (2018a) oder 20 Jahre bei STEENKEN et al. (2021).

Der Ist- oder Ausgangszustand wird pragmatisch als derjenige zeitliche Zustand interpretiert, welchen die jüngsten und qualitativ hochwertigsten Fach- bzw. Geodaten repräsentieren (Kapitel 2.3).

3.7 Maßstab der räumlichen Analysen

Die primäre Analyse sollte auf der Basis möglichst homogener Areale stattfinden; das gilt für Land- und für Wasserflächen gleichermaßen. Dies entspricht einer mikrochorischen und/oder topischen Dimensionsstufe (Mikroskale) im Maßstab 1:5.000 bis maximal 1:25.000.

Homogenität oder Quasihomogenität, auch als Voraussetzung für eine topische Gliederung, ist streng genommen immer eine Frage des geographischen bzw. landschaftsökologischen und/oder geo-/biowissenschaftlichen Blickwinkels. Allerdings kommen vor allem Biotop- und Nutzungstypen oder Einheiten der Landbedeckung einer multilateralen topischen Einheit im Allgemeinen sehr nahe, da die charakterisierende Vegetationsausprägung oder die vorherrschende Nutzung eine ganze Reihe von standörtlichen Eigenschaften voraussetzen, deren räumliche und dynamische Muster sich auch in der Vegetation und/oder der Nutzung widerspiegeln. Insofern entsprechen topische Areale der Vegetation und/oder der Nutzung häufig auch annähernd Topen standörtlicher Faktoren wie Boden, Hydrologie, Klima, Orographie usw. Ihre Eignung als primäre Raumeinheit für die Analyse ist damit groß.

Zudem können die Möglichkeiten der Geographischen Informationssysteme (GIS) zur geometrischen Verschneidung/Überlagerung gerade von fachlich verschiedenen topischen Raumeinheiten (Fachthemen bzw. Objektklassen) gut genutzt werden, um Flächeneinheiten umfassender, aber fragestellungsbezogen gleichartiger Eigenschaften bzw. Flächenmerkmale zu generieren (Attributkombinationen).

3.8 Inhalt und Maßstab der kartographischen Darstellung

Für Auswerte- und Vergleichszwecke könnten die Ergebnisse kartographisch mit den Originalstrukturen und Bearbeitungsmaßstäben dargestellt werden (vgl. z. B. BURKHARD & MAES 2017). Anschaulicher für Vergleichszwecke ist aber eine Überführung der Ergebnisse in grundsätzlich äquidistante Auenabschnitte analog zu BRUNOTTE et al. (2009), MEHL et al. (2018a), PODSCHUN et al. (2018a, b); hierzu werden die mikroskalen Ergebnisse vorzugsweise flächengewichtet (Arealgröße) zu Ergebnissen und Bewertungen eines Auenabschnittes mit Hilfe eines GIS generalisiert (mesochorische Dimensionsstufe).

Angesichts der Raumgröße eines staustufenbeeinflussten Auenabschnittes werden die 1-km-Auensegmente von BRUNOTTE et al. (2009) in stärker raumdifferenzierende 500-m-Auenabschnitte unterteilt. Dabei wird jedoch die starre Äquidistanz etwas gelockert, um die aktuelle Wirkung der Staubauwerke adäquat zu berücksichtigen: Prinzip „Ober- und Unterwasser“ an Staubauwerken. Es sollen möglichst keine Unterteilungen erzeugt werden, die wesentliche Arealeigenschaften (vor allem des Ist-Zustandes) willkürlich und fachlich unsystematisch zuordnen.

Von daher wurden Staubauwerke mit ihrer Lage als Grenze eines Auenabschnittes möglichst praktikabel angesetzt (Abbildung 3-5 bis Abbildung 3-8). Leichte Abweichungen in der Länge eines Abschnittes von 500 m werden dadurch in Kauf genommen, führen aber durch die Normierung der Bewertung auf Flächengröße zu keiner maßgeblichen Verzerrung von Bewertungen – ganz im Gegenteil. Dies führt zu sachgerechteren Ergebnissen.

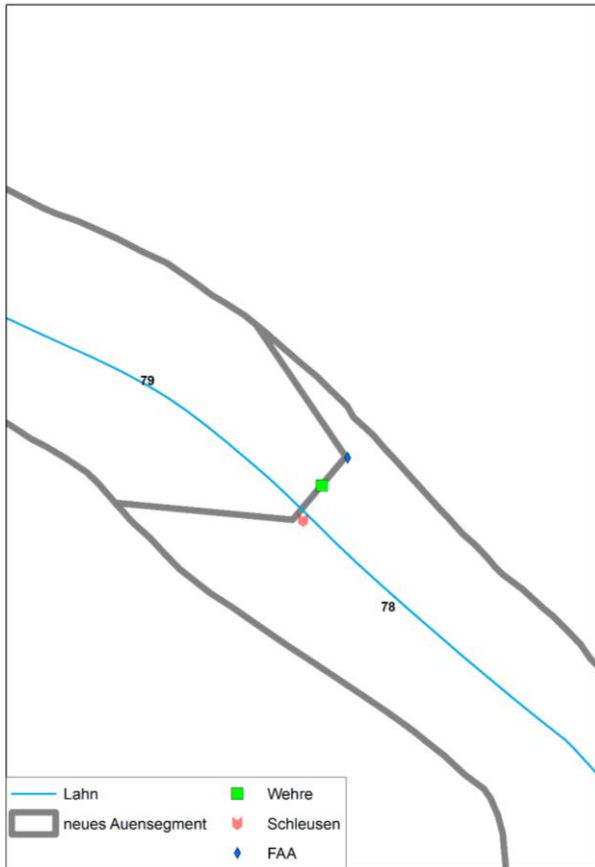


Abbildung 3-5: Anordnung der Auenabschnittsgrenze an den Standorten von Wehr und Schleuse

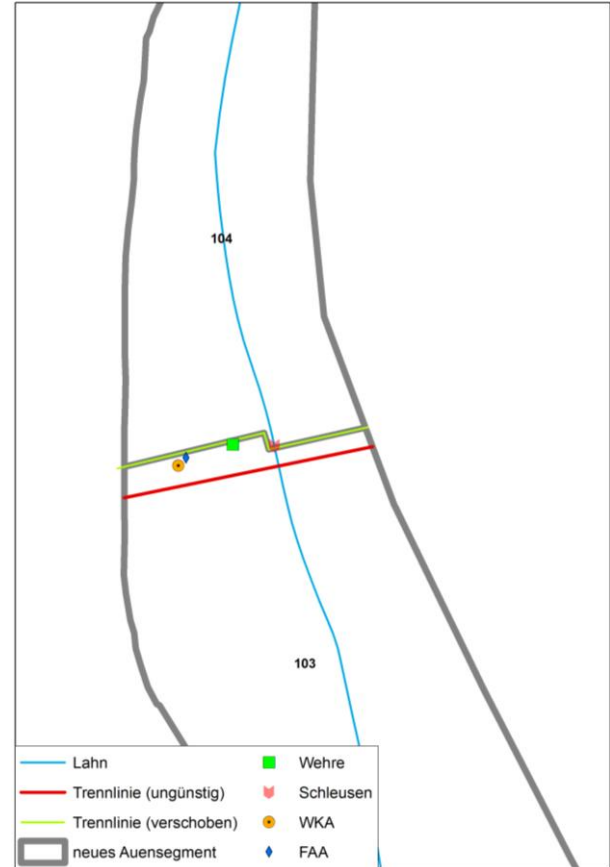


Abbildung 3-6: Verschiebung der Auenabschnittsgrenze auf die Standorte von Wehr und Schleuse

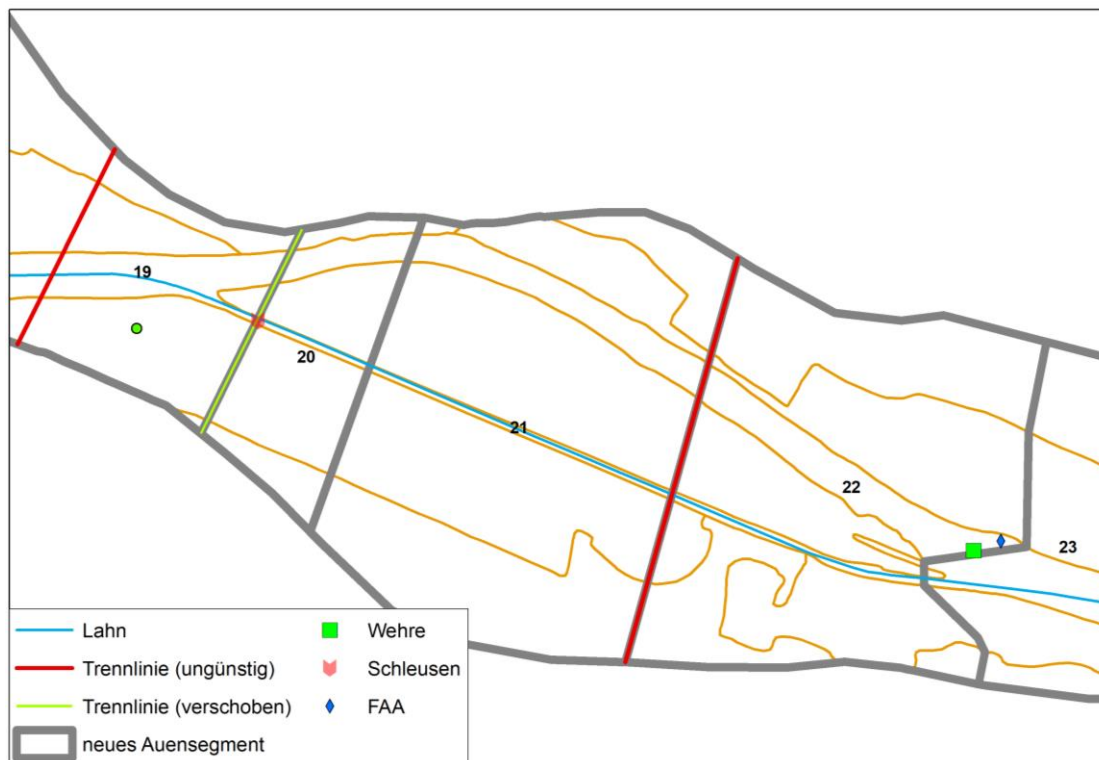


Abbildung 3-7: Anordnung der Auenabschnittsgrenze nach der Lage des Wehres

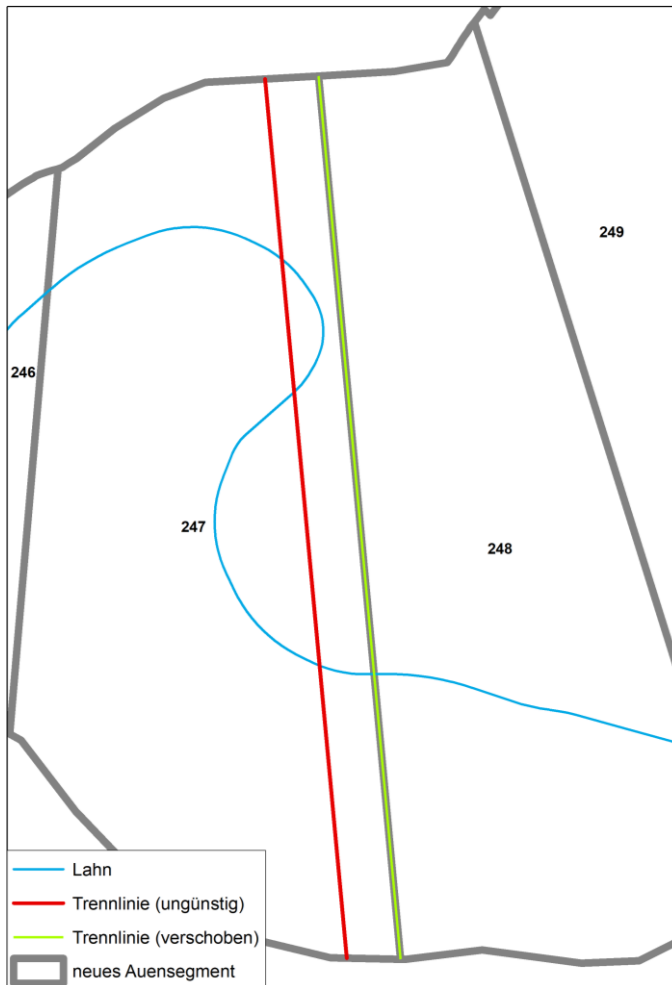


Abbildung 3-8: Verschiebung der Auenabschnittsgrenze bei ungünstiger Laufform der Lahn

3.9 Ökonomische Bewertung der ausgewählten Ökosystemleistungen

Mit Hilfe ökonomischer Bewertungsansätze kann der Wert ausgewählter ÖSL in monetären Einheiten ermittelt werden. Dabei wird auf die in Kap. 3.4 erläuterten Bewertungsmethoden zurückgegriffen, die sich der Anwendbarkeit für einzelne ÖSL, den Anforderungen an die Daten- und Informationsgrundlage, den Bewertungsaufwand, aber auch der Interpretation der Ergebnisse deutlich voneinander unterscheiden. Ziel der ökonomischen Bewertung ist die Erfassung der gesellschaftlichen Wertschätzung und Zahlungsbereitschaft für Umweltgüter und ÖSL, d.h. der gesellschaftlichen Präferenzen für einen bestimmten Zustand von Natur und Landschaft. Die direkte Wertschätzung kann nur über Präferenzanalysen oder auf Primärstudien darauf aufbauenden Sekundäranalysen erfasst werden (Kap. 3.4.2 und 3.4.3). Diese Analysen sind jedoch sehr zeit- und kostenintensiv, da sie entweder auf repräsentativen Umfragen beruhen (wie Choice-Experimente), umfangreiches Material an beobachteten Daten erfordern (wie Reisekostenanalysen) oder aufwändige statistische Verfahren zur Auswertung von Primärstudien und Übertragung auf den aktuellen Bewertungskontext (wie Meta-Analysen und Benefit Transfers) nutzen. Derartige Bewertungen sind im Rahmen der vorliegenden Aufgabenstellung nicht möglich. Daher beruht die ökonomische Wertermittlung in diesem Kontext im Wesentlichen auf Marktanalysen, sowohl preis- als auch kostenbasierten Ansätzen. Diese Werte messen zwar nicht die Nachfrage nach den jeweiligen ÖSL, können jedoch als Anhaltspunkt für den ökonomischen Wert herangezogen werden. Diese Differenzierung ist für die Interpretation der Werte, insbesondere, wenn sie mit den Ergebnissen von Präferenzanalysen verglichen werden, wichtig. Als weitere wichtige Prämisse für die ökonomische Bewertung gilt das Marginalitätsprinzip. Entsprechend

werden immer Veränderungen von Kosten und Nutzen infolge von Handlungsoptionen betrachtet und nicht absolute Werte, wie beispielsweise der Bestand eines Waldes oder die CO₂-Bindung auf einer Fläche. Nur dann können Kosten und Nutzen miteinander verglichen werden und als entscheidungsunterstützende Information dienen. Entscheidend für die ökonomische Bewertung sind also die Veränderungen vom Status Quo zu Szenario 1 bzw. Szenario 2 sowie die Differenz zwischen Szenario 1 und Szenario 2.

Wie in Kapitel 3.6 erläutert legen wir einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren zugrunde, d.h. alle Effekte (vermiedenen Kosten, Nutzen und entgangene Nutzen) werden über diesen Zeitraum betrachtet. Die Diskontierung künftiger Zahlungsströme ist ein in ökonomischen Bewertungen wie z.B. Kosten-Nutzen-Analyse übliches Verfahren. Alle über einen Zeitraum entstehenden Kosten und Nutzen werden in der Regel diskontiert, das bedeutet, dass sie weniger wert sind je weiter sie in Zukunft anfallen. Die Diskontierung wird aus zwei Überlegungen heraus begründet: aus den Opportunitätskosten des Kapitals und aus der Zeit- oder Gegenwartspräferenz für gegenwärtige Nutzen. Das Verfahren der Diskontierung und die Wahl der Diskontrate sind Gegenstand kontroverser Diskussionen, denn je höher die Diskontrate, desto weniger sind künftige Geldströme heute wert (vgl. UBA 2019, ATKONSON & MOURATO 2008, KEHL 2014). Den Empfehlungen der Methodenkonvention 3.0 des Umweltbundesamtes (UBA, 2019) folgend, wird hier eine soziale Diskontrate von 1 % verwendet.

In Tabelle 3-41 sind die jeweils zur Anwendung kommenden Bewertungsmethoden angeführt, die anschließend in ihren jeweiligen Annahmen und Bewertungsschritten erläutert werden. Im Falle nicht monetär bewerteter ÖSL wird eine kurze Begründung gegeben. Bei einer Reihe von ÖSL ist der Zusammenhang zwischen dem (messbaren) physischen Effekt und dem ökonomischen Effekt bzw. monetären Nutzen schwer zu fassen. Die Identifikation und Quantifizierung der Zusammenhänge zwischen dem biophysischen und dem ökonomischen System ist eine große Herausforderung für die ökonomische Wertermittlung. Selbst wenn beispielsweise die Kühlwirkung renaturierter Auengebiete messbar ist, bleibt unklar, welches technische Substitut in welchem Umfang für die Anwendung des Ersatzkostenansatzes herangezogen werden könnte.

Im Folgenden werden für die ökonomisch bewerteten ÖSL jeweils

- die gewählte Bewertungsmethode,
- der verwendete ökonomische Wert,
- die zugrundeliegenden Annahmen und Bewertungsgrundlagen

dargestellt.

Tabelle 3-41: Ökonomische Bewertungsmethoden für ausgewählte Ökosystemleistungen

Hauptgruppe	Subgruppe bzw. Klasse	Ökosystemleistung	Ökonomischer Bewertungsansatz
Versorgende Leistungen	Nahrungsmittel	Kulturpflanzen	Marktpreismethode
		Pflanzliche Biomasse für den Einsatz in der Landwirtschaft	Marktpreismethode
	Rohstoffe	Pflanzliche Rohstoffe für die Verarbeitung	Marktpreismethode
	Energie	Pflanzliche Energierohstoffe aus Landwirtschaft, Kurzumtriebsplantagen, Holzwirtschaft	Wird nicht monetär bewertet (geringe Relevanz für das Untersuchungsgebiet)
Regulative Leistungen	Extremabfluss	Hochwasserregulation	Ersatzkostenansatz
		Niedrigwasserregulation	Wird nicht monetär bewertet (Wirkungszusammenhänge unklar)
	Sedimente, Böden sowie deren Nährstoffrückhalt	Sedimentregulation im Gewässersystem	Wird nicht monetär bewertet (Wirkungszusammenhänge unklar)
		Bodenbildung	Wird nicht monetär bewertet (Wirkungszusammenhänge unklar)
		Retention von Stickstoff (N)	Vermeidungskostenansatz
		Retention von Phosphor (P)	Ersatzkostenansatz
	Biologische Selbstreinigung, Sauerstoffverhältnisse im Wasserkörper sowie im Interstitial	Biologische Selbstreinigung	Wird nicht monetär bewertet (Wirkungszusammenhänge unklar)
	Globales Klima	Rückhalt von Treibhausgasen/Kohlenstoffsequestrierung	Schadenskostenansatz
Regional-/Lokal-klima	Kühlwirkung (Gewässer und Böden)	Wird nicht monetär bewertet (Wirkungszusammenhänge unklar)	
Biologische Vielfalt	Habitatbereitstellung	Wird nicht monetär bewertet (Wirkungszusammenhänge unklar)	
Kulturelle Leistungen	Landschaftserleben	Landschaftsästhetik	Wird nicht monetär bewertet (Abgrenzung zum allgemeinen Erholungsnutzen schwierig)
	Erbe und ideeller Wert	Natur- und Kulturerbe	Wird nicht monetär bewertet (Wirkungszusammenhänge unklar)
	Erholung und Tourismus	Allgemeine Erholung und Tourismus	Wird aufgrund des hohen Daten- und Informationsbedarfs nicht monetär bewertet (Größenordnung der Wertschätzung aus Studienüberblick ableitbar)
		Spezifische Erholungs-, Sport- und Erlebnisformen	Marktpreismethode
	Intellektuelle Interaktionen	Bildung und Wissenschaft	Wird nicht monetär bewertet (Wirkungszusammenhänge unklar)
Weitere (abiotische) Leistungen	Schifffahrt	Motorisierte Schifffahrt	Marktpreismethode
	Energie	Wasserkraft	Marktpreismethode

3.9.1 Versorgende Ökosystemleistungen

Im Bereich der versorgenden ÖSL kommen Marktpreismethoden zur Anwendung, und zwar zur Ermittlung des Wertes der Nahrungsmittelproduktion durch Kulturpflanzen und pflanzliche Biomasse auf landwirtschaftlichen Flächen sowie zur Ermittlung des Wertes des Holzertrages als pflanzlichen Rohstoff für die Verarbeitung.

Kulturpflanzen und pflanzliche Biomasse

Als Indikator für den monetären Wert der Nahrungsmittelproduktion auf Acker- und Grünland wird der Deckungsbeitrag (DB) in € ha⁻¹ a⁻¹ herangezogen. Der DB ist eine wichtige ökonomische Erfolgsgröße zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit eines landwirtschaftlichen Produktionsverfahrens und erfasst die Leistungen (den physischen Ertrag multipliziert mit dem Marktpreis) abzüglich der variablen Kosten (proportionale Kosten, die für das spezifische Produktionsverfahren anfallen, z. B. Düngemittel und Arbeitserledigungskosten, vgl. <https://daten.ktbl.de/downloads/dslkr/Leistungs-Kostenrechnung.pdf>). Der DB ist damit nicht nur von der Höhe der Marktpreise (sowie den verwendeten Pflanzen und der eingesetzten Technik), sondern vor allem auch von der Produktivität des Standortes abhängig, die in den standortspezifisch erzielbaren Erträgen zum Ausdruck kommt. In den hier zugrunde gelegten DB sind keine Flächenprämien der Agrarförderung enthalten. Der hier verwendete DB wird daher als geeignete und zudem vergleichsweise einfach zur ermittelnde Größe zur Ermittlung des monetären Werte der standortspezifischen Leistung des Ökosystems Boden zur Bereitstellung von Kulturpflanzen und pflanzlicher Biomasse angesehen (vgl. POSTHUMUS et al. 2010, PLAAS et al. 2019).

Wichtige Grundlage zur Ermittlung des DB sind damit die erzielbaren landwirtschaftlichen Erträge in Abhängigkeit von dem natürlichen Ertragspotential bzw. der natürlichen Bodenfruchtbarkeit. Das natürliche Ertragspotential (EP) lässt sich aus dem Acker- bzw. Grünland-Schätzungsrahmen ableiten und ist flächenscharf als 5-stufige Klassifizierungsskala vorhanden. Die Anbaustruktur und damit die erzielbaren Erträge (in dt ha⁻¹ a⁻¹) lassen sich aus diesen Daten jedoch nicht ableiten, auch sind flächenspezifische Daten zur landwirtschaftlichen Anbaustruktur (z. B. InVeKoS-Daten) aus Datenschutzgründen nicht verfügbar, so dass einige Annahmen getroffen wurden: insgesamt wird auf Ackerflächen überwiegend Getreide und hierbei überwiegend Winterweizen angebaut, so dass Winterweizen hier als Leitkulturart zugrunde gelegt wurde, um Unterschiede im Ertragsniveau in Abhängigkeit von der natürlichen Standorteignung abzubilden. Die Ernteerträge ausgewählter Feldfrüchte und von Grünland werden von den statistischen Landesämtern (Quelle) veröffentlicht (als Mittelwerte sowie Minimal- und Maximalerträge). Diese Ertragsspanne und die Verteilung der natürlichen Bodenfruchtbarkeit in den Kreisen des Untersuchungsgebiets zugrunde legend wurden die durchschnittlichen Erträge (für Winterweizen und für Wiesen und Weiden) in Abhängigkeit von der EP-Stufe mit einem Faktor gewichtet, um unterschiedliche Ernteerträge je EP-Stufe zu ermitteln. Die EP-Stufe 3 entspricht bei Winterweizen dem Durchschnittsertrag (mit Gewichtungsfaktor von 0,8 bis 1,2); bei Wiesen und Weiden entspricht die EP-Stufe 2 dem Durchschnittsertrag (mit einem Gewichtungsfaktor von 0,8 bis 1,6). Die vergleichsweise hohe Bodenfruchtbarkeit von Auenböden kommt hier in einem über dem Durchschnitt liegenden Ertrag, vor allem bei Wiesen und Weiden, zum Ausdruck.

Die Bewertung der Szenarien nutzt damit folgende Eingangsvariablen:

- die landwirtschaftlich genutzte Fläche (AF bzw. GL in ha) im Untersuchungsgebiet,
- das standortspezifische Ertragspotential (EP, 5-stufige Skala) des Bodens und
- den Umfang der Landnutzungsänderungen in den beiden Szenarien (in ha).

In Szenario 2 wird von einer kompletten Nutzungsaufgabe der landwirtschaftlichen Nutzung ausgegangen, in Szenario 1 sind geringe Landnutzungsänderungen zu berücksichtigen.

Auf dieser Grundlage werden durch die Gewichtung mit dem EP-Faktor die mittleren jährlichen Erträge von Winterweizen und Grünland berechnet. Dieser bildet die Grundlage für die flächenspezifische Ermittlung des DB.

Pflanzliche Rohstoffe für die Verarbeitung (Holz)

Als Indikator für den monetären Wert der Holzproduktion wird das Rohholzerlöspotential (in € ha⁻¹ a⁻¹) herangezogen. Preisbasierte Marktanalysen sind der am häufigsten verwendete Ansatz zur monetären Bewertung dieser ÖSL, da es sich bei der Rohholzproduktion ebenso wie bei der Kulturpflanzenproduktion um ein Gut handelt, welches auf Märkten gehandelt wird (z.B. GRÊT-REGAMEY et al. 2008, ELSASSER et al. 2020, VERMAAT et al. 2016). Hier wird auf regionalisierte Werte des Brutto-Rohholzerlöspotentials (in € ha⁻¹ a⁻¹) zurückgegriffen, die im Rahmen einer umfassenden Studie zur regionalisierten Bewertung der Waldleistungen in Deutschland ermittelt wurden (ELSASSER et al. 2020). Die Holzerlöse basieren auf einer Auswertung des Testbetriebsnetzes Forst für die wesentlichen Holzartengruppen und wurden auf Grundlage von baumarten- und wuchsspezifischen Durchschnittszuwächsen nach der Bundeswaldinventur als Mengengrößen gemeindespezifisch berechnet.

Vereinfachend wird davon ausgegangen, dass der Waldbestand im Untersuchungsgebiet in der Holzartenzusammensetzung im Durchschnitt dem der relevanten Landkreise entspricht. Für das Szenario 2 wird davon ausgegangen, dass keine forstwirtschaftliche Nutzung des Waldbestandes mehr stattfindet, d. h. der entgangene Nutzen entspricht dem gesamten Rohholzerlöspotential der gesamten Waldfläche im Untersuchungsgebiet im Status Quo.

3.9.2 Regulative Ökosystemleistungen

Die ökonomische Bewertung von regulativen ÖSL basiert auf der Anwendung kostenbasierter Methoden. Kostenbasierte Ansätze finden häufig bei regulativen ÖSL Anwendung. Der Ersatzkostenansatz basiert auf der Annahme, dass, falls spezifische Leistungen eines Ökosystems alternativ auch durch technische Substitute übernommen werden können, die Kosten dieser technischen Substitute zur Erbringung einer äquivalenten Leistung als Proxy für den ökonomischen Wert dieser Ökosystemleistung angesehen werden können (z. B. KEHL 2014). Der Schadenskostenansatz basiert auf der Ermittlung von Umweltschäden und ist ein Indikator für den entgangenen Nutzen, der mit einer Verschlechterung des Umweltzustands (z. B. klimawandelbedingte Dürreperioden) verbunden ist. Der Schadenskostenansatz kommt vor allem dann zum Einsatz, wenn ausreichende Kenntnisse über Umweltauswirkungen bestimmter Aktivitäten und die daraus resultierenden Schäden bestehen. Für die Bewertung der negativen Wirkungen von Treibhausgasemissionen kann der Methodenkonvention 3.0 des Umweltbundesamtes folgend (BÜNGER & MATTHEY 2019) auf Schadenskosten zurückgegriffen werden, die die Kosten nicht vermiedener Umwelt- und Gesundheitsschäden sowie die Kosten einer Schadensverringerung umfassen. Wenn die Kenntnisse über Umweltauswirkungen und die daraus resultierenden Schäden, etwa aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit, hingegen unzureichend sind, kommt der Vermeidungskostenansatz zur Anwendung. Die Vermeidungskosten gelten als Opportunitätskosten, die entstehen, wenn auf eine schadenverursachende Aktivität, wie dem Ausstoß von Treibhausgasen, verzichtet oder diese verringert wird (BÜNGER & MATTHEY 2019).

Hochwasserregulation

Der ökonomische Wert einer verbesserten Hochwasserregulation wird mit Hilfe von Ersatzkosten für den Bau ungesteuerter Flutpolder [in € m⁻³] ermittelt. Es wird dabei davon ausgegangen, dass ein verbesserter Hochwasserrückhalt durch die Umsetzung des Szenario 2 flussabwärts zu einem verminderten Hochwassereschehen führt (Rhein) und damit auf den Bau eines Flutpolders für den Rückhalt eines Hochwasservolumens derselben Größenordnung verzichtet werden kann (Art „Proxi“ zur Abschätzung vermiedener Schäden). Diese Kosten variieren sehr stark in Abhängigkeit von der Größe und vom Standort der Polder, auch stehen keine zusammenfassende Darstellung oder generalisierbare Aussagen zur den Kosten ungesteuerter Flutpolder zur Verfügung. Aus diesem Grund wurden hier deutschlandweit knapp 40 Maßnahmensteckbriefe bzw. Machbarkeitsstudien einzelner Vorhaben sowie Maßnahmen aus dem nationalen Hochwasserschutzprogramm (NHWSP) ausgewertet, um eine grobe Einschätzung der Ersatzkosten vorzunehmen. Die Flutpolder variieren stark in ihrem Volumen und auch den Kosten pro m³, da sehr unterschiedliche Einzelmaßnahmen kalkuliert oder umgesetzt wurden, auch handelt es sich dabei fast ausschließlich um gesteuerte Flutpolder. Von allen betrachteten Poldern wurde der Median berechnet, der

weniger stark Ausreißer berücksichtigt als der Mittelwert. Da das zurückgehaltene Hochwasservolumen infolge der Entwicklungsmaßnahmen im Untersuchungsgebiet verhältnismäßig gering ist, wird hier angenommen, dass die Kosten um unteren Bereich liegen (und daher der Median ein geeigneteres Maß darstellt). Darüber hinaus wurde angenommen, dass ungesteuerte Flutpolder ca. 20% günstiger sind als gesteuerte. Daher werden 20% der geschätzten Kosten vom Median subtrahiert und diese hier als Ersatzkosten zugrunde gelegt.

Retention von Stickstoff (N)

Zur ökonomischen Bewertung eines verbesserten N-Rückhaltes infolge der Maßnahmenumsetzung im Untersuchungsgebiet kommen verschiedene Alternativen in Betracht, die auf unterschiedlichen Substituten für die Erbringung der ÖSL ‚Nährstoffrückhalt‘ zur Verbesserung der Gewässerqualität und entsprechend unterschiedlichen Ersatz- oder Vermeidungskosten beruhen. So kann eine äquivalente Verbesserung der Gewässerqualität durch eine Denitrifikation in Kläranlagen erreicht werden (hier wären dann die entsprechenden Kosten in € kg⁻¹ N relevant) oder aber es könnten verringerte Kosten der Trinkwasseraufbereitung infolge einer verbesserten Wasserqualität herangezogen werden. Alternativ können zur Wertermittlung des N-Rückhaltevermögens von Gewässern die Vermeidungskosten einer Verringerung des Nährstoffeintrages durch die Landwirtschaft zugrunde gelegt werden (Quellen andere Studien). Da die Kosten für reaktive, technologische Verfahren, wie die Denitrifikation in Kläranlagen oder Trinkwasseraufbereitung, den vorbeugenden Maßnahmen in ihrer Kostenwirksamkeit unterlegen sind und grundsätzlich die Alternative mit den geringsten Kosten als Proxy zu wählen ist, wird hier ein pauschaler Vermeidungskostensatz nach WÜSTEMANN (2011) von 3 € kg⁻¹ N verwendet, der auf Grundlage verschiedener Studien zu den Kosten präventiver landwirtschaftlicher Maßnahmen gebildet wurde.

Retention von Phosphor (P)

Der ökonomische Wert des Phosphorrückhaltes im Untersuchungsgebiet wird über die Ersatzkosten zur Elimination einer äquivalenten Menge Phosphor in kommunalen Kläranlagen berechnet. HELMREICH et al. (2017) liefern in einer aktuellen Studie zur Phosphorlimitation kommunaler Kläranlagen eine Kostenabschätzung für die Implementierung einer Simultanfällung bei verschiedenen Anlagengrößen (1.000 EW bis 25.000 EW), die hier als Grundlage herangezogen werden kann. Für einen ländlich geprägten Raum werden hier die Kosten eher kleinerer, dezentraler Anlagen mit < 1.000 EW zugrunde gelegt, die im Mittel bei 22 € kg⁻¹ P liegen. Dieser Wert entspricht dem Median der spezifischen Betriebskosten der Phosphorfällung bei Kläranlagen unterschiedlicher Ausbaugrößen von 21,8 € kg⁻¹ P (LINDTNER & BRUGGER 2012)

Rückhalt von Treibhausgasen/Kohlenstoffsequestrierung

Die ökonomische Bewertung des Rückhalts von Treibhausgasen infolge von Landnutzungsänderungen orientiert sich eng an der Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten (BÜNGER & MATTHEY 2019) und basiert auf dem Schadenskostenansatz. Der monetäre Nutzen des Bindungsvermögens der relevanten Treibhausgase unterschiedlicher Landnutzungsformen, die dem Nationalen Treibhausinventar (UBA 2019) zu entnehmen sind, drückt sich dabei in Schadenskosten von CO₂-Äquivalent-Emissionen aus. Diese Schadenskosten geben an, welche Schäden der Gesellschaft durch die Emission einer entsprechenden Menge CO₂ entstehen. Den Empfehlungen folgend und unter Berücksichtigung des 20-jährigen Betrachtungszeitraums setzen wir für die ersten neun Jahre (2021 bis 2029) 180 € als Kosten pro Tonne CO₂-Äquivalent und für die nächsten 20 Jahre (2039 bis 2049) 205 € t⁻¹ CO₂-Äquivalent an.

3.9.3 Kulturelle Ökosystemleistungen

Allgemeine Erholung und Tourismus

Strukturreiche und naturnahe Gewässer und deren Uferbereiche haben einen hohen ästhetischen Wert und damit auch eine hohe Bedeutung für die Erholungsnutzung (Naturkapital Deutschland – TEEB DE 2016). Es existieren zahlreiche Studien zur Erfassung des Nutzens von Fließgewässern und den Effekten einer Gewässerrenaturierung in monetären Einheiten (DUBGAARD et al. 2002, GETZNER 2014, LOGAR et al.

2019, BROUWER & SHEREMET 2017, VERMAAT et al. 2016, RAYANOV et al. 2018, SYMMANK et al. 2020b). Viele Studien beruhen dabei auf der Annahme, dass eine Renaturierung oder Gewässerentwicklung auch zur Erhöhung der Attraktivität der Landschaft führt und damit der Nutzen aus der Bereitstellung der kulturellen ÖSL steigt. Zahlreiche der genannten Studien bestätigen diese Annahmen, wobei viele Studien den Erholungsnutzen neben anderen ÖSL bewerten und dadurch ein differenzierter Wert nur für diese kulturelle ÖSL schwer ableitbar ist. Die Studien beruhen in der Regel auf zeit- und kostenintensiven Primärstudien und ermitteln den Wert mit präferenzbasierten Methoden. Im Folgenden werden einige der Studien mit explizitem Bezug zu Gewässerrenaturierungen und Erholungsnutzen kurz skizziert.

GETZNER (2014) ermittelt die Zahlungsbereitschaft als Maß für die monetäre Wertschätzung für den Erholungswert infolge von Renaturierungsmaßnahmen an einem Fluss in Österreich mit Hilfe des Reisekostenansatzes. Dabei wurden Präferenzen und die Besuchshäufigkeit zwischen frei fließenden und gestauten Bereichen verglichen. Im Ergebnis ergaben sich pro Umfrageteilnehmer/-in und Jahr Werte von knapp 17 Besuchen der frei fließenden Abschnitte gegenüber gut 4 Besuchen an gestauten Bereichen. Der Erholungswert pro Kilometer Flusslauf entlang renaturierter Bereiche wurde auf Grundlage des Modells mit rund 800 € km⁻¹ geschätzt – ein Wert, der verglichen mit den anthropogen veränderten Bereichen, um das Vierfache höher liegt. Die Studie VERMAAT et al. (2016) nutzte einerseits verfügbare Daten und Literatur, führte andererseits auch Umfragen unter Einwohner/-innen und Besucher/-innen durch und wendete eine Reihe ökonomischer Bewertungsmethoden für eine Reihe von ÖSL, darunter auch kulturelle ÖSL an (u. a. Marktpreise, Wiederbeschaffungskosten, verminderte Schadenskosten, Zahlungsbereitschaften, Choice-Experiment). Anhand dieser Werte wurden die ÖSL in renaturierten Bereichen, verglichen mit nicht renaturierten Flussläufen, um 1.400 € (± 600 €) pro Hektar und Jahr höher angegeben.

BROUWER et al. (2016) untersuchten mit Hilfe eines Choice-Experiments die Zahlungsbereitschaften für Renaturierungsmaßnahmen entlang der Donau in Österreich, Ungarn und Rumänien. Hierbei wurde die Wertschätzung für verschiedene Attribute (verbesserte Wasserqualität, niedrigeres Überflutungsrisiko) abgefragt, welche durch die Renaturierungsmaßnahmen verändert werden. In einem Radius von 50 Kilometern um den Maßnahmenort zur Herstellung eines guten ökologischen Zustands belief sich hierbei die Zahlungsbereitschaft auf 0,3% des jährlichen Haushaltseinkommens. Dabei ist die Zahlungsbereitschaft zur Erhöhung der zeitlichen Abstände von möglichen Überflutungsereignissen (entsprechend ein vermindertes Überflutungsrisiko) marginal, während die Zahlungsbereitschaft für eine gute bzw. sehr gute Wasserqualität in Österreich 32,97 € bzw. 42,02 € pro Haushalt und Jahr, in Ungarn 5,07 € bzw. 11,52 € pro Haushalt und Jahr und in Rumänien 4,71 € bzw. 11,02 € pro Haushalt und Jahr beträgt.

In einem Review stellen BROUWER & SHEREMET (2017) eine deutliche höhere Zahlungsbereitschaft für eine Verbesserung der Wasserqualität (139,6 US\$ pro Haushalt und Jahr) und der Ästhetik der Landschaft (118,6 US\$ pro Haushalt und Jahr) fest, als beispielsweise für Freizeitaktivitäten an bzw. im Wasser (57,7 US\$ pro Haushalt und Jahr) oder Eingriffe zur Senkung des Hochwasserrisikos (0,3 US\$ pro Haushalt und Jahr). Die Zahlungsbereitschaft für Maßnahmen zur Renaturierung beläuft sich insgesamt auf 81,2 US\$ pro Haushalt und Jahr. Auch RAYANOV et al. (2018) ermittelten in ihrer empirischen Studie eine hohe Bedeutung naturnaher Flüsse und Auen. Hier gaben in einem Choice-Experiment 72 % der Befragten Nutzer/-innen an, dass die „Natürlichkeit des Flusses und der Aue (z. B. Aue mit wenig Bewirtschaftung, keine begradigten Ufer)“ ein wichtiges oder sehr wichtiges Kriterium für die „Wahl der Gewässerdestination“ sei. Die Zahlungsbereitschaft für die Verbesserung der Uferbeschaffenheit (Umbau eines verbauten Ufers zu einem teilweise naturnahen Ufer) lag beispielsweise im Einzugsgebiet der Nahe bei durchschnittlich 55 € pro Jahr und Befragtem. Für die Verbesserung des Gewässerumfeldes lag die monetäre Wertschätzung sogar bei 85 € pro Jahr und Befragtem bei einem Wechsel von intensiver Nutzung zu einem teilweise naturnahen Gewässerumfeld. Auch die Kosten-Nutzen-Analyse von LOGAR et al. (2019) belegt den ökonomischen Nutzen von Gewässerrenaturierungen. Hier wurden die Ergebnisse einer Umweltfolgenabschätzung in Präferenzanalysen integriert. Das Choice-Experiment ergab Zahlungsbereitschaften von 144 CHF pro Person und Jahr am Fluss Thur, bzw. 196 CHF pro Person und Jahr am Fluss Thöss. Dahingegen lag

die Zahlungsbereitschaft aufgrund der Kontingenten Bewertungsstudie bei 52 CHF pro Person und Jahr am Fluss Thur bzw. 59 CHF pro Person und Jahr am Fluss Thöss.

Die Studien belegen insgesamt einen hohen monetären Wert auch der durch Gewässerrenaturierungen verbesserten Bereitstellung von kulturellen ÖSL.

Spezifische Erholungs-, Sport- und Erlebnisformen

Die Verbesserung der Attraktivität der Landschaft ist wie gezeigt wurde mit einem erhöhten allgemeinen Erholungsnutzen verbunden. Es ist aber auch davon auszugehen, dass das Landschaftserleben für spezifische Erholungsformen wie den wassergebundenen Tourismus positiv beeinflusst wird und entsprechend attraktive Landschaften auch beispielsweise mehr Kanuten anziehen. Empirische Studien, die die Zunahme an Kanufahrer/-innen nach einer Gewässerrenaturierung empirisch ermitteln, sind nicht verfügbar. GETZNER (2014) ermittelte jedoch in seiner Studie bei 70 % der Befragten Bootsfahrer/-innen eine Präferenz hin zu einer Tour entlang frei fließender Gewässerabschnitte gegenüber gestauten Flussläufen. Ein nahezu gleiches Verhältnis liegt dort auch in Bezug auf die Befragten in der Kategorie „weitere sportliche Aktivitäten“ vor. Der Studie zufolge besuchten zwischen 40-50 % mehr Personen frei fließende Abschnitte.

Die Einschätzung des monetären Wertes eines infolge der Gewässerentwicklung erhöhten Nutzens für die Kanunutzung wird über die Marktpreismethode ermittelt. Hier werden einerseits die durchschnittlichen täglichen Ausgaben eines Kanutouristen (als Marktpreis) zugrunde gelegt, andererseits müssen Annahmen über die Zunahme des Kanutourismus bei Umsetzung des Szenario 2 getroffen werden. Die durchschnittlichen Ausgaben eines Kanutouristen mit einem gemieteten Boot liegen durchschnittlich bei 48,58 € (BMW 2016). Die gegenwärtige Nutzung der Lahn durch muskelbetriebene Schifffahrt ist den Angaben des Lahntal Tourismus Verbands aus dem Lahnkonzept (WSA Koblenz 2019e) zu entnehmen. Danach gehen wir für die gesamte Lahn von 150.000 Wasserwanderern pro Jahr aus, wobei die Kanuten einen Anteil von 88 % der gesamten muskelbetriebenen Schifffahrt ausmachen, d. h. 131.834 Kanuten/-innen jährlich. Vereinfachend legen wir zur Ermittlung der Gesamtzahl an Kanufahrer/-innen in den Untersuchungsabschnitten die anteilige Länge in Fließkilometern im Verhältnis zur gesamten Lahn zugrunde. Dies ergibt eine jährliche Nutzung von 11.985 Kanuten/-innen in den drei Untersuchungsabschnitten mit Gesamtausgaben von 582.225 € a⁻¹ oder 26.465 € km⁻¹ a⁻¹. Geht man beispielweise von einer Zunahme der Kanunutzung von 20 % infolge der Umsetzung von Szenario 2 aus, würde das einem monetären Wert von 31.758 € km⁻¹ a⁻¹ entsprechen.

3.9.4 Abiotische Ökosystemleistungen

Für die ökonomische Bewertung abiotischer Leistungen oder Nutzungen des Naturkapitals, wie Wasserkraft oder Schifffahrt, werden Marktpreismethoden herangezogen.

Motorisierte Schifffahrt

Der monetäre Wert der motorisierten Schifffahrt kann ähnlich wie die muskelbetriebene Schifffahrt über die Marktpreismethode und entsprechend die durchschnittlichen Ausgaben von Charterboottouristen und Preisen der Personenschifffahrt in [€ d⁻¹] ermittelt werden (BMW 2016, Projekt M 2015). Danach betragen die durchschnittlichen Ausgaben eines Charterboottouristen mit gemietetem Floß 55,52 [€ d⁻¹] bzw. 82,27 bei der Miete eines größeren Charterbootes, der durchschnittliche Preis für die Tagesausflugsschifffahrt 26,50 [€ d⁻¹]. Bei der Umsetzung von Szenario 2 wäre eine motorisierte Schifffahrt nicht mehr möglich, der gesamte ökonomische Wert ist als entgangener Nutzen einzubeziehen.

Für die Einschätzung der quantitativen Bedeutung der Schifffahrt und entsprechend der Ableitung der Änderungen infolge der Maßnahmenumsetzung basiert auf den im folgenden dargestellten Annahmen. Der gesamte Bereich der oberen Lahn (oberhalb Limburg) ist aufgrund der geringen Wassertiefe durch Motorboote und Fahrgastschiffe nicht befahrbar, weshalb die Bedeutung der motorisierten Schifffahrt lediglich für den Gewässerabschnitt an der Staustufe Lahnstein bewertet wird. Als Datengrundlage zur Abschätzung

der Zahl der Charterboote und Personen- oder Fahrgastschiffe dienen die vom (neu gebildeten) Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Mosel-Saar-Lahn (WSA MSL) zur Verfügung gestellten Zahlen der Schleusenstatistik von 2017 bis 2019. Die Auswahl der Jahre ist dadurch begründet, dass das Jahr 2020 pandemiebedingt sehr von "Normalzustand" abweicht und die Schließung der Schleuse Diez in den Jahren 2014 und 2015 noch Auswirkungen auf den Verkehr im Jahr 2016 hatte. Insgesamt geht nach Aussagen des WSA der Trend in der Fahrgastschiffahrt nach unten. Die Schleusenstatistik wird jährlich von WSA MSL erstellt und gibt Auskunft darüber, an welcher von WSV-Personal bedienten Schleuse der unteren Lahn (Lahnstein bis Limburg) wie viele Boote (differenziert nach Bootstyp [unter oder über 6 m Länge], jedoch nicht nach Charter- und Privatboot) geschleust werden. Aus dem Teilbericht "Wasserbezogene Naherholung und Wassertourismus" für das Lahnkonzept/Statusanalyse (WSA Koblenz 2019e) werden zudem weitere aufbereitete Informationen zur wassertouristischen Nutzung auf der Lahn entnommen.

Da die Frequentierung der Lahn durch Charterboote von der Schleusenstatistik nicht explizit erhoben wird und nach Aussagen der WSA MSL auch keine Experteneinschätzungen (z. B. durch das Schleusenpersonal) zum Verhältnis von Charter- und Privatbooten möglich sind, wird vereinfacht angenommen, dass alle geschleusten Motorboote der Schleuse Lahnstein gechartert sind. Begründet wird diese Entscheidung zudem durch die schlechte Datenlage der Motorboote im Privatbesitz. Hierzu hat im Rahmen des Lahnkonzeptes eine Anfrage an die Wassersportvereine stattgefunden. Von den 14 Vereinen mit Bezug zur motorisierten Schifffahrt haben vier die Befragung beantwortet und dem WSA Koblenz insgesamt 87 Boote gemeldet. Aufgrund dieser geringen Rücklaufquote ist anzunehmen, dass weitaus mehr private Motorboote ihren Liegeplatz im Revier der Lahn haben. Hinzu kommt, dass der Trend hin zum Charterboot an Stelle eines eigenen Bootes geht und somit davon ausgegangen werden kann, dass mehr Charter- als Privatboote auf der Lahn verkehren.

Für die ökonomische Bewertung der Charterbootnutzung werden anhand der im Teilbericht im Rahmen des Lahnkonzeptes angegebenen Anzahl der zugelassenen Charterboote im Lahnrevier und deren mittlerer Besetzung (Mittelwert von minimal und maximal möglicher Besetzung) die beförderten Personen je Bootstyp (z. B. Motoryachten, Cruiser, Hausboote etc.) ermittelt. Daraus wird die durchschnittliche Besetzung pro Boot der jeweiligen Bootsklasse berechnet und die Angaben aus dem Teilbericht zur Länge der jeweiligen Bootstypen genutzt, um sie den Zahlen der Schleusenstatistik zuzuordnen (unter oder über 6 m Länge). Die Anzahl der jährlich an der Schleuse Lahnstein geschleusten Motorboote (Summe aus zu Berg und zu Tal geschleusten Booten durch zwei) und die durchschnittliche Besetzung der jeweiligen Bootstypen erlaubt eine grobe Schätzung der beförderten Personen auf Charterbooten. Da sich die Ausgaben eines Charterboottouristen je nach Bootstyp unterscheiden (Floß oder größeres Charterboot) werden vereinfacht alle Boote unter 6 m Länge /z. B. Cruiser/Sportboote, BBQ-Donuts, Flöße) Flößen und alle Boote über 6 m Länge (z. B. Hausboote, verschiedene Motorboote, Motoryachten) größeren Charterbooten zugeordnet. Multipliziert mit den durchschnittlichen Ausgaben eines Charterboottouristen von 55,52 [€ d⁻¹], bzw. Floßtouristen von 82,27 [€ d⁻¹] ergeben sich jährliche Gesamtausgaben von 916.196 € (826.663 € mit Diskontierung).

Für das Jahr 2013 wird das jährliche Fahrgastaufkommen der Lahn auf 44.000 geschätzt (WSA Koblenz 2019e). Da keine räumlich spezifischeren Zahlen zu Passagieren auf Fahrgastschiffen zur Verfügung stehen, wird das anteilige Fahrgastschiffahrtsaufkommen mit Bezug zur Schleuse Lahnstein berechnet. Hierfür wird auf Grundlage der im Teilbericht gelisteten Schleusen in die Abschnitte Lahnstein bis Hollerich und Kalkhofen bis Limburg differenziert und die anteilig geschleusten Fahrgastschiffe berechnet. 60 % der Fahrgastschiffe verkehren auf dem unteren Abschnitt (Lahnstein bis Hollerich) und 40 % auf dem oberen Abschnitt (Kalkhofen bis Limburg) der unteren Lahn. Der untere Abschnitt repräsentiert den Verkehr für den Gewässerabschnitt der Staustufe Lahnstein. Diesen Schätzungen zufolge verkehren jährlich 24.156 Passagiere auf dem Gewässerabschnitt der Staustufe Lahnstein. Bei durchschnittlichen Preisen für die Tagesausflugsschiffahrt in der Höhe von 26,50 [€ d⁻¹] pro Person (BMW 2016) liegen die jährlichen Gesamtausgaben bei 640.125,4 € (577.571 € mit Diskontierung).

Wasserkraft

Der monetäre Wert der Nutzung des Naturkapitals durch Wasserkraft ergibt sich aus der jährlichen Energieproduktion und dem Marktpreis, d.h. dem ökonomischen Ertrag der Stromerzeugung aus Wasserkraft. Als Marktpreis wird hier die Vergütung von Strom aus Erneuerbaren Energien entsprechend der Einspeisevergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) in [ct kWh⁻¹] als herangezogen. Seit 2000 wird die Vergütung von Strom aus regenerativen Energiequellen mit dem EEG geregelt, insofern kann dieser Wert als Proxy für den Wert der abiotischen Leistung Energiebereitstellung und als Marktpreis für Elektrizität angesehen und genutzt werden (vgl. auch GRIZZETTI et al. 2015, KEUNECKE & DUMONT 2011).

Für die Vergütung von Strom aus Wasserkraft gelten nach dem EEG unterschiedliche Tarife und Vergütungszeiträume, in Abhängigkeit von der durchschnittlichen Leistung in kW und dem Anlagentyp (KEUNECKE & DUMONT 2011).

Als Altanlagen ohne Verbesserung des ökologischen Zustandes mit einer Ausbauleistung von 1.485 kW (Lahnstein) bzw. 1.084 kW (Kirschhofen) fallen die beiden Wasserkraftanlagen (WKA) in die unterste Vergütungsgruppe (Anlagenleistung 500 kW < P < 5 MW) mit einer Vergütung von 6,65 ct kWh⁻¹. Je nach Bemessungsleistung (PB) wird ein bestimmter Anteil der Jahreserzeugung (Ea) der WKA mit einem höheren Tarif vergütet, der auch für Anlagen einer Ausbauleistung kleiner 500 kW gilt (hier 7,67 ct kWh⁻¹). Ist PB > 500 kW, werden 4.380 MWh der Jahreserzeugung mit dem höheren Tarif vergütet, die übrige erzeugte Energie mit 6,65 ct/kWh. Gemäß dem „Handbuch Querbauwerke“ (MUNVL 2005) „können in Mittelgebirgsanlagen ca. 3.500-4.500 Volllaststunden angesetzt werden“ (S. 49). Die Jahreserzeugung wurde hier für die minimale (3.500 h), mittlere (4.000 h) und maximale (4.500 h) Annahme der Volllaststunden berechnet.

Dabei übersteigt die WKA Lahnstein die Bemessungsleistung PB von 500 kW selbst bei minimaler Annahme der Volllaststunden (593 kW). Bis zu 4.380 MWh des Jahresertrags der WKA Lahnstein werden demnach mit 7,67 ct kWh⁻¹ vergütet. Für die Berechnung der Jahreserzeugung werden 4.000 h unter Volllast angenommen (mittlere Annahme, ergibt Ea = 5.940 MWh), von denen die ersten 4.380 MWh mit 7,67 ct kWh⁻¹ und die verbleibenden 1.560 MWh mit 6,65 ct kWh⁻¹ vergütet werden. Die WKA Kirschhofen übersteigt die PB lediglich bei maximaler Annahme der Volllaststunden (556,85 kW), weshalb hier der gesamte Jahresertrag von 4.336 MWh bei 4.000 h unter Volllast mit 6,65 ct kWh⁻¹ vergütet wird.

Danach ergibt sich für Lahnstein eine Vergütung von 439.686 € a⁻¹ und für Kirschhofen von 288.344 € a⁻¹.

4 Auswahl repräsentativer Staustufen

4.1 Auswahlkriterien und Überblick

In Abstimmung mit dem Auftraggeber und dem Konsortium des LiLa-Projektes wurden folgende drei Staustufen in den beiden betroffenen Bundesländern für die folgenden Analysen ausgewählt (Abbildung 4-1):

1. Lahnstein (Rheinland-Pfalz)
2. Kirschhofen (Hessen)
3. Altenberg (Hessen)

Diese Staustufen stehen repräsentativ für die unterschiedlichen Verhältnisse an der Bundeswasserstraße Lahn und dies sowohl in geographischer und naturräumlicher Hinsicht (Lage im Untersuchungsraum, Talform, Fließgewässertyp, Auentyp, als auch in Bezug auf den Gewässerzustand, die Bedeutung für motorisierte Schifffahrt und die Wasserkraft, als auch hinsichtlich der Auennutzung (Tabelle 4-1).

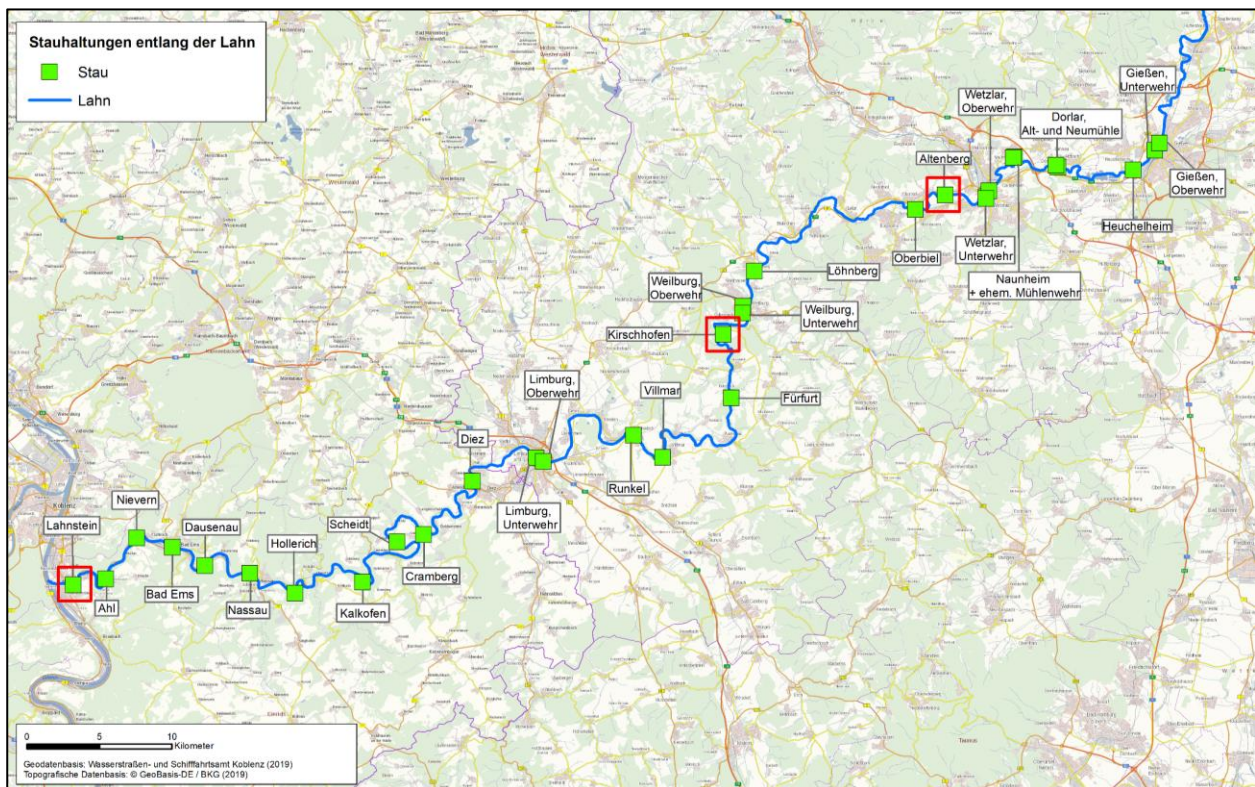


Abbildung 4-1: Lage der drei ausgewählten Lahn-Staustufen (rote Rahmen)

Tabelle 4-1: Vergleichskriterien zur Auswahl der drei Lahn-Staustufen

Kriterium \ Staustufe	Altenberg (Hessen)	Kirschhofen (Hessen)	Lahnstein (Rheinland-Pfalz)
Lage im Untersuchungsraum	Oberer Bereich	Mittlerer Bereich	Unterer Bereich: Unterlauf/Mündung
Talform	Becken/weites Tal	Erweitertes Engtal (Sohlental)	Engtal (Sohlental)
Fließgewässertyp (OGewV), Auentyp nach KOENZEN (2005)	Große Flüsse des Mittelgebirges (9.2), Gefällereiche Flusssau des Grundgebirges		
Gewässerzustand (WRRL/OGewV)	Schlechtes ökologisches Potenzial	Unbefriedigendes ökologisches Potenzial	Unbefriedigendes ökologisches Potenzial
Bedeutung für motorisierte Schifffahrt	Gering...sehr gering	Sehr gering	Hoch
Wasserkraftanlage, ggf. mittlere Leistung je Jahr	Keine Wasserkraftanlage	ca. 6.000 MWh/a	8.500 MWh/a
Hauptsächliche Auennutzung (oberhalb Staustufe)	Landwirtschaft, Infrastruktur, Siedlungen	Land- und Forstwirtschaft, Infrastruktur, Siedlungen	Forstwirtschaft, Freizeit- und Wochenendsiedlungen/Camping, Infrastruktur

4.2 Lage und Kennzeichen

4.2.1 Staustufe Lahnstein

Die Staustufe Lahnstein bei Lahn-km 135,700 bildet die unterste Staustufe der Lahn (Abbildung 4-2). Das Stauziel liegt bei 66,06 m NN bei einer Fallhöhe von ca. 5,9 m (WSA Koblenz 2018a, 2019b, Tabelle 4-2). Die Staustufe kann mit der vorhandenen Schleuse durch Schiffe passiert werden.

Grundsätzlich muss bei der folgenden Konkretisierung der Maßnahmenoptionen der Raum bis zur nächsten oberhalb liegenden Staustufe (Ahl) betrachtet werden. Unterhalb wird der Rhein erreicht, weshalb der Raum auch bis in das Unterwasser auszudehnen ist. Das Ausdehnen des Betrachtungsraumes nach ober- und unterhalb ist für die hypothetische Herstellung des guten ökologischen Zustands (GÖZ) im Sinne der Szenario 2 erforderlich. Hier wäre ein Gefälleausgleich geboten, der auch Areale im Ober- und im Unterwasser umfassen muss (Näheres in Kapitel 6).

Eine exakte Verortung des Betrachtungsraumes der Staustufe erfolgt im Kapitel 6.5 unter der Maßgabe des Sohlgefälles bzw. des erforderlichen Gefälleausgleichs bei Staulegung nach flussmorphologischen und hydraulischen Gesichtspunkten.

Die Staustufe Lahnstein liegt in einem Engtal, so dass nur eine vergleichsweise schmale Talsohle besteht. Die Bodenverhältnisse dominieren Vegen aus Auenschluff und Auenlehm (Abbildung 4-3).

Nutzungsseitig herrschen Forstwirtschaft, Freizeit- und Wochenendsiedlungen/Camping sowie Verkehrsinfrastruktur (Straßen) vor (Abbildung 4-4). An der Staustufe Lahnstein befindet sich eine Wasserkraftanlage zur Stromgewinnung (Tabelle 4-3).

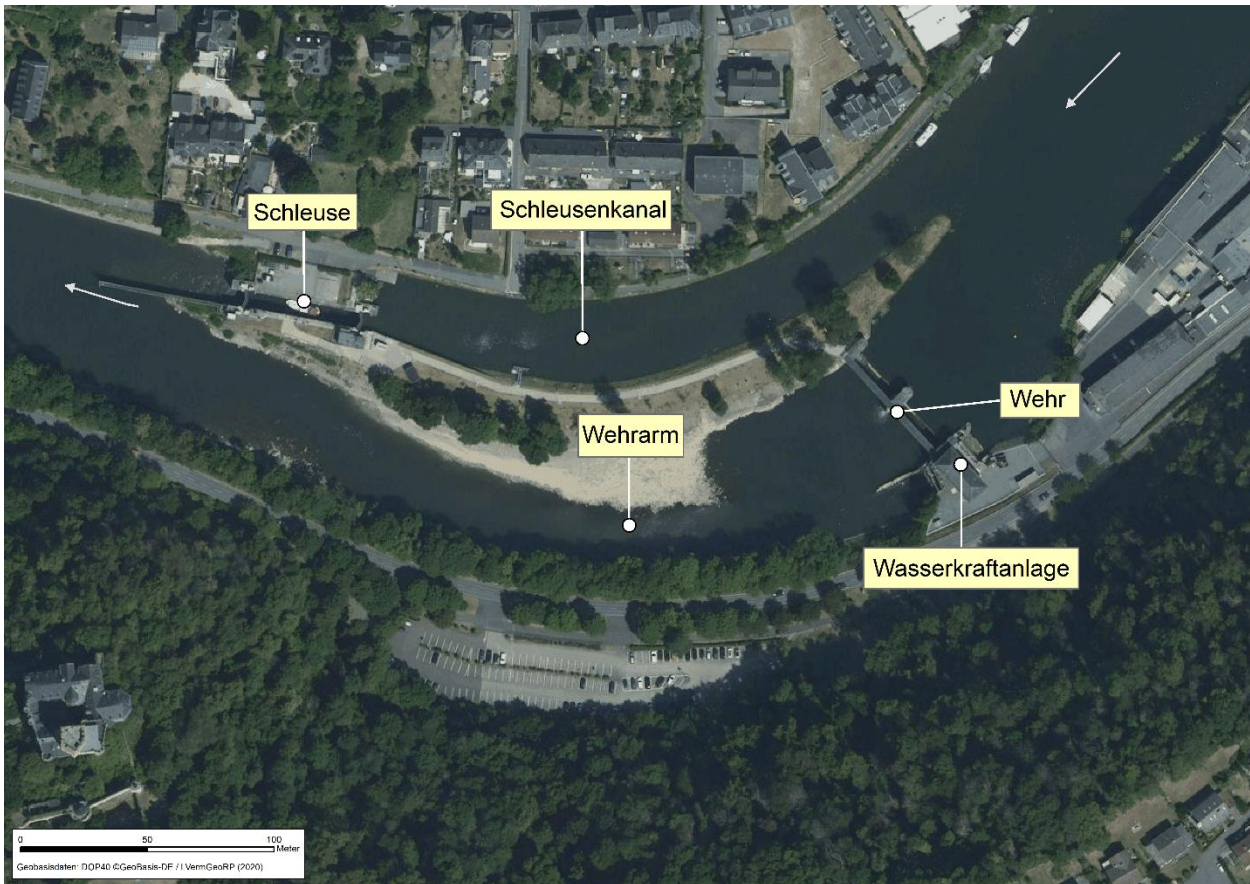


Abbildung 4-2: Staustufe Lahnstein mit Wehr- und Schleusenanlage

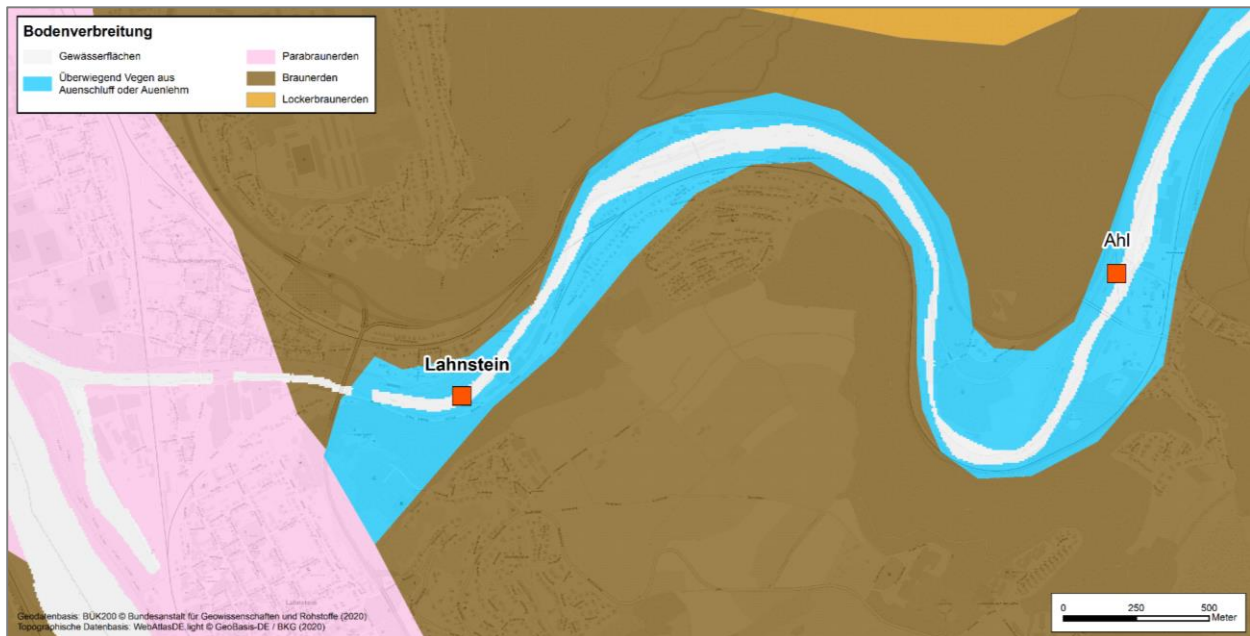


Abbildung 4-3: Bodenverhältnisse im Bereich der Staustufe Lahnstein

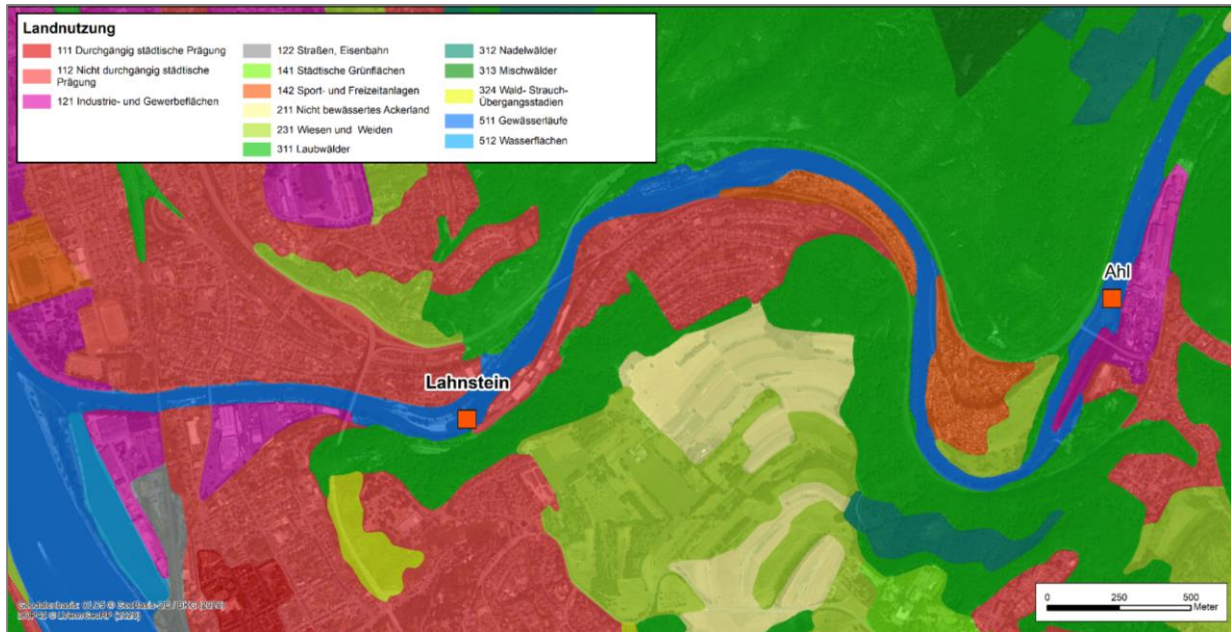


Abbildung 4-4: Landnutzungsverhältnisse im Bereich der Staustufe Lahnstein

Tabelle 4-2: Kenndaten der Stauhaltung Lahnstein sowie Angaben zu Wehranlage und Schleuse Lahnstein, aus: WSA Koblenz (2018a, 2019b)

Übersicht Stauhaltung Lahnstein gesamt			
Lage der Staustufe (Wehr):	km 135,700	Länge der Stauhaltung:	3,300 km
Lage der Stauhaltung:	km 135,700 bis km 132,400	Länge des Staubereiches:	rd. 2,8 km
Fallhöhe bei MNQ:	rd. 5,9 m	Länge freifließend:	rd. 0,5 km
Außenbezirk:	Diez	Garantierte Wassertiefe:	1,60 m
Angaben zur Wehranlage			
Lage des Wehres:	km 135,700	Baujahr (und ggf. Umbaumaßnahmen):	1957
Fallhöhe bei MNQ:	rd. 5,9 m	Eigentümer:	WSV
Stauziel:	66,06 m+NN	Bauwerkszustand (Zustandsnoten 1,0 bis 4,0):	4,0
Angaben zur Schleuse			
Lage der Schleuse:	km 135,96	Baujahr (und ggf. Umbaumaßnahmen):	1941
Max. Hubhöhe bei MNQ:	rd. 5,9 m	Eigentümer:	WSV
Bedienungskonzept (Personal / Nutzer):	Personal	Bauwerkszustand (Zustandsnoten 1,0 bis 4,0):	4,0

Tabelle 4-3: Kennzeichen der Wasserkraftanlage (WKA) Lahnstein, aus: WSA Koblenz (2018a, 2019b)

Angaben zur WKA Lahnstein			
Eigentümer/Betreiber:	Süwag Energie AG	Baujahr (und ggf. Umbaumaßnahmen):	1957 (2016)
Ausbauabfluss:	40,00 m³/s	Ausbauleistung:	1.485 kW
Anzahl der Turbinen:	1	Turbinentyp:	Kaplan
Ökologische Durchgängigkeit			
Funktionsfähiger Fischaufstieg vorhanden (ja/nein):	nein	Funktionsfähiger Fischschutz und Fischabstieg vorhanden (ja/nein):	nein
Wasserrechtliche Genehmigungslage			
Wasserrecht besteht seit:	17.12.1957	Altrecht (ja/nein):	nein
Befristung:	nein		

4.2.2 Staustufe Kirschhofen

Die Staustufe Kirschhofen liegt bei Lahn-km 45,280. Das Stauziel liegt bei 126,77 m NN bei einer Fallhöhe von ca. 3,5 m (WSA Koblenz 2018a, 2019b, Abbildung 4-5, Tabelle 4-4). Die Staustufe kann mit der vorhandenen Schleuse durch Schiffe passiert werden.

Der Betrachtungsraum wird (zumindest für die Erreichung eines guten ökologischen Zustands (GÖZ): Szenario 2) wie vorstehend erläutert, auch hier bis zur nächsten oberhalb sowie bis zur nächsten unterhalb liegenden Staustufe angesetzt. Von daher ist grundsätzlich der Raum zwischen den Staustufen Weilburg, Unterwehr und Fürfurt in den Fokus zu nehmen.

Eine exakte Verortung des Betrachtungsraumes der Staustufe erfolgt im Kapitel 6.5 unter der Maßgabe des Sohlgefälles bzw. des erforderlichen Gefälleausgleichs bei Staulegung nach flussmorphologischen und hydraulischen Gesichtspunkten.

Die Staustufe Kirschhofen liegt in einem Sohlental. Die Bodenverhältnisse werden dominiert durch Vegen aus Auenlehm und Auenschluff (Abbildung 4-6).

Nutzungsseitig herrschen Land- und Forstwirtschaft, Infrastruktur und Siedlungen vor (Abbildung 4-7). An der Staustufe Kirschhofen befindet sich ebenfalls eine Wasserkraftanlage zur Stromgewinnung (Tabelle 4-5).



Abbildung 4-5: Staustufe Kirschhofen mit Wehr- und Schleusenanlage



Abbildung 4-6: Bodenverhältnisse im Bereich der Staustufe Kirschhofen



Abbildung 4-7: Landnutzungsverhältnisse im Bereich der Staustufe Kirschhofen

Tabelle 4-4: Kenndaten der Stauhaltung Kirschhofen sowie Angaben zu Wehranlage und Schleuse Kirschhofen, aus: WSA Koblenz (2018a, 2019b)

Übersicht Stauhaltung Kirschhofen gesamt			
Lage der Staustufe (Wehr):	km 45,280	Länge der Stauhaltung:	4,2 km
Lage der Stauhaltung:	km 41,120 bis 45,280	Länge des Staubereiches:	rd. 3,4 km
Fallhöhe bei MNQ:	rd. 3,5 m	Länge freifließend:	rd. 0,8 km
Außenbezirk:	Wetzlar	Garantierte Wassertiefe:	-
Angaben zur Wehranlage			
Lage des Wehres:	km 45,280	Baujahr (und ggf. Umbaumaßnahmen):	1859 (1877)
Fallhöhe bei MNQ:	rd. 3,5 m	Eigentümer:	WSV
Stauziel:	126,77 m+NN (zu prüfen)	Bauwerkszustand (Zustandsnoten 1,0 bis 4,0):	-
Angaben zur Schleuse			
Lage der Schleuse:	km 45,540	Baujahr (und ggf. Umbaumaßnahmen):	1850
Max. Hubhöhe bei MNQ:	rd. 3,5 m	Eigentümer:	WSV
Bedienungskonzept (Personal / Nutzer):	Nutzer	Bauwerkszustand (Zustandsnoten 1,0 bis 4,0):	4,0

Tabelle 4-5: Kennzeichen der Wasserkraftanlage (WKA) Kirschhofen, aus: WSA Koblenz (2018a, 2019b)

Angaben zur WKA Kirschhofen			
Eigentümer/Betreiber:	ELIKRAFT AG	Baujahr (und ggf. Umbaumaßnahmen):	05.04.1990
Ausbauabfluss:	38,0 m³/s	Ausbauleistung:	1.084 kW
Anzahl der Turbinen:	2	Turbinentyp:	Kaplan
Ökologische Durchgängigkeit			
Funktionsfähiger Fischaufstieg vorhanden (ja/nein):	(stark beeinträchtigt)	Funktionsfähiger Fischschutz und Fischabstieg vorhanden (ja/nein):	(stark beeinträchtigt)
Wasserrechtliche Genehmigungslage			
Wasserrecht besteht seit:	05.04.1990	Altrecht (ja/nein):	nein
Befristung:	31.12.2020		

4.2.3 Staustufe Altenberg

Das feste und einfeldrige Wehr Altenberg bei Lahn-km 15,877 begründet die oberste der drei ausgewählten Staustufen. Das Stauziel liegt bei 144,408 m NN bei einer Fallhöhe von ca. 1,4 m (WSA Koblenz 2018a, 2019b, Tabelle 4-6). Die Staustufe ist ebenfalls mit einer Schleuse ausgestattet und kann damit rechtsseitig der Lahn durch die Schifffahrt umgangen werden (Abbildung 4-8).

Der Betrachtungsraum wird (zumindest für die Erreichung eines guten ökologischen Zustands (GÖZ): Szenario 2) wie vorstehend erläutert, auch hier bis zur nächsten oberhalb sowie bis zur nächsten unterhalb liegenden Staustufe angesetzt. Von daher ist grundsätzlich der Raum zwischen den Staustufen Wetzlar, Unterwehr und Nieder-/Oberbiel in den Fokus zu nehmen.

Eine exakte Verortung des Betrachtungsraumes der Staustufe erfolgt im Kapitel 6.5 unter der Maßgabe des Sohlgefälles bzw. des erforderlichen Gefälleausgleichs bei Staulegung nach flussmorphologischen und hydraulischen Gesichtspunkten.

Die morphologische Aue wird im relevanten Bereich als relativ breiter, beckenartiger Talboden gebildet (Abbildung 4-8, Abbildung 4-9). Auf den aus Vegen aus Auenlehm und Auenschluff gebildeten Böden (Abbildung 4-9) dominiert landwirtschaftliche Nutzung; im oberen Bereich der Staustufe Altenberg rückt die Bebauung der Stadt Wetzlar bis an die Lahn heran (Abbildung 4-10). Dieser Bereich der Lahn weist nur eine geringe bis sehr geringe Bedeutung für die motorisierte Schifffahrt auf. Auch ist an der Staustufe Altenberg keine Wasserkraftanlage vorhanden.

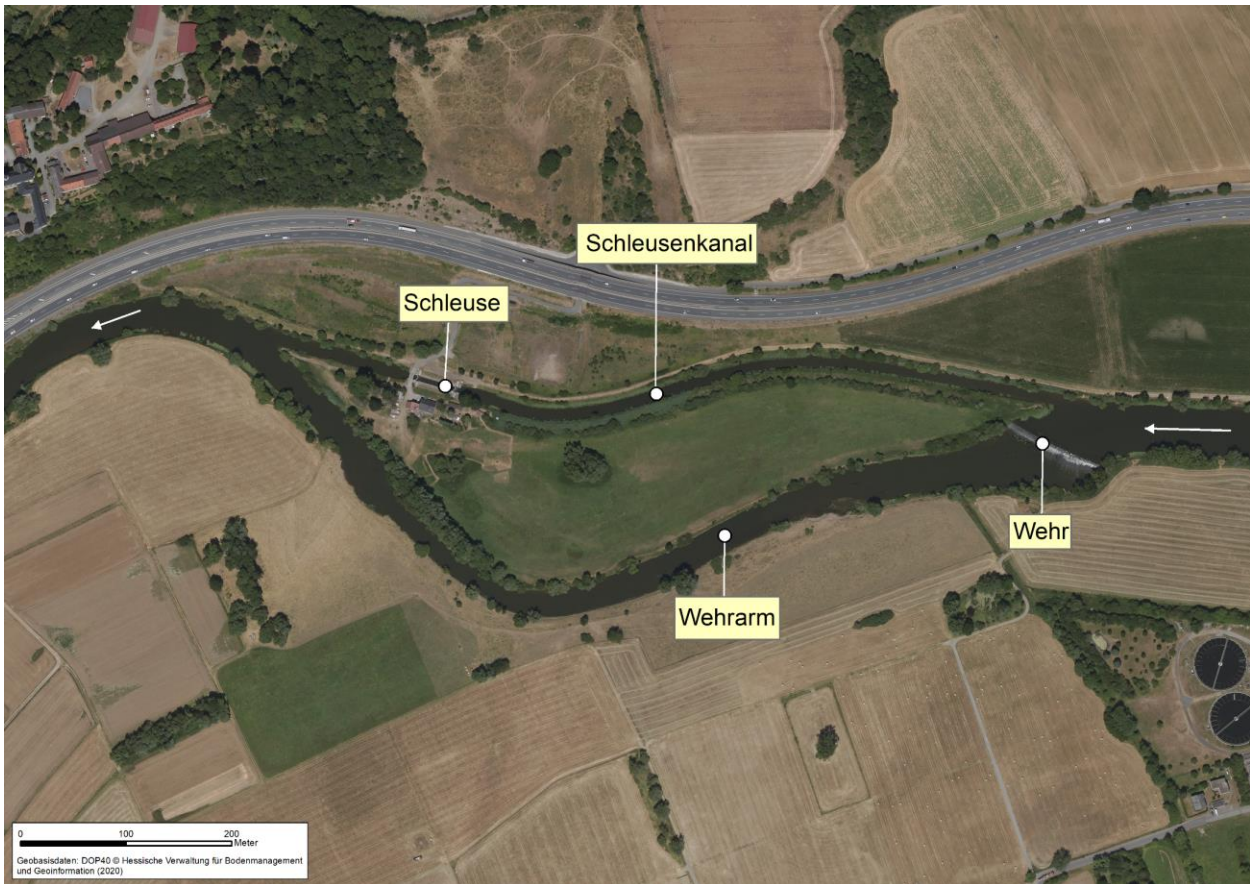


Abbildung 4-8: Staustufe Altenberg mit Wehr- und Schleusenanlage

Tabelle 4-6: Kenndaten der Stauhaltung Altenberg sowie Angaben zu Wehranlage und Schleuse Altenberg, aus: WSA Koblenz (2018a, 2019b)

Übersicht Stauhaltung Altenberg gesamt			
Lage der Staustufe (Wehr):	km 15,840	Länge der Stauhaltung:	3,850 km
Lage der Stauhaltung:	km 11,990 bis km 15,840	Länge des Staubereiches:	rd. 3,8 km
Fallhöhe bei MNQ:	rd. 1,4 m	Länge freifließend:	rd. 0,0 km
Außenbezirk:	Wetzlar	Garantierte Wassertiefe:	-
Angaben zur Wehranlage			
Lage des Wehres:	km 15,840	Baujahr (und ggf. Umbaumaßnahmen):	unbekannt
Fallhöhe bei MNQ:	rd. 1,4 m	Eigentümer:	WSV
Stauziel:	144,40 m+NN	Bauwerkszustand (Zustandsnoten 1,0 bis 4,0):	-
Angaben zur Schleuse			

Lage der Schleuse:	km 16,493	Baujahr (und ggf. Umbaumaßnahmen):	1848 (1952/1954)
Max. Hubhöhe bei MNQ:	rd. 1,4 m	Eigentümer:	WSV
Bedienungskonzept (Personal / Nutzer):	Nutzer	Bauwerkszustand (Zustandsnoten 1,0 bis 4,0):	4,0

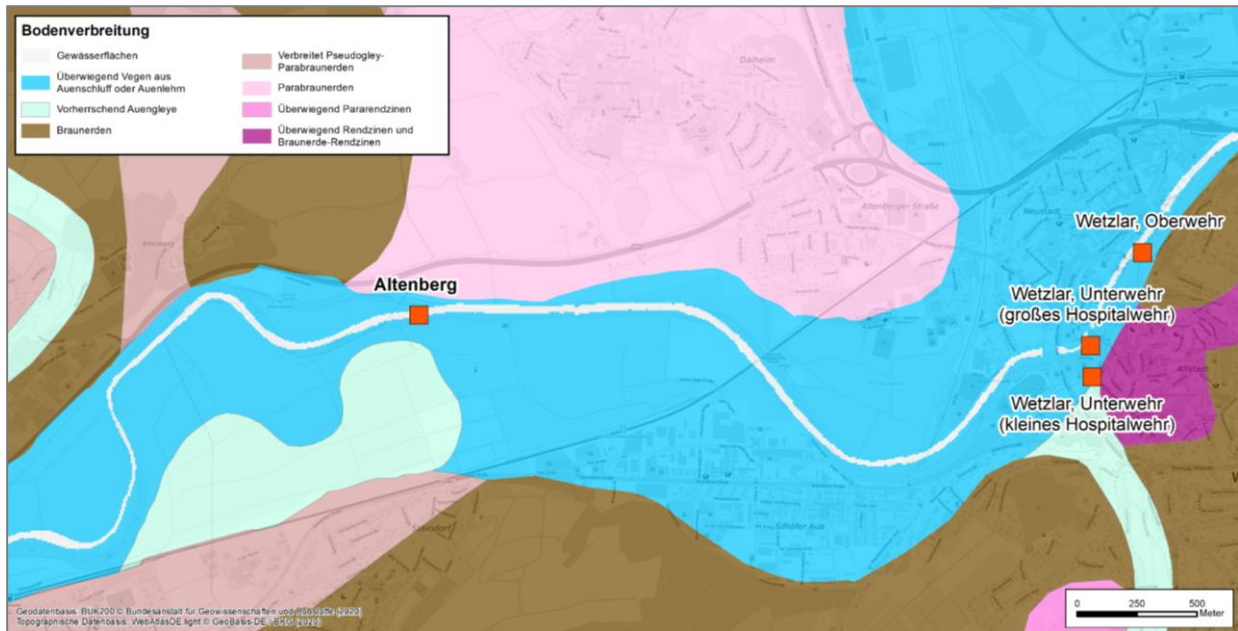


Abbildung 4-9: Bodenverhältnisse im Bereich der Staustufe Altenberg

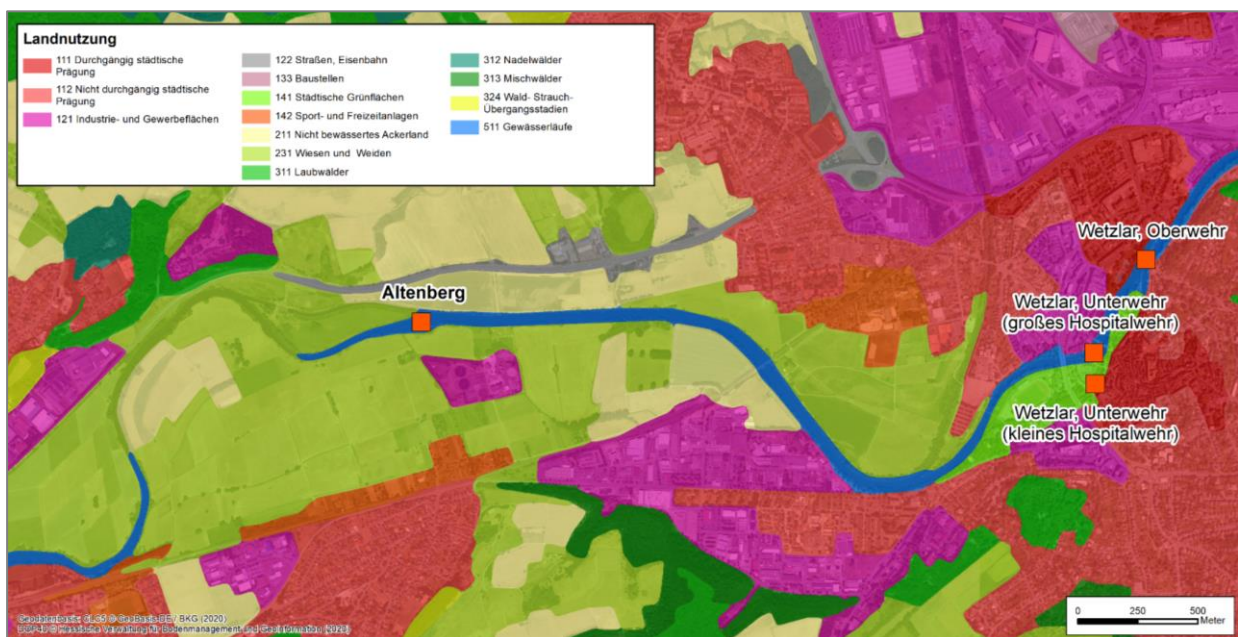


Abbildung 4-10: Landnutzungsverhältnisse im Bereich der Staustufe Altenberg

5 Vergleichende Untersuchungen (Kalibrierung)

5.1 Zielstellung

Entsprechend der Aufgabenstellung sollen auch vergleichende Betrachtungen angestellt werden, um die Wirkungen und Effekte von zustandsverbessernden Handlungsoptionen an (ggf. ehemals) staustufenbeeinflussten Fließgewässern in Deutschland angemessen einschätzen zu können. Hierbei stehen sowohl Wirkungen im Hinblick auf Ökosystemfunktionen, als auch solche im Hinblick auf Ökosystemleistungen im Fokus. Im weitesten Sinne dient dies einer Art Kalibrierung der nachfolgend angewandten Bewertungsansätze.

Erschwerend ist, dass in Deutschland kein insgesamt „passendes“ Vergleichsbeispiel einer Staulegung existiert (Wasserstraße, Auentyp, Gewässertyp, Systemgröße usw.). Dies bedingt die Notwendigkeit, auf mehrere Fallbeispiele auszuweichen und hierfür vor allem auf Veröffentlichungen und teilweise Unterlagen der Planung und Erfolgskontrolle auszuweichen. Deshalb werden letztlich zwei räumlich-inhaltlich unterschiedliche Fallbeispielkonstellationen herangezogen:

1. **Räumliche Nähe:** Bereits umgesetzte Renaturierungsmaßnahmen an der oberen Lahn – Heranziehung von Unterlagen des Regierungspräsidiums Gießen (DIEHL 2019).

Dabei handelt es sich um diverse und in einer ganzen Reihe von Vorhaben in jüngerer Zeit umgesetzte Projekte verschiedenen Inhalts und Umfangs, für die offenkundig keine Erfolgskontrollen und auch noch keine Auswertungen im Hinblick auf Ökosystemleistungen existieren. Von daher können die Wirkungen/Effekte nur per Experteneinschätzung auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Unterlagen vorgenommen werden. Generell ist dabei von einer eher räumlich begrenzten Wirkung jeder einzelnen Maßnahme auszugehen.

2. **Umfangreiche und systematische Renaturierungen (einschließlich zahlreicher Staulegungen) über einen Zeitraum von 25 Jahren:** Mecklenburgische Nebel, die im Unterlauf ehemals als Reichswasserstraße fungierte (in Form des Güstrow-Bützow-Kanals).

Diese Renaturierungsmaßnahmen sind sehr raumgreifend und umfassen mittlerweile die größten Fließstreckenanteile. Auch kann auf umfangreiche, veröffentlichte Literatur zur Erfolgskontrolle und zur Bewertung von Ökosystemleistungen zurückgegriffen werden. Die Nebel ist auch eines von 10 deutschlandweit ausgewählten Projekten, das vom Umweltbundesamt als pilothaft vorgestellt wird (Projektbeispiele für eine erfolgreiche Renaturierung von Fließgewässern, vgl. <https://www.umweltbundesamt.de/gewaesserrenaturierung-projektbeispiele>). Das Fallbeispiel wird deshalb nachfolgend etwas umfangreicher vorgestellt (Kapitel 5.2).

5.2 Fallbeispiel der komplexen Renaturierung der Nebel

Der mehr als 70 km lange Tieflandfluss Nebel mit seinem Niederungs- bzw. Auenraum liegt im mittleren Mecklenburg. Das 998 km² große oberirdische hydrologische Einzugsgebiet wird überwiegend landwirtschaftlich genutzt. Größere Städte sind Güstrow und Bützow; bei letzterer mündet die Nebel in die Warnow, welche wiederum bei Rostock-Warnemünde die Ostsee erreicht (Abbildung 5-1).

Die Nebel ist ein sehr vielgestaltiger Tieflandfluss, der unterschiedliche, aber für Deutschlands Nordosten typische Naturräume durchfließt. Von daher finden sich an der Nebel auch mehrere Fließgewässertypen entsprechend ÖGewV. Besonders bemerkenswert sind Gewässerstrecken mittelgebirgsartiger, schmaler Durchbruchstäler in Endmoränenlagen. In den Niederungen sind dagegen Versumpfungs-, Verlandungs- und Durchströmungsmoore verbreitet, wobei unter dem Einfluss der landwirtschaftlichen Nutzung und starker meliorativer Eingriffe auf großen Flächen eine Degradation der Torfe mit den üblichen Folgen erfolgt ist (MEHL et al. 1995). Sichtbar ist das vor allem an den umfangreichen Moorsackungserscheinungen.

Im Oberlauf durchfließt die Nebel mehrere Seen, hierunter als größtem der Krakower See mit einer Seefläche von rund 15 km². Die Auenflächen an der Nebel umfassen entsprechend der Methodik von BRUNOTTE et al. (2009) 22,9 km² rezente Aue und 13,2 km² Altaue.

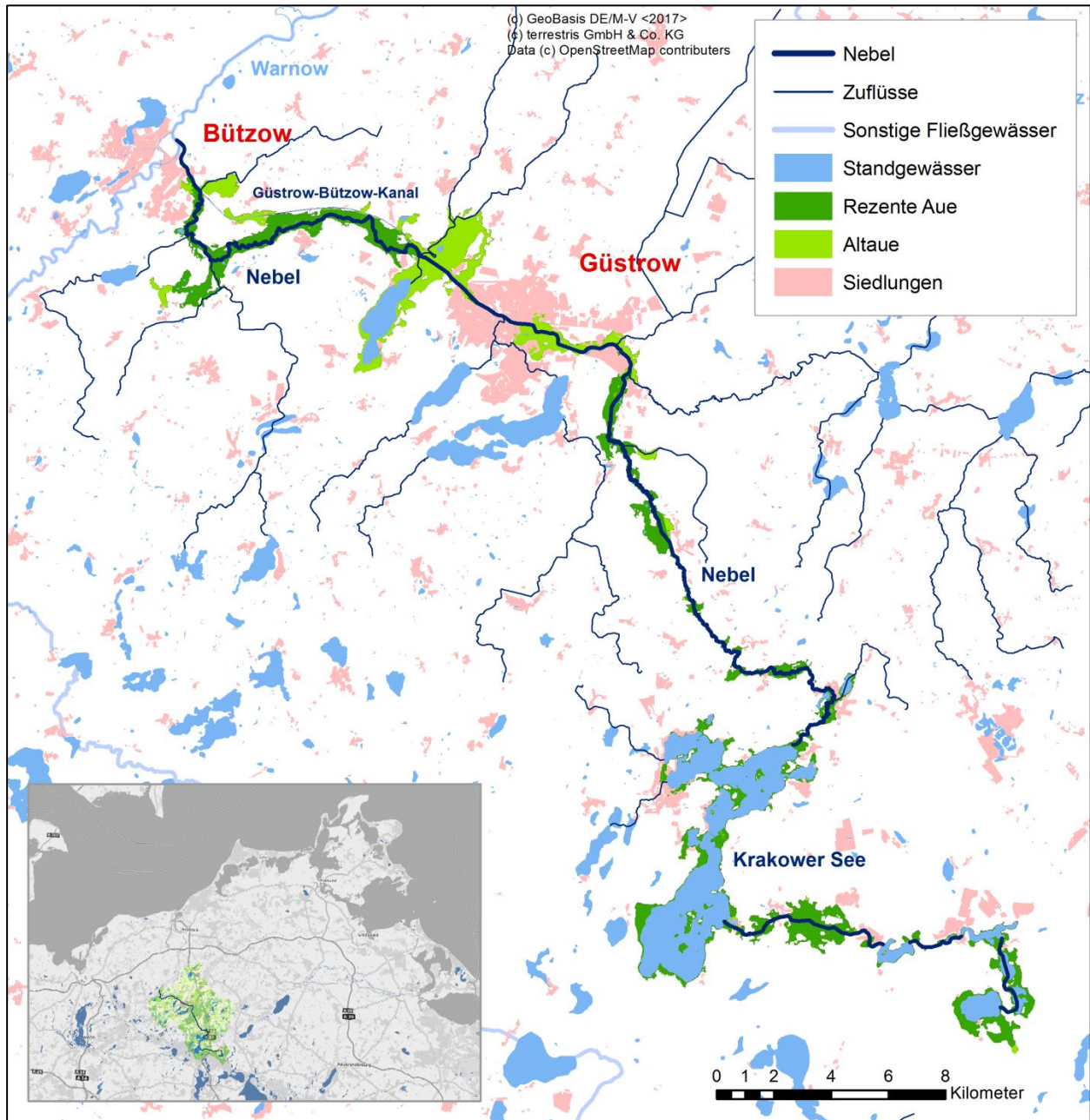


Abbildung 5-1: Fließgewässer Nebel und seine Aue sowie Lage in Mecklenburg-Vorpommern, leicht geändert nach MEHL et al. (2018a)

Die Landnutzung insgesamt, aber auch zahlreiche spezifische Gewässernutzungen haben über die Jahrhunderte an der Nebel zu vielfältigen Veränderungen geführt, auch wenn einzelne Gewässerabschnitte vergleichsweise naturnah blieben. Hydromorphologisch bedeutsam waren vor allem Mühlenstau, Wehre, die Anlage des Güstrow-Bützow-Kanals als Wasserstraße sowie der Gewässerausbau zur Vorflutoptimierung (Begradigung, Vertiefung und hydraulisch optimierte Profile), vgl. Tabelle 5-1.

Tabelle 5-1: Zeittafel wichtiger dokumentierter Gewässerausbaumaßnahmen an der Nebel (aus MEHL & THIELE 1998, gekürzt, aber tlw. ergänzt), *zeitweilige Betriebsunterbrechungen unterschiedlicher Dauer

Zeitraum	Wasserwirtschaftliche Maßnahmen
1287-1880*	Betrieb mehrerer Wassermühlen im Stadtbereich Güstrow
1296-1553*	Betrieb der Wassermühle Serrahn
1296-1829	Betrieb der Wassermühle Ahrenshagen
1339-1947	Betrieb der Wassermühle Kölln (zuletzt mit Turbine)
1558-1972	Betrieb der Wassermühle Kuchelmiß (zuletzt mit Turbine)
1562-1928	Betrieb der Wasserkünste in Güstrow
1572-1949*	Betrieb der Wassermühle Dobbin (zuletzt mit Turbine)
1628-1855*	Betrieb der Wassermühle Kieth
nach 1704	Bau einer Schleusenkammer in Güstrow (für Boote, Flöße)
um 1718	Begradigung eines Teiles im Stadtbereich Güstrow (für Holzflößerei)
1776	Aufstau der Nebel im Stadtbereich Güstrow
1856-1962*	Betrieb der Wassermühle Linstow (ab 1873 mit Turbine)
1864	Abtrennen einer Nebelschlinge in Güstrow im Rahmen des Bahnbaues
1882	Inbetriebnahme des ersten Wasserwerkes
1883	Errichtung der Zuckerfabrik mit Wasserleitung zur Nebel
1894-1896	Bau des Schifffahrtskanals Güstrow-Bützow (Reichswasserstraße), Eindeichung und Aufstau der Nebel
um 1900/13	Zuschüttung des östlichen Nebelarmes in Güstrow ("Schustergraben")
nach 1945	Zuschüttung von Durchlässen ehemaliger Wasserbauten in Güstrow
1957-1962	Begradigungen im Zuge des Zuckerfabrikbaues bei Güstrow
1959	Errichtung eines Wehres zur Stauhaltung von landwirtschaftlichen Flächen bei Kölln
1963	Bau eines Wehres zur Überwindung eines Sohlüberganges und Stauhaltung bei Kölln
1964	Bau eines Wehres für die Zuleitung der Fischeiche Dobbin
Ende der 60er Jahre	Ausbau der Nebel zum Vorfluter für den Au Graben
Anfang der 70er Jahre	Sanierung des Güstrow-Bützow-Kanales: Abbruch des alten Entlastungswehres bei Lüssow und Ersetzung durch festes Überfallwehr (Kanal wird Hauptvorfluter bei gleichzeitiger Entlastung der Alt-Nebel), Umbau der alten Schleuse bei Zepelin zu einem Wehr, Umbau der Schleuse bei Wolken zu einem Sohlabsturz
1972	Errichtung eines Wehres am Auslauf des Krakower Sees (zur Stauhaltung des Sees)
1974	Errichtung eines Wehres im Nebelkanal zur Wasserregulierung in Bezug auf die Warnow
1975	Entfernung der Kammerschleuse im Kanal bei Wolken und Ersatz durch Staustufe (zur verbesserten Speisung der Warnow)
1975 - 1978	Errichtung von 3 Wehren zur Stauhaltung der Seen: am Auslauf des Malkwitzer Sees, zwischen Kraazer See und Hofsee, am Auslauf des Orthsees
1978	Umbau des Wehres an der Forellenzuchtanlage Dobbin, Entfernung der Kammerschleuse im Kanal bei Zepelin und Ersatz durch Staustufe (zur verbesserten Speisung der Warnow)
Ende der 70er Jahre	Verlegung der Nebel für ein Brückenbauwerk über die Bahntrasse in Güstrow: Bifurkation durch Ausbau des parallel zum Bahndamm verlaufenden Grabens Errichtung eines neuen Wehres für die Güstrower Zuckerfabrik
1984	Rekonstruktion des Wehres bei Kölln

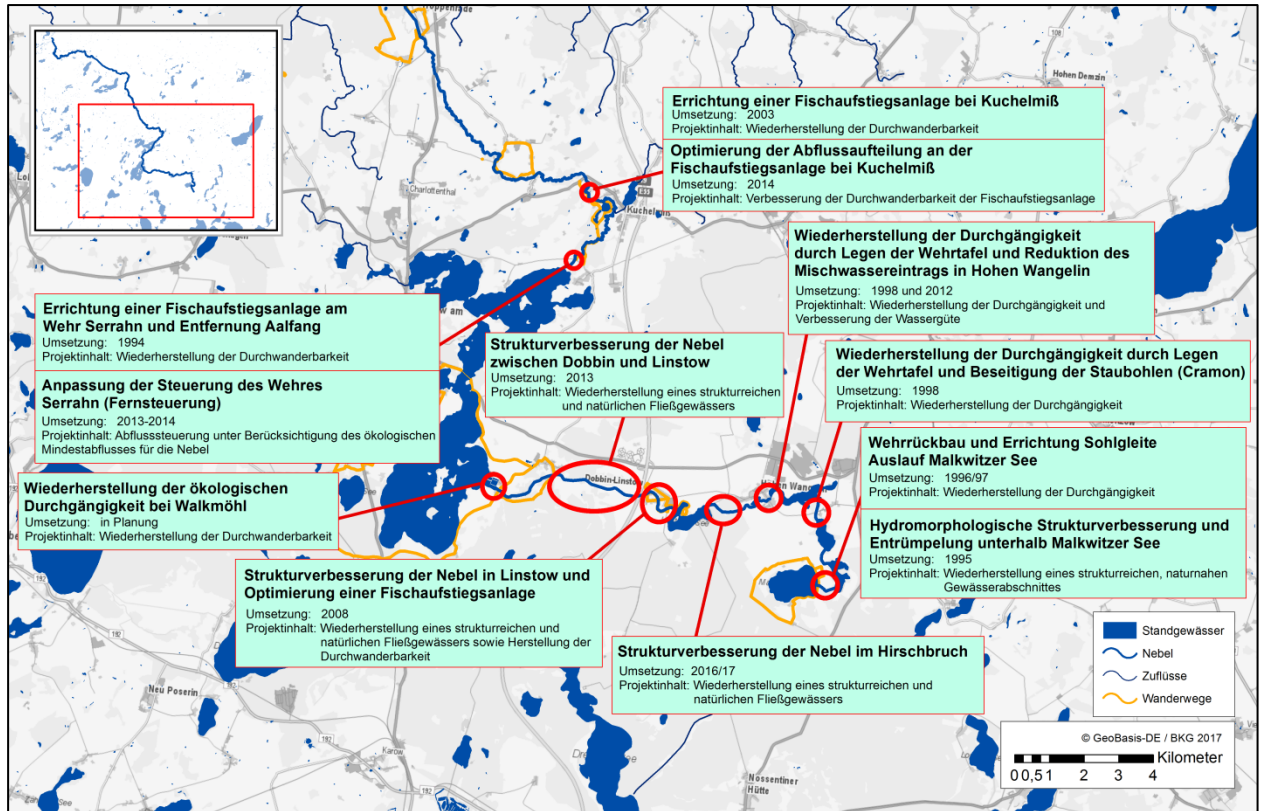


Abbildung 5-2: Umgesetzte Renaturierungsvorhaben an der oberen Nebel, aus MEHL et al. (2018a)

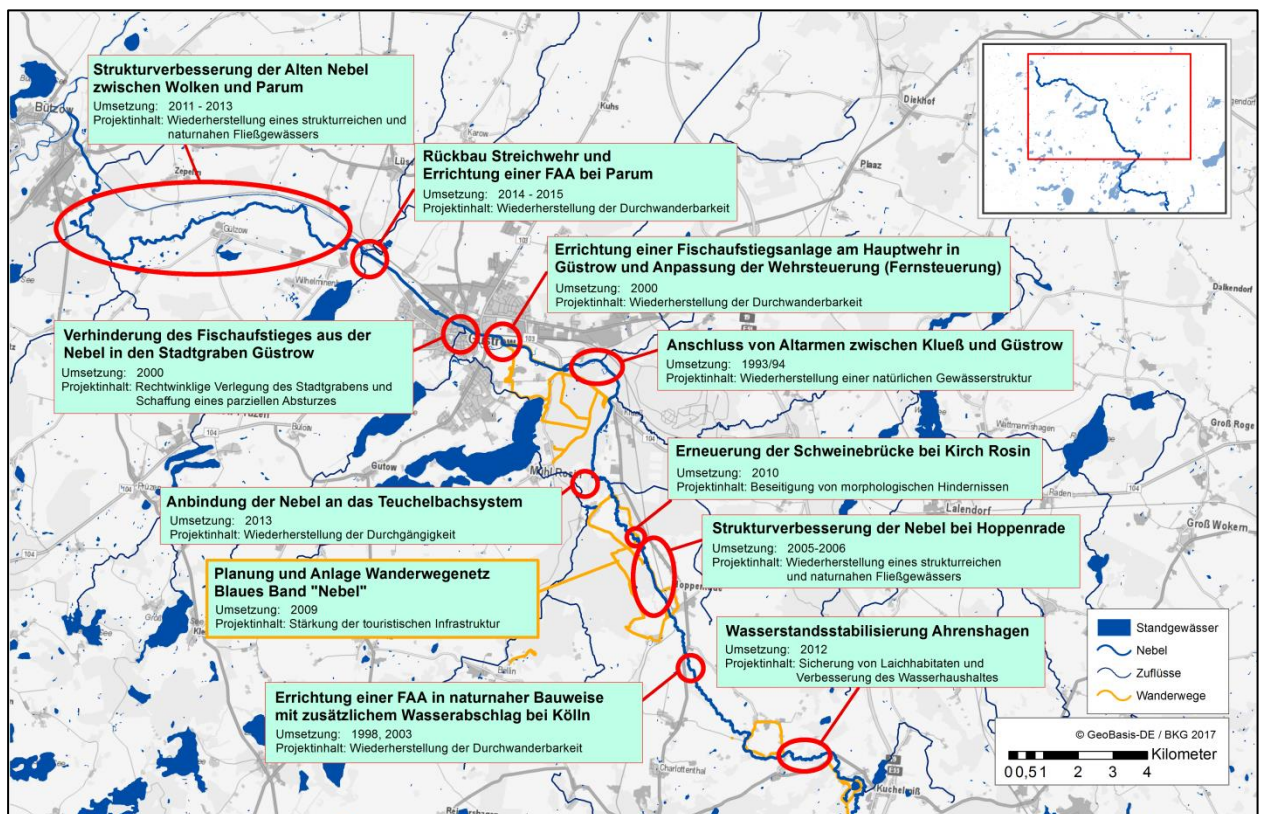


Abbildung 5-3: Umgesetzte Renaturierungsvorhaben an der unteren Nebel, aus MEHL et al. (2018a)

Bereits seit Anfang der 1990-er Jahre wird an der Nebel systematisch renaturiert; seit dem Jahr 2000 insbesondere mit dem Blickwinkel der WRRL-Umsetzung (Abbildung 5-2, Abbildung 5-3). Zahlreiche Veröffentlichungen stellen Planungen, Maßnahmen und Umsetzungen vor, z. B. MEHL & BITTL (2005), KAUSMANN & MEHL (2005), THIELE & LÜDECKE (2006), MEHL et al. (2008, 2011), THIELE et al. (2014), MEHL (2014).

Bereits bei THIELE (2008), THIELE et al. (2015) sowie MEHL & THIELE (2018) wurden Umsetzungserfolge und erreichte Zustandsverbesserungen vorgestellt und diskutiert. Systematische Untersuchungen zu Wiederbesiedlungserfolgen (Flora und Fauna) sind bei BERLIN (2019) sowie THIELE et al. (2020) dokumentiert und ausgewertet. So fand BERLIN (2019) eine deutliche Zunahme der Artenzahlen wichtiger und typgerechter Artengruppen des Makrozoobenthos in der Nebel (Eintags-, Stein- und Köcherfliegen) im Vergleich der Jahre 1996 (Anfang der Renaturierungsaktivitäten) und 2018 (nach Durchführung und Abschluss zahlreicher Maßnahmen), s. hierzu Abbildung 5-4 und Abbildung 5-5. Dies spricht nicht nur für die erreichte Qualität der Maßnahmen (auch im Sinne der „Entwicklungsreife“, s. Kapitel 3.6), sondern vor allem auch für das hohe Wiederbesiedlungspotenzial und die strategisch verfolgte Berücksichtigung der ökologischen Prinzipien des Biotopverbundes.

Auswirkungen auf wichtige regulative Ökosystemleistungen der Gewässer und Auen wurden bei MEHL et al. (2018a) systematisch untersucht (im Rahmen des BMBF-Vorhabens RESI, s. o.), zusammenfassend dargestellt in Tabelle 5-2. Aspekte kultureller Ökosystemleistungen (Wandern, Naturerleben) werden zudem in einem Natur- und Wanderführer für die Nebel behandelt (THIELE et al. 2009).

Tabelle 5-2: Ergebnisse der Bewertung ausgewählter regulativer Ökosystemleistungen an der gesamten Nebel (1990: Ausgangssituation, 2016: nach Renaturierungsmaßnahmen), Skala der Bewertung: 5 = sehr hoch, 4 = hoch, 3 = mittel, 2 = gering, 1 = sehr gering bis fehlend, leicht geändert nach MEHL et al. (2018a)

Ökosystemleistung	Bewertung		Bilanzgröße		Kostenvorteil
	1990	2016	1990	2016	
Freisetzung von Treibhausgasen	2,8	3,2	46.711 t a ⁻¹ CO ₂ -Äquivalent	37.748 t a ⁻¹ CO ₂ -Äquivalent	0,7 Mio. € a ⁻¹
Hochwasserregulation: Rückhalteräume	3,6	4,2	44.562,280 m ³	51.534.561 m ³	174 Mio. €
Hochwasserregulation: Einfluss der Rauigkeit	3,2	3,9	-	-	-
Niedrigwasserregulation	3,4	3,9	-	-	4,7 Mio. €
Sedimentregulation	3,3	3,8	-	-	
Bodenbildung in Auen	1,8	2,0	-	-	-
Kühlwirkung (Gewässer und Auenböden)	4,4	4,5	11.480 GWh a ⁻¹	13.295 GWh a ⁻¹	-

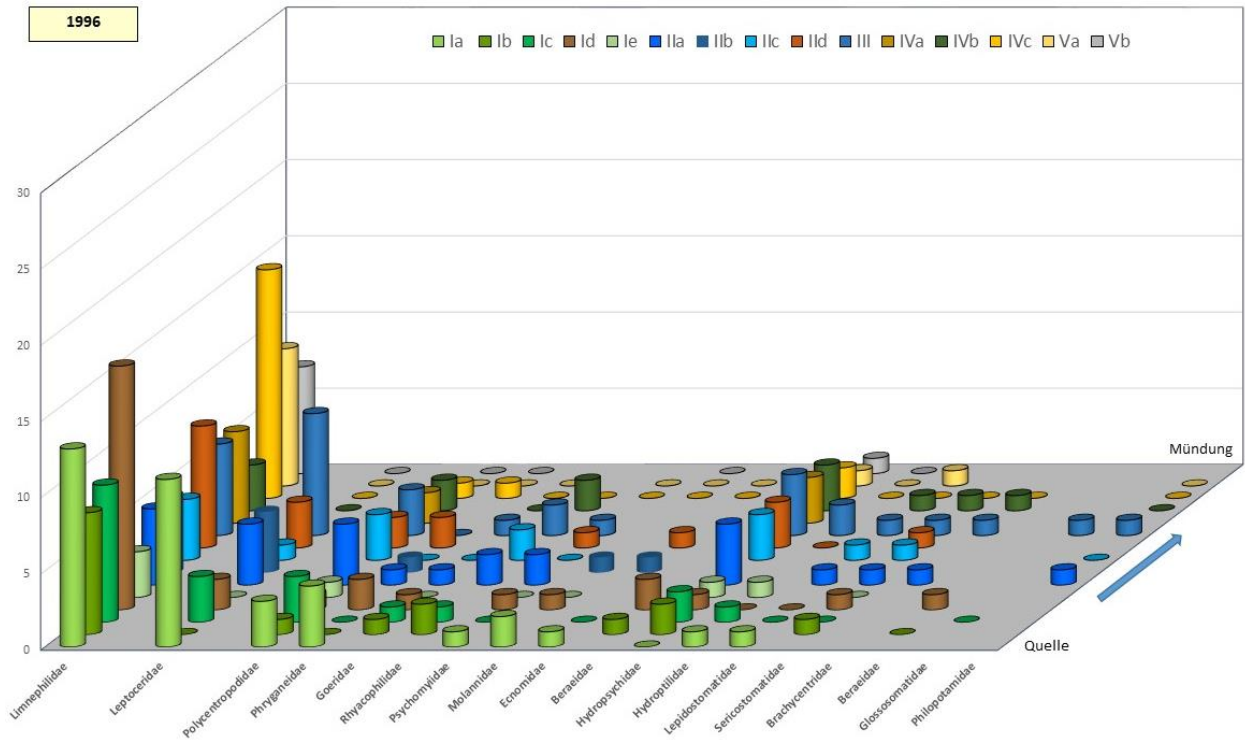


Abbildung 5-4: Artenzahlen bei wichtigen Gruppen des Makrozoobenthos in der Nebel von Quelle bis Mündung (**Untersuchungsjahr 1996**), aus: BERLIN (2019)

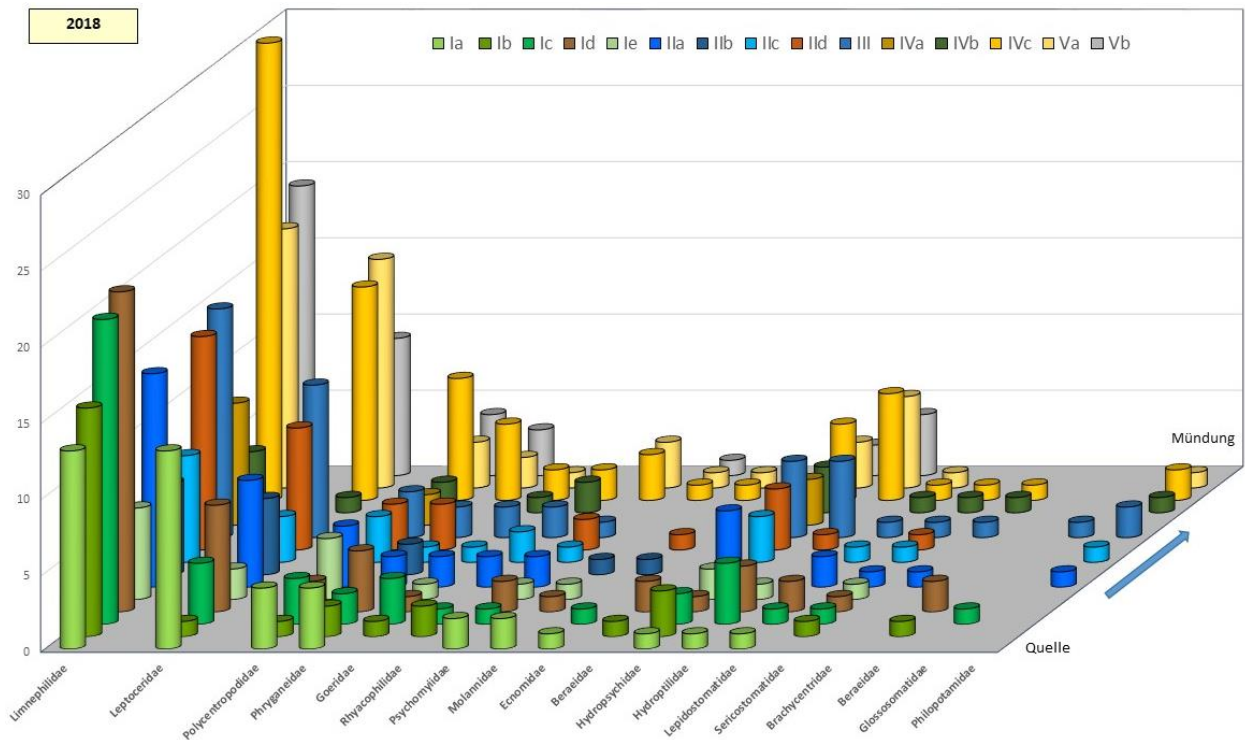


Abbildung 5-5: Artenzahlen bei wichtigen Gruppen des Makrozoobenthos in der Nebel von Quelle bis Mündung (**Untersuchungsjahr 2018**), aus: BERLIN (2019)

5.3 Tendenzielle und nachgewiesene Veränderungen und Wirkung, Bewertung

Nachfolgend erfolgt eine Einschätzung zu erreichten Wirkungen und Effekten anhand der im Kapitel 3.3 ausgewählten Ökosystemleistungen. Für die Maßnahmen an der oberen Lahn muss sich die Einschätzung auf Tendenzen beschränken. Beim Fallbeispiel der mecklenburgischen Nebel kann entscheidend auf bereits erfolgte Untersuchungen und Analysen zurückgegriffen werden; hier sind es mehrheitlich nachgewiesene Veränderungen und Wirkungen auch im Hinblick auf die Ökosystemleistungen. Für die anschließende Bewertung wird auf eine einfache 5-stufige Skala entsprechend Tabelle 5-3 gesetzt. Für die Abstufung der Bewertung ist vor allem entscheidend, welche Raumgröße im Sinne eines Wirkraumes in Bezug zur Fluss-/Auengröße unterstellt werden kann. Die Maßnahmen an der Nebel sind in dieser Beziehung als deutlich weitreichender einzuschätzen, was auch die biologischen Untersuchungen und Effizienzkontrollen bestätigen (s. o.).

Tabelle 5-3: Farbcodes/Stufen für tendenzielle Veränderungen von Ökosystemfunktion(en)/Ökosystemleistung(en)

Starke Verbesserung	↑
Leichte Verbesserung	↗
Neutral	→
Leichte Verschlechterung	↘
Starke Verschlechterung	↓

5.3.1 Maßnahmen an der oberen Lahn (Hessen)

Die tendenziellen Veränderungen der Ökosystemfunktionen und deren Wirkungen/Effekte auf Ökosystemleistungen sind für die Maßnahmen an der oberen Lahn (Grundlage: DIEHL 2019) in Tabelle 5-4 in Form einer Expertenbewertung eingeschätzt.

Tabelle 5-4: Auswirkungen diverser umgesetzter Renaturierungsmaßnahmen auf Ökosystemfunktionen und -leistungen (Experteneinschätzung); Projekt/Fluss: **Obere Lahn**, Farbcode gemäß Tabelle 5-3, ausgewertete Veröffentlichungen, Unterlagen, fachtechnische Berichte: DIEHL (2019)

Auswirkung auf Ökosystemfunktion(en)	Auswirkung auf Ökosystemleistung(en)	Anlage von Umgehungsgerinnen (an Wehrstandorten) mit partieller Aufweitung	Fischweg als Umgehungsgerinne	Umwandlung von Staubauwerken in raue Rampen	Anlage von Furkationsrinnen (Initialrinnen), Gewässerverzweigungen, Wiederanschluss von Altarmen, Neuanlage von „Altarmen“	Anlage von Tiefauenbereichen, Wiederherstellung von Auen- und von Fischlaichgewässern	Profilaufweitung, Abgrabung von Uferwällen, Aufbruch von Ufersicherungen, Anregung von Eigendynamik, Strukturverbesserung im Gewässerbett	Reaktivierung von Hochflutrinne- und Retentionsraumgewinnung, Deichrückverlegung;
Versorgende Ökosystemleistungen								
Primärproduktion	Kulturpflanzen	↘	↘	→	↘	↘	→	↘
	Pflanzliche Biomasse für den Einsatz in der Landwirtschaft	↘	↘	→	↘	↘	→	↘
	Pflanzliche Rohstoffe für die Verarbeitung	↘	↘	→	↘	↘	→	↘
	Pflanzliche Energierohstoffe aus Landwirtschaft, Kurzumtriebsplantagen, Holzwirtschaft	↘	↘	→	↘	↘	→	↘

Auswirkung auf Ökosystemfunktion(en)	Auswirkung auf Ökosystemleistung(en)	Anlage von Umgehungsgerinnen (an Wehrstandorten) mit partieller Aufweitung	Fischweg als Umgehungsgerinne	Umwandlung von Staubauwerken in rauhe Rampen	Anlage von Furkationsrinnen (Initialrinnen), Gewässerverzweigungen, Wiederanschluss von Altarmen, Neuanlage von „Altarmen“	Anlage von Tiefauenbereichen, Wiederherstellung von Auen gewässern und von Fischlaichgewässern	Profilaufweitung, Abgrabung von Uferwällen, Aufbruch von Ufersicherungen, Anregung von Eigendynamik, Strukturverbesserung im Gewässerbett	Reaktivierung von Hochfluttrinnen, Retentionsraumgewinnung, Deichrückverlegung;
Regulative Ökosystemleistungen								
Wellenabflachung	Hochwasserregulation	↗	→	→	↗	↗	→	↗
Dämpfende Gewässerstruktur	Niedrigwasserregulation	↗	→	→	↗	→	↗	→
Sedimentausgleich, Kolmation	Sedimentregulation im Gewässersystem	↗	→	→	↗	→	↗	↗
Pedogenetische Prozesse	Bodenbildung	↗	→	→	↗	↗	↗	↗
Dauerhafte Entfernung von N durch Denitrifikation	Retention von N (Böden, Sedimente)	↗	→	→	↗	↗	↗	↗
(Temporärer) Rückhalt von P durch Aufnahme in Böden und Sedimente (Deposition), Adsorption (an Kationen)	Retention von P	↗	→	→	↗	↗	↗	↗

Auswirkung auf Ökosystemfunktion(en)	Auswirkung auf Ökosystemleistung(en)	Anlage von Umgehungsgerinnen (an Wehrstandorten) mit partieller Aufweitung	Fischweg als Umgehungsgerinne	Umwandlung von Staubauwerken in rauhe Rampen	Anlage von Furkationsrinnen (Initialrinnen), Gewässerverzweigungen, Wiederanschluss von Altarmen, Neuanlage von „Altarmen“	Anlage von Tiefauenbereichen, Wiederherstellung von Auen gewässern und von Fischlaichgewässern	Profilaufweitung, Abgrabung von Uferwällen, Aufbruch von Ufersicherungen, Anregung von Eigendynamik, Strukturverbesserung im Gewässerbett	Reaktivierung von Hochflutrinnen, Retentionsraumgewinnung, Deichrückverlegung;
Wirksamkeit mikrobieller Aktivität, biologisch wirksame Fläche, Fließverhalten (Fließgeschwindigkeit, Turbulenz, Struktur-reichtum)	Biologische Selbstreinigung	↗	↗	↗	↗	↗	↗	→
Emission der Treibhausgase Kohlendioxid, Methan und Lachgas	Rückhalt von Treibhausgasen/Kohlenstoffsequestrierung	→	→	→	→	↗	→	↗
Kühlung/latente Verdunstungswärme, insbesondere Abhängigkeit von Nutzungen	Kühlwirkung (Gewässer und Böden)	↗	↗	→	↗	↗	→	↗
Lebensraumfunktionen, Lebensraumqualität, Regenerierbarkeit (Wiederherstellungszeit), Biotopverbundqualität	Habitatbereitstellung	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Kulturelle Ökosystemleistungen								
Landschaftsbild	Landschaftsästhetik	↗	↗	→	↗	↗	↗	↗

Auswirkung auf Ökosystemfunktion(en)	Auswirkung auf Ökosystemleistung(en)	Anlage von Umgehungsgerinnen (an Wehrstandorten) mit partieller Aufweitung	Fischweg als Umgehungsgerinne	Umwandlung von Staubauwerken in raue Rampen	Anlage von Furkationsrinnen (Initialrinnen), Gewässerverzweigungen, Wiederanschluss von Altarmen, Neuanlage von „Altarmen“	Anlage von Tiefauenbereichen, Wiederherstellung von Auen- und Fischlaichgewässern	Profilaufweitung, Abgrabung von Uferwällen, Aufbruch von Ufersicherungen, Anregung von Eigendynamik, Strukturverbesserung im Gewässerbett	Reaktivierung von Hochflutrinnen, Retentionsraumgewinnung, Deichrückverlegung;
Vorgeprägt durch Rechtssetzung	Natur- und Kulturerbe	→	→	→	→	→	→	→
Komplex: Vorhandensein für allgemeine Erholung und Tourismus geeigneter Landschaftsräume/-teilräume	Allgemeine Erholung und Tourismus	↗	↗	→	↗	↗	↗	↗
	Spezifische Erholungs-, Sport- und Erlebnisformen	↗	→	→	↗	↗	↗	↗
Komplex: Natürlichkeit/Naturnähe, Landschaftsgenese, spezielle Landschaftsfunktionen i. S. nachhaltiger Landschaftsnutzung	Bildung & Wissenschaft	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Weitere (abiotische) Ökosystemleistungen								
Durchfluss, Sohlgefälle, Wasserstand, Gewässermorphologie	Schifffahrt und Bootsverkehr	↘	→	→	↘	→	↘	→
Abflussmenge, Wasserspiegelgefälle/Höhenunterschied	Wasserkraft	↘	→	→	↘	→	→	→

5.3.2 Maßnahmen an der Nebel (Mecklenburg-Vorpommern)

Die größtenteils nachgewiesenen Veränderungen der Ökosystemfunktionen und deren (vielfach bereits bewerteten) Wirkungen/Effekte auf Ökosystemleistungen sind für die Maßnahmen an der mecklenburgischen Nebel in Tabelle 5-5 zusammengestellt. Bei der Wiedervernässung von Mooren wird eine gewisse Nutzungschance im Rahmen der „Paludikultur“ gesehen (z. B. BONN et al. 2016, vgl. Literaturzusammenstellung unter <https://www.moorwissen.de/de/publikationen/publikationen.php#berichte>).

Tabelle 5-5: Auswirkungen der in ca. 3 Jahrzehnten umgesetzten Renaturierungsmaßnahmen auf Ökosystemfunktionen und -leistungen; Projekt/Fluss: **Nebel**, Farbcode gemäß Tabelle 5-3, ausgewertete Veröffentlichungen: insbesondere MEHL et al. (2018a) BERLIN (2019), THIELE et al. (2020)

Auswirkung auf Ökosystemfunktion(en)	Auswirkung auf Ökosystemleistung(en)	Etablierung einer Fischaufstiegsanlage bei Fortbestehen eines Wehres	Umbau von beweglichen Wehren in rauhe Rampen	Staulegung bei vollständigem Gefälleausgleich durch flussmorphologische Maßnahmen (Laufverlängerung, Gefälleausgleich)	Neutrassierung, Laufverschwenkung, Anschluss von Altarmen	Strukturverbesserungsmaßnahmen im Profil (Profilaufweitung, Strukturanreicherung, naturnahe Profilierung),	Etablierung Gewässerentwicklungskorridor, Reaktivierung von Auen/Überschwemungsraum	Wiedervernässungsmaßnahmen an flussbegleitenden Mooren
Versorgende Ökosystemleistungen								
Primärproduktion	Kulturpflanzen	→	→	↘	↘	→	↘	→
	Pflanzliche Biomasse für den Einsatz in der Landwirtschaft	→	→	↘	↘	→	↘	→
	Pflanzliche Rohstoffe für die Verarbeitung	→	→	↘	↘	→	↘	↗
	Pflanzliche Energierohstoffe aus Landwirtschaft, Kurzumtriebsplantagen, Holzwirtschaft	→	→	↘	↘	→	↘	↗

Auswirkung auf Ökosystemfunktion(en)	Auswirkung auf Ökosystemleistung(en)	Etablierung einer Fischaufstiegsanlage bei Fortbestehen eines Wehres	Umbau von beweglichen Wehren in rauhe Rampen	Staulegung bei vollständigem Gefälleausgleich durch flussmorphologische Maßnahmen (Laufverlängerung, Gefälleausgleich)	Neutrassierung, Laufverschwenkung, Anschluss von Altarmen	Strukturverbesserungsmaßnahmen im Profil (Profilaufweitung, Strukturanreicherung, naturnahe Profilierung),	Etablierung Gewässerentwicklungskorridor, Reaktivierung von Auen/Überschwemmungsraum	Wiedervernäsungsmaßnahmen an flussbegleitenden Mooren
Regulative Ökosystemleistungen								
Wellenabflachung	Hochwasserregulation	→	→	↗	↗	↑	↑	↑
Dämpfende Gewässerstruktur	Niedrigwasserregulation	→	→	↑	↑	↑	↑	↑
Sedimentausgleich, Kolmation	Sedimentregulation im Gewässersystem	→	→	↑	↑	↑	↑	↑
Pedogenetische Prozesse	Bodenbildung	→	→	↗	↗	↗	↑	↑
Dauerhafte Entfernung von N durch Denitrifikation	Retention von N (Böden, Sedimente)	→	→	↗	↗	↗	↑	↑
(Temporärer) Rückhalt von P durch Aufnahme in Böden und Sedimente (Deposition), Adsorption (an Kationen)	Retention von P	→	→	↗	↗	↗	↑	↑
Wirksamkeit mikrobieller Aktivität, biologisch wirksame Fläche, Fließverhalten (Fließgeschwindigkeit, Turbulenz, Strukturreichtum)	Biologische Selbstreinigung	→	→	↑	↑	↑	↑	↗

Auswirkung auf Ökosystemfunktion(en)	Auswirkung auf Ökosystemleistung(en)	Etablierung einer Fischaufstiegsanlage bei Fortbestehen eines Wehres	Umbau von beweglichen Wehren in rauhe Rampen	Staulegung bei vollständigem Gefälleausgleich durch flussmorphologische Maßnahmen (Laufverlängerung, Gefälleausgleich)	Neutrassierung, Laufverschwenkung, Anschluss von Altarmen	Strukturverbesserungsmaßnahmen im Profil (Profilaufweitung, Strukturanreicherung, naturnahe Profilierung),	Etablierung Gewässerentwicklungskorridor, Reaktivierung von Auen/Überschwemmungsraum	Wiedervernäsungsmaßnahmen an flussbegleitenden Mooren
Emission der Treibhausgase Kohlendioxid, Methan und Lachgas	Rückhalt von Treibhausgasen/Kohlenstoffsequestrierung	→	→	↗	↗	↗	↑	↑
Kühlung/latente Verdunstungswärme, insbesondere Abhängigkeit von Nutzungen	Kühlwirkung (Gewässer und Böden)	→	→	↗	↗	↗	↑	↑
Lebensraumfunktionen, Lebensraumqualität, Regenerierbarkeit (Wiederherstellungszeit), Biotopverbundqualität	Habitatbereitstellung	↗	↗	↑	↑	↑	↑	↑
Kulturelle Ökosystemleistungen								
Landschaftsbild	Landschaftsästhetik	→	→	↑	↑	↑	↑	↑
Vorgeprägt durch Rechtssetzung	Natur- und Kulturerbe	→	→	→	→	→	→	→
Komplex: Vorhandensein für allgemeine Erholung und Tourismus geeigneter Landschaftsräume/-teilträume	Allgemeine Erholung und Tourismus	→	→	↑	↑	↑	↑	↑
	Spezifische Erholungs-, Sport- und Erlebnisformen	↗	↗	↑	↑	↑	↑	↑

Auswirkung auf Ökosystemfunktion(en)	Auswirkung auf Ökosystemleistung(en)	Etablierung einer Fischaufstiegsanlage bei Fortbestehen eines Wehres	Umbau von beweglichen Wehren in rauhe Rampen	Staulegung bei vollständigem Gefälleausgleich durch flussmorphologische Maßnahmen (Laufverlängerung, Gefälleausgleich)	Neutrassierung, Laufverschwenkung, Anschluss von Altarmen	Strukturverbesserungsmaßnahmen im Profil (Profilaufweitung, Strukturanreicherung, naturnahe Profilierung),	Etablierung Gewässerentwicklungskorridor, Reaktivierung von Auen/Überschwemmungsraum	Wiedervernäsungsmaßnahmen an flussbegleitenden Mooren
Komplex: Natürlichkeit/Naturnähe, Landschaftsgenese, spezielle Landschaftsfunktionen i. S. nachhaltiger Landschaftsnutzung	Bildung & Wissenschaft	↗	↗	↑	↑	↑	↑	↑
Weitere (abiotische) Ökosystemleistungen								
Durchfluss, Sohlgefälle, Wasserstand, Gewässermorphologie	Schifffahrt und Bootsverkehr	→	↘	→	→	↘	→	→
Abflussmenge, Wasserspiegelgefälle/Höhenunterschied	Wasserkraft	→	↘	↘	↘	↘	→	→

6 Konkretisierung der (hypothetischen) Maßnahmenoptionen für die ausgewählten Staustufen sowie methodische Konventionen

6.1 Einführung

Die notwendige Konkretisierung der (hypothetischen) Maßnahmenoptionen für die ausgewählten Staustufen erzwingt es, forschungspraktische Annahmen zu treffen und zu diskutieren. Insofern sind Überlegungen erforderlich, die sich auf folgende Aspekte erstrecken:

1. Systemtheorie und -analyse (Kapitel 6.2),
2. Systemhierarchien (Kapitel 6.3) sowie
3. den auch daraus folgenden Bedarf an notwendigen Annahmen/Konventionen (Kapitel 6.4).

Auf dieser Basis kann abschließend die eigentliche räumlich-inhaltliche Konkretisierung der Maßnahmenoptionen erfolgen (Kapitel 6.5).

6.2 Systemtheorie und -analyse

Die Realität an landschafts- bzw. auen- und gewässerökologischen Erscheinungen kann nicht in allen Einzelheiten erfasst werden, so dass nur Vereinfachungen zur Aufhellung der komplexen Zusammenhänge führen können (vgl. hierzu bereits NEEF 1967). Hier bietet die Systemtheorie einen methodischen Weg an, die realen Prozesse einer vereinfachenden Analyse zuzuführen.

Mit dem Begriff Prozess werden qualitative und/oder quantitative Veränderungen mit der Zeit erfasst. Ökologische Prozesse sind stets hochkomplexen Charakters. Sie können in physikalische, chemische und biologische Teilprozesse gegliedert werden. Prozesse laufen in Systemen ab, die raum-zeitlich abgegrenzte Einheiten von Elementen, Strukturen etc. darstellen (s. Kapitel 6.3 zu Systemhierarchien) und auf Systemeingänge bzw. -impulse mit einer entsprechenden Ausgabe (Systemantwort) reagieren.

Ökosysteme, als selbstregulative Funktionseinheiten abiotischer und biotischer Faktoren des Geo- und des Biosystems, bilden adäquate Modelle der äußerst komplexen realen Umwelt. Sie bilden dabei offene stoffliche und energetische Systeme, die sich in einem dynamischen Gleichgewicht befinden. Gerade für Gewässer und deren Einzugsgebiete gilt, dass über die Systemgrenzen (z. B. Einzugsgebietsgrenzen) hinaus Energie- und Stoffflüsse zu konstatieren sind. Systeme tragen forschungspraktisch Modellcharakter, indem sie hochkomplexe reale Zusammenhänge vereinfacht abbilden, um sie einer analytischen Klärung bzw. Untersuchung zuzuführen (MEHL et al. 2002).

Die Systemanalyse als Methodenansatz versucht allgemein, den Zustand interessierender Systeme zu beschreiben, die dem System innewohnenden Prozesse zu analysieren und die Verhaltensweisen und Zustandsänderungen zu erfassen. Sie zielt damit in den Umweltwissenschaften praktisch immer auf den dynamischen Charakter der Umweltsysteme ab (LESER 1991) und soll beitragen, die anthropogenen Beeinflussungen und Störungen im Naturhaushalt zu erkennen und letztlich zu steuern. Das „Denken“ in Systemen ermöglicht in besonderer Weise, dass verschiedene Umweltwissenschaften an gleichen Untersuchungsobjekten arbeiten und damit nicht „aneinander vorbeiforscht“ wird.

Die Geowissenschaften betrachten Fließgewässer als Leitbahnen gerichteten Energie- und Stofftransportes in der Landschaft. Damit verbunden ist eine hohe System- und Prozessbezogenheit der Forschungsansätze, z. B. in der Hydrologie, der Sedimentologie, der Geo- und Hydromorphologie oder in der Geologie und in der Bodenkunde. Breiten Niederschlag findet das in übergreifenden Methoden der Landschaftsökologie, der physischen Geographie/Geoökologie und den anwendungsbezogenen Disziplinen Gewässer- und Auenökologie.

Jede zu betrachtende Staustufe muss daher als System (im Sinne eines Modells der gegebenen oder hypothetischen Realität) nachfolgend abgebildet und adäquat analytisch behandelt werden.

6.3 Systemhierarchien

Komplexe Systeme von der Qualität eines Ökosystems (Landschaftsökosysteme, Gewässerökosysteme) müssen „zerlegt“ und zergliedert werden, um sie methodisch bearbeiten zu können, erst recht, wenn der Untersuchungsgegenstand durch einen konkreten, staustufenbeeinflussten Flussauenabschnitt gebildet wird. Die Ausgliederung von Subsystemen folgt dabei dem Prinzip der Systemhierarchie (LESER 1991), so dass mehrere Systeme einer Ordnung zu einem System höherer Ordnung aggregiert sind. Die einzelnen Hierarchiestufen wirken jeweils als eigenständige Funktionsgefüge, ohne dass sie damit die Beziehung zum Gesamtsystem verlieren. So ist mit dem Wechsel von einer zur nächsten Hierarchiestufe stets eine adäquate Änderung der Raum- und Zeitbezüge verbunden.

Normalerweise liegt der forschungspraktische Vorteil der Ausgliederung von Systemstufen nach zu bestimmenden Kriterien insbesondere darin begründet, dass gerade in der hochkomplexen Ökosystemforschung eine der jeweiligen Fragestellung zugehörige Hierarchiestufe zugeordnet werden kann (vgl. bereits NEEF 1967). Damit bedingen Faktoren wie die Datenlage nach Qualität und Quantität, der Forschungsmaßstab u. a. die zu wählende Systemstufe. In praxi sind für entsprechende Systemstufen solche Problemkreise berührt wie Mittelungszeiträume bei Vorliegen von Daten, Zeittaktung bei Messungen, Aufnahme Genauigkeit bei Flächenanalysen, Fragen der Generalisierung etc. (s. hierzu u. a. Kapitel 3.6 und 3.7). Trotz der zweckgerichteten Willkürlichkeit einer Systemabgrenzung verfügt man über ein probates Mittel, die „passende“ Systemstufe zu bestimmen. Hierauf sind sowohl das wissenschaftliche Hypothesengerüst als auch die wissenschaftliche Methodik abzustimmen (MEHL et al. 2002).

Im Rahmen dieser Studie wird das System bzw. die Systemstufe räumlich primär durch die jeweilige Staustufe und maßgeblich dominant beeinflusste Fließstrecke bestimmt. Ggf. kann es unter der Maßgabe einer hypothetischen Staulegung sinnvoll sein, als Subsysteme Gewässerabschnitte zu differenzieren. Ein Gewässerabschnitt weist eine quasi-homogene Raumausstattung auf. Die in einem Gewässerabschnitt ablaufenden Prozesse führen zu einer grundlegenden Talform, zu vergleichbaren Erosions-, Akkumulations- und Transportvorgängen, zu ähnlichen Gefälle-, Substrat- und Strömungsverhältnissen und vergleichbaren Auenstrukturen. Gewässerabschnitte sind daher häufig durch größere Zuflüsse begrenzt, deren zusätzliche Wasser- und Geschiebemenge oftmals auch morphologische Änderungen im Gewässerbett bewirken (KERN 1994), oder durch den Wechsel des geologischen Untergrundes, des Gefälles u. a. bestimmt. Man kann dann auch von einem Gewässer- und/oder Auen-Typwechsel ausgehen („Fließgewässer-Abschnittstyp“ nach MEHL 1998, MEHL & THIELE 1998, „Auenabschnittstyp“ nach KOENZEN 2005).

Zur Detektion und Bewertung von Veränderungen innerhalb des Systems „Staustufe“ ist es ferner erforderlich, areal abgrenzbare Subsysteme zu nutzen, welche die Veränderungen von Ökosystemfunktionen und -leistungen ausreichend sensitiv widerspiegeln. Dafür eignen sich im Besonderen Grenzen der Landnutzung bzw. der -bedeckung im weitesten Sinne.

6.4 Generelle Voraussetzungen bzw. grundsätzliche Annahmen

Für die Bewertung der hypothetischen Maßnahmenoptionen in den ausgewählten Staustufen sind vor dem oben skizzierten Hintergrund generelle Voraussetzungen für beide Umsetzungsszenarien zu diskutieren bzw. notwendige Annahmen zu treffen. Für Szenario 2 (GÖZ) ist von besonderer Bedeutung, dass nur ausgewählte Staue/Staustufen gelegt werden und so zwar zweckmäßige, aber geoökologisch „willkürlich rausgelöste“ Systeme gebildet werden. Das Vorgehen brächte demnach ohne Festlegung auf bestimmte Annahmen systematische Effekte „isolierter“ Betrachtung mit sich, was letztlich die Auswirkungen auf die Bewertung von Ökosystemleistungen verzerren würde.

Zudem muss der erforderliche (und erhebliche) technische und finanzielle Aufwand für eine Maßnahmenumsetzung bei einer hypothetischen Analyse grundsätzlich unberücksichtigt bleiben; eine Maßnahme kann und darf also nicht bereits deshalb herausfallen, weil zu vermuten ist, dass sie hohe Umsetzungskosten verursachen würde. Hier ist zu betonen, dass die Aufgabe dieser Studie nicht in einer umfassenden volkswirtschaftlichen Nutzen-Kosten-Betrachtung liegt.

Vor diesem Hintergrund sind in Tabelle 6-1 die wesentlichen Aspekte zusammengestellt; die getroffenen Annahmen bzw. Ansätze für die entsprechenden Rahmenbedingungen werden kurz begründet.

Tabelle 6-1: Wichtige Annahmen/Ansätze als notwendige Randbedingungen für Maßnahmenoptionen in Szenario 1 (GÖP) und in Szenario 2 (GÖZ)

Aspekt	Annahme/Ansatz für Szenario 1 (GÖP)	Annahme/Ansatz für Szenario 2 (GÖZ)	Begründung (vgl. z. B. auch Anhang V WRRL, OGewV)
(1) Längskontinuität bezüglich des Feststoffhaushalts	Die Längskontinuität ist insgesamt schwer eingeschränkt. Zugeführtes Sediment verbleibt in hohem Maße in den Stauräumen, insbesondere unmittelbar vor den Staustufen (geringste Schleppkraft); damit ist auch die Zufuhr in den folgenden Staustufen stark gestört.	Die Zuführung von Sediment und Schwebstoffen aus dem oberhalb liegenden Gewässerabschnitt entspricht in Qualität (Korngrößenverteilung), Höhe und Dynamik naturnahen Verhältnissen; Gleiches gilt für die Abführung des Sedimentes in den folgenden Gewässerabschnitt.	Ein naturnaher Sedimenthaushalt ist eine grundlegende Voraussetzung zur Etablierung selbsttragender hydro-morphologischer (hydro- und morphodynamischer) Prozesse im Zusammenhang mit einem guten ökologischen Zustand.
(2) Längskontinuität bezüglich der (bio-)ökologischen Durchgängigkeit	Die ökologische Durchgängigkeit ist nur über Parallelgerinne oder technische Anlagen gegeben. Die Anlagen wirken häufig arten- und größenselektiv und funktionieren bei geringen Abflüssen nur eingeschränkt. Zudem ist die Überwindung technischer Anlagen für viele Arten des Makrozoobenthos nicht oder nur sehr schwierig zu bewerkstelligen. Im Übrigen wirken pessimale Bedingungen in den Staustufen wanderungsver- und behindernd, gerade für rheobionte und rheophile Arten mit hohem Sauerstoffbedarf.	Die ökologische Durchgängigkeit für migrierende Organismen ist soweit gegeben, dass der gute ökologische Zustand erreicht werden kann; es findet keine oder nur eine geringfügige Selektion nach Arten, Entwicklungsstadien, Größen oder Alter in den ober- und unterhalb liegenden Flussabschnitten einschließlich der zum Strom-/Flusssystem des Rhein zählenden Gewässer statt.	Die Durchgängigkeit des Flusses wird nicht oder nur geringfügig durch menschliche Tätigkeiten gestört und ermöglicht eine weitestgehend ungestörte Migration aquatischer Organismen.

Aspekt	Annahme/Ansatz für Szenario 1 (GÖP)	Annahme/Ansatz für Szenario 2 (GÖZ)	Begründung (vgl. z. B. auch Anhang V WRRL, OGewV)
(3) Wiederbesiedlungspotenzial für alle Arten (aquatisch, terrestrisch, semiterrestrisch)	Neben der ökologischen Durchgängigkeit muss auch das Wiederbesiedlungspotenzial der Arten ausreichend hoch sein; dieses wird als sehr gering bzw. nur teilweise gegeben vorausgesetzt (gering wirksamer Biotopverbund bzw. entsprechend gering funktionsfähige Wanderwege/Wanderungskorridore).	Neben der ökologischen Durchgängigkeit muss auch das Wiederbesiedlungspotenzial der Arten ausreichend hoch sein; dieses wird als gegeben vorausgesetzt (ausreichend Refugialräume, wirksamer Biotopverbund bzw. entsprechend funktionsfähige Wanderwege/Wanderungskorridore).	Ohne Wiederbesiedlungspotenzial und die gegebene Erreichbarkeit hydromorphologisch sanierter/entwickelter Gewässerabschnitte können sich die Arten und Biozöosen nicht etablieren, die für den guten ökologischen Zustand stehen bzw. diesen indizieren.
(4) Anbindung der Nebengewässer/Zuflüsse	Zuflüsse bzw. Nebengewässer können in Lage und Höhe nicht oder ggf. nur bei Stauraumstrukturierungsmaßnahmen angebinden werden, so dass gewässermorphologisch optimale Verhältnisse im Hinblick auf Gefälle, Laufform und Profilgestalt nicht erreicht werden; dies integriert Aspekte fehlender Längskontinuität bzw. sehr geringer und nur teilweise gegebener ökologischer Durchgängigkeit (s. o.).	Alle Zuflüsse bzw. Nebengewässer werden in Lage und Höhe so angebunden, dass gewässermorphologisch optimale Verhältnisse im Hinblick auf Gefälle, Laufform und Profilgestalt erreicht werden; dies integriert Aspekte der Längskontinuität bzw. ökologischen Durchgängigkeit (s. o.).	Eine Etablierung selbsttragender hydromorphologischer (hydro- und morphodynamischer) Prozesse im Zusammenhang mit einem guten ökologischen Zustand muss sich auch auf die Nebengewässer/Zuflüsse erstrecken. Die Durchgängigkeit im Flusssystem wird nicht oder nur geringfügig durch menschliche Tätigkeiten gestört und ermöglicht eine weitestgehend ungestörte Migration aquatischer Organismen.
(5) Technischer und finanzieller Aufwand für Maßnahmen sowie ggf. erforderliche technische Begleit- und Folgemaßnahmen (z. B. dauerhafte Entkopplung von flussnahem/flussbeeinflussten Grundwasser von Grundwasser in besiedelten Bereichen zum Schutz von Bauwerken, Umgang mit Altlasten)	Art und Umfang technischer Begleit- und Folgemaßnahmen und insbesondere der finanzielle Aufwand werden nicht berücksichtigt.	Art und Umfang technischer Begleit- und Folgemaßnahmen und insbesondere der finanzielle Aufwand werden nicht berücksichtigt.	Das ist nicht Gegenstand dieser Studie; eine umfassende volkswirtschaftliche Nutzen-Kosten-Betrachtung wird nicht durchgeführt.

Aspekt	Annahme/Ansatz für Szenario 1 (GÖP)	Annahme/Ansatz für Szenario 2 (GÖZ)	Begründung (vgl. z. B. auch Anhang V WRRL, OGewV)
(6) Eigentumsverhältnisse entlang des Flusses (in einem potenziellen Maßnahmenraum sowie ggf. in einem Wirkraum)	Eigentumsrechtliche Verhältnisse werden nicht betrachtet.	Eigentumsrechtliche Verhältnisse werden nicht betrachtet.	Das ist nicht Gegenstand dieser Studie; dies wäre erst Aufgabe entsprechender Recherche und/oder Fachplanung.
(7) Rechtliche Abwägungen, z. B. im Sinne der Betroffenheit von naturgeschützten Flächen und Arten, von Bodendenkmälern, Kulturdenkmälern und vielem mehr	Etwaige rechtliche Zulässigkeiten, erforderliche Prüfungen und ggf. erforderliche Kompensations-, Kohärenz- und sonstige Maßnahmen werden nicht betrachtet.	Etwaige rechtliche Zulässigkeiten, erforderliche Prüfungen und ggf. erforderliche Kompensations-, Kohärenz- und sonstige Maßnahmen werden nicht betrachtet.	Das ist nicht Gegenstand dieser Studie; dies wäre erst Aufgabe entsprechender Fachplanung.

6.5 Räumlich-inhaltliche Konkretisierung der Maßnahmenoptionen

6.5.1 Übersicht

Für den Vergleich von Ist-Zustand mit den hier zu betrachtenden Szenarien 1 (GÖP) und 2 (GÖZ), vgl. Kapitel 2.4 ff., ist aus der Perspektive einer belastbaren und vielschichtigen Ökosystemleistungsbewertung zunächst vor allem die räumlich und landschaftsökologisch orientierte Analyse als zentral anzusehen. Mit ihrer Hilfe können geo-/biowissenschaftliche, aber auch sozioökonomische Grundlagen erfasst und bewertet werden. Vor allem der Einsatz geographischer Informationssysteme (GIS) bei Anwendung entsprechend maßstabs- und datengerechter Methoden repräsentiert aktuell den wissenschaftlichen und planerischen Standard zur Analyse und Bewertung entsprechender Ökosystemfunktionen. Hierauf wird auch in dieser Studie umfassend gesetzt (vgl. Kapitel 3.7).

Vor dem Hintergrund der Aufgabenstellung (Kapitel 1.3), der Vielzahl an zu bewertenden Ökosystemleistungen (Kapitel 3.5) und der Notwendigkeit, entsprechend der Genauigkeit von Primärdaten und sachgerechter Betrachtungsdimensionen zu agieren, muss für die GIS-Analysen, aber auch auswertende Darstellungen eine Reihe von Vorarbeiten geleistet werden. Diese betreffen

- eine für zusammenfassende und vergleichende Darstellungen und Auswertungen sinnvolle longitudinale Raumdifferenzierung nach grundsätzlich äquidistanten und 500 m langen Abschnitten der Aue in Längsrichtung (s. Kapitel 6.5.2 zur staustufenbezogenen Umsetzung),
- die horizontale Raumdifferenzierung der morphologischen Aue mit ihren Teileinheiten bzw. Kompartimenten Altaue, Fluss und rezente Aue zur Unterscheidung grundsätzlicher auen- und gewässerökologischer Prozessbestimmtheit (s. Kapitel 6.5.3),
- die Übernahme von Maßnahmen des erarbeiteten Konzeptes zur Stauraumstrukturierung als wesentliche Grundlage zur Analyse und Bewertung des Szenarien 1 (gutes ökologisches Potenzial: GÖP) (s. Kapitel 6.5.4),
- die Legung/Beseitigung der drei Staustufen unter Anpassung der Sohlagen der Lahn und folglich des Sohlenlängsgefälles als erste primäre fachliche Grundlage zur Analyse und Bewertung des Szenarien 2 (guter ökologischer Zustand: GÖZ) (s. Kapitel 6.5.5) sowie

- e) die Bestimmung, räumliche Verortung eines Gewässerentwicklungskorridors und seine Höhen- bzw. 3-D-Integration in das digitale Geländemodell als zweite primäre fachliche Grundlage zur Analyse und Bewertung des Szenarien 2 (guter ökologischer Zustand: GÖZ) (s. Kapitel 6.5.6).

6.5.2 Bildung der Auenabschnitte (Auensegmente)

Die Bildung der Auenabschnitte für die drei Staustufen erfolgt wie bereits in Kapitel 3.8 methodisch erläutert. Das Ergebnis der 500-m-Abschnittseinteilung für alle drei Staustufen ist in Abbildung 6-1 bis Abbildung 6-3 in der Übersicht dargestellt; dabei hat jeder Auenabschnitt (Auensegment) eine eigene Staustufen-ID erhalten, die u. a. für Auswertungen, z. B. mittels Excel genutzt werden kann.



Abbildung 6-1: Umgesetzte 500-m-Abschnittsbildung für die Staustufe Lahnstein

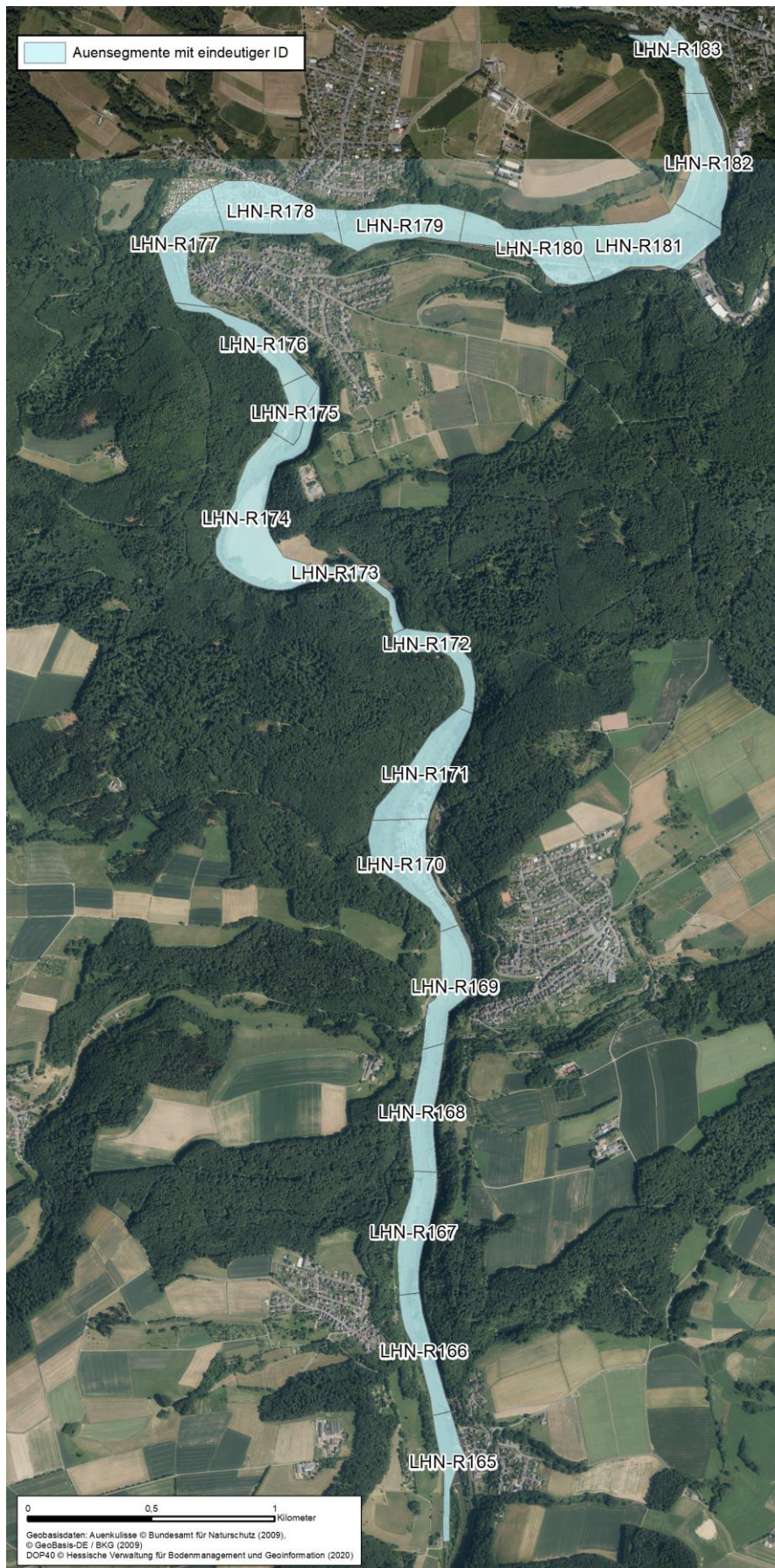


Abbildung 6-2: Umgesetzte 500-m-Abschnittsbildung für die Staustufe Kirschhofen

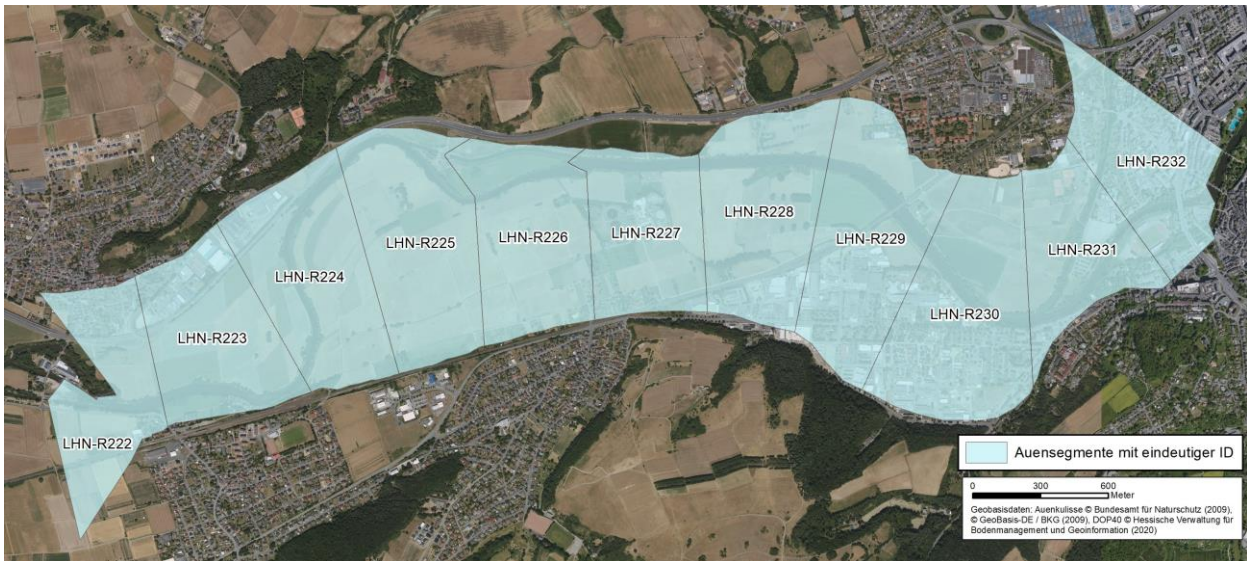


Abbildung 6-3: Umgesetzte 500-m-Abschnittsbildung für die Staustufe Altenberg

6.5.3 Horizontale Raumdifferenzierung

Die horizontale Raumdifferenzierung wird analog BRUNOTTE et al. (2009) vorgenommen, vgl. auch Kapitel 3.5.1 (Beispiel der Staustufe Altenberg in Abbildung 6-4):

- (1) Fluss = Fläche des Fließgewässers (Lahn)
- (2) Morphologische Aue = Datensatz nach BRUNOTTE et al. (2009), dies umfasst die rezente Aue sowie die Altaue
- (3) Rezente Aue = HQ₁₀₀-Ausuferungsflächen nach den Länderdaten (in Umsetzung der Europäischen Hochwasserrichtlinie - HWRM-RL)
- (4) Ökologisch aktive rezente Aue (bei Maßnahmenumsetzung im Sinne des GÖZ) = Gewässerentwicklungskorridor (s. Kapitel 6.5.6)

Die horizontale Differenzierung kann neben der 500-m-Abschnittsbildung auch für Auswertezwecke genutzt werden, um die ÖSL-Bewertung nach den wichtigsten ökologischen Teilräumen vornehmen zu können; dies kann dann ggf. auch getrennt nach linker und rechter Aue (in Fließrichtung) erfolgen.

6.5.4 Maßnahmen der Stauraumstrukturierung als Grundlage des Szenarios 1 (GÖP)

Für das Szenario 1 (das gute ökologische Potenzial) werden keine eigenen Überlegungen angestellt, da im Rahmen des LiLa-Vorhabens ein Konzept zur Stauraumstrukturierung an der hessischen Lahn entwickelt wurde (ProAqua & PB Koenzen 2018). Die darin entwickelten und verorteten Maßnahmen bilden damit die fachliche Grundlage für das Szenario 1 (gutes ökologisches Potenzial: GÖP) an den Staustufen Kirschhofen und Altenberg. Für die Staustufe Lahnstein existiert kein Stauraumstrukturierungsansatz, da hier der gesamte Talboden durch die aktuelle Stauhaltung ausgefüllt wird (es besteht sozusagen kein Platz).

Die konzipierten Maßnahmen wurden kartographisch und inhaltlich-fachlich übernommen, s. hierzu die Darstellungen in Kapitel 6.7.

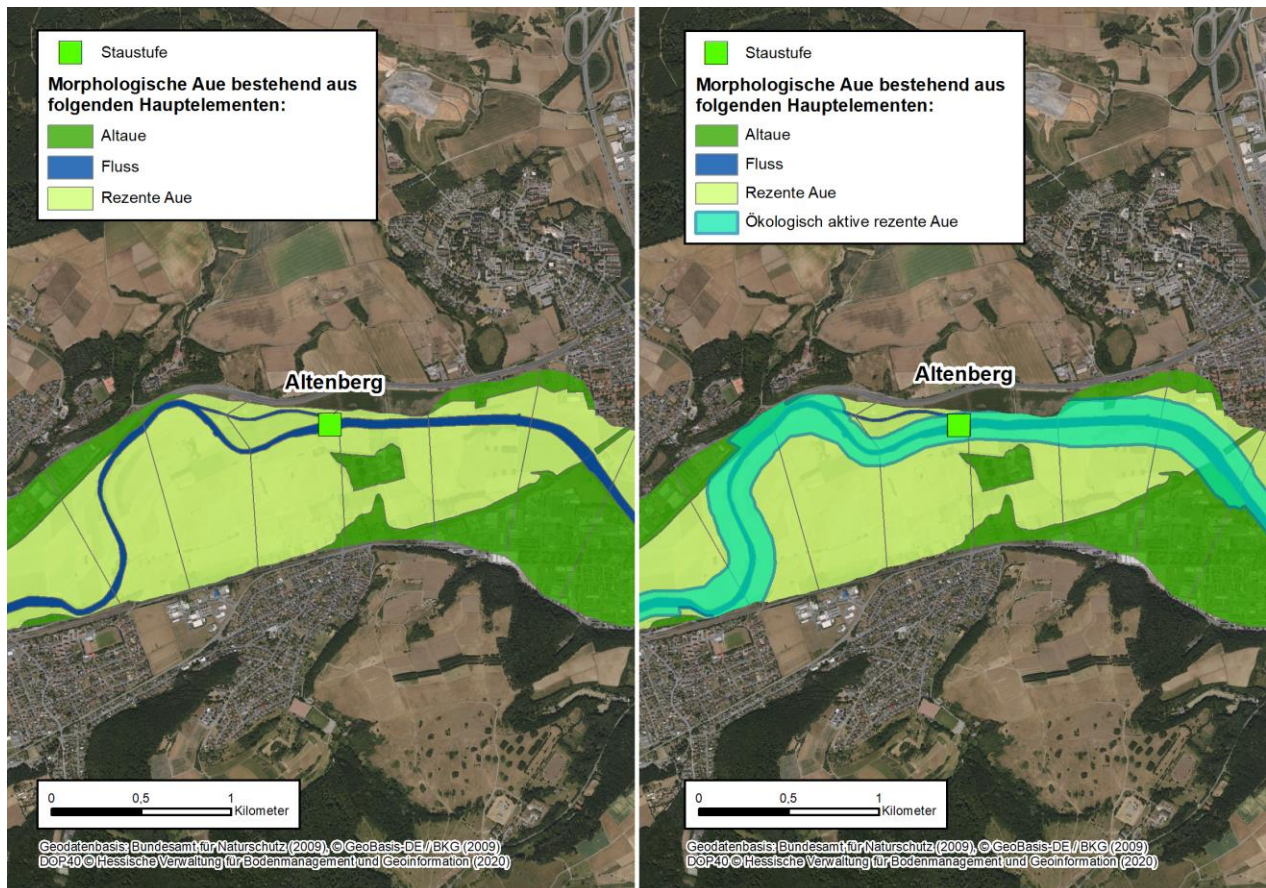


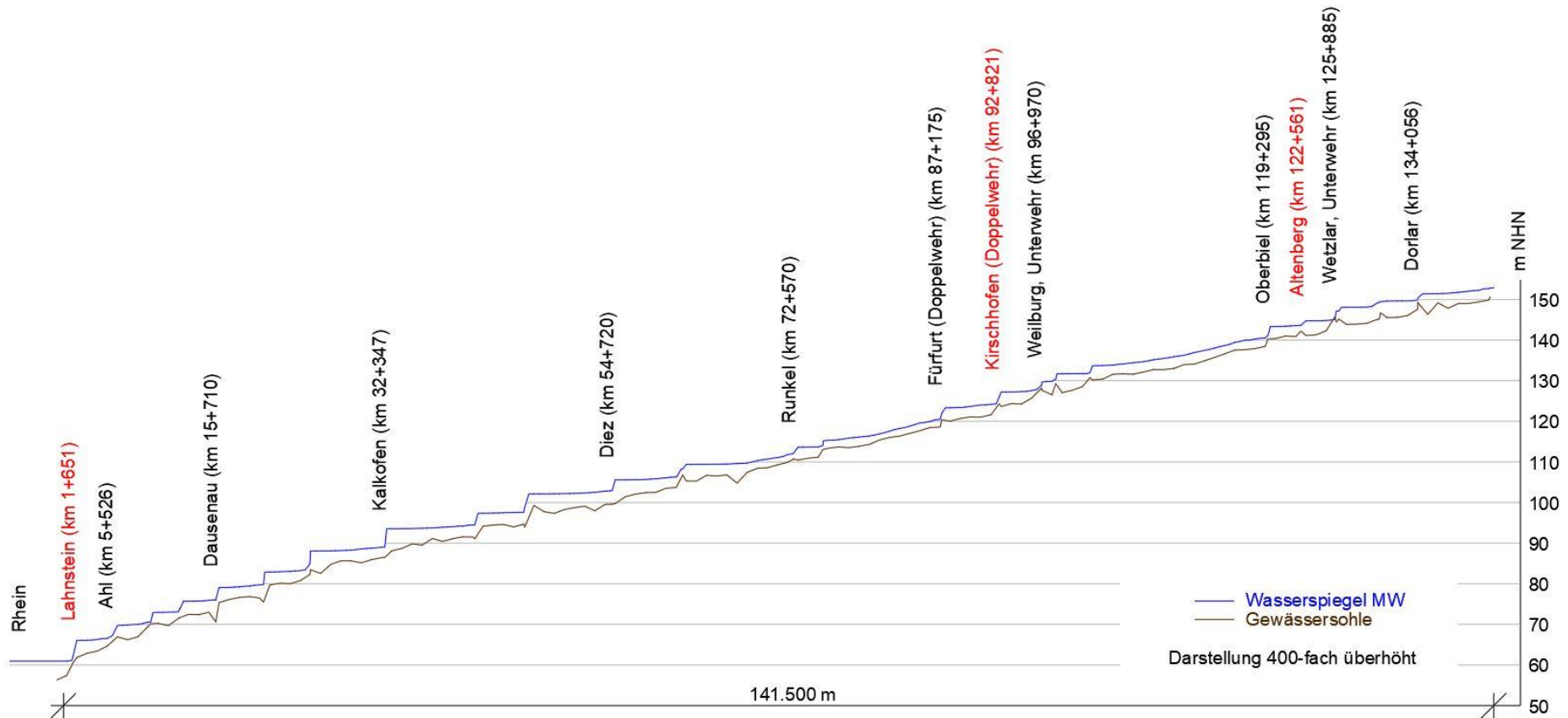
Abbildung 6-4: Beispielhafte Darstellung der morphologischen Aue mit ihren Teileinheiten Altaue, Fluss und rezente Aue (Bild links) sowie zusätzlich mit der ökologisch aktiven rezenten Aue – dem Gewässerentwicklungskorridor (Bild rechts) im Bereich der Staustufe Altenberg

6.5.5 Legung/Beseitigung der drei Staustufen unter Anpassung der Sohllagen der Lahn als eine Grundlage des Szenarios 2 (GÖZ)

Ohne eine Legung bzw. Beseitigung der drei relevanten Staustufen und eine Sohllangleichung zur Kompensation der historischen Keilbaggerungen an der Lahn ist die Erreichung eines guten ökologischen Zustandes (GÖZ) in den drei Staustufen grundsätzlich unmöglich, s. hierzu Kapitel 2.

Abbildung 6-5 zeigt, dass im Bereich der Lahnfließstrecke der Bundeswasserstraße die vorhandenen ca. 92 m Höhendifferenz (= potenzielle Energiehöhe) zu rund 73 % an den Staustufen lokal abgebaut werden („Treppeneffekt“ im Wasserspiegel an den Staustufen). Lediglich rund 25 m Höhenunterschied stehen für die Umwandlung in kinetische Energie und damit Strömungsenergie auf den frei fließenden Strecken zur Verfügung. Energie bzw. das Energiegefälle sind aber ein wesentlicher und ganz entscheidender hydrodynamischer Faktor. Ausgelöst durch den Abfluss (Höhe und Dynamik) und in Abhängigkeit von Gerinneform, -querschnitt und -rauigkeit bestimmt das Energiegefälle maßgeblich insbesondere Geschwindigkeit, Turbulenz sowie Schubspannung und Schleppkraft, auch in deren räumlich-zeitlicher Verteilung. Das ehemals überwiegend rithrale, dynamische und natürliche Mittelgebirgsgewässer Lahn wurde durch die Staustufenanlagen so in ein potamales, langsam fließendes Gewässer mit gänzlich anderer Hydraulik und hochgradig gestörter Hydro- und Morphodynamik einschließlich Feststoffhaushalt umgewandelt. Zudem wirken die parallel vorgenommenen Profilverbreiterungen und -vertiefungen sowie die Uniformität der Gerinne zusätzlich hydromorphologisch belastend und verstärken die negativen ökologischen Auswirkungen.

Als Grundlage des Szenarios 2 (GÖZ) werden daher die Staustufen hypothetisch gelegt und die Sohlen an die unterhalb und oberhalb anschließenden Sohlagen so angeglichen, dass das Längsgefälle wieder naturraumtypisch ist. Zudem werden alle im Zusammenhang mit den Staustufen oder Schleusen stehenden Gebäude und Anlagen (bis auf einzelne „Schaubjekte“ – Stichworte: technischer Denkmalschutz und/oder Umweltbildung) aus der Aue entfernt, um Zwangspunkte zu minimieren (Darstellungen hierzu folgen im Weiteren).



betrachtete Strecke:
Lahnstein bis Dorlar = 141.500 m

Δh WSP Gesamt = 91,92 m
 Δh durch Wehre = 66,88 m
 Δh durch "Fließstrecke" = 25,04 m

WSP Gefälle Gesamt = 0,065 %
 WSP Gefälle durch "Fließstrecke" = 0,019 %

Abbildung 6-5: Sohl- und Wasserspiegellagen der Lahn sowie „Staufstufeneffekt“ im Bereich der Bundeswasserstraße bei mittlerem Abfluss (WSP = Wasserspiegel), Datengrundlage: BfG (2020)

6.5.6 Etablierung eines Gewässerentwicklungskorridors als weitere Grundlage des Szenarios 2 (GÖZ)

Für die mit einer Etablierung struktureller Voraussetzungen des GÖZ notwendigen hydromorphologischen Verbesserungsmaßnahmen bedarf es der Bereitstellung eines Mindestmaßes von Fläche in der Aue. Solche Flächen sind primär erforderlich für aktive bauliche, gestaltende Renaturierungstätigkeiten, das Zulassen einer nicht nutzungsbeschränkten hydromorphologischen Eigendynamik des Gewässers (Hydro- und Morphodynamik) und auch für eine Verbesserung des Hochwasserschutzes (zusätzlicher Retentionsraum und/oder Risikoreduktion durch angepasste Nutzungen) (MEHL et al. 2020).

Für den beidseitig eines Fließgewässers für solche Zwecke bereitstehenden (Mindest-)Raum hat sich in Deutschland der Begriff des „Gewässerentwicklungskorridors“ etabliert. „Entscheidend ist, dass den Fließgewässern wo immer möglich dieser Entwicklungsraum gelassen wird. Der nachhaltige Gleichgewichtszustand stellt sich innerhalb eines Entwicklungskorridors ein. Dieser ist dem Hochwasserabfluss angepasst, bietet gewässertypische Strukturen und Habitate, erfordert praktisch keinen Unterhaltungsaufwand und bietet verlässliche Grenzen gegenüber benachbarten Nutzungen“ (LAWA 2006), so dass sogar Planungssicherheit für Dritte erreicht werden kann.

Von daher muss auch für die Lahn ohne Staustufen der gewässertypspezifische Flächenbedarf für die Entwicklung von Fließgewässern ermittelt werden. Dabei wird methodisch auf die LAWA-Verfahrensempfehlung für die Ermittlung des Raumbedarfes (LAWA 2016) zurückgegriffen. Diese stützt sich auf die Ermittlung der heutigen potenziell natürlichen (hpn) Gewässerbreite unter Einbeziehung der Mäanderlänge, der Windung sowie eines Dynamikfaktors. Die Ableitung umfasst eine ganze Reihe von Arbeitsschritten der GIS-Analyse (z. B. Talbodengefälle, Schwingungsamplitude), der Berechnung (z. B. bordvoller Abfluss bei hpn Gewässerbreite) und der Aussparung bebauter Bereiche.

Aus ökologischer Sicht und nach der Systematik von WRRL und OGewV ermöglicht der Gewässerentwicklungskorridor die Etablierung hydromorphologischer Strukturen und Prozesse, die den guten ökologischen Zustand repräsentieren; er bildet die „ökologisch aktive rezente Aue“. Hinweise zur strukturellen ökologischen Ausprägung geben die gewässertypspezifischen Steckbriefe und diesbezüglichen Einordnungen für den sehr guten (dann orientierend...) und den guten Zustand des Umweltbundesamtes (UBA 2014), vgl. Abbildung 6-6, Abbildung 6-7, Abbildung 6-8, Tabelle 6-2.

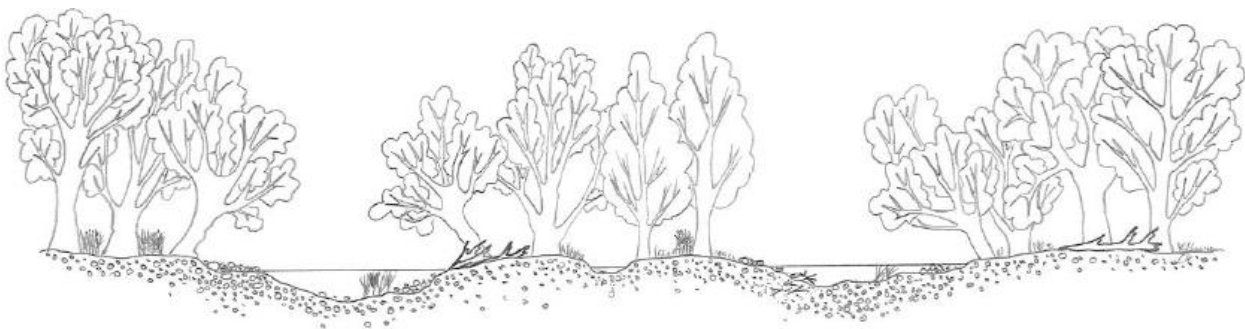


Abbildung 6-6: Ansicht des Querprofils im sehr guten ökologischen Zustand des Typs 9.2 "Große Flüsse des Mittelgebirges", aus: UBA (2014)

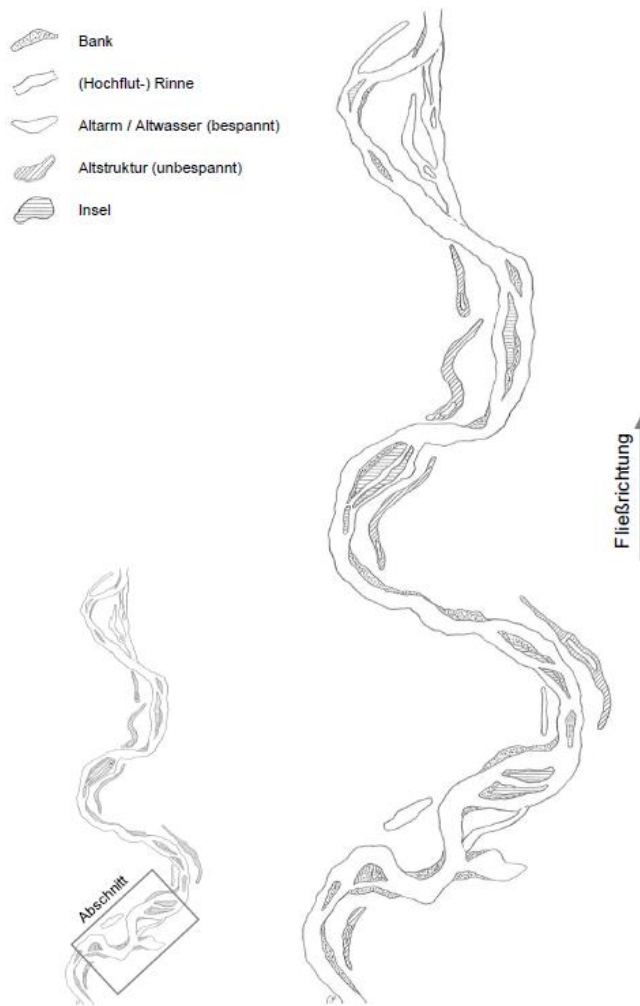


Abbildung 6-7: Morphologische Grundstruktur/Habitatskizze für den sehr guten ökologischen Zustand des Typs 9.2 "Große Flüsse des Mittelgebirges" (Aufsicht, Gewässerlauf), aus: UBA (2014)

Tabelle 6-2: Ausprägungen der Einzelparameter beim guten Zustand des Typs 9.2 "Große Flüsse des Mittelgebirges" (Kernlebensraum), aus: UBA (2014)

Gewässerstruktur	HP	Nr.	Einzelparameter	Guter ökologischer Zustand (Kernlebensraum)	
	1. Laufentwicklung		1.1	Laufkrümmung	gestreckt bis stark geschwungen*
		1.2	Krümmungserosion	vereinzelt stark	
		1.3	Längsbänke	wenige bis mehrere	
		1.4	Bes. Laufstrukturen	wenige bis mehrere	
		neu	Laufstyp	überwiegend mit Nebengerinnen (10), bei sehr schmalen Talböden unverzweigt (9a); unverzweigt (11)	
2. Längsprofil			2.1	Querbauwerke	keine
			2.2	Verrohrung/Überbauung	keine
		2.3	Rückstau	kein	
		2.4	Querbänke	mehrere	
		2.5	Strömungsdiversität	mäßig bis groß	
		2.6	Tiefenvarianz	mäßig bis groß	
		2.7	Ausleitung	keine	

* Ausprägung in Abhängigkeit von Talform und Gefälle

Einzelparameter mit den potenziell stärksten Effekten auf die biologischen Qualitätskomponenten (Makrozoobenthos, Fische, Makrophyten)

9a = gefällereiche Engtäler sowie Mäandertäler oder Sohlentäler mit schmalen Migrationskorridor

10 = gefällereiche Sohlentäler und Mäandertäler mit ebener, breiter Talsohle

11 = gefällearme Sohlentalabschnitte mit ebenem Talboden

HP = Hauptparameter

Fortsetzung Tabelle 6-2, aus UBA (2014)

HP	Nr.	Einzelparameter	Guter ökologischer Zustand (Kernlebensraum)		
Gewässerstruktur	3. Sohlstruktur	3.1	Sohlsubstrat	es dominieren Steine, Schotter und Kiese, daneben gibt es in strömungsarmen Bereichen Feinsedimente	
		3.2	Substratdiversität	groß	
		3.3	Sohlverbau > 10 m	kein	
		3.4	Bes. Sohlstrukturen	mehrere	
		3.01	Besondere Sohlbelastungen	max. geringe Belastungen, keine Verockerung**	
		neu		Feinsedimentanteil (Sand, Schluff, Ton)	< 10 % in durchströmten, grobmaterialreichen Bereichen; in strömungsberuhigten Bereichen auch dominant
				Grobsedimentanteil	dominant
				dynamische/lagestabile Anteile am dominierenden Substrat	dynamischer Anteil groß bis sehr groß
				Totholz (Anteil am Sohlsubstrat)	gering, > 2-5 %
				Makrophyten (Deckung)	groß bis sehr groß, selten mäßig, typisch sind Groß-Laichkräuter; daneben kommen einige andere Arten vor; in rhithralen Gewässern können auch Wasserhahnenfußgesellschaften dominieren; die potamalen Gewässer sind meist wuchsfornenreich
				Tiefenerosion, Sohlerosion	max. schwach
		4. Querprofil	4.1	Profiltyp	flaches bis sehr flaches Querprofil, kleinräumig vielfältig strukturiertes Hochflutbett, zumindest annäherndes Naturprofil oder variierendes Erosionsprofil (9a, 10, 11); häufig mit Nebengerinnen (10)
	4.2		Profiltiefe	flach bis mäßig tief	
	4.3		Breitenerosion	keine	
	4.4		Breitenvarianz	mäßig bis groß	
	4.5		Durchlass/Brücke	keine strukturell schädlichen und mit max. geringem Durchgängigkeitsdefizit (mit Sediment) durchgehender Uferstreifen mit lebensraumtypischem Wald/lebensraumtypischen Biotopen (z. B. Erlen-Auwald, Stieleichen-Hainbuchenwald, Stieleichen-Ulmenwäldern, Weiden, Plonier- und Hochstaudenfluren)	
	5. Uferstruktur	5.1	Uferbewuchs		
		5.2	Uferverbau	kein	
		5.3	Bes. Uferstrukturen	wenige bis mehrere	
		5.01	Besondere Uferbelastungen	max. geringe Belastungen, kein Schwall und Sunk	
		5.02	Beschattung	sonnig, < 25 %	
	6. Gewässerumfeld	6.1	Flächennutzung	überwiegend lebensraumtypischer Wald/auentyp. Biotope/Brache/Sukzession	
		6.2	Gewässerrandstreifen	durchgehender Gewässerrandstreifen (beidseitig > 75-150 m Breite) mit lebensraumtypischem Wald/lebensraumtypischen Biotopen	
		6.3	Schädliche Umfeldstrukturen	keine	
		6.01	Besondere Umfeldstrukturen	wenige bis mehrere (Hochflutrinnen, Terrassenkanten, Rinnen, Auengewässer; Engtäler teils ohne Auengewässer)	
			Notwendiger Entwicklungskorridor	mindestens 25 % bis maximal 50 %	
	Durchgängigkeit	neu		longitudinale Passierbarkeit aufwärts	kein oder geringes Durchgängigkeitsdefizit
				longitudinale Passierbarkeit abwärts	kein oder geringes Durchgängigkeitsdefizit
			laterale Passierbarkeit	kein oder geringes Durchgängigkeitsdefizit	
			Geschiebehaushalt	kein bis geringes Defizit	
Wasserhaushalt	neu		Wasserführung	permanente Wasserführung (keine signifikante Verminderung bzw. Erhöhung der natürlichen mittleren Fließgeschwindigkeit der dominierenden Abflussverhältnisse)	
			Abflussdynamik	sehr dynamisch (keine signifikante Steigerung der natürlichen hydraulischen Sohl- und Uferbelastungen, abhängig von der Ausuferbarkeit)	
			flächiger Sohlverbau	kein	
			Kolmatierung in Stauräumen	kein	
			Ausuferungsvermögen	mittel, meist gering in höherer Aue	

** nicht relevant in Bereichen, in denen geogen bedingte Verockerungen auftreten

Einzelparameter mit den potenziell stärksten Effekten auf die biologischen Qualitätskomponenten (Makrozoobenthos, Fische, Makrophyten)

9a = gefällereiche Engtäler sowie Mäandertäler oder Sohlentäler mit schmalen Migrationskorridor

10 = gefällereiche Sohlentäler und Mäandertäler mit ebener, breiter Talsohle

11 = gefällearme Sohlentalabschnitte mit ebenem Talboden

HP = Hauptparameter



Abbildung 6-8: Habitatskizze für den Kernlebensraum des Typs 9.2 "Große Flüsse des Mittelgebirges" (Aufsicht, Abschnittsebene), aus: UBA (2014)

Nachdem der prinzipielle Raumbedarf entsprechend LAWA (2016) ermittelt wurde, müssen für die weitere Analyse noch folgende Schritte durchgeführt werden:

- a) Weitergehende horizontale Zonierung des Gewässerentwicklungskorridors entsprechend der ökologisch wirksamen Teilräume (Höhenstufen, Hydromorphie, Überschwemmungsregime...)
- b) Umsetzung/Einschneiden des Gewässerentwicklungskorridors in das 3-D-Höhenmodell der einzelnen Stautufen, um realitätsnahe Höhenverhältnisse eines ökologisch funktionsfähigen Gewässerentwicklungskorridors im Sinne der unter a) formulierten Grundsätze zu modellieren

Bei der horizontalen Zonierung des Gewässerentwicklungskorridors wird bei der konzeptionellen Tiefe dieser Studie pragmatisch den auentypbezogenen (typologisch-idealisierten und inhaltlich generalisierten)

Merkmalszuweisungen von KOENZEN (2005) gefolgt. Abbildung 6-9 zeigt in dieser Hinsicht das Hydromorphogramm des relevanten Auentyps. Die hier erkennbaren relativen Flächen- und Höhenanteile werden so auch für die horizontale und vertikale Zonierung des Gewässerentwicklungskorridors in den drei Staustufenabschnitten der Lahn als Grundlage für die Anpassung des 3-D-Höhenmodells herangezogen (Abbildung 6-10). In Abbildung 6-11 werden ergänzend die Hauptvegetationsausprägungen dargestellt.

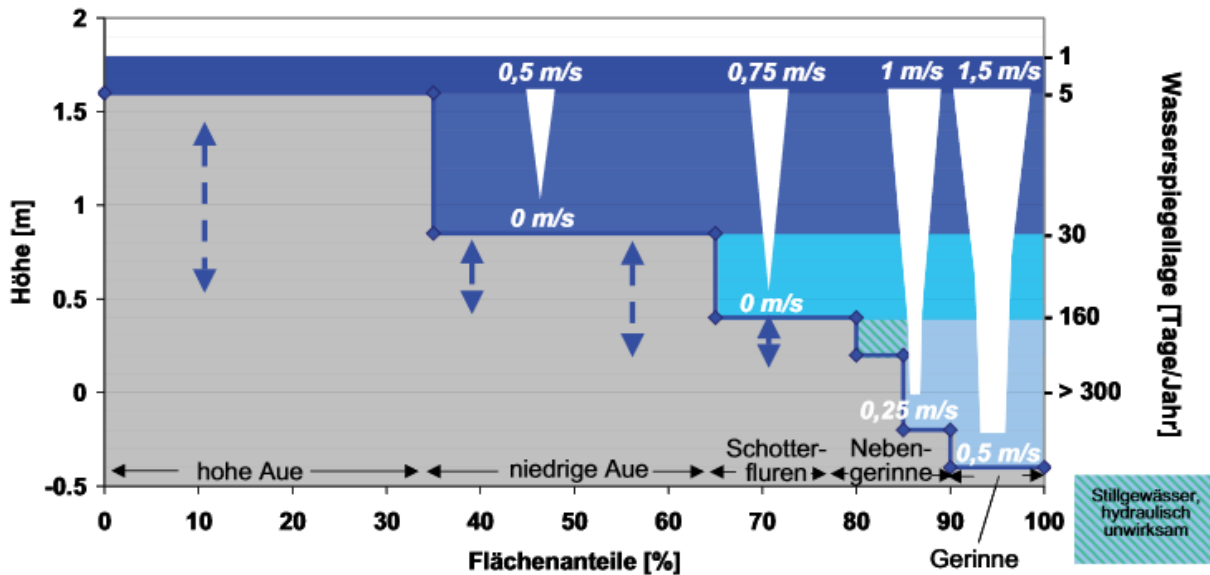


Abbildung 6-9: Hydromorphogramm des Auentyps „Gefällereiche Flussaue des Grundgebirges, aus: KOENZEN (2005)

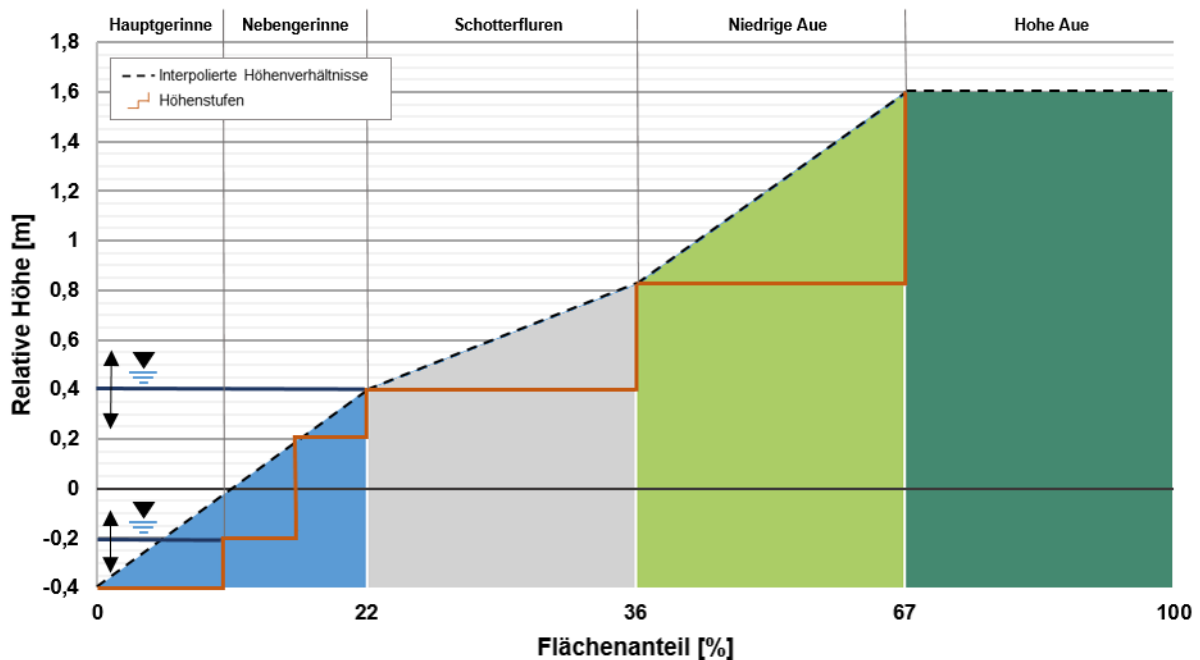


Abbildung 6-10: Horizontale und vertikale Zonierung des Gewässerentwicklungskorridors (eigene Darstellung) entsprechend Hydromorphogramm des Auentyps „Gefällereiche Flussaue des Grundgebirges“ (KOENZEN 2005)

Querschnitt

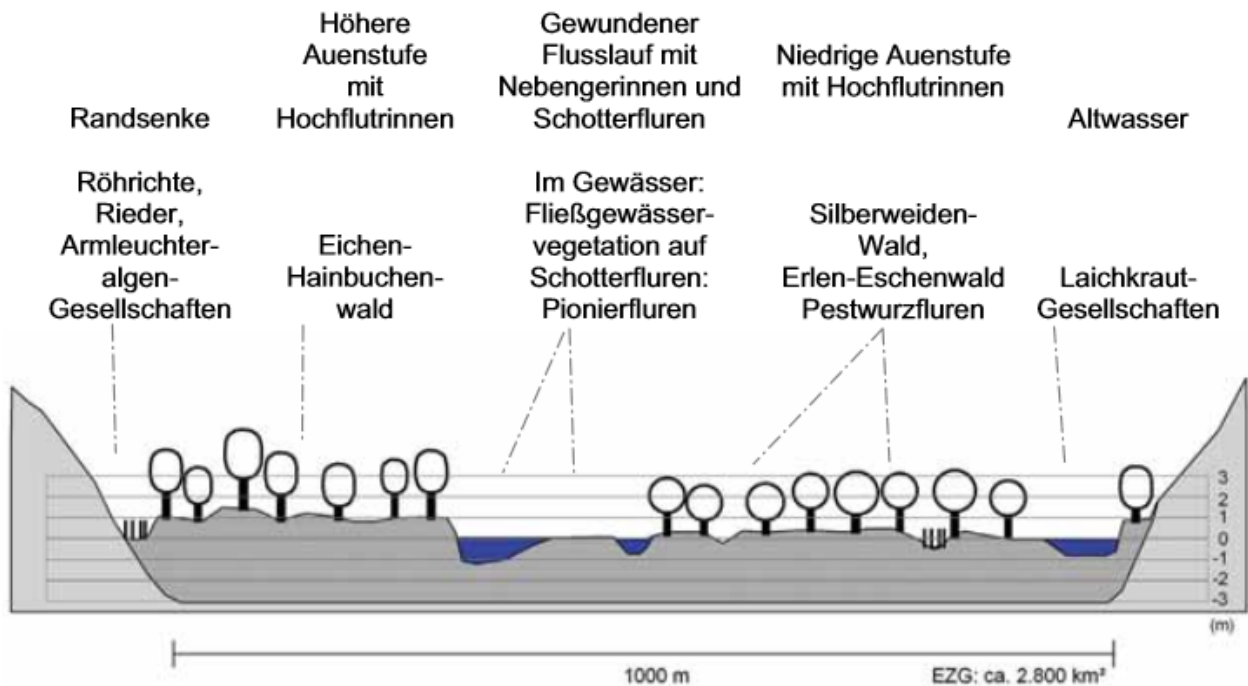


Abbildung 6-11: Vegetationsausprägung des Auentyps „Gefällereiche Flussaue des Grundgebirges, aus: KOENZEN (2005)

Die Umsetzung der vorstehenden horizontalen und vertikalen Struktur erfolgt im GIS (Lage und horizontale Erstreckung sowie 3-D-Einschnitt in das Höhenmodell). Alle Ergebnisse der Vorarbeiten werden nach Umsetzung noch notwendiger pragmatischer Ansätze (Kapitel 6.6) stufen- und szenarioweise anschaulich in Kapitel 6.7 dargestellt.

6.6 Weitere Ansätze bzw. Festlegungen zur Analyse und Bewertung beider Maßnahmenzenarien

Zur Umsetzung der Analysen sind weitere Festlegungen notwendig, die nach Aspekten bzw. Ökosystemleistungen (ÖSL) und Szenarien geordnet in Tabelle 6-3 und Tabelle 6-4 dokumentiert sind.

Tabelle 6-3: Weitere Ansätze bzw. Festlegungen zur Analyse und Bewertung der Ökosystemleistungen beider Maßnahmenzenarien, a) unspezifische Aspekte

Aspekt	Szenario 1 (GÖP)	Szenario 2 (GÖZ)
Breite, Ausbildung des Gewässerentwicklungskorridors (GEK)	Anordnung entlang von Nebengerinnen entsprechend Stauraumstrukturierungskonzept als 50 m Puffer, bei erkennbaren anderen naturnahen Strukturen entsprechend Konzept: Ansatz der „abgreifbaren Fläche“ als GEK, z. B. Baumreihen	Breite des Entwicklungskorridors nach LAWA (2016)

Aspekt	Szenario 1 (GÖP)	Szenario 2 (GÖZ)
Zonierung des Gewässerentwicklungskorridors (GEK)	Keine weitere räumliche Untergliederung	GEK zониert in: <ul style="list-style-type: none"> • Gerinne (inkl. Nebengerinne) • Schotterflur • Niedrige Aue • Hohe Aue
Landbedeckung/ Landnutzung im Gewässerentwicklungskorridor (GEK)	Innerhalb des GEK: Anteil von 50 % Geröll und 50 % Weichholzaue (Weiden)	<ul style="list-style-type: none"> • Gerinne und Schotterflur vegetationslos, ggf. Pionierfluren • 30 % der rezenten Aue als Auwald (Konvention des Bundesamtes für Naturschutz als planerische Annahme): vorab Ermittlung und Berücksichtigung des Waldes außerhalb des GEK (aber innerhalb der rezenten Aue), restlicher Waldanteil wird verteilt auf die Zonen niedrige Aue (2/3) und hohe Aue (1/3) • Restfläche der niedrigen Aue bestimmt durch Großseggen, Röhrichte, Feuchtwiesen (Feuchtvegetation) • Restfläche der höheren Aue bestimmt durch naturnahes Grünland
Berücksichtigung und Bewertung des Gewässerentwicklungskorridors (GEK)	Keine für Hauptgerinne Anordnung an Nebengerinnen, dann Bewertung wie GEK	GEK erhält in allen Zonen eigene Werte (bzw. ggf. gute oder sehr gute Bewertungen), s. detaillierte Methoden in Kapitel 3.5
Ökologische Durchgängigkeit	Eine Umgestaltung der Wehre in Richtung Durchgängigkeit und/oder die Ausstattung mit Fischaufstiegs-/abstiegsanlagen spielt eine nur sehr untergeordnete Rolle im Hinblick auf die Ökosystemleistungen und wird bewusst vernachlässigt, zumal viele technische Anlagen häufig arten- und gröÙenselektiv wirken und die grundsätzlichen Lebensraumdefizite nicht beheben können.	Hier ist die ökologische Durchgängigkeit „automatisch“ und vollumfänglich (longitudinal, horizontal und vertikal) gegeben.
Übergang zum Rhein bzw. Einflussbereich des Rheins unterhalb der Staustufe Lahnstein	Die untersten Auenabschnitte/-segmente der Lahn bleiben auf Grund des Rückstaucharakters mit der Dominanz der Wasserflächen praktisch unverändert.	
Abflussaufteilung und Längenverhältnis zwischen Haupt- und Nebengerinnen	Entsprechend Daten nach ProAqua & PB Koenzen (2018); z. B. an Staustufe Altenberg bei MQ ca. 50 % Q über Hauptgerinne, 50 % Q über Nebengerinne, Bewertung nach Längengewichtung	Ohne Bedeutung

Tabelle 6-4: Ansätze bzw. Festlegungen zur Analyse und Bewertung der Ökosystemleistungen beider Maßnahmenzenarien, b) Ökosystemleistungen

Ökosystemleistungen	Szenario 1 (GÖP)	Szenario 2 (GÖZ)
Hochwasserregulation, Niedrigwasserregulation, Sedimentregulation und Biologische Selbstregulation	Veränderungen entsprechend Stauraumstrukturierungskonzept (ProAqua & PB Koenzen 2018)	<ul style="list-style-type: none"> Hydromorphologische Klassifizierungen (Ufer, Land, Sohle) der Gewässerstrukturkartierung werden beim GÖZ - guten ökologischen Zustand (nach Maßnahmenumsetzung innerhalb eines GEK) einheitlich als gut (Klasse 2) interpretiert Das (veränderte) Hochwasservolumen im GÖZ wird entsprechend des neuen 3-D-Geländemodells berechnet
Wasserkraft	Keine Veränderung	<ul style="list-style-type: none"> Neuberechnung mit Hilfe der ausgeglichenen Sohlhöhen/veränderten Gefälle
N- und P-Rückhalt	Flächen der Schotterflur (GEK) werden wie Gewässerfläche behandelt	
Globales Klima (Rückhalt von Treibhausgasen/Kohlenstoffsequestrierung), Regional-/Lokalklima (Kühlwirkung)	Neuberechnung mit im Hinblick auf das GÖP oder den GÖZ veränderten Landnutzungen und ggf. veränderten Grundwasserflurabständen	
Globales Klima (Rückhalt von Treibhausgasen/Kohlenstoffsequestrierung)	Geröll und Schotterflur (kaum oder nicht vegetationsbestanden) werden beim C-Vorrat wie die Flächenkategorie Fluss behandelt	

6.7 Kartographische und bildhafte Übersicht zu den Maßnahmenzenarien

6.7.1 Staustufe Lahnstein

6.7.1.1 Szenario 1: GÖP

Für die Staustufe Lahnstein besteht aus den o. g. Gründen (Platzverhältnisse) kein konzeptioneller Ansatz zur Stauraumstrukturierung im Rahmen der Ausarbeitungen von ProAqua & PB Koenzen (2018). Ein gutes ökologisches Potenzial wäre hier mithin bei Aufrechterhaltung der Staustufe nur durch eine mögliche Erreichung der ökologischen Durchgängigkeit gekennzeichnet. Damit unterscheiden sich die betrachteten ÖSL in diesem Szenario nur unwesentlich vom Ist-Zustand. Eine separate Analyse dieses Szenarios 1 (GÖP) bei der Staustufe Lahnstein bringt insofern keinen Erkenntnisgewinn und ist damit überflüssig. In der Bewertung wird daher der Ist-Zustand gleich Szenario 1 gesetzt.

6.7.1.2 Szenario 2: GÖZ

Szenario 2 setzt (wie bereits ausführlich diskutiert) konzeptionell auf eine Staulegung der Staustufe Lahnstein. Mit Hilfe der bereitgestellten Vermessungs- und Modelldaten (BfG 2020) werden abschätzende Annahmen zu sachgerechtem Gefälleausgleich vorgenommen und entsprechende Daten orientierend für die

weitere Analyse abgegriffen. Dies stellt Abbildung 6-12 im Überblick dar; hier wurde der Gefälleausgleich über die Staustufe Ahl hinaus vorgenommen; die Staustufe Ahl ist aber nicht Gegenstand der Betrachtung.

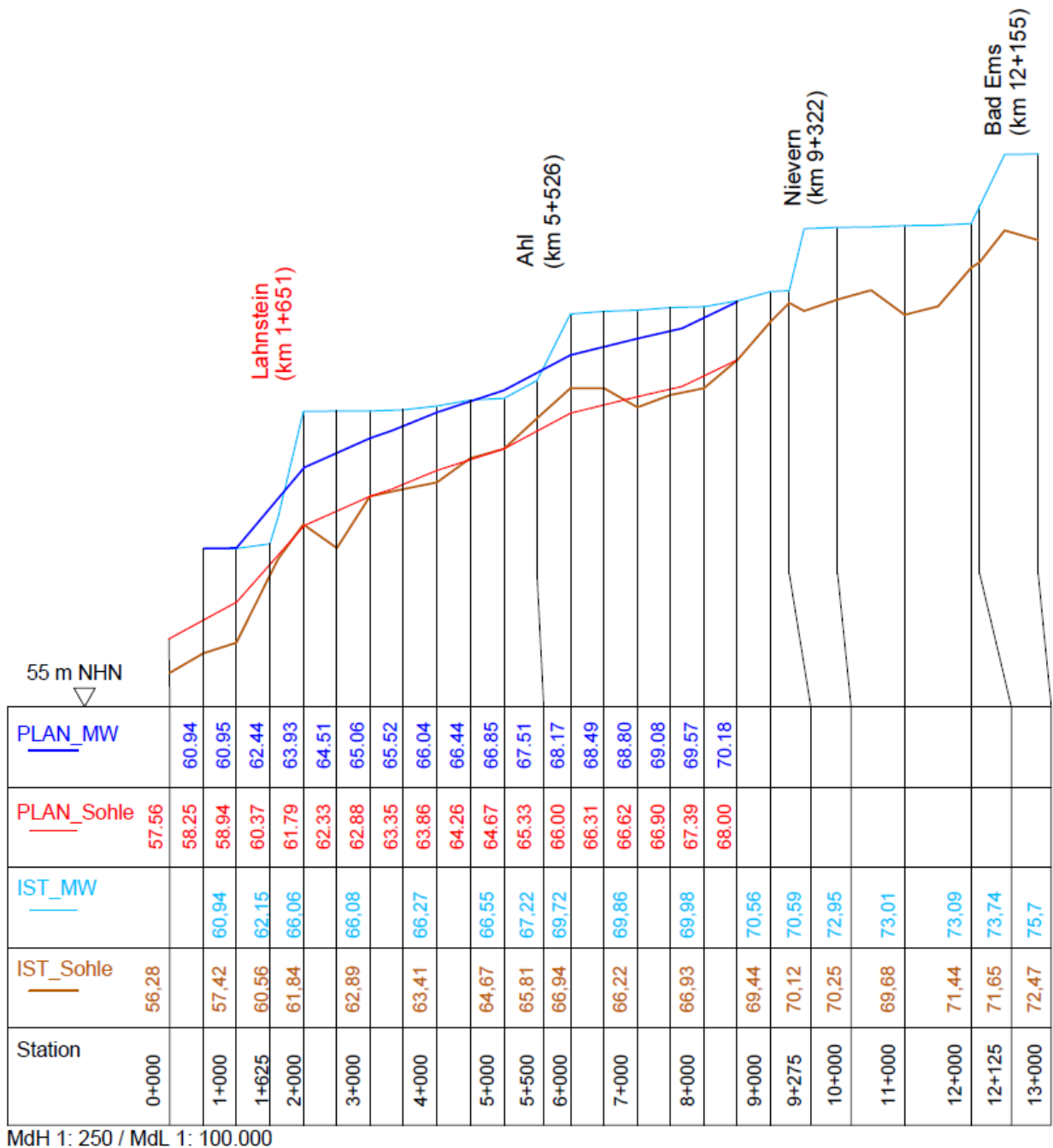


Abbildung 6-12: Daten zum Ist-Zustand für Sohlagen und Mittelwasserspiegel (MW) im unteren Lahnbereich/Fokus auf Staustufe Lahnstein nach BfG (2020) sowie angesetzte Sohlagen und MW für einen Planzustand (Szenario 2: GÖZ/Staulegung)

Mit diesen und den vorstehend umfangreich vorgestellten und begründeten Grundansätzen lässt sich Szenario 2 sowohl bildhaft darstellen (anschaulicher räumlicher Ausschnitt für den Ist-Zustand in Abbildung 6-13, für Szenario 2 in Abbildung 6-14), als auch im Hinblick auf Lage, Breite und Zonierung des mit diesem Szenario notwendigen Gewässerentwicklungskorridors (abschätzend) konkretisieren (Abbildung 6-15). Zu-

dem kann mit Hilfe der idealisierten horizontalen und vertikalen Zonierung des Gewässerentwicklungskorridors die (ebenfalls hypothetische) Anpassung des 3-D-Höhen- bzw. Geländemodells vorgenommen werden (Abbildung 6-16).



Abbildung 6-13: Staufstufe Lahnstein im Ist-Zustand, anschaulicher räumlicher Ausschnitt - zeichnerische Prinzipdarstellung als CAD-Schrägbild



Abbildung 6-14: Staufstufe Lahnstein im Szenario 2 (guter ökologischer Zustand) ohne Staufstufe und mit etabliertem Gewässerentwicklungskorridor, anschaulicher räumlicher Ausschnitt - zeichnerische Prinzipdarstellung als CAD-Schrägbild

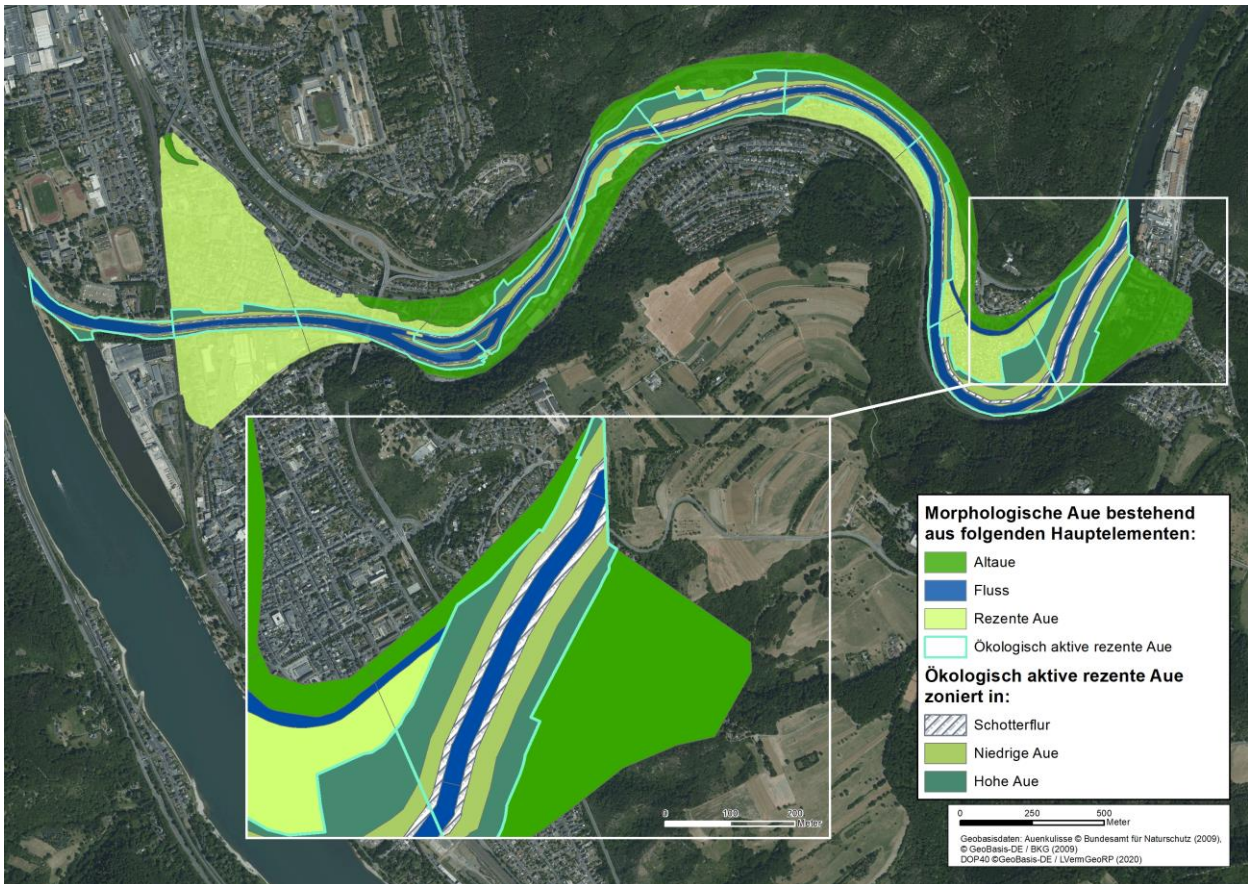


Abbildung 6-15: Staustufe Lahnstein im Szenario 2 (guter ökologischer Zustand) ohne Staustufe, mit etabliertem Gewässerentwicklungskorridor (= ökologisch aktive rezente Aue) und räumlich-funktionaler Unterzersetzung – Draufsicht als GIS-Kartendarstellung

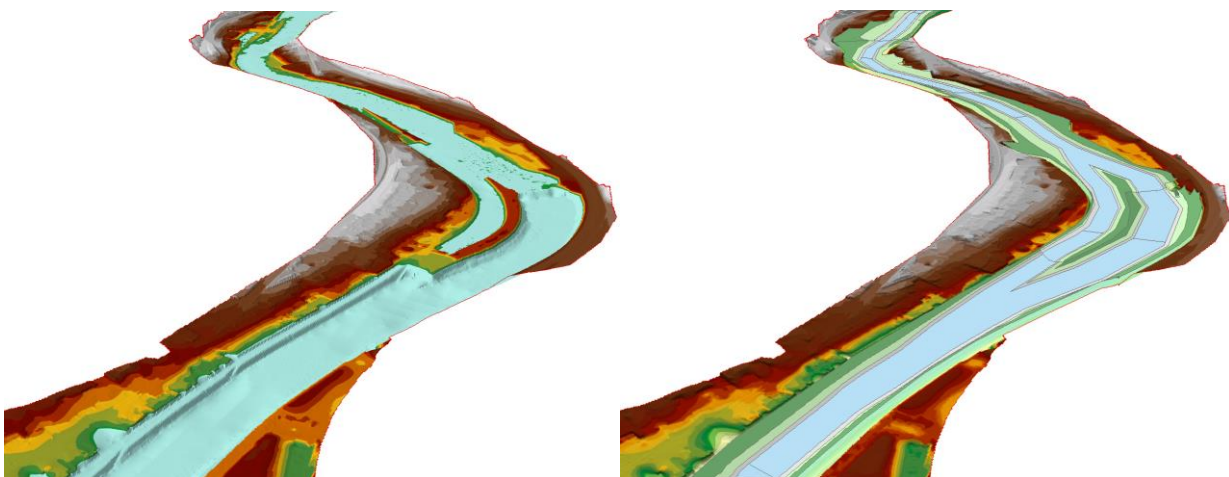


Abbildung 6-16: 3-D-Höhenmodell der Lahnaue im Bereich der Staustufe Lahnstein (räumlicher Ausschnitt zur Visualisierung): links: Ist-Zustand, rechts: mit "eingebanntem" Gewässerentwicklungskorridor; Datengrundlage: WSA Koblenz (2018b)

6.7.2 Staustufe Kirschhofen

6.7.2.1 Szenario 1: GÖP

Bei der Staustufe Kirschhofen kann beim Szenario 1 auf die Maßnahmen des Stauraumstrukturierungskonzeptes zurückgegriffen werden (Abbildung 6-17, Abbildung 6-18), die entsprechend der Maßnahmenziele fachlich interpretiert werden können.

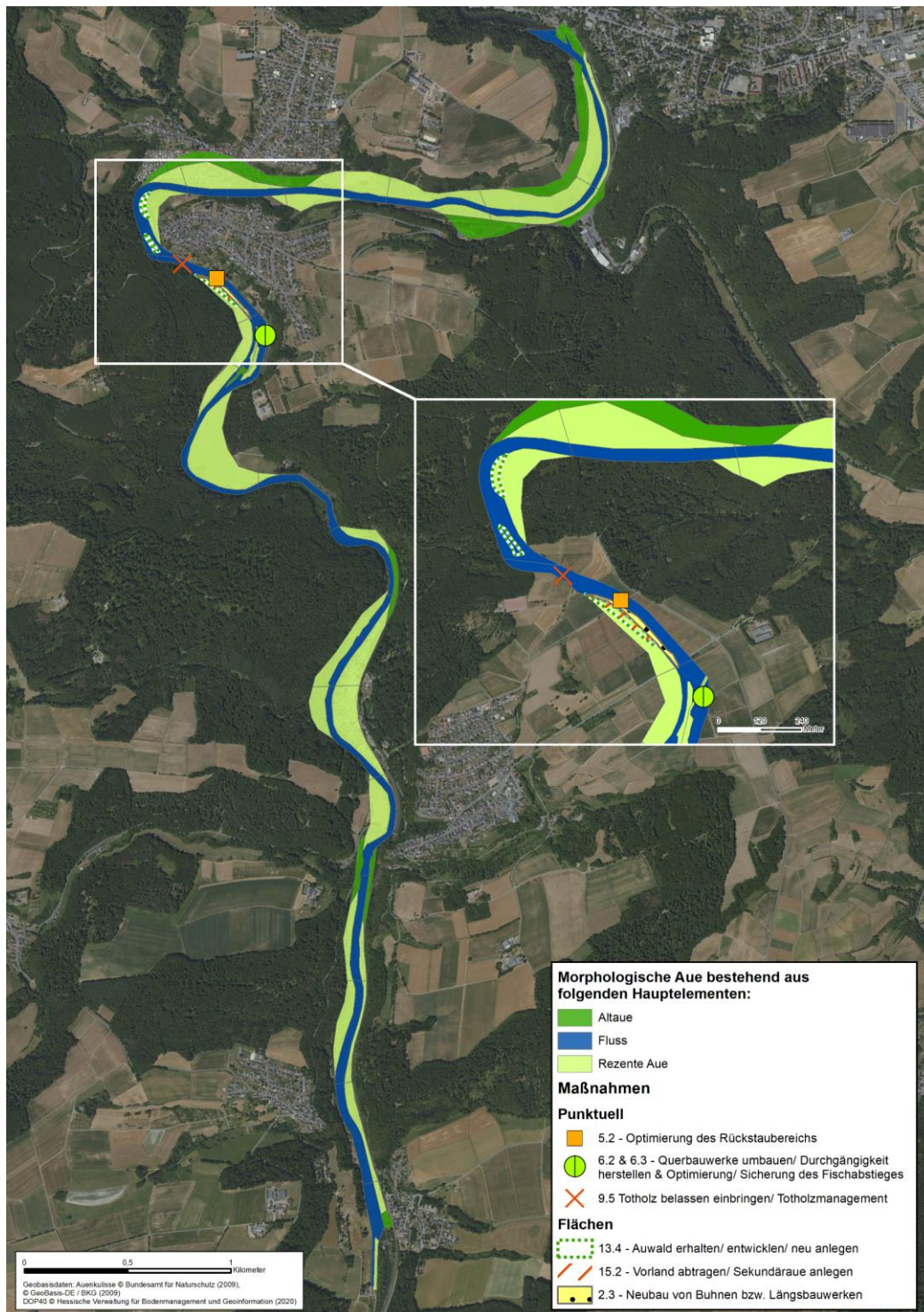


Abbildung 6-17: Staustufe Kirschhofen im Szenario 1 (gutes ökologisches Potenzial) mit Staustufe, mit Maßnahmen des Stauraumstrukturierungskonzeptes– Draufsicht als GIS-Kartendarstellung

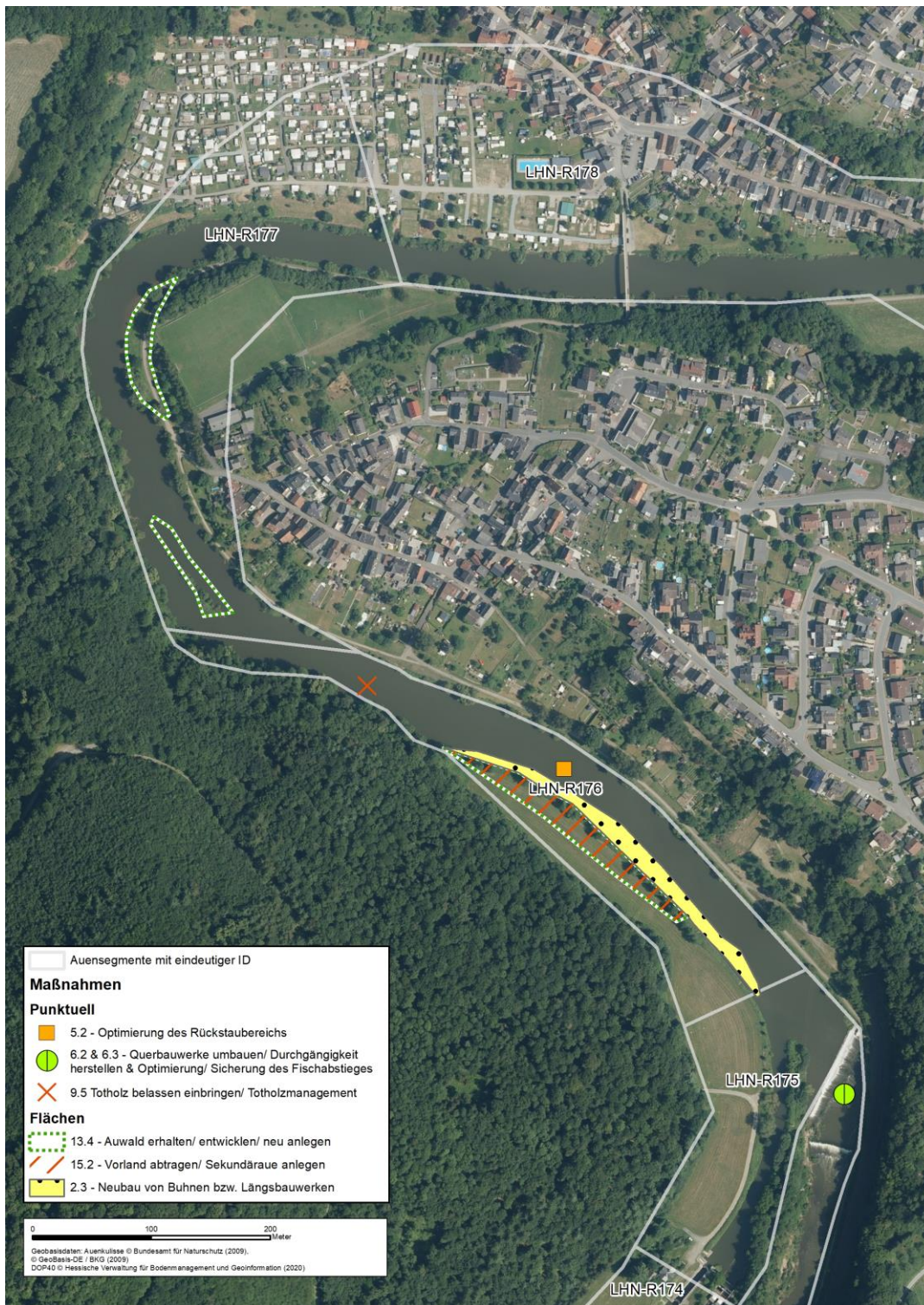


Abbildung 6-18: Maßnahmen der Stauraumstrukturierung in der Staustufe Kirschhofen, Datengrundlage: ProAqua & PB Koenzen (2018)

6.7.2.2 Szenario 2: GÖZ

Szenario 2 setzt konzeptionell auf eine Staulegung der Staustufe Kirschhofen. Mit Hilfe der bereitgestellten Vermessungs- und Modelldaten (BfG 2020) werden abschätzende Annahmen zu sachgerechtem Gefälleausgleich vorgenommen und entsprechende Daten orientierend für die weitere Analyse abgegriffen. Dies stellt Abbildung 6-19 im Überblick dar; hier wurde der Gefälleausgleich über die Staustufen Fürfurt (im

Unterwasser) und Löhnberg (im Oberwasser) hinaus vorgenommen; die anderen Staustufen sind aber nicht Gegenstand der Betrachtung.

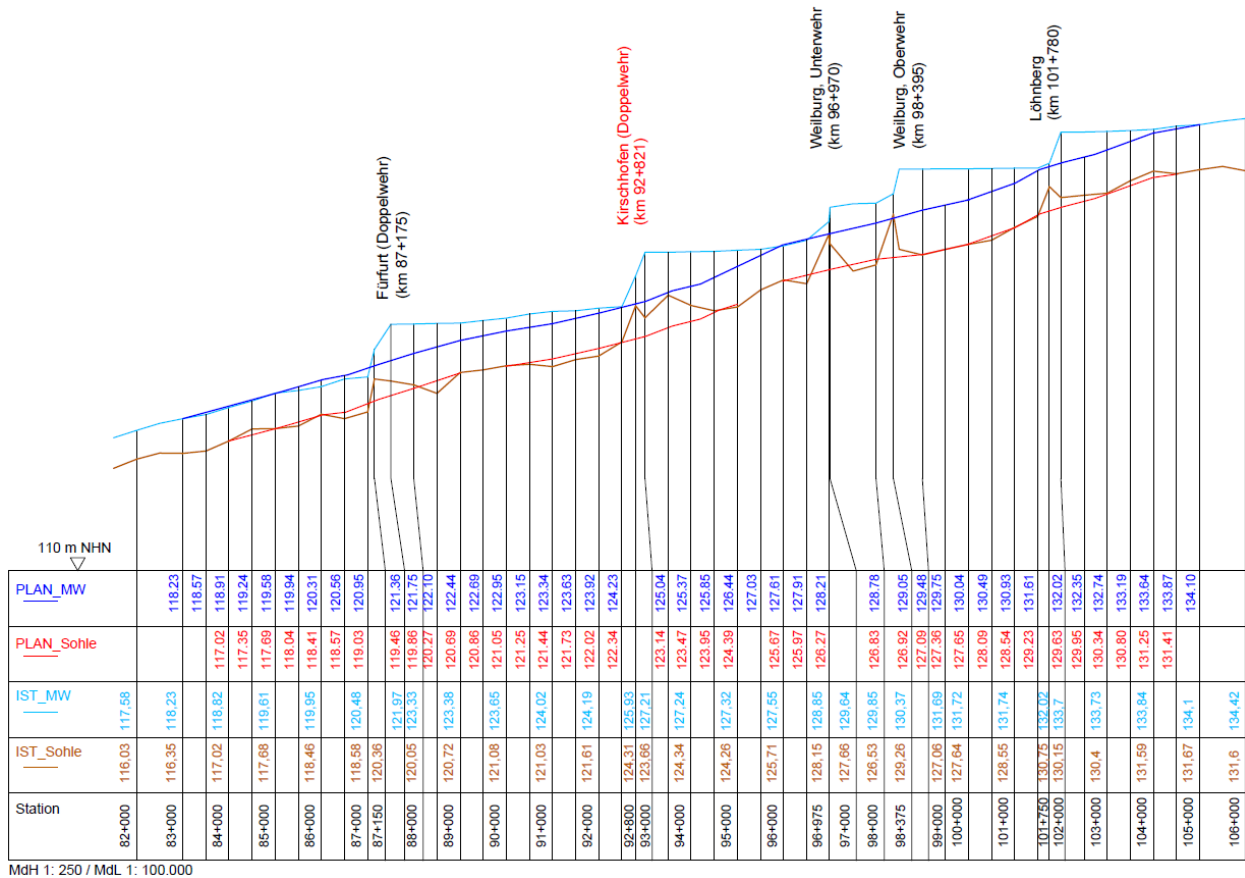


Abbildung 6-19: Daten zum Ist-Zustand für Sohlagen und Mittelwasserspiegel (MW) im mittleren Bereich der Bundeswasserstraße/Fokus auf Staustufe Kirschhofen nach BfG (2020) sowie angesetzte Sohlagen und MW für einen Planzustand (Szenario 2: GÖZ/Staulegung)

Mit diesen und den vorstehend umfangreich vorgestellten und begründeten Grundansätzen lässt sich Szenario 2 sowohl bildhaft darstellen (anschaulicher räumlicher Ausschnitt für Ist-Zustand in Abbildung 6-20, für Szenario 2 in Abbildung 6-21), als auch im Hinblick auf Lage, Breite und Zonierung des mit diesem Szenario notwendigen Gewässerentwicklungskorridors (abschätzend) konkretisieren (Abbildung 6-22). Zudem kann mit Hilfe der idealisierten horizontalen und vertikalen Zonierung des Gewässerentwicklungskorridors die hypothetische Anpassung des 3-D-Höhen- bzw. Geländemodells vorgenommen werden (Abbildung 6-23).

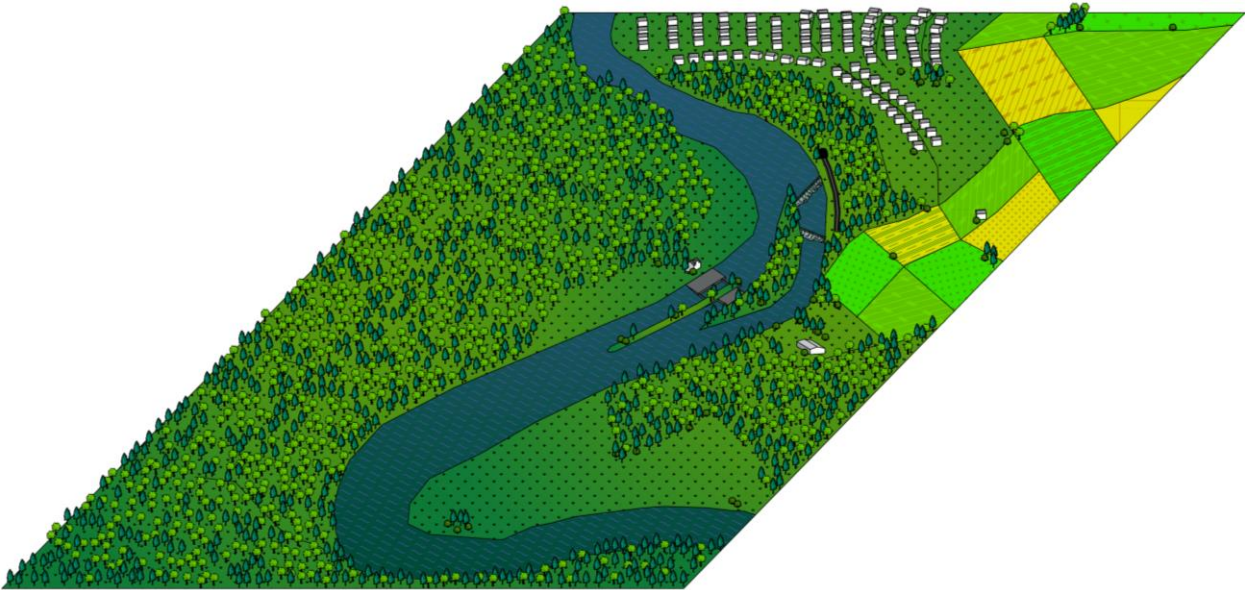


Abbildung 6-20: Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand, anschaulicher räumlicher Ausschnitt - zeichnerische Prinzipdarstellung als CAD-Schrägbild

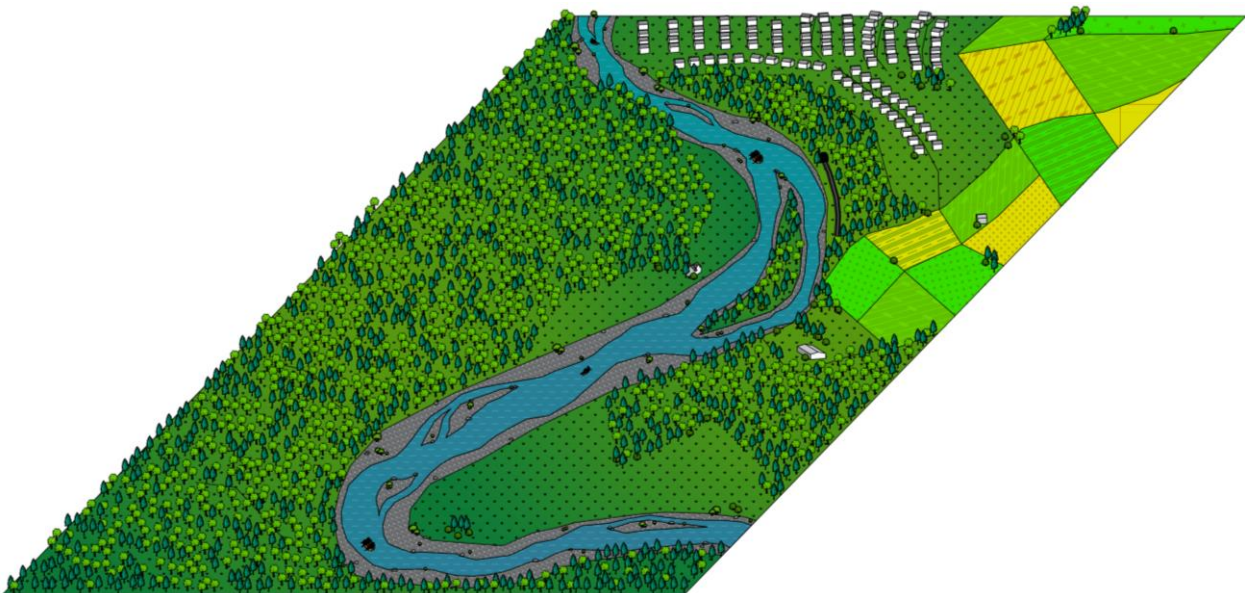


Abbildung 6-21: Staustufe Kirschhofen im Szenario 2 (guter ökologischer Zustand) ohne Staustufe und mit etabliertem Gewässerentwicklungskorridor, anschaulicher räumlicher Ausschnitt - zeichnerische Prinzipdarstellung als CAD-Schrägbild

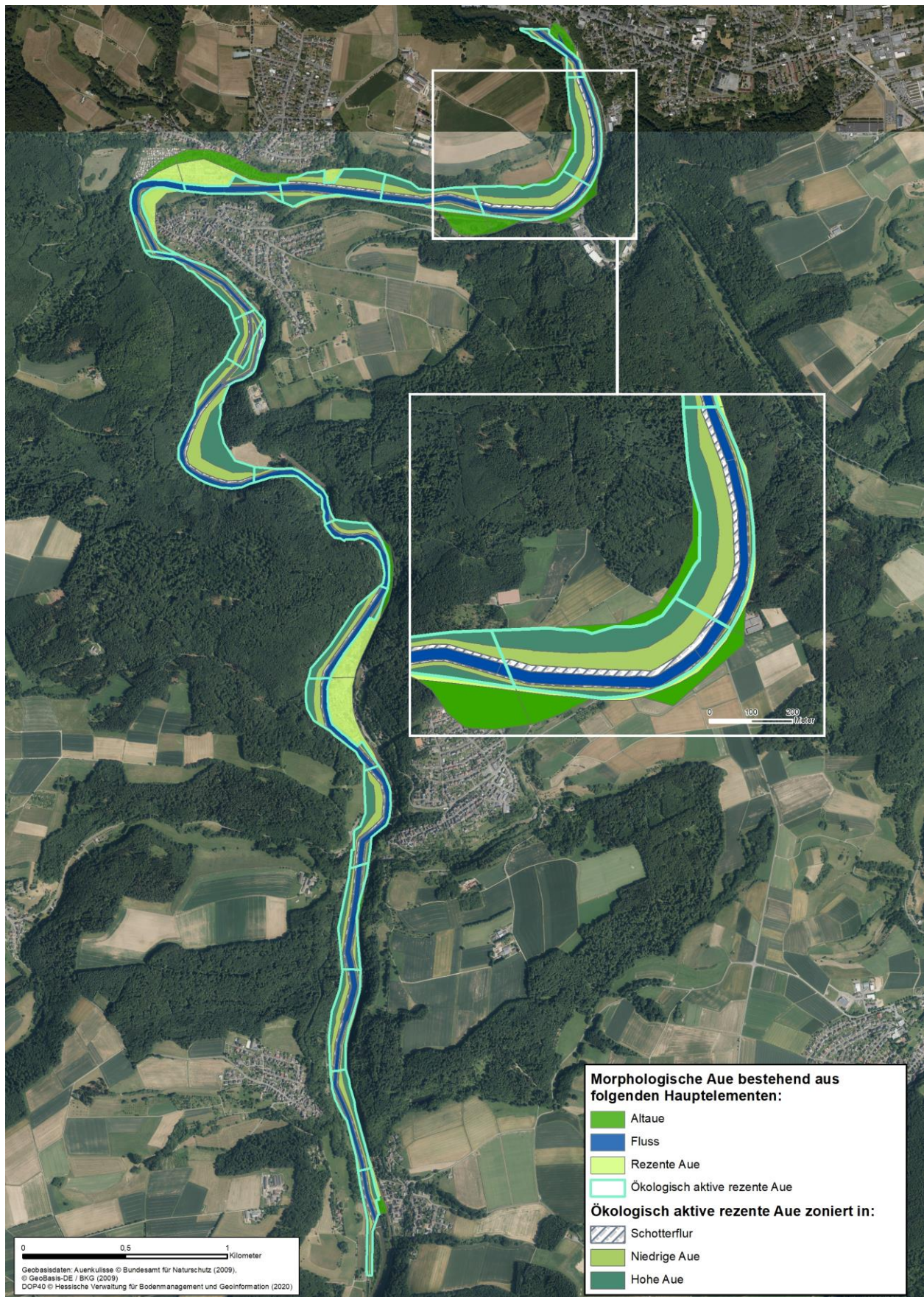


Abbildung 6-22: Staustufe Kirschhofen im Szenario 2 (guter ökologischer Zustand) ohne Staustufe, mit etabliertem Gewässerentwicklungskorridor (= ökologisch aktive rezente Aue) und räumlich-funktionaler Untersetzung – Draufsicht als GIS-Kartendarstellung

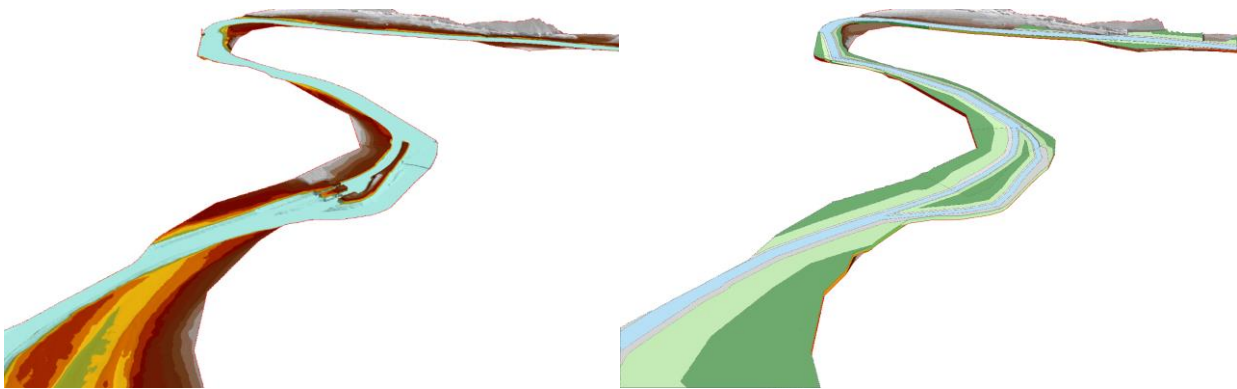


Abbildung 6-23: 3-D-Höhenmodell der Lahnaue im Bereich der Staustufe Kirschhofen (räumlicher Ausschnitt zur Visualisierung): links: Ist-Zustand, rechts: mit "eingebrenntem" Gewässerentwicklungskorridor; Datengrundlage: WSA Koblenz (2018b)

6.7.3 Staustufe Altenberg

6.7.3.1 Szenario 1: GÖP

Auch bei der Staustufe Altenberg kann beim Szenario 1 auf die Maßnahmen des Stauraumstrukturierungskonzeptes zurückgegriffen werden (Abbildung 6-24, Abbildung 6-25), die entsprechend der Maßnahmenziele fachlich interpretiert werden können. Die Maßnahmen erstrecken sich hier auf den östlichen Teil des Staustufenraumes.

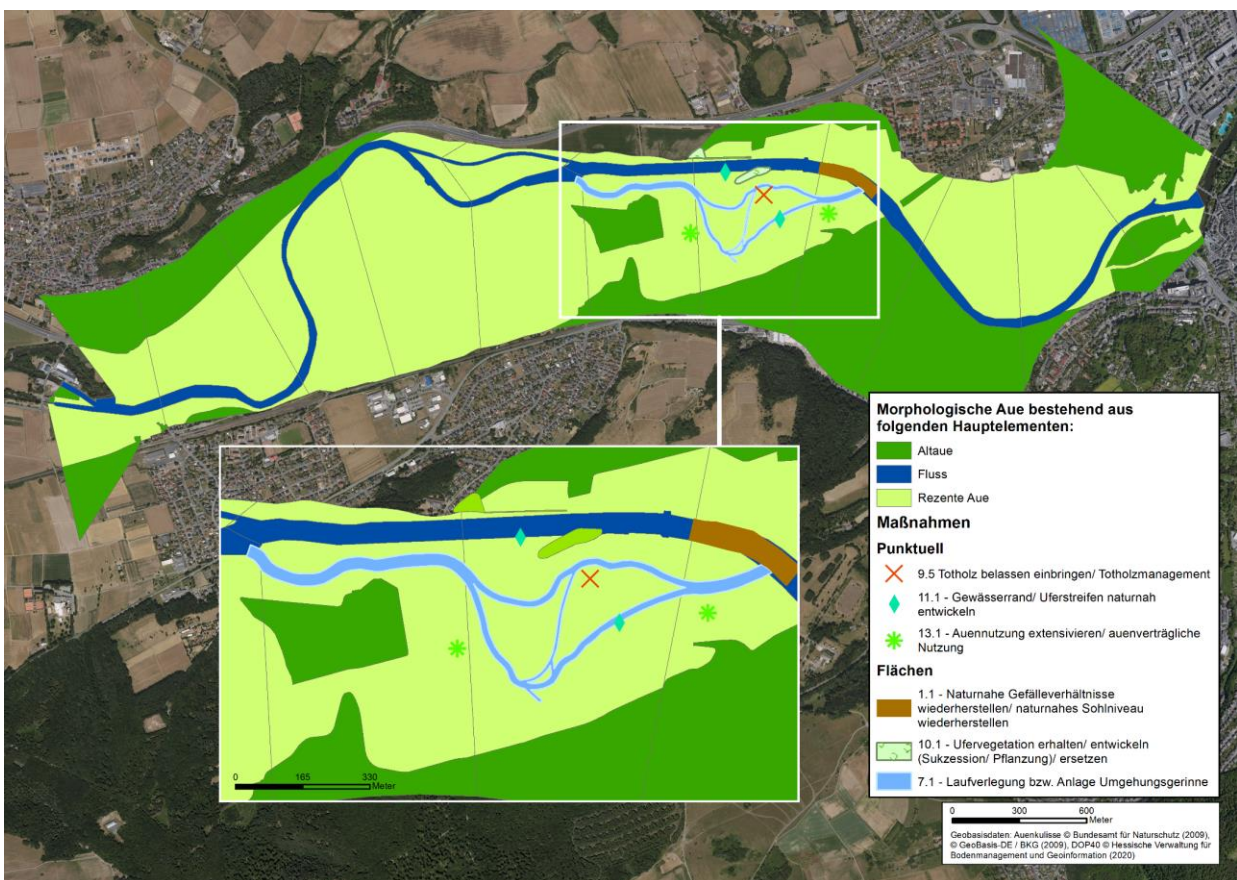


Abbildung 6-24: Staustufe Altenberg im Szenario 1 (gutes ökologisches Potenzial) mit Staustufe, mit Maßnahmen des Stauraumstrukturierungskonzeptes– Draufsicht als GIS-Kartendarstellung

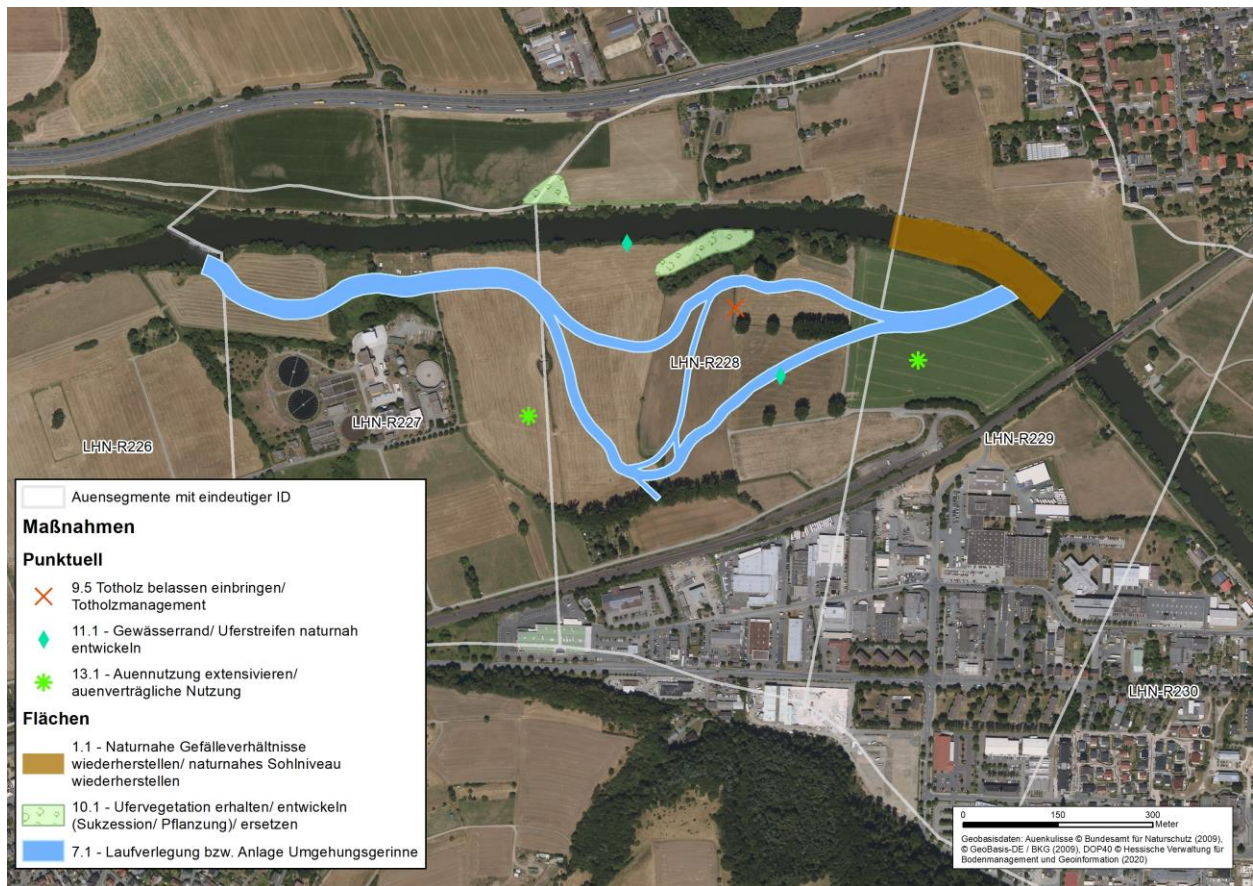


Abbildung 6-25: Maßnahmen des Stauraumstrukturierung in der Staustufe Altenberg, Datengrundlage: ProAqua & PB Koenzen (2018)

6.7.3.2 Szenario 2: GÖZ

Szenario 2 setzt konzeptionell auf eine Staulegung der Staustufe Altenberg. Mit Hilfe der bereitgestellten Vermessungs- und Modelldaten (BfG 2020) werden abschätzende Annahmen zu sachgerechtem Gefälleausgleich vorgenommen und entsprechende Daten orientierend für die weitere Analyse abgegriffen. Dies stellt Abbildung 6-26 im Überblick dar; hier wurde der Gefälleausgleich über die Staustufen Fürfurt (im Unterwasser) und Löhnberg (im Oberwasser) hinaus vorgenommen; die anderen Staustufen sind aber nicht Gegenstand der Betrachtung.

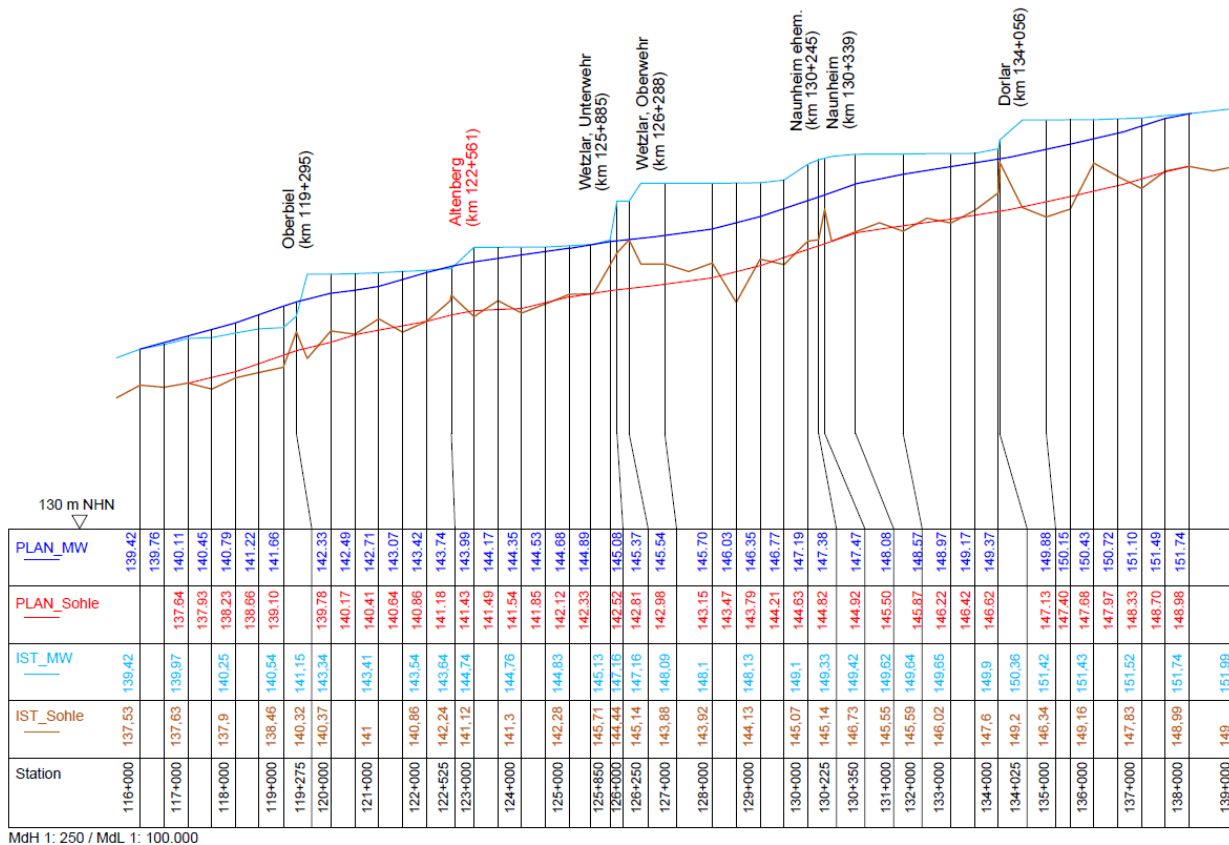


Abbildung 6-26: Daten zum Ist-Zustand für Sohlagen und Mittelwasserspiegel (MW) im oberen Bereich der Bundeswasserstraße/Fokus auf Staustufe Altenberg nach BfG (2020) sowie angesetzte Sohlagen und MW für einen Planzustand (Szenario 2: GÖZ/Staulegung)

Mit diesen und den vorstehend umfangreich vorgestellten und begründeten Grundansätzen lässt sich Szenario 2 sowohl bildhaft darstellen (anschaulicher räumlicher Ausschnitt für Ist-Zustand in Abbildung 6-27, für Szenario 2 in Abbildung 6-28), als auch im Hinblick auf Lage, Breite und Zonierung des mit diesem Szenario notwendigen Gewässerentwicklungskorridors (abschätzend) konkretisieren (Abbildung 6-29). Zudem kann mit Hilfe der idealisierten horizontalen und vertikalen Zonierung des Gewässerentwicklungskorridors die hypothetische Anpassung des 3-D-Höhen- bzw. Geländemodells vorgenommen werden (Abbildung 6-30).

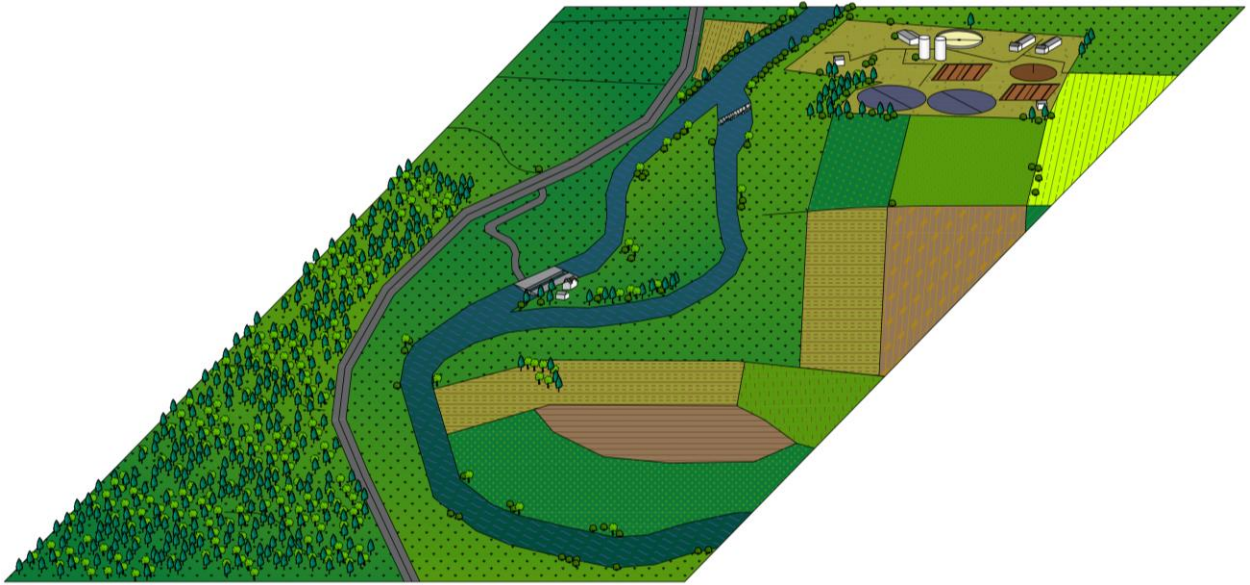


Abbildung 6-27: Staustufe Altenberg im Ist-Zustand, anschaulicher räumlicher Ausschnitt: westlicher Teil des Staustufenraumes- zeichnerische Prinzipdarstellung als CAD-Schrägbild



Abbildung 6-28: Staustufe Altenberg im Szenario 2 (guter ökologischer Zustand) ohne Staustufe und mit etabliertem Gewässerentwicklungskorridor, anschaulicher räumlicher Ausschnitt: westlicher Teil des Staustufenraumes - zeichnerische Prinzipdarstellung als CAD-Schrägbild

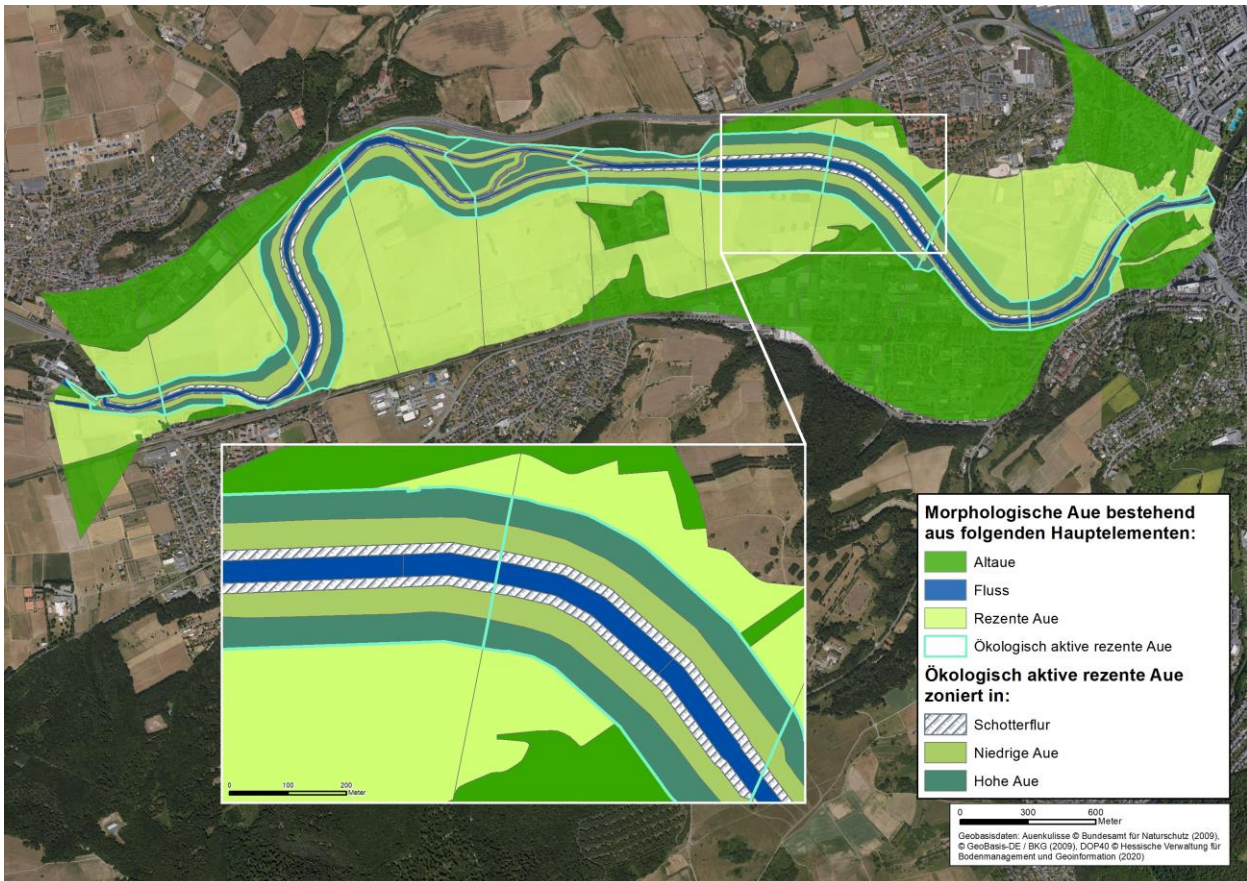


Abbildung 6-29: Staufstufe Altenberg im Szenario 2 (guter ökologischer Zustand) ohne Staustufe, mit etabliertem Gewässerentwicklungskorridor (= ökologisch aktive rezente Aue) und räumlich-funktionaler Untersetzung – Draufsicht als GIS-Kartendarstellung

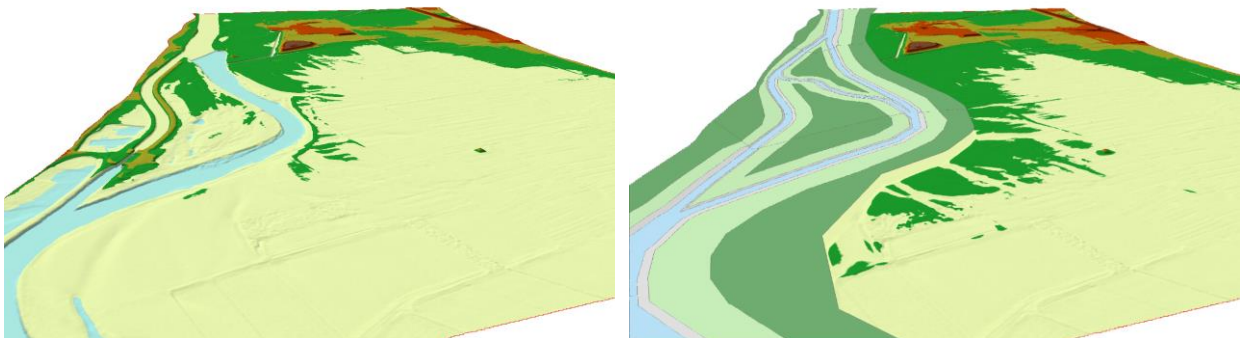


Abbildung 6-30: 3-D-Höhenmodell der Lahnaue im Bereich der Staufstufe Altenberg (räumlicher Ausschnitt zur Visualisierung): links: Ist-Zustand, rechts: mit "eingebanntem" Gewässerentwicklungskorridor; Datengrundlage: WSA Koblenz (2018b)

6.8 Erläuterungen zur Auswertung der Analysen

In den folgenden Kapiteln 7 bis 9 werden für alle drei Staustufen die Ergebnisse der ÖSL-Analysen präsentiert und gegenübergestellt. Grundsätzlich liegen die Ergebnisse zunächst in folgenden Raumkategorien vor (s. o.).

- a) Zwischenergebnisse (exemplarisch) in thematischen Fachkarten, z. B. Hydrotope
- b) (**flächengewichtete**) ÖSL-Bewertungsergebnisse (qualitativ und ökonomisch)
 - für jedes einzelne Auensegment
 - innerhalb jedes Auensegmentes für jedes Kompartiment (Fluss, rezente Aue links, morphologische Aue links, rezente Aue rechts, morphologische Aue rechts; links/rechts in Fließrichtung der Lahn)

Alle Ergebnisse unter a) und b) liegen im GIS (sowie in Excel) entsprechend raumdifferenziert vor und werden als Datensatz mit übergeben.

Diese Bewertungen werden für jede ÖSL entsprechend der ÖSL-Hauptgruppen in den Kapiteln 7 bis 9 zusammenfassend dargestellt. Dabei werden zur besseren Anschaulichkeit folgende Zusammenfassungen zu ökologisch relevanten Teilräumen vorgenommen:

1. Fluss oder Fluss + rezente Aue
2. Rezente Aue: rezente Aue links und rechts sowie Fluss (als Teilraum)
3. Morphologische Aue: Rezente Aue + Altaue

Hier setzt je Staustufe eine Bewertung an (qualitativ) mit drei Szenarien:

- A) Ist-Zustand
- B) Szenario 1 (GÖP)
- C) Szenario 2 (GÖZ)

Die qualitative Bewertung wird für alle Auensegmente dargestellt als:

- Kartendarstellung sowie als
- Darstellung in einem Säulendiagramm

Die ökonomische Bewertung wird zahlenmäßig (Euro-Beträge) in der Synopsis (Kapitel 7.5, 8.5 und 9.5) ergänzt; Erläuterungen zu den ökonomischen Grundlagen und angewandten Methoden finden sich in Kapitel 3.9.

Für den übergreifenden Vergleich der Szenarien erfolgen Summationen der Einzelbewertungen jeder ÖSL (als mathematische Ergebnisse mit einer Dezimalstelle hinter dem Komma) und damit als Punktsommen und als arithmetische Mittelwerte. Streng genommen sind zwar solche mathematischen Operationen unzulässig; ggf. müssten Gewichtungen vorgenommen werden. Aber für einen überblickshaften Vergleich kann das helfen.

Entsprechende übergreifende Auswertungen orientieren sich wiederum an den beiden Raumeinheiten „rezente Aue“ (inkl. Fluss) und „morphologische Aue“ sowie ggf. an den ÖSL-Hauptgruppen. Für grafische Darstellungen werden ebenfalls Säulendiagramme genutzt.

7 Bewertungen der Maßnahmenoptionen an der Staustufe Lahnstein

7.1 Versorgende Ökosystemleistungen

Da für die Ökosystemleistungsklassen (Subgruppen) Nahrungsmittel, Rohstoffe, Energie und die entsprechenden Ökosystemleistungen (ÖSL) einheitlich auf den Indikator Bodenfruchtbarkeit bzw. als Klassifizierungsmethode auf das Ertragspotenzial der Böden gesetzt wurde, werden die qualitativen, 6-stufigen ÖSL-Bewertungen nur einmal für alle drei ÖSL dargestellt. Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden dabei die Raumbezüge

- (1) rezente Aue (Abbildung 7-1) und
- (2) morphologische Aue gewählt (Abbildung 7-2)

für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.

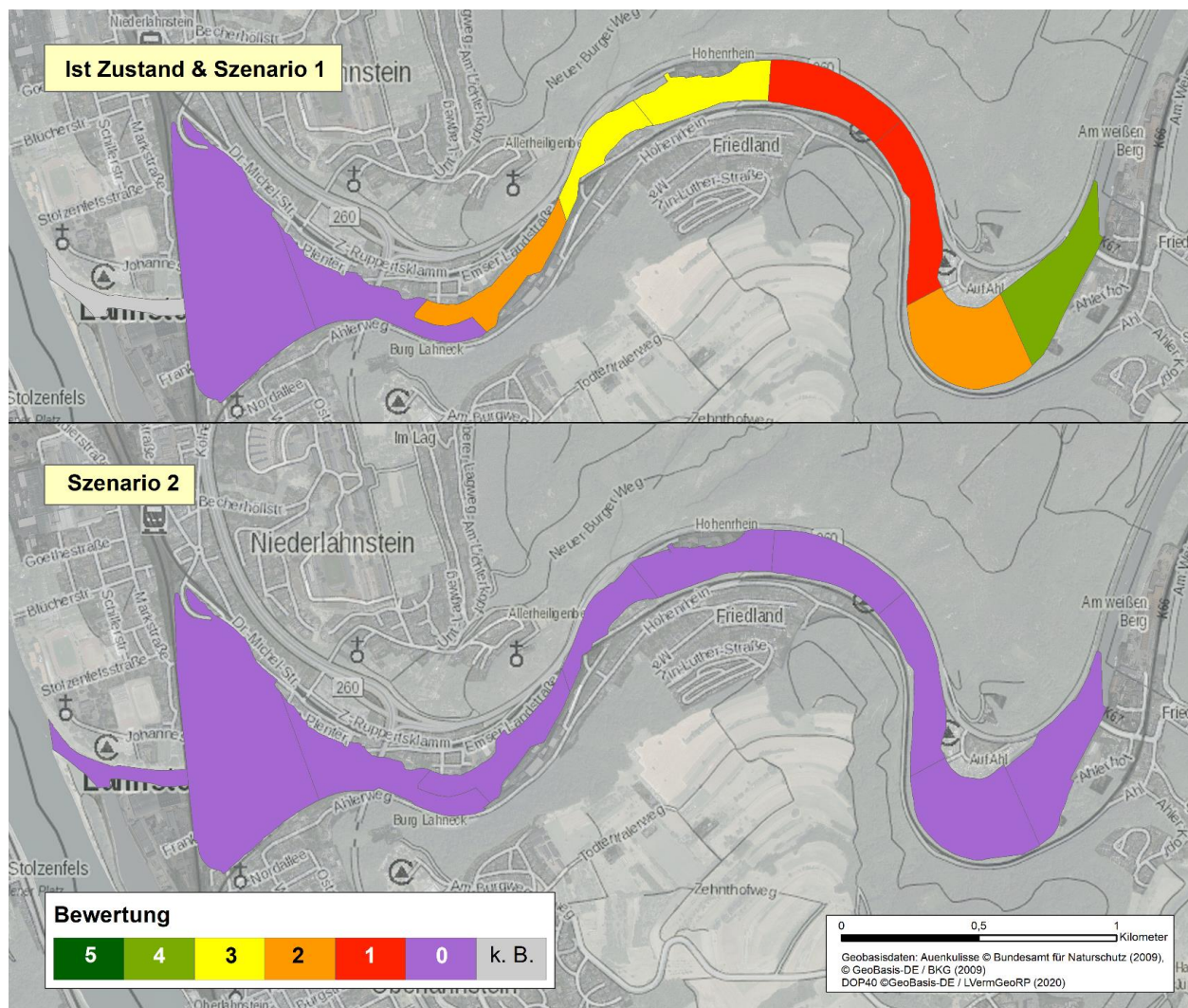


Abbildung 7-1: ÖSL-Bewertung des Ertragspotenzials der Böden an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: rezente Aue

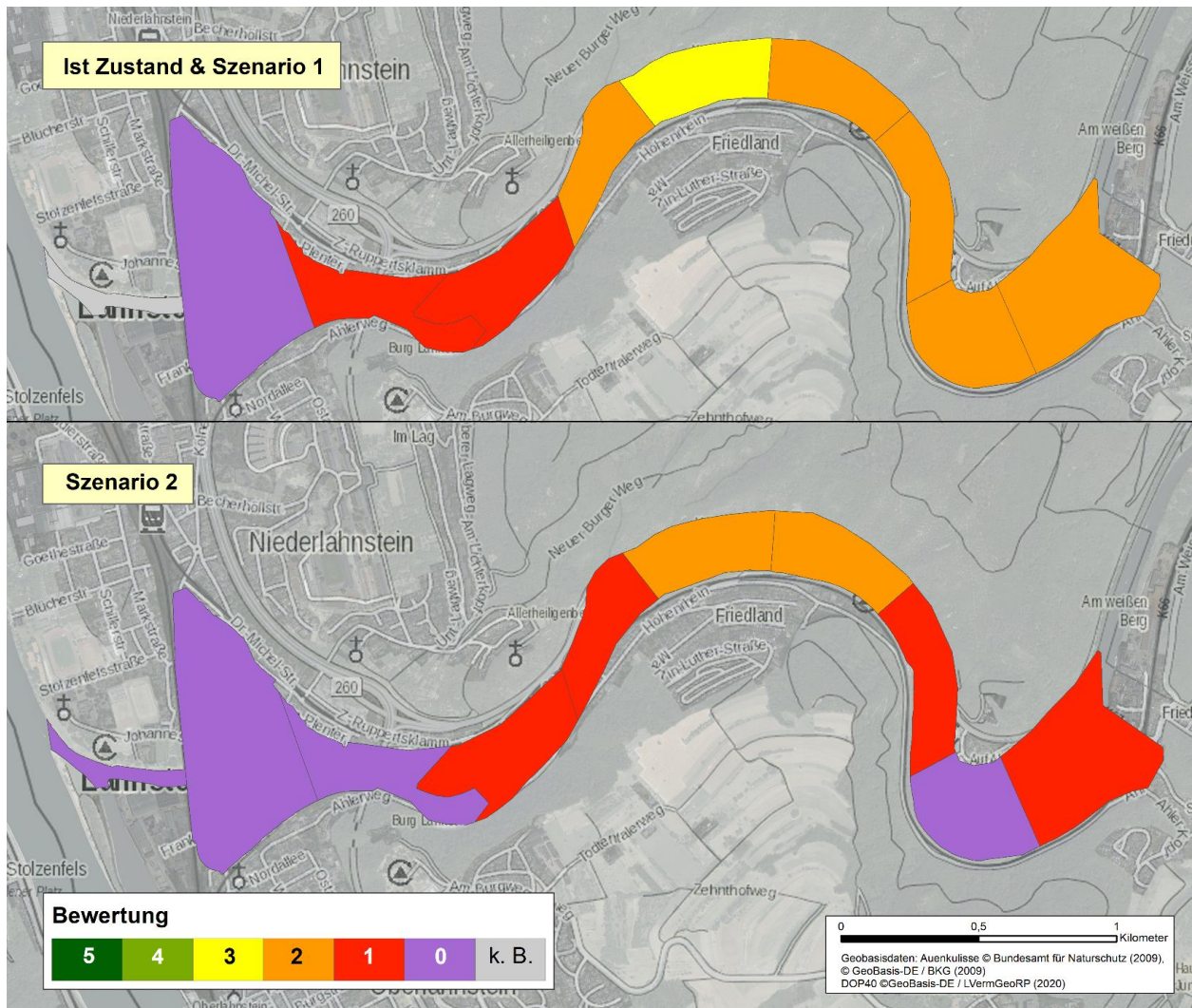


Abbildung 7-2: ÖSL-Bewertung des Ertragspotenzials der Böden an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **morphologische Aue**

7.2 Regulative Ökosystemleistungen

7.2.1 ÖSL-Klasse Extremabfluss

7.2.1.1 Hochwasserregulation

Die Bewertung für den Vergleich des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien wird wegen der Kopplung an mittlere und extreme Hochwasser nur für die morphologische Aue dargestellt (Abbildung 7-3).

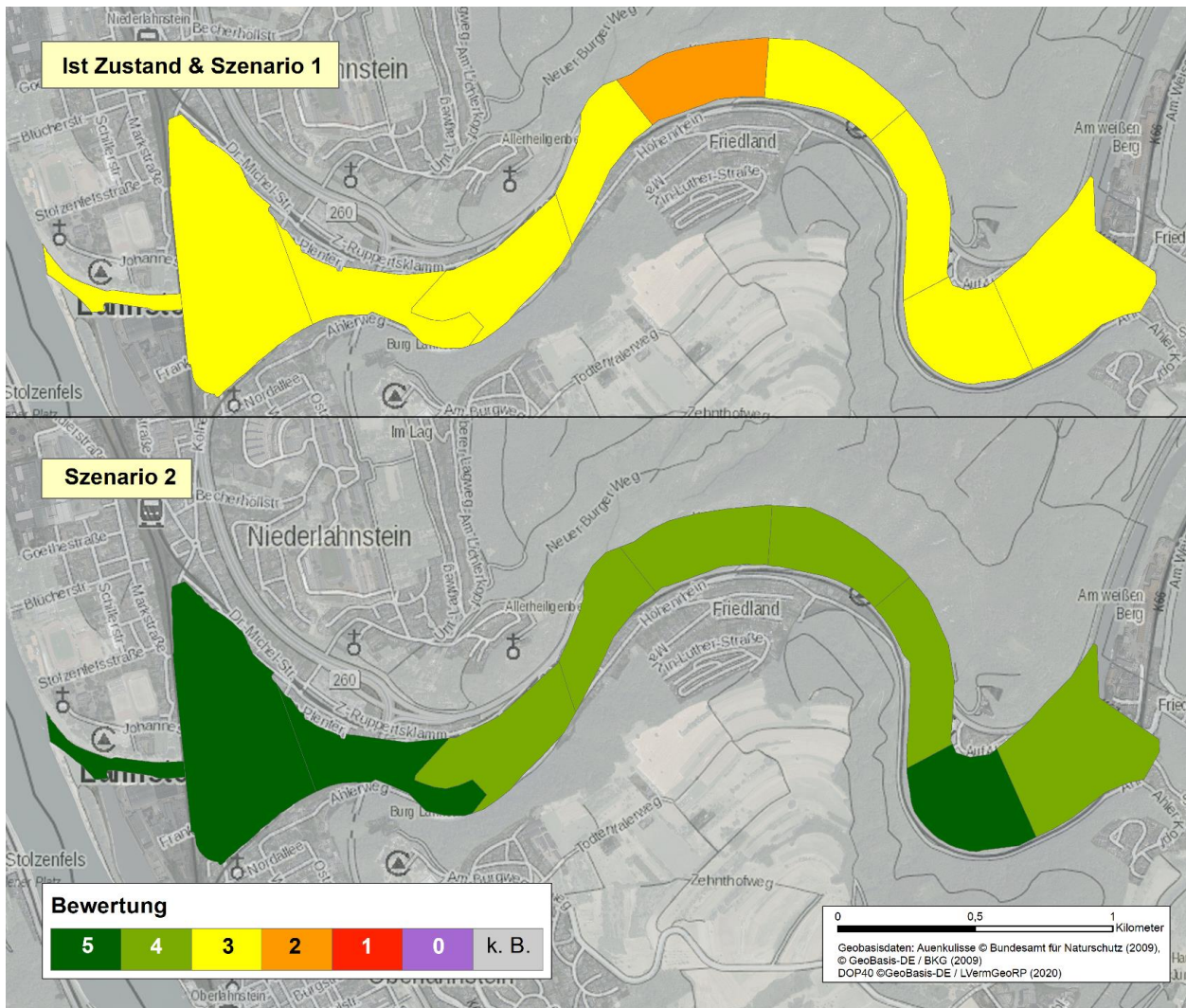


Abbildung 7-3: Bewertung der ÖSL Hochwasserregulation an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **morphologische Aue**

7.2.1.2 Niedrigwasserregulation

Die Bewertung für den Vergleich des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien wird wegen der Kopplung an die Daten des Gewässers nur für die Lahn selber dargestellt (Abbildung 7-4).

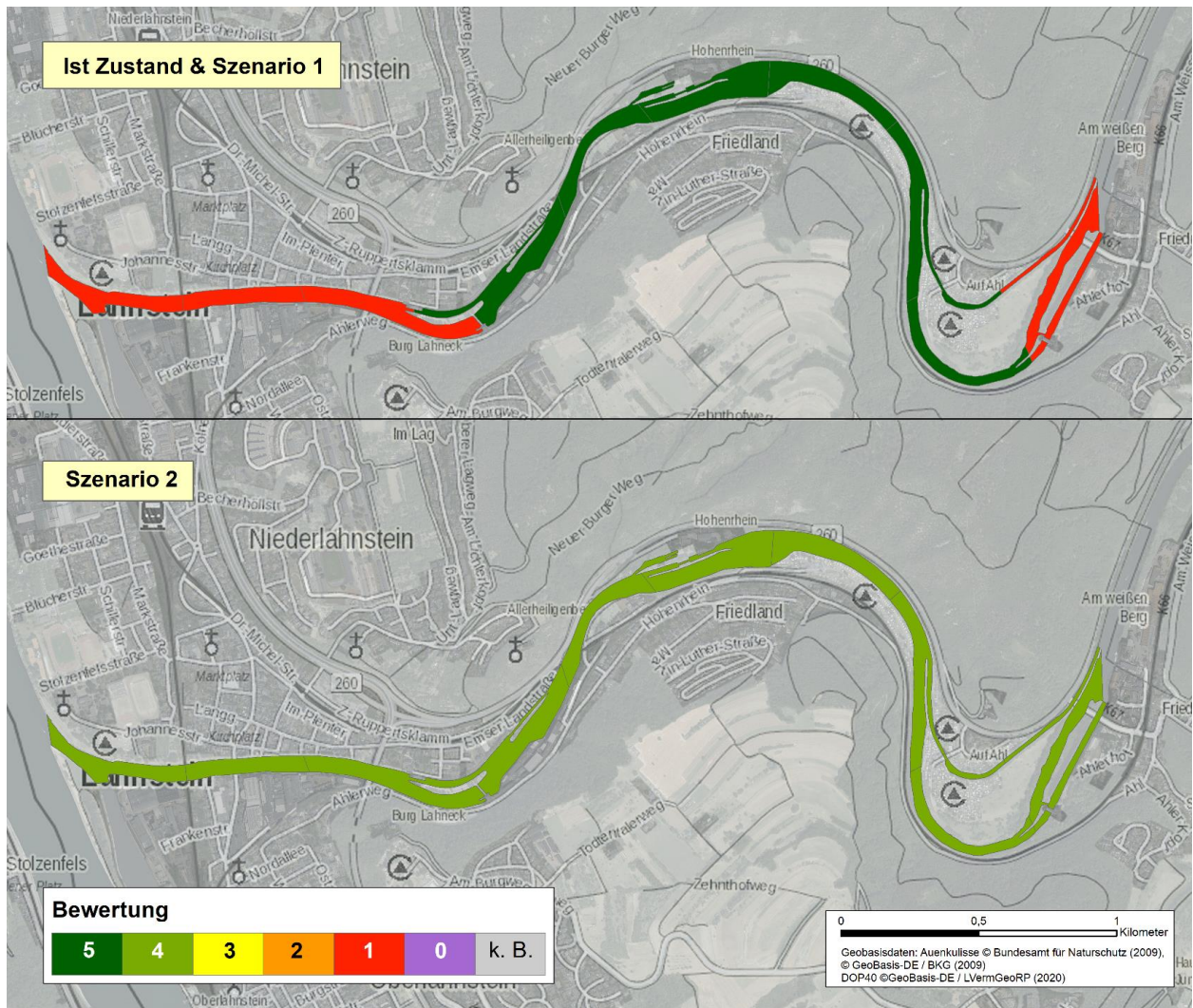


Abbildung 7-4: Bewertung der ÖSL Niedrigwasserregulation an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: Fluss

7.2.2 ÖSL-Klasse Sedimente, Böden sowie deren Nährstoffrückhalt

7.2.2.1 Sedimentregulation

Die Bewertung für den Vergleich des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien wird wegen der Kopplung an die Daten des Gewässers nur für die Lahn selber dargestellt (Abbildung 7-5).

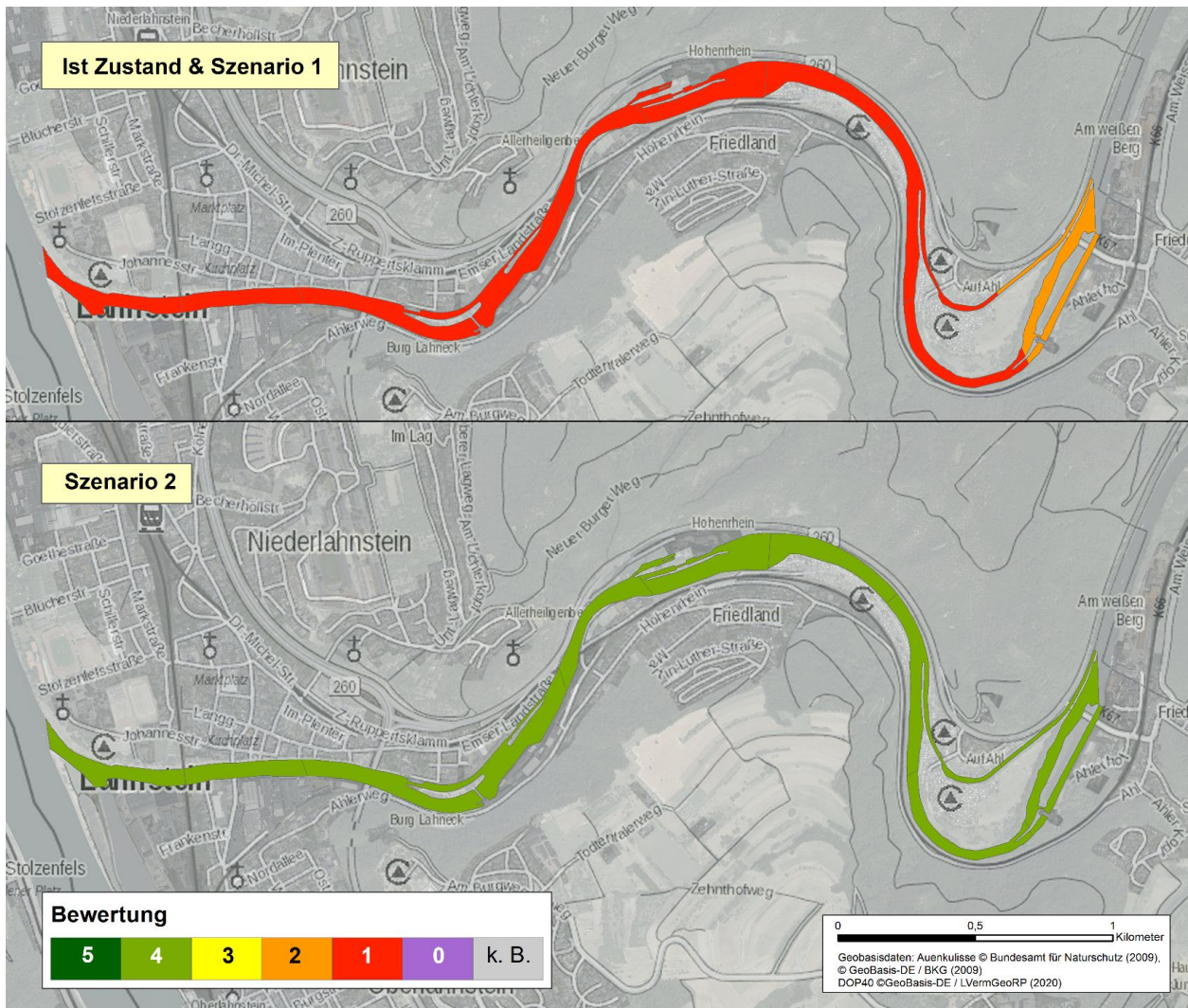


Abbildung 7-5: Bewertung der ÖSL Sedimentregulation an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **Fluss**

7.2.2.2 Retention von Phosphor

Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden die Raumbezüge

- (1) rezente Aue (Abbildung 7-6) und
- (2) morphologische Aue gewählt (Abbildung 7-7)

für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.

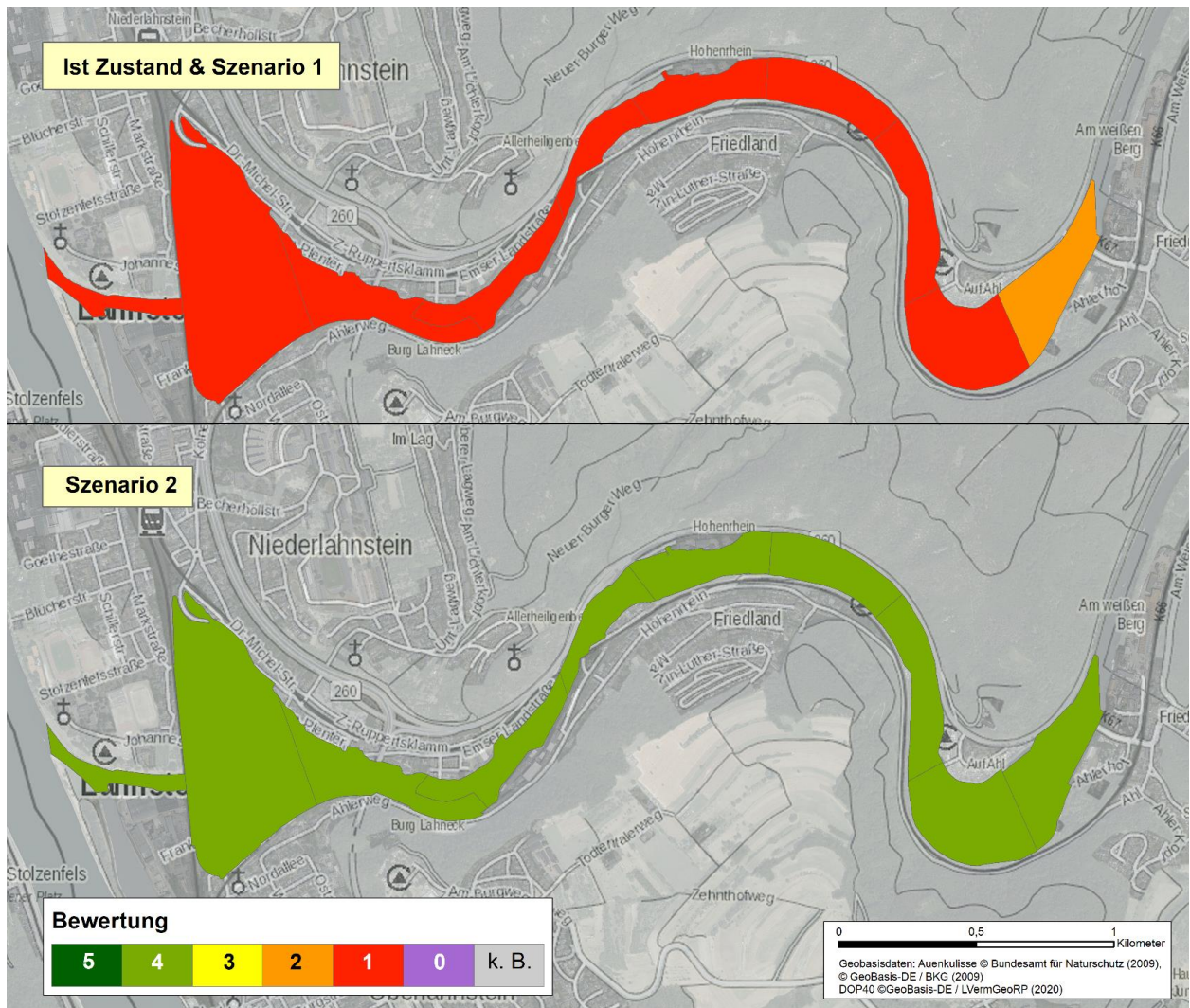


Abbildung 7-6: Bewertung der ÖSL Retention von Phosphor an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: rezente Aue

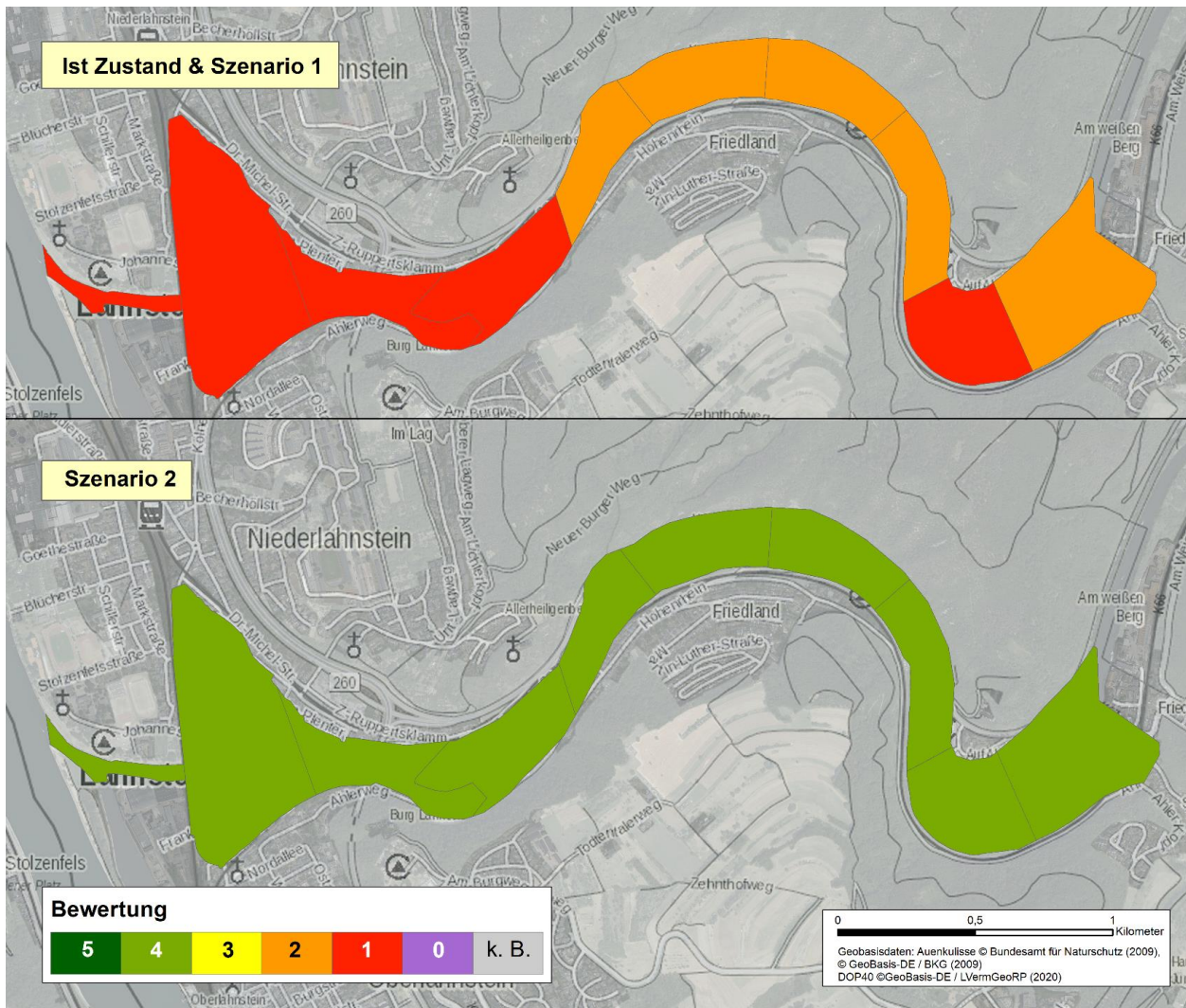


Abbildung 7-7: Bewertung der ÖSL Retention von Phosphor an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **morphologische Aue**

7.2.2.3 Retention von Stickstoff

Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden die Raumbezüge

- (1) rezente Aue (Abbildung 7-8) und
- (2) morphologische Aue gewählt (Abbildung 7-9)

für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.

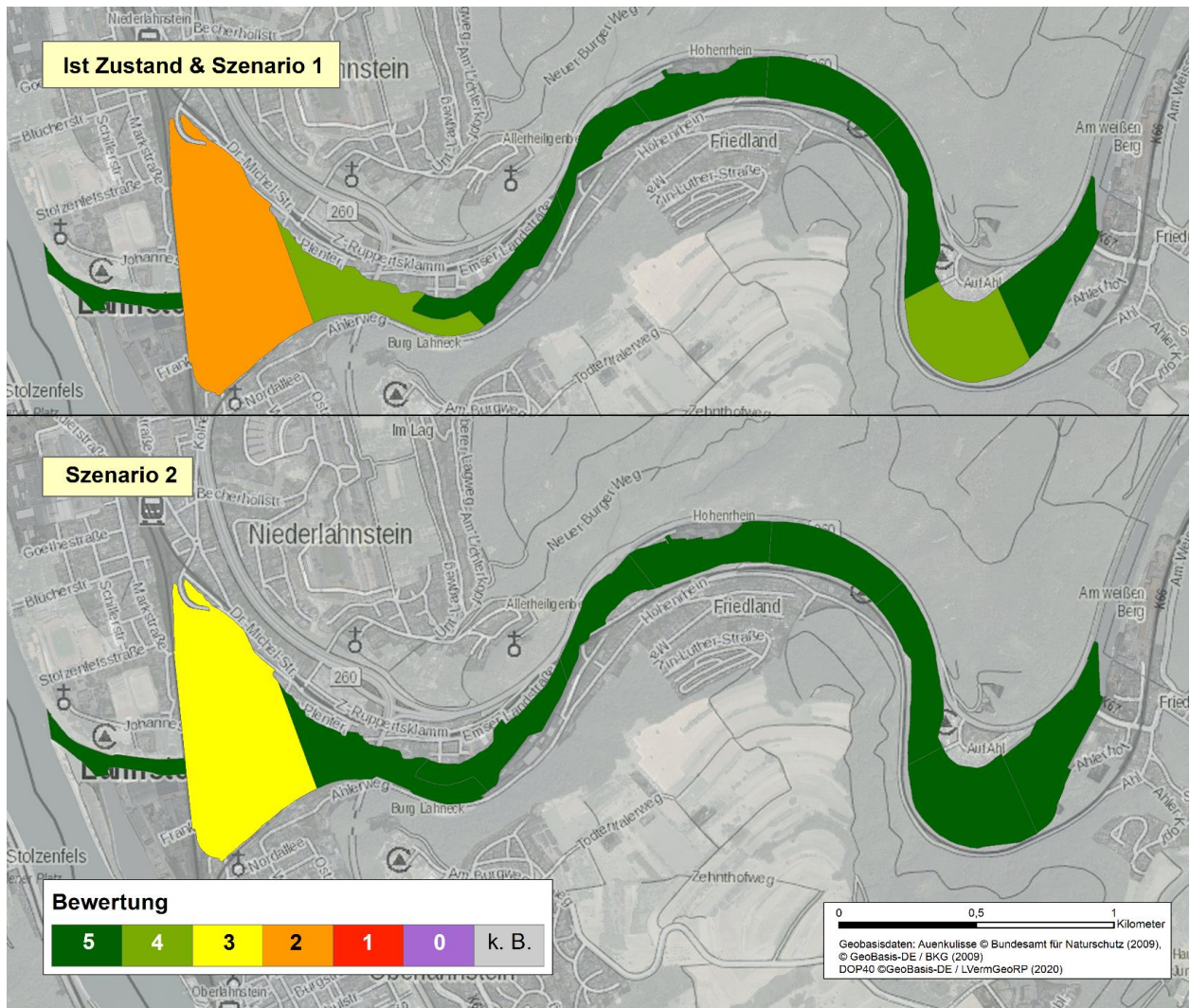


Abbildung 7-8: Bewertung der ÖSL Retention von Stickstoff an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: rezente Aue

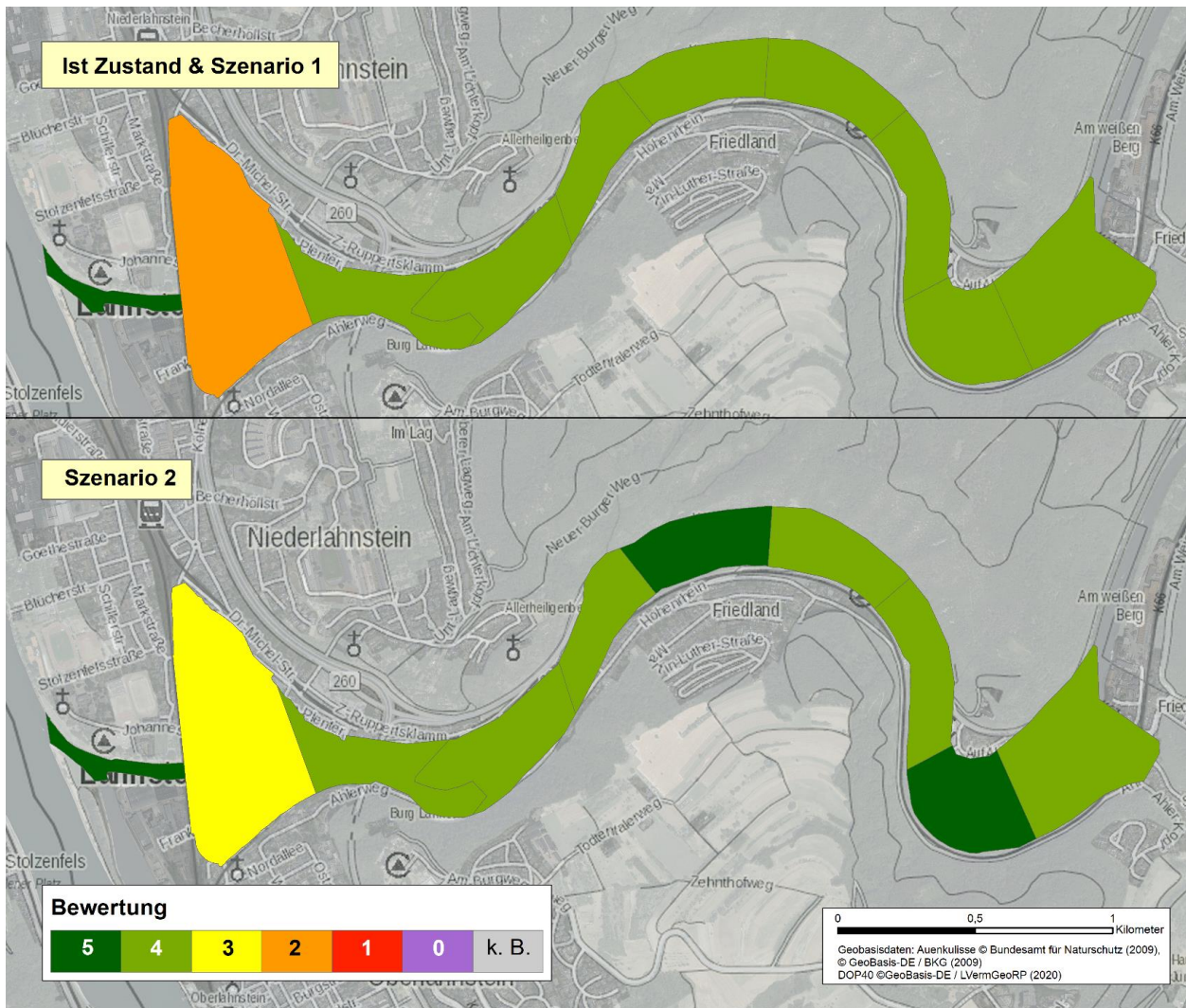


Abbildung 7-9: Bewertung der ÖSL Retention von Stickstoff an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **morphologische Aue**

7.2.3 ÖSL-Klasse Biologische Selbstreinigung

Die Bewertung für den Vergleich des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien wird wegen der Kopplung an die Daten des Gewässers nur für die Lahn selber dargestellt (Abbildung 7-10).

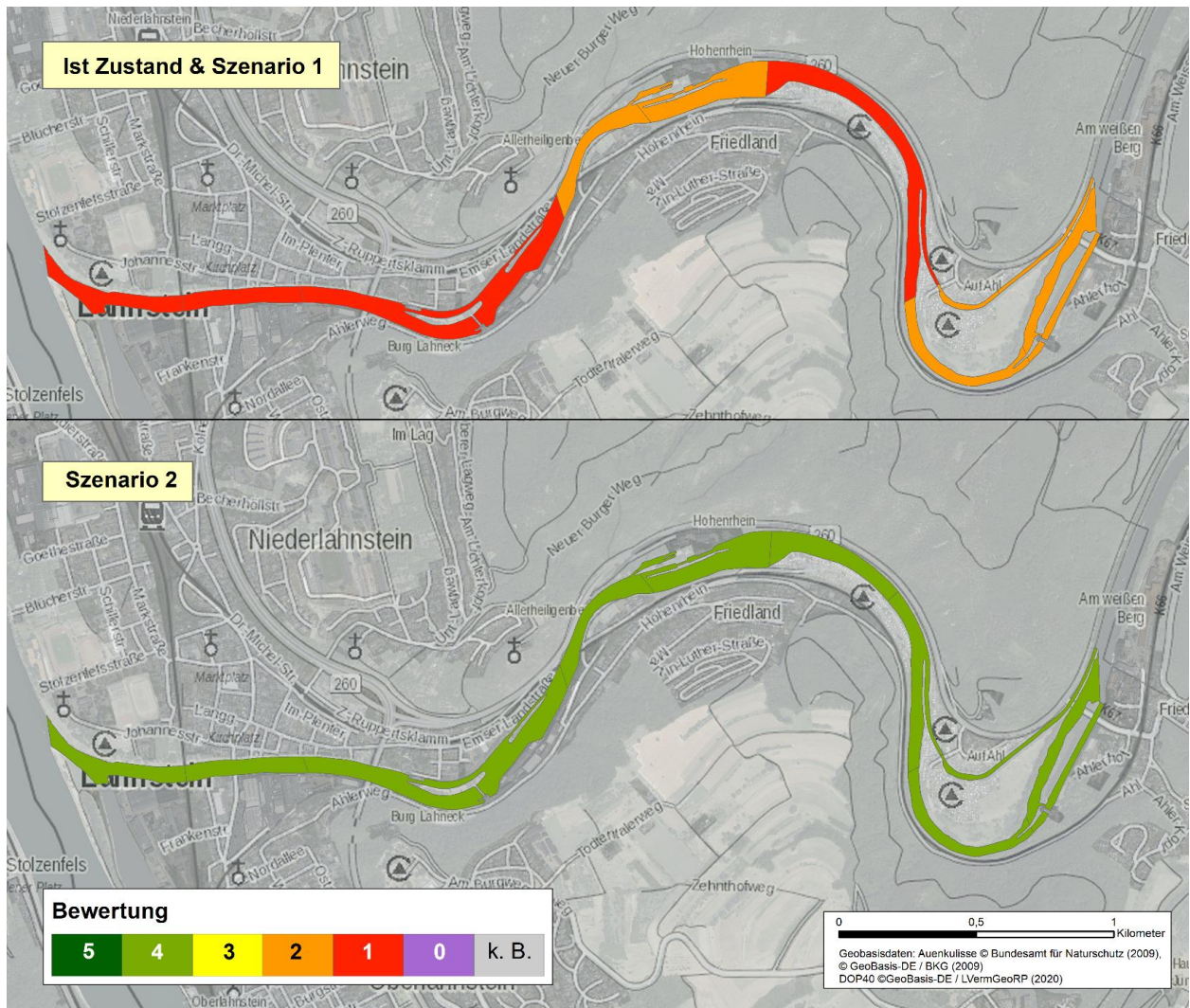


Abbildung 7-10: Bewertung der ÖSL Biologische Selbstreinigung an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumzug: **Fluss**

7.2.4 ÖSL-Klasse Globales Klima

Die Bewertung fußt auf einer Analyse des Kohlenstoffvorrates der Böden sowie der ober- und unterirdischen Biomasse bzw. seiner szenarioabhängigen Veränderung; Abbildung 7-11 zeigt exemplarisch den Ausgangszustand.

Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden die Raumbezüge

- (1) rezente Aue (Abbildung 7-12) und
- (2) morphologische Aue gewählt (Abbildung 7-13)

für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.

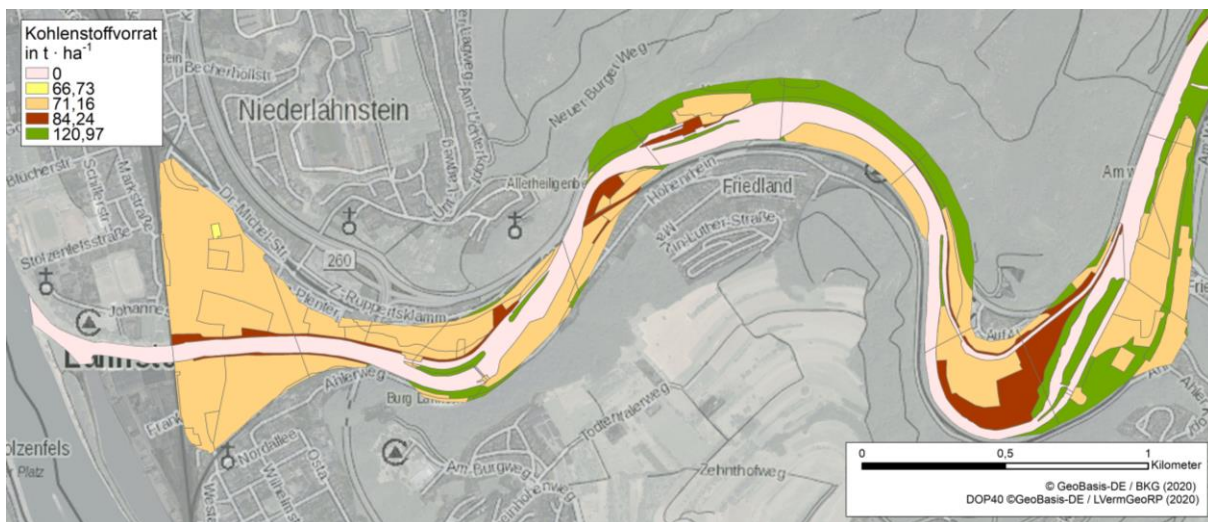


Abbildung 7-11: Bewertung der ÖSL Rückhalt von Treibhausgasen an der Staustufe Lahnstein: Kohlenstoffvorrat ($t \cdot ha^{-1}$) der Böden sowie der ober- und unterirdischen Biomasse im Ist-Zustand

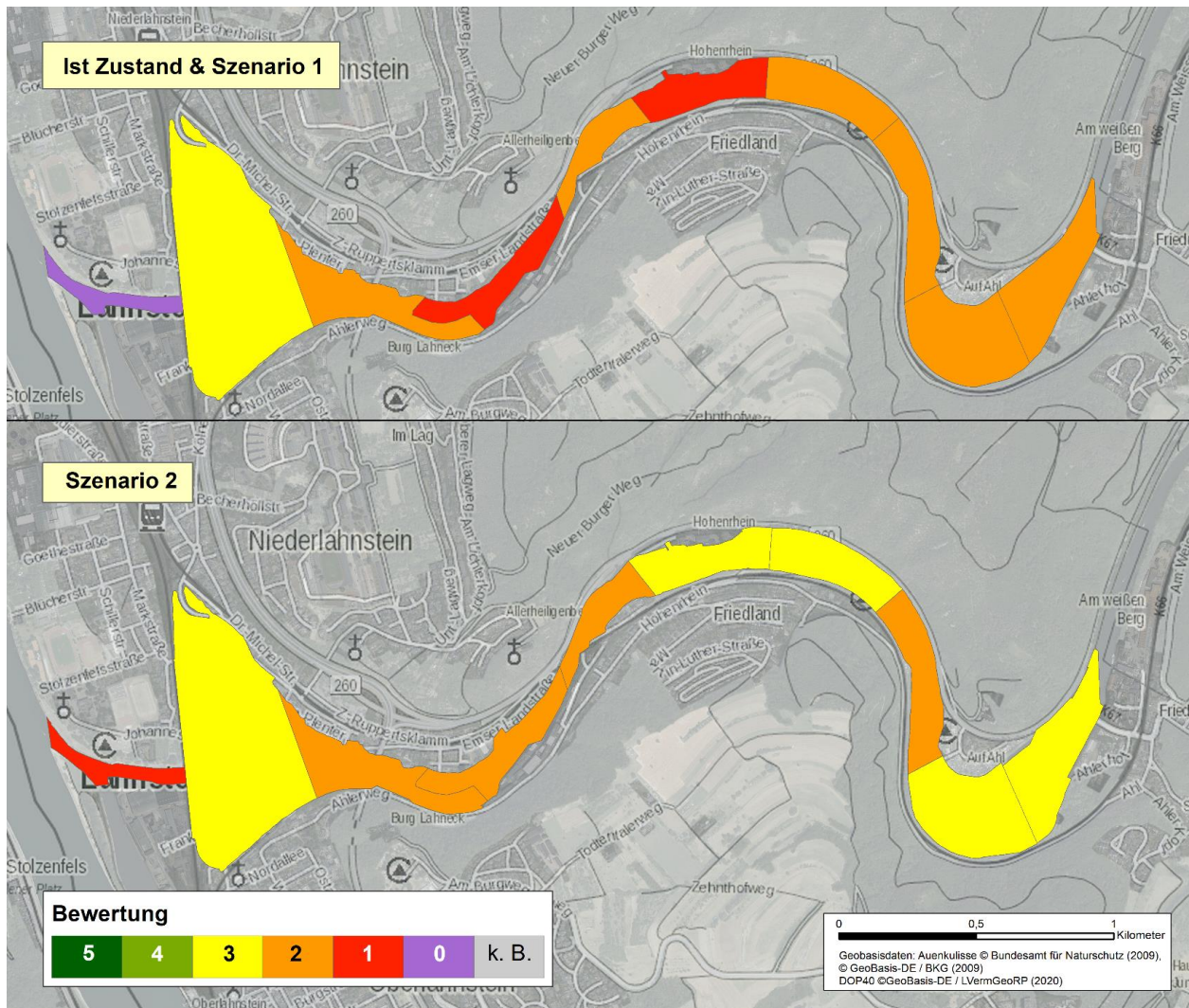


Abbildung 7-12: Bewertung der ÖSL Rückhalt von Treibhausgasen an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **rezente Aue**

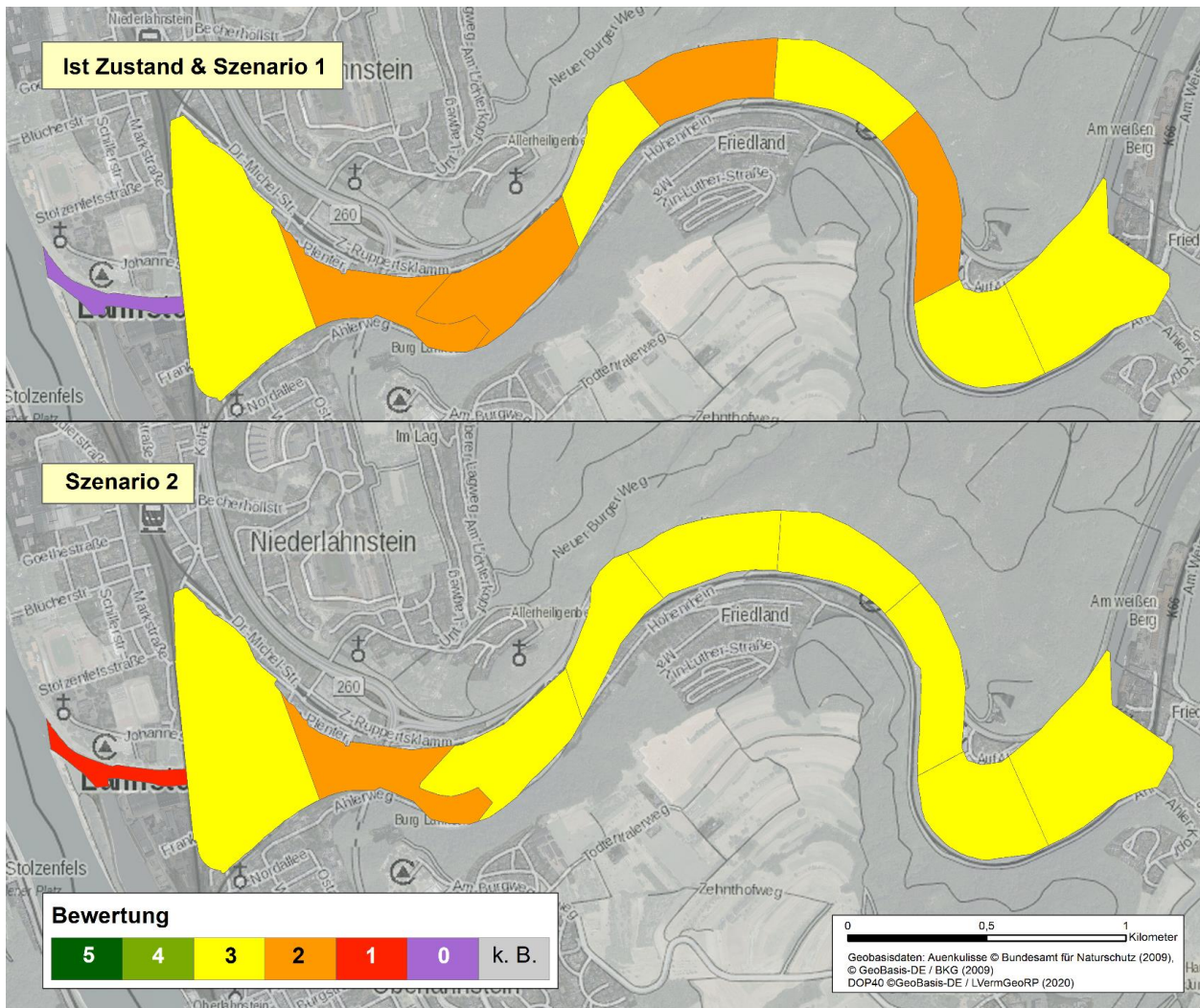


Abbildung 7-13: Bewertung der ÖSL Rückhalt von Treibhausgasen an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **morphologische Aue**

7.2.5 ÖSL-Klasse Regional-/Lokalklima

Die Bewertung fußt auf einer Analyse des Wasserhaushalts bzw. der mittleren realen Verdunstung in seiner szenarioabhängigen Veränderung; Abbildung 7-14 zeigt exemplarisch den Ausgangszustand und relevante Teilanalysen.

Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden für die ÖSL-Bewertung die Raumbezüge

- (1) rezente Aue (Abbildung 7-15) und
- (2) morphologische Aue gewählt (Abbildung 7-16)

für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.

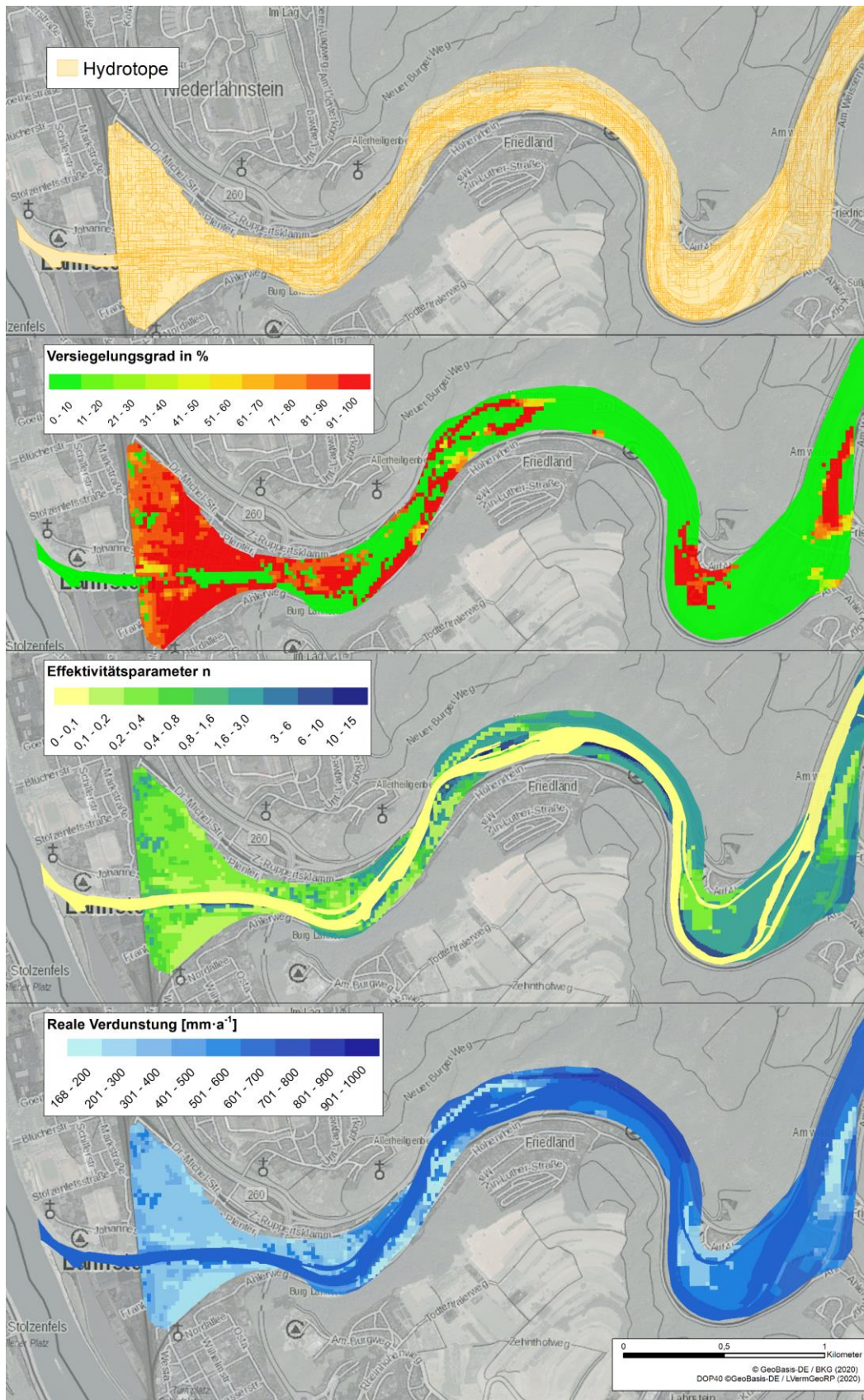


Abbildung 7-14: Ausgewählte Eingangsparmeter (Versiegelungsgrad, Effektivitätsparameter) der Wasserhaushaltsberechnung und das daraus resultierende Ergebnis (Reale Verdunstung) an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand

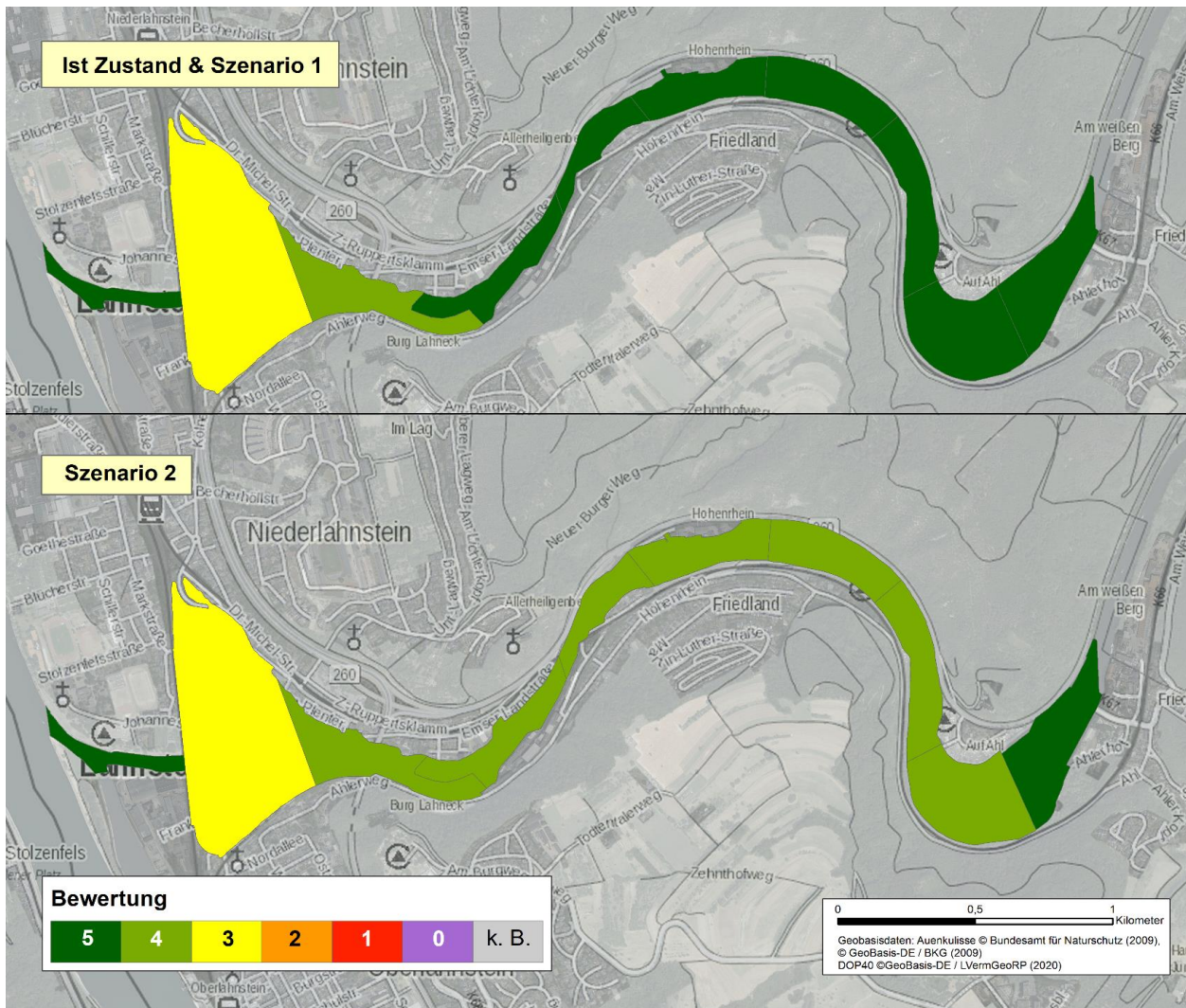


Abbildung 7-15: Bewertung der ÖSL Kühlwirkung an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **rezente Aue**



Abbildung 7-16: Bewertung der ÖSL Kühlwirkung an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **morphologische Aue**

7.2.6 ÖSL-Klasse Biologische Vielfalt

Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden die Raumbezüge

- (1) rezente Aue (Abbildung 7-17) und
- (2) morphologische Aue gewählt (Abbildung 7-18)

für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.

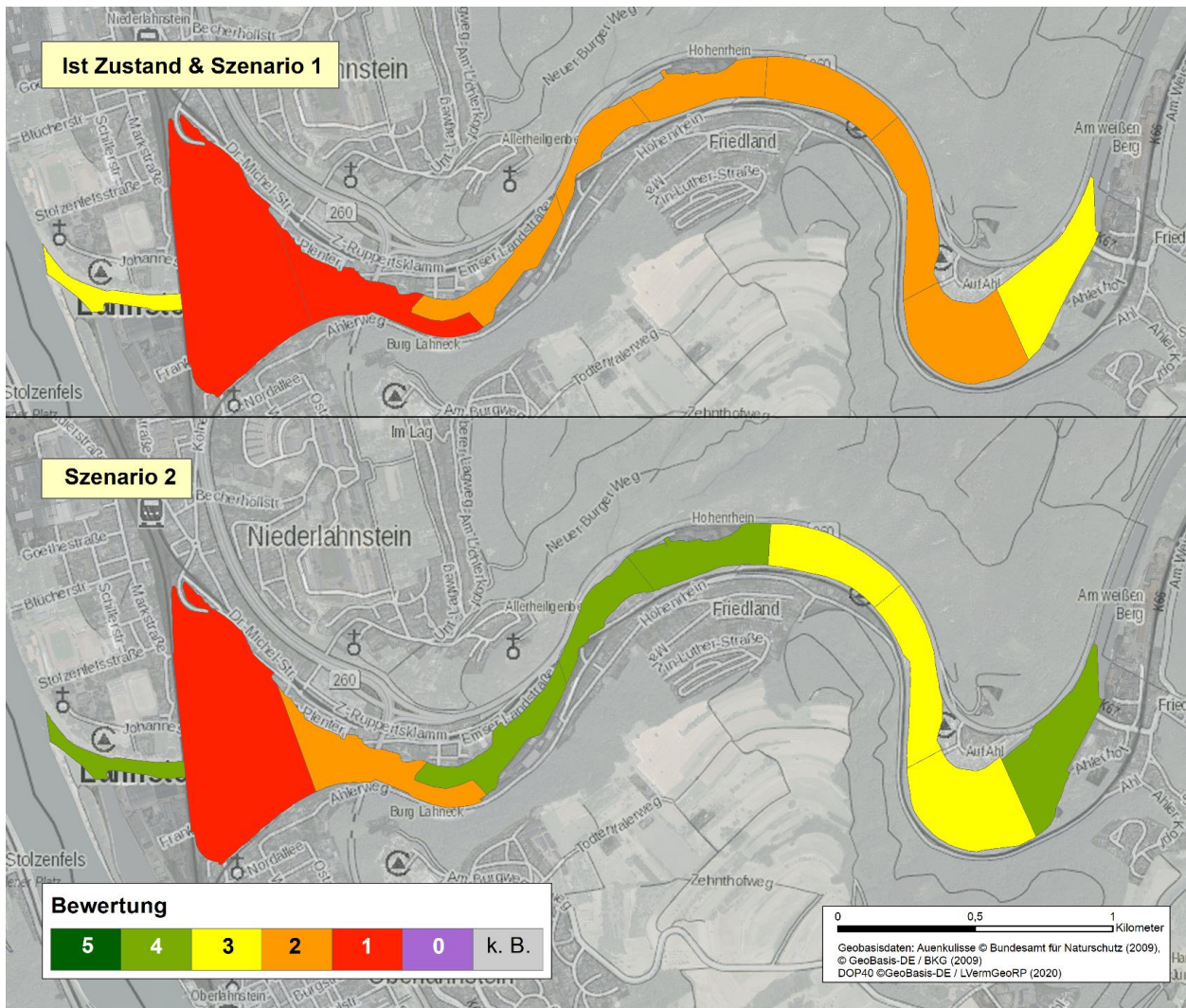


Abbildung 7-17: Bewertung der ÖSL Biologische Vielfalt an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **rezente Aue**

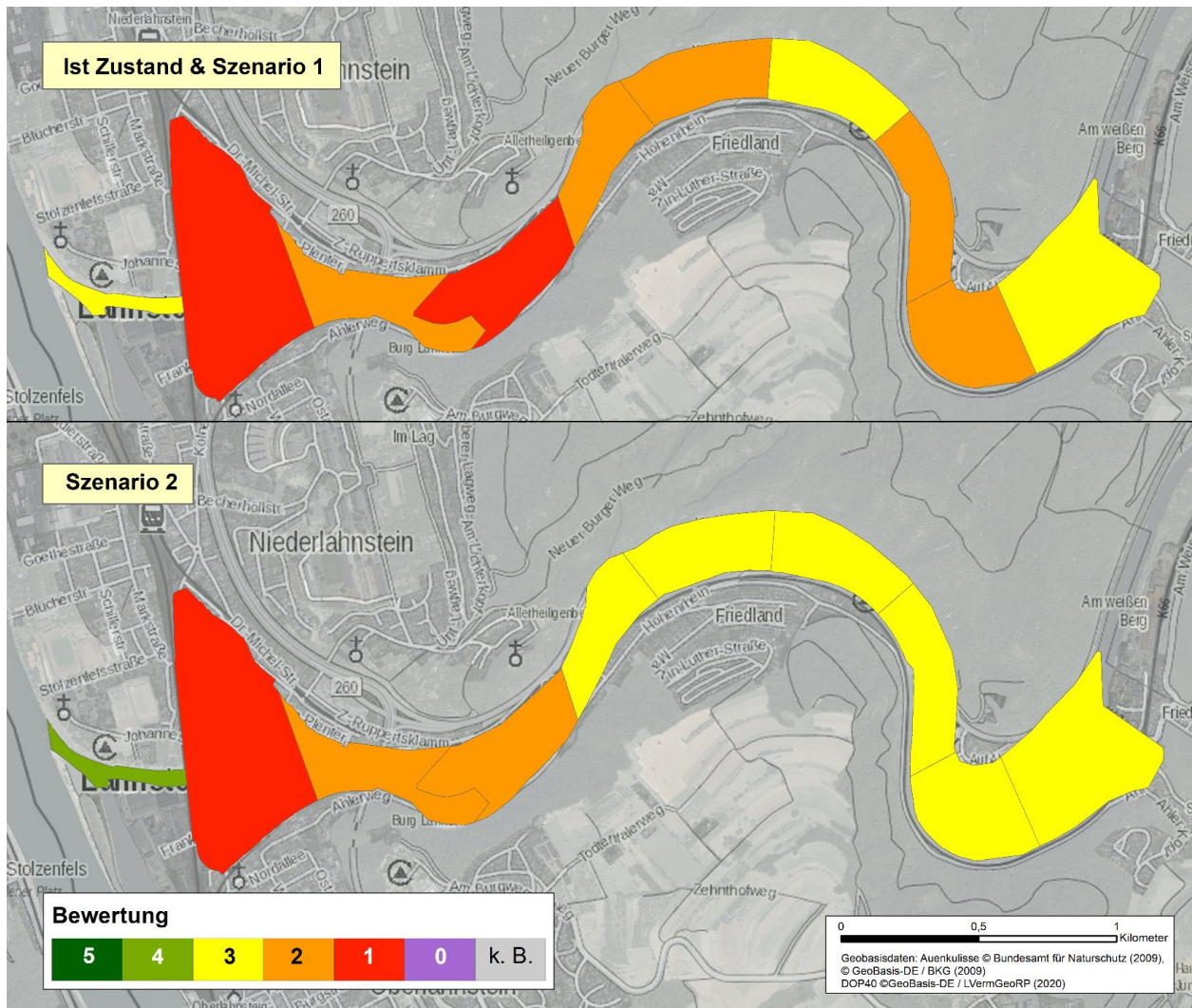


Abbildung 7-18: Bewertung der ÖSL Biologische Vielfalt an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **morphologische Aue**

7.3 Kulturelle Ökosystemleistungen

7.3.1 ÖSL-Klasse Landschaftserleben

Die Bewertung fußt auf einer Analyse der Landschaftsstrukturmaße Natürlichkeit, Reliefkontrast und Randeﬀekt und dies in szenarioabhängiger Veränderung; Abbildung 7-19 zeigt exemplarisch den Ausgangszustand und das ÖSL-Bewertungsergebnis.

Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden für die ÖSL-Bewertung die Raumbezüge

- (1) rezente Aue (Abbildung 7-20) und
- (2) morphologische Aue gewählt (Abbildung 7-21)

für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.

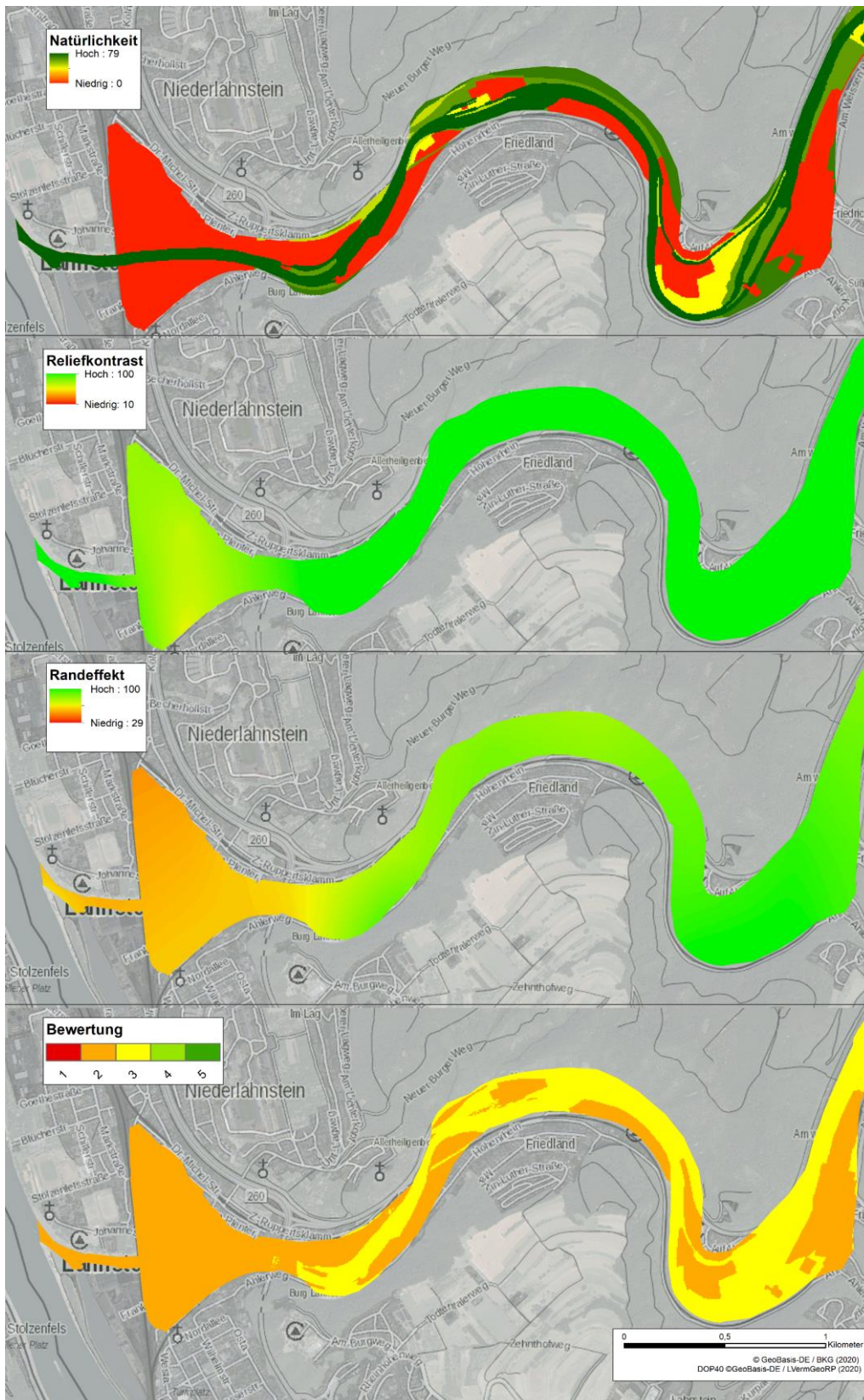


Abbildung 7-19: Landschaftsstrukturmaße Natürlichkeit, Reliefkontrast, Randeffect sowie Ergebnisbewertung der ÖSL-Berechnung Landschaftsästhetik an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand

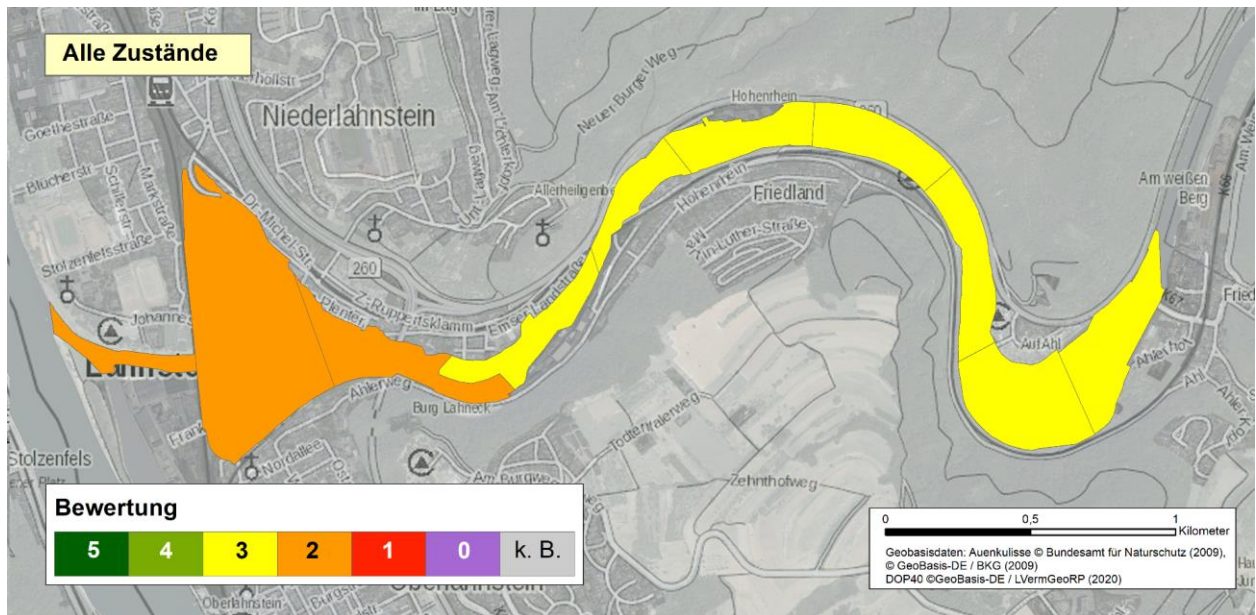


Abbildung 7-20: Bewertung der ÖSL Landschaftserleben an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2 (identische Bewertungsergebnisse), Raumbezug: **rezenste Aue**

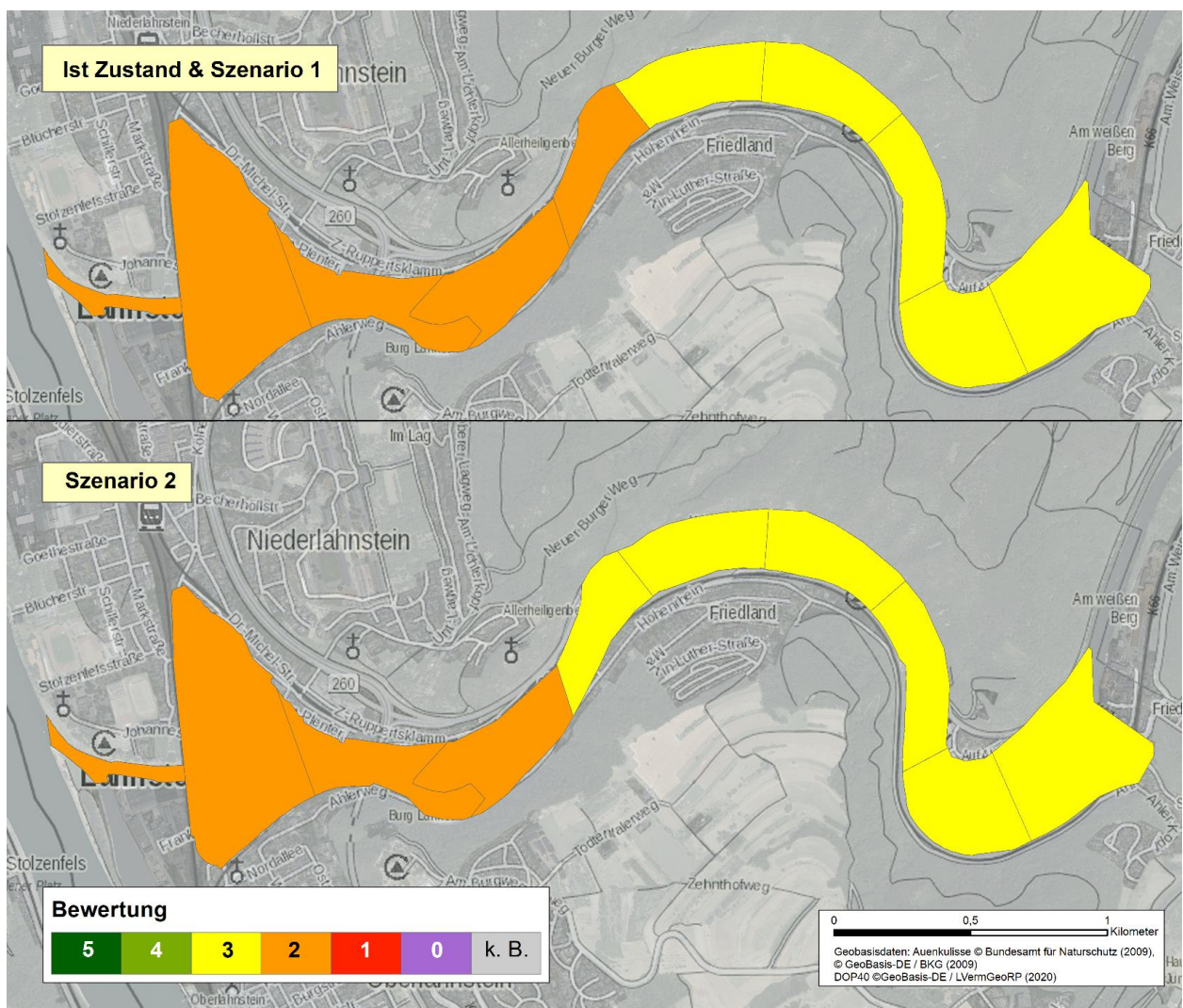


Abbildung 7-21: Bewertung der ÖSL Landschaftserleben an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **morphologische Aue**

7.3.2 ÖSL-Klasse Erholung und Tourismus

Eine Bewertung dieser Ökosystemleistung greift auf arealer Differenzierungsebene auf die Komponenten

- a) Ind_{Erh1} : Landschaftsbildbewertung (nur Komponente „Qualität“, entsprechende Ergebnis-/Datenübernahme der ÖSL-Bewertung) sowie
- b) Ind_{Erh2} : Störwirkung (störende, benachbarte Nutzungen: Lärm, Optik) zurück

und bewertet die szenarioabhängige Veränderung; Abbildung 7-22 zeigt die Ausgangsdaten exemplarisch für den Ausgangszustand.

Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden für die ÖSL-Bewertung die Raumbezüge

- (1) rezente Aue (Abbildung 7-23) und
- (2) morphologische Aue gewählt (Abbildung 7-24)

für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.

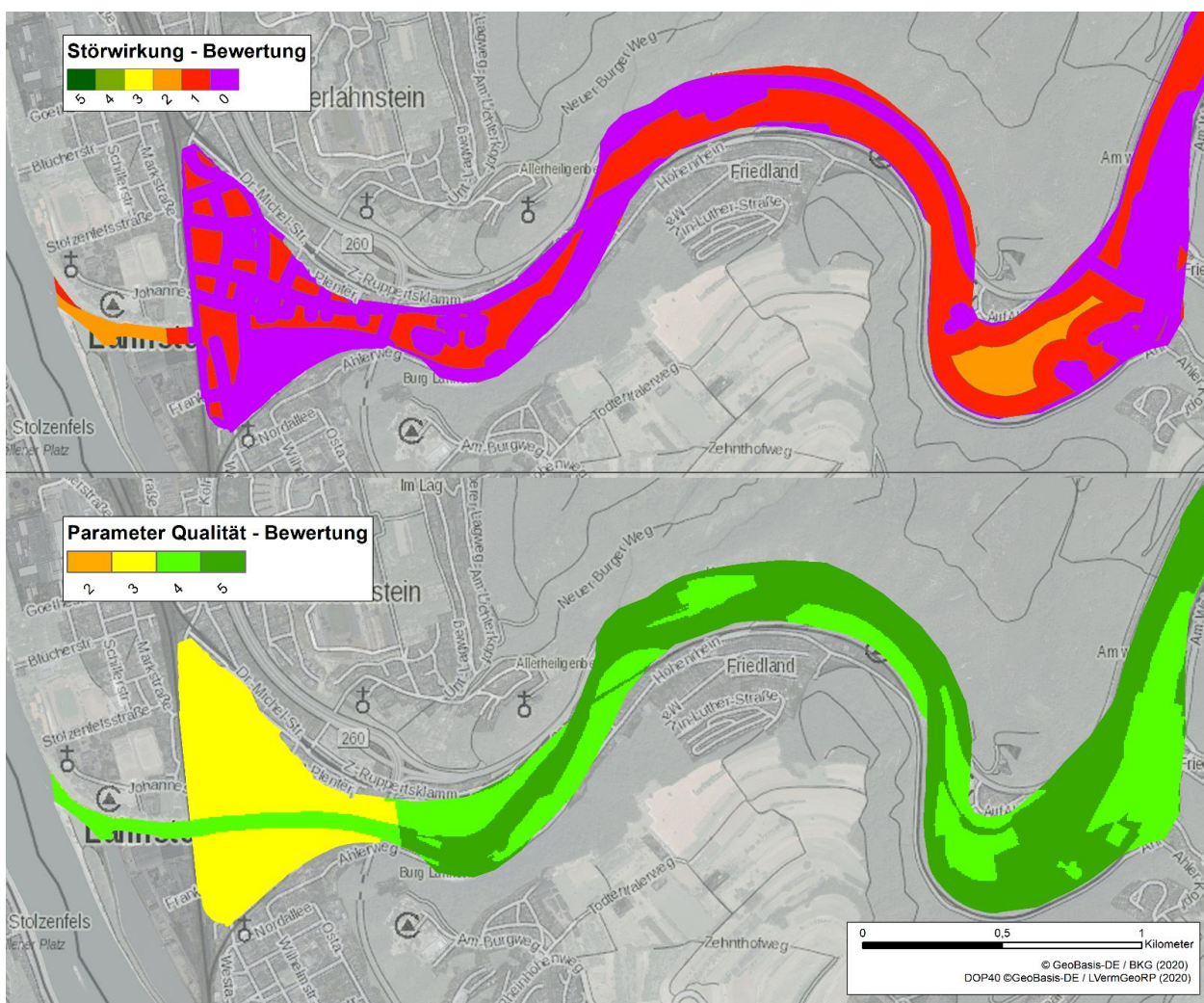


Abbildung 7-22: Eingangsparameter (Störwirkung, Landschaftsbildbewertung/Hauptbewertungskomponente: Qualität) der ÖSL-Berechnung Erholung und Tourismus an der Staustufe Lahnstein

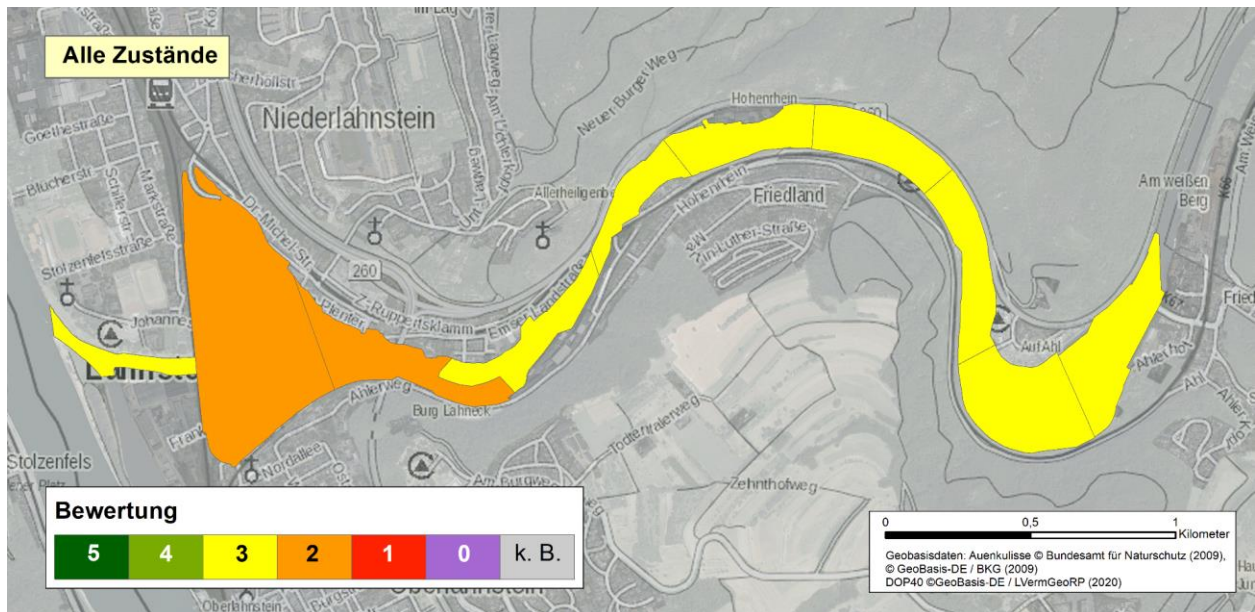


Abbildung 7-23: Bewertung der ÖSL Erholung und Tourismus an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2 (identische Bewertungsergebnisse), Raumbezug: **rezente Aue**

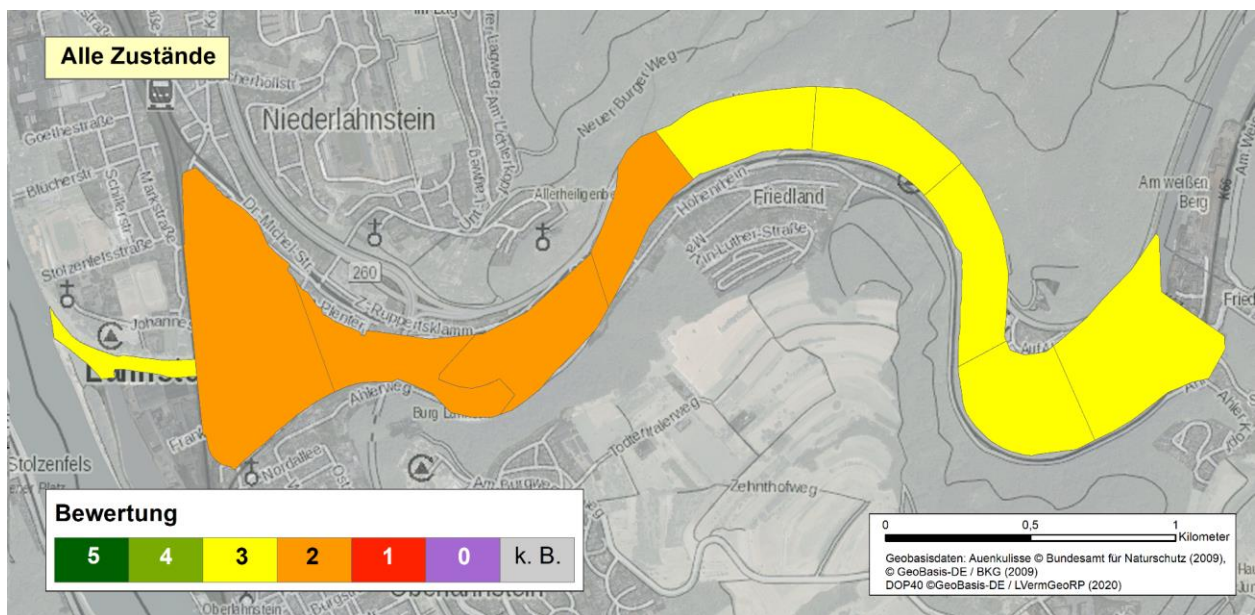


Abbildung 7-24: Bewertung der ÖSL Erholung und Tourismus an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2 (identische Bewertungsergebnisse), Raumbezug: **morphologische Aue**

7.3.3 ÖSL-Klasse Intellektuelle Interaktionen

Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden die Raumbezüge

- (1) rezente Aue (Abbildung 7-25) und
- (2) morphologische Aue gewählt (Abbildung 7-26)

für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.

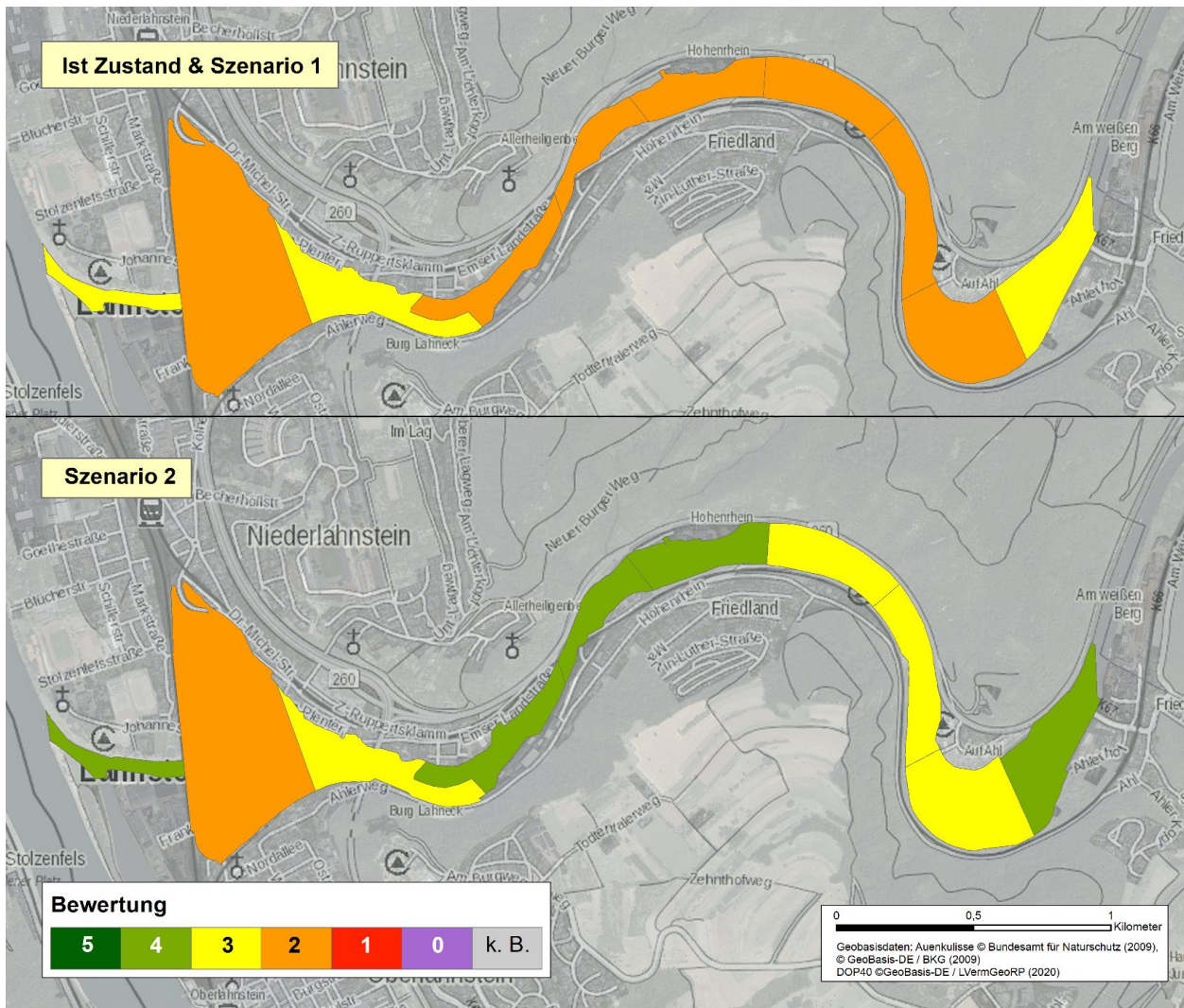


Abbildung 7-25: Bewertung der ÖSL Bildung und Wissenschaft an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **rezente Aue**

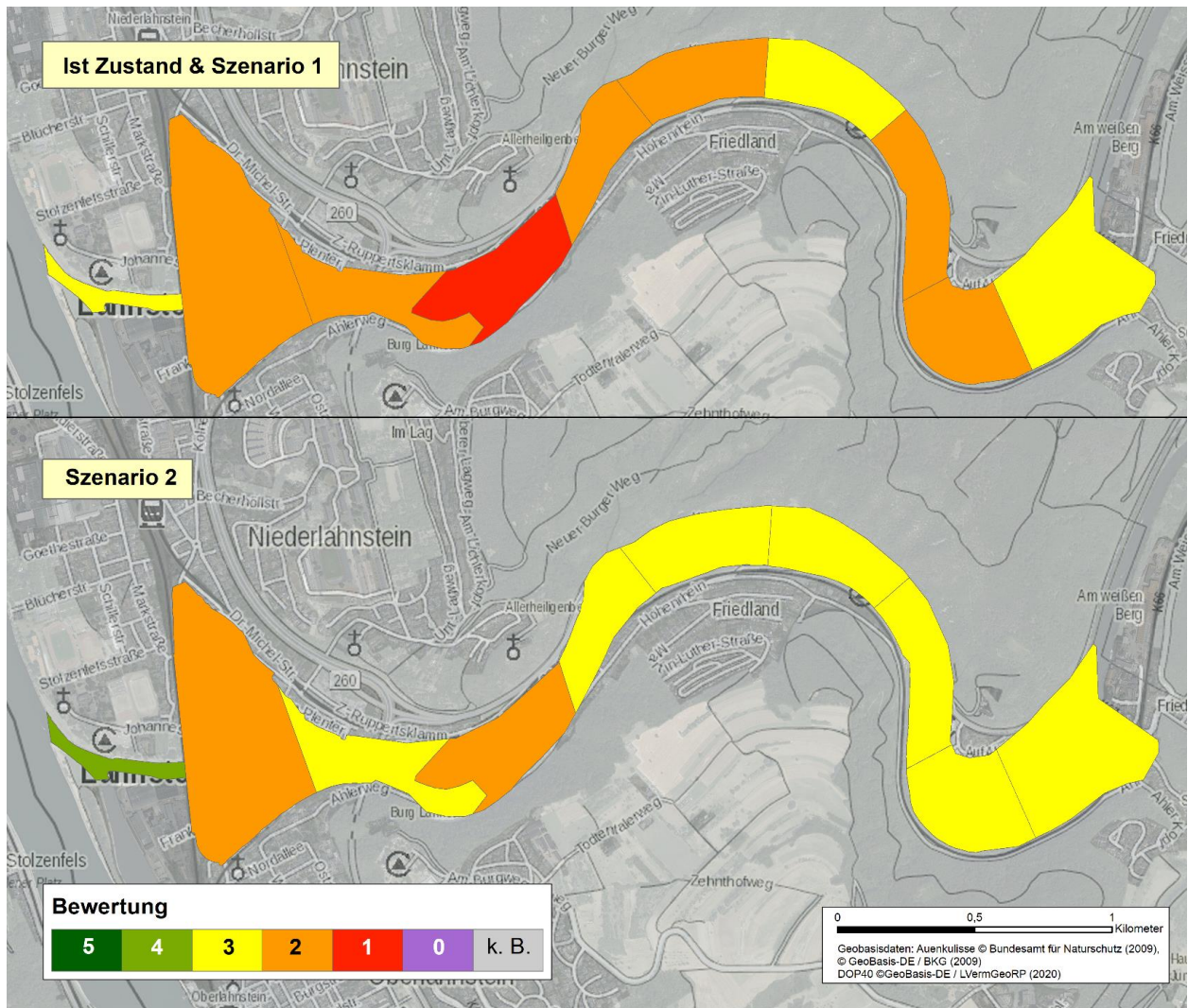


Abbildung 7-26: Bewertung der ÖSL Bildung und Wissenschaft an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **morphologische Aue**

7.4 Weitere (abiotische) Leistungen

7.4.1 ÖSL-Klasse Schifffahrt/ÖSL Motorisierte Schifffahrt

Die Bewertung für den Vergleich des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien wird wegen der Kopplung an die Daten des Gewässers nur für die Lahn selber dargestellt (Abbildung 7-27).

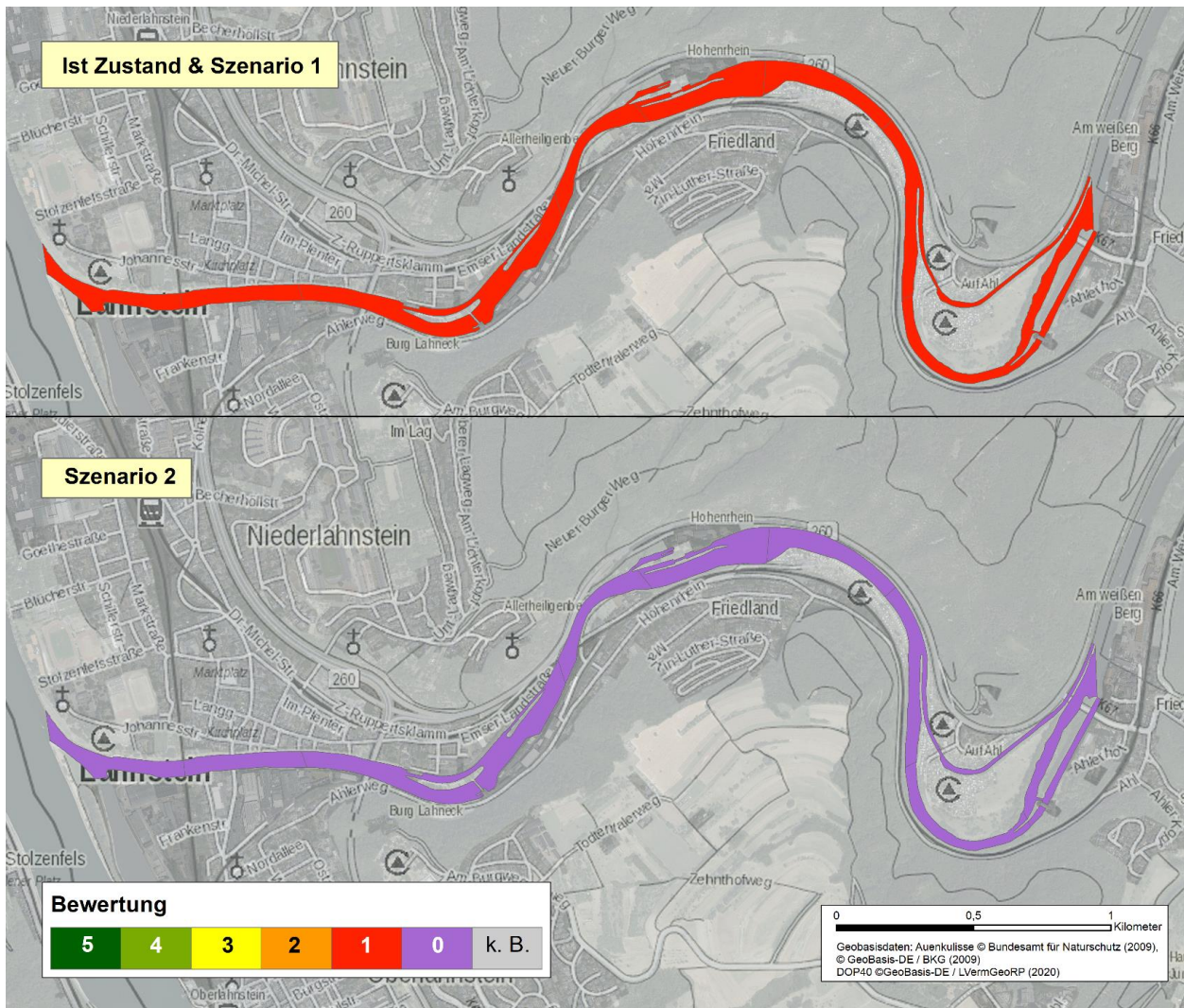


Abbildung 7-27: Bewertung der ÖSL Motorisierte Schifffahrt an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: Fluss

7.4.2 ÖSL-Klasse Energie/ÖSL Wasserkraft

Die Bewertung für den Vergleich des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien wird wegen der Kopplung an die Daten des Gewässers nur für die Lahn selber dargestellt (Abbildung 7-28).

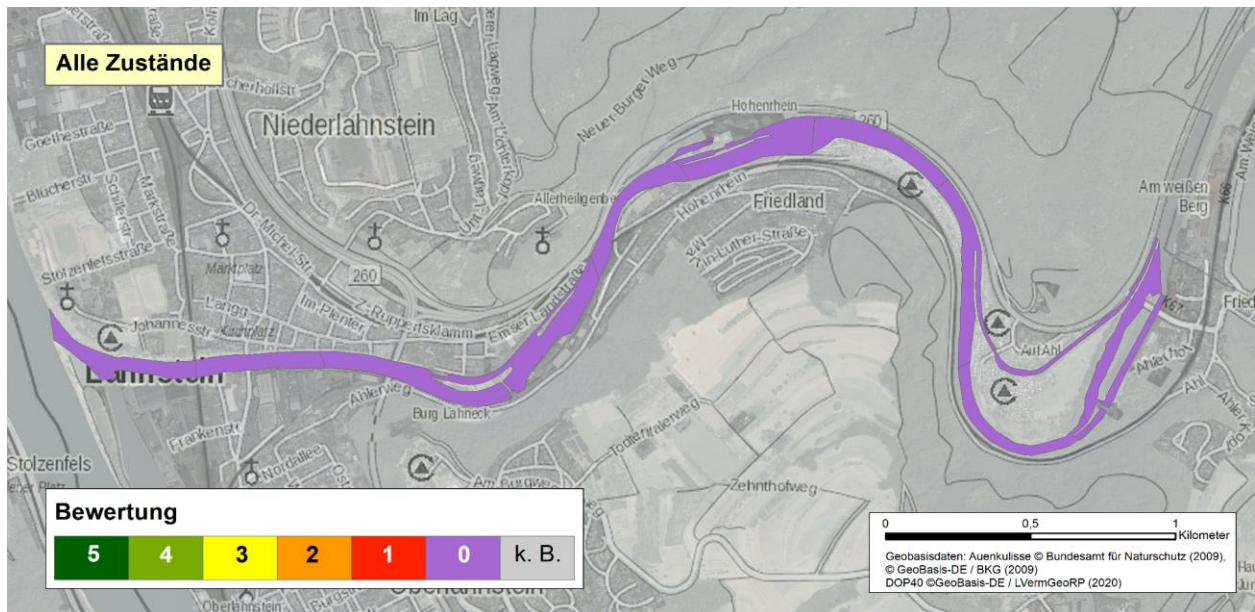


Abbildung 7-28: Bewertung der ÖSL Wasserkraft an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2 (identische Bewertungsergebnisse), Raumbezug: **Fluss**

7.5 Synopsis

Die Synopsis dient der übersichtlichen Zusammenschau aller Bewertungsergebnisse. Deshalb sind zunächst in Tabelle 7-1 (für die rezente Aue) und in Tabelle 7-2 (für die morphologische Aue) alle qualitativen Bewertungsergebnisse des Ist-Zustands und der Szenarien 1 und 2 für die Staustufe Lahnstein, detailliert für alle Auenabschnitte bzw. -segmente, aufgeführt. Die farbliche Unterlegung ermöglicht eine gute Orientierung in der Bewertungsabstufung.

Bei der Staustufe Lahnstein sind der Ist-Zustand und das Szenario 1 praktisch identisch, so dass sich auch ÖSL-bewertungsseitig keine Differenzen zeigen (identische Bewertung und Darstellung).

Die Summe der qualitativen Einzelbewertungen der Ökosystemleistungen aller Auensegmente der Staustufe ist für den Ist-Zustand sowie beide Szenarien, jeweils für die Raumbezüge rezente Aue und morphologische Aue, in Abbildung 7-29 und Abbildung 7-30 übergreifend dargestellt.

Schließlich werden die Ergebnisse der ökonomischen Bewertung in Tabelle 7-3 zusammengefasst.

Tabelle 7-1: Tabellarische Übersicht der qualitativen Bewertungen der ÖSL für den Raumbezug **rezente Aue** an der Staustufe Lahnstein, k. B. – keine Bewertung

Segment-ID	Versorgende ÖSL	Regulative ÖSL									Kulturelle ÖSL			Abiotische ÖSL		Summe	
	Bodenfruchtbarkeit/Ertragspotenzial (Indikator)	Hochwasserregulation	Niedrigwasserregulation	Sedimentregulation	Retention von Stickstoff	Retention von Phosphor	Biologische Selbstreinigung	Rückhalt von Treibhausgasen	Kühlwirkung	Habitatbereitstellung	Landschaftsästhetik	Erholung und Tourismus	Bildung & Wissenschaft	Motorisierte Schifffahrt	Wasserkraft		
Ist-Zustand & Szenario 1	LHN-R001	k. B.	3	1	1	5	1	1	0	5	3	2	3	3	1	0	29
	LHN-R002	0	3	1	1	2	1	1	3	3	1	2	2	2	1	0	23
	LHN-R003	0	3	1	1	4	1	1	2	4	1	2	2	3	1	0	26
	LHN-R004	2	3	1	1	5	1	1	1	5	2	3	3	2	1	0	31
	LHN-R005	3	3	5	1	5	1	2	2	5	2	3	3	2	1	0	38
	LHN-R006	3	2	5	1	5	1	2	1	5	2	3	3	2	1	0	36
	LHN-R007	1	3	5	1	5	1	1	2	5	2	3	3	2	1	0	35
	LHN-R008	1	3	5	1	5	1	1	2	5	2	3	3	2	1	0	35
	LHN-R009	2	3	5	1	4	1	2	2	5	2	3	3	2	1	0	36
	LHN-R010	4	3	1	2	5	2	2	2	5	3	3	3	3	1	0	39
	Summe	16	29	30	11	45	11	14	17	47	20	27	28	23	10	0	328
Mittelwert	1,8	2,9	3,0	1,1	4,5	1,1	1,4	1,7	4,7	2,0	2,7	2,8	2,3	1,0	0,0	32,8	
Szenario 2	LHN-R001	0	5	4	4	5	4	4	1	5	4	2	3	4	0	0	45
	LHN-R002	0	5	4	4	3	4	4	3	3	1	2	2	2	0	0	37
	LHN-R003	0	5	4	4	5	4	4	2	4	2	2	2	3	0	0	41
	LHN-R004	0	4	4	4	5	4	4	2	4	4	3	3	4	0	0	45
	LHN-R005	0	4	4	4	5	4	4	2	4	4	3	3	4	0	0	45
	LHN-R006	0	4	4	4	5	4	4	3	4	4	3	3	4	0	0	46
	LHN-R007	0	4	4	4	5	4	4	3	4	3	3	3	3	0	0	44

Segment-ID	Versorgende ÖSL	Regulative ÖSL									Kulturelle ÖSL			Abiotische ÖSL		Summe
	Bodenfruchtbarkeit/Ertragspotenzial (Indikator)	Hochwasserregulation	Niedrigwasserregulation	Sedimentregulation	Retention von Stickstoff	Retention von Phosphor	Biologische Selbstreinigung	Rückhalt von Treibhausgasen	Kühlwirkung	Habitatbereitstellung	Landschaftsästhetik	Erholung und Tourismus	Bildung & Wissensschaft	Motorisierte Schifffahrt	Wasserkraft	
LHN-R008	0	4	4	4	5	4	4	2	4	3	3	3	3	0	0	43
LHN-R009	0	5	4	4	5	4	4	3	4	3	3	3	3	0	0	45
LHN-R010	0	4	4	4	5	4	4	3	5	4	3	3	4	0	0	47
Summe	0	44	40	40	48	40	40	24	41	32	27	28	34	0	0	438
Mittelwert	0	4,4	4,0	4,0	4,8	4,0	4,0	2,4	4,1	3,2	2,7	2,8	3,4	0,0	0,0	43,8

Tabelle 7-2: Tabellarische Übersicht der qualitativen Bewertungen der ÖSL für den Raumbezug **morphologische Aue** an der Staustufe Lahnstein, k. B. – keine Bewertung

Segment-ID	Versorgende ÖSL	Regulative ÖSL									Kulturelle ÖSL			Abiotische ÖSL		Summe	
	Bodenfruchtbarkeit/Ertragspotenzial (Indikator)	Hochwasserregulation	Niedrigwasserregulation	Sedimentregulation	Retention von Stickstoff	Retention von Phosphor	Biologische Selbstreinigung	Rückhalt von Treibhausgasen	Kühlwirkung	Habitatbereitstellung	Landschaftsästhetik	Erholung und Tourismus	Bildung & Wissenschaft	Motorisierte Schifffahrt	Wasserkraft		
Ist-Zustand & Szenario 1	LHN-R001	k. B.	3	1	1	5	1	1	0	5	3	2	3	3	1	0	29
	LHN-R002	0	3	1	1	2	1	1	3	3	1	2	2	2	1	0	23
	LHN-R003	1	3	1	1	4	1	1	2	4	2	2	2	2	1	0	27
	LHN-R004	1	3	1	1	4	1	1	2	4	1	2	2	1	1	0	25
	LHN-R005	2	3	5	1	4	2	2	3	4	2	2	2	2	1	0	35
	LHN-R006	3	2	5	1	4	2	2	2	5	2	3	3	2	1	0	37
	LHN-R007	2	3	5	1	4	2	1	3	5	3	3	3	3	1	0	39
	LHN-R008	2	3	5	1	4	2	1	2	5	2	3	3	2	1	0	36
	LHN-R009	2	3	5	1	4	1	2	3	4	2	3	3	2	1	0	36
	LHN-R010	2	3	1	2	4	2	2	3	5	3	3	3	3	1	0	37
	Summe	15	29	30	11	39	15	14	23	44	21	25	26	22	10	0	324
Mittelwert	1,7	2,9	3,0	1,1	3,9	1,5	1,4	2,3	4,4	2,1	2,5	2,6	2,2	1,0	0,0	32,4	
Szenario 2	LHN-R001	k. B.	5	4	4	5	4	4	1	5	4	2	3	4	0	0	45
	LHN-R002	0	5	4	4	3	4	4	3	3	1	2	2	2	0	0	37
	LHN-R003	0	5	4	4	4	4	4	2	4	2	2	2	3	0	0	40
	LHN-R004	1	4	4	4	4	4	4	3	3	2	2	2	2	0	0	39
	LHN-R005	1	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	2	3	0	0	42
	LHN-R006	2	4	4	4	5	4	4	3	3	3	3	3	3	0	0	45
	LHN-R007	2	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	0	0	45

Segment-ID	Versorgende ÖSL	Regulative ÖSL									Kulturelle ÖSL			Abiotische ÖSL		Summe
	Bodenfruchtbarkeit/Ertragspotenzial (Indikator)	Hochwasserregulation	Niedrigwasserregulation	Sedimentregulation	Retention von Stickstoff	Retention von Phosphor	Biologische Selbstreinigung	Rückhalt von Treibhausgasen	Kühlwirkung	Habitatbereitstellung	Landschaftsästhetik	Erholung und Tourismus	Bildung & Wissenschaft	Motorisierte Schifffahrt	Wasserkraft	
LHN-R008	1	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	0	0	44
LHN-R009	0	5	4	4	5	4	4	3	4	3	3	3	3	0	0	45
LHN-R010	1	4	4	4	4	4	4	3	5	3	3	3	3	0	0	45
Summe	8	44	40	40	42	40	40	27	38	27	26	26	29	0	0	427
Mittelwert	0,9	4,4	4,0	4,0	4,2	4,0	4,0	2,7	3,8	2,7	2,6	2,6	2,9	0,0	0,0	42,7

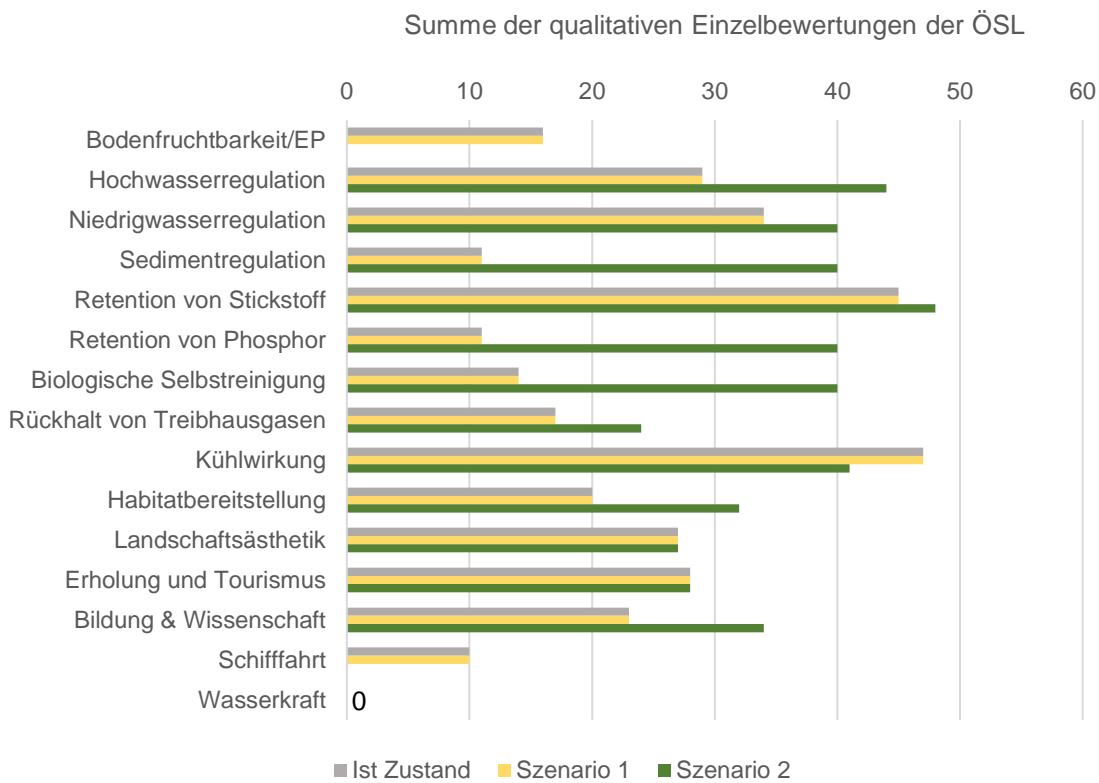


Abbildung 7-29: Summe der qualitativen Einzelbewertungen der Ökosystemleistungen aller Auensegmente für den

Raumbezug rezente Aue an der Staustufe Lahnstein

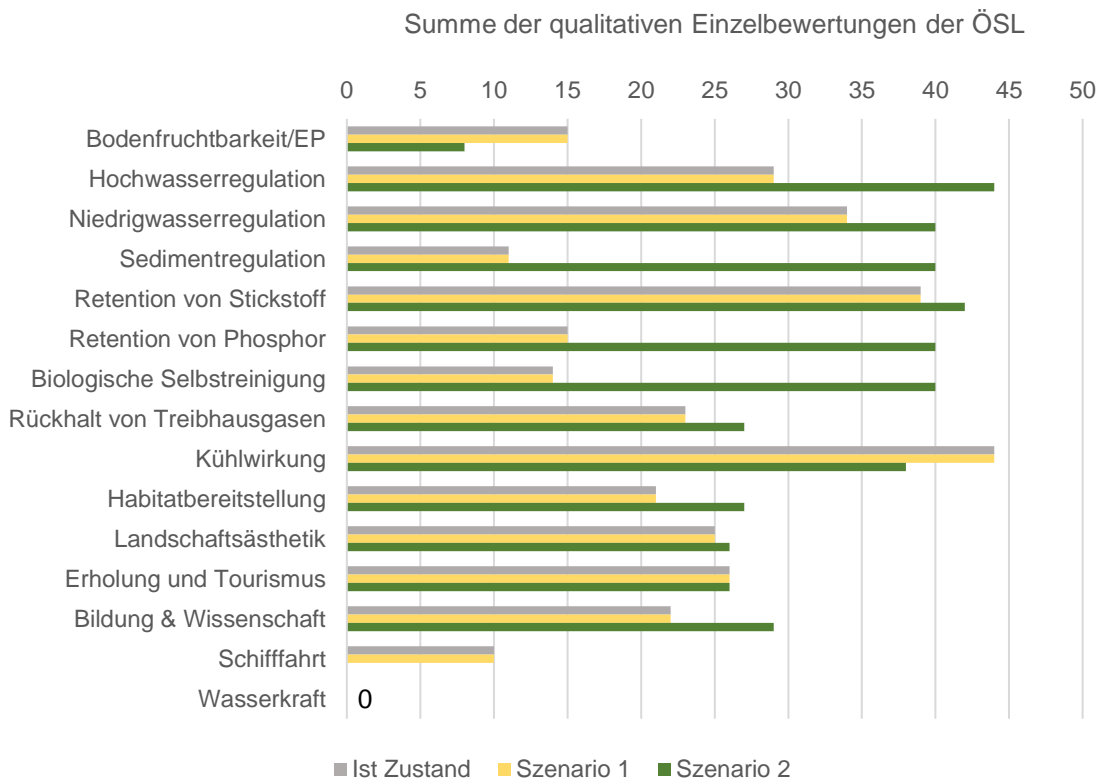


Abbildung 7-30: Summe der qualitativen Einzelbewertungen der Ökosystemleistungen aller Auensegmente für den Raumbezug **morphologischen Aue** an der Staustufe Lahnstein

Tabelle 7-3: Ökonomische Bewertung der Szenarien (Differenz zum Ist-Zustand) für die Staustufe Lahnstein (Beträge auf 100,00 € genau gerundet)

Ökosystemleistung	Differenz zum Ist-Zustand	
	Szenario 1	Szenario 2
<i>Kulturpflanzen (auf Acker- und Gartenbaustandorten)</i>	0 €	0 €
<i>Pflanzliche Biomasse für den Einsatz in der Landwirtschaft (auf Grünlandstandorten)</i>	0 €	-4.400 €
<i>Pflanzliche Rohstoffe für die Verarbeitung (Waldstandorte)</i>	0 €	-119.600 €
<i>Pflanzliche Energierohstoffe aus Landwirtschaft, Kurzumtriebsplantagen, Holzwirtschaft</i>	-	-
Summe versorgende ÖSL	0 €	-124.000 €
<i>Hochwasserregulation</i>	0 €	18.877.000 €
<i>Niedrigwasserregulation</i>	-	-
<i>Sedimentregulation</i>	-	-
<i>Retention von Stickstoff</i>	0 €	247.200 €
<i>Retention von Phosphor</i>	0 €	10.116.000 €
<i>Biologische Selbstreinigung</i>	-	-
<i>Rückhalt von Treibhausgasen</i>	0 €	15.707.000 €
<i>Kühlwirkung</i>	-	-
<i>Habitatbereitstellung</i>	-	-
Summe regulative ÖSL	0 €	44.947.200 €
<i>Landschaftsästhetik</i>	-	-
<i>Erholung und Tourismus</i>	-	-
<i>Bildung & Wissenschaft</i>	-	-
Summe kulturelle ÖSL	-	-
<i>Motorisierte Schifffahrt</i>	0 €	-28.084.700 €
<i>Wasserkraft</i>	0 €	-7.934.000 €
Summe abiotische ÖSL	0 €	-36.018.700 €
Summe gesamt	0 €	8.804.500 €

7.6 Vergleich der Szenarien

Im Vergleich zum Ist-Zustand zeigen sich für die Staustufe Lahnstein Veränderungen der Ökosystemleistungen (ÖSL) nur beim Szenario 2 (GÖZ), da das Szenario 1 (GÖP) hier keine Relevanz hat (vgl. Kapitel 6.7). Folgende Effekte sind bei beiden Raumbezügen (rezente Aue, morphologische Aue) im Szenario 2 zu konstatieren (Abbildung 7-31 bis Abbildung 7-34):

- Wegfall der versorgenden ÖSL
- Wegfall der abiotischen ÖSL
- Sehr starke Zunahme regulativer ÖSL bei allen Auensegmenten

- Geringe Zunahme der kulturellen ÖSL bei vielen Auensegmenten; bei einzelnen Auensegmenten keine Veränderung
- Zunahme der ÖSL in der Kumulation bei allen Auensegmenten
- Grundsätzlich stärkere Auswirkung der ÖSL-Veränderungen auf der Ebene der rezenten Aue und natürlich auch auf der Ebene kleinerer Teilräume (Kompartimente auf Segmentebene, z. B. nur linke rezente Aue)

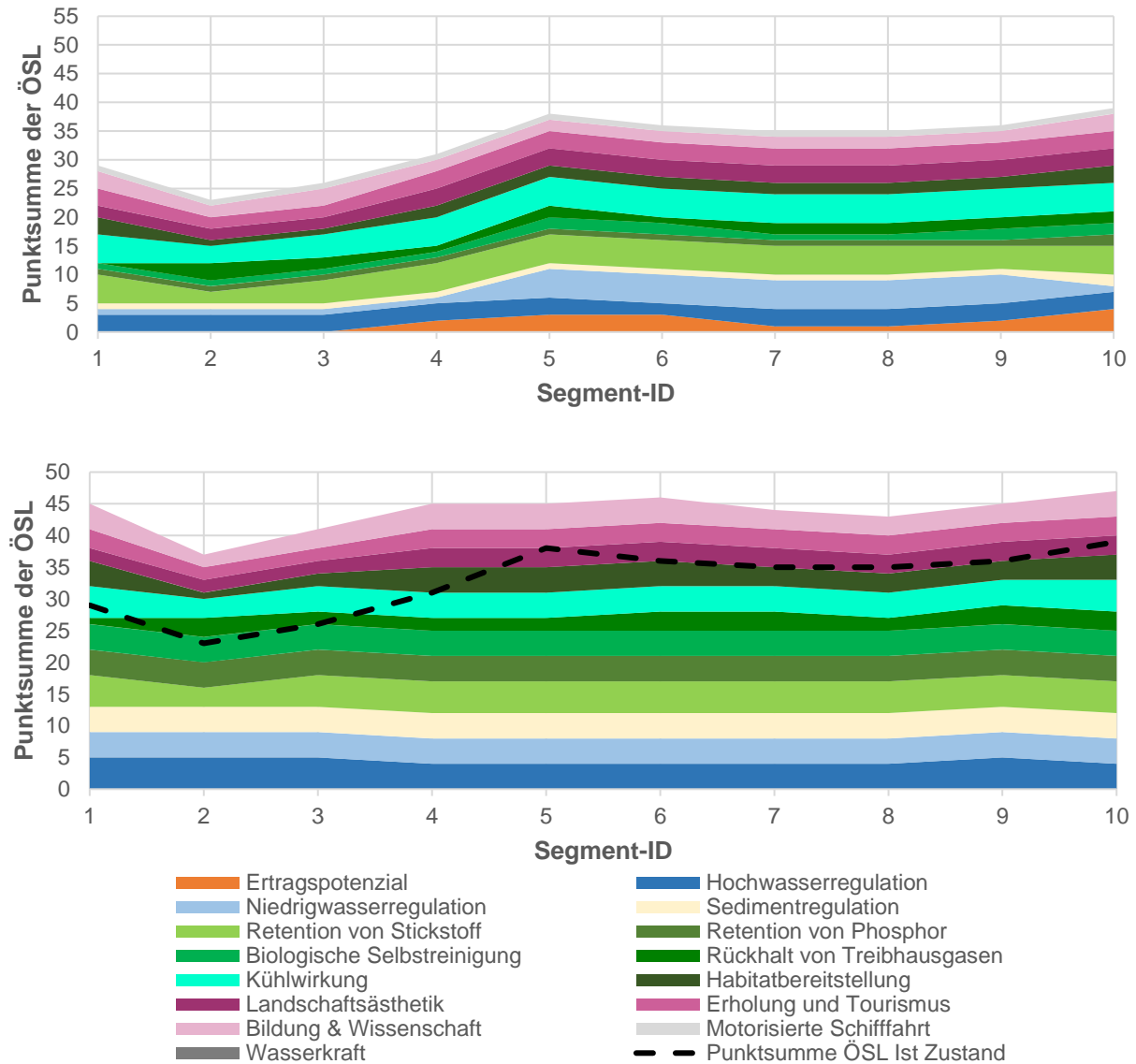


Abbildung 7-31: ÖSL-Bewertung in Einzel- sowie kumulativer Darstellung nach Auensegmenten für den Raumbezug **rezente Aue** an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand (oben, identisch mit Szenario 1) und Szenario 2 (unten), Fließrichtung der Lahn von rechts nach links

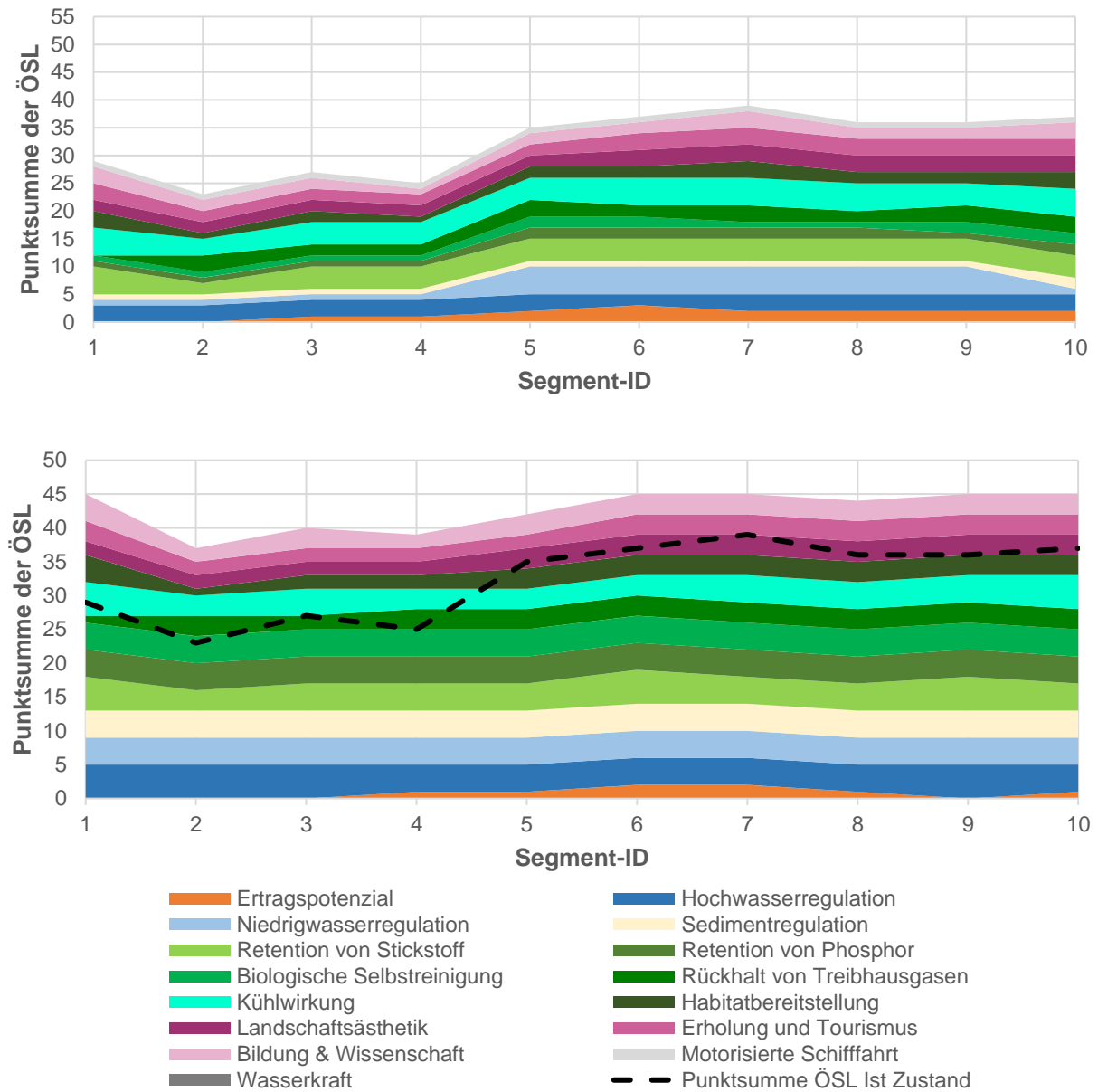


Abbildung 7-32: ÖSL-Bewertung in Einzel- sowie kumulativer Darstellung nach Auensegmenten für den Raumbezug **morphologische Aue** an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand (oben, identisch mit Szenario 1) und Szenario 2 (unten), Fließrichtung der Lahn von rechts nach links

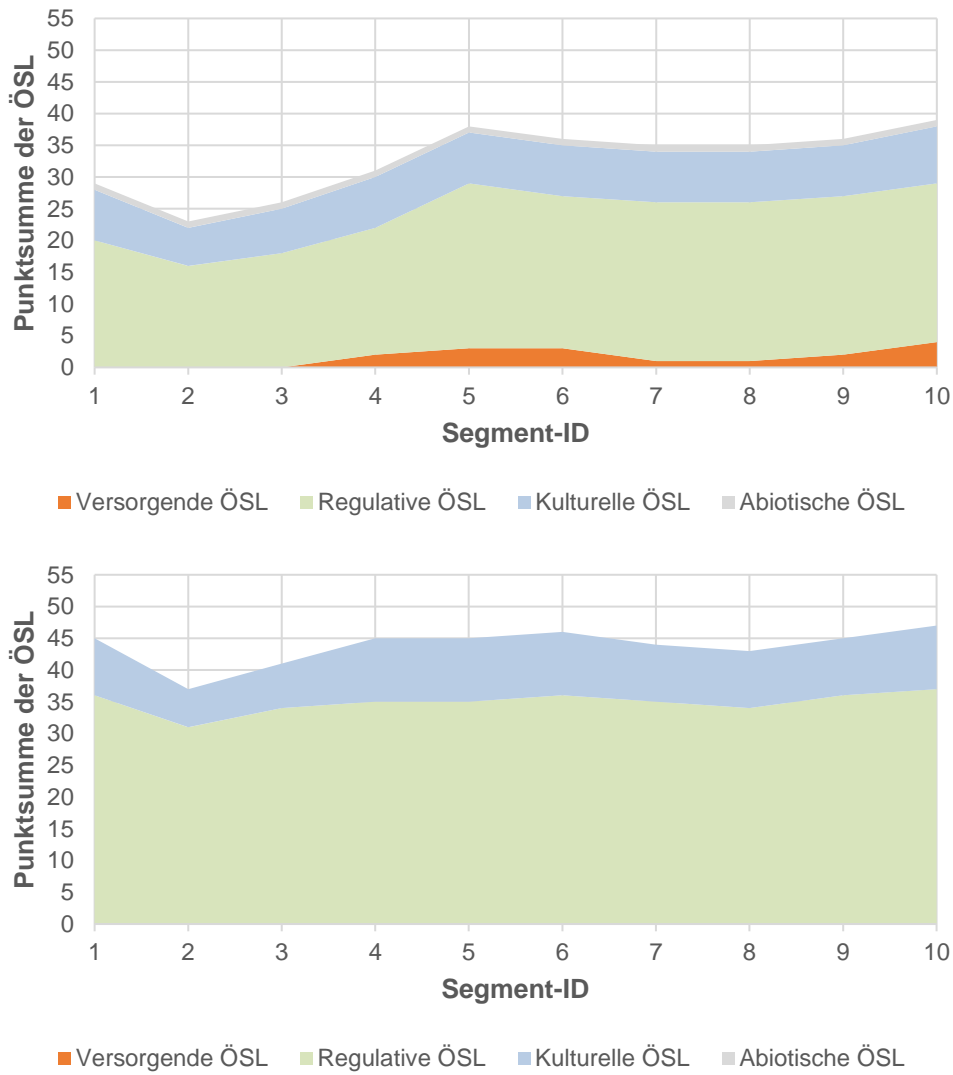


Abbildung 7-33: ÖSL-Bewertung nach ÖSL-Hauptgruppen sowie in kumulativer Darstellung nach Auensegmenten für den Raumbezug **rezente Aue** an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand (oben, identisch mit Szenario 1) und Szenario 2 (unten), Fließrichtung der Lahn von rechts nach links

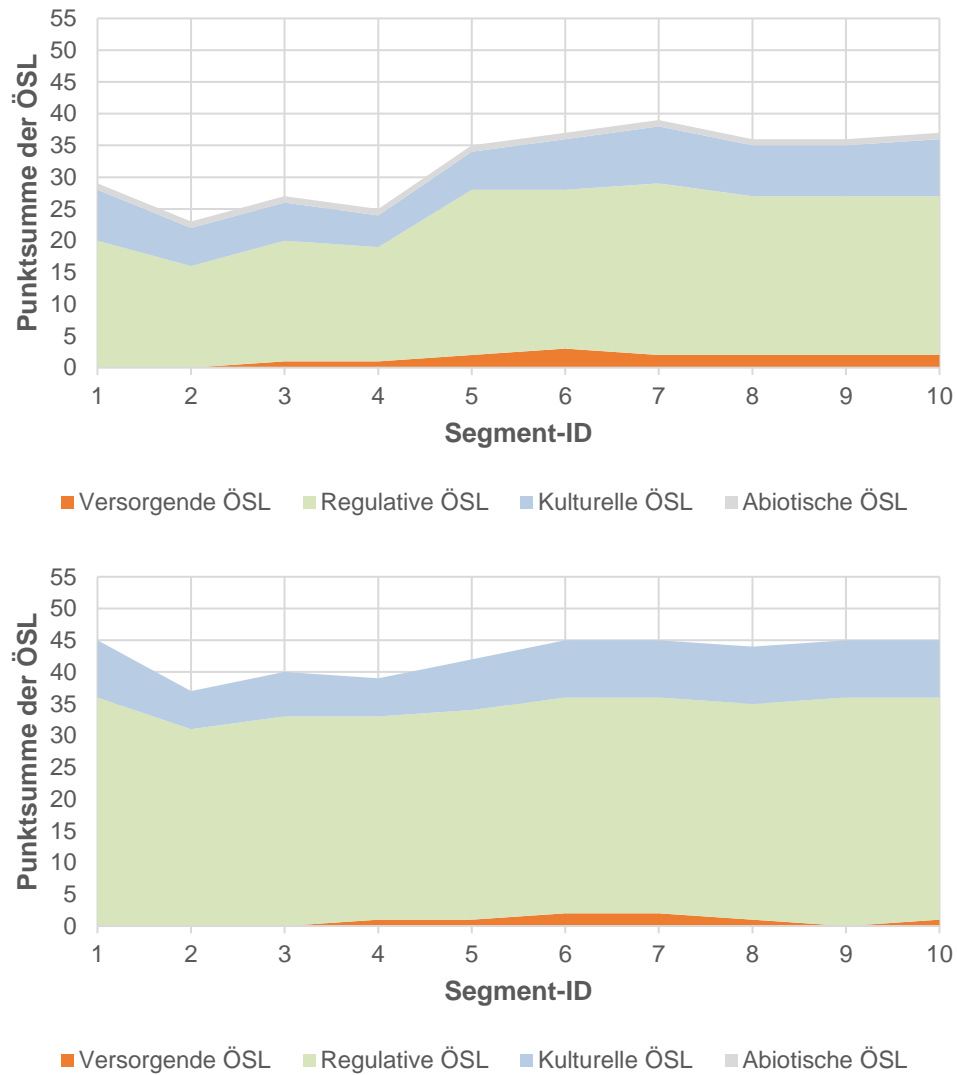


Abbildung 7-34: ÖSL-Bewertung nach ÖSL-Hauptgruppen sowie in kumulativer Darstellung nach Auensegmenten für den Raumbezug **morphologische Aue** an der Staustufe Lahnstein im Ist-Zustand (oben, identisch mit Szenario 1) und Szenario 2 (unten), Fließrichtung der Lahn von rechts nach links

8 Bewertungen der Maßnahmenoptionen an der Staustufe Kirschhofen

8.1 Versorgende Ökosystemleistungen

Auch hier gilt, dass für die Ökosystemleistungsklassen (Subgruppen) Nahrungsmittel, Rohstoffe, Energie und die entsprechenden Ökosystemleistungen (ÖSL) einheitlich auf den Indikator Bodenfruchtbarkeit bzw. als Klassifizierungsmethode auf das Ertragspotenzial der Böden gesetzt wurde. Daher werden die qualitativen, 6-stufigen ÖSL-Bewertungen nur einmal für alle drei ÖSL dargestellt. Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden dabei die Raumbezüge (1) rezente Aue (Abbildung 8-1) und (2) morphologische Aue gewählt (Abbildung 8-2) für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.

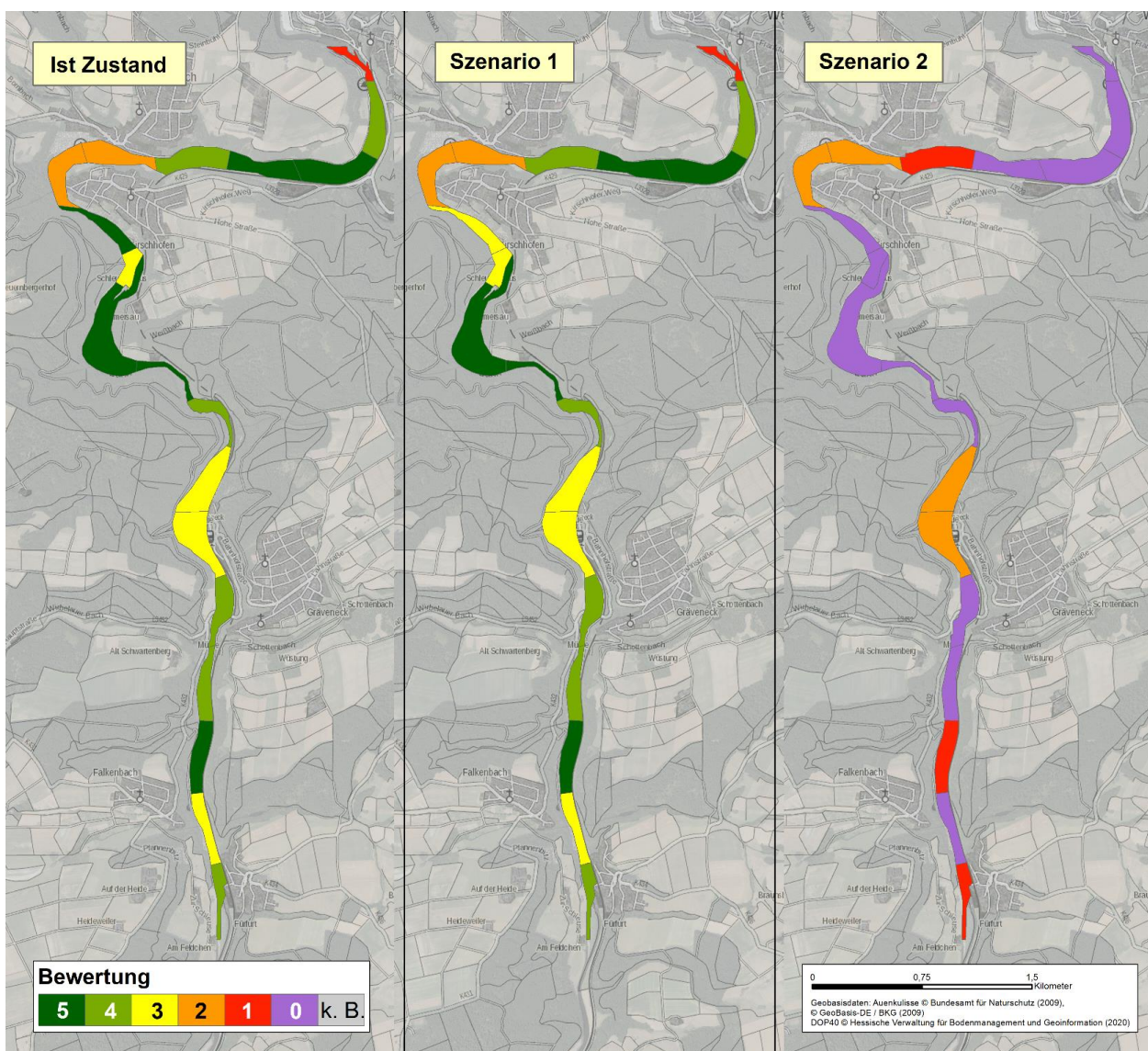


Abbildung 8-1: Bewertung des Ertragspotenzials an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: rezente Aue

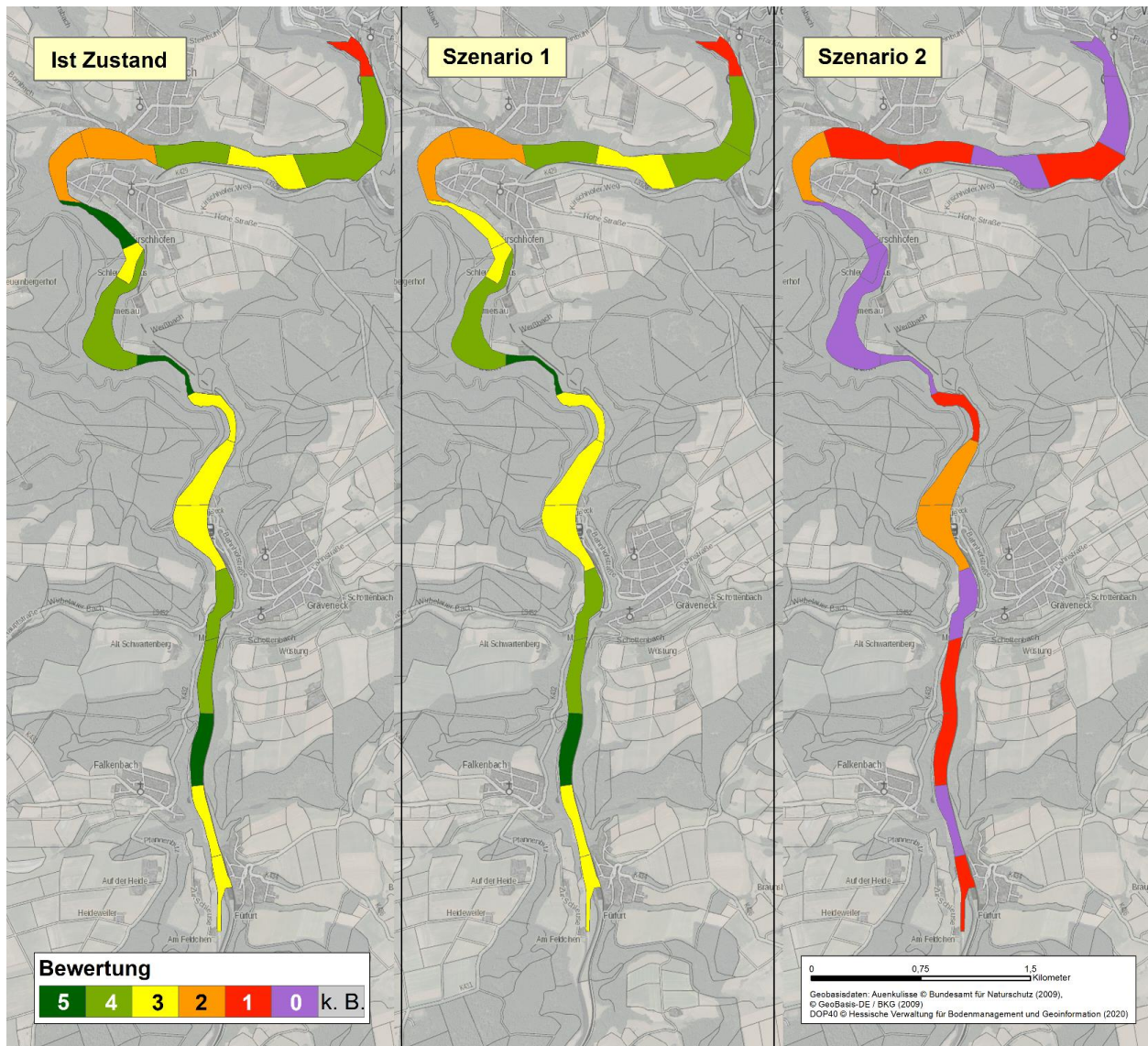


Abbildung 8-2: Bewertung des Ertragspotenzials an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **morphologische Aue**

8.2 Regulative Ökosystemleistungen

8.2.1 ÖSL-Klasse Extremabfluss

8.2.1.1 Hochwasserregulation

Die Bewertung für den Vergleich des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien wird wegen der Kopplung an mittlere und extreme Hochwasser nur für die morphologische Aue dargestellt (Abbildung 8-3).

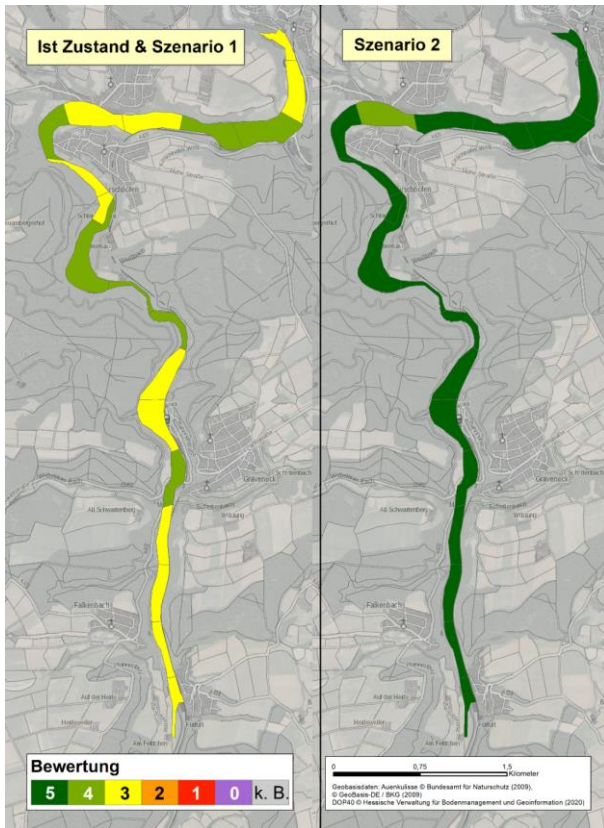


Abbildung 8-3: Bewertung der ÖSL **Hochwasserregulation** an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **morphologische Aue**

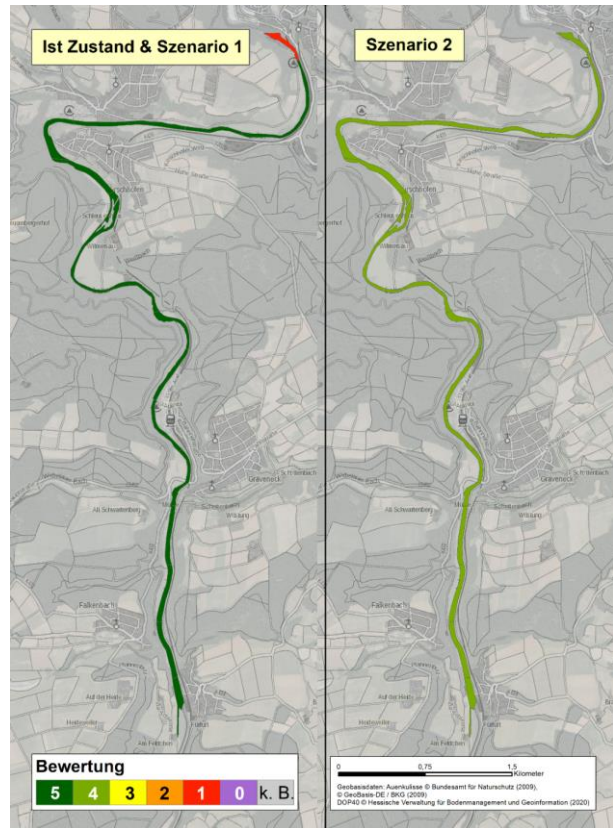


Abbildung 8-4: Bewertung der ÖSL **Niedrigwasserregulation** an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **Fluss**

8.2.1.2 Niedrigwasserregulation

Die Bewertung für den Vergleich des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien wird wegen der Kopplung an die Daten des Gewässers nur für die Lahn selber dargestellt (Abbildung 8-4).

8.2.2 ÖSL-Klasse Sedimente, Böden sowie deren Nährstoffrückhalt

8.2.2.1 Sedimentregulation

Die Bewertung für den Vergleich des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien wird wegen der Kopplung an die Daten des Gewässers nur für die Lahn selber dargestellt (Abbildung 8-5).

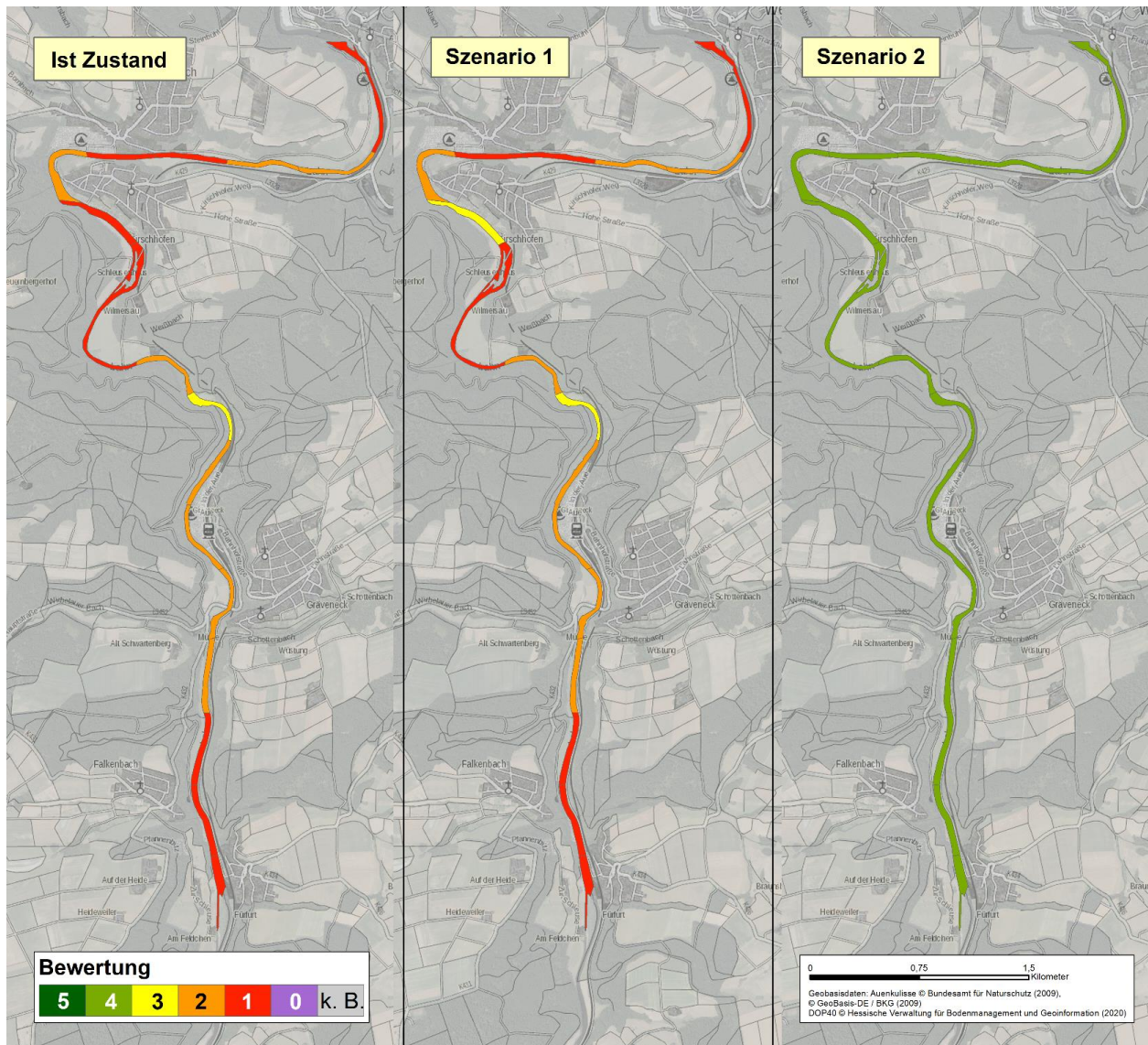


Abbildung 8-5: Bewertung der ÖSL Sedimentregulation an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: Fluss

8.2.2.2 Retention von Phosphor

Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden die Raumbezüge

- (1) rezente Aue (Abbildung 8-6) und
- (2) morphologische Aue gewählt (Abbildung 8-7)

für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.

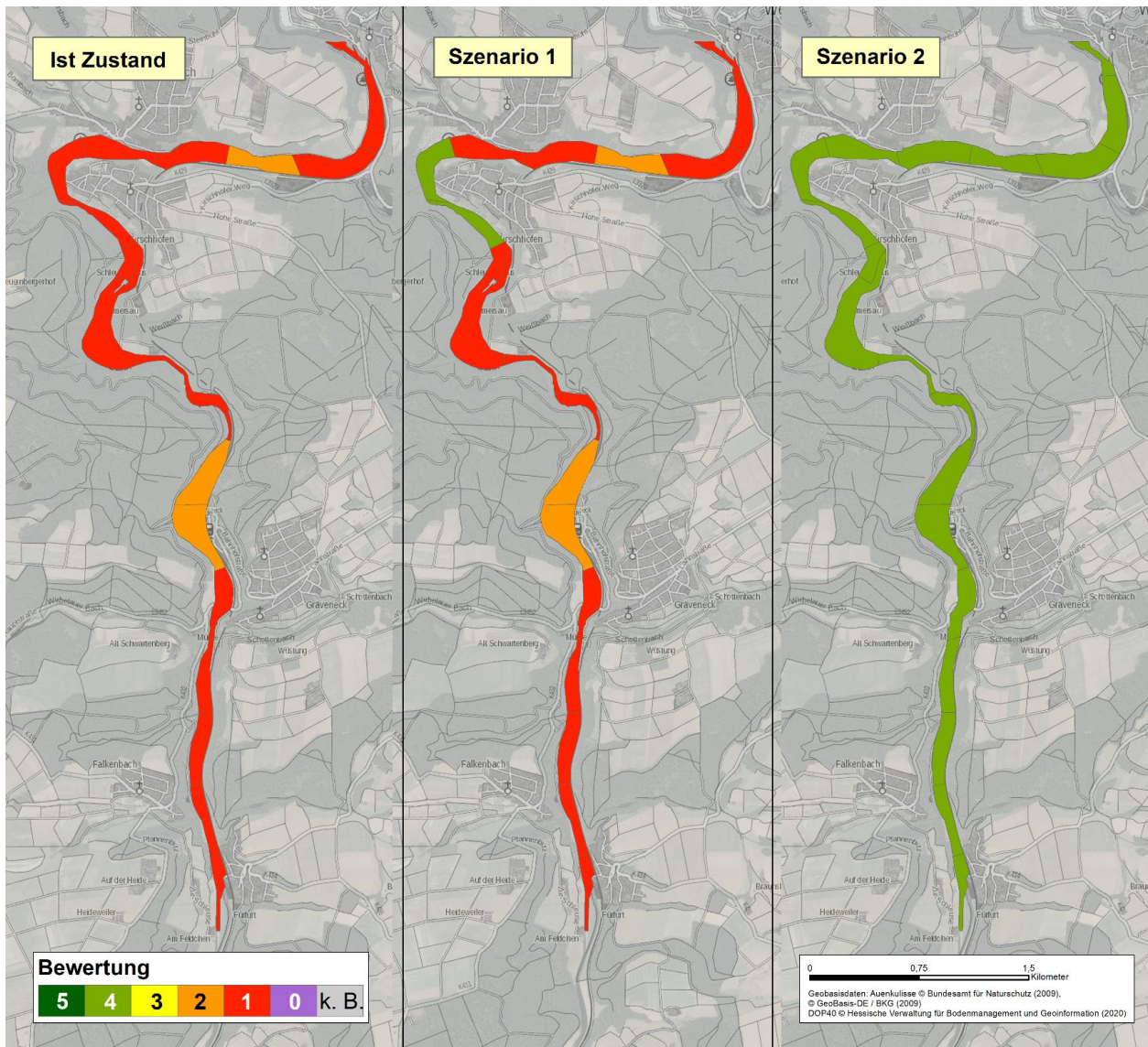


Abbildung 8-6: Bewertung der ÖSL Retention von Phosphor an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **rezente Aue**

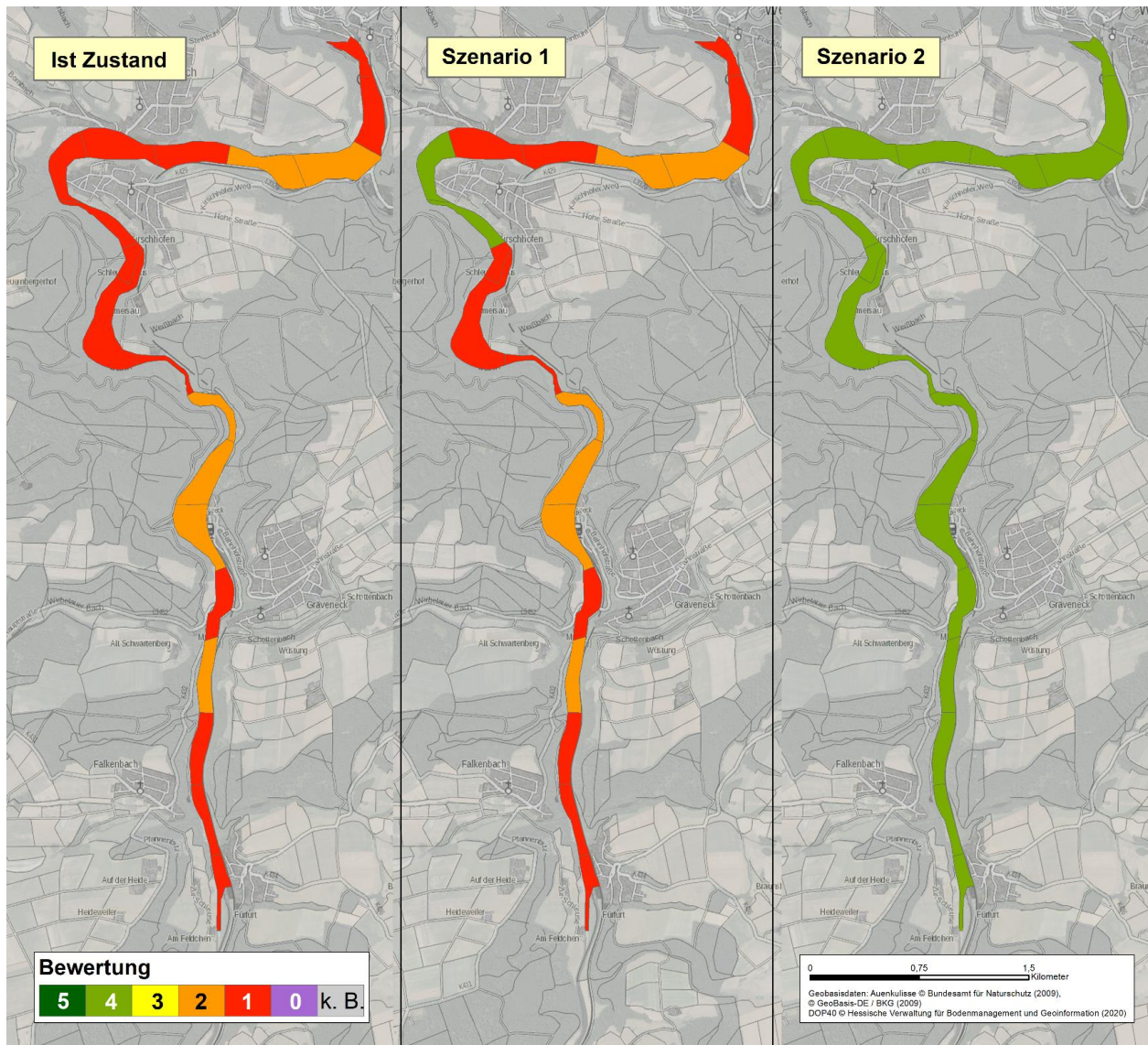


Abbildung 8-7: Bewertung der ÖSL Retention von Phosphor an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **morphologische Aue**

8.2.2.3 Retention von Stickstoff

Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden die Raumbezüge

- (1) rezente Aue (Abbildung 8-8) und
- (2) morphologische Aue gewählt (Abbildung 8-9)

für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.

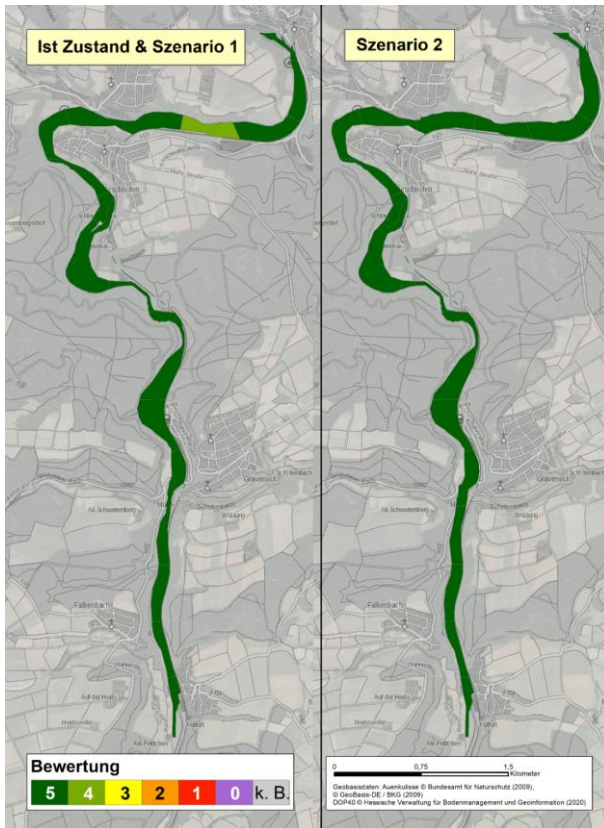


Abbildung 8-8: Bewertung der ÖSL Retention von Stickstoff an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **rezente Aue**

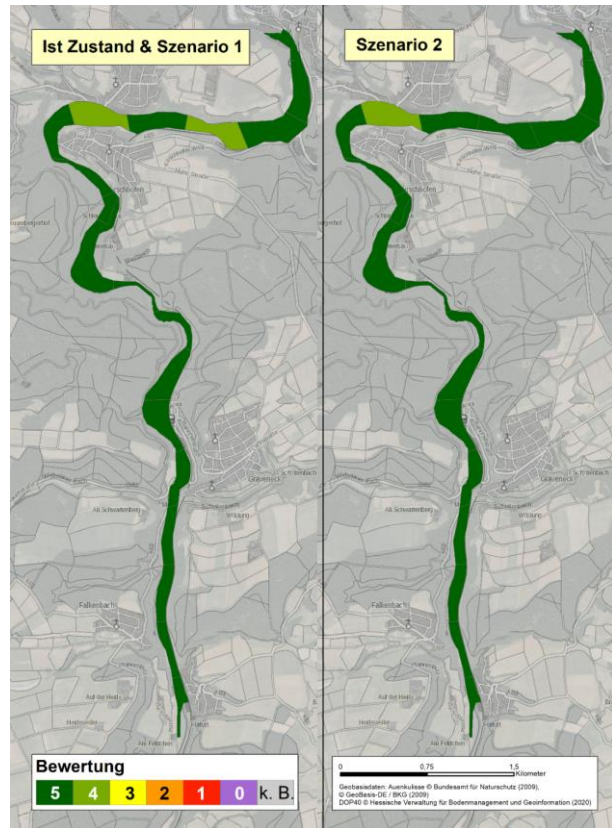


Abbildung 8-9: Bewertung der ÖSL Retention von Stickstoff an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **morphologische Aue**

8.2.3 ÖSL-Klasse Biologische Selbstreinigung

Die Bewertung für den Vergleich des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien wird wegen der Kopplung an die Daten des Gewässers nur für die Lahn selber dargestellt (Abbildung 8-10).

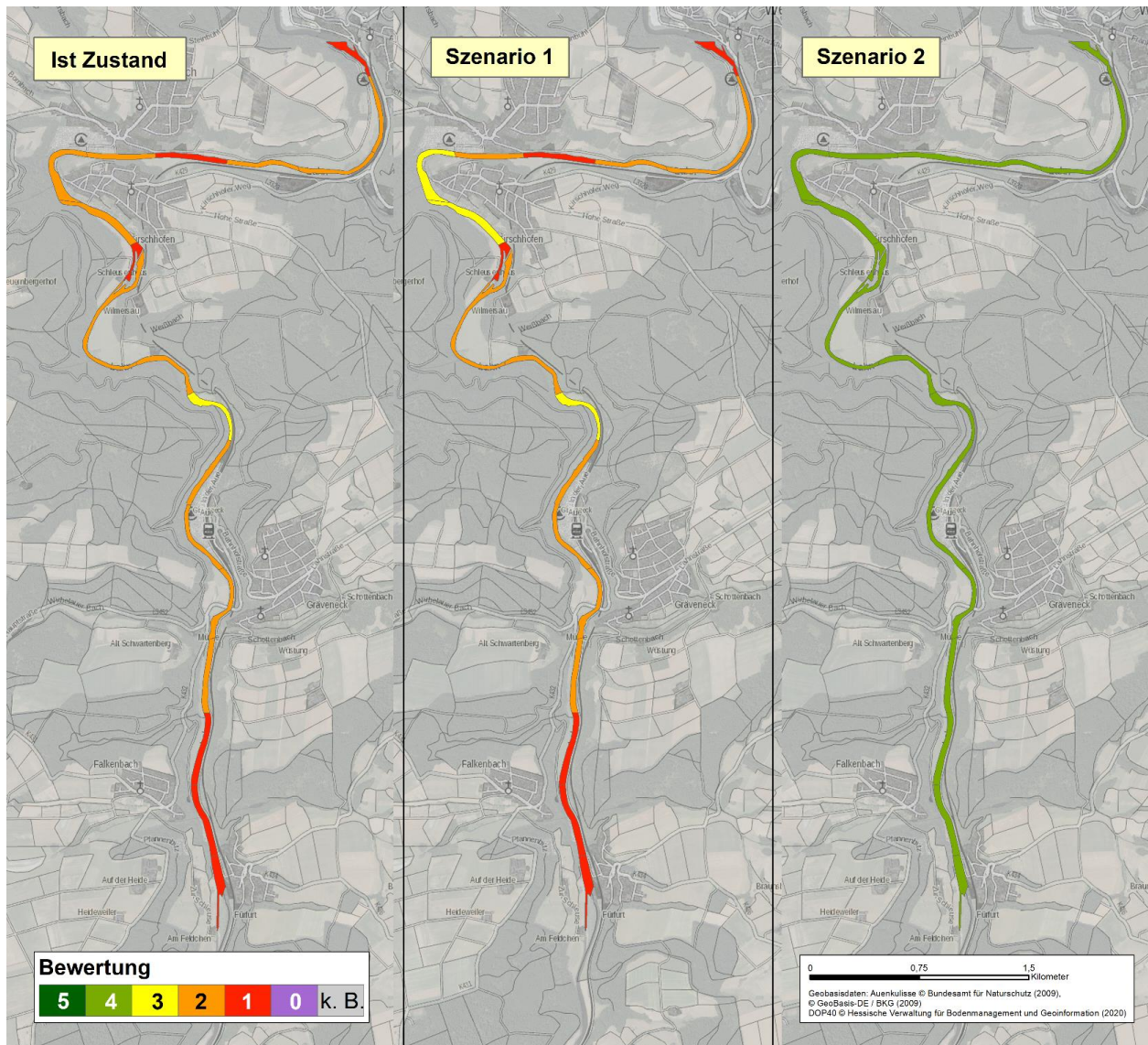


Abbildung 8-10: Bewertung der ÖSL Biologische Selbstreinigung an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **Fluss**

8.2.4 ÖSL-Klasse Globales Klima

Die Bewertung fußt auf einer Analyse des Kohlenstoffvorrates der Böden sowie der ober- und unterirdischen Biomasse bzw. seiner szenarioabhängigen Veränderung; Abbildung 8-11 zeigt exemplarisch den Ausgangszustand.

Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden die Raumbezüge

- (1) rezente Aue (Abbildung 8-12) und
- (2) morphologische Aue gewählt (Abbildung 8-13)

für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.



Abbildung 8-11: Bewertung der ÖSL Rückhalt von Treibhausgasen an der Staustufe Kirschhofen: Kohlenstoffvorrat ($t \cdot ha^{-1}$) der Böden sowie der ober- und unterirdischen Biomasse im Ist-Zustand

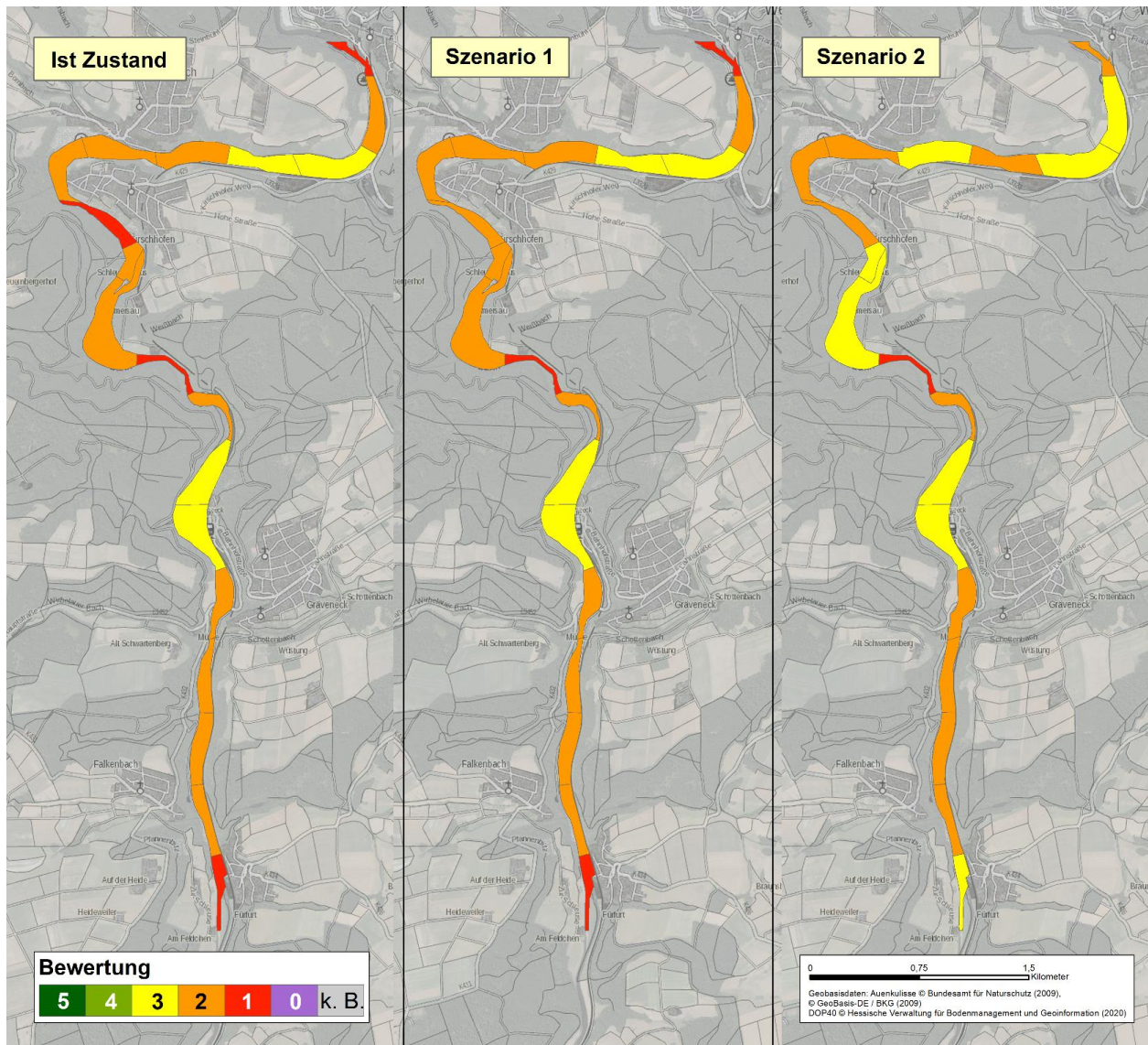


Abbildung 8-12: Bewertung der ÖSL Rückhalt von Treibhausgasen an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: rezente Aue

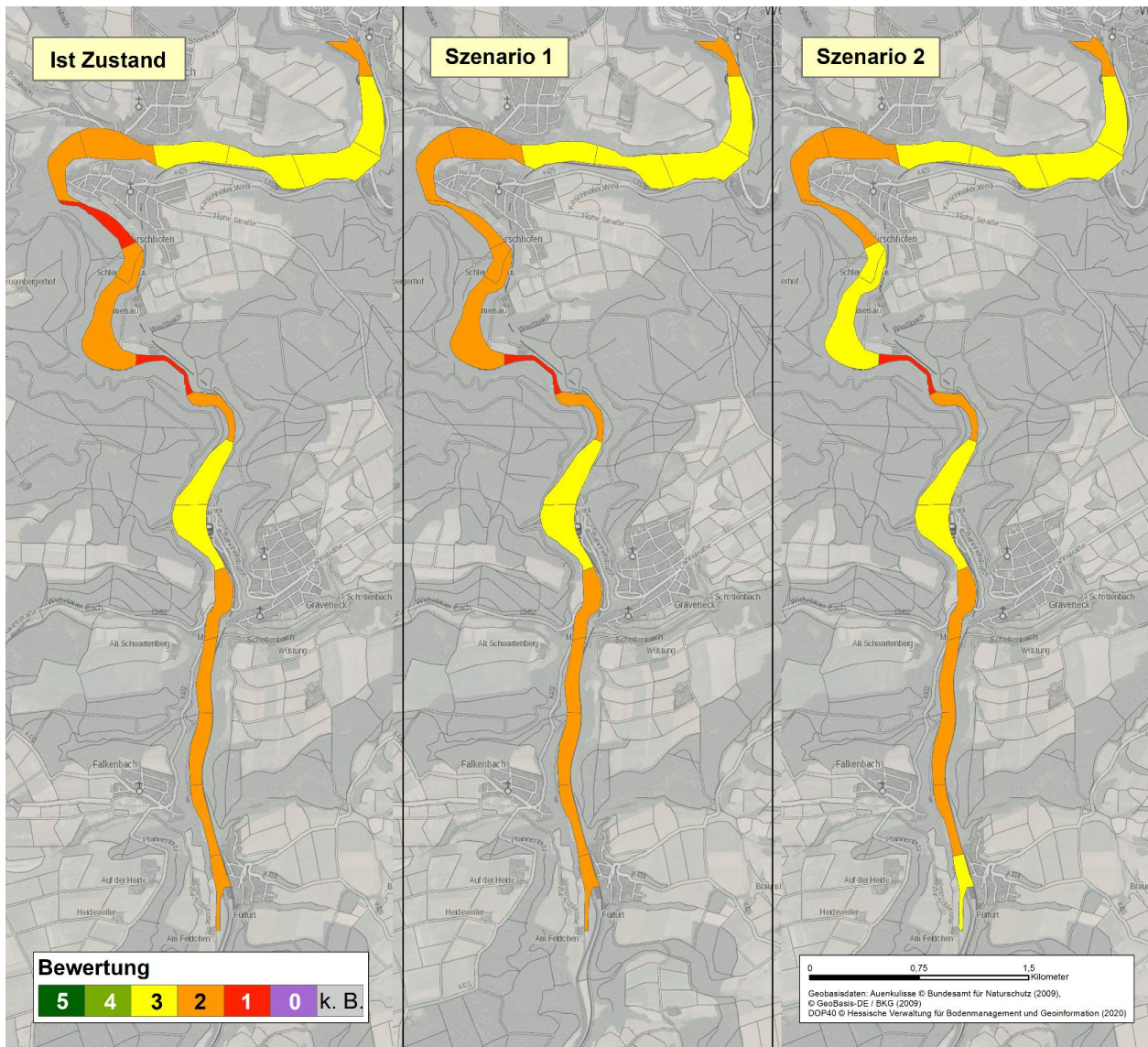


Abbildung 8-13: Bewertung der ÖSL Rückhalt von Treibhausgasen an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **morphologische Aue**

8.2.5 ÖSL-Klasse Regional-/Lokalklima

Die Bewertung fußt auf einer Analyse des Wasserhaushalts bzw. der mittleren realen Verdunstung in seiner szenarioabhängigen Veränderung; Abbildung 8-14 zeigt exemplarisch den Ausgangszustand und relevante Teilanalysen.

Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden die Raumbezüge

- (1) rezente Aue (Abbildung 8-15) und
- (2) morphologische Aue gewählt (Abbildung 8-16)

für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.

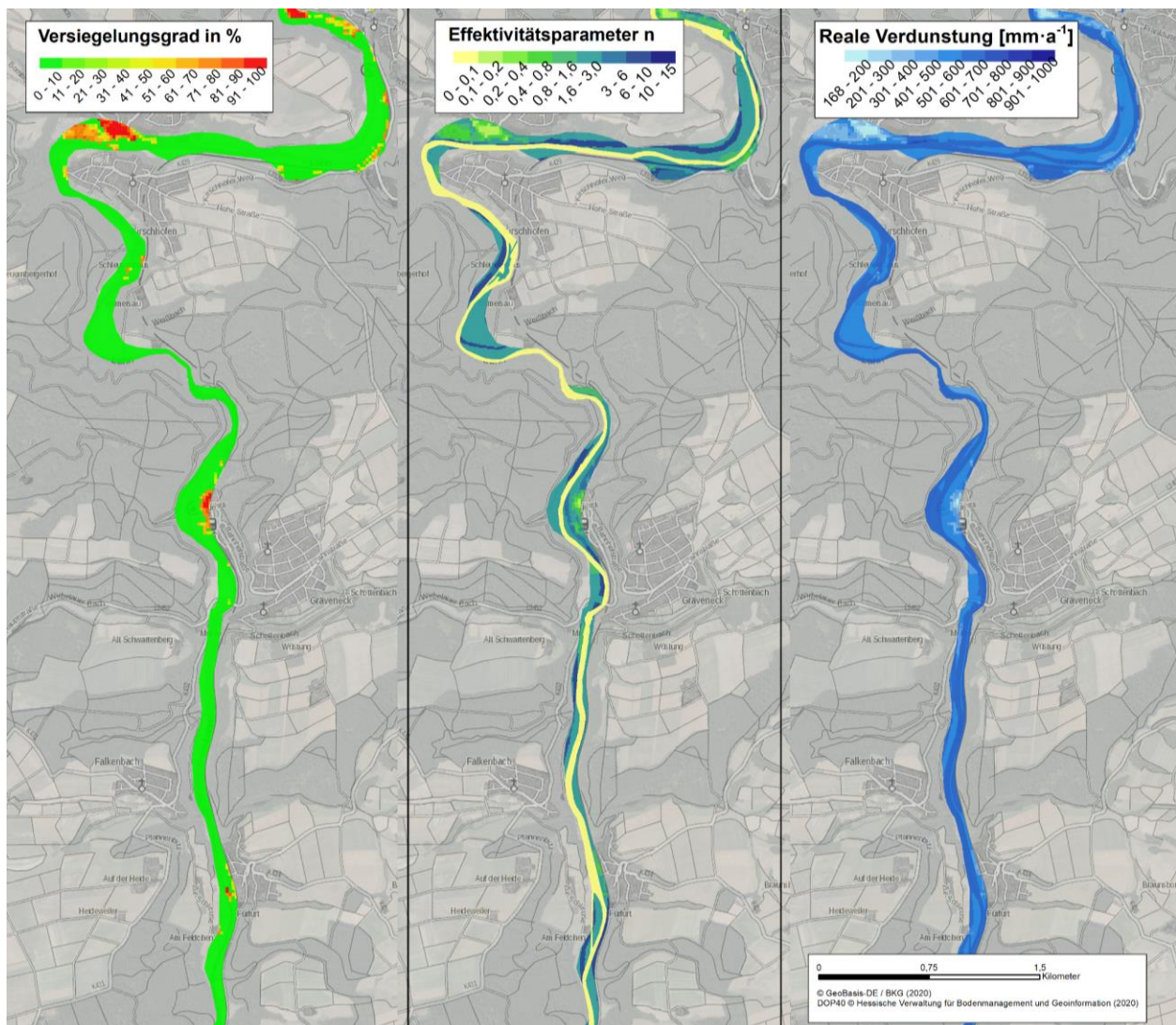


Abbildung 8-14: Ausgewählte Eingangsparameter (Versiegelungsgrad, Effektivitätsparameter) der Wasserhaushaltsberechnung und das daraus resultierende Ergebnis (Reale Verdunstung) an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand

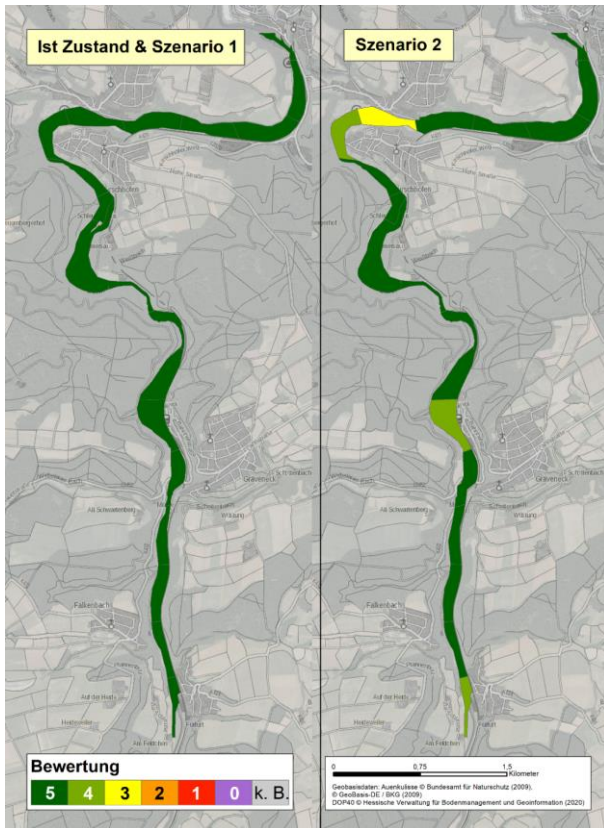


Abbildung 8-15: Bewertung der ÖSL Kühlwirkung an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **rezente Aue**

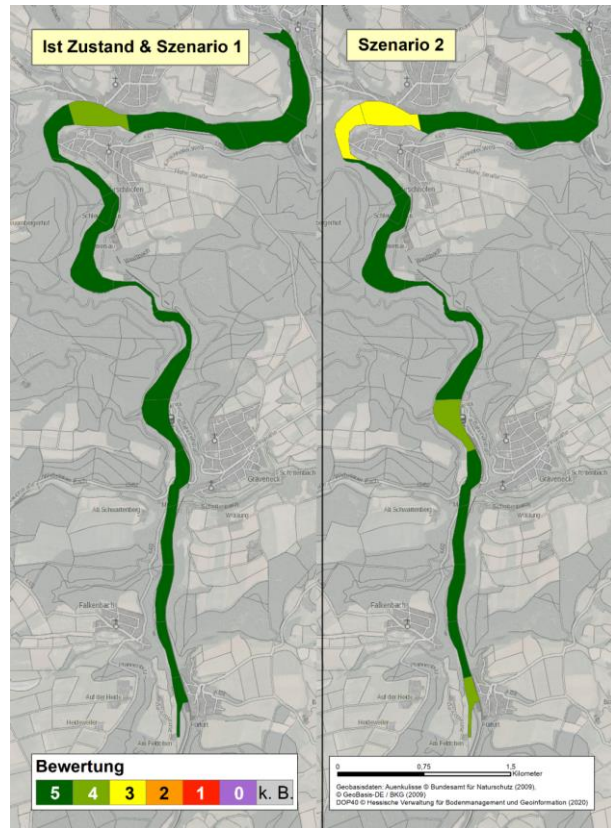


Abbildung 8-16: Bewertung der ÖSL Kühlwirkung an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **morphologische Aue**

8.2.6 ÖSL-Klasse Biologische Vielfalt

Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden die Raumbezüge

- (1) rezente Aue (Abbildung 8-17) und
- (2) morphologische Aue gewählt (Abbildung 8-18)

für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.

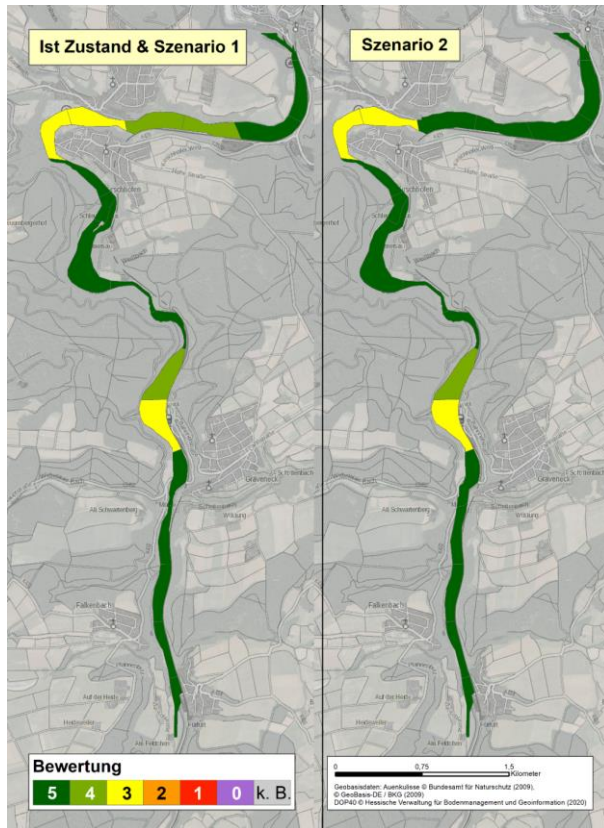


Abbildung 8-17: Bewertung der ÖSL Biologische Vielfalt an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **rezente Aue**

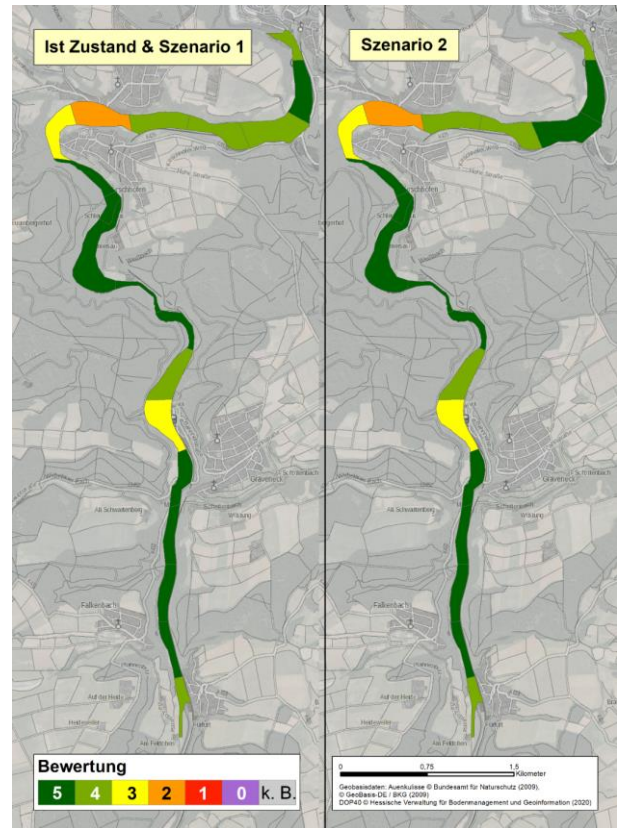


Abbildung 8-18: Bewertung der ÖSL Biologische Vielfalt an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **morphologische Aue**

8.3 Kulturelle Ökosystemleistungen

8.3.1 ÖSL-Klasse Landschaftserleben

Die Bewertung fußt auf einer Analyse der Landschaftsstrukturmaße Natürlichkeit, Reliefkontrast und Randeffect und dies in szenarioabhängiger Veränderung; Abbildung 8-19 zeigt exemplarisch den Ausgangszustand und das ÖSL-Bewertungsergebnis.

Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden die Raumbezüge

- (1) rezente Aue (Abbildung 8-20) und
- (2) morphologische Aue gewählt (Abbildung 8-21)

für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.

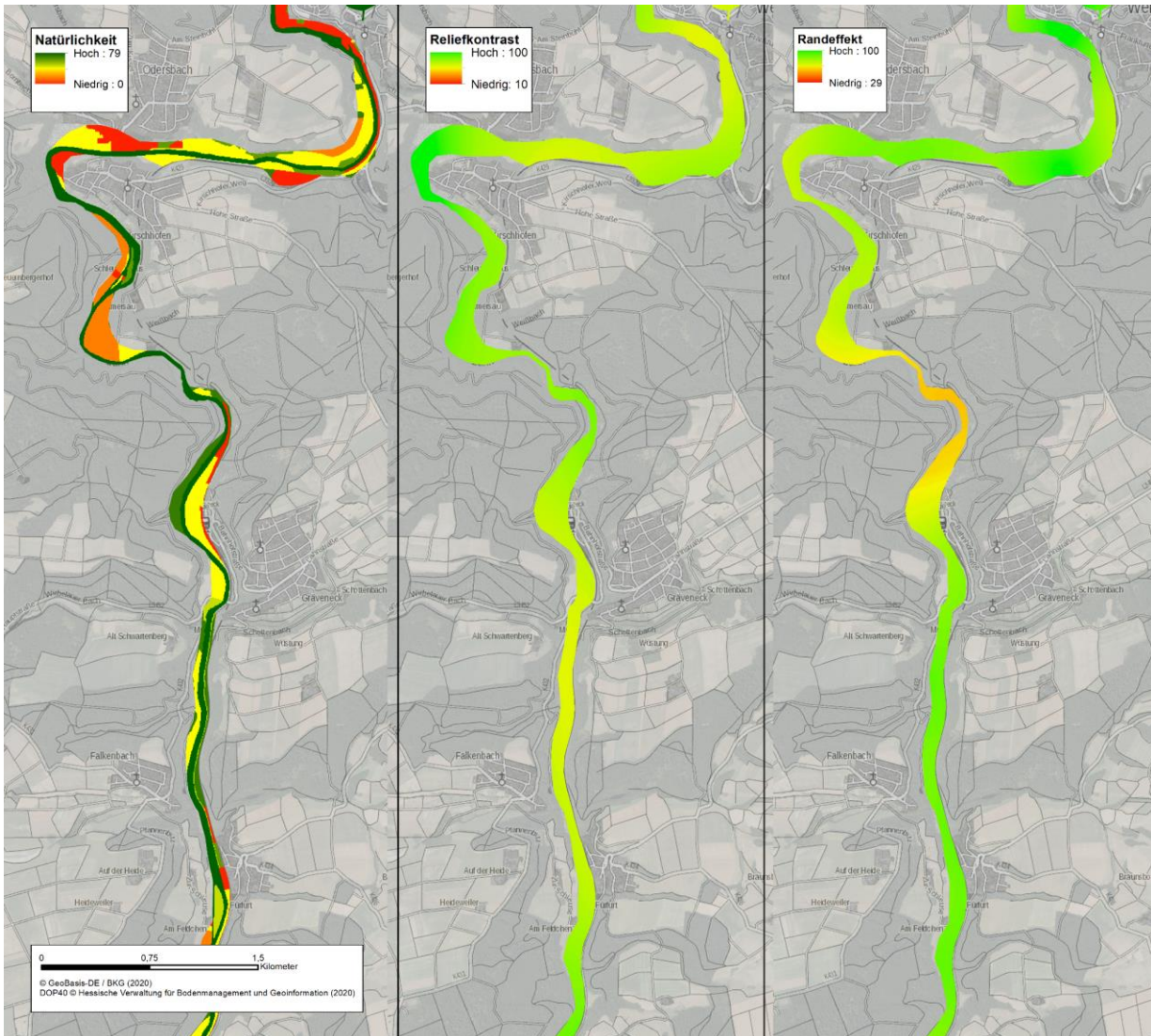


Abbildung 8-19: Landschaftsstrukturmaße Natürlichkeit, Reliefkontrast, Randeffect sowie Ergebnisbewertung der ÖSL-Berechnung Landschaftsästhetik an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand

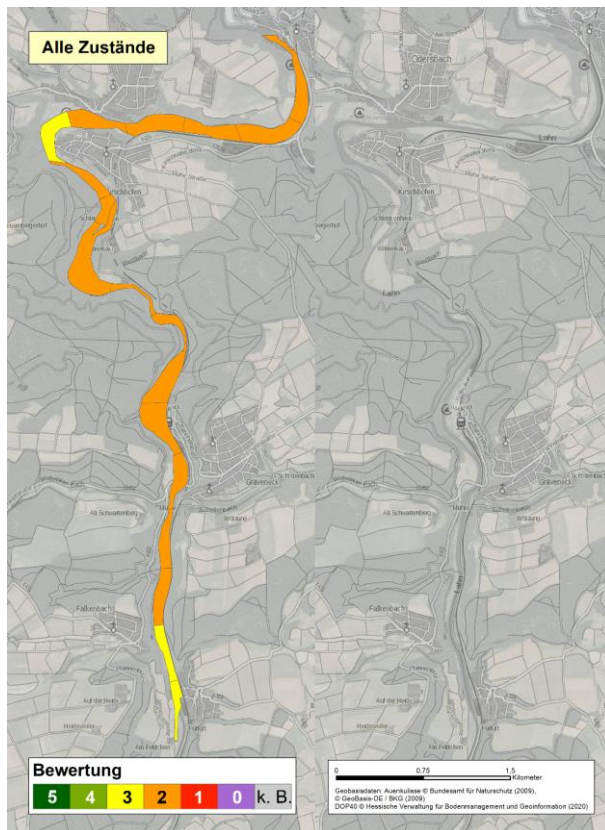


Abbildung 8-20: Bewertung der ÖSL Landschaftserleben an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **rezente Aue**

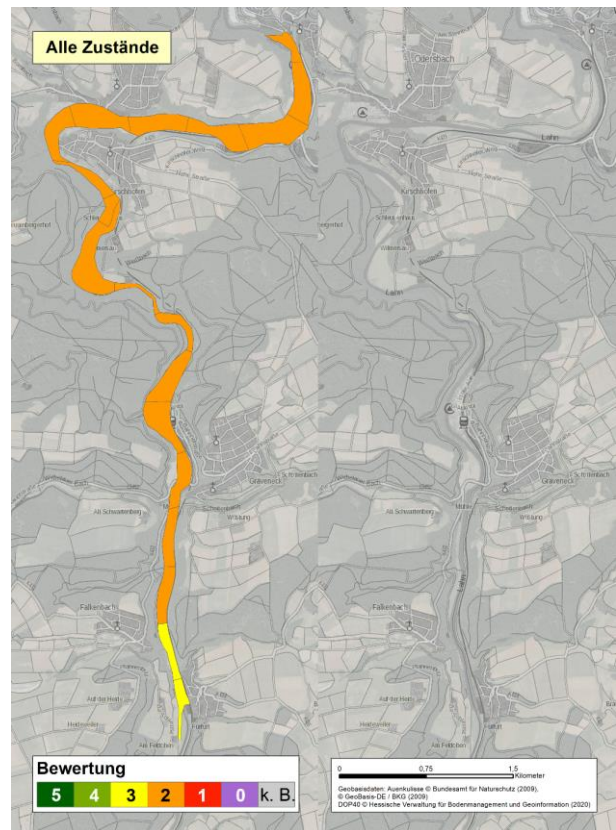


Abbildung 8-21: Bewertung der ÖSL Landschaftserleben an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **morphologische Aue**

8.3.2 ÖSL-Klasse Erholung und Tourismus

Eine Bewertung dieser Ökosystemleistung greift auf arealer Differenzierungsebene auf die Komponenten

- Ind_{Erh1}: Landschaftsbildbewertung (nur Komponente „Qualität“, entsprechende Ergebnis-/Datenübernahme der ÖSL-Bewertung) sowie
- Ind_{Erh2}: Störwirkung (störende, benachbarte Nutzungen: Lärm, Optik) zurück

und bewertet die szenarioabhängige Veränderung; Abbildung 8-22 zeigt die Ausgangsdaten exemplarisch für den Ausgangszustand.

Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden die Raumbezüge

- rezente Aue (Abbildung 8-23) und
- morphologische Aue gewählt (Abbildung 8-24)

für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.

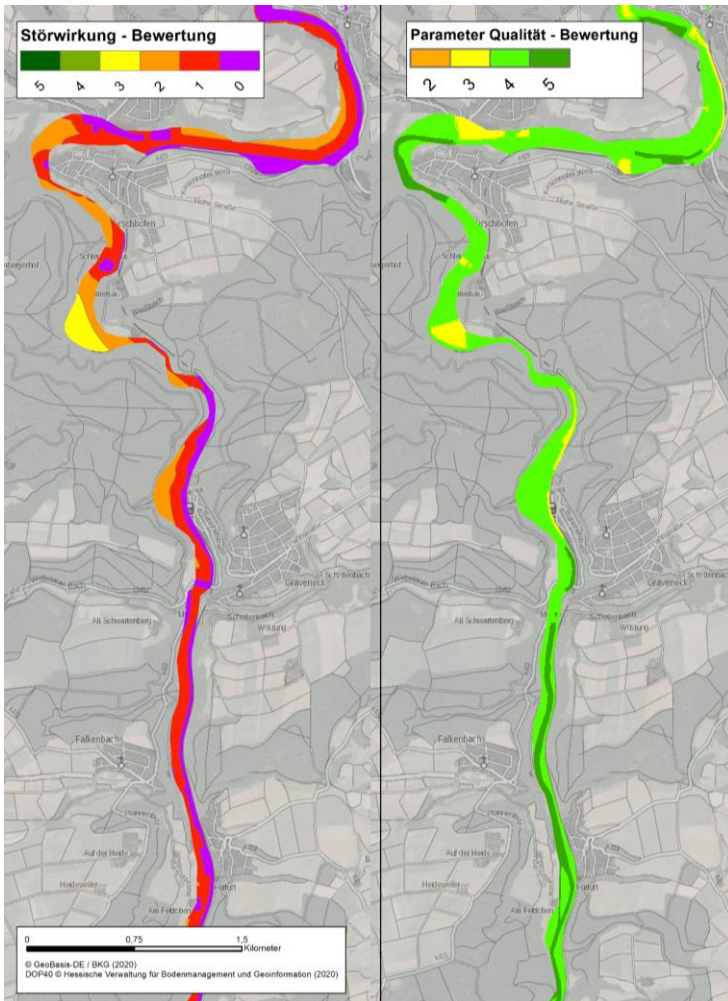


Abbildung 8-22: Eingangsparameter (Störwirkung, Landschaftsbildbewertung/Hauptbewertungskomponente: Qualität) der ÖSL-Berechnung Erholung und Tourismus an der Staustufe Kirschhofen

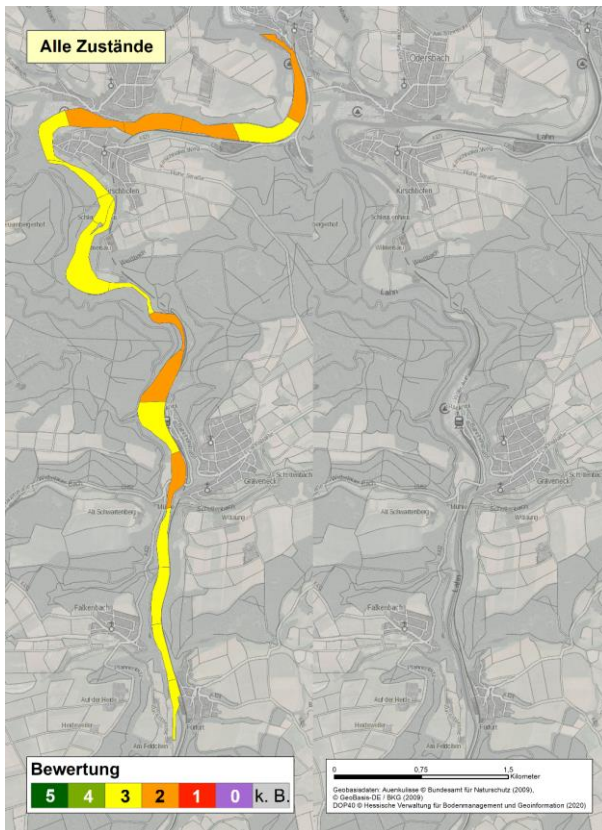


Abbildung 8-23: Bewertung der ÖSL Erholung und Tourismus an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **rezente Aue**

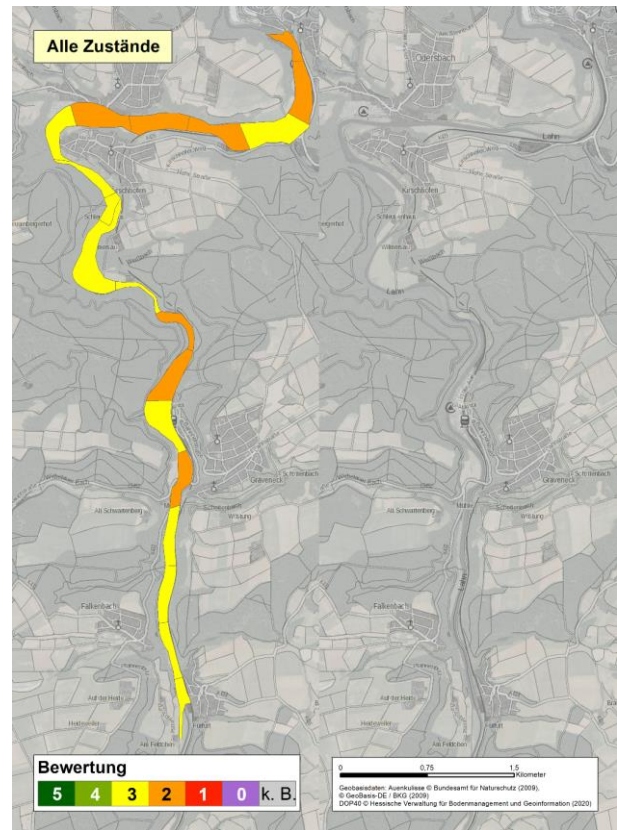


Abbildung 8-24: Bewertung der ÖSL Erholung und Tourismus an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **morphologische Aue**

8.3.3 ÖSL-Klasse Intellektuelle Interaktionen

Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden die Raumbezüge

- (1) rezente Aue (Abbildung 8-25) und
- (2) morphologische Aue gewählt (Abbildung 8-26)

für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.

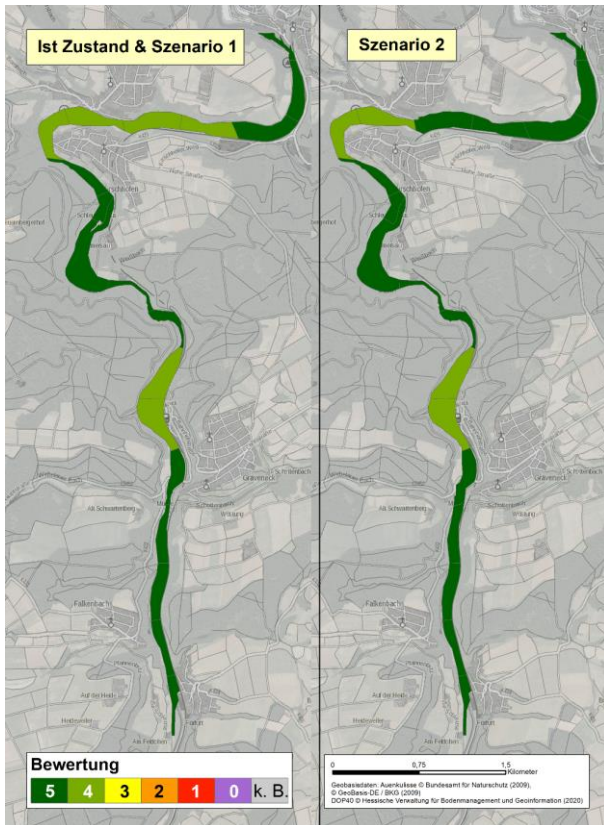


Abbildung 8-25: Bewertung der ÖSL Bildung und Wissenschaft an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **rezente Aue**

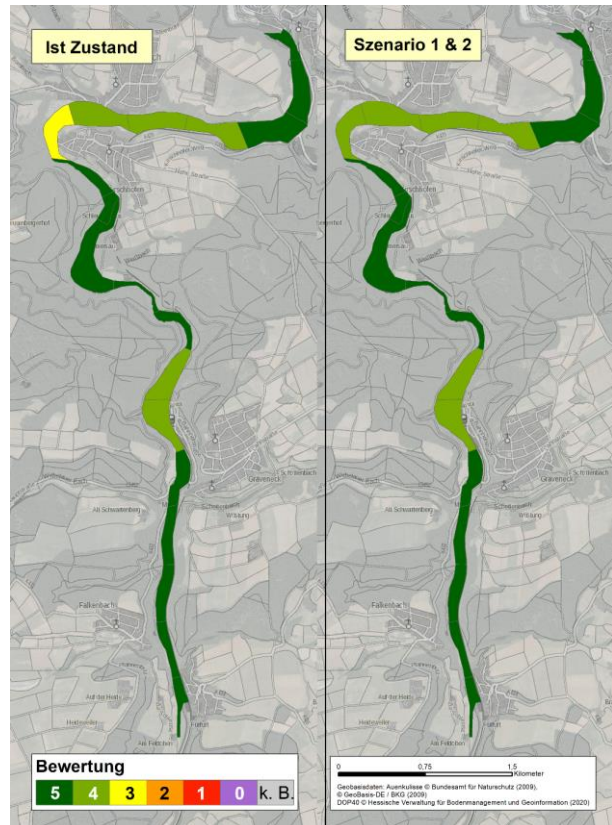


Abbildung 8-26: Bewertung der ÖSL Bildung und Wissenschaft an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **morphologische Aue**

8.4 Weitere (abiotische) Leistungen

8.4.1 ÖSL-Klasse Schifffahrt/ÖSL Motorisierte Schifffahrt

Die Bewertung für den Vergleich des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien wird wegen der Kopplung an die Daten des Gewässers nur für die Lahn selber dargestellt (Abbildung 8-27).

8.4.2 ÖSL-Klasse Energie/ÖSL Wasserkraft

Die Bewertung für den Vergleich des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien wird wegen der Kopplung an die Daten des Gewässers nur für die Lahn selber dargestellt (Abbildung 8-28).

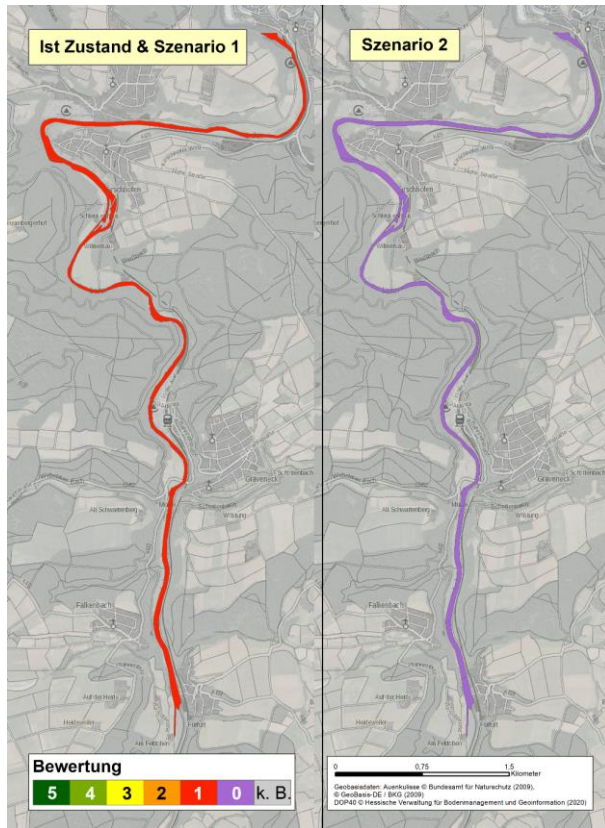


Abbildung 8-27: Bewertung der ÖSL **Motorisierte Schifffahrt** an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **Fluss**

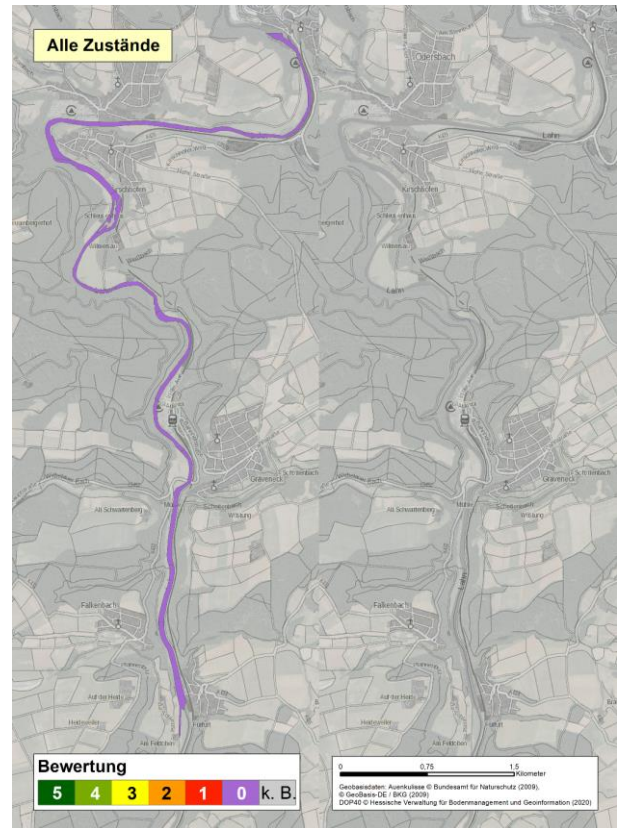


Abbildung 8-28: Bewertung der ÖSL **Wasserkraft** an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **Fluss**

8.5 Synopsis

Die Synopsis dient der übersichtlichen Zusammenschau aller Bewertungsergebnisse. Deshalb sind zunächst in Tabelle 8-1 (für die rezente Aue) und in Tabelle 8-2 (für die morphologische Aue) alle qualitativen Bewertungsergebnisse des Ist-Zustands und der Szenarien 1 und 2 für die Staustufe Kirschhofen, detailliert für alle Auenabschnitte bzw. -segmente, aufgeführt. Die farbliche Unterlegung ermöglicht eine gute Orientierung in der Bewertungsabstufung.

Bei der Staustufe Kirschhofen sind der Ist-Zustand und das Szenario 1 nur geringfügig verschieden, so dass sich auch ÖSL-bewertungsseitig keine oder kaum Differenzen zeigen (nahezu identische Bewertung und Darstellung).

Die Summe der qualitativen Einzelbewertungen der Ökosystemleistungen aller Auensegmente der Staustufe ist für den Ist-Zustand sowie beide Szenarien, jeweils für die Raumbezüge rezente Aue und morphologische Aue, in Abbildung 8-29 und Abbildung 8-30 übergreifend dargestellt.

Schließlich werden die Ergebnisse der ökonomischen Bewertung in Tabelle 8-3 zusammengefasst.

Tabelle 8-1: Tabellarische Übersicht der qualitativen Bewertungen der ÖSL für den Raumbezug **rezente Aue** an der Staustufe Kirschhofen, k. B. – keine Bewertung

Segment-ID	Versorgende ÖSL	Regulative ÖSL										Kulturelle ÖSL			Abiotische ÖSL		Summe
	Bodenfruchtbarkeit/Ertragspotenzial (Indikator)	Hochwasserregulation	Niedrigwasserregulation	Sedimentregulation	Retention von Stickstoff	Retention von Phosphor	Biologische Selbstreinigung	Rückhalt von Treibhausgasen	Kühlwirkung	Habitatbereitstellung	Landschaftsästhetik	Erholung und Tourismus	Bildung & Wissenschaft	Motorisierte Schifffahrt	Wasserkraft		
Ist-Zustand	LHN-R165	4	3	5	1	5	1	1	1	5	5	3	3	5	1	0	43
	LHN-R166	3	3	5	1	5	1	1	2	5	5	3	3	5	1	0	43
	LHN-R167	5	3	5	1	5	1	1	2	5	5	2	3	5	1	0	44
	LHN-R168	4	3	5	2	5	1	2	2	5	5	2	3	5	1	0	45
	LHN-R169	4	4	5	2	5	1	2	2	5	5	2	2	5	1	0	45
	LHN-R170	3	3	5	2	5	2	2	3	5	3	2	3	4	1	0	43
	LHN-R171	3	3	5	2	5	2	2	3	5	4	2	2	4	1	0	43
	LHN-R172	4	4	5	3	5	1	3	2	5	5	2	2	5	1	0	47
	LHN-R173	5	4	5	2	5	1	2	1	5	5	2	3	5	1	0	46
	LHN-R174	5	4	5	1	5	1	2	2	5	5	2	3	5	1	0	46
	LHN-R175	3	3	5	1	5	1	1	2	5	5	2	3	5	1	0	42
	LHN-R176	5	3	5	1	5	1	2	1	5	5	2	3	5	1	0	44
	LHN-R177	2	4	5	2	5	1	2	2	5	3	3	3	4	1	0	42
	LHN-R178	2	3	5	1	5	1	2	2	5	3	2	2	4	1	0	38
	LHN-R179	4	3	5	1	5	1	1	2	5	4	2	2	4	1	0	40
	LHN-R180	5	4	5	2	4	2	2	3	5	4	2	2	4	1	0	45
	LHN-R181	5	4	5	2	5	1	2	3	5	5	2	3	5	1	0	48
LHN-R182	4	3	5	1	5	1	2	2	5	5	2	2	5	1	0	43	

Segment-ID	Versorgende ÖSL	Regulative ÖSL									Kulturelle ÖSL			Abiotische ÖSL		Summe	
	Bodenfruchtbarkeit/Ertragspotenzial (Indikator)	Hochwasserregulation	Niedrigwasserregulation	Sedimentregulation	Retention von Stickstoff	Retention von Phosphor	Biologische Selbstreinigung	Rückhalt von Treibhausgasen	Kühlwirkung	Habitatbereitstellung	Landschaftsästhetik	Erholung und Tourismus	Bildung & Wissenschaft	Motorisierte Schifffahrt	Wasserkraft		
LHN-R183	1	3	1	1	5	1	1	1	5	5	2	2	5	1	0	34	
Summe	71	64	91	29	94	22	33	38	95	86	41	49	89	19	0	821	
Mittelwert	3,7	3,4	4,8	1,5	4,9	1,2	1,7	2,0	5,0	4,5	2,2	2,6	4,7	1,0	0,0	43,2	
Szenario 1	LHN-R165	4	3	5	1	5	1	1	1	5	5	3	3	5	1	0	43
	LHN-R166	3	3	5	1	5	1	1	2	5	5	3	3	5	1	0	43
	LHN-R167	5	3	5	1	5	1	1	2	5	5	2	3	5	1	0	44
	LHN-R168	4	3	5	2	5	1	2	2	5	5	2	3	5	1	0	45
	LHN-R169	4	4	5	2	5	1	2	2	5	5	2	2	5	1	0	45
	LHN-R170	3	3	5	2	5	2	2	3	5	3	2	3	4	1	0	43
	LHN-R171	3	3	5	2	5	2	2	3	5	4	2	2	4	1	0	43
	LHN-R172	4	4	5	3	5	1	3	2	5	5	2	2	5	1	0	47
	LHN-R173	5	4	5	2	5	1	2	1	5	5	2	3	5	1	0	46
	LHN-R174	5	4	5	1	5	1	2	2	5	5	2	3	5	1	0	46
	LHN-R175	3	3	5	1	5	1	1	2	5	5	2	3	5	1	0	42
	LHN-R176	3	3	5	3	5	4	3	2	5	5	2	3	5	1	0	49
	LHN-R177	2	4	5	2	5	4	3	2	5	3	3	3	4	1	0	46
	LHN-R178	2	3	5	1	5	1	2	2	5	3	2	2	4	1	0	38
	LHN-R179	4	3	5	1	5	1	1	2	5	4	2	2	4	1	0	40
LHN-R180	5	4	5	2	4	2	2	3	5	4	2	2	4	1	0	45	

Segment-ID	Versorgende ÖSL	Regulative ÖSL									Kulturelle ÖSL			Abiotische ÖSL		Summe	
	Bodenfruchtbarkeit/Ertragspotenzial (Indikator)	Hochwasserregulation	Niedrigwasserregulation	Sedimentregulation	Retention von Stickstoff	Retention von Phosphor	Biologische Selbstreinigung	Rückhalt von Treibhausgasen	Kühlwirkung	Habitatbereitstellung	Landschaftsästhetik	Erholung und Tourismus	Bildung & Wissenschaft	Motorisierte Schifffahrt	Wasserkraft		
LHN-R181	5	4	5	2	5	1	2	3	5	5	2	3	5	1	0	48	
LHN-R182	4	3	5	1	5	1	2	2	5	5	2	2	5	1	0	43	
LHN-R183	1	3	1	1	5	1	1	1	5	5	2	2	5	1	0	34	
Summe	69	64	91	31	94	28	35	39	95	86	41	49	89	19	0	830	
Mittelwert	3,6	3,4	4,8	1,6	4,9	1,5	1,8	2,1	5,0	4,5	2,2	2,6	4,7	1,0	0,0	43,7	
Szenario 2	LHN-R165	1	5	4	4	5	4	4	3	4	5	3	3	5	0	0	50
	LHN-R166	0	5	4	4	5	4	4	2	5	5	3	3	5	0	0	49
	LHN-R167	1	5	4	4	5	4	4	2	5	5	2	3	5	0	0	49
	LHN-R168	0	5	4	4	5	4	4	2	5	5	2	3	5	0	0	48
	LHN-R169	0	5	4	4	5	4	4	2	5	5	2	2	5	0	0	47
	LHN-R170	2	5	4	4	5	4	4	3	4	3	2	3	4	0	0	47
	LHN-R171	2	5	4	4	5	4	4	3	5	4	2	2	4	0	0	48
	LHN-R172	0	5	4	4	5	4	4	2	5	5	2	2	5	0	0	47
	LHN-R173	0	5	4	4	5	4	4	1	5	5	2	3	5	0	0	47
	LHN-R174	0	5	4	4	5	4	4	3	5	5	2	3	5	0	0	49
	LHN-R175	0	5	4	4	5	4	4	3	5	5	2	3	5	0	0	49
	LHN-R176	0	5	4	4	5	4	4	2	5	5	2	3	5	0	0	48
	LHN-R177	2	5	4	4	5	4	4	2	4	3	3	3	4	0	0	47
	LHN-R178	2	4	4	4	5	4	4	2	3	3	2	2	4	0	0	43

Segment-ID	Versorgende ÖSL	Regulative ÖSL									Kulturelle ÖSL			Abiotische ÖSL		Summe
	Bodenfruchtbarkeit/Ertragspotenzial (Indikator)	Hochwasserregulation	Niedrigwasserregulation	Sedimentregulation	Retention von Stickstoff	Retention von Phosphor	Biologische Selbstreinigung	Rückhalt von Treibhausgasen	Kühlwirkung	Habitatbereitstellung	Landschaftsästhetik	Erholung und Tourismus	Bildung & Wissenschaft	Motorisierte Schifffahrt	Wasserkraft	
LHN-R179	1	5	4	4	5	4	4	3	5	5	2	2	5	0	0	49
LHN-R180	0	5	4	4	5	4	4	2	5	5	2	2	5	0	0	47
LHN-R181	0	5	4	4	5	4	4	3	5	5	2	3	5	0	0	49
LHN-R182	0	5	4	4	5	4	4	3	5	5	2	2	5	0	0	48
LHN-R183	0	5	4	4	5	4	4	2	5	5	2	2	5	0	0	47
Summe	11	94	76	76	95	76	76	45	90	88	41	49	91	0	0	908
Mittelwert	0,6	4,9	4,0	4,0	5,0	4,0	4,0	2,4	4,7	4,6	2,2	2,6	4,8	0,0	0,0	47,8

Tabelle 8-2: Tabellarische Übersicht der qualitativen Bewertungen der ÖSL für den Raumbezug **morphologische Aue** an der Staustufe Kirschhofen, k. B. – keine Bewertung

Segment-ID	Versorgende ÖSL	Regulative ÖSL										Kulturelle ÖSL			Abiotische ÖSL		Summe
	Bodenfruchtbarkeit/Ertragspotenzial (Indikator)	Hochwasserregulation	Niedrigwasserregulation	Sedimentregulation	Retention von Stickstoff	Retention von Phosphor	Biologische Selbstreinigung	Rückhalt von Treibhausgasen	Kühlwirkung	Habitatbereitstellung	Landschaftsästhetik	Erholung und Tourismus	Bildung & Wissenschaft	Motorisierte Schifffahrt	Wasserkraft		
LHN-R165	k.B.	3	5	1	5	1	1	2	5	4	3	3	5	1	0	42	
LHN-R166	3	3	5	1	5	1	1	2	5	5	3	3	5	1	0	43	
LHN-R167	5	3	5	1	5	1	1	2	5	5	2	3	5	1	0	44	
LHN-R168	4	3	5	2	5	2	2	2	5	5	2	3	5	1	0	46	
LHN-R169	4	4	5	2	5	1	2	2	5	5	2	2	5	1	0	45	
LHN-R170	3	3	5	2	5	2	2	3	5	3	2	3	4	1	0	43	
LHN-R171	3	3	5	2	5	2	2	3	5	4	2	2	4	1	0	43	
LHN-R172	3	4	5	3	5	2	3	2	5	5	2	2	5	1	0	47	
LHN-R173	5	4	5	2	5	1	2	1	5	5	2	3	5	1	0	46	
LHN-R174	4	4	5	1	5	1	2	2	5	5	2	3	5	1	0	45	
LHN-R175	3	3	5	1	5	1	1	2	5	5	2	3	5	1	0	42	
LHN-R176	5	3	5	1	5	1	2	1	5	5	2	3	5	1	0	44	
LHN-R177	2	4	5	2	5	1	2	2	5	3	2	3	3	1	0	40	
LHN-R178	2	3	5	1	4	1	2	2	4	2	2	2	4	1	0	35	
LHN-R179	4	3	5	1	5	1	1	3	5	4	2	2	4	1	0	41	
LHN-R180	3	4	5	2	4	2	2	3	5	4	2	2	4	1	0	43	
LHN-R181	4	4	5	2	5	2	2	3	5	4	2	3	5	1	0	47	
LHN-R182	4	3	5	1	5	1	2	3	5	5	2	2	5	1	0	44	

Segment-ID	Versorgende ÖSL	Regulative ÖSL									Kulturelle ÖSL			Abiotische ÖSL		Summe	
	Bodenfruchtbarkeit/Ertragspotenzial (Indikator)	Hochwasserregulation	Niedrigwasserregulation	Sedimentregulation	Retention von Stickstoff	Retention von Phosphor	Biologische Selbstreinigung	Rückhalt von Treibhausgasen	Kühlwirkung	Habitatbereitstellung	Landschaftsästhetik	Erholung und Tourismus	Bildung & Wissenschaft	Motorisierte Schifffahrt	Wasserkraft		
LHN-R183	1	3	1	1	5	1	1	2	5	4	2	2	5	1	0	34	
Summe	65	64	91	29	93	25	33	42	94	82	40	49	88	19	0	814	
Mittelwert	3,4	3,4	4,8	1,5	4,9	1,3	1,7	2,2	4,9	4,3	2,1	2,6	4,6	1,0	0,0	42,8	
Szenario 1	LHN-R165	3	3	5	1	5	1	1	2	5	4	3	3	5	1	0	42
	LHN-R166	3	3	5	1	5	1	1	2	5	5	3	3	5	1	0	43
	LHN-R167	5	3	5	1	5	1	1	2	5	5	2	3	5	1	0	44
	LHN-R168	4	3	5	2	5	2	2	2	5	5	2	3	5	1	0	46
	LHN-R169	4	4	5	2	5	1	2	2	5	5	2	2	5	1	0	45
	LHN-R170	3	3	5	2	5	2	2	3	5	3	2	3	4	1	0	43
	LHN-R171	3	3	5	2	5	2	2	3	5	4	2	2	4	1	0	43
	LHN-R172	3	4	5	3	5	2	3	2	5	5	2	2	5	1	0	47
	LHN-R173	5	4	5	2	5	1	2	1	5	5	2	3	5	1	0	46
	LHN-R174	4	4	5	1	5	1	2	2	5	5	2	3	5	1	0	45
	LHN-R175	3	3	5	1	5	1	1	2	5	5	2	3	5	1	0	42
	LHN-R176	3	3	5	3	5	4	3	2	5	5	2	3	5	1	0	49
	LHN-R177	2	4	5	2	5	4	3	2	5	3	2	3	4	1	0	45
	LHN-R178	2	3	5	1	4	1	2	2	4	2	2	2	4	1	0	35
	LHN-R179	4	3	5	1	5	1	1	3	5	4	2	2	4	1	0	41
LHN-R180	3	4	5	2	4	2	2	3	5	4	2	2	4	1	0	43	

Segment-ID	Versorgende ÖSL	Regulative ÖSL									Kulturelle ÖSL			Abiotische ÖSL		Summe	
	Bodenfruchtbarkeit/Ertragspotenzial (Indikator)	Hochwasserregulation	Niedrigwasserregulation	Sedimentregulation	Retention von Stickstoff	Retention von Phosphor	Biologische Selbstreinigung	Rückhalt von Treibhausgasen	Kühlwirkung	Habitatbereitstellung	Landschaftsästhetik	Erholung und Tourismus	Bildung & Wissenschaft	Motorisierte Schifffahrt	Wasserkraft		
LHN-R181	4	4	5	2	5	2	2	3	5	4	2	3	5	1	0	47	
LHN-R182	4	3	5	1	5	1	2	3	5	5	2	2	5	1	0	44	
LHN-R183	1	3	1	1	5	1	1	2	5	4	2	2	5	1	0	34	
Summe	63	64	91	31	93	31	35	43	94	82	40	49	89	19	0	824	
Mittelwert	3,3	3,4	4,8	1,6	4,9	1,6	1,8	2,3	4,9	4,3	2,1	2,6	4,7	1,0	0,0	43,4	
Szenario 2	LHN-R165	1	5	4	4	5	4	4	3	4	4	3	3	5	0	0	49
	LHN-R166	0	5	4	4	5	4	4	2	5	5	3	3	5	0	0	49
	LHN-R167	1	5	4	4	5	4	4	2	5	5	2	3	5	0	0	49
	LHN-R168	1	5	4	4	5	4	4	2	5	5	2	3	5	0	0	49
	LHN-R169	0	5	4	4	5	4	4	2	5	5	2	2	5	0	0	47
	LHN-R170	2	5	4	4	5	4	4	3	4	3	2	3	4	0	0	47
	LHN-R171	2	5	4	4	5	4	4	3	5	4	2	2	4	0	0	48
	LHN-R172	1	5	4	4	5	4	4	2	5	5	2	2	5	0	0	48
	LHN-R173	0	5	4	4	5	4	4	1	5	5	2	3	5	0	0	47
	LHN-R174	0	5	4	4	5	4	4	3	5	5	2	3	5	0	0	49
	LHN-R175	0	5	4	4	5	4	4	3	5	5	2	3	5	0	0	49
	LHN-R176	0	5	4	4	5	4	4	2	5	5	2	3	5	0	0	48
	LHN-R177	2	5	4	4	5	4	4	2	3	3	2	3	3	0	0	44
	LHN-R178	1	4	4	4	4	4	4	2	3	2	2	2	4	0	0	40

Segment-ID	Versorgende ÖSL	Regulative ÖSL									Kulturelle ÖSL			Abiotische ÖSL		Summe
	Bodenfruchtbarkeit/Ertragspotenzial (Indikator)	Hochwasserregulation	Niedrigwasserregulation	Sedimentregulation	Retention von Stickstoff	Retention von Phosphor	Biologische Selbstreinigung	Rückhalt von Treibhausgasen	Kühlwirkung	Habitatbereitstellung	Landschaftsästhetik	Erholung und Tourismus	Bildung & Wissenschaft	Motorisierte Schifffahrt	Wasserkraft	
LHN-R179	1	5	4	4	5	4	4	3	5	4	2	2	4	0	0	47
LHN-R180	0	5	4	4	5	4	4	3	5	4	2	2	4	0	0	46
LHN-R181	1	5	4	4	5	4	4	3	5	5	2	3	5	0	0	50
LHN-R182	0	5	4	4	5	4	4	3	5	5	2	2	5	0	0	48
LHN-R183	0	5	4	4	5	4	4	2	5	4	2	2	5	0	0	46
Summe	13	94	76	76	94	76	76	46	89	83	40	49	88	0	0	900
Mittelwert	0,7	4,9	4,0	4,0	4,9	4,0	4,0	2,4	4,7	4,4	2,1	2,6	4,6	0,0	0,0	47,4

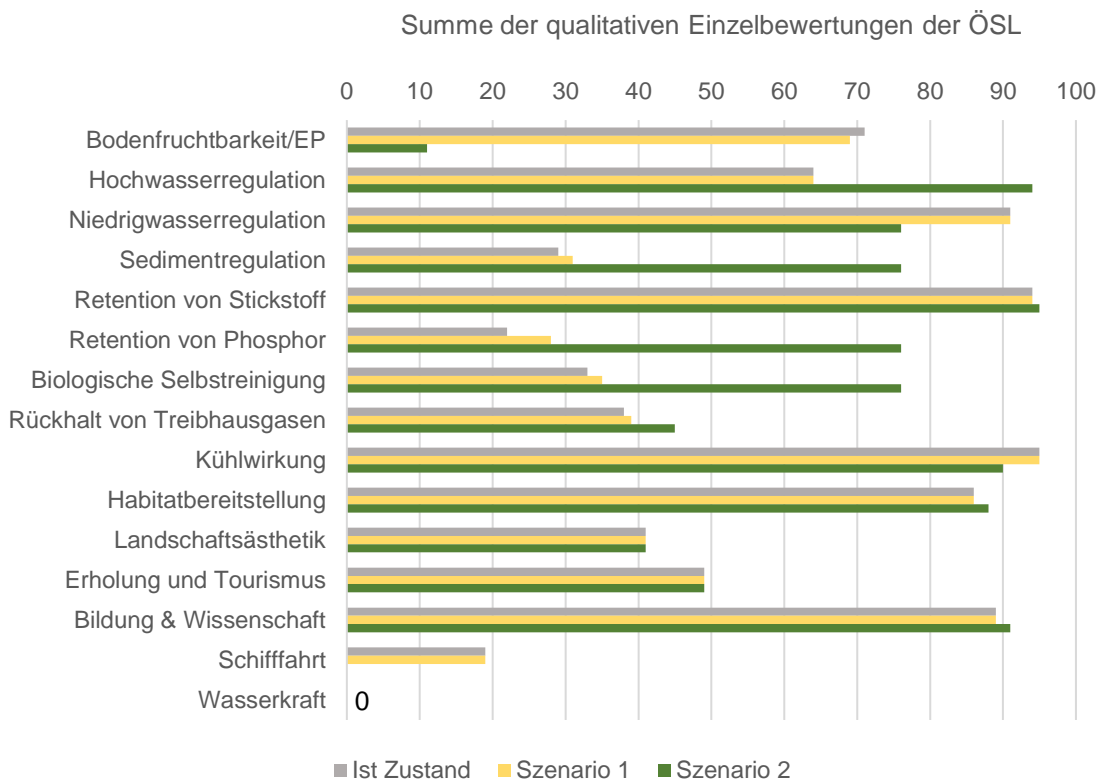


Abbildung 8-29: Summe der qualitativen Einzelbewertungen der Ökosystemleistungen aller Auensegmente für den Raumbezug **rezenzte Aue** an der Staustufe Kirschhofen

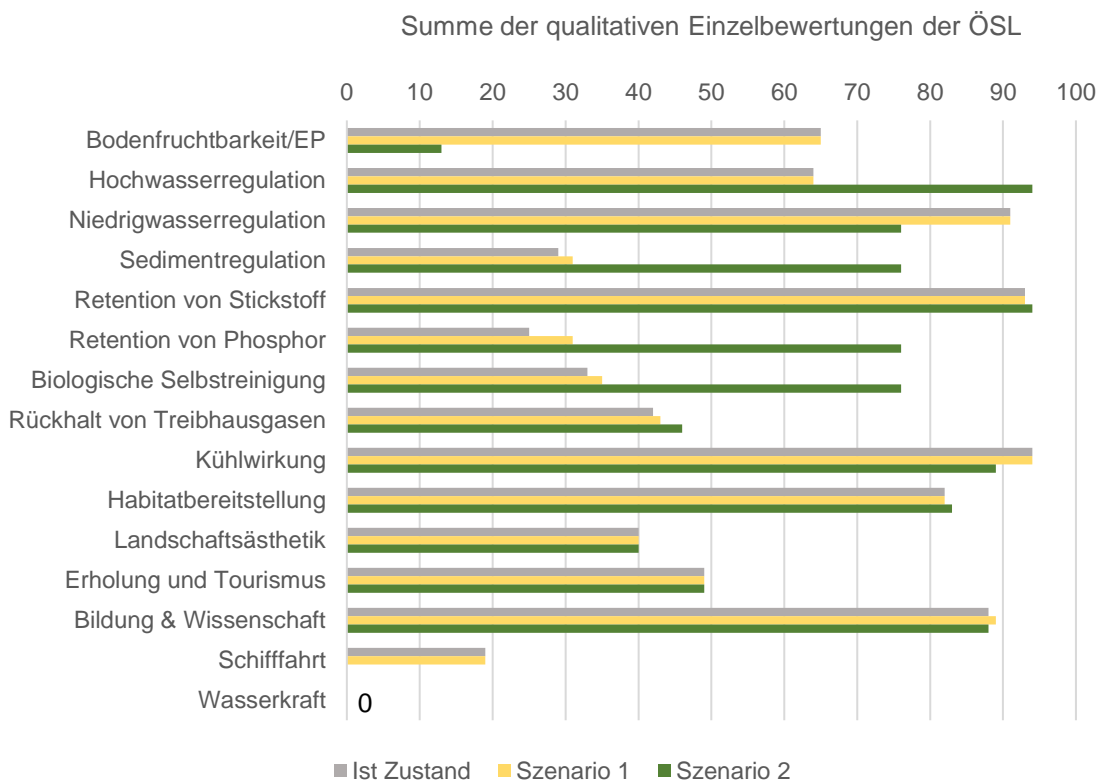


Abbildung 8-30: Summe der qualitativen Einzelbewertungen der Ökosystemleistungen aller Auensegmente für den Raumbezug **morphologische Aue** an der Staustufe Kirschhofen

Tabelle 8-3: Ökonomische Bewertung der Szenarien (Differenz zum Ist-Zustand) für die Staustufe Kirschhofen (Beträge auf 100,00 € genau gerundet)

Ökosystemleistung	Differenz zum Ist-Zustand	
	Szenario 1	Szenario 2
<i>Kulturpflanzen (auf Acker- und Gartenbaustandorten)</i>	0 €	-33.700 €
<i>Pflanzliche Biomasse für den Einsatz in der Landwirtschaft (auf Grünlandstandorten)</i>	0 €	-185.800 €
<i>Pflanzliche Rohstoffe für die Verarbeitung (Waldstandorte)</i>	0 €	-40.800 €
<i>Pflanzliche Energierohstoffe aus Landwirtschaft, Kurzumtriebsplantagen, Holzwirtschaft</i>	-	-
Summe versorgende ÖSL	0 €	-260.300 €
<i>Hochwasserregulation</i>	0 €	71.087.000 €
<i>Niedrigwasserregulation</i>	-	-
<i>Sedimentregulation</i>	-	-
<i>Retention von Stickstoff</i>	10.400 €	409.200 €
<i>Retention von Phosphor</i>	567.400 €	17.784.000 €
<i>Biologische Selbstreinigung</i>	-	-
<i>Rückhalt von Treibhausgasen</i>	1.414.800 €	5.137.000 €
<i>Kühlwirkung</i>	-	-
<i>Habitatbereitstellung</i>	-	-
Summe regulative ÖSL	1.992.600 €	94.417.200 €
<i>Landschaftsästhetik</i>	-	-
<i>Erholung und Tourismus</i>	-	-
<i>Bildung & Wissenschaft</i>	-	-
Summe kulturelle ÖSL	-	-
<i>Motorisierte Schifffahrt</i>	-	-
<i>Wasserkraft</i>	0 €	-5.203.000 €
Summe abiotische ÖSL	0 €	-5.203.000 €
Summe gesamt	1.992.600 €	88.953.900 €

8.6 Vergleich der Szenarien

Im Vergleich zum Ist-Zustand zeigen sich für die Staustufe Kirschhofen deutliche Veränderungen der Ökosystemleistungen (ÖSL) nur beim Szenario 2 (GÖZ), da das Szenario 1 (GÖP) sich kaum vom Ist-Zustand unterscheidet (vgl. Kapitel 6.7). Folgende Effekte sind bei beiden Raumbezügen (rezente Aue, morphologische Aue) im Szenario 2 zu konstatieren (Abbildung 8-31 bis Abbildung 8-34):

- Rückgang der versorgenden ÖSL
- Wegfall der abiotischen ÖSL
- Zunahme der ÖSL in der Kumulation bei allen Auensegmenten
- Zunahme regulativer ÖSL bei allen Auensegmenten

- Zunahme der kulturellen ÖSL bei vielen Auensegmenten; bei einzelnen Auensegmenten keine Veränderung
- Grundsätzlich stärkere Auswirkung der ÖSL-Veränderungen auf der Ebene der rezenten Aue und natürlich auch auf der Ebene kleinerer Teilräume (Kompartimente auf Segmentebene, z. B. nur linke rezente Aue)

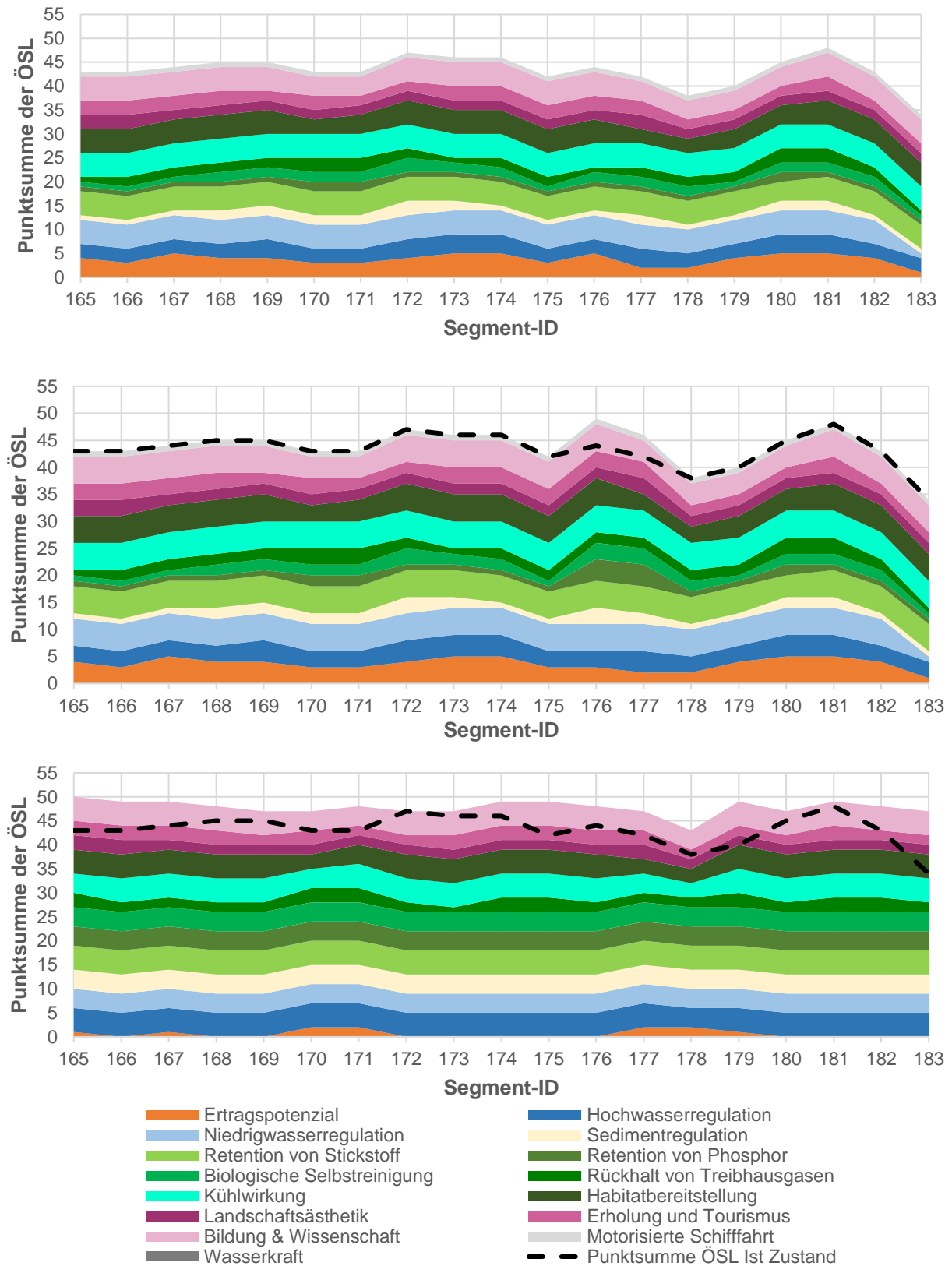


Abbildung 8-31: ÖSL-Bewertung in Einzel- sowie kumulativer Darstellung nach Auensegmenten für den Raumbezug **rezente Aue** an der Staustufe Kirschhofen Ist-Zustand (oben), Szenario 1 (Mitte) und Szenario 2 (unten), Fließrichtung der Lahn von rechts nach links

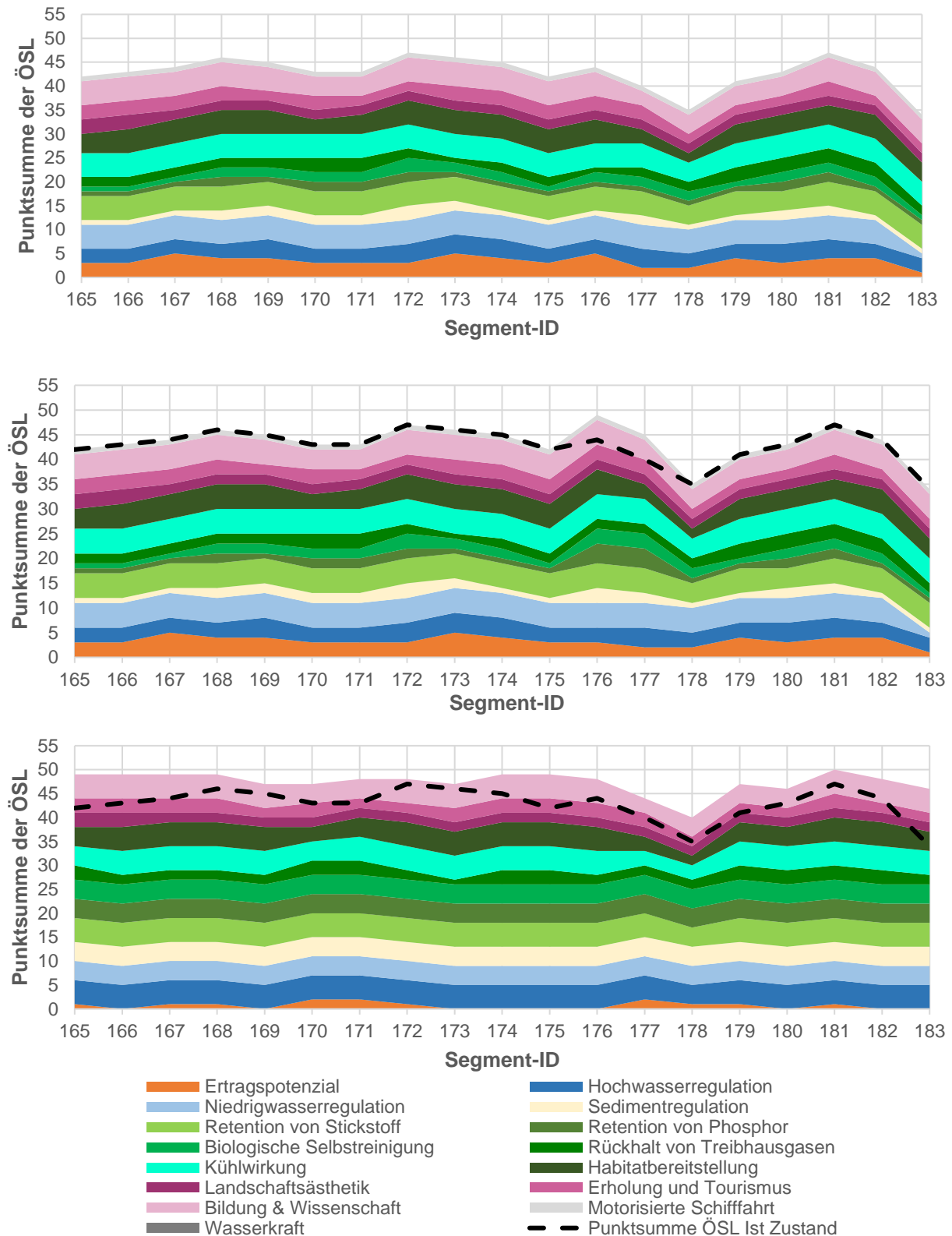


Abbildung 8-32: ÖSL-Bewertung in Einzel- sowie kumulativer Darstellung nach Auensegmenten für den Raumbezug **morphologische Aue** an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand (oben), Szenario 1 (Mitte) und Szenario 2 (unten), Fließrichtung der Lahn von rechts nach links

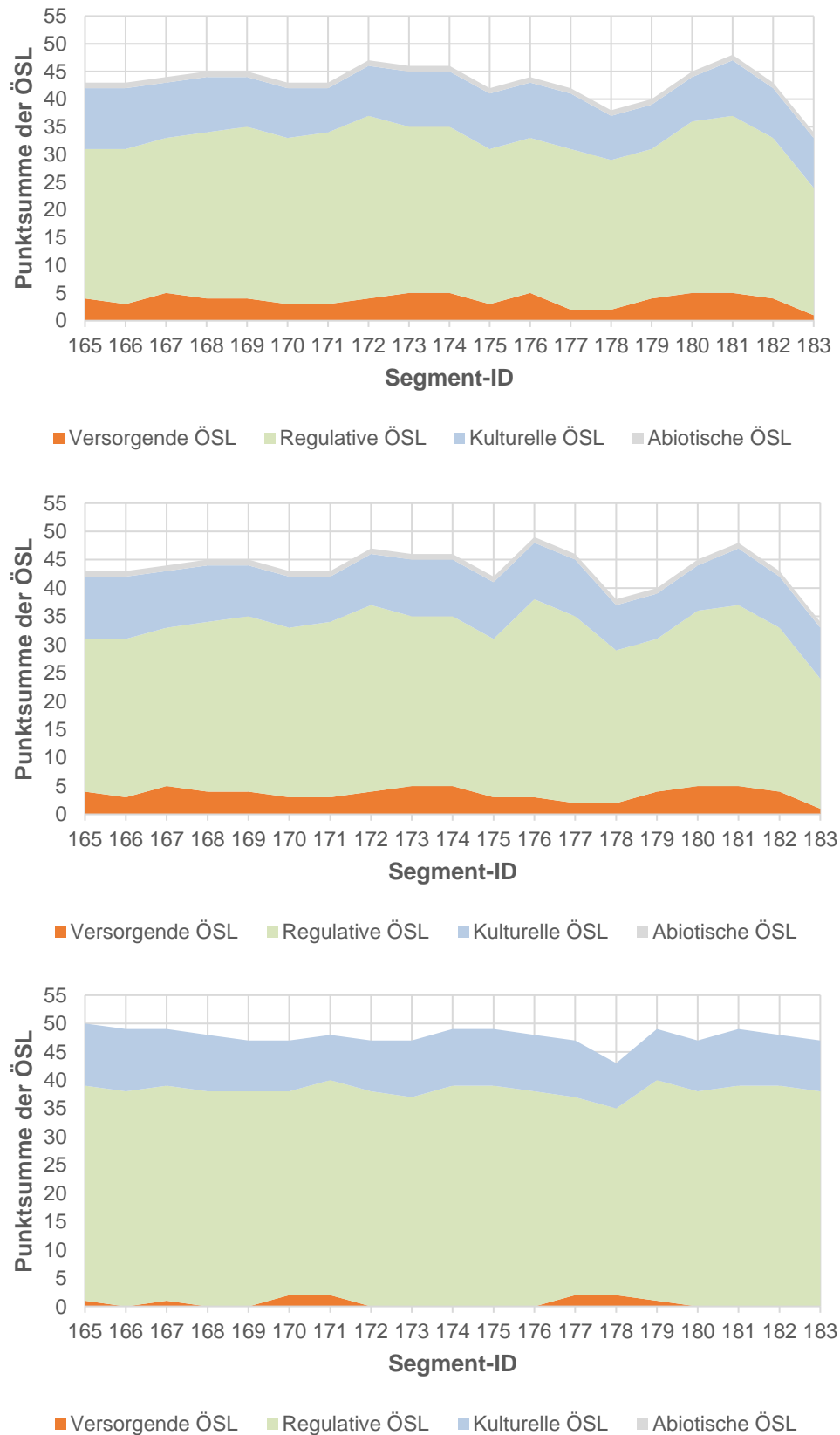


Abbildung 8-33: ÖSL-Bewertung nach ÖSL-Hauptgruppen sowie in kumulativer Darstellung nach Auensegmenten für den Raumbezug **rechte Aue** an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand (oben), Szenario 1 (Mitte) und Szenario 2 (unten), Fließrichtung der Lahn von rechts nach links

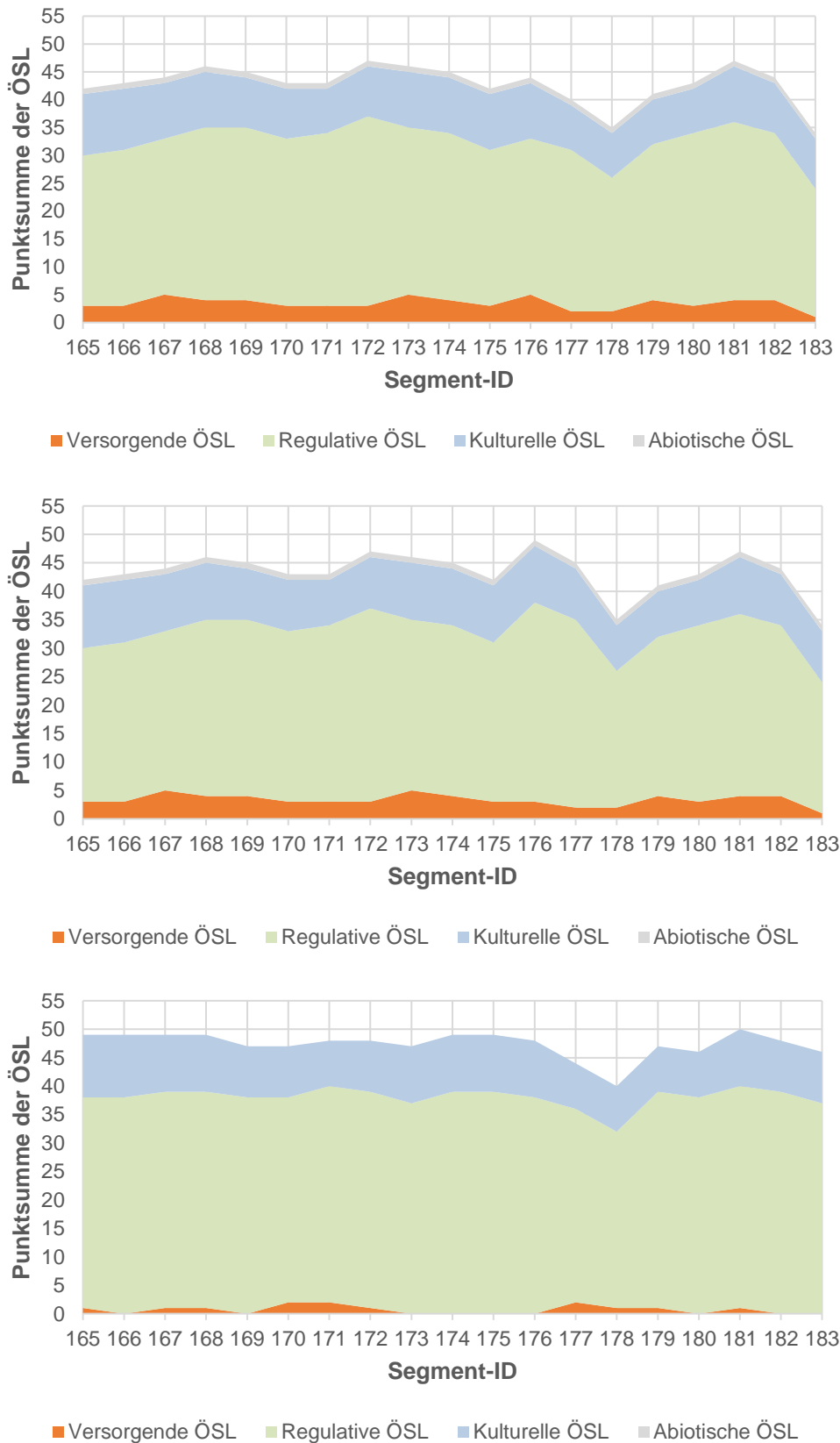


Abbildung 8-34: ÖSL-Bewertung nach ÖSL-Hauptgruppen sowie in kumulativer Darstellung nach Auensegmenten für den Raumbezug **morphologische Aue** an der Staustufe Kirschhofen im Ist-Zustand (oben), Szenario 1 (Mitte) und Szenario 2 (unten), Fließrichtung der Lahn von rechts nach links

9 Bewertungen der Maßnahmenoptionen an der Staustufe Altenberg

9.1 Versorgende Ökosystemleistungen

Auch hier gilt, dass für die Ökosystemleistungsklassen (Subgruppen) Nahrungsmittel, Rohstoffe, Energie und die entsprechenden Ökosystemleistungen (ÖSL) einheitlich auf den Indikator Bodenfruchtbarkeit bzw. als Klassifizierungsmethode auf das Ertragspotenzial der Böden gesetzt wurde. Daher werden die qualitativen, 6-stufigen ÖSL-Bewertungen nur einmal für alle drei ÖSL dargestellt. Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden dabei die Raumbezüge (1) rezente Aue (Abbildung 9-1) und (2) morphologische Aue gewählt (Abbildung 9-2) für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.

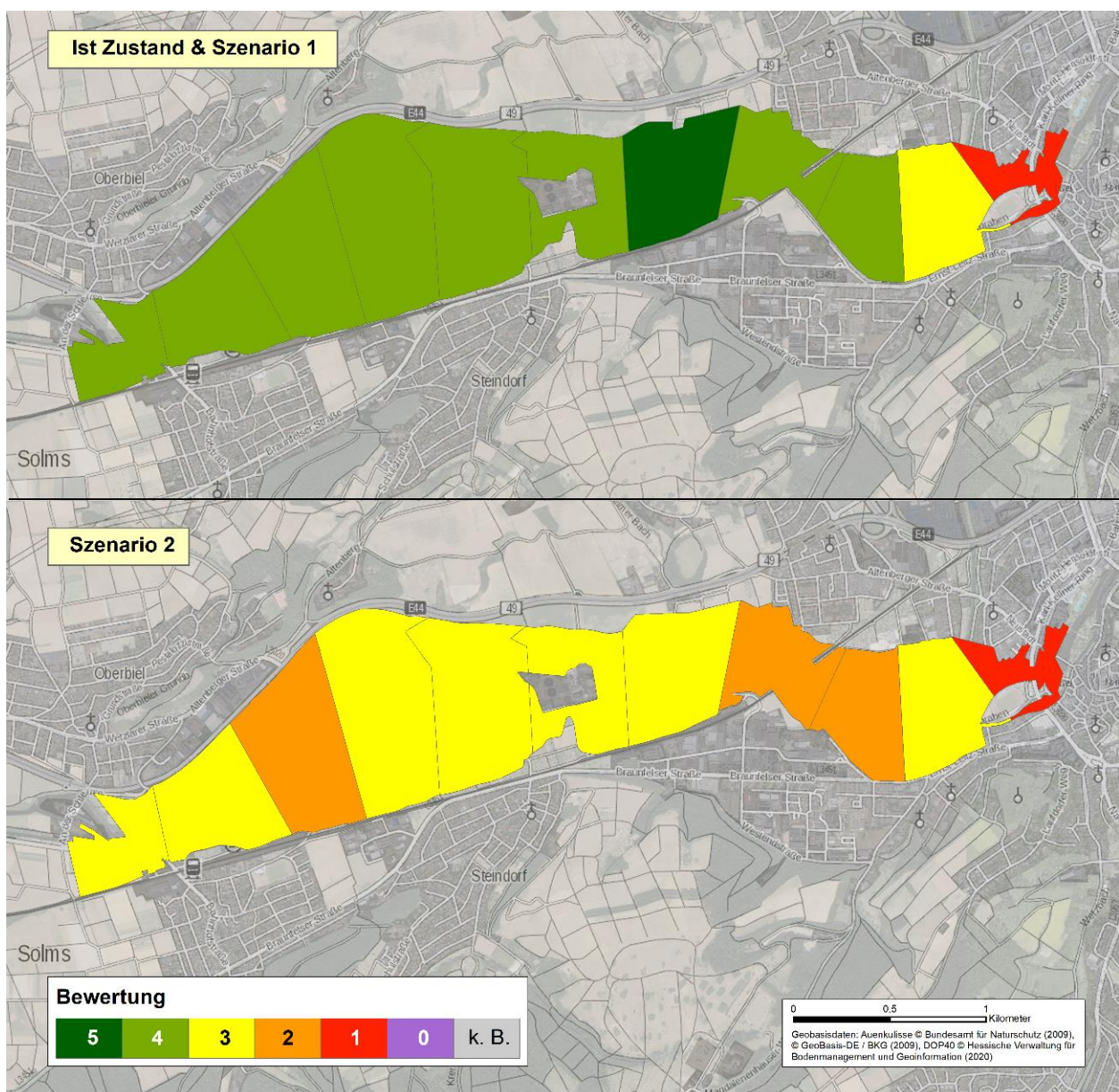


Abbildung 9-1: Bewertung des Ertragspotenzials an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: rezente Aue

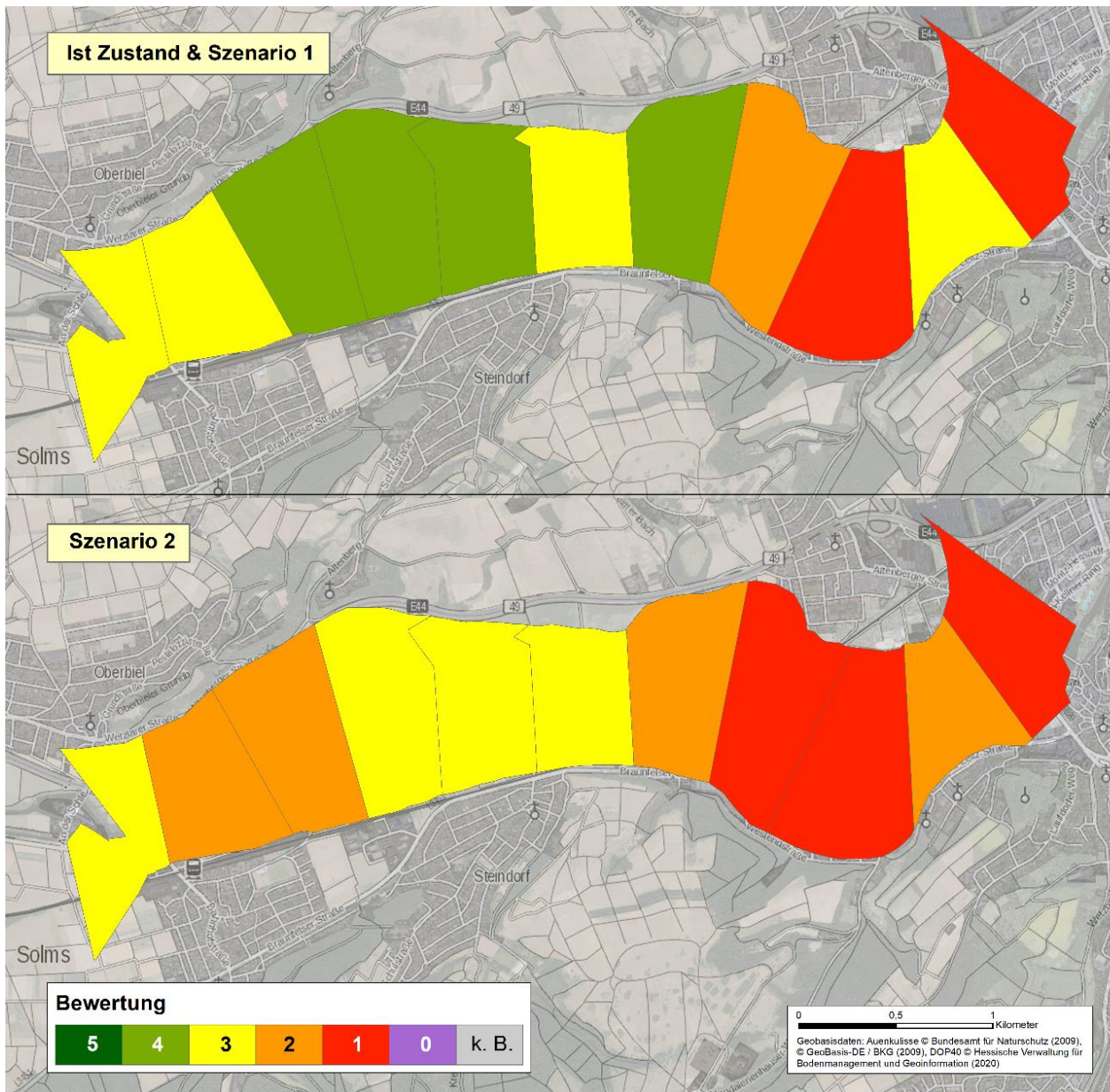


Abbildung 9-2: Bewertung des Ertragspotenzials an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **morphologische Aue**

9.2 Regulative Ökosystemleistungen

9.2.1 ÖSL-Klasse Extremabfluss

9.2.1.1 Hochwasserregulation

Die Bewertung für den Vergleich des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien wird wegen der Kopplung an mittlere und extreme Hochwasser nur für die morphologische Aue dargestellt (Abbildung 9-3).

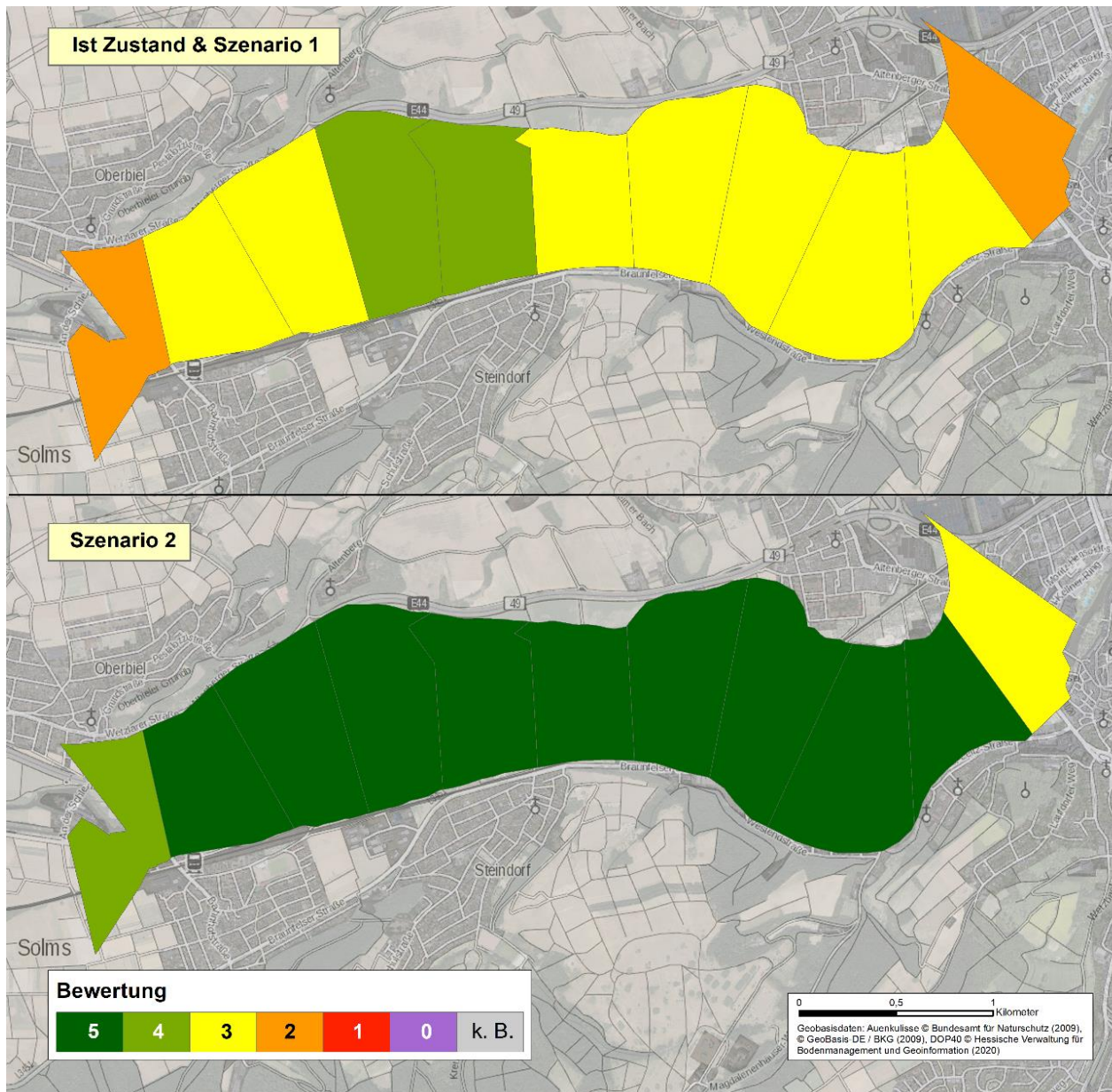


Abbildung 9-3: Bewertung der ÖSL Hochwasserregulation an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **morphologische Aue**

9.2.1.2 Niedrigwasserregulation

Die Bewertung für den Vergleich des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien wird wegen der Kopplung an die Daten des Gewässers nur für die Lahn selber dargestellt (Abbildung 9-4).

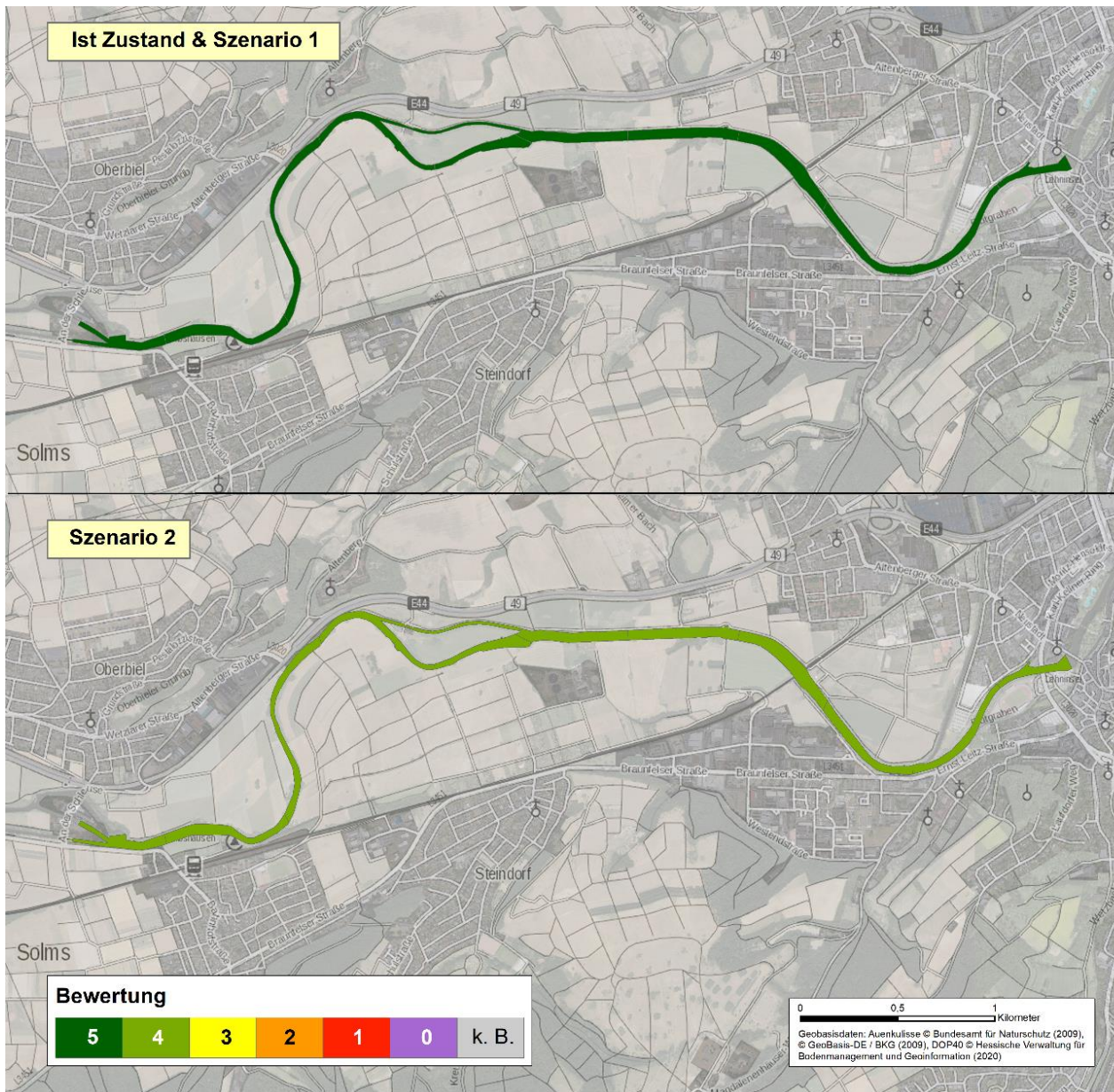


Abbildung 9-4: Bewertung der ÖSL Niedrigwasserregulation an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: Fluss

9.2.2 ÖSL-Klasse Sedimente, Böden sowie deren Nährstoffrückhalt

9.2.2.1 Sedimentregulation

Die Bewertung für den Vergleich des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien wird wegen der Kopplung an die Daten des Gewässers nur für die Lahn selber dargestellt (Abbildung 9-5).

9.2.2.2 Retention von Phosphor

Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden die Raumbezüge

- (1) rezente Aue (Abbildung 9-6) und
- (2) morphologische Aue gewählt (Abbildung 9-7)

für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.

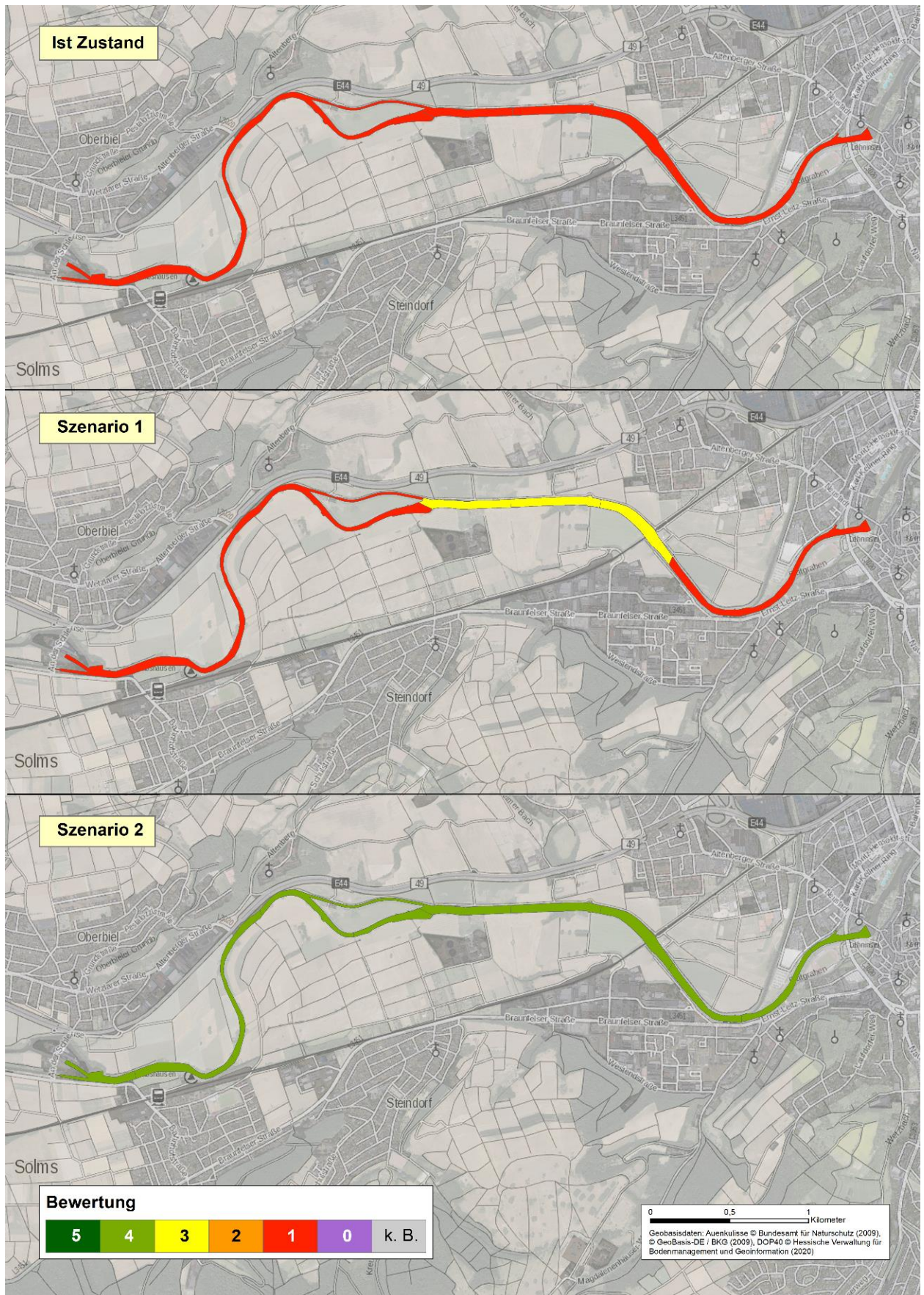


Abbildung 9-5: Bewertung der ÖSL Sedimentregulation an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: Fluss

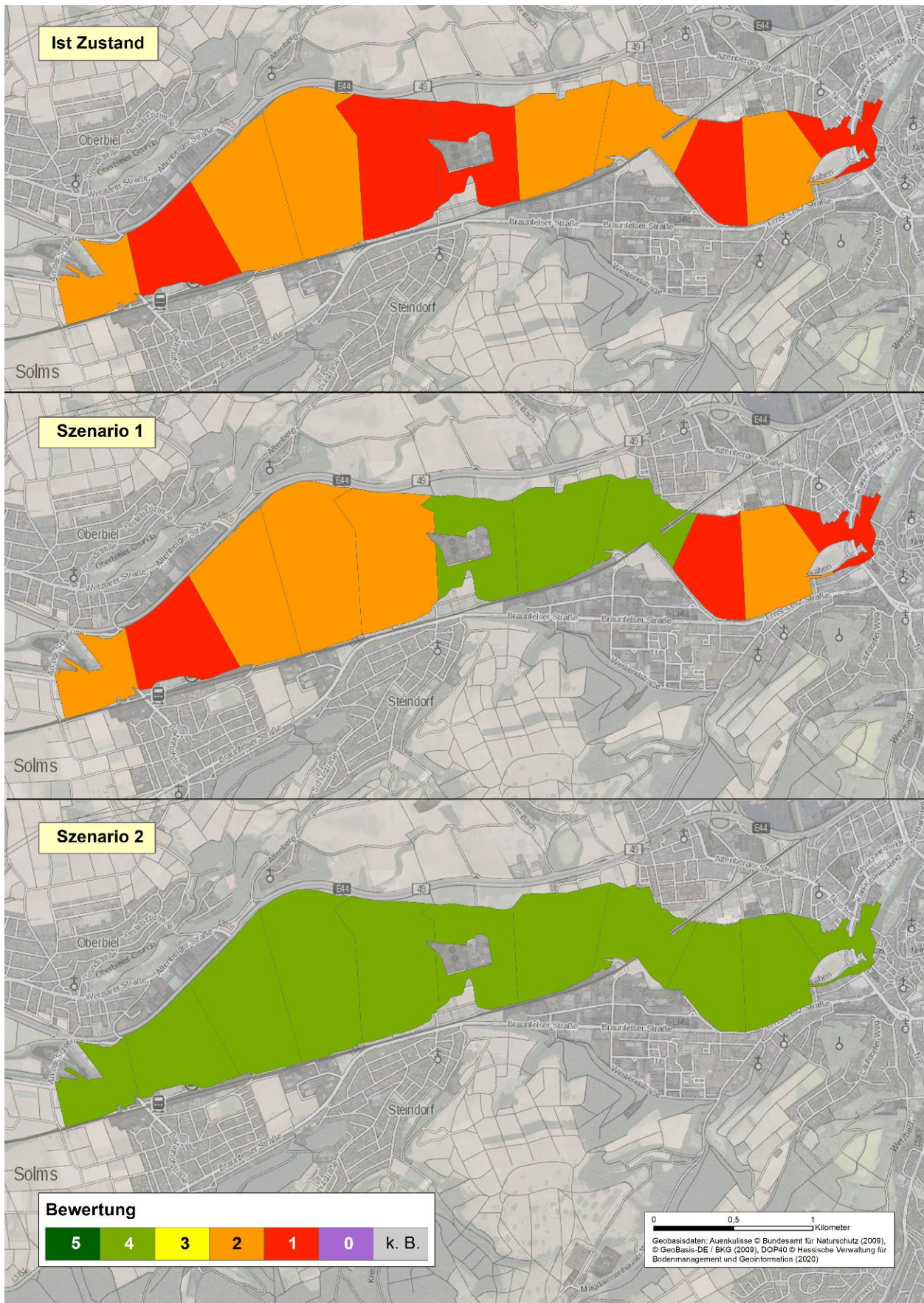


Abbildung 9-6: Bewertung der ÖSL Retention von Phosphor an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **rezente Aue**

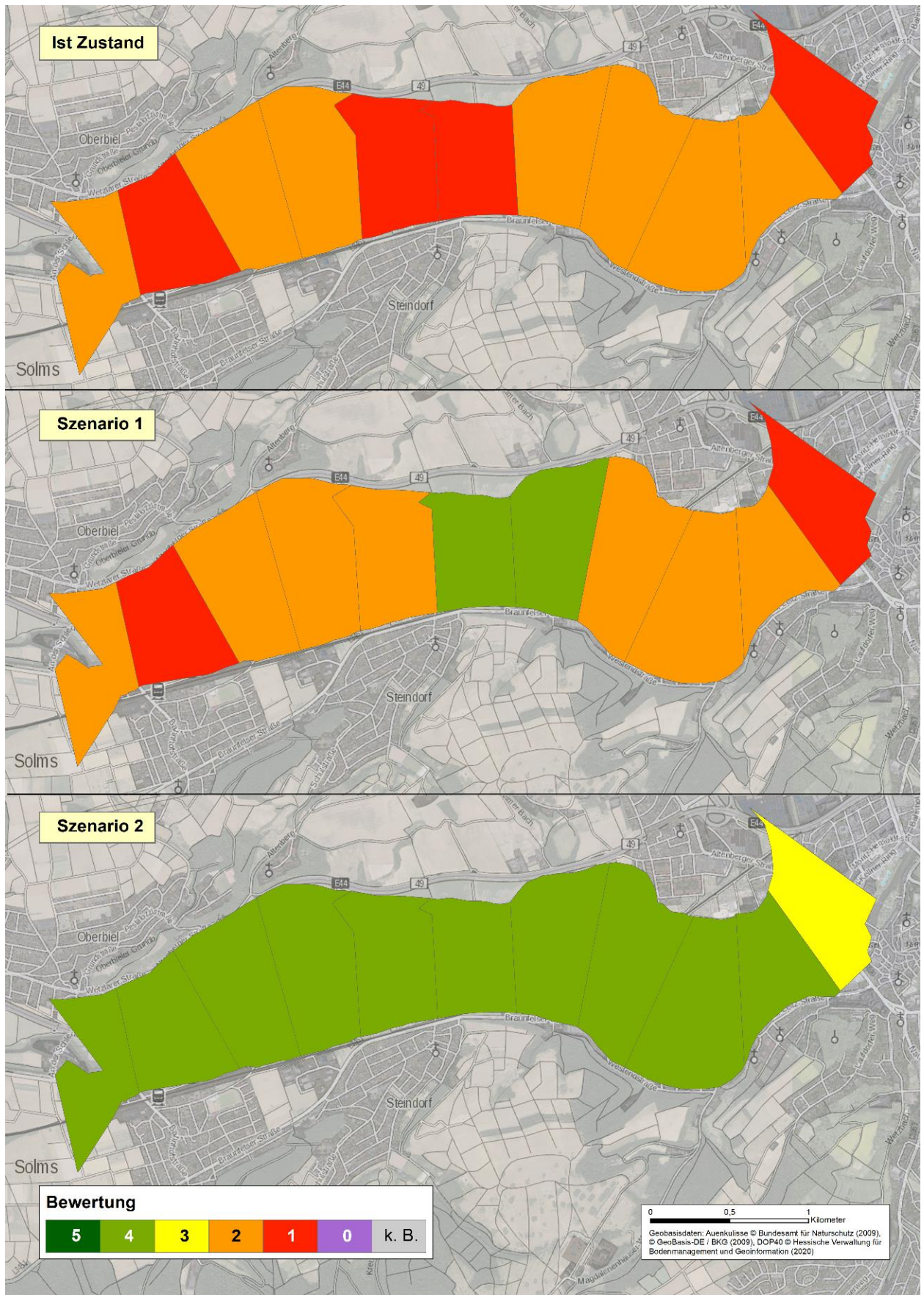


Abbildung 9-7: Bewertung der ÖSL Retention von Phosphor an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **morphologische Aue**

9.2.2.3 Retention von Stickstoff

Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden die Raumbezüge

- (1) rezente Aue (Abbildung 9-8) und
- (2) morphologische Aue gewählt (Abbildung 9-9)

für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.

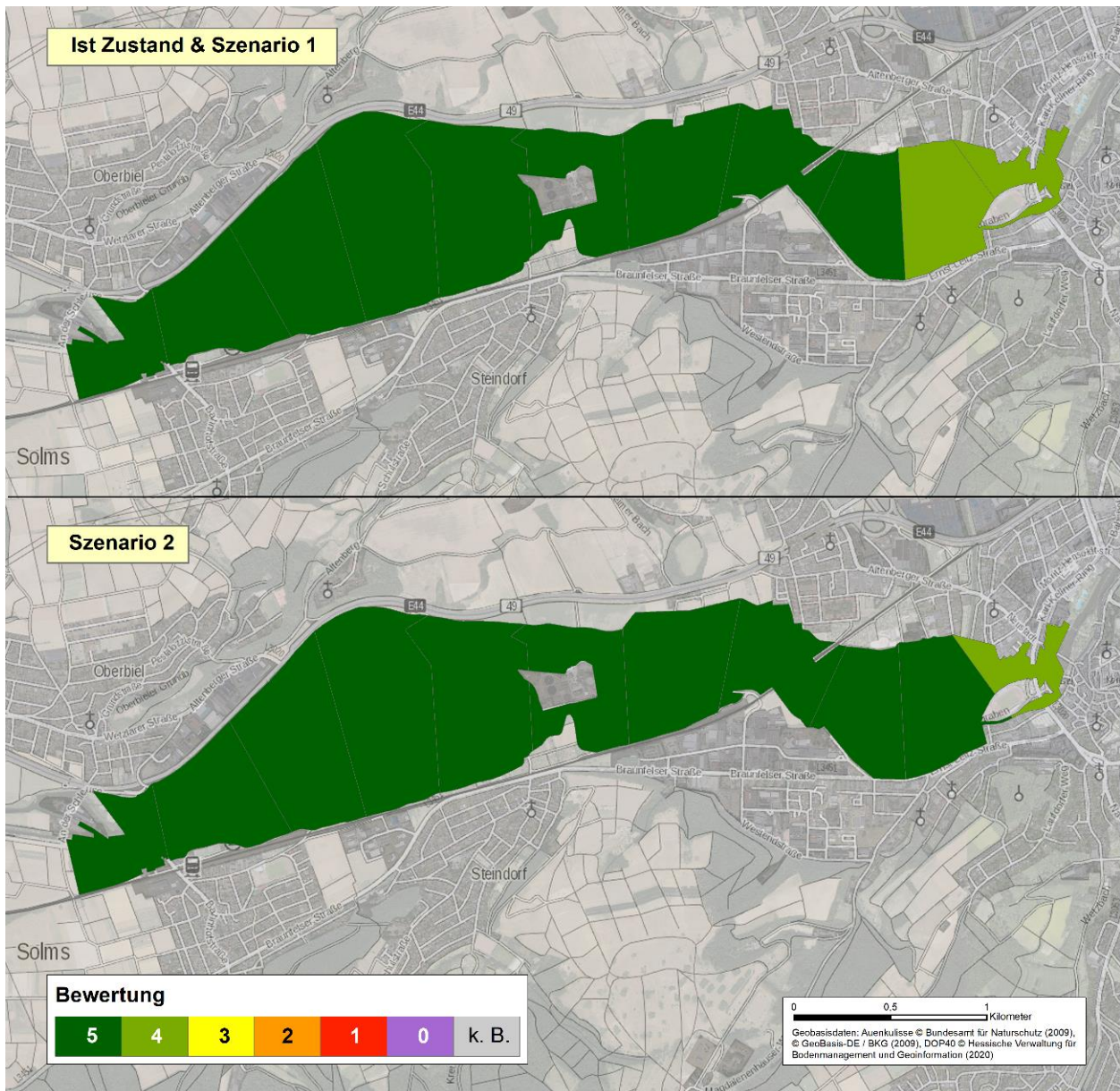


Abbildung 9-8: Bewertung der ÖSL Retention von Stickstoff an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: rezente Aue

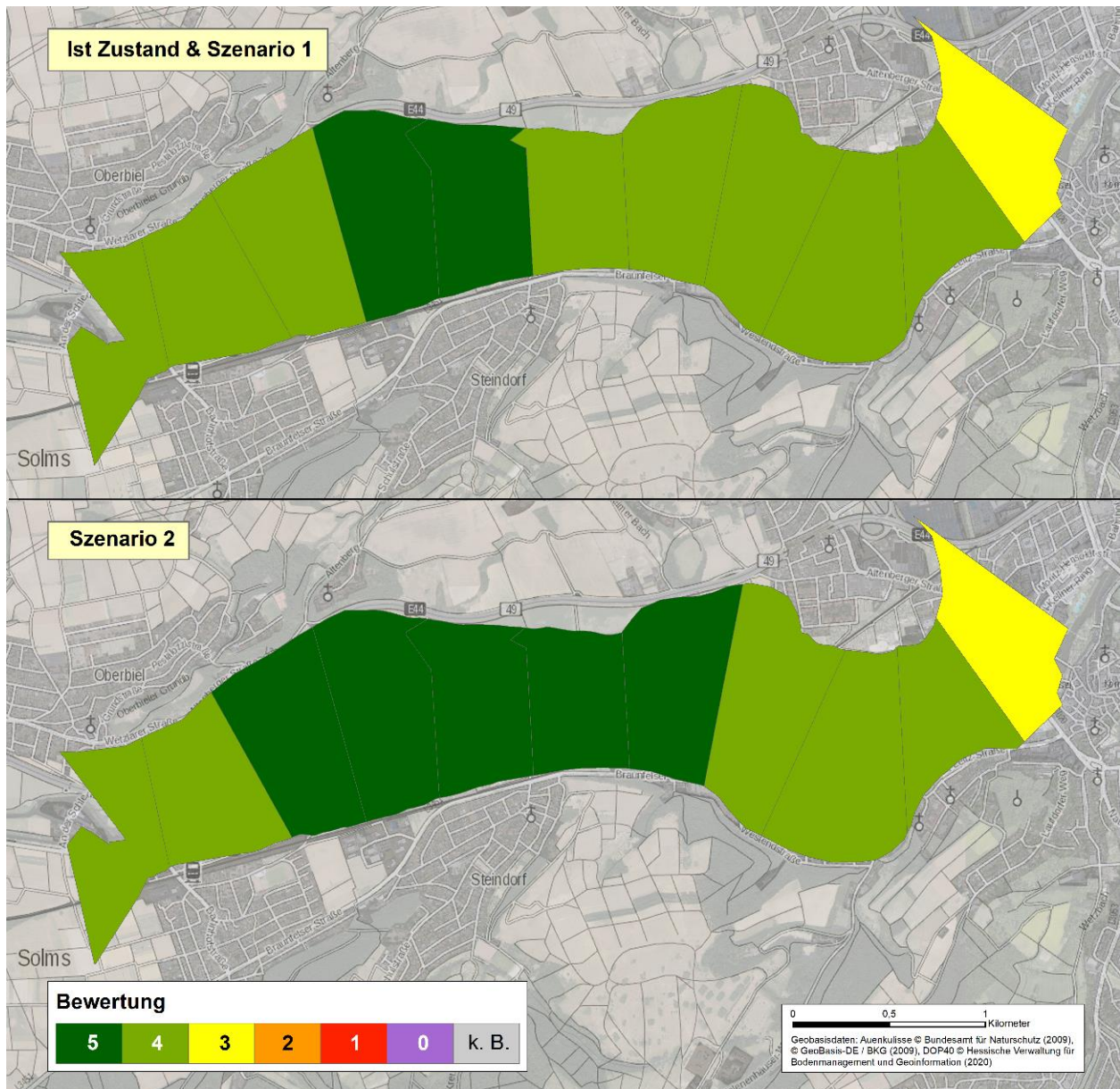


Abbildung 9-9: Bewertung der ÖSL Retention von Stickstoff an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **morphologische Aue**

9.2.3 ÖSL-Klasse Biologische Selbstreinigung

Die Bewertung für den Vergleich des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien wird wegen der Kopplung an Daten des Gewässers nur für die Lahn selber dargestellt (Abbildung 9-10).

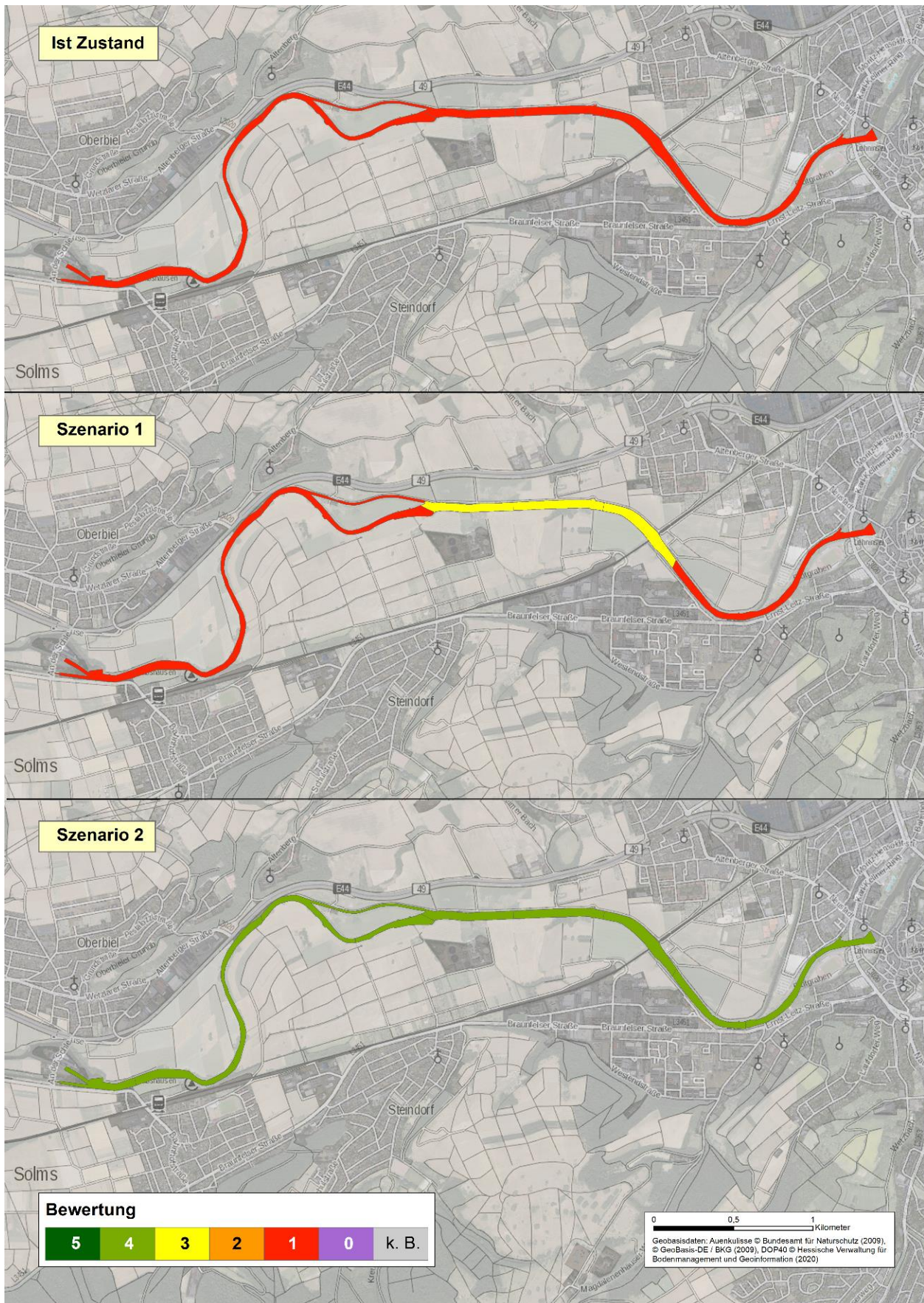


Abbildung 9-10: Bewertung der ÖSL Biologische Selbstreinigung an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **Fluss**

9.2.4 ÖSL-Klasse Globales Klima

Die Bewertung fußt auf einer Analyse des Kohlenstoffvorrates der Böden sowie der ober- und unterirdischen Biomasse bzw. seiner szenarioabhängigen Veränderung; Abbildung 9-11 zeigt exemplarisch den Ausgangszustand.

Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden die Raumbezüge

- (1) rezente Aue (Abbildung 9-12) und
- (2) morphologische Aue gewählt (Abbildung 9-13)

für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.

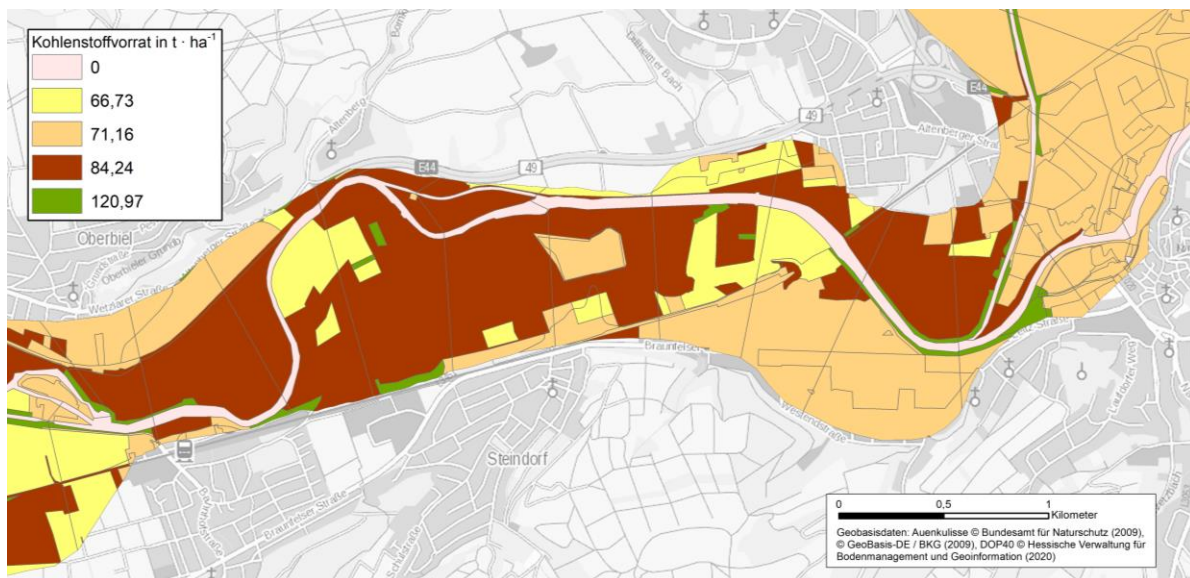


Abbildung 9-11: Bewertung der ÖSL Rückhalt von Treibhausgasen an der Staustufe Altenberg: Kohlenstoffvorrat (t ha⁻¹) der Böden sowie der ober- und unterirdischen Biomasse im Ist-Zustand

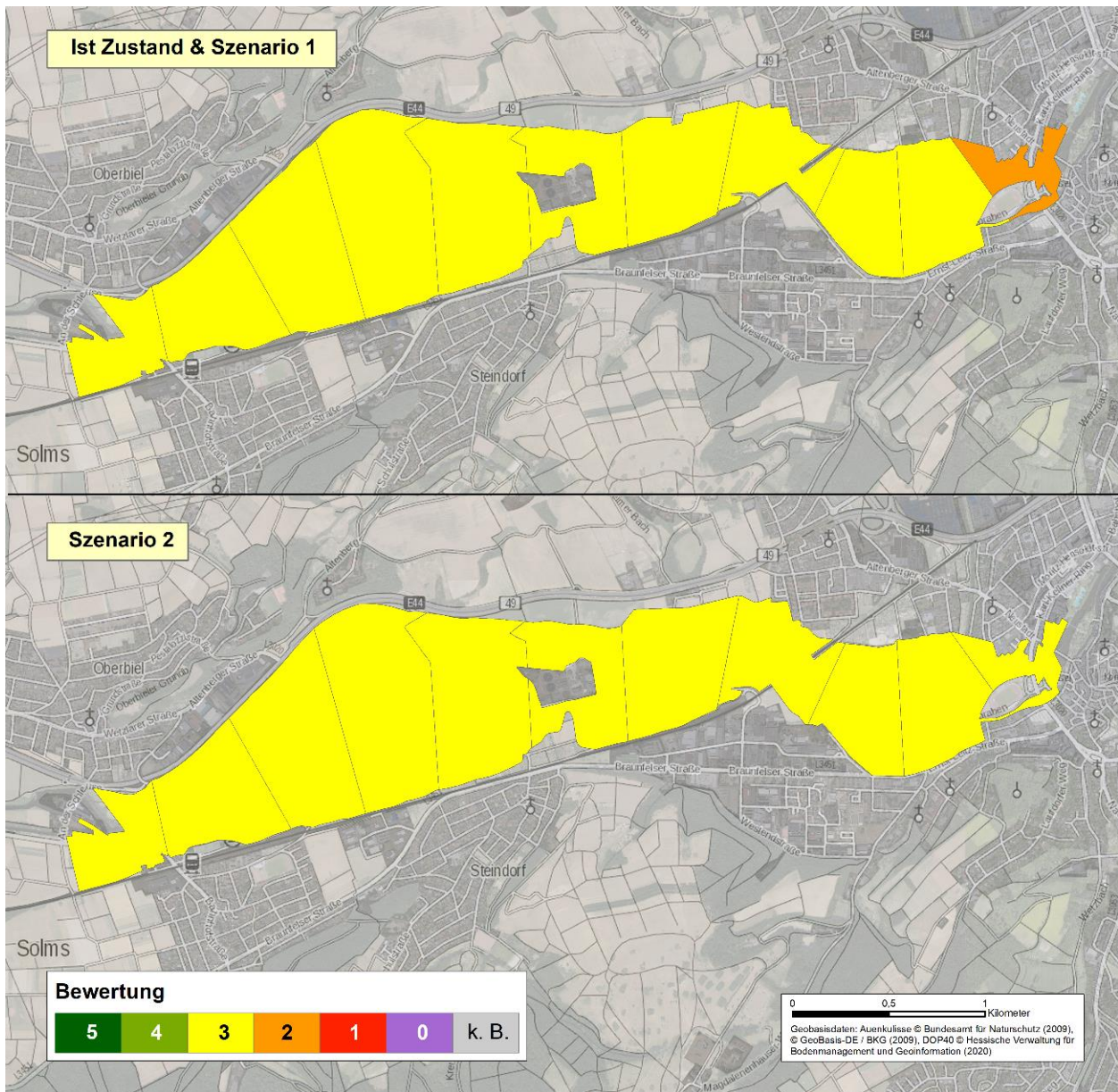


Abbildung 9-12: Bewertung der ÖSL Rückhalt von Treibhausgasen an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: rezente Aue

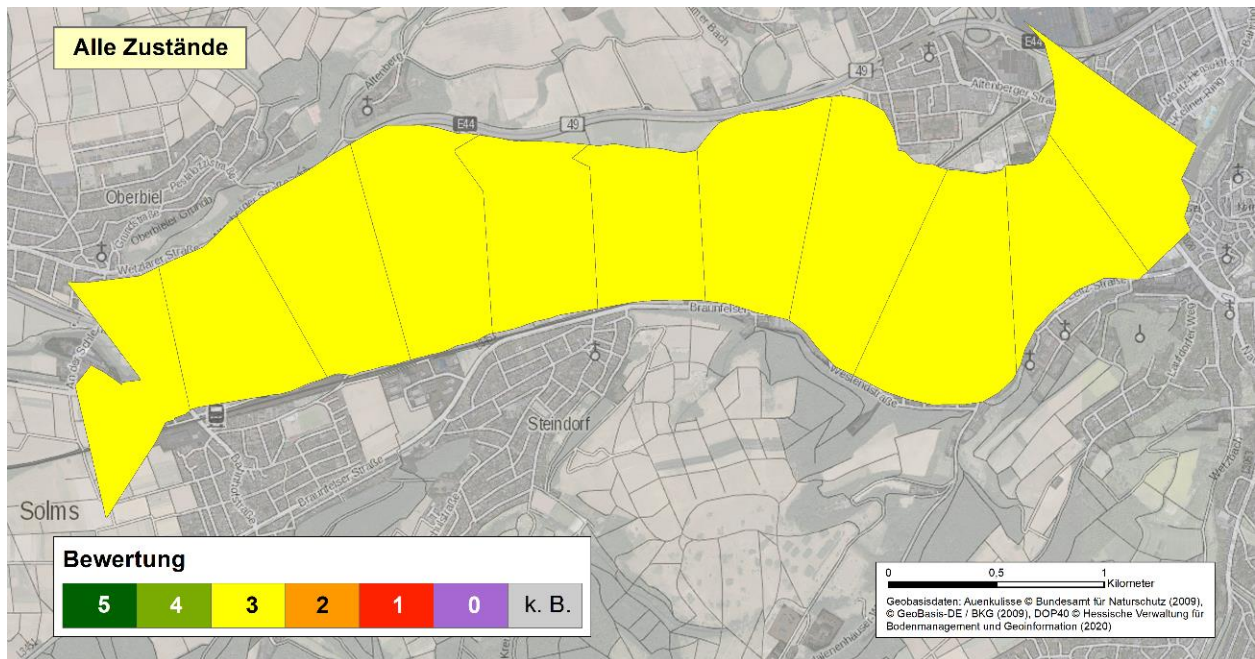


Abbildung 9-13: Bewertung der ÖSL Rückhalt von Treibhausgasen an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2 (identische Bewertung), Raumbezug: **morphologische Aue**

9.2.5 ÖSL-Klasse Regional-/Lokalklima

Die Bewertung fußt auf einer Analyse des Wasserhaushalts bzw. der mittleren realen Verdunstung in seiner szenarioabhängigen Veränderung; Abbildung 9-14 zeigt exemplarisch den Ausgangszustand und relevante Teilanalysen.

Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden die Raumbezüge

- (1) rezente Aue (Abbildung 9-15) und
- (2) morphologische Aue gewählt (Abbildung 9-16)

für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.

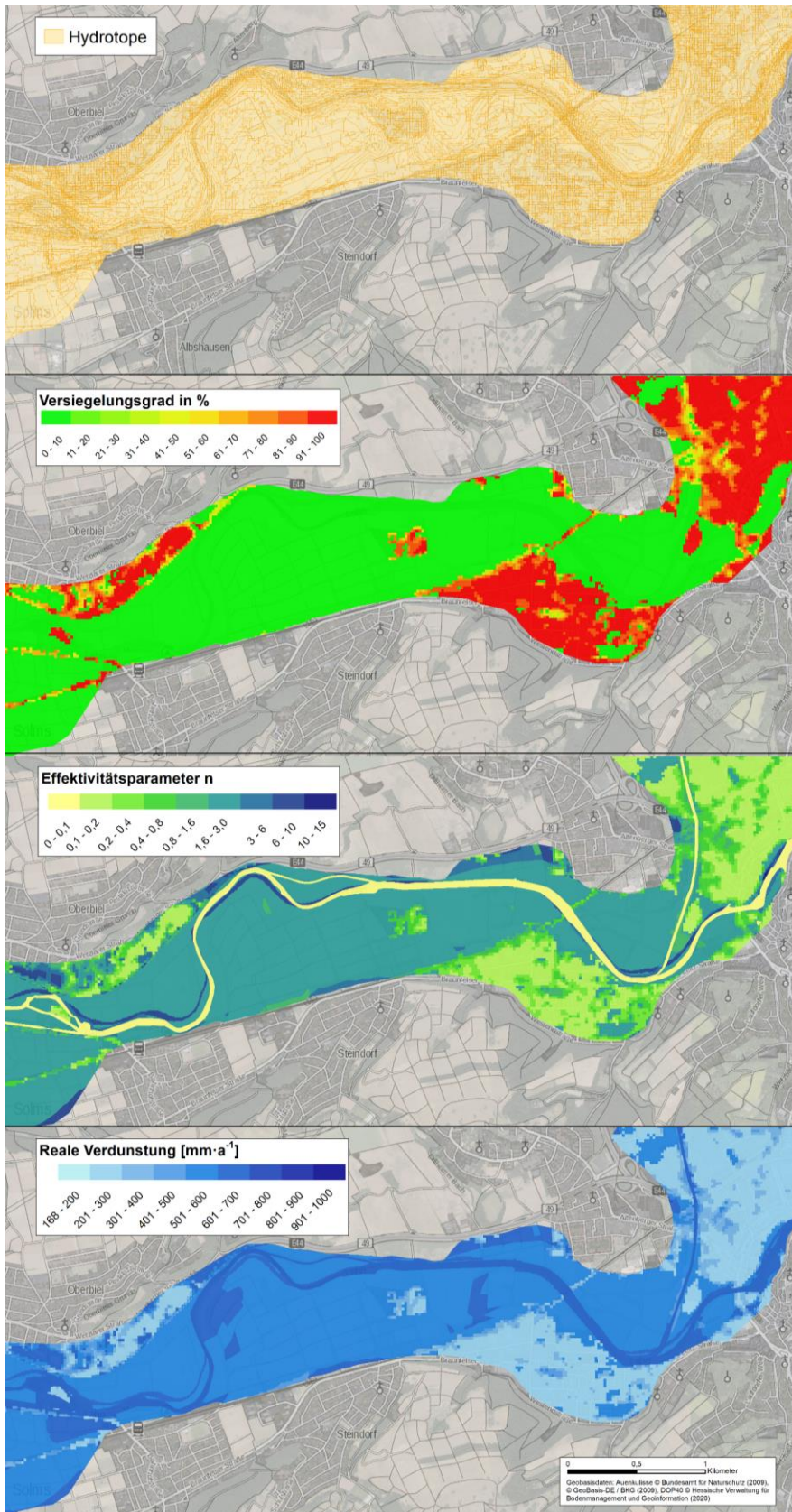


Abbildung 9-14: Ausgewählte Eingangsparameter (Versiegelungsgrad, Effektivitätsparameter) der Wasserhaushaltsberechnung und das daraus resultierende Ergebnis (reale Verdunstung) an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand

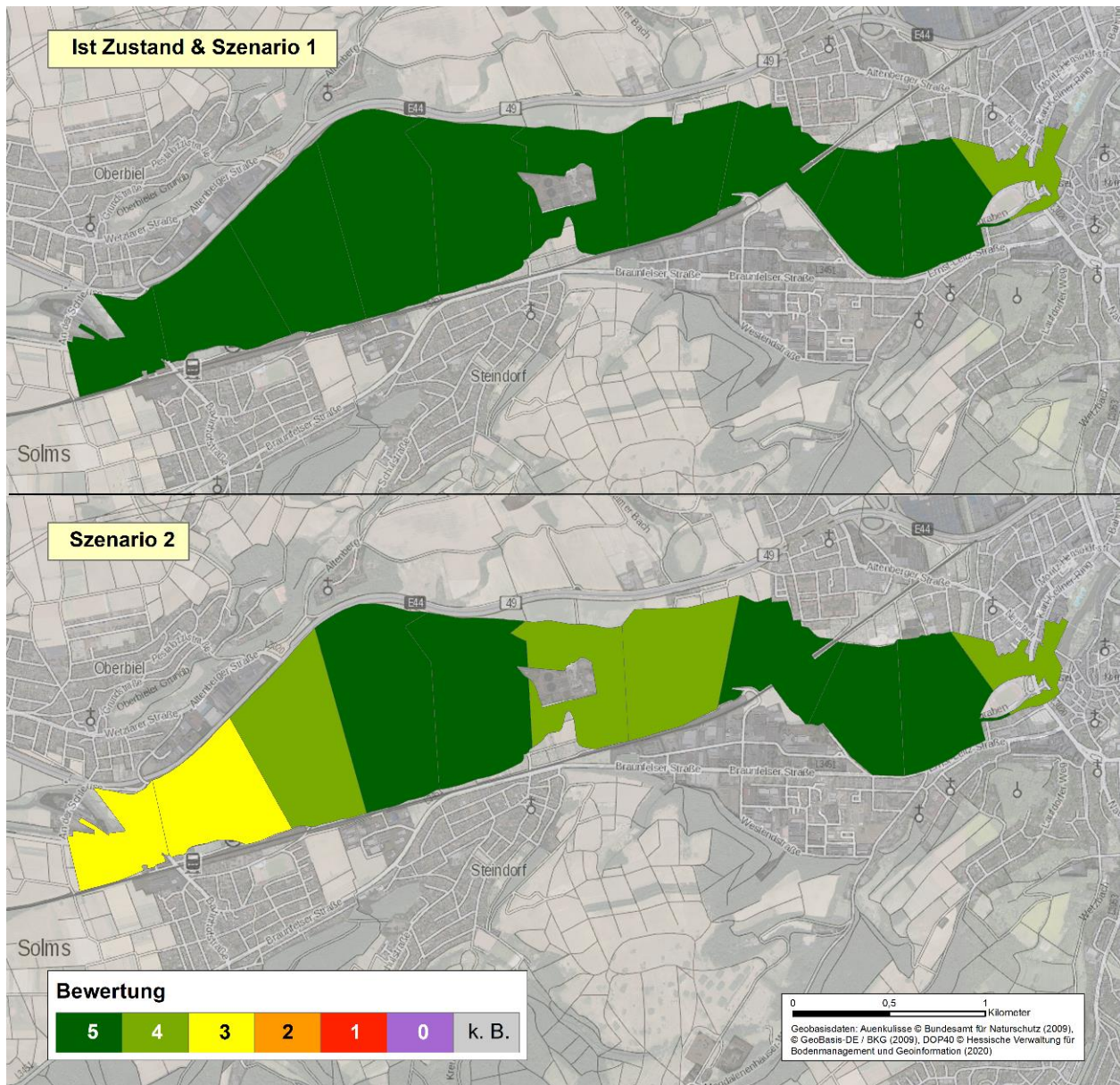


Abbildung 9-15: Bewertung der ÖSL Kühlwirkung an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **rezente Aue**

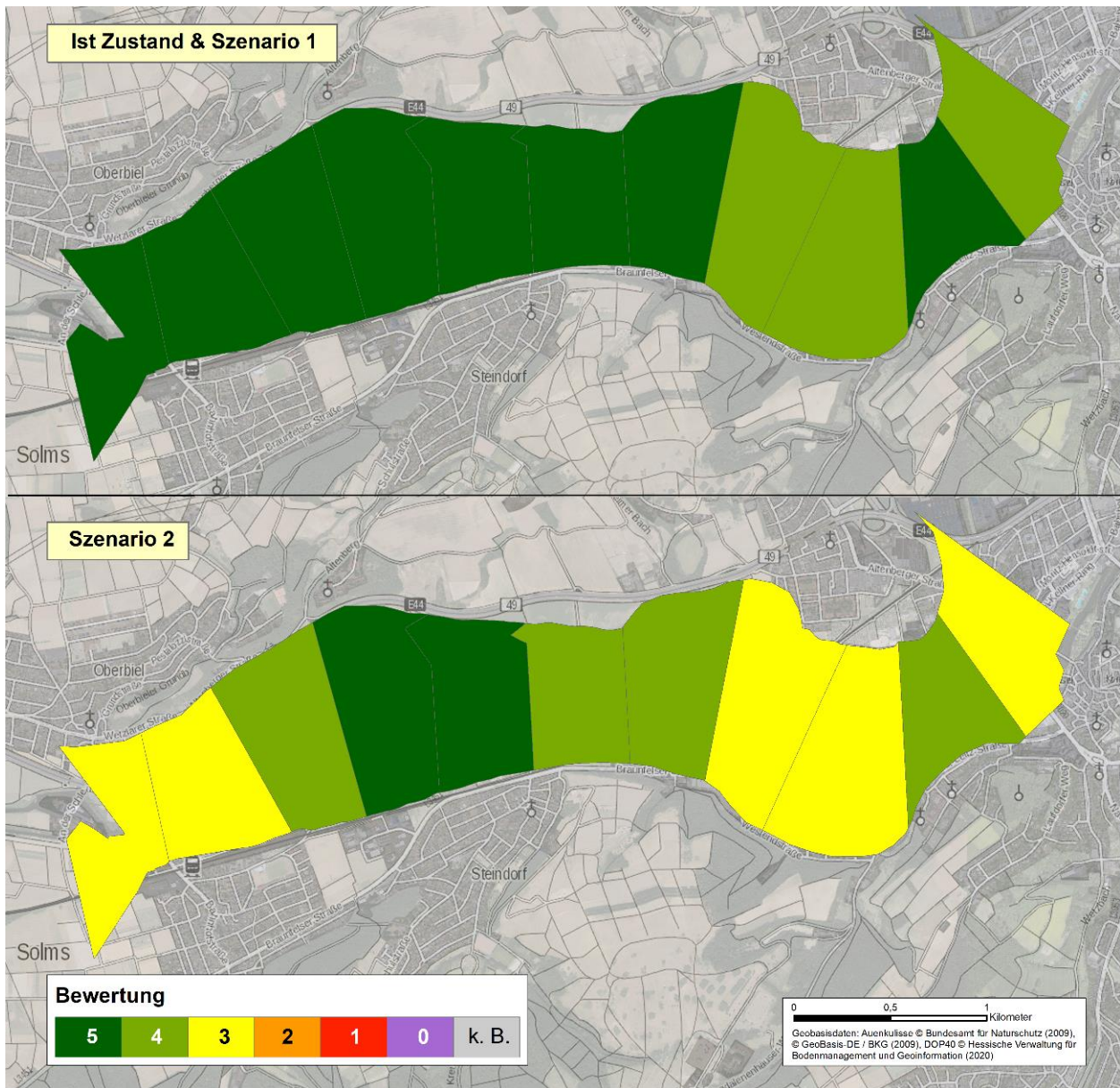


Abbildung 9-16: Bewertung der ÖSL Kühlwirkung an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **morphologische Aue**

9.2.6 ÖSL-Klasse Biologische Vielfalt

Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden die Raumbezüge

- (1) rezente Aue (Abbildung 9-17) und
- (2) morphologische Aue gewählt (Abbildung 9-18)

für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.

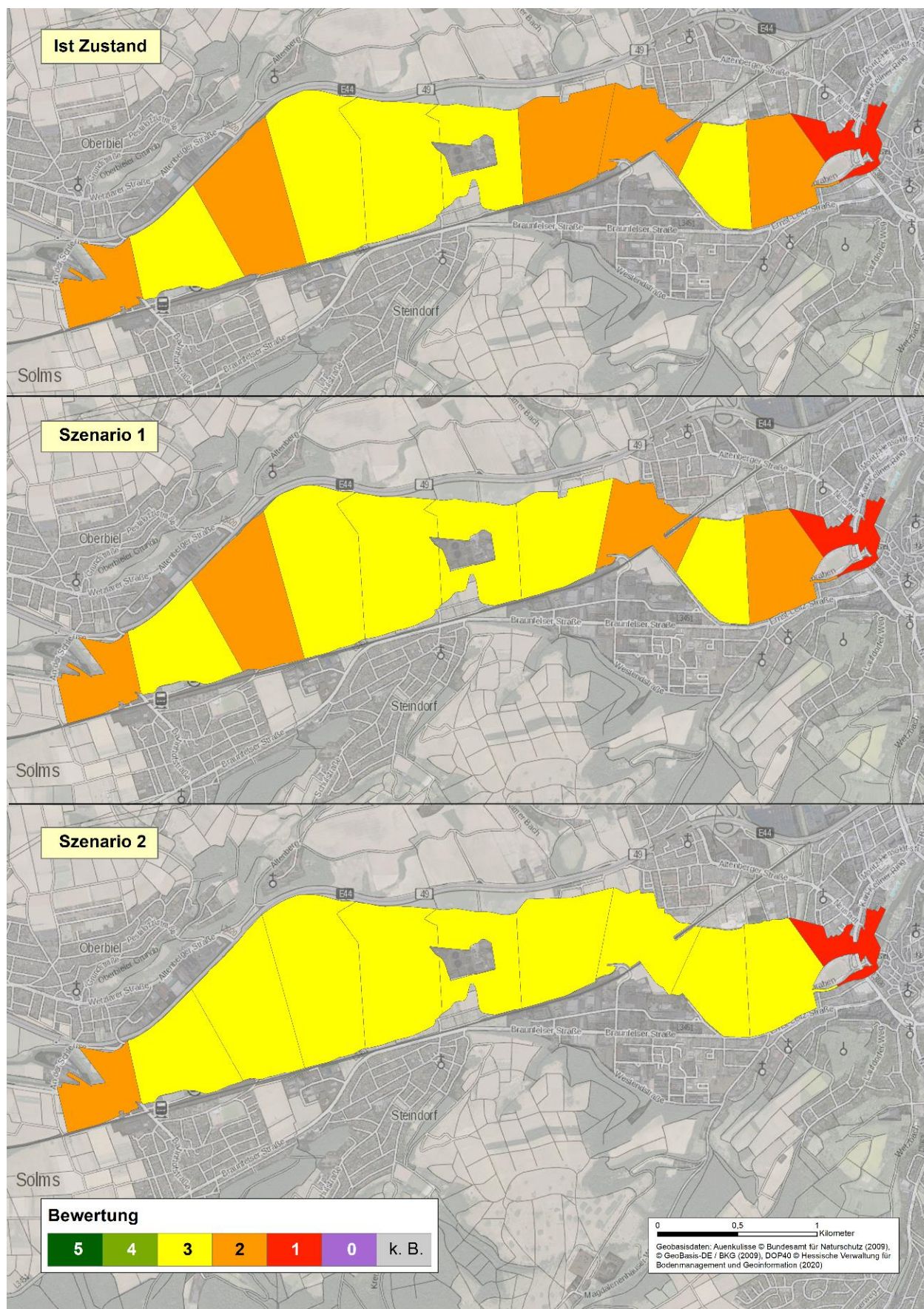


Abbildung 9-17: Bewertung der ÖSL Biologische Vielfalt an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: rezente Aue

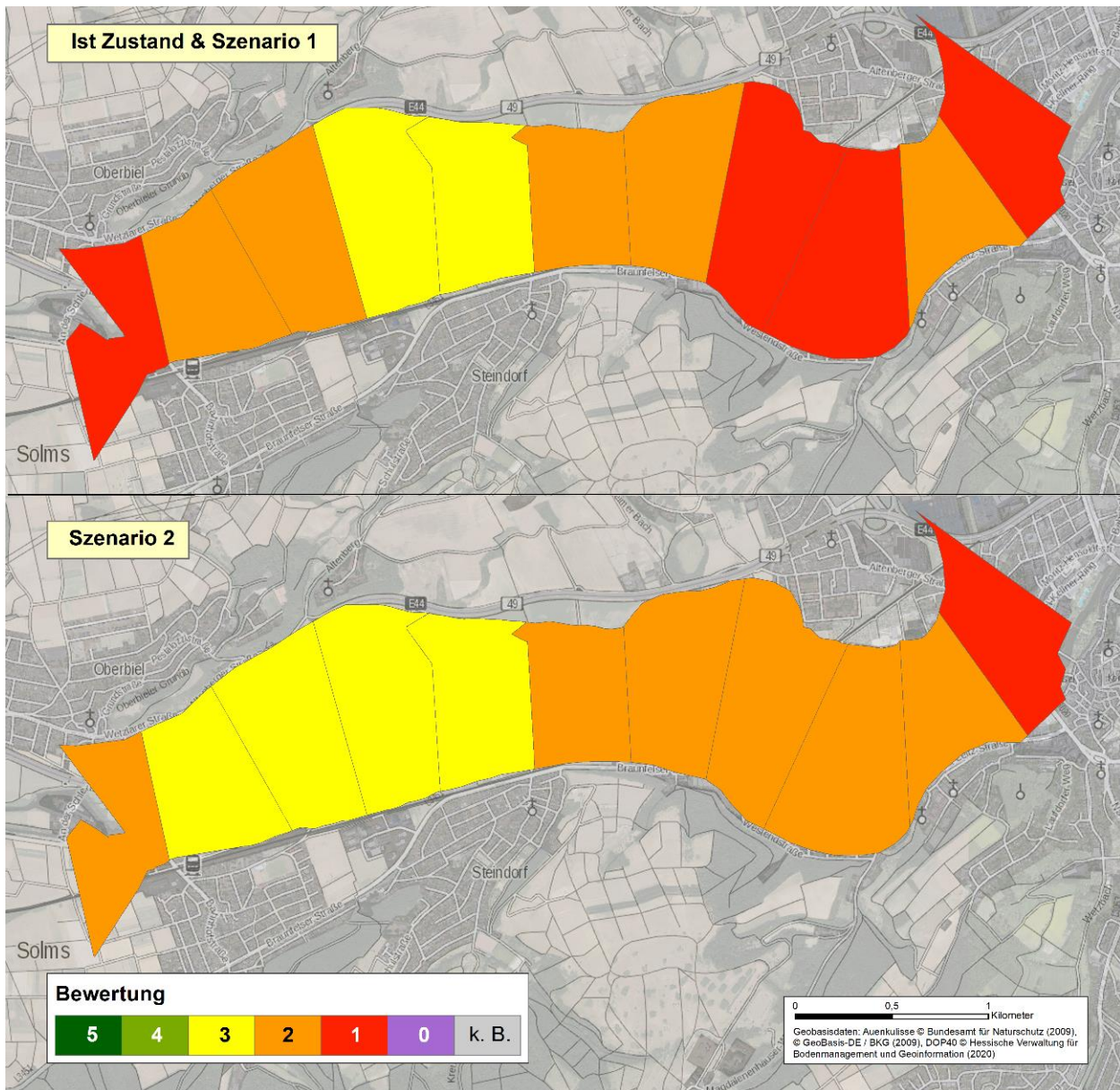


Abbildung 9-18: Bewertung der ÖSL Biologische Vielfalt an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **morphologische Aue**

9.3 Kulturelle Ökosystemleistungen

9.3.1 ÖSL-Klasse Landschaftserleben

Die Bewertung fußt auf einer Analyse der Landschaftsstrukturmaße Natürlichkeit, Reliefkontrast und Randeffect und dies in szenarioabhängiger Veränderung; Abbildung 9-19 zeigt exemplarisch den Ausgangszustand und das ÖSL-Bewertungsergebnis.

Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden die Raumbezüge

- (1) rezente Aue (Abbildung 9-20) und
- (2) morphologische Aue gewählt (Abbildung 9-21)

für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.

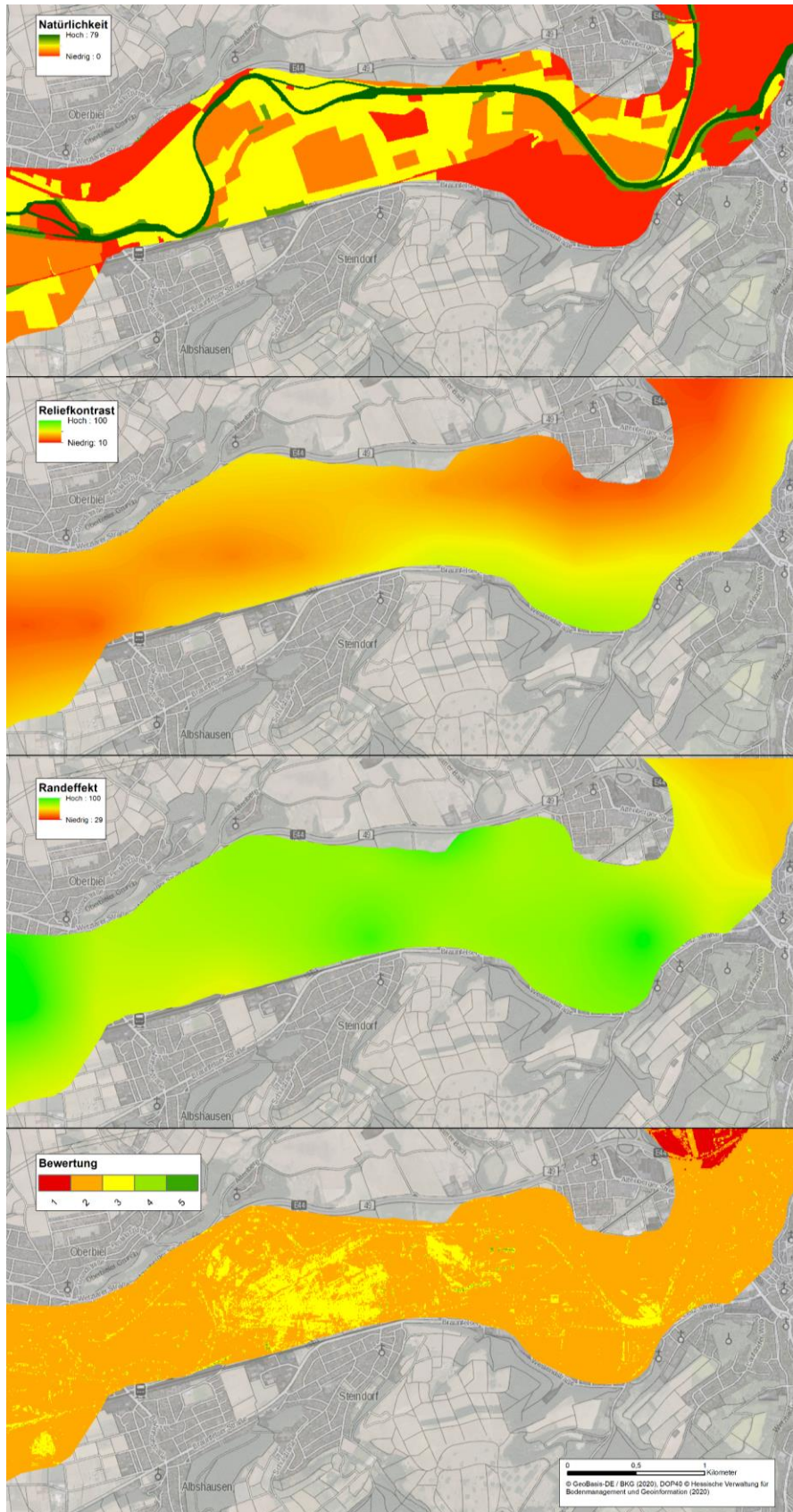


Abbildung 9-19: Landschaftsstrukturmaße Natürlichkeit, Reliefkontrast, Randeffect sowie Ergebnisbewertung der ÖSL-Berechnung Landschaftsästhetik an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand

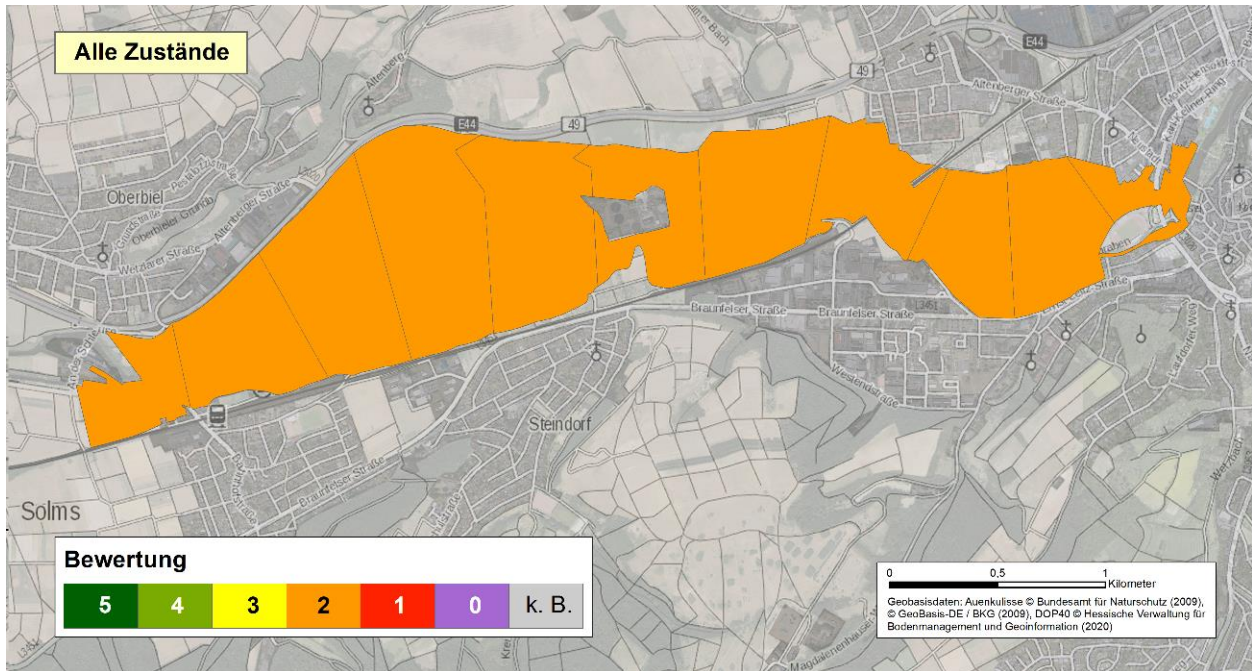


Abbildung 9-20: Bewertung der ÖSL Landschaftserleben an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2 (identische Raumbewertung), Raumbezug: **rezenste Aue**

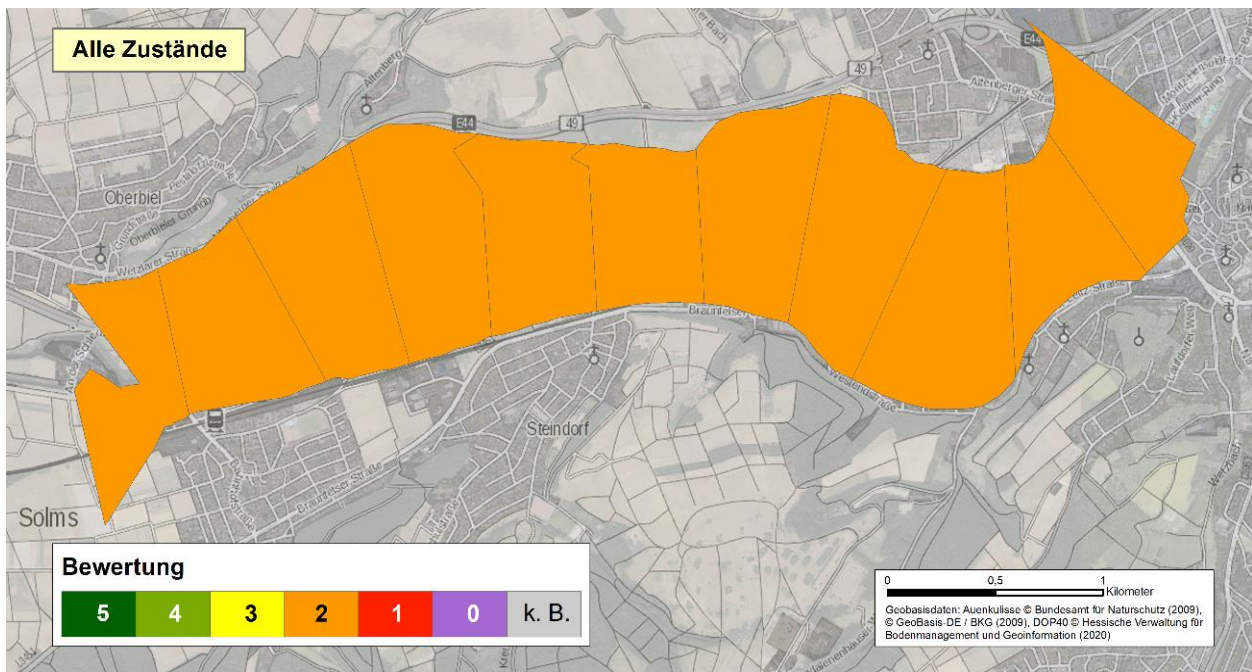


Abbildung 9-21: Bewertung der ÖSL Landschaftserleben an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2 (identische Raumbewertung), Raumbezug: **morphologische Aue**

9.3.2 ÖSL-Klasse Erholung und Tourismus

Eine Bewertung dieser Ökosystemleistung greift auf arealer Differenzierungsebene auf die Komponenten

- a) Ind_{Erh1} : Landschaftsbildbewertung (nur Komponente „Qualität“, entsprechende Ergebnis-/Datenübernahme der ÖSL-Bewertung) sowie

b) Ind_{Erh2} : Störwirkung (störende, benachbarte Nutzungen: Lärm, Optik) zurück

und bewertet die szenarioabhängige Veränderung; Abbildung 9-22 zeigt die Ausgangsdaten exemplarisch für den Ausgangszustand.

Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden die Raumbezüge

- (1) rezente Aue (Abbildung 9-23) und
- (2) morphologische Aue gewählt (Abbildung 9-24)

für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.

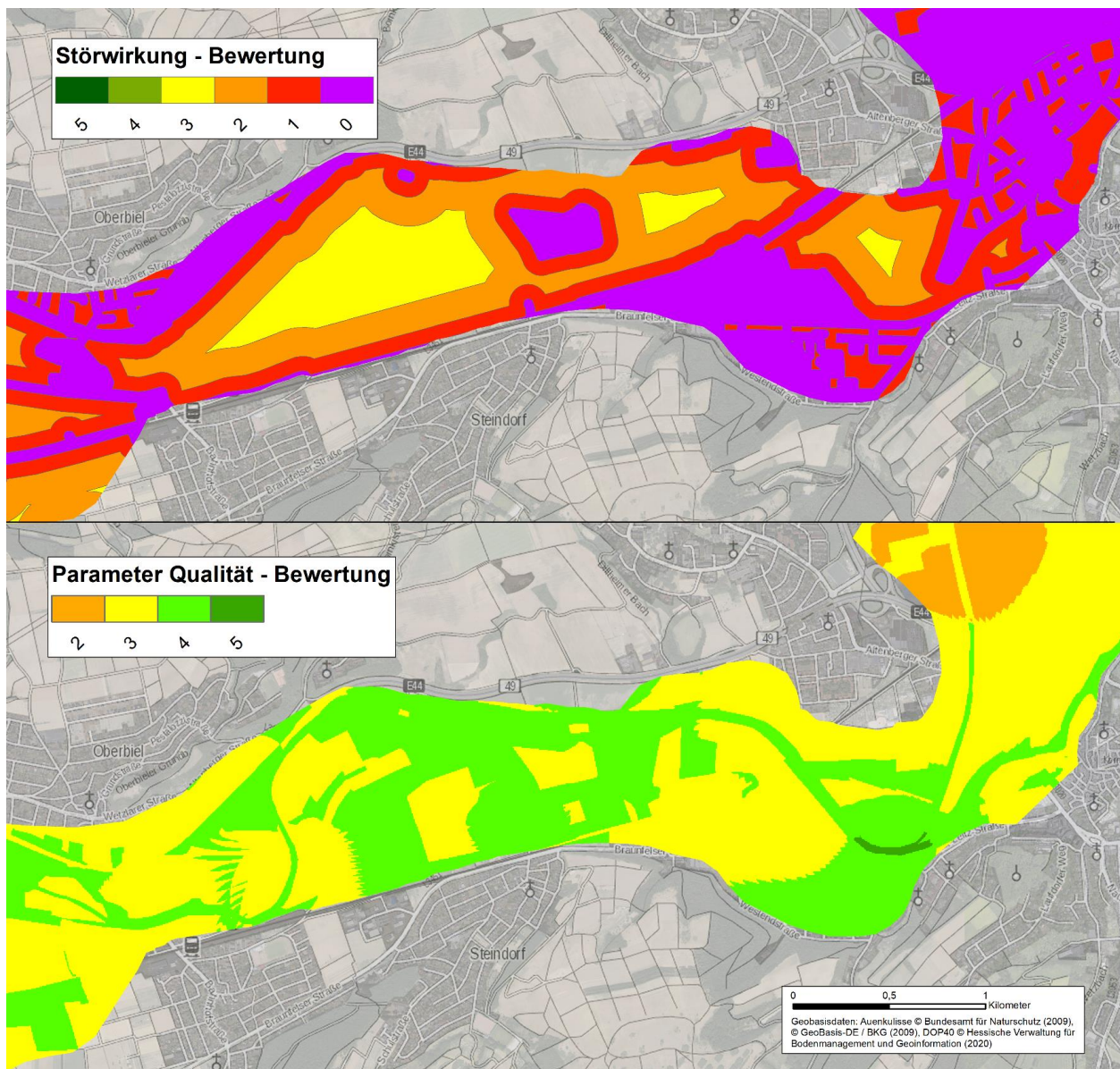


Abbildung 9-22: Eingangsparameter (Störwirkung, Landschaftsbildbewertung/Hauptbewertungskomponente: Qualität) der ÖSL-Berechnung Erholung und Tourismus an der Staustufe Altenberg

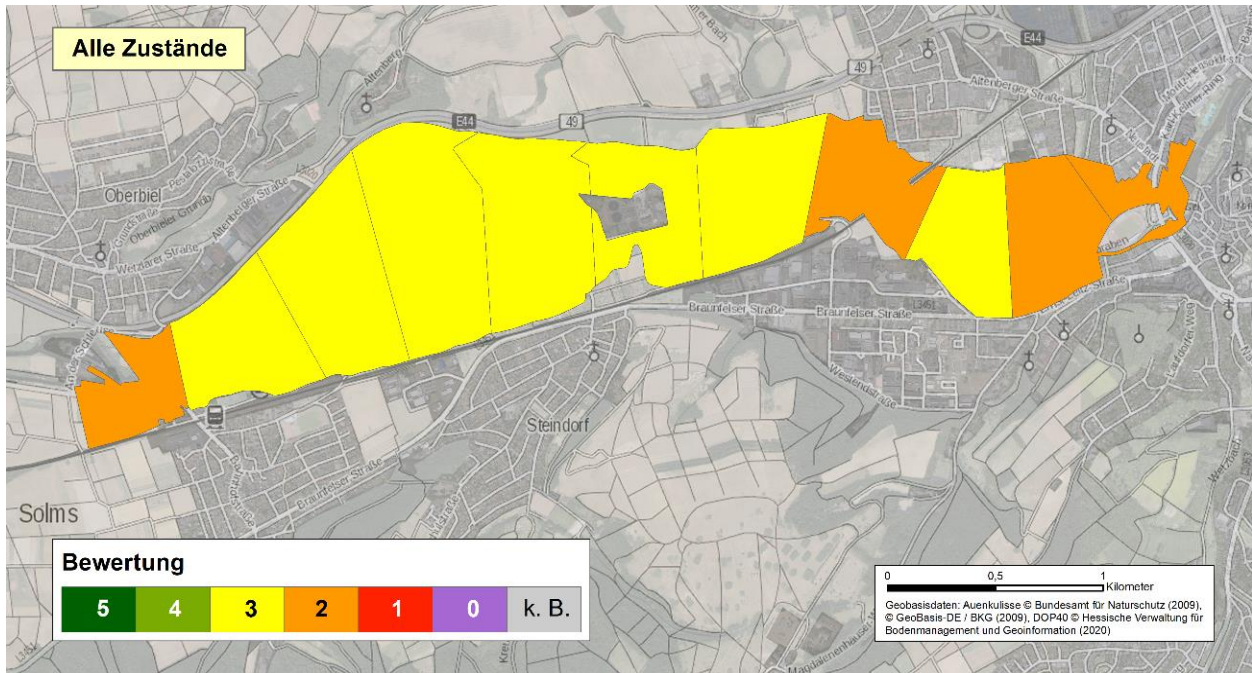


Abbildung 9-23: Bewertung der ÖSL Erholung und Tourismus an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2 (identische Raumbewertung), Raumbezug: **rezepte Aue**

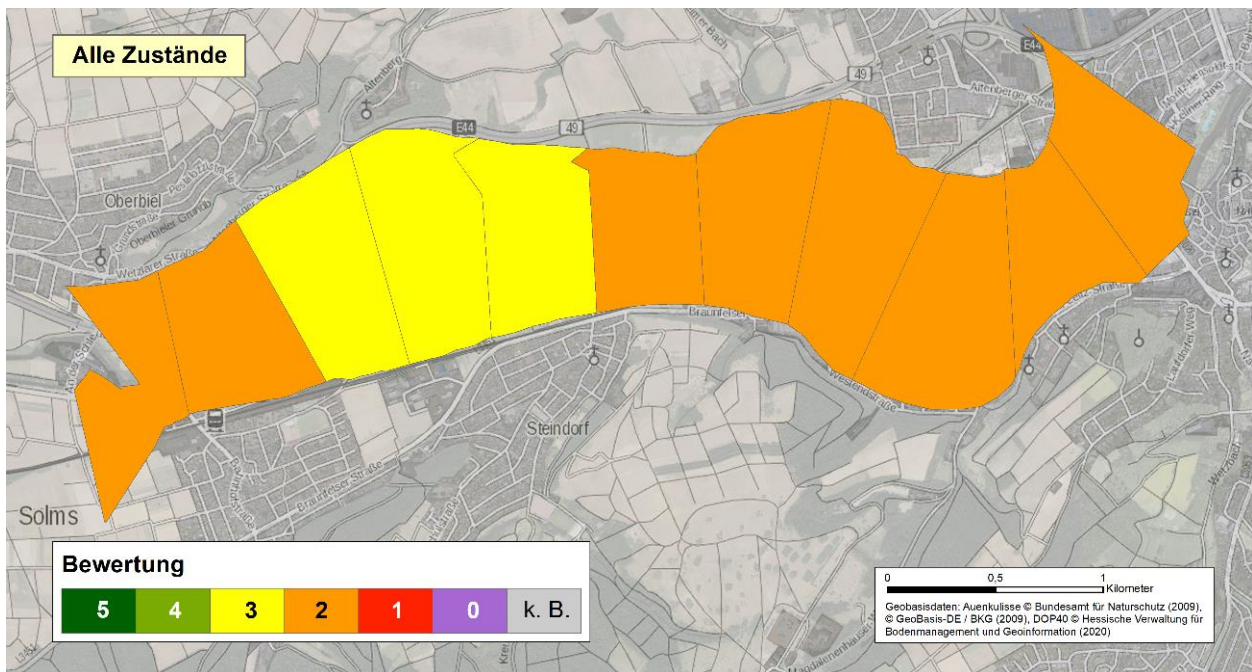


Abbildung 9-24: Bewertung der ÖSL Erholung und Tourismus an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2 (identische Raumbewertung), Raumbezug: **morphologische Aue**

9.3.3 ÖSL-Klasse Intellektuelle Interaktionen

Entsprechend der gewählten Darstellungsansätze werden die Raumbezüge

- (1) rezente Aue (Abbildung 9-25) und
- (2) morphologische Aue gewählt (Abbildung 9-26)

für die Vergleiche des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien genutzt.

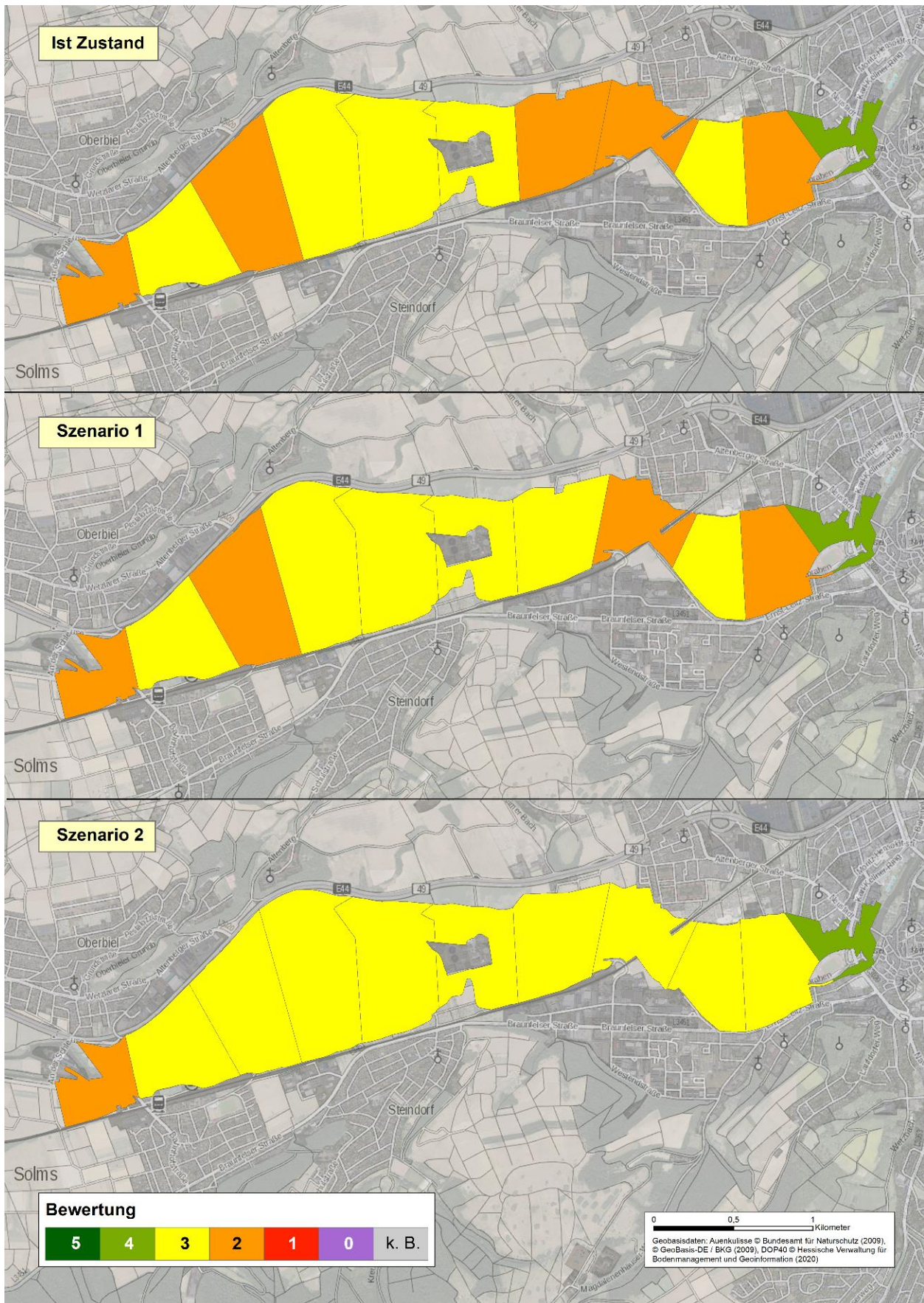


Abbildung 9-25: Bewertung der ÖSL Bildung und Wissenschaft an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **rezente Aue**

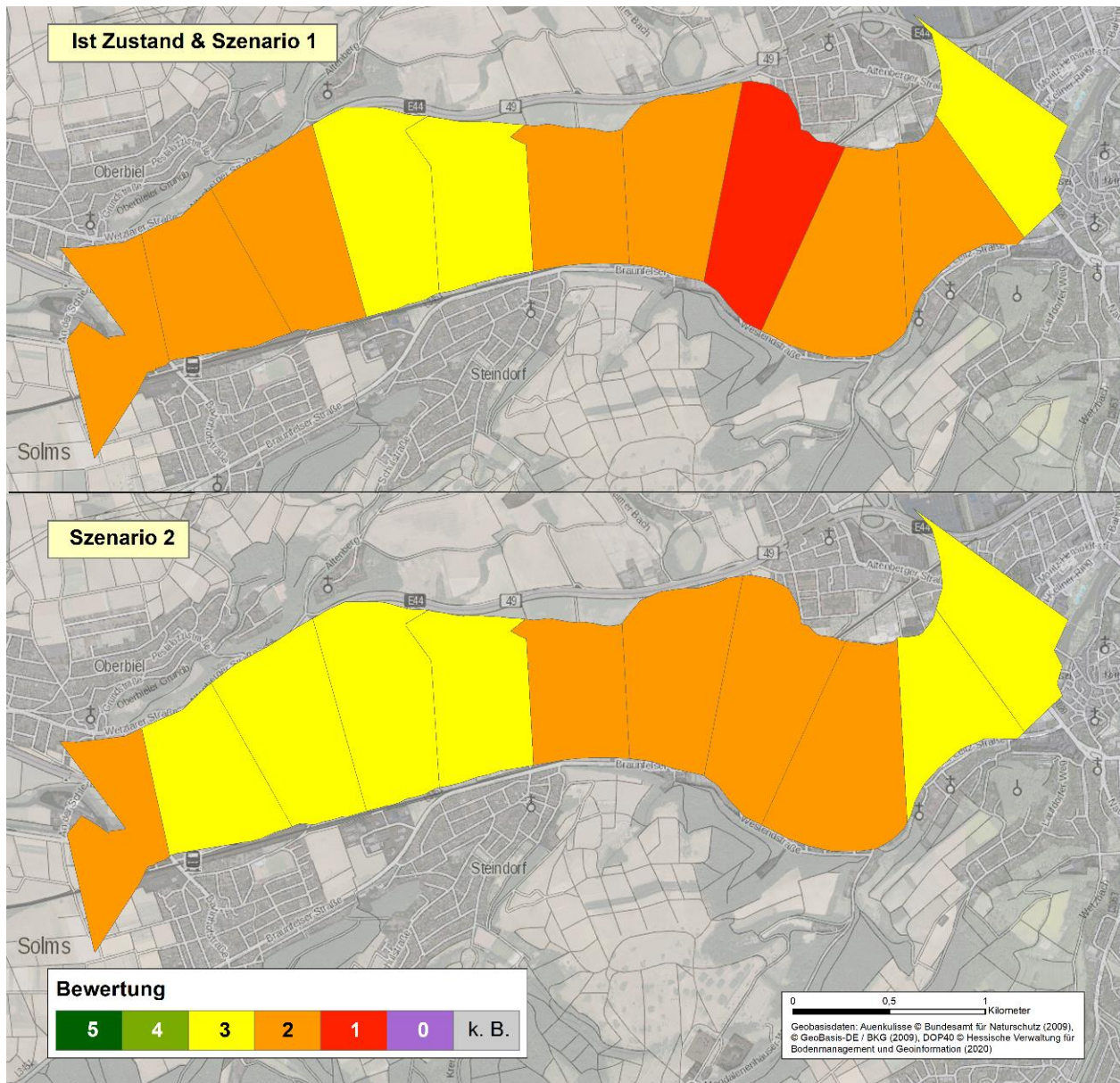


Abbildung 9-26: Bewertung der ÖSL Bildung und Wissenschaft an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: **morphologische Aue**

9.4 Weitere (abiotische) Leistungen

9.4.1 ÖSL-Klasse Schifffahrt/ÖSL Motorisierte Schifffahrt

Die Bewertung für den Vergleich des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien wird wegen der Kopplung an die Daten des Gewässers nur für die Lahn selber dargestellt (Abbildung 9-27).

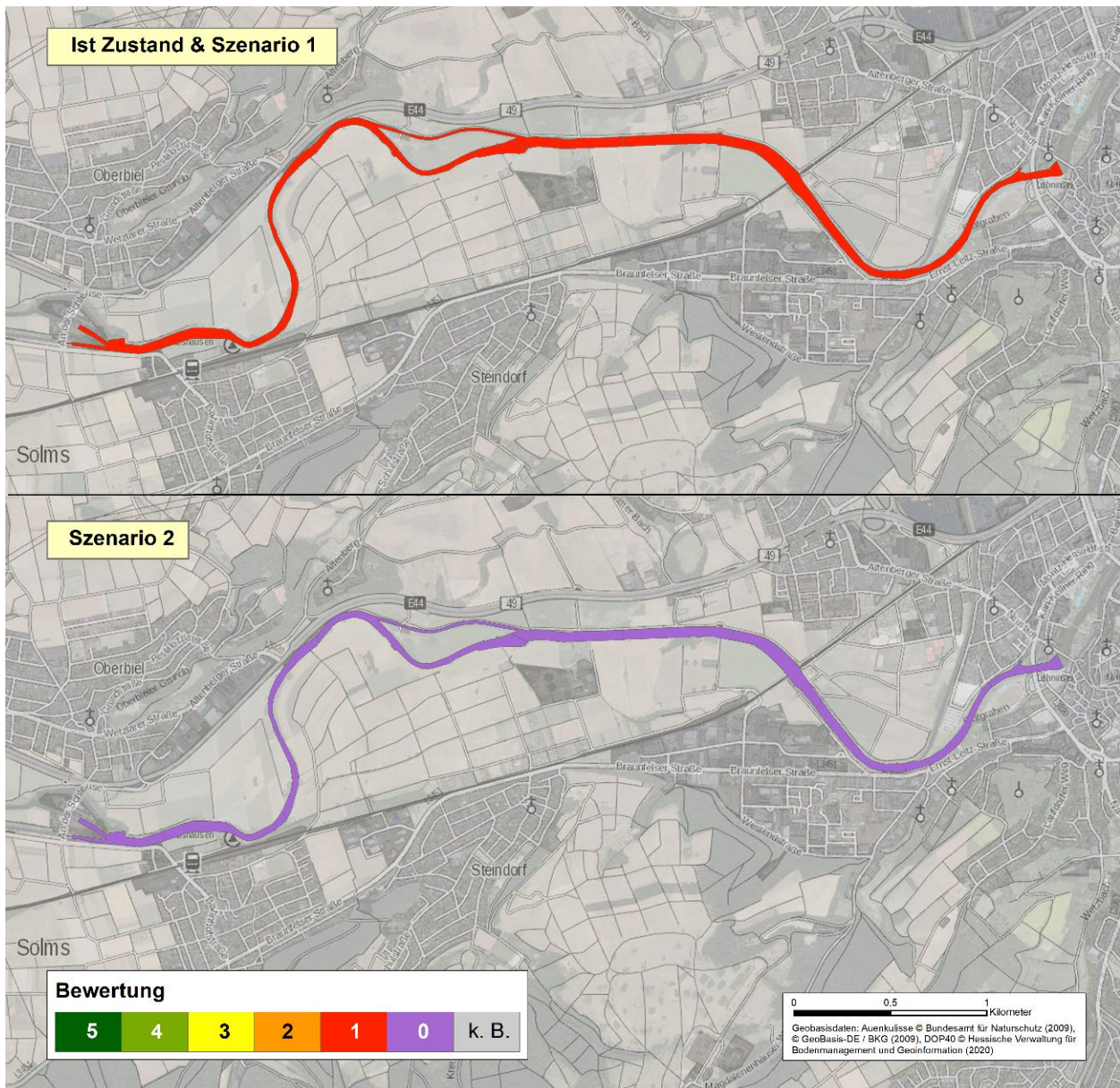


Abbildung 9-27: Bewertung der ÖSL Motorisierte Schifffahrt an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: Fluss

9.4.2 ÖSL-Klasse Energie/ÖSL Wasserkraft

Die Bewertung für den Vergleich des Ist-Zustandes mit den beiden Szenarien wird wegen der Kopplung an die Daten des Gewässers nur für die Lahn selber dargestellt (Abbildung 9-28).

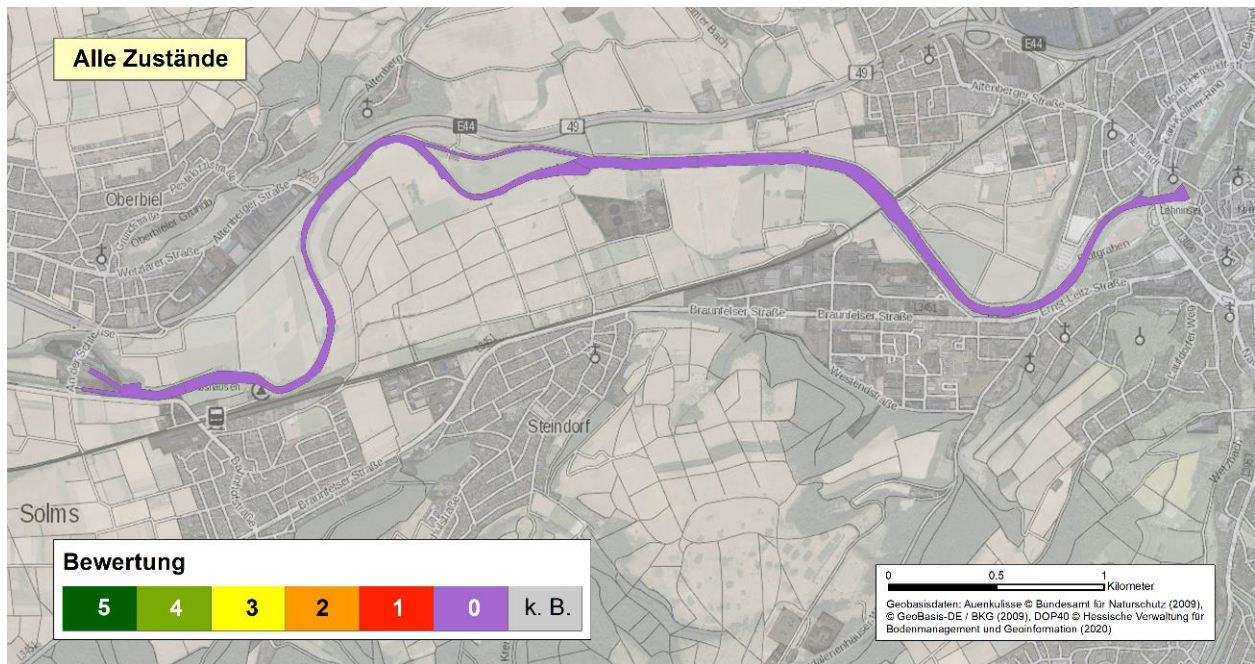


Abbildung 9-28: Bewertung der ÖSL Wasserkraft an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand sowie in den Szenarien 1 und 2, Raumbezug: Fluss

9.5 Synopsis

Die Synopsis dient der übersichtlichen Zusammenschau aller Bewertungsergebnisse. Deshalb sind zunächst in Tabelle 9-1 (für die rezente Aue) und in Tabelle 9-2 (für die morphologische Aue) alle qualitativen Bewertungsergebnisse des Ist-Zustands und der Szenarien 1 und 2 für die Staustufe Altenberg, detailliert für alle Auenabschnitte bzw. -segmente, aufgeführt. Die farbliche Unterlegung ermöglicht eine gute Orientierung in der Bewertungsabstufung.

Bei der Staustufe Altenberg unterscheiden sich der Ist-Zustand und das Szenario 1 tatsächlich etwas stärker, so dass sich auch bewertungsseitig bei einzelnen ÖSL durchaus gewisse Differenzen zeigen.

Die Summe der qualitativen Einzelbewertungen der Ökosystemleistungen aller Auensegmente der Staustufe ist für den Ist-Zustand sowie beide Szenarien, jeweils für die Raumbezüge rezente Aue und morphologische Aue, in Abbildung 9-29 und Abbildung 9-30 übergreifend dargestellt.

Schließlich werden die Ergebnisse der ökonomischen Bewertung in Tabelle 9-3 zusammengefasst.

Tabelle 9-1: Tabellarische Übersicht der qualitativen Bewertungen der ÖSL für den Teilraum **rezente Aue** an der Staustufe Altenberg, k. B. – keine Bewertung

Segment-ID		Versorgende ÖSL	Regulative ÖSL									Kulturelle ÖSL			Abiotische ÖSL		Summe
		Bodenfruchtbarkeit/Ertragspotenzial (Indikator)	Hochwasserregulation	Niedrigwasserregulation	Sedimentregulation	Retention von Stickstoff	Retention von Phosphor	Biologische Selbstreinigung	Rückhalt von Treibhausgasen	Kühlwirkung	Habitatbereitstellung	Landschaftsästhetik	Erholung und Tourismus	Bildung & Wissenschaft	Motorisierte Schifffahrt	Wasserkraft	
Ist-Zustand	LHN-R222	4	2	5	1	5	2	1	3	5	2	2	2	2	1	0	37
	LHN-R223	4	3	5	1	5	1	1	3	5	3	2	3	3	1	0	40
	LHN-R224	4	3	5	1	5	2	1	3	5	2	2	3	2	1	0	39
	LHN-R225	4	4	5	1	5	2	1	3	5	3	2	3	3	1	0	42
	LHN-R226	4	4	5	1	5	1	1	3	5	3	2	3	3	1	0	41
	LHN-R227	4	3	5	1	5	1	1	3	5	3	2	3	3	1	0	40
	LHN-R228	5	3	5	1	5	2	1	3	5	2	2	3	2	1	0	40
	LHN-R229	4	3	5	1	5	2	1	3	5	2	2	2	2	1	0	38
	LHN-R230	4	3	5	1	5	1	1	3	5	3	2	3	3	1	0	40
	LHN-R231	3	3	5	1	4	2	1	3	5	2	2	2	2	1	0	36
	LHN-R232	1	2	5	1	4	1	1	2	4	1	2	2	4	1	0	31
		Summe	41	33	55	11	53	17	11	32	54	26	22	29	29	11	0
	Mittelwert	3,7	3,0	5,0	1,0	4,8	1,5	1,0	2,9	4,9	2,4	2,0	2,6	2,6	1,0	0,0	38,5
Szenario 1	LHN-R222	4	2	5	1	5	2	1	3	5	2	2	2	2	1	0	37
	LHN-R223	4	3	5	1	5	1	1	3	5	3	2	3	3	1	0	40
	LHN-R224	4	3	5	1	5	2	1	3	5	2	2	3	2	1	0	39
	LHN-R225	4	4	5	1	5	2	1	3	5	3	2	3	3	1	0	42
	LHN-R226	4	4	5	1	5	2	1	3	5	3	2	3	3	1	0	42

Segment-ID	Versorgende ÖSL	Regulative ÖSL									Kulturelle ÖSL			Abiotische ÖSL		Summe	
	Bodenfruchtbarkeit/Ertragspotenzial (Indikator)	Hochwasserregulation	Niedrigwasserregulation	Sedimentregulation	Retention von Stickstoff	Retention von Phosphor	Biologische Selbstreinigung	Rückhalt von Treibhausgasen	Kühlwirkung	Habitatbereitstellung	Landschaftsästhetik	Erholung und Tourismus	Bildung & Wissenschaft	Motorisierte Schifffahrt	Wasserkraft		
LHN-R227	4	3	5	3	5	4	3	3	5	3	2	3	3	1	0	47	
LHN-R228	5	3	5	3	5	4	3	3	5	3	2	3	3	1	0	48	
LHN-R229	4	3	5	3	5	4	3	3	5	2	2	2	2	1	0	44	
LHN-R230	4	3	5	1	5	1	1	3	5	3	2	3	3	1	0	40	
LHN-R231	3	3	5	1	4	2	1	3	5	2	2	2	2	1	0	36	
LHN-R232	1	2	5	1	4	1	1	2	4	1	2	2	4	1	0	31	
Summe	41	33	55	17	53	25	17	32	54	27	22	29	30	11	0	446	
Mittelwert	3,7	3,0	5,0	1,5	4,8	2,3	1,5	2,9	4,9	2,5	2,0	2,6	2,7	1,0	0,0	40,5	
Szenario 2	LHN-R222	3	4	4	4	5	4	4	3	3	2	2	2	0	0	42	
	LHN-R223	3	5	4	4	5	4	4	3	3	3	2	3	3	0	0	46
	LHN-R224	2	5	4	4	5	4	4	3	4	3	2	3	3	0	0	46
	LHN-R225	3	5	4	4	5	4	4	3	5	3	2	3	3	0	0	48
	LHN-R226	3	5	4	4	5	4	4	3	5	3	2	3	3	0	0	48
	LHN-R227	3	5	4	4	5	4	4	3	4	3	2	3	3	0	0	47
	LHN-R228	3	5	4	4	5	4	4	3	4	3	2	3	3	0	0	47
	LHN-R229	2	5	4	4	5	4	4	3	5	3	2	2	3	0	0	46
	LHN-R230	2	5	4	4	5	4	4	3	5	3	2	3	3	0	0	47
	LHN-R231	3	5	4	4	5	4	4	3	5	3	2	2	3	0	0	47
	LHN-R232	1	3	4	4	4	4	4	3	4	1	2	2	4	0	0	40

Segment-ID	Versorgende ÖSL	Regulative ÖSL									Kulturelle ÖSL			Abiotische ÖSL		Summe
	Bodenfruchtbarkeit/Ertragspotenzial (Indikator)	Hochwasserregulation	Niedrigwasserregulation	Sedimentregulation	Retention von Stickstoff	Retention von Phosphor	Biologische Selbstreinigung	Rückhalt von Treibhausgasen	Kühlwirkung	Habitatbereitstellung	Landschaftsästhetik	Erholung und Tourismus	Bildung & Wissenschaft	Motorisierte Schifffahrt	Wasserkraft	
Summe	28	52	44	44	54	44	44	33	47	30	22	29	33	0	0	504
Mittelwert	2,5	4,7	4,0	4,0	4,9	4,0	4,0	3,0	4,3	2,7	2,0	2,6	3,0	0,0	0,0	45,8

Tabelle 9-2: Tabellarische Übersicht der qualitativen Bewertungen der ÖSL für den Teilraum **morphologische Aue** an der Staustufe Altenberg, k. B. – keine Bewertung

Segment-ID		Versorgende ÖSL	Regulative ÖSL									Kulturelle ÖSL			Abiotische ÖSL		Summe
		Bodenfruchtbarkeit/Ertragspotenzial (Indikator)	Hochwasserregulation	Niedrigwasserregulation	Sedimentregulation	Retention von Stickstoff	Retention von Phosphor	Biologische Selbstreinigung	Rückhalt von Treibhausgasen	Kühlwirkung	Habitatbereitstellung	Landschaftsästhetik	Erholung und Tourismus	Bildung & Wissenschaft	Motorisierte Schifffahrt	Wasserkraft	
Ist-Zustand	LHN-R222	3	2	5	1	4	2	1	3	5	1	2	2	2	1	0	34
	LHN-R223	3	3	5	1	4	1	1	3	5	2	2	2	2	1	0	35
	LHN-R224	4	3	5	1	4	2	1	3	5	2	2	3	2	1	0	38
	LHN-R225	4	4	5	1	5	2	1	3	5	3	2	3	3	1	0	42
	LHN-R226	4	4	5	1	5	1	1	3	5	3	2	3	3	1	0	41
	LHN-R227	3	3	5	1	4	1	1	3	5	2	2	2	2	1	0	35
	LHN-R228	4	3	5	1	4	2	1	3	5	2	2	2	2	1	0	37
	LHN-R229	2	3	5	1	4	2	1	3	4	1	2	2	1	1	0	32
	LHN-R230	1	3	5	1	4	2	1	3	4	1	2	2	2	1	0	32
	LHN-R231	3	3	5	1	4	2	1	3	5	2	2	2	2	1	0	36
	LHN-R232	1	2	5	1	3	1	1	3	4	1	2	2	3	1	0	30
		Summe	32	33	55	11	45	18	11	33	52	20	22	25	24	11	0
	Mittelwert	2,9	3,0	5,0	1,0	4,1	1,6	1,0	3,0	4,7	1,8	2,0	2,3	2,2	1,0	0,0	35,6
Szenario 1	LHN-R222	3	2	5	1	4	2	1	3	5	1	2	2	2	1	0	34
	LHN-R223	3	3	5	1	4	1	1	3	5	2	2	2	2	1	0	35
	LHN-R224	4	3	5	1	4	2	1	3	5	2	2	3	2	1	0	38
	LHN-R225	4	4	5	1	5	2	1	3	5	3	2	3	3	1	0	42
	LHN-R226	4	4	5	1	5	2	1	3	5	3	2	3	3	1	0	42

Segment-ID	Versorgende ÖSL	Regulative ÖSL									Kulturelle ÖSL			Abiotische ÖSL		Summe	
	Bodenfruchtbarkeit/Ertragspotenzial (Indikator)	Hochwasserregulation	Niedrigwasserregulation	Sedimentregulation	Retention von Stickstoff	Retention von Phosphor	Biologische Selbstreinigung	Rückhalt von Treibhausgasen	Kühlwirkung	Habitatbereitstellung	Landschaftsästhetik	Erholung und Tourismus	Bildung & Wissenschaft	Motorisierte Schifffahrt	Wasserkraft		
LHN-R227	3	3	5	3	4	4	3	3	5	2	2	2	2	1	0	42	
LHN-R228	4	3	5	3	4	4	3	3	5	2	2	2	2	1	0	43	
LHN-R229	2	3	5	3	4	2	3	3	4	1	2	2	1	1	0	36	
LHN-R230	1	3	5	1	4	2	1	3	4	1	2	2	2	1	0	32	
LHN-R231	3	3	5	1	4	2	1	3	5	2	2	2	2	1	0	36	
LHN-R232	1	2	5	1	3	1	1	3	4	1	2	2	3	1	0	30	
Summe	32	33	55	17	45	24	17	33	52	20	22	25	24	11	0	410	
Mittelwert	2,9	3,0	5,0	1,5	4,1	2,2	1,5	3,0	4,7	1,8	2,0	2,3	2,2	1,0	0,0	37,3	
Szenario 2	LHN-R222	3	4	4	4	4	4	3	3	2	2	2	2	0	0	41	
	LHN-R223	2	5	4	4	4	4	3	3	3	2	2	3	0	0	43	
	LHN-R224	2	5	4	4	5	4	4	3	4	3	2	3	3	0	0	46
	LHN-R225	3	5	4	4	5	4	4	3	5	3	2	3	3	0	0	48
	LHN-R226	3	5	4	4	5	4	4	3	5	3	2	3	3	0	0	48
	LHN-R227	3	5	4	4	5	4	4	3	4	2	2	2	2	0	0	44
	LHN-R228	2	5	4	4	5	4	4	3	4	2	2	2	2	0	0	43
	LHN-R229	1	5	4	4	4	4	4	3	3	2	2	2	2	0	0	40
	LHN-R230	1	5	4	4	4	4	4	3	3	2	2	2	2	0	0	40
	LHN-R231	2	5	4	4	4	4	4	3	4	2	2	2	3	0	0	43
	LHN-R232	1	3	4	4	3	3	4	3	3	1	2	2	3	0	0	36

Segment-ID	Versorgende ÖSL	Regulative ÖSL									Kulturelle ÖSL			Abiotische ÖSL		Summe
	Bodenfruchtbarkeit/Ertragspotenzial (Indikator)	Hochwasserregulation	Niedrigwasserregulation	Sedimentregulation	Retention von Stickstoff	Retention von Phosphor	Biologische Selbstreinigung	Rückhalt von Treibhausgasen	Kühlwirkung	Habitatbereitstellung	Landschaftsästhetik	Erholung und Tourismus	Bildung & Wissenschaft	Motorisierte Schifffahrt	Wasserkraft	
Summe	23	52	44	44	48	43	44	33	41	25	22	25	28	0	0	472
Mittelwert	2,1	4,7	4,0	4,0	4,4	3,9	4,0	3,0	3,7	2,3	2,0	2,3	2,5	0,0	0,0	42,9

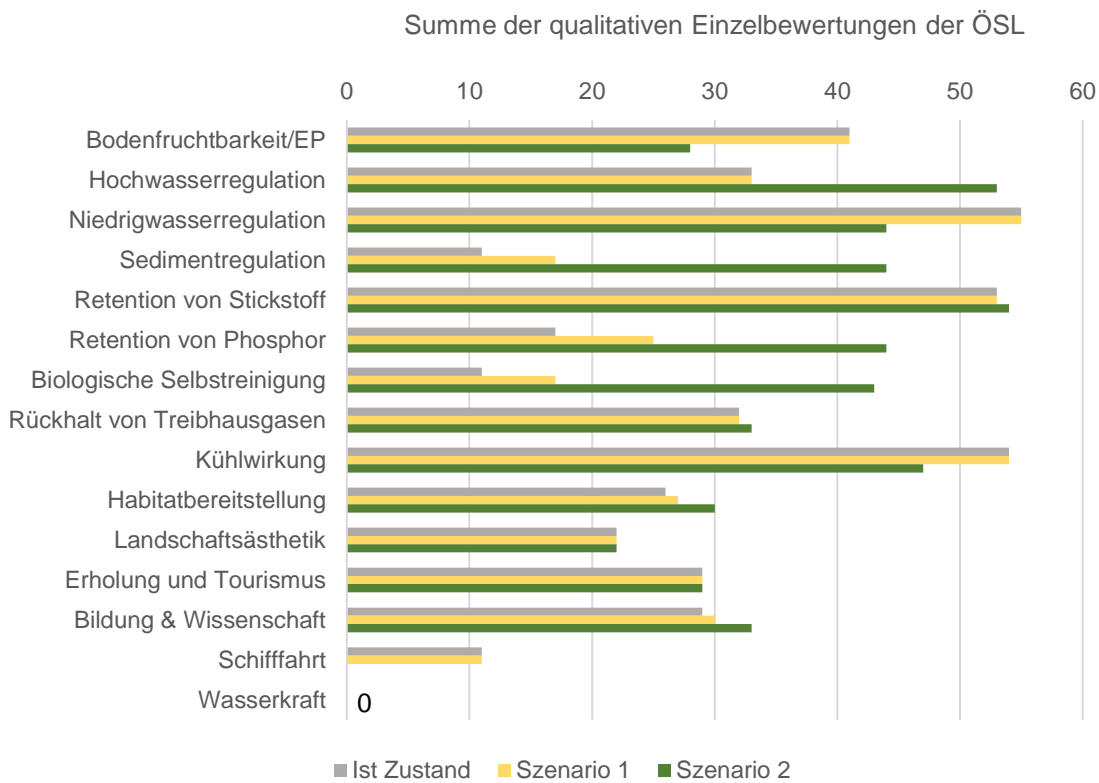


Abbildung 9-29: Summe der qualitativen Einzelbewertungen der Ökosystemleistungen aller Auensegmente für den Raumbezug **rezepte Aue an der Staustufe Altenberg**

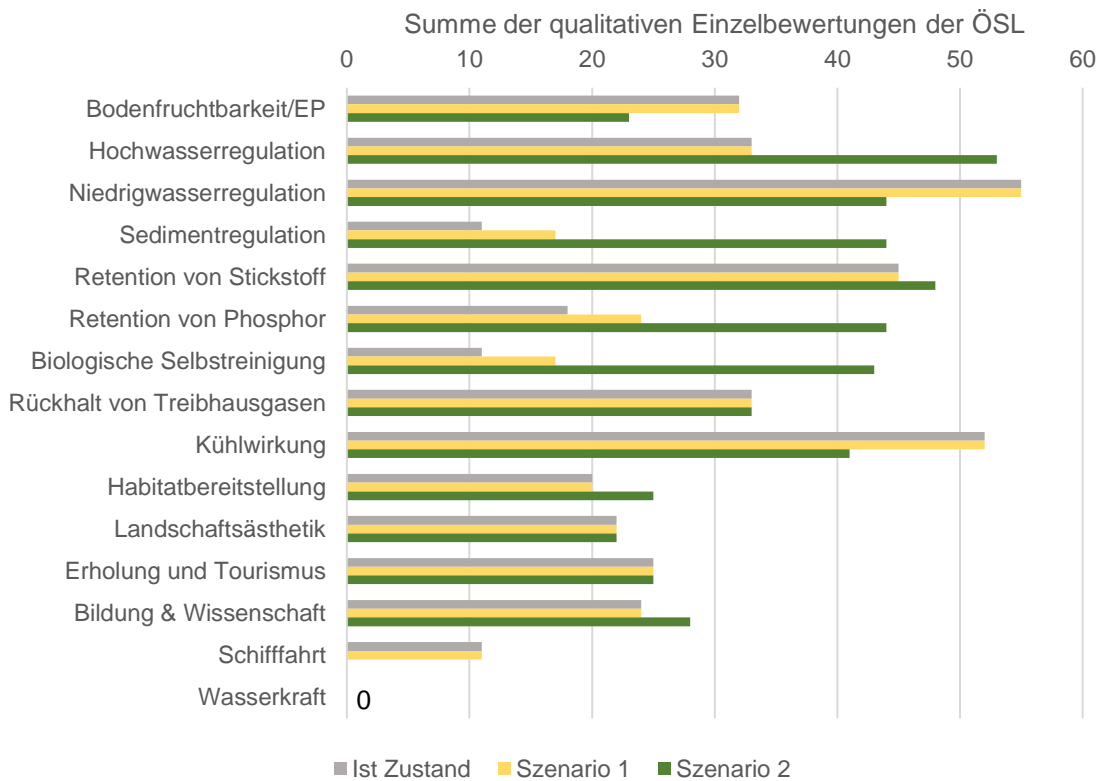


Abbildung 9-30: Summe der qualitativen Einzelbewertungen der Ökosystemleistungen aller Auensegmente für den Raumbezug **morphologische Aue an der Staustufe Altenberg**

Tabelle 9-3: Ökonomische Bewertung der Szenarien (Differenz zum Ist-Zustand) für die Staustufe Altenberg (Beträge auf 100,00 € genau gerundet)

Ökosystemleistung	Differenz zum Ist-Zustand	
	Szenario 1	Szenario 2
<i>Kulturpflanzen (auf Acker- und Gartenbaustandorten)</i>	-3.728.000 €	-9.695.000 €
<i>Pflanzliche Biomasse für den Einsatz in der Landwirtschaft (auf Grünlandstandorten)</i>	-141.200 €	-147.800 €
<i>Pflanzliche Rohstoffe für die Verarbeitung (Waldstandorte)</i>	0 €	0 €
<i>Pflanzliche Energierohstoffe aus Landwirtschaft, Kurzumtriebsplantagen, Holzwirtschaft</i>	-	-
Summe versorgende ÖSL	-3.869.200 €	-9.842.800 €
<i>Hochwasserregulation</i>	3.156.000 €	25.452.000 €
<i>Niedrigwasserregulation</i>	-	-
<i>Sedimentregulation</i>	-	-
<i>Retention von Stickstoff</i>	54.300 €	716.200 €
<i>Retention von Phosphor</i>	2.079.000 €	30.633.000 €
<i>Biologische Selbstreinigung</i>	-	-
<i>Rückhalt von Treibhausgasen</i>	-3.063.000 €	28.216.000 €
<i>Kühlwirkung</i>	-	-
<i>Habitatbereitstellung</i>	-	-
Summe regulative ÖSL	2.226.300 €	85.017.000 €
<i>Landschaftsästhetik</i>	-	-
<i>Erholung und Tourismus</i>	-	-
<i>Bildung & Wissenschaft</i>	-	-
Summe kulturelle ÖSL	-	-
<i>Motorisierte Schifffahrt</i>	-	-
<i>Wasserkraft</i>	0 €	0 €
Summe abiotische ÖSL	0 €	0 €
Summe gesamt	-1.642.600 €	75.174.200 €

9.6 Vergleich der Szenarien

Im Vergleich zum Ist-Zustand zeigen sich für die Staustufe Altenberg geringe Veränderungen bei einzelnen Ökosystemleistungen (ÖSL) beim Szenario 1 (GÖP), insbesondere für Auensegmente, die von den Stauraumstrukturierungsmaßnahmen betroffen wären. Durchgängig deutliche Veränderungen zeigen sich beim Szenario 2 (GÖZ). Folgende Effekte sind bei beiden Raumbezügen (rezente Aue, morphologische Aue) insbesondere im Szenario 2 zu konstatieren (Abbildung 9-31 bis Abbildung 9-34):

- Rückgang der versorgenden ÖSL
- Wegfall der abiotischen ÖSL
- Zunahme der ÖSL in der Kumulation bei allen Auensegmenten
- Zunahme regulativer ÖSL bei allen Auensegmenten

- Zunahme der kulturellen ÖSL bei vielen Auensegmenten; bei einzelnen Auensegmenten keine Veränderung
- Grundsätzlich stärkere Auswirkung der ÖSL-Veränderungen auf der Ebene der rezenten Aue und natürlich auch auf der Ebene kleinerer Teilräume (Kompartimente auf Segmentebene, z. B. nur linke rezente Aue)

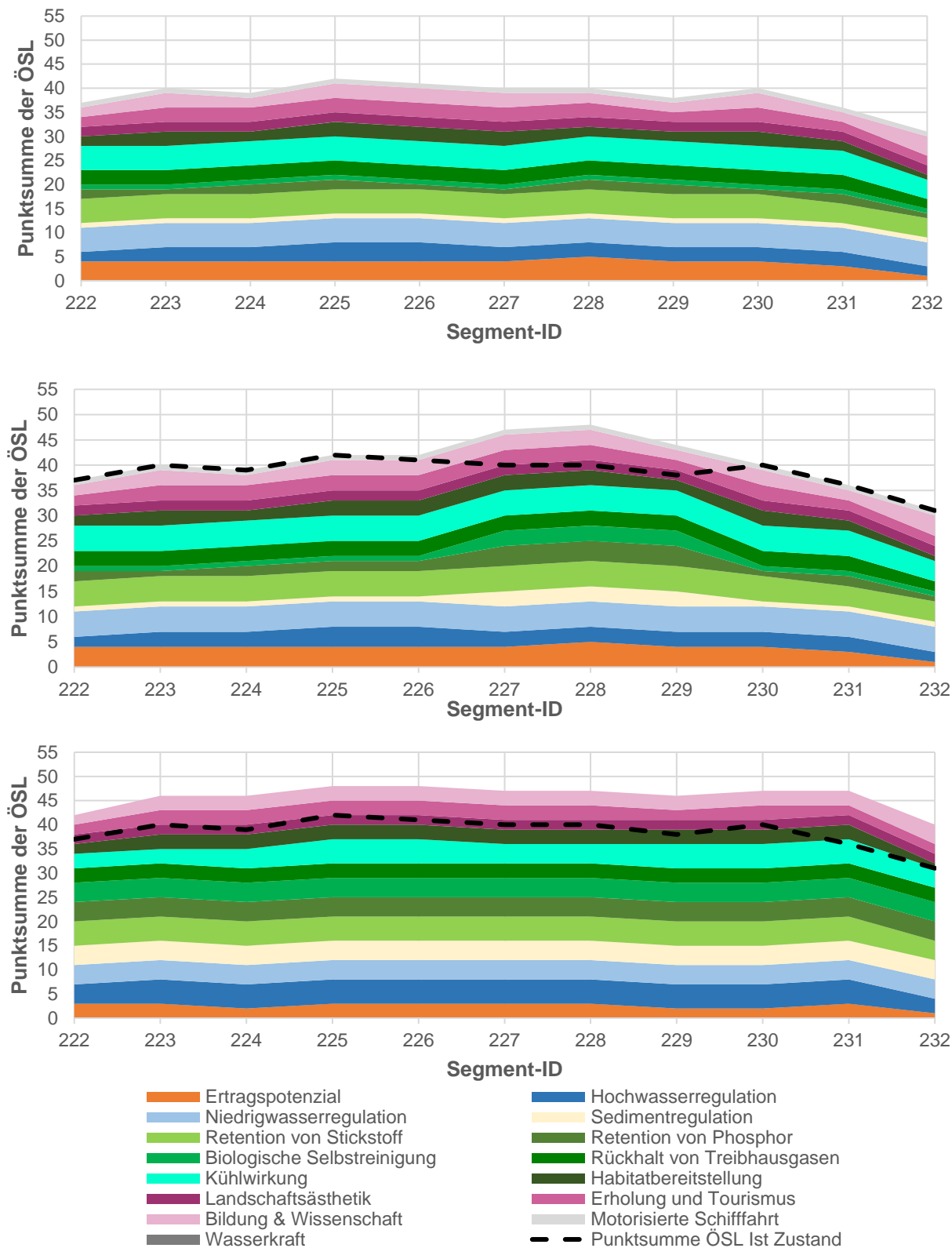


Abbildung 9-31: ÖSL-Bewertung in Einzel- sowie kumulativer Darstellung nach Auensegmenten für den Raumbezug **rezente Aue** an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand (oben), Szenario 1 (Mitte) und Szenario 2 (unten), Fließrichtung der Lahn von rechts nach links

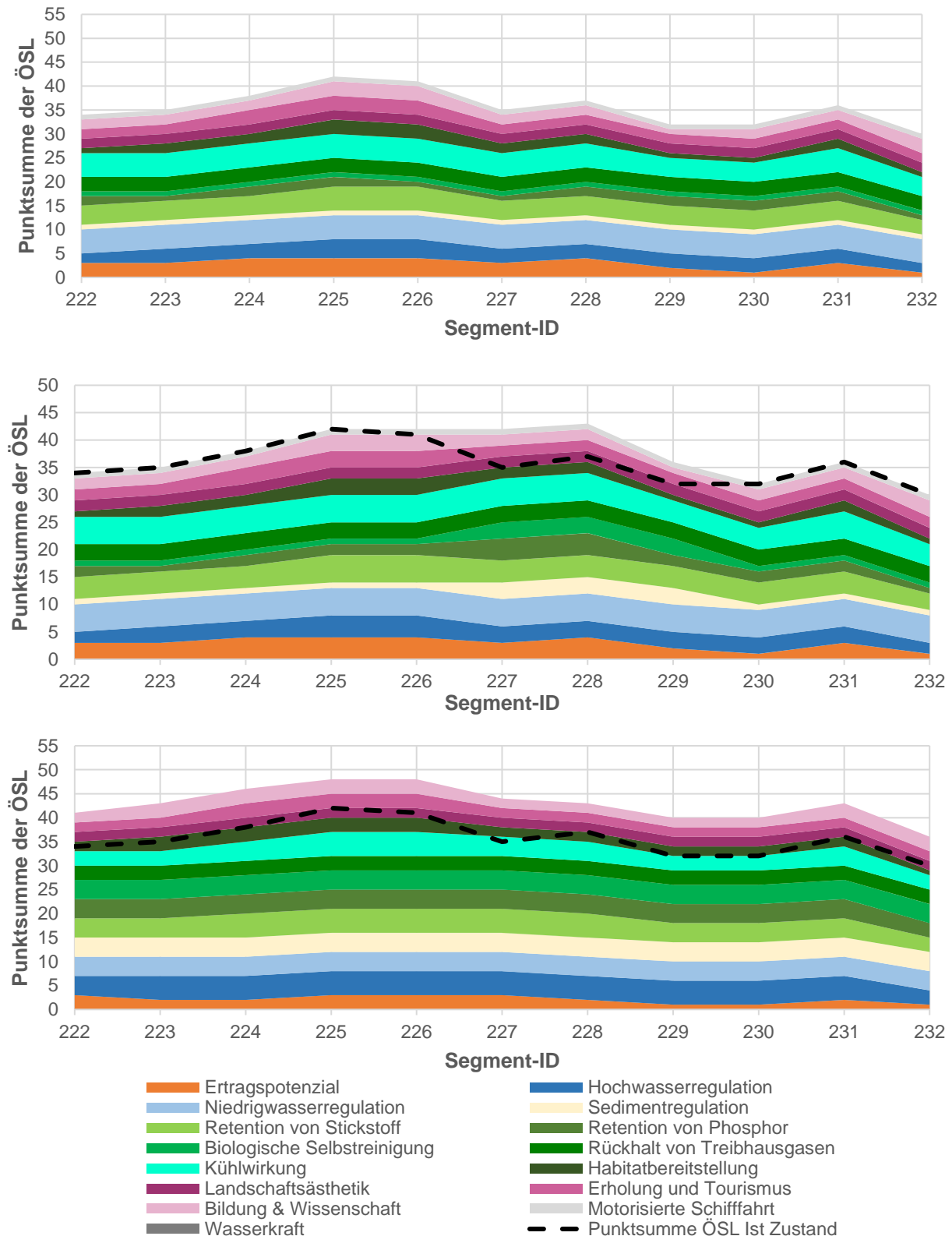


Abbildung 9-32: ÖSL-Bewertung in Einzel- sowie kumulativer Darstellung nach Auensegmenten für den Raumbezug **morphologische Aue** an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand (oben), Szenario 1 (Mitte) und Szenario 2 (unten), Fließrichtung der Lahn von rechts nach links

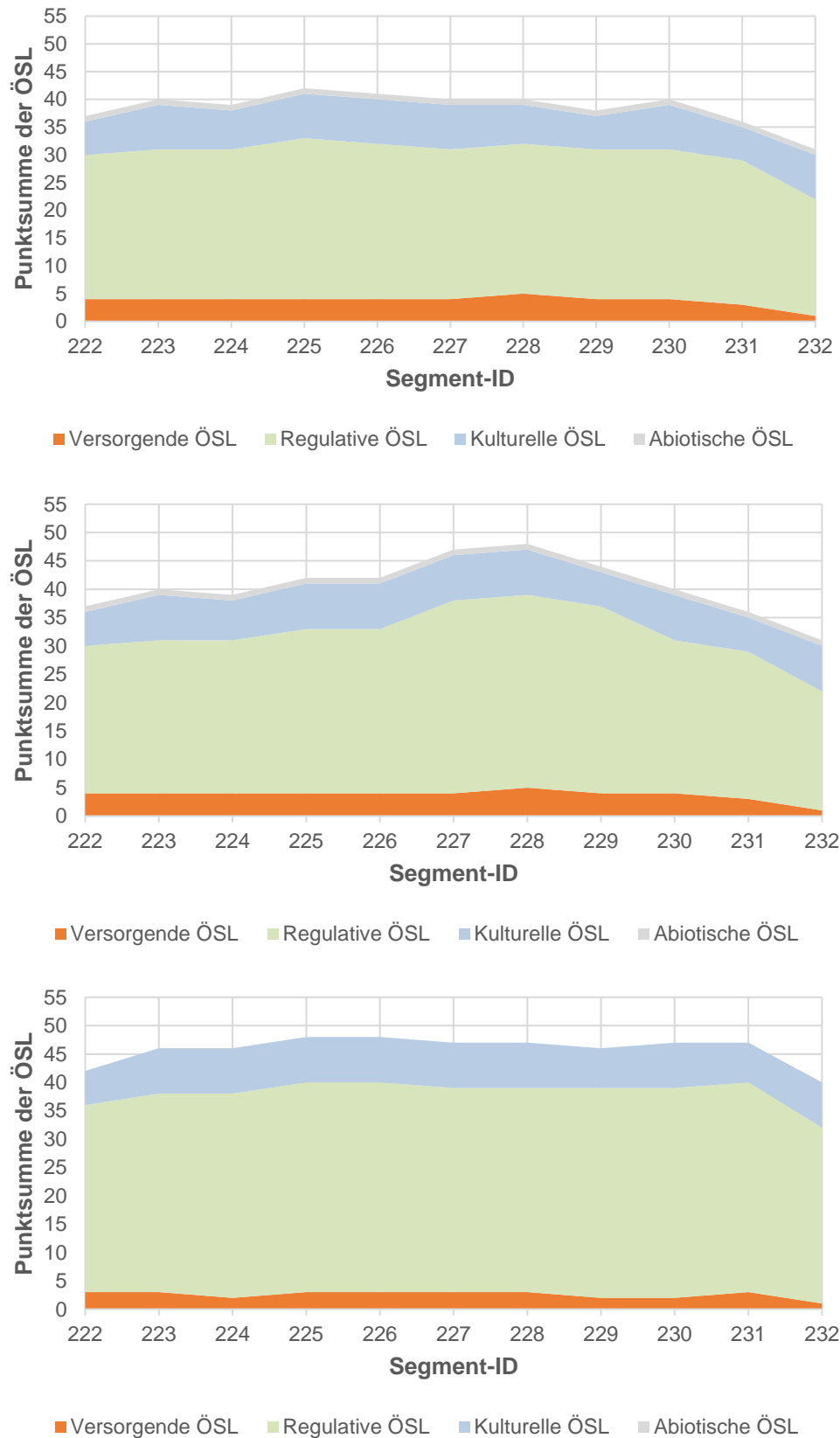


Abbildung 9-33: ÖSL-Bewertung nach ÖSL-Hauptgruppen sowie in kumulativer Darstellung nach Auensegmenten für den Raumbezug **rezente Aue** an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand (oben), Szenario 1 (Mitte) und Szenario 2 (unten), Fließrichtung der Lahn von rechts nach links

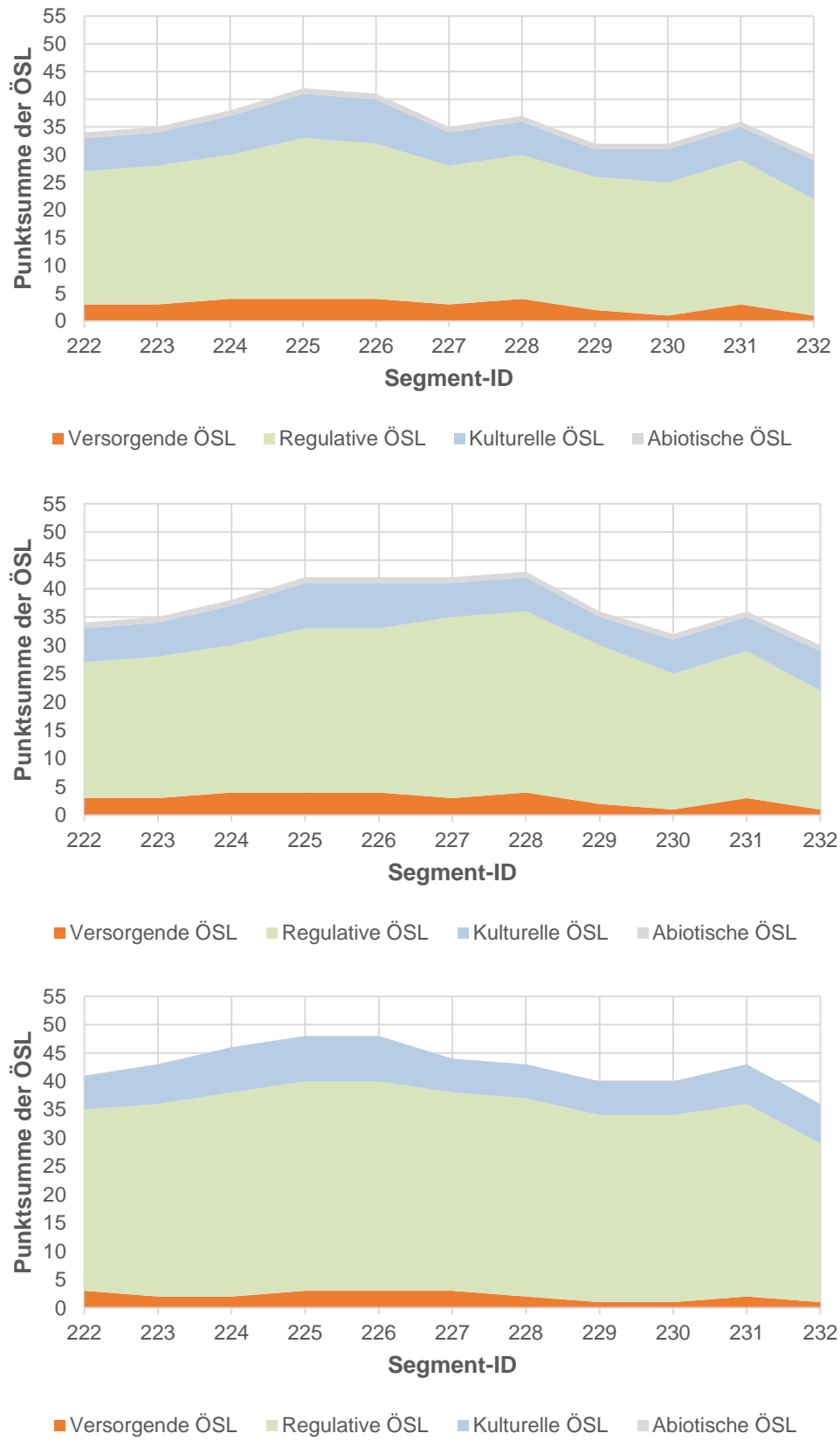


Abbildung 9-34: ÖSL-Bewertung nach ÖSL-Hauptgruppen sowie in kumulativer Darstellung nach Auensegmenten für den Raumbezug **morphologische Aue** an der Staustufe Altenberg im Ist-Zustand (oben), Szenario 1 (Mitte) und Szenario 2 (unten), Fließrichtung der Lahn von rechts nach links

10 Zusammenfassung, Plausibilität, Schlussfolgerungen und Fazit

10.1 Zusammenfassung

Innerhalb des LiLa-Projekts besteht das konkretisierte Ziel von Action D1 darin, positive und ggf. negative Auswirkungen ausgewählter Handlungsoptionen auf das Dargebot von Ökosystemleistungen abzuschätzen und, soweit möglich, die entsprechenden ökonomischen Kosten und Nutzen zu bewerten. Als grundsätzliche Handlungsoptionen werden dabei Varianten im Umgang mit Staustufen verstanden. Staustufen bezeichnen hier das Bauwerk und die gestaute Flussstrecke im Oberlauf, einschließlich angrenzender Auenbereiche.

Es war daher Aufgabe dieser Hauptstudie, in Fortführung der Vorstudie „Sozio-ökonomisches Monitoring und Bewertung der Veränderungen von Ökosystemleistungen (ÖSL) im Projekt LiLa Living Lahn“ (BIOTA 2018), positive und ggf. negative Auswirkungen relevanter Handlungsoptionen auf das Dargebot von Ökosystemleistungen in ausgewählten Staustufen zu analysieren und zu bewerten. Hierfür wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber und dem LiLa-Konsortium die Staustufen Lahnstein, Kirschhofen und Altenberg als Art repräsentativer Stichprobe ausgewählt.

Die Aufgabenstellung war aufgrund der Vielzahl der Dimensions- und Fachbezüge äußerst komplex sowie inter- und transdisziplinär und erfordert eine ganze Reihe von Definitionen und Festlegungen, die vorstehend umfassend dokumentiert sind. Das Zusammenwirken von Naturraum, Landschaft sowie Wirtschafts- und Sozialraum („großes System“) im Sinne einer außerordentlich komplexen und komplizierten Struktur wird u. a. bereits bei HAASE et al. (1991) als reales Forschungs- und Planungsproblem thematisiert.

Gerade beim Raumbezug, der bei der Bewertung flächengewichtet berücksichtigt wird, zeigt sich, dass sich natürlich die auf den Fluss Lahn und überwiegend den flussnahen Auenraum orientierten hypothetischen Maßnahmen des Szenarios 1 und insbesondere des Szenarios 2 stärker beim Raumbezug rezente Aue (soweit nicht ohnehin nur flussbezogen) auswirken, als dies beim Raumbezug morphologische Aue der Fall ist. Allerdings ist der Unterschied nur vergleichsweise gering, s. die vergleichenden Ergebnisdarstellungen und -zusammenfassungen in den Kapiteln 7, 8 und 9. Dies rechtfertigt, sich nachfolgend bei der qualitativen Analyse und Bewertung exemplarisch auf den Raumbezug der, auch auenökologisch wirksameren, rezenten Aue (inkl. Teilraum Fluss) zu konzentrieren.

Obschon die einzelnen ÖSL nicht gleichwertig bzw. gleichgewichtig sind (sodass mathematische Operationen streng genommen unzulässig sind, s. auch nachfolgende Erläuterungen), wird hier bei allen drei Staustufen eine überblickshafte Auswertung zu den Punktsummen aus allen qualitativen, 6-stufigen ÖSL-Bewertungen vorgenommen.

Es zeigen sich folgende Relationen (Abbildung 10-1 bis Abbildung 10-3):

Staustufe Lahnstein

- Punktsumme im Ist-Zustand (kein Szenario 1, damit gleich) = 328 Punkte
- Punktsumme im Szenario 2 (GÖZ) = 438 Punkte bzw. **33,5 % Zunahme** gegenüber dem Ist-Zustand

Staustufe Kirschhofen

- Punktsumme im Ist-Zustand = 821 Punkte
- Punktsumme im Szenario 2 (GÖP) = 830 Punkte bzw. 1,1 % Zunahme gegenüber dem Ist-Zustand
- Punktsumme im Szenario 2 (GÖZ) = 908 Punkte bzw. **10,6 % Zunahme** gegenüber dem Ist-Zustand

Staustufe Altenberg

- Punktsumme im Ist-Zustand = 424 Punkte
- Punktsumme im Szenario 2 (GÖP) = 446 Punkte bzw. 5,2 % Zunahme gegenüber dem Ist-Zustand
- Punktsumme im Szenario 2 (GÖZ) = 504 Punkte bzw. **18,9 % Zunahme** gegenüber dem Ist-Zustand

Die grundsätzlich unterschiedlichen Punktsummen zwischen den Staustufen resultieren aus der unterschiedlichen Raumgröße und folglich insbesondere aus der unterschiedlichen Zahl an Auensegmenten. Ein Effekt wird aber grundsätzlich deutlich: Das Anstreben eines guten ökologischen Zustandes (GÖZ), das Szenario 2, erbringt kumulativ den (sehr) deutlich höheren Zugewinn an Nutzen.

Hinweise:

Der im Vergleich mit den anderen Staustufen sehr hohe Wert der Zunahme von Szenario 2 gegenüber dem Ist-Zustand an der Staustufe Lahnstein in Höhe von 33,5 % hat allerdings teilweise auch etwas mit dem vergleichsweise geringen Betrachtungsraum zu tun; hier umfasst die rezente Aue morphologisch und hydrologisch bedingt den gesamten Talboden, so dass hypothetische Veränderungen grundsätzlich eher immer die gesamte rezente Aue treffen (hohe Flächenwirksamkeit).

Allerdings muss natürlich eingeschränkt werden, dass die qualitative ÖSL-Bewertungsmethodik den Nachteil hat, dass alle ÖSL unabhängig von der Größe ihres Nutzens einheitlich skaliert/bewertet werden. Der große Vorteil „des gleichen Ansatzes“ verkehrt sich bei kumulativen Betrachtungen in einen gewissen Nachteil, da die einzelnen ÖSL dann eigentlich nach Bedeutungsstufen bzw. Nutzenwert gewichtet werden müssten. Allerdings mangelt es in Wissenschaft und Praxis nach wie vor an verfügbaren Ansätzen. Dies liegt vor allem daran, dass die ÖSL-Bewertung grundsätzlich anthropozentrisch ist (vgl. z. B. Kapitel 3.5.5) und damit zum einen regionalen und lokalen Einflüssen unterliegt und zum anderen u. a. auch vom Wissen, der Bildung, dem Alter, dem Geschlecht und der Einstellung der Menschen abhängt. Selbst die anscheinend gut hierfür geeignete ökonomische Bewertung tut sich hier bekanntlich sehr schwer.

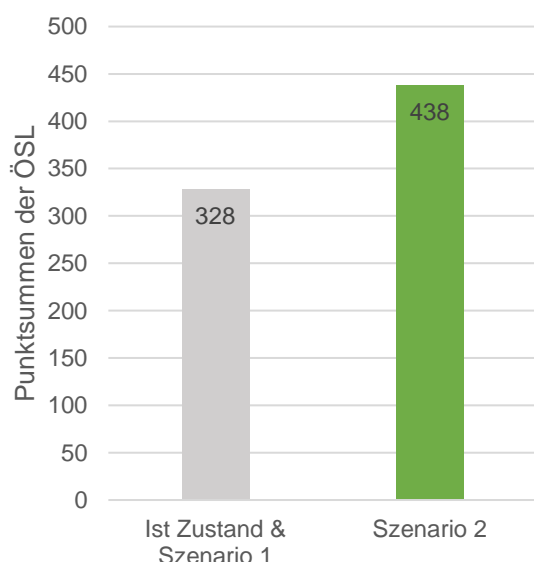


Abbildung 10-1: Punktsummen der qualitativen Bewertungen der drei Szenarien für die Staustufe Lahnstein, Raumbezug: **rezente Aue**

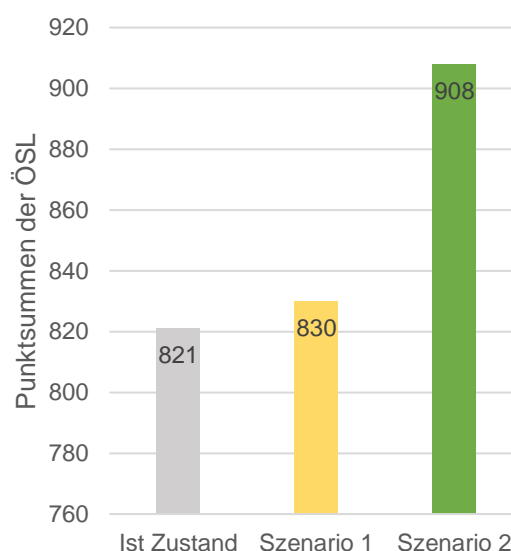


Abbildung 10-2: Punktsummen der qualitativen Bewertungen der drei Szenarien für die Staustufe Kirschhofen, Raumbezug: **rezente Aue**, Darstellung der y-Achse beginnt ab Punktsumme 760

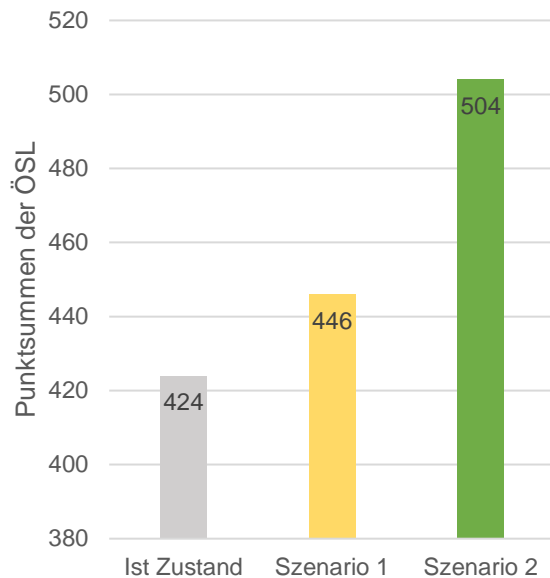


Abbildung 10-3: Punktsummen der qualitativen Bewertungen der drei Szenarien für die Staustufe Altenberg, Raumbezug: rezente Aue, Darstellung der y-Achse beginnt ab Punktsumme 380

Schaut man sich die einzelnen ÖSL an und vergleicht den Ist-Zustand mit den Szenarien 1 und 2, dann paust sich mehrheitlich durch, dass der gute ökologische Zustand (Szenario 2) nutzenstiftend ist (Beispiele in Abbildung 10-4 bis Abbildung 10-7). Auch zeigt sich, dass das gute ökologische Potenzial (Szenario 1) im Hinblick auf die ÖSL objektiv nicht mehr bietet als höchstens eine geringe bzw. marginale Aufwertung. Eindeutig und einleuchtend ist, dass auf Grund des mehr oder weniger umfassenden Wegfalls von landwirtschaftlicher Nutzfläche gerade im Szenario 2 die versorgenden ÖSL je nach Staustufe abnehmen oder gar wegfallen. Auch sind weitere Verschlechterungen bei ÖSL konsequent erfasst (teilweise infolge konzeptioneller oder methodischer Konventionen oder auf Grund der aktuellen Datenlage). So ergeben sich beispielsweise beim Szenario 2 in vielen oder ggf. auch nur in einigen Auensegmenten, aber durchgängig in allen Staustufen, schlechtere Bewertungen:

- Bei der ÖSL Niedrigwasserregulation wird die sehr gute ÖSL-Klasse erreicht, wenn ein Auensegment dominant geprägt ist von der Stauhaltung (hier getroffene Konvention: technogen erzeugte maximale Niedrigwasserstabilisierung, bezogen auf die Wasserspiegellagen, vgl. Kapitel 3.5.4), dann führt eine Staulegung konsequenterweise zur Verschlechterung...
- Bei der ÖSL Kühlwirkung der Gewässer und Böden (Subgruppe Regional-/Lokalklima) ergeben sich aufgrund bereichsweise (rechnerisch-abschätzend) leicht sinkender Grundwasserflurabstände bei Staulegung (Neuausrichten der Grundwasserstände an der veränderten, stärker geneigten Vorflut, vgl. auch BfG 2017) ebenfalls Verschlechterungen... (diese könnte man aber bei Maßnahmenumsetzung noch durch Begleitmaßnahmen abfedern).
- Generell fallen in Szenario 2 die ÖSL motorisierte Schifffahrt und Wasserkraft weg; allerdings zeigt sich das auf Grund der geringen Bedeutung bereits im Ist-Zustand nicht in der qualitativen, 6-stufigen Bewertung.

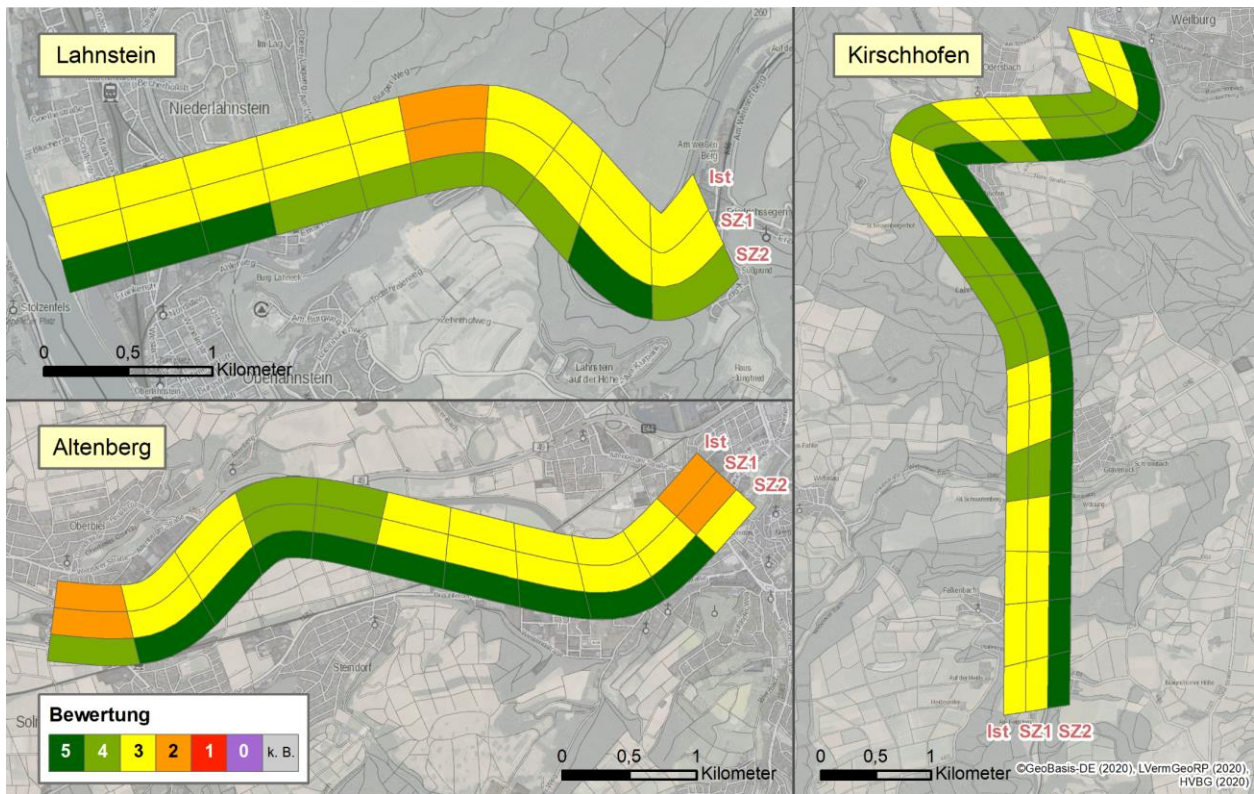


Abbildung 10-4: Bänderdarstellung der qualitativen Bewertung der ÖSL Hochwasserregulation an den Staustufen in allen Szenarien, Raumbezug: **morphologische Aue**

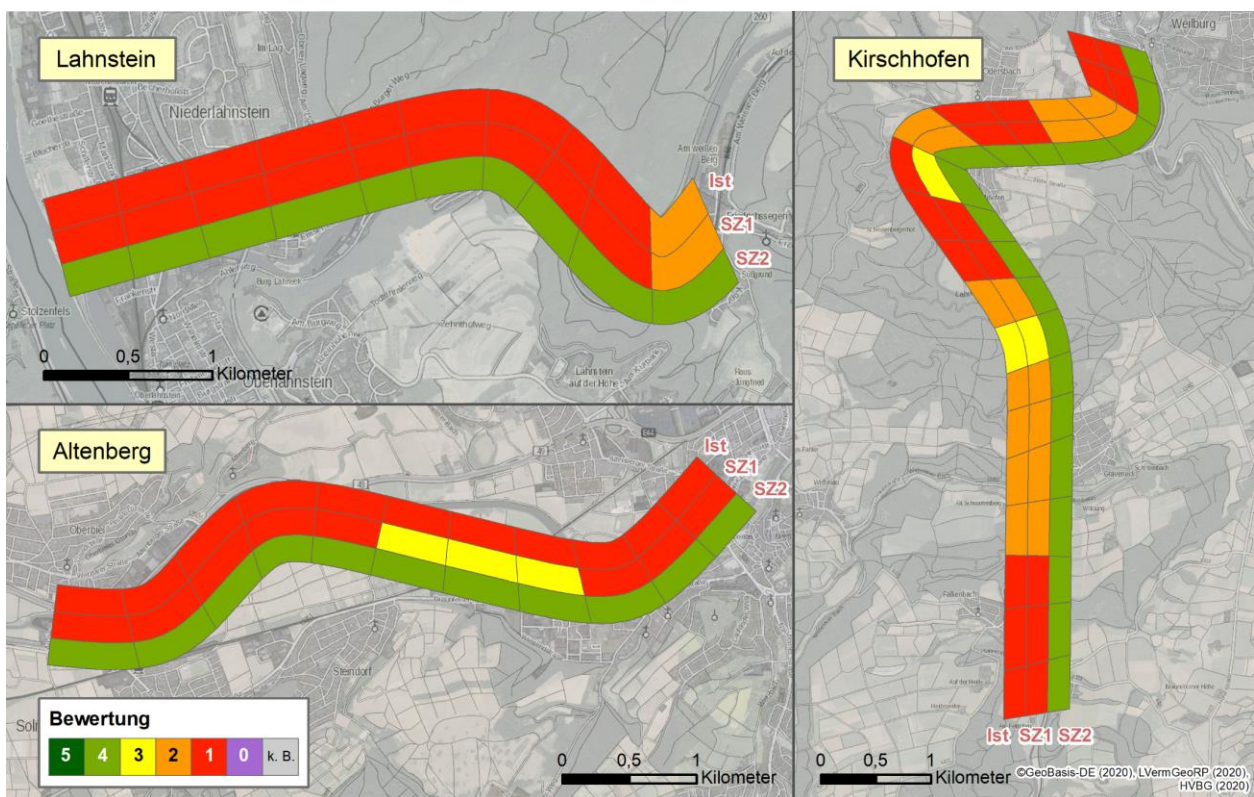


Abbildung 10-5: Bänderdarstellung der qualitativen Bewertung der ÖSL Sedimentregulation an den Staustufen in allen Szenarien, Raumbezug: **Fluss**

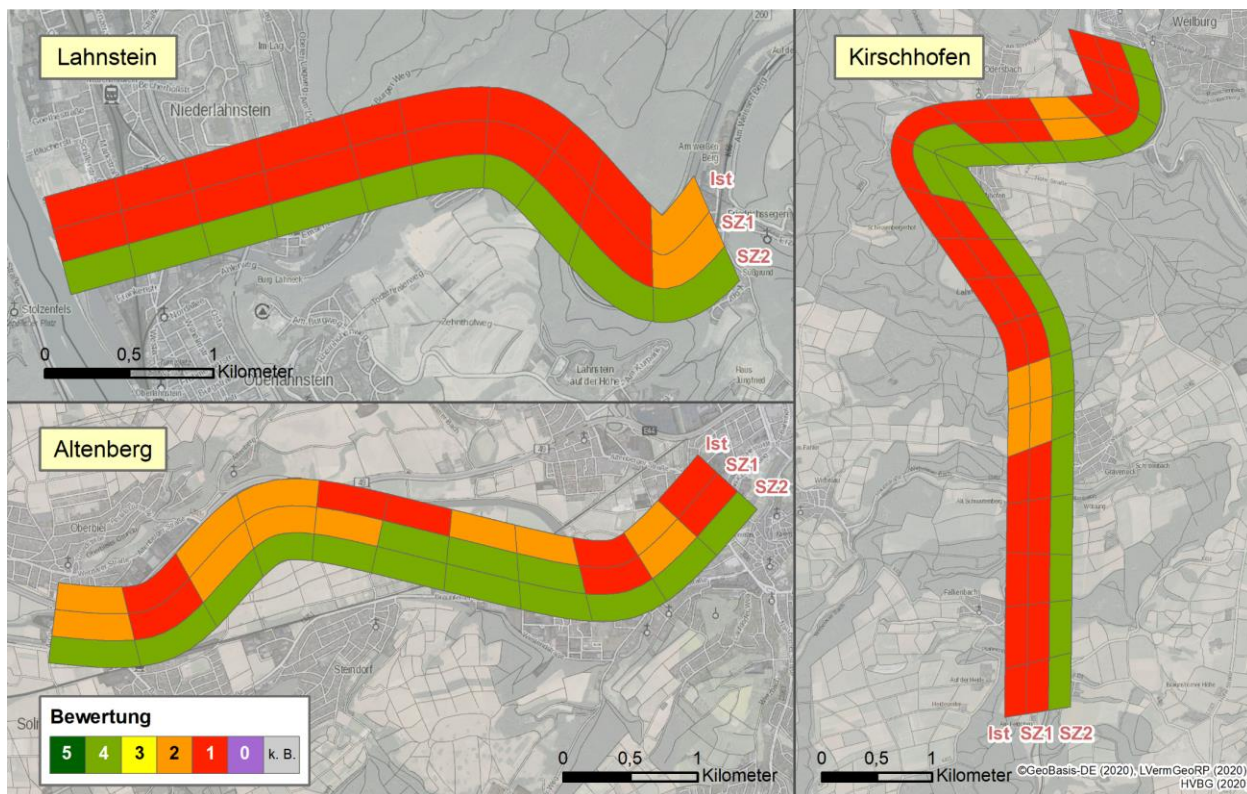


Abbildung 10-6: Bänderdarstellung der qualitativen Bewertung der ÖSL Retention von Phosphor an den Staustufen in allen Szenarien, Raumbezug: rezente Aue

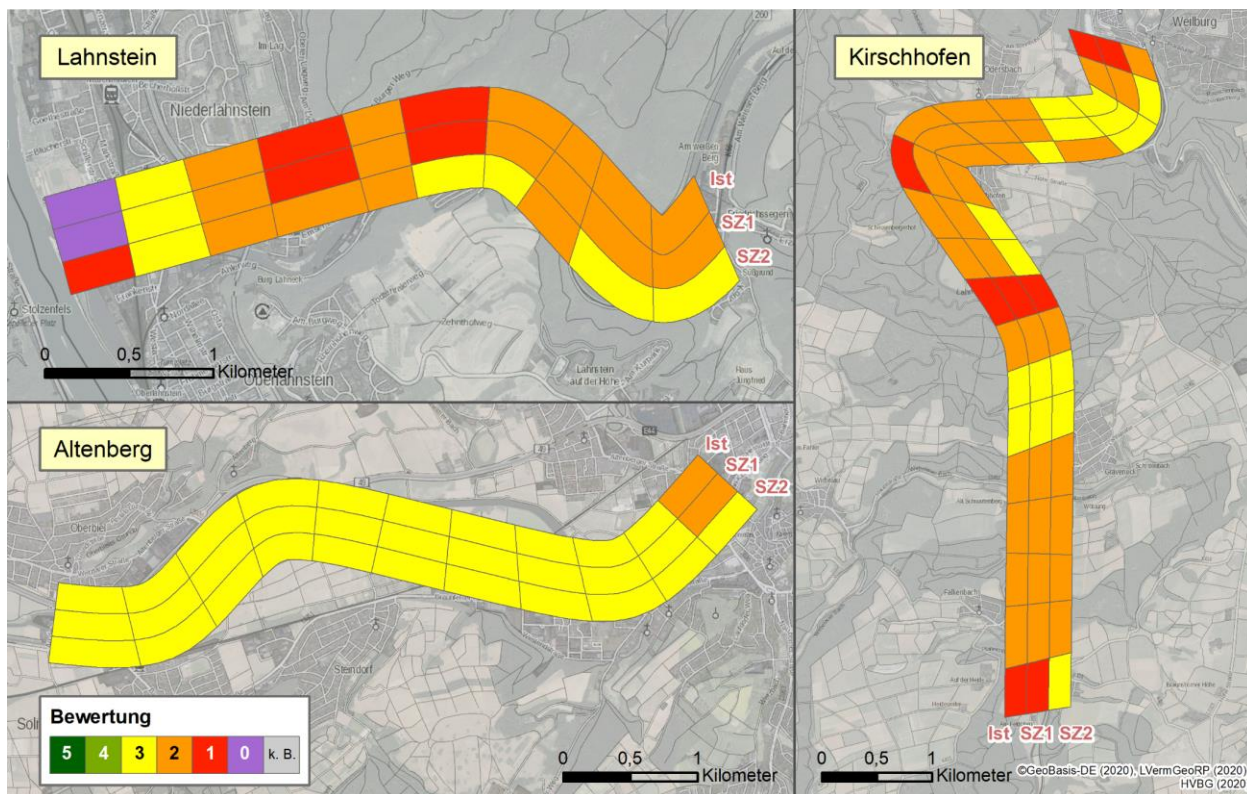


Abbildung 10-7: Bänderdarstellung der qualitativen Bewertung der ÖSL Rückhalt von Treibhausgasen an den Staustufen in allen Szenarien, Raumbezug: rezente Aue

10.2 Plausibilität

Viele der für die Analyse und Bewertung getroffenen Annahmen sind aus wasserwirtschaftlicher, landschafts- und gewässerökologischer Sicht plausibel. So wird z. B. eine Verbesserung der Hochwasserabfuhrung der Lahn infolge einer Staulegung bereits durch die Studie der BfG (2017) bestätigt, vgl. Abbildung 10-8. Dass die Staulegung und die Anlage eines morphologisch eingepprägten Gewässerentwicklungskorridors (Vergrößerung des Volumens der rezenten Aue, Verrauhung) zudem auch noch eine verbesserte Hochwasserretention mit sich bringt, ist zum einen sachlogisch und wird zum anderen durch zahlreiche Studien belegt (z. B. BUSCH & HAMMER 2006, ALEXY & FAULHABER 2011, MESSING 2011, SCHOLZ et al. 2012, MEHL et al. 2013, 2014a, b, 2018a).

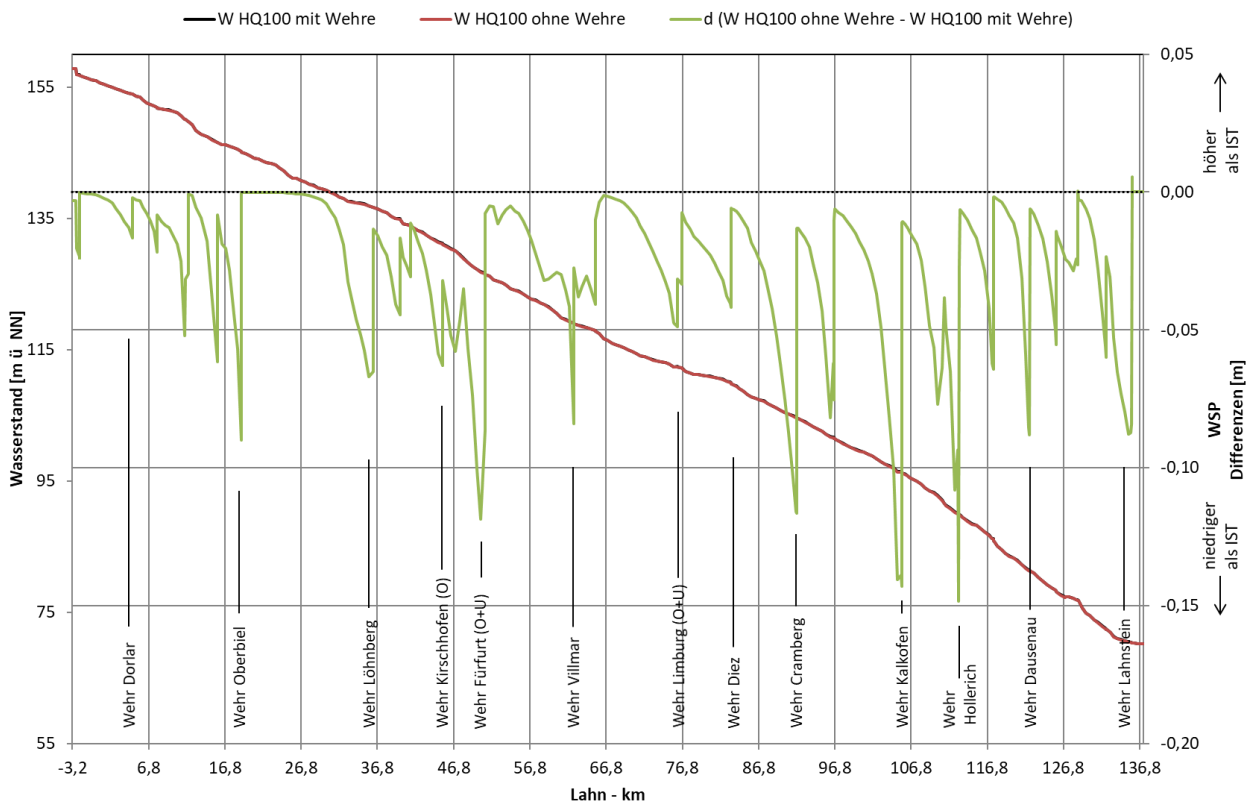


Abbildung 10-8: Modellierter Wasserstände im Bereich der Bundeswasserstraße Lahn bei einem HQ₁₀₀ mit Wehren und ohne Wehrwirkung, Grafikquelle: BfG (2020) bzw. Material zu BfG-Bericht Nr. 1928 (BfG 2017)

Teilweise methodisch bedingt, aber auch vor dem Hintergrund wiederum großer Abhängigkeit vom Blickwinkel der Einzelpersonen oder der mehr oder weniger großen Personengruppen (hoher Einfluss der menschlichen kognitiven Wahrnehmung, vgl. Kapitel 3.5.5), fallen die Veränderungen bei den kulturellen Ökosystemleistungen nicht sehr groß aus. Bei diesem Aspekt sind demgemäß auch die Unsicherheiten bei den ökonomischen Ansätzen sehr groß. Will man hier zu besseren Aussagen kommen, wären spezifische und auf das Untersuchungsgebiet ausgerichtete Untersuchungen anzuraten (Befragungen bzw. Präferenzanalysen: Zahlungsbereitschaftsanalysen, Choice-Experimente..., vgl. Kapitel 3.4.2). Grundsätzlich kann es aber kaum Argumente geben, warum ökologische Verbesserungen letztlich nicht auch zu einer deutlichen Aufwertung kultureller Ökosystemleistungen führen sollen.

Vor allem zeigen aber die vielschichtigen ökologischen Verbesserungen in Bezug auf die regulativen Ökosystemleistungen, welchen gesamtgesellschaftlichen Vorteil eine Ausrichtung auf ambitionierte Ziele bietet. Hier ist das Szenario 2 (guter ökologischer Zustand) mit einem deutlichen Mehr an Nutzen verbunden.

Bedeutung und Wichtigkeit der Fluss- und Auennatur für den Menschen werden damit eindrucksvoll unterstrichen, zumal die Analyse in Kapitel 5 zeigt, dass mannigfache Umsetzungsbeispiele und entsprechende Erfolgskontrollen diese Bewertungen stützen.

Auch die sehr oder äußerst geringen Ökosystemleistungen der betrachteten weiteren abiotischen Leistungen bereits im Ist-Zustand sind hochplausibel. Bei der Schifffahrt ist an den Staustufen der Lahn ohnehin nur eine sehr geringe Wasserstraßenklasse zugewiesen. Aber auch die Ökosystemleistung Wasserkraft ist bereits im Ist-Zustand als äußerst gering zu bewerten. So könnte die erzeugte Energiemenge aus Wasserkraftanlagen an der gesamten Lahn (alle Staustufen) leicht durch wenige (4 bis 6) moderne Windkraftanlagen oder etwas mehr als 1.000 Hausdach-Photovoltaikanlagen komplett ersetzt werden.

Beispielrechnung für den Lahnabschnitt in Hessen:

Bei einer installierten Leistung in Höhe von 3.080 kWh Wasserkraft an der hessischen Lahn (Stand 2016) wird eine Strommenge von rund 11,65 GWh erzeugt. Das sind (nur) 0,18 % des erzeugten erneuerbaren Stroms in Hessen (WSA Koblenz 2018a).

Der potenzielle Solarertrag lässt sich wie folgt bestimmen: Solarzellen (Photovoltaik): 164 kWh m⁻² (Berechnung für Modultyp Kristallin Silizium für den Ort Limburg an der Lahn mit 35° Dachneigung und 10,5 % Systemverlust, <https://www.rechnerphotovoltaik.de>).

D. h. nur rund 71.040 m² bzw. 7 ha Photovoltaikdachanlagen könnten die Wasserkraft an der hessischen Lahn komplett bezüglich des Jahresertrages ersetzen. Bei im Mittel angesetzten 50...70 m² Dachfläche wären das lediglich 1.000 bis 1.400 Hausdächer: Allerdings wäre Strom aus der Photovoltaik nicht grundlastfähig, so dass zum notwendigen Ausgleich zusätzliche Speichermöglichkeiten (z. B. Batteriespeicher) notwendig wären.

Dass das Argument, angeblich „grün“ und „nachhaltig“ produzierten Stroms aus Wasserkraft, nicht greifen kann, zeigen immer mehr Untersuchungen. Ohne hier auf die gravierenden negativen ökologischen Folgen für Flüsse und deren Auen infolge von Staudämmen eingehen zu wollen, sei hier beispielsweise auf die Arbeit von WALDMAN et al. (2019) verwiesen. Die Autoren weisen nach, dass in den USA die gesamte jährliche Energieerzeugung durch Wasserkraftanlagen an Staudämmen durch Photovoltaikanlagen ersetzt werden könnte, wobei dafür nur 13 % (!) der bestehenden Stauseefläche benötigt würde. Der restliche Raum stünde also dann noch für andere Nutzungen zur Verfügung, insbesondere aber auch als natürlicher oder naturnaher Auenraum...

Einzig dann, wenn aus anderen und gesellschaftlich sinnvollen Gründen eine Staustufe Bestand hat, macht die Energieerzeugung durch Wasserkraftanlagen Sinn.

Weiter wird hier auch der Grundkonflikt „Freizeit- und Sportbootschifffahrt versus Biodiversität/ökologische Funktionsfähigkeit“ an einem einzigen Wirkkomplex, den betriebsbedingten Auswirkungen des Schiffsverkehrs, herausgegriffen: Gerade, weil die Freizeit- und Sportbootschifffahrt ihren Aktivitäts-Höhepunkt in den Frühjahrs- und Sommermonaten hat (Fortpflanzungszeit der meisten Fischarten), ist der Einfluss auf die Fischfauna besonders hoch. Anhand von Datensätzen für 358 Flussabschnitte in 16 europäischen Flüssen (insgesamt 2.693 wissenschaftlichen Befischungsdaten) zeigen ZAJICEK & WOLTER (2019, 2020), dass die Anzahl von motorisierten Sportbooten signifikant negativ korreliert ist mit den Populationsdichten besonders eurytoper und rheophiler, aber auch lithophiler Fischarten. Besonders negativ betroffen sind kieslaichende Fischarten.

Die Freizeit- und Sportbootschifffahrt führt infolge der durch die diversen Schiffstypen verursachten hydraulischen Kräfte und Wirkungen in Bezug auf die Gewässersohlen (vor allem Sedimentaufwirbelung und -verlagerung) sowie die Uferbereiche (Wellenschlag, Schwall, Sunk) zu negativen ökologischen Konsequenzen für die Fischfauna. Hier sind nicht nur die direkten, physiologisch wirksamen Folgen für die Fische relevant, sondern vor allem auch, dass die Wirkungen gleichfalls negativ sind für die wirbellose Fauna und die Gewässervegetation als Ernährungsgrundlage der Fische. Selbst das Phytoplankton wird beeinflusst. Damit sind alle biologischen Qualitätskomponenten nach Anhang V WRRL bzw. OGewV grundsätzlich

auch in Nebenwasserstraßen „betriebsbedingt“ (Fachbegriff bei der Prüfung der Umweltverträglichkeit nach UVPG, vgl. BMVBS 2007) negativ betroffen.

Einen Überblick der ökonomischen Bewertungen der Szenarien für alle drei Staustufen gibt Tabelle 10-1. Die Tabelle beinhaltet damit alle Einzelbewertungen der Kapitel 7.5, 8.5 und 9.5 und ermöglicht den Vergleich über alle drei Staustufen und beide (Veränderungs-)Szenarien (jeweils 20-Jahres-Zeitraum und diskontierte Ansätze). Zunächst wird wiederum offenbar, dass nur ein Teil (ca. 50 %) der Ökosystemleistungen monetär bewertet werden konnte. Es ist davon auszugehen, dass der bilanzierte Nutzen insgesamt noch größer wäre, wenn alle Ökosystemleistungen berücksichtigt werden könnten.

Zwei Aspekte sind bei der Betrachtung der hier vorgelegten ökonomischen Bewertungen von großer Bedeutung. Erstens werden hier nur Veränderungen im ökonomischen Nutzen betrachtet, die durch Veränderungen im Dargebot an Ökosystemleistungen im Vergleich zwischen dem Status Quo und den Szenarien entstehen. Die Kosten, die für die Umsetzung der Szenarien 1 und 2 notwendig sind, wurden auftragsgemäß nicht berücksichtigt. Es ist davon auszugehen, dass die Umsetzungskosten im Szenario 2 deutlich größer sein werden als im Szenario 1. Zweitens ist zu berücksichtigen, dass aufgrund der Datengrundlagen und des hohen Kosten- und Zeitaufwands für präferenzbasierte Bewertungsmethoden nur für ungefähr die Hälfte der betrachteten Ökosystemleistungen monetäre Bewertungen durchgeführt werden konnten. Es ist davon auszugehen, dass der bilanzierte Nutzen insgesamt deutlich größer wäre, wenn alle Ökosystemleistungen (ÖSL) berücksichtigt werden könnten.

Staustufe Lahnstein

- Bei der Staustufe Lahnstein ist nur das Szenario 2 relevant.
- Hier wird ein hoher Nutzen der regulativen ÖSL (ca. 44,9 Mio. €) bilanziell deutlich vermindert durch Einbußen im Nutzen bei versorgenden und abiotischen ÖSL (insbesondere durch den Wegfall von motorisierter Schifffahrt und von Wasserkraft). Im Vergleich zum Status Quo entsteht bilanziell ein Zugewinn an Nutzen in Höhe von ca. 8,8 Mio. €.

Staustufe Kirschhofen

- Bei der Staustufe Kirschhofen sind das Szenario 1 und das Szenario 2 relevant.
- Beim Szenario 1 wird der gesamte Nutzen durch die Zunahme regulativer ÖSL erzeugt. Es entsteht hier ein Mehr an Nutzen in Höhe von ca. 1,9 Mio. €. Beim Szenario 2 entsteht ein hoher Nutzen bei den regulativen ÖSL (ca. 94,4 Mio. €) während der Nutzen bei den versorgenden und den abiotischen ÖSL etwas geringer ist, als im Szenario 1. Insgesamt wird im Szenario 2 ein Zugewinn an Nutzen durch ÖSL in Höhe von ca. 88,9 Mio. € erzielt.

Staustufe Altenberg

- Bei der Staustufe Altenberg sind wieder beide Szenarien relevant.
- Beim Szenario 1 entsteht Nutzen durch die Zunahme regulativer ÖSL, während der Nutzen bei den versorgenden ÖSL etwas abnimmt. Insgesamt ergibt sich, im Vergleich mit dem Status Quo, ein um ca. 1,6 Mio. € verringerter Nutzen durch das Dargebot an ÖSL.
- Beim Szenario 2 wird der Nutzen durch regulative ÖSL stark erhöht auf ca. 85,0 Mio. € und zugleich der Nutzen bei den versorgenden ÖSL leicht vermindert. Insgesamt entsteht bei Szenario 2 ein Nutzen durch ÖSL in Höhe von ca. 75,2 Mio. €.

Tabelle 10-1: Ökonomische Bewertung der Szenarien (Differenz zum Ist-Zustand) für alle drei betrachteten Staustufen (Beträge auf 100,00 € genau gerundet)

Ökosystemleistung	Staustufe Lahnstein		Staustufe Kirschhofen		Staustufe Altenberg	
	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 1	Szenario 2
<i>Kulturpflanzen (auf Acker- und Gartenbaustandorten)</i>	0 €	0 €	0 €	-33.700 €	-3.728.000 €	-9.695.000 €
<i>Pflanzliche Biomasse für den Einsatz in der Landwirtschaft (auf Grünlandstandorten)</i>	0 €	-4.400 €	0 €	-185.800 €	-141.200 €	-147.800 €
<i>Pflanzliche Rohstoffe für die Verarbeitung (Waldstandorte)</i>	0 €	-119.600 €	0 €	-40.800 €	0 €	0 €
<i>Pflanzliche Energierohstoffe aus Landwirtschaft, Kurzumtriebsplantagen, Holzwirtschaft</i>	-	-	-	-	-	-
Summe versorgende ÖSL	0 €	-124.000 €	0 €	-260.300 €	-3.869.200 €	-9.842.800 €
<i>Hochwasserregulation</i>	0 €	18.877.000 €	0 €	71.087.000 €	3.156.000 €	25.452.000 €
<i>Niedrigwasserregulation</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Sedimentregulation</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Retention von Stickstoff</i>	0 €	247.200 €	10.400 €	409.200 €	54.300 €	716.200 €
<i>Retention von Phosphor</i>	0 €	10.116.000 €	567.400 €	17.784.000 €	2.079.000 €	30.633.000 €
<i>Biologische Selbstreinigung</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Rückhalt von Treibhausgasen</i>	0 €	15.707.000 €	1.414.800 €	5.137.000 €	-3.063.000 €	28.216.000 €
<i>Kühlwirkung</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Habitatbereitstellung</i>	-	-	-	-	-	-
Summe regulative ÖSL	0 €	44.947.200 €	1.992.600 €	94.417.200 €	2.226.300 €	85.017.000 €
<i>Landschaftsästhetik</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Erholung und Tourismus</i>	-	-	-	-	-	-

Ökosystemleistung	Staustufe Lahnstein		Staustufe Kirschhofen		Staustufe Altenberg	
	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 1	Szenario 2
<i>Bildung & Wissenschaft</i>	-	-	-	-	-	-
Summe kulturelle ÖSL	-	-	-	-	-	-
<i>Motorisierte Schifffahrt</i>	-	-28.084.700 €	-	-	-	-
<i>Wasserkraft</i>	0 €	-7.934.000 €	0 €	-5.203.000 €	0 €	0 €
Summe abiotische ÖSL	0 €	-36.018.700 €	0 €	-5.203.000 €	0 €	0 €
Summe gesamt im Szenario 1	0 €		1.992.600 €		-1.642.600 €	
Summe gesamt im Szenario 2		8.804.500 €		88.953.900 €		75.174.200 €

Insgesamt zeigt sich, dass im Szenario 1 (GÖP) kaum Zugewinne des Nutzens durch Ökosystemleistungen entstehen (Staustufe Kirschhofen), oder sogar verringerte Nutzen zu erwarten sind (Staustufe Altenberg). Dieser (geringe) Zugewinn beruht natürlich auf den ausgewählten Maßnahmenkombinationen.

Beim Szenario 2 (GÖZ) dagegen wird im Vergleich zum Status Quo ein erheblich höherer ökonomischer Nutzen durch Veränderungen im Dargebot von Ökosystemleistungen erwartet und zwar in der Größenordnung zwischen ca. 9 Mio. € und ca. 89 Mio. €.

Im Bereich der Bundeswasserstraße Lahn existieren 29 Staustufen. Bei der berechtigten Annahme einer grundsätzlichen Übertragbarkeit der Ergebnisse der untersuchten Staustufen auf die anderen Staustufen würde bei der Realisierung von Szenario 2 (GÖZ) aufgrund der Erhöhung des Dargebots von Ökosystemleistungen ein beträchtlicher bilanzieller Mehrnutzen entstehen.

Dabei liegt hier nur ein Betrachtungszeitraum von 20 Jahren zugrunde. Die übliche Nutzungsdauer von Investitionen bzw. die Wirkungsdauer von Projekten ist bei Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im öffentlichen Sektor jedoch die Grundlage für die Wahl des Betrachtungszeitraumes (MÜHLENKAMP 2011). Die „Nutzungsdauer“ einer Lahn im GÖZ wäre bei wasserwirtschaftlichen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen dementsprechend erheblich höher anzusetzen (vgl. DWA 2012), was den Mehrnutzen des GÖZ auf jeden Fall in einen noch höheren volkswirtschaftlichen Bereich bringen würde.

10.3 Schlussfolgerungen und Fazit

Die Ökosystemleistungen, die insbesondere bei der Umsetzung von Szenario 2 (GÖZ) zusätzlich bereitgestellt werden, sind mit einem Nutzenzuwachs, d. h. einem ökonomischen Vorteil verbunden. Dieser Wert kann gleichzeitig aber auch als Verlust bzw. als gesellschaftliche Kosten einer Beibehaltung des Status Quo (bzw. entsprechend der Umsetzung von Szenario 1) interpretiert werden. Auch Szenario 1 (GÖP) ist aber mit einem Nutzenzuwachs verbunden, auch wenn dieser nicht so deutlich ausfällt wie in Szenario 2.

Zwar ist entsprechend WRRL-Bewirtschaftungsplanung nach den §§ 27 ff. WHG als Bewirtschaftungsziel für alle Wasserkörper der Lahn das gute ökologische Potenzial vorgegeben, da als Grund für die Ausweisung als erheblich veränderte Wasserkörper hier auf Artikel 4 Absatz 3 a) ii WRRL) zurückgegriffen wurde: signifikante negative Auswirkungen auf die Schifffahrt..., aber der Artikel 4 Absatz 3 a) WRRL stellt eine „Kann-“, keine „Muss-“Formulierung dar. Die Einstufung der Wasserkörper und deren Gründe sind entsprechend Artikel 4 WRRL alle sechs Jahre zu überprüfen. Hier setzt die vorliegende Studie an, indem unter fundamentaler Berücksichtigung von (hypothetischen) Staulegungsmaßnahmen für drei ausgewählte Stauhaltungen auch die ÖSL in einem Szenario „guter ökologischer Zustand“ (für natürliche Flüsse) qualitativ und ökonomisch bewertet wurden.

Die vorliegende Studie zeigt, dass das Szenario 2 (guter ökologischer Zustand bei zwingend notwendiger Staulegung) im Hinblick auf die Erreichung der Ziele der Wasserrahmenrichtlinie und das modellierte Dargebot an Ökosystemleistungen die vorteilhaftere Option darstellt. Zugleich wird deutlich, dass diese Variante einen weitaus höheren ökonomischen Nutzen erbringt, als das Szenario 1 (gutes ökologisches Potenzial bei Beibehaltung der Stauhaltung). Ob die unzweifelhaft hohen, mit einer Staulegung und entsprechenden Renaturierungsmaßnahmen einhergehenden Kosten angesichts des hohen gesellschaftlichen Nutzen eine Umsetzung von Szenario 2 rechtfertigen würden, bliebe einer umfassenden Nutzen-Kosten-Analyse vorbehalten. Aktuelle und zukünftige Herausforderungen (Klimawandel und deren Folgen, Biodiversitätsverlust usw.) werden den Wert der Ökosystemleistungen zweifelsfrei weiter erhöhen.

Angesichts des hohen erwarteten ökonomischen Nutzens können relativ hohe Investitionen zur Erreichung des Szenarios 1 und vielmehr des Szenarios 2 daher angemessen und gesellschaftlich sinnvoll sein. Dabei könnte der Staat durch zielgerichtete Investitionen langfristig erhebliche Vorteile mit guten Kosten-Nutzen-Relationen erzielen; dies beträfe u. a. auch die Infrastruktur für jeweils mögliche Erholungs-, Sport- und Erlebnisformen.

Wie bereits erwähnt werden in der Studie auftragsgemäß die möglichen Kosten zur Erreichung des Bewirtschaftungszieles gutes ökologisches Potenzial oder Erreichung eines guten ökologischen Zustandes nicht berücksichtigt. Die Kosten können unverhältnismäßig hoch sein, was u. a. auch als Grund für eine Beibehaltung des Status erheblich veränderte Wasserkörper zulässig ist (Artikel 4 Absatz 3 b) WRRL). Kosten könnten andererseits auch unverhältnismäßig hoch sein, wenn man objektive Verhältnismäßigkeitsgrundsätze heranzieht: Aufwand und Nutzen (s. o.). Es führen aber zur „Kostenunverhältnismäßigkeit i. S. von Art. 4 Abs. 5 WRRL [...] deshalb einzelwirtschaftliche Kosten nur dann, wenn sie für sich genommen oder zusammen mit ebenfalls anfallenden öffentlichen Kosten höher liegen als der gesellschaftliche Nutzen des guten Gewässerzustands“ (KLAUER et al. 2018, S. 18). Damit schließt sich der Kreis zu dem potenziell wertvollen Beitrag der bewerteten ÖSL entsprechender Handlungsoptionen; die Ökosystemleistungen sind bewerteter Gemeinnutzen.

Würde man an der Lahn sich einer Umsetzung des Szenarios 2 (GÖZ) widmen, dann ist der hohe organisatorische, zeitliche und fachliche Aufwand zu betonen. Inklusive Planungs- und Genehmigungsverfahren ist von einer Realisierungszeit von mehreren Jahrzehnten auszugehen. Hier sind folgende Hinweise angezeigt:

1. Sinnvollerweise sollte man den Staustufenrückbau grundsätzlich von oben nach unten (in Fließrichtung der Lahn) bewerkstelligen.
2. Dann würden tendenziell die derzeit am geringsten im Hinblick auf Schifffahrt und Wasserkraft bedeutsamen Staustufen als erstes in den Fokus genommen und die bedeutenderen diesbezüglichen Nutzungen an der unteren Lahn erst sehr spät in Frage gestellt werden.
3. Dies würde darauf hinauslaufen, dass die sozioökonomischen Konflikte erheblich geringer wären, als aktuell häufig kolportiert; zudem bestände ausreichend Anpassungszeit.
4. Ggf. würden untere Staustufen in einem Gesamtkonzept sogar weiterhin als so bedeutsam eingestuft, dass zunächst ihr Bestand gar nicht in Frage gestellt wird; hier also eher auf eine Optimierung aller Verhältnisse orientiert würde.

Die vorliegende Studie leistet einen umweltfachlichen Beitrag zu den laufenden Diskussionen im LiLa-Vorhaben. Der Ansatz einer Bewertung der Ökosystemleistungen stellt, neben anderen Kriterien wie insbesondere Flächenverfügbarkeit, Auswirkungen auf ggf. vorhandene Bebauungen und das Grundwasser, Kosten und Nutzen-Kosten-Analysen, rechtliche Fragen der Genehmigungen, Rechte Dritter etc., eine weitere Grundlage zur Variantenbewertung dar.

11 Quellenverzeichnis

- ACREMAN, M., ALI, M., BAUER, H., BRAUND, R., EVANS, S.Y., EMERTON, L., DE LONGH, H., KARI, S., KOUOKAM, R., LOTH, P., MORITZ, M., NGANTOU, D., NJOMAHA, C., OYO, P., PIROT, J.-Y. & SCHOLTE, P. (2004): The return of the water: restoring the Waza Logone Floodplain in Cameroon. – LOTH, P. [Ed.], IUCN, Gland, Cambridge.
- AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Aufl., Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 438 S.
- ALBERT, C., SCHRÖTER, B. & VON HAAREN, C. (2017): Ökosystemleistungen von Flusslandschaften: Nützliche Informationen für Entscheidungen. – Wasser und Abfall 19 (5): 24-29.
- ALEXY, M. & FAULHABER, P. (2011): Hydraulische Wirkung der Deichrückverlegung Lenzen an der Elbe. – Wasserwirtschaft 12: 17-22.
- ANDREOPOULOS, D. & DAMIGOS, D. (2016): To transfer or not to transfer? Evidence from validity and reliability tests for international transfers of non-market adaptation benefits in river basins. – Journal of Environmental Management 185: 44-53.
- BAGROV, N. A. (1953): O srednem mnogoletnem isparenii s poverchnosti susi (Über den vieljährigen Durchschnittswert der Verdunstung von der Oberfläche des Festlandes). – Meteorolog. i Gidrolog.10 (russ.), 1953.
- BARETT, R., NIELSEN, D. L. & CROOME, R. (2010): Associations between the plant communities of floodplain wetlands, water regime and wetland type. – River Research and Applications 26: 866–876.
- 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.
- BBodSchG: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG) vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), zuletzt geändert durch Artikel 3 Absatz 3 der Verordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465).
- BERLIN, A. (2019): 25 Jahre ökologischer Fließgewässerrenaturierung am Tieflandfluss Nebel (Mecklenburg-Vorpommern) – Änderungen in der Besiedlung mit Eintagsfliegen (Ephemeroptera), Steinfliegen (Plecoptera) und Köcherfliegen (Trichoptera). – Lauterbornia 86: 175-195.
- BfG (2003): BAGLUVA – Wasserhaushaltsverfahren zur Berechnung vieljähriger Mittelwerte der tatsächlichen Verdunstung und des Gesamtabflusses. – BfG-Bericht 1342, Bundesanstalt für Gewässerkunde, 103 S.
- BfG (2017): Abschätzung von Wirkungszusammenhängen und Perspektiven einer Staulegung an der Lahn. - Diskussionspapier Ökologie und Umwelt - Integriertes EU LIFE Projekt: LiLa Living Lahn. LIFE 14 IPE DE 022. – BfG-Bericht 1928, Bundesanstalt für Gewässerkunde, 178 S.
- BfG (2020): Bereitstellung von primären Daten (hydrologische, hydraulische Daten) zum BfG-Bericht 1928 (BfG 2017) per Downloadmöglichkeit. – Datenpaket, Bundesanstalt für Gewässerkunde.
- BGR (2010): 4.7 Mittlerer jährlicher Gesamtabfluss (GA) nach dem BAGLUVA-Verfahren. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, URL: http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Zusammenarbeit/Adhocag/Downloads/Methode_4_7,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Methode_4_7.pdf. Datum des Seitenbesuchs: 19.10.2010.
- BHO: Bundeshaushaltsordnung vom 19. August 1969 (BGBl. I S. 1284), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 9. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2053).

- BinSchStrO: Binnenschiffahrtsstraßen-Ordnung vom 16. Dezember 2011 (BGBl. 2012 I S. 2, 1666), zuletzt geändert durch Artikel 6 der Verordnung vom 31. Oktober 2019 (BGBl. I S. 1518).
- BIOTA (2010): Entwicklung und Bereitstellung einer Bewertungsmethodik zur Beurteilung des hydrologischen Regimes der Oberflächenwasserkörper (Fließgewässer und Seen) gemäß EU-WRRL im Land Sachsen-Anhalt. – biota – Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH im Auftrag des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft des Landes Sachsen-Anhalt, 250 S.
- BIOTA (2018): Vorstudie „Sozio-ökonomisches Monitoring und Bewertung der Veränderungen von Ökosystemleistungen (ÖSL) im Projekt LiLa Living Lahn“. – biota – Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH unter Mitarbeit von Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Albert im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 27 S.
- BMVBS (2007): Leitfaden zur Umweltverträglichkeitsprüfung an Bundeswasserstraßen. – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [Hrsg.], 35 S.
- BMVI (2016): Wassertourismuskonzept. Schaffung der organisatorischen, personellen und finanziellen Voraussetzungen zur Verbesserung der wassertouristischen Infrastruktur. – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur [Hrsg.], 27 S.
- BMVI (2021): Masterplan Freizeitschifffahrt. – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur [Hrsg.], 67 S.
- BMVI & BMUB (2017): Bundesprogramm Blaues Band Deutschland. Eine Zukunftsperspektive für die Wasserstraßen – beschlossen vom Bundeskabinett am 1. Februar 2017. – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur & Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 31 S.
- BMWi (2016): Die wirtschaftlichen Potenziale des Wassertourismus in Deutschland. – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [Hrsg.], 104 S.
- BNatSchG: Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 4. März 2020 (BGBl. I S. 440).
- BONN, A., ALLOTT, T., EVANS, M., JOOSTEN, H. & STONEMAN, R. [Hrsg.] (2016): Peatland restoration and ecosystem services: Science, policy and practice. – Cambridge (Cambridge University Press/British Ecological Society, 493 S.
- BROUWER, R. & SHEREMET, O. (2017): The economic value of river restoration. – Water resources and economics 17: 1-8.
- BROUWER, R., BLIEM, M., GETZNER, M., KEREKES, S., MILTON, S., PALARIE T., SZERÉNYI, Z., VADINEANU, A. & WAGTENDONK, A. (2016): Valuation and transferability of the non-market benefits of river restoration in the Danube river basin using a choice experiment. – Ecological Engineering 87: 20-29.
- BROUWER, R. & SHEREMET, O. (2017): The economic value of river restoration. – Water Resources and Economics 17: 1–8.
- 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.
- BÜNGER, B. & MATTHEY, A. (2018): Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten. – Methodische Grundlagen. – Umweltbundesamt (UBA), Dessau.
- BURKHARD, B. & MAES, J. [Hrsg.] (2017): Mapping Ecosystem Services. – Sofia (Pensoft Publishers), 374 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., KROLL, F., NEDKOV, S. & MÜLLER, F. (2012): Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. – *Ecological Indicators* 21: 17-29.
- BUSCH, N. & HAMMER, M. (2006): Modellgestützter Nachweis der Auswirkungen von geplanten Rückhaltmaßnahmen in Sachsen und Sachsen-Anhalt auf Hochwasser der Elbe. – BfG-Bericht 1542, 49 S.
- CHAN, K. M. A., GUERRY, A. D., BALVANERA, P., KLAIN, S., SATTERFIELD, T., BASURTO, X., BOSTROM, A., CHUEN-PAGDEE, R., GOULD, R., HALPERN, B. S., HANNAHS, N., LEVINE, J., NORTON, B., RUCKELSHAUS, M., RUSSELL, R., TAM, J. & WOODSIDE, U. (2012): Where are Cultural and Social in Ecosystem Services? A Framework for Constructive Engagement. – *BioScience* 62 (8): 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: 107-120.
- DE GROOT, R. S., ALKEMADE, R., BRAAT, L., HEIN, L. & WILLEMEN, L. (2010): Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. – *Ecological Complexity* 7: 260-272.
- DEHNHARDT, A., HÄFNER, K., BLANKENBACH, A.-M. & MEYERHOFF, J. (2019): Valuation of Wetlands Preservation. – *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*, Oxford University Press, doi: <http://dx.doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.457>.
- DEHNHARDT, A., HORBAT, A. & MEYERHOFF, J. (2016): Der Nutzen des Schutzes von Flussauen aus volkswirtschaftlicher Perspektive. – *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft* 9 (5): 306-311.
- DEHNHARDT, A., SCHOLZ, M., MEHL, D. (koordinierende Autoren), SCHRÖDER, U., FUCHS, E. (Autoren), EICHORN, A., RAST, G. (Beiträge) (2015): Kapitel 7 „Die Rolle von Auen und Fließgewässern für den Klimaschutz und die Klimaanpassung“, in: HARTJE, V., WÜSTEMANN, H. & BONN, A. [Hrsg.]: *Naturkapital Deutschland – TEEB DE. Naturkapital und Klimapolitik – Synergien und Konflikte*. – Technische Universität Berlin, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Berlin, Leipzig, <http://www.naturkapitalteeb.de>, S. 172-181.
- DIEHL, H. (2019): Strukturverbesserungen an der Oberen Lahn. – Powerpoint-Präsentation, Regierungspräsidium Gießen, Abteilung Umwelt, 66 S.
- DISSANAYAKE, P. & SMAKHTIN, V. (2007): Environmental and Social Values of River Water: Examples from the Menik Ganga, Sri Lanka. – *IWMI Working Paper 121*, International Water Management Institute.
- DISTER, E., SCHNEIDER, E. & SCHOLZ, M. (2018): Allgemeine Grundlagen, in: SCHNEIDER, E., WERLING, M., STAMMEL, B., JANUSCHKE, K., LEDESMA-KRIST, G., SCHOLZ, M., HERING, D., GELHAUS, M., DISTER, E. & EGGER, G. [Hrsg.]: *Biodiversität der Flussauen Deutschlands*. – *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 163: 25-40.
- DUBGAARD, A., KALLESOE, M., PETERSEN, M. L., LADENBURG, J. (2002): Cost-benefit analysis of the Skjern river restoration project. – *Papers from Department of Economics and Natural Resources*.
- DWA (2012): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR Leitlinien). – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Stand 07/2012, 8. überarbeitete Auflage, 207 S.
- 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.

- DWA-M 920-4: Bodenfunktionsansprache - Teil 4: Ableitung von Kennwerten des landwirtschaftlichen Ertragspotenzials nach dem Müncheberger Soil Quality Rating. – Merkblatt, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA)12/2018, 34 S.
- ECKOLDT, M. [Hrsg.] (1998): Flüsse und Kanäle. Die Geschichte der deutschen Wasserstraßen. – Hamburg (DSV-Verlag), 526 S.
- EDOM, F. (2001): Hydrologische Eigenheiten, in: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. [Hrsg.] (2001): Landschaftsökologische Moorkunde. – E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Stuttgart): 92-111.
- EGOH, B., DRAKOU, E. G., DUNBAR, M. B., MAES, J. & WILLEMEN, L. (2012): Indicators for mapping ecosystem services: a review, JRC Scientific and Policy Reports. – European Commission, Joint Research Centre, Luxembourg.
- ELSASSER, P., ALTENBRUNN, K., KÖTHKE, M., LORENZ, M., & MEYERHOFF, J. (2020): Regionalisierte Bewertung der Waldleistungen in Deutschland. - Johann Heinrich von Thünen-Institut [Hrsg.], Thünen-Report 79, 210 S.
- EMERTON, L. (2016): Economic valuation of wetlands: Total economic value. – The wetland book: 1-6.
- Europäische Kommission (2003): Anleitung zur Kosten-Nutzen-Analyse von Infrastrukturprojekten (Strukturfonds-ERDF, Kohäsionsfonds und ISPA). – Europäische Kommission, GD Regionalpolitik, 157 S.
- FISCHER, C. & ROTH, M. (2020): Empfindlichkeit des Landschaftsbildes. Bewertung durch großräumige Einsehbarkeitsanalysen. – Naturschutz und Landschaftsplanung 52 (06): 280-287.
- GARCIA-LINARES, C., MATINEZ-SANTOS, MARTINEZ-BILBAO, V., SÁNCHEZ-PÉREZ, J. M. & ANTIGUEDAD, I. (2003): Wetland restoration and nitrate reduction : the example of the peri-urban wetland of Vitoria-Gasteiz (Basque Country, North Spain). – Hydrology and Earth System Sciences 7 (1): 109-121
- GÄTH, S., ANTONY, F., BECKER, K.-W., GERIES, H., HÖPER, H., KERSEBAUM, C. & NIEDER, R. (1999): Bewertung der standörtlichen Denitrifikationsleistung und N-Vorratsveränderung von Böden und Bodennutzungssystemen. – Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 91 (3): 1213-1216.
- GETZNER, M. (2014): Importance of free-flowing rivers for recreation: Case study of the River Mur in Styria, Austria. – Journal of Water Resources Planning and Management 141 (2).
- GHERMANDI, A. (2018): Integrating social media analysis and revealed preference methods to value the recreation services of ecologically engineered wetlands. – Ecosystem Services 31: 351-357.
- GLEASON, R. A. & LABHAN, 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. & FÜRTIG, G. (1997): Dokumentation zur Anwendung des Rechenprogramms ABIMO. Berechnung langjähriger Mittelwerte des Wasserhaushalts für den Lockergesteinsbereich. – Bundesanstalt für Gewässerkunde.
- GLUGLA, G., ENDERLEIN, R. & EYRICH, A. (1977): Anwenderinstruktion für das Rechenprogramm RASTER zur Berechnung langjähriger Mittelwerte der Grundwasserneubildung und des Wasserhaushalts für den Lockergesteinsbereich der DDR. – Institut für Wasserwirtschaft und Kammer der Technik, Berlin.
- GLUGLA, G., MÜLLER, E., JANKIEWICZ, P., RACHIMOW, C. & LOJEK, K (1999): Entwicklung von Verfahren zur Berechnung langjähriger Mittelwerte der flächendifferenzierten Abflussbildung (DFG-Projekt GI 242/1-2 „Wasserhaushaltsverfahren“). – Abschlussbericht, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Abteilung Berlin, 27 S.

- 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.
- GOWAN, C., STEPHENSON, K. & SHABMAN, L. (2006): The role of ecosystem valuation in environmental decision making: hydropower relicensing and dam removal on the Elwha River. – *Ecological Economics* 56 (4): 508-523.
- GRÊT-REGAMEY, A., BEBI, P., BISHOP, I. D., SCHMID, W. A. (2008): Linking GIS-based models to value ecosystem services in an Alpine region. – *Journal of Environment Management* 89: 197-208.
- GRIZZETTI, B., LANZANOVA, D., LIQUETE, C., REYNAUD, A., RANKINEN, K., HELLSTEN, S., FORSIUS, M. & CARDOSO, A.-C. (2015): Cook-book for water ecosystem service assessment and valuation. – Luxembourg (Publications Office of the European Union), Scientific and technical research series No. 27141, 135 S.
- GROSSMANN, M. (2012): Economic value of the nutrient retention function of restored floodplain wetlands in the Elbe River basin. – *Ecological Economics* 83 (2012): 108-117.
- GRUNEWALD, K., WALZ, U., HEROLD, H. & SYRBE, R.-U. (2015): Ökosystemleistungen erfassen und bewerten. Erste Vorschläge für die nationale Ebene in Deutschland. – *Naturschutz und Landschaftsplanung* 47 (10): 305-310.
- HAASE, G. (1978): Zur Ableitung und Kennzeichnung von Naturraumpotentialen. – *Petermanns Geographische Mitteilungen* 122: 113-125.
- HAASE, G. [Hrsg.] unter Mitwirkung von BARSCH, H., HUBRICH, H., MANNSFELD, K. & SCHMIDT, R. (1991): Naturraumerkundung und Landnutzung: Geochorologische Verfahren zur Analyse, Kartierung und Bewertung von Naturräumen. – Berlin (Akademie-Verlag), Beiträge zur Geographie 34/1, 373. S.
- HAD (2000, 2001, 2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland. – Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit [Hrsg.], Bonn/Berlin, 2000 (1. Lieferung), 2001 (2. Lieferung), 2003 (3. Lieferung).
- HAINES-YOUNG, R. & POTSCHIN, M. (2013): Common International Classification of Ecosystem Services (CICES), Version 4.3, 2013 ed. EEA, www.cices.eu.
- HAINES-YOUNG, R. & POTSCHIN, M. (2014): Typology/Classification of Ecosystem Services, in: POTSCHIN, M. & JAX, K. (Eds.), *OpenNESS Ecosystem Services Reference Book*.
- HAINES-YOUNG, R. & POTSCHIN, M. (2018): Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure. – <https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf>, Abruf am 01.02.2020.
- HANLEY, N., SHOGREN, J. & WHITE, B. (2019): *Introduction to Environmental Economics*. – Oxford (Oxford University Press), Third Edition, 392 S.
- HARMS, O., DISTER, E., GERSTNER, L., DAMM, C., EGGER, G., HEIM, D., GÜNTER-DIRINGER, D., KOENZEN, U., KURTH, A. & MODRAK, P. (2018). Potenziale zur naturnahen Auenentwicklung - Bundesweiter Überblick und methodische Empfehlungen für die Herleitung von Entwicklungszielen. – *BfN-Skripten* 489, 77 S.
- HARNISCHMACHER, S. (2002): Fluvialmorphologische Untersuchungen an kleinen, naturnahen Fließgewässern. – *Bochumer Geographische Arbeiten* 70, 323 S.
- HARTSCH, I. & SANDNER, E. (1991): Analyse und Bewertung des Rekreationspotentials, in: HAASE, G. [Hrsg.] unter Mitwirkung von BARSCH, H., HUBRICH, H., MANNSFELD, K. & SCHMIDT, R. (1991): *Naturraumerkundung und Landnutzung: Geochorologische Verfahren zur Analyse, Kartierung und Bewertung von Naturräumen*. – Berlin (Akademie-Verlag), Beiträge zur Geographie 34/1: 302-309.

- HELMREICH, B., HUBER, M., MUNTAU, M., ATHANASIADIS, K., STEINLE, E. (2017): Abschlussbericht zum F+E-Vorhaben „Analyse einer möglichst weitestgehenden Phosphorelimination bei kommunalen Kläranlagen“ – https://www.bgu.tum.de/fileadmin/w00blj/sww/Publikationen/Endbericht-20170919_LfU-P-Elimination.pdf, Abruf am 25.10.2020.
- HERMES, J., ALBERT, C., VON HAAREN, C. (2018): Assessing the aesthetic quality of landscapes in Germany. – *Ecosystem Services* 31: 296-307.
- HGrG: Gesetz über die Grundsätze des Haushaltsrechts des Bundes und der Länder (Haushaltsgrundsatzgesetz - HGrG) vom 19. August 1969 (BGBl. I S. 1273), zuletzt geändert durch Artikel 10 des Gesetzes vom 14. August 2017 (BGBl. I S. 3122).
- HLUG & LGB (2008): Großmaßstäbige Bodeninformationen für Hessen und Rheinland-Pfalz. Auswertung von Bodenschätzungsdaten zur Ableitung von Bodenfunktionen und -eigenschaften. – Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz [Hrsg.], 64 S.
- HMUKLV (2015): Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Hessen – Bewirtschaftungsplan 2015-2021. – Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz [Hrsg.], S. 190.
- HOFFMANN, T. G. & MEHL, D. (2010): Entwicklung und Bereitstellung einer Bewertungsmethodik zur Beurteilung des Natürlichkeitsgrades des hydrologischen Regimes der Oberflächenwasserkörper (Fließgewässer und Seen) gemäß EU-WRRL im Land Sachsen-Anhalt. – Scientific Technical Report 10/10 des DeutschenGeoForschungszentrums (GFZ): 68-76.
- HOFFMANN, T. G., MEHL, D. & MÜHLNER, C. (2010a): Methode und Ergebnis einer Gliederung des Landes Sachsen-Anhalt in hydrologische Regionen. – *Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften* 32: 143-158.
- HOFFMANN, T. G., MEHL, D., WEILAND, M. & MÜHLNER, C. (2010b): HYDREG – Ein Verfahren zur Natürlichkeitsbewertung des hydrologischen Regimes der Oberflächenwasserkörper gemäß EU-WRRL. 2. Methoden und Ergebnisse. – *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft* 3 (9): 474-484.
- <http://atlas.umwelt.hessen.de/servlet/Frame/atlas/naturschutz/naturraum/texte/ngl-gi.htm>, Abruf am 06.01.2019.
- <http://bodenviewer.hessen.de/mapapps/resources/apps/bodenviewer/index.html?lang=de>, Abruf am 06.01.2019.
- <https://cices.eu/resources/>, Abruf am 01.02.2020
- <https://daten.ktbl.de/downloads/dslkr/Leistungs-Kostenrechnung.pdf>, Abruf am 23.11.2020.
- https://ec.europa.eu/easme/sites/easme-site/files/life_ecosystem_services_guidance.pdf, Abruf am 30.03.2020.
- https://www.blaues-band.bund.de/Projektseiten/Blaues_Band/DE/neu_05_Informationen/Fachinformationen/Eckpunkte_Fachkonzept_BBD.pdf?__blob=publicationFile&v=1, Abruf am 29.11.2019.
- https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/WS/blaues-band-fachstudie.pdf?__blob=publicationFile, Abruf am 20.12.2018.
- <https://www.enbw.com/erneuerbare-energien/wasser/standorte.html>, Abruf am 08.06.2020.
- https://www.gewaesser-bewertung.de/index.php?article_id=138&clang=0, Abruf am 28.11.2019.
- https://www.hlnug.de/static/medien/boden/fisbo/bk/bfd50/extdoc/m_nitrat.html, Abruf am 08.01.2020.
- <https://www.hlnug.de/themen/boden/information/bodenflaechenkataster-und-kartenwerke/bfd50/themen/ertragspotenzial>, Abruf am 12.05.2020.

- <https://www.lila-livinglahn.de/das-projekt/>, Abruf am 18.10.2018.
- <https://www.lila-livinglahn.de/massnahmen/action-a-1-lahnkonzept>, Abruf am 21.02.2020.
- <https://www.lila-livinglahn.de/das-projekt/projektbeschreibung/>, Abruf am 01.11.2019.
- <https://www.mikepoweredbydhi.com/presences/emea/germany/news/2016/08/22/lawa-sedimente>, Abruf am 22.02.2020
- <https://www.moorwissen.de/de/publikationen/publikationen.php#berichte>, Abruf am 08.04.2020.
- <https://www.rechnerphotovoltaik.de>, Abruf am 21.12.2020.
- <https://www.umweltbundesamt.de/gewaesserrenaturierung-projektbeispiele>, Abruf am 07.04.2020.
- HWRM-RL (Europäische Hochwasserrichtlinie): Richtlinie 2007/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken, Amtsblatt der EG Nr. L 288 vom 06.11.2007.
- HYNES, S. & HANLEY, N. (2006): Preservation versus development on Irish rivers: whitewater kayaking and hydro-power in Ireland. – *Land Use Policy* 23 (2): 170-180.
- IPBES (2016): The methodological assessment report on scenarios and models of biodiversity and ecosystem services. S. Ferrier, K. N. Ninan, P. Leadley, R. Alkemade, L. A. Acosta, H. R. Akçakaya, L. Brotons, W. W. L. Cheung, V. Christensen, K. A. Harhash, J. Kabubo-Mariara, C. Lundquist, M. Obersteiner, H. M. Pereira, G. Peterson, R. Pichs-Madruga, N. Ravindranath, C. Rondinini and B. A. Wintle (eds.). – Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany, 348 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.
- KAUSSMANN, J. & MEHL, D. (2005): Nebel bei Hoppenrade: Vorbereitung, Planung und Durchführung einer Fließgewässersanierung nach WRRL. – Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Tagung „Aktuelle Probleme und Lösungen im kulturtechnischen Wasserbau“, 23.-24.11.2005 in Rostock, Tagungsband: 48-68.
- KEELER, B. L., POLASKY, S., BRAUMAN, K. A., JOHNSON, K. A., FINLAY, J. C., O'NEILL, A., KOVACS, K. & DALZELL, B. (2012): Linking water quality and well-being for improved assessment and valuation of ecosystem services. – *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109: 18619-18624.
- KEHL, C. (2014): Inwertsetzung von Biodiversität. Endbericht zum TA-Projekt. – Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (Arbeitsbericht, Nr. 161).
- KELLER, R. (2016): Ökosystemleistungen in der Schweiz. Chancen und Risiken für die Anwendung in Politik und Praxis. – Dissertation, Mathematisch-naturwissenschaftliche Fakultät der Universität Zürich, 192 S.
- KERN, K. (1994): Grundlagen naturnaher Gewässergestaltung. Geomorphologische Entwicklung von Fließgewässern. – Berlin, Heidelberg, New York (Springer Verlag), 256 S.
- KEUNEKE, R. & DUMONT, U. (2011): Erarbeitung und Praxiserprobung eines Maßnahmenplanes zur ökologisch verträglichen Wasserkraftnutzung. – Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (UBA-Texte 72/2011).
- KIRCHHOFF, T. (2018): „Kulturelle Ökosystemleistungen“. Eine begriffliche und methodische Kritik. – Freiburg (Verlag Karl Alber), 192 S.
- KLAUER, B., SIGEL, K., REESE, M., SCHILLER, J. & RENNO, J. (2018): Unverhältnismäßige Kosten nach EG-Wasserrahmenrichtlinie. Praxistest zweier Verfahren zur Begründung weniger strenger Umweltziele.

– Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Department Ökonomie, aktualisierte Fassung des Endberichts des F+E-Vorhabens aus dem Länderfinanzierungsprogramm 2016 O 8.16 im Auftrag der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, 87 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. – *Angewandte Landschaftsökologie* 65, 327 S.
- KOPP, D., JÄGER, K.-D. & SUCCOW, M. (1982): Naturräumliche Grundlagen der Landnutzung am Beispiel des Tieflandes der DDR. – Berlin (Akademie-Verlag), 339 S.
- KRONVANG, B., HOFFMANN, C. C., SVENDSON, L. M., WINDOLF, J., JENSEN, J. P. & DORGE, J. (1999): Retention of nutrients in river basins. – *Aquatic Ecology* 33 (1): 29-40.
- LANUV-Arbeitsblatt 18: Gewässerstruktur in Nordrhein-Westfalen. Kartieranleitung für die kleinen bis großen Fließgewässer. LANUV-Arbeitsblatt 18, 2. überarbeitete Aufl., Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen [Hrsg.], 305 S.
- LAWA (1999): Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland, Verfahren für kleine und mittelgroße Fließgewässer. – Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), 147 S.
- LAWA (2004): Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland. Übersichtsverfahren. – Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), LAWA-AK „Gewässerstruktur“, Berlin (Kulturbuchverlag), 27 S.
- LAWA (2006): Leitlinien zur Gewässerentwicklung. Ziel und Strategien. – Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), 16 S.
- LAWA (2015): Handbuch zur Bewertung und planerischen Bearbeitung von erheblich veränderten (HMWB) und künstlichen Wasserkörpern(AWB). Version 3.0. – Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), 124 S.
- LAWA (2016): Typspezifischer Flächenbedarf für die Entwicklung von Fließgewässern. LAWA-Verfahrensempfehlung. Anwenderhandbuch, LFP-Projekt 04.13. – Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), 16 S.
- LAWA (2017): Bewertung der Durchgängigkeit von Fließgewässern für Sedimente. – Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Projekt-Nr. O 5.14, Anwenderhandbuch Sedimente, Entwurf Februar 2017.
- LEIBUNDGUT, C. & M. EISELE (2005): Weiterentwicklung des Bewertungsverfahrens „Hydrologische Güte“ als Expertensystem zum operationellen Einsatz im Flussgebietsmanagement. Abschlussbericht zum Projektvorhaben BWC 21013. – Forschungszentrum Karlsruhe; www.hydrology.uni-freiburg.de/forsch/hydgue/BW-Plus-Endbericht-2005-BWC-21013.pdf.
- LENSCHOW, U. unter Mitarbeit von BÖRNER, R., BUSCH, K., HOCHFELD, K.-D., MEHL, D. & SEGEBARTH, B. (1998): Kartierung und Bewertung der Strukturgüte von Fließgewässern in M-V. – LAUN M-V, Materialien zur Umwelt in Mecklenburg-Vorpommern 1/98, 200 S.
- LESER, H. (1991): *Landschaftsökologie*. – Stuttgart (Ulmer), 647 S.
- LEYSHON, C. (2014): Cultural ecosystem services and the challenge for cultural geography. – *Geography Compass* 8 (10): 710-725.
- LGB (2016): Bodenfunktionsbewertung für die Planungspraxis- - Themenhefte Vorsorgener Bodenschutz, Heft 1, Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (LGB) [Hrsg.], 20 S.
- LIENHOOP, N. (2016): Übersicht über Methoden zur Bewertung von Ökosystemleistungen, in: *Naturkapital Deutschland – TEEB DE, Ökosystemleistungen in ländlichen Räumen – Grundlage für menschliches*

- Wohlergehen und nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung. Hrsg. von Christina von Haaren und Christian Albert. Leibniz Universität Hannover, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ. Hannover, Leipzig. S. 64-69.
- LINDTNER, S. & BRUGGER, M. (2012): Kläranlagenbenchmarking - Ergebnisse und methodische Weiterentwicklung. – Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 64: 235-241.
- LIQUETE, C., PIRODDI, C., EVANGELIA G. DRAKOU, E. G., GURNEY, L., KATSANEVAKIS, S., CHAREF, A. & EGOH, B. (2013): Current Status and Future Prospects for the Assessment of Marine and Coastal Ecosystem Services: A Systematic Review. – PLoS ONE 8 (7): e67737.
- LOGAR, I., BROUWER, R. & PAILLEX, A. (2019): Do the societal benefits of river restoration outweigh their costs? A cost-benefit analysis. – Journal of environmental management 232: 1075–1085.
- LUA NRW (2000): Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland, Verfahrensvorschlag für mittelgroße bis große Fließgewässer zur Vorlage bei der LAWA AG O. – Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen.
- LUA NRW (2001): Gewässerstrukturgüte in Nordrhein-Westfalen: Anleitung für die Kartierung mittelgroßer bis großer Fließgewässer. – Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen.
- MA – Millennium Ecosystem Assessment (2005): Ecosystems and human well-being: Biodiversity Synthesis. – World Resources Institute, Washington D.C. (Island Press), <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>, Abruf am 30.11.2020.
- MAES, J., TELLER, A., ERHARD, M., MURPHY, P., PARACCHINI, M. L., BARREDO, J. I., GRIZZETTI, B., CARDOSO, A., CARDOSO, A., SOMMA, F., PETERSON, J.-E., MEINER, A., GELABERT, E.R., ZAL, N., KRISTENSEN, P., BASTRUP-BIRK, A., BIALA, K., ROMAO, C., PIRODDI, C., EGOH, B., FIORINA, C., SANTOS, F., NARUŠEVIČIUS, V., VERBOVEN, J., PEREIRA, H., BENGTSSON, J., KREMENA, G. et al. (2014): Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services - Indicators for ecosystem assessments under Action 5 of the EU Biodiversity Strategy to 2020, Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services, 81 S.
- MANGELSDORF, J. & SCHEURMANN, K. (1980): Flußmorphologie. Ein Leitfaden für Naturwissenschaftler und Ingenieure. – München, Wien (Oldenbourg), 262 S.
- MANNFELD, K. (1978): Zur Kennzeichnung von Gebietseinheiten nach ihren Potenzialeigenschaften. – Petermanns Geographische Mitteilungen 122: 17-27.
- MARKS, R., MÜLLER, M. J., LESER, H. & KLINK, H.-J. [Hrsg.] (1992): Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes (BA LVL). – Trier (Zentralausschuss für deutsche Landeskunde, Selbstverlag), 2. Aufl., Forschungen zur deutschen Landeskunde 229: 5-222.
- MATTMANN, M., LOGAR, I. & BROUWER, R. (2016): Hydropower externalities: A meta-analysis. – Energy Economics 57: 66-77.
- MEHL, D. (1998): Die Fließgewässertypen der jungglazialen Naturräume Mecklenburg-Vorpommerns. Ein landschafts- und gewässerökologischer Beitrag. – Dissertation, Universität Rostock, Agrar- und umweltwissenschaftliche Fakultät, 201 S.
- MEHL, D. (2006): Erreichtes und Probleme bei der Einfügung der Fließgewässer in das Verfahren der übergreifenden Naturraumerkundung. – Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung 45 (3/4): 91-116.
- MEHL, D. (2014): Bewirtschaftung des Krakower Sees im Konflikt mit der Nutzung und der Gewährleistung des Mindestdurchflusses der Nebel. – Tagungsband „Fachvorträge“, Dienstberatung Gewässerkundlicher Landesdienst Mecklenburg-Vorpommern 06.11.-07.11.2013 in Neustadt-Glewe, 67-89.
- MEHL, D. (2018): Vorwort. Fließgewässerrenaturierung in Deutschland. – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 62 (1): 4-5.

- MEHL, D. & THIELE, V. (1998): Fließgewässer- und Talraumtypen des Norddeutschen Tieflandes am Beispiel der Naturräume Mecklenburg-Vorpommerns. – Berlin (Parey Buchverlag im Blackwell Wissenschaftsverlag), 261 S.
- MEHL, D. & BITTL, R. (2005): Der Beitrag integrierter ländlicher Entwicklungskonzepte und der Flurneuordnung zur Umsetzung von FFH- und Wasserrahmenrichtlinie in Mecklenburg-Vorpommern. – zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement 130 (2): 63-69.
- MEHL, D. & THIELE, V. (2018): Renaturierung der Nebel bei Hoppenrade, in: SCHNEIDER, E., WERLING, M., STAMMEL, B., JANUSCHKE, K., LEDESMA-KRIST, G., SCHOLZ, M., HERING, D., GELHAUS, M., DISTER, E. & EGGER, G. [Hrsg.]: Biodiversität der Flussauen Deutschlands. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 163: 337-351.
- MEHL, D., HELLMUTH, O. & KÖNKER, H. (1995): Die Modellabschnitte an der Nebel in ihrer abiotischen Ausprägung, in: MEHL, D. & THIELE, V.: Ein Verfahren zur Bewertung nordostdeutscher Fließgewässer und deren Niederungen unter besonderer Berücksichtigung der Entomofauna. – Nachr. entomol. Ver. Apollo (Frankfurt/Main), Suppl. 15: 41-100.
- 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., BOLLMOHR, A., BITTL, R. & REIMANN, T. (2008): Regionalmanagement in drei kooperierenden Amtsbereichen – ein innovatives Pilotvorhaben integrierter ländlicher Entwicklung zur Umsetzung von GAKG und ELER-Verordnung in Mecklenburg-Vorpommern. – Raumforschung und Raumordnung 1/2008: 76-83.
- MEHL, D., HOFFMANN, T.G., WEILAND, M. & MÜHLNER, C. (2010): HYDREG – Ein Verfahren zur Natürlichkeitsbewertung des hydrologischen Regimes der Oberflächenwasserkörper gemäß EU-WRRL. 1. Hintergrund, Zielstellung und Grundlagen. – KW Korrespondenz Wasserwirtschaft 3 (6): 300-304.
- MEHL, D., BOLLMOHR, A., ZEDLER, S., REIMANN, T., BITTL, R. & WINKELMANN, D. (2011): Funktion und Bedeutung der Flurneuordnung bei der Integrierten ländlichen Entwicklung am Fallbeispiel eines Regionalmanagements nach GAK-Grundsätzen. – AVN – Allgemeine Vermessungsnachrichten 2/2011: 49-58.
- 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 (9): 493-499.
- MEHL, D., EBERTS, J., SCHOLZ, M. & KASPERIDUS, H. D. (Text); HOPF, T., OSSENKOPF, M. & PIEPER, B. (Redaktion) (2014a): Das Blaue Band. Naturschutz als Chance für die Wasserstraßenreform. – Broschüre. Naturschutzbund Deutschland (NABU) e. V., www.NABU.de, 48 S.
- MEHL, D., HOFFMANN, T. G. & MIEGEL, K. (2014b): Klassifizierung des Wasserhaushalts von Einzugsgebieten und Wasserkörpern – Verfahrensempfehlung. a) Handlungsanleitung. – Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser [Hrsg.], Ständiger Ausschuss „Oberirdische Gewässer und Küstengewässer (LAWA-AO), Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden, 72 S.
- MEHL, D., HOFFMANN, T. G. & MIEGEL, K. (2014c): Klassifizierung des Wasserhaushalts von Einzugsgebieten und Wasserkörpern – Verfahrensempfehlung. b) Hintergrunddokument. – Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser [Hrsg.], Ständiger Ausschuss „Oberirdische Gewässer und Küstengewässer (LAWA-AO), Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden, 161 S.
- MEHL, D., HOFFMANN, T. G., FRISKE, V., KOHLHAS, C., 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 (3): 96-108.
- MEHL, D., HOFFMANN, T. G., LINNENWEBER, C. & KOHLHAS, E. (2016): LAWA-Empfehlung zur Klassifizierung des Wasserhaushalts von Einzugsgebieten und Wasserkörpern als hydromorphologische Qualitätskomponentengruppe nach WRRL – Grundlagen und Praxisanwendung. – Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 37.16: 381-392.
- 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 (1): 6-24.
- MEHL, D., RENNER, M., GOTTELT-TRABANDT, C., BÖX, S., HOFFMANN, T. G. & IWANOWSKI, J. (2018b): 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. – KW Korrespondenz Wasserwirtschaft 11 (5): 257-264.
- MEHL, D., SCHENTSCHISCHIN, J., HOFFMANN, T. G., KRAUß, D., SCHIMMELMANN, M., WATZEK, F., BLODOW, F. & STEVE BUNZEL, S. (2020): Prospektives und strategisches Flächenmanagement zur Vorbereitung nachhaltiger Fließgewässerrenaturierung am Beispiel der Region Vorpommern. – Wasser und Abfall. – in Druck.
- MEROT, P., HUBERT-MOY, L., GASCUEL-ODOUX, C., CLEMENT, B., DURAND, P., BAUDRY, J. & THENAIL, C. (2006): Environmental Assessment. A method for improving the management of controversial wetland. – Environmental Management 37 (2): 258-270.
- MESSING, S. (2011): Planung und Bau der "Flutmulde Rees" am Niederrhein. – Wasserwirtschaft 101 (6): 33-38.
- MEYERHOFF, J. & DEHNHARDT, A. (2007): The European Water Framework Directive and economic valuation of wetlands: the restoration of floodplains along the River Elbe. – European Environment 17 (1): 18-36.
- MITSCH, W. J. & GOSSELINK, J. G. (2000): The Value of Wetlands: Landscapes and Institutional Perspectives. – Ecological Economics 35: 25-33.
- MUNLV (2005): Handbuch Querbauwerke. – Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen [Hrsg], 214 S.
- MORRISON, M. & BENNETT, J. (2004): Valuing New South Wales rivers for use in benefit transfer. – Australian Journal of Agricultural and Resource Economics 48 (4): 591-611.
- MÜHLENKAMP, H. (2011): Wirtschaftlichkeit und Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im öffentlichen Sektor. – Speyerer Arbeitsheft Nr. 204, Deutsche Hochschule für Verwaltungswissenschaften, Speyer, 98 S.
- MÜHLNER, C., HOFFMANN, T. G. & MEHL, D. (2011): HYDREG - Ein Verfahren zur Natürlichkeitsbewertung des hydrologischen Regimes der Oberflächenwasserkörper gemäß Europäischer Wasserrahmenrichtlinie in Sachsen-Anhalt. – Bundesanstalt für Gewässerkunde - BfG [Hrsg.], Schriftenreihe BfG-Veranstaltungen 1/2011: 42-63.
- MULEWF (2015): Rheinland-Pfälzischer Bewirtschaftungsplan 2016-2021. Zusammenfassung der Beiträge des Landes Rheinland-Pfalz zum aktualisierten Bewirtschaftungsplan und den Maßnahmenprogrammen für den internationalen Bewirtschaftungsplan Rhein 2016–2021. – Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz [Hrsg.], 238 S.
- MÜLLER, G., EHWALD, E., FÖRSTER, I. et al. (1989): Bodenkunde. – Berlin (VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag), 380 S.

- MÜLLER, L., SCHINDLER, U., BEHRENDT, A., EULENSTEIN, F. & DANNOWSKI, R. (2007): Das Müncheberger Soil Quality Rating (SQR): ein einfaches Verfahren zur Bewertung der Eignung von Böden als Farmland. – *Mitteil. Dtsch. Bodenkdl. Ges.*, 110/II: 515-516.
- NABU (2019): Erlebnisreiche Lebensader Lahn. Anregungen zum Lahnkonzept LiLa-LivingLahn 2025. – Naturschutzbund Deutschland (NABU), Landesverband Hessen [Hrsg.], 75 S.
- NEEF, E. (1966): Zur Frage des gebietswirtschaftlichen Potentials. – *Forschungen und Fortschritte* 40: 65-70.
- NEEF, E. (1967): Die theoretischen Grundlagen der Landschaftslehre. – Gotha, Leipzig (Hermann Haack, Geographisch-Kartographische Anstalt), 152 S.
- NEEF, E. (1976): Nebenwirkungen der gesellschaftlichen Tätigkeiten im Naturraum. – *Petermanns Geographische Mitteilungen* 120 (2): 141-144.
- NEUMEISTER, H. (1978): Zur Theorie und zu Aufgaben in der physisch-geographischen Prozessforschung. – *Petermanns Geographische Mitteilungen* 1/78: 1-11.
- NEUMEISTER, H. (1979): Zur Messung der „Leistung“ des Geosystems – Forschungsansätze in der physisch-geographischen Prozessforschung. – *Petermanns Geographische Mitteilungen* 123: 101-107.
- NIEMANN, E. (1977): Eine Methode zur Erarbeitung der Funktionsleistungsgrade von Landschaftselementen. – *Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung* 17: 119-158.
- OECD (2018): *Cost-Benefit Analysis and the Environment. Further Developments and Policy Use.* - The Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD).
- OELMANN, M., CZICHY, C., SCHEELE, U., ZAUN, S., DÖRDELMANN, O., HARMS, E. et al. (2017): Quantifizierung der landwirtschaftlich verursachten Kosten zur Sicherung der Trinkwasserbereitstellung. – Umweltbundesamt (UBA), Dessau-Roßlau.
- OGewV: Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung – OGewV) vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373).
- ONIGKEIT, J. (2006): Ein Modell für Stickstoff- und Kohlenstoffumsätze im Boden von Agrarökosystemen unter besonderer Berücksichtigung der Variabilität der mikrobiellen Aktivität. – Dissertation, Fakultät für Physik und Geowissenschaften der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, 179 S.
- PB Koenzen (2019a): Anleitung für die Erfassung und Bewertung des Auenzustandes an Flüssen. Band 1. Grundlagen und Vorgehensweise. Entwurf. – Planungsbüro Koenzen im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz, 117 S.
- PB Koenzen (2019b): Anleitung für die Erfassung und Bewertung des Auenzustandes an Flüssen. Band 2. Benutzerhandbuch zur Software-Anwendung AuenZEB 1.0. Entwurf. – Planungsbüro Koenzen im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz, 104 S.
- PEARCE, D., ATKINSON, G. & MOURATO, S. (2006): *Cost-benefit analysis and the environment: recent developments.* – The Organisation for Economic Co-operation and development (OECD).
- PLAAS, E., MEYER-WOLFARTH, F., BANSE, M., BENGTSSON, J., BERGMANN, H., FABER, J., POTTHOFF, M., RUNGE, T., SCHRADER, S. & TAYLOR, A. (2019): Towards valuation of biodiversity in agricultural soils: A case for earthworms. – *Ecological Economics* 159: 291-300.
- PODSCHUN, S. A., ALBERT, C., COSTEA, G., DAMM, C., DEHNHARDT, A., FISCHER, C., FISCHER, H. FOECKLER, F., GELHAUS, M., GERSTNER, L., HARTJE, V., HOFFMANN, T. G., HORNING, L., IWANOWSKI, J., KASPERIDUS, H., LINNEMANN, K., MEHL, D., RAYANOV, M., RITZ, S., RUMM, A., SANDER, A., SCHMIDT, M., SCHOLZ, M., SCHULZ-ZUNKEL, C., STAMMEL, B., THIELE, J., VENOHR, M., VON HAAREN, C., WILDNER, M., PUSCH, M. (2018a). *RESI - Anwendungshandbuch: Ökosystemleistungen von Flüssen und Auen erfassen und*

- bewerten. – IGB-Schriftenreihe Heft 31/2018, 187 S., online verfügbar unter www.resi-project.info/handbuch.
- PODSCHUN, S. A., THIELE, J., DEHNHARDT, A., MEHL, D., HOFFMANN, T. G., ALBERT, C., VON HAAREN, C., DEUTSCHMANN, K., COSTEA, G. & PUSCH, M. (2018b): Das Konzept der Ökosystemleistungen - eine Chance für integratives Gewässermanagement. – *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 62 (6): 453-468.
- POSTHUMUS, H., ROUQUETTE, J. R., MORRIS, J., GOWING, D. J. G. & HESS, T. M. (2010): A framework for the assessment of ecosystem goods and services; a case study on lowland floodplains in England. – *Ecological Economics* 69: 1510-1523.
- PREIßLER, G. & BOLLRICH, G. (1985): Technische Hydromechanik. – Berlin (Verlag für Bauwesen), 549 S.
- ProAqua & PB Koenzen (2018): Erstellung eines Konzeptes zur Stauraumstrukturierung an der hessischen Lahn, LIFE14IPE/DE/022_A.7. – ProAqua Ingenieurgesellschaft für Wasser- und Umwelttechnik & Planungsbüro Koenzen im Auftrag des Regierungspräsidiums Gießen.
- Projekt M (2015): Studie „Wirtschaftliche Effekte im Wassertourismus“ Bootstourismus in Berlin und Brandenburg. Verfügbar unter: https://www.tourismusnetzwerk-brandenburg.de/fileadmin/user_upload/Bilder_Dokumente/TMB_Marketing/MaFo/MaFo_2020/2015_Wirtschaftliche-Effekte-Wassertourismus_BB.pdf
- QUICK, I. (2004): Geomorphologisches Leitbild des Niederrheins. Methodik zur Leitbildentwicklung für Ströme in Hinblick auf die Gewässerstrukturgütekartierung. – Bergisch Gladbach (E. Ferger Verlag), 225 S.
- QUICK, I., KÖNIG, F., BAULIG, Y., BORGSMÜLLER, C. & SCHRIEVER, S. (2017): Das hydromorphologische Erfassungs- und Bewertungsverfahren Valmorph 2 für schiffbare Oberflächengewässer. – Koblenz (Bundesanstalt für Gewässerkunde), BfG-Bericht Nr. 1910, 132. S.
- RAYANOV, M., DEHNHARDT, A., GLOCKMANN, M., HARTJE, V., HIRSCHFELD, J., LINDOW, M., SAGEBIEL, J., THIELE, J. & WELLING, M. (2018): Der ökonomische Wert von Flusslandschaften für Naherholung – eine Zahlungsbereitschaftsstudie in vier Regionen Deutschlands. – *Hydrologie & Wasserbewirtschaftung* 62 (6): 410-422.
- RICHTER, D. (1995): Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Messfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. – *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* 194, 93 S.
- ROACH, K. A., THORP, J. H. & DELONG, M. D. (2009): Influence of lateral gradients of hydrologic connectivity on trophic positions of fishes in the Upper Mississippi River. – *Freshwater Biology* 54: 607-620.
- ROTH, M. & BRUNS, E. (2016): Landschaftsbildbewertung in Deutschland – Stand von Wissenschaft und Praxis – Ergebnisse eines Sachverständigengutachtens im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz. – BfN-Skripten 439, 112 S.
- SCHNEIDER, E., SCHOLZ, M., DISTER, E., MEHL, D., KURTH, A. & HAMER, H. (2018): Biodiversität in Auen, in: SCHNEIDER, E., WERLING, M., STAMMEL, B., JANUSCHKE, K., LEDESMA-KRIST, G., SCHOLZ, M., HERING, D., GELHAUS, M., DISTER, E. & EGGER, G. [Hrsg.]: Biodiversität der Flussauen Deutschlands. – *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 163: 41-78.
- SCHOLZ, M., MEHL, D., SCHULZ-ZUNKEL, C., KASPERIDUS, H. D., BORN, W & HENLE, K. [Hrsg.] (2012): Ökosystemfunktionen in Flussauen. Analyse und Bewertung von Hochwasserretention, Nährstoffrückhalt, Treibhausgas-Senken-/Quellenfunktion und Habitatfunktion. – *Schriftenr. Naturschutz und biologische Vielfalt* 124, 257 S.
- SCHÖNBORN, W. (1992): Fließgewässerbiologie. – Jena, Stuttgart (Gustav Fischer Verlag), 504 S.

- 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 (6), 514-523.
- SCHWOERBEL, J. (1964). Die Bedeutung des Hyporheals für die benthische Lebensgemeinschaft der Fließgewässer. – *Verh. Internat. Verein. Limnol.* XV: 215-226.
- SCHWOERBEL, J. (1967): Das hyporheische Interstitial als Grenzbiotop zwischen oberirdischem und subterranem Ökosystem und seine Bedeutung für die Primär-Evolution von Kleinsthöhlenbewohnern. – *Archiv für Hydrobiologie (Suppl.)* 33: 1-62.
- SGD Nord (2015): Maßnahmenprogramm 2016-2021 nach der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) für die rheinland-pfälzischen Gewässer im Bearbeitungsgebiet Mittelrhein. - Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord, 46-57 S.
- SOMMERHÄUSER, M. & SCHUHMACHER, H. [Hrsg.] unter Mitarbeit von AHN, B., ANTUNES, I., FOLTYN, S., HENKEL, N., KINKLER, H., KLAUSMEIER, P., KOCH, P., LUDESCHER, F.-B., MEHL, D., POTTGIEßER, T., RAU, H., ROLAUFFS, P., TACKMANN, S. & THIELE, V. (2003): Handbuch der Fließgewässer Norddeutschlands. Typologie – Bewertung – Management. Atlas für die limnologische Praxis, ecomed Verlagsgesellschaft (Landsberg), 278 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 (4): 327-340.
- SOUSA, S., BOTELHO, A., PINTO, L. & VALENTE, M. (2019): How Relevant Are Non-Use Values and Perceptions in Economic Valuations? The Case of Hydropower Plants. – *Energies* 12 (15): 2986.
- STEENKEN, S., KLEINSCHMIDT, M. & REMY, D. (2021): Erprobungs- und Entwicklungsvorhaben zur Auenrenaturierung – Erfolgskontrollen 20 Jahre später. – *BfN-Skripten* 588, 442 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 (4): 327-340.
- SYMMANK, L., NATHO, S., SCHOLZ, M., SCHRÖDER, U., RAUPACH, K. & SCHULZ-ZUNKEL, C. (2020a): The impact of bioengineering techniques for riverbank protection on ecosystem services of riparian zones. – *Ecological Engineering* 158: 106040.
- SYMMANK, L., PROFETA, A. & NIENS, C. (2020b): Valuation of river restoration measures – Do residential preferences depend on leisure behaviour? – *European Planning Studies*, S. 1-21.
- SRU (1987): Umweltgutachten 1987. – Rat von Sachverständigen für Umweltfragen, Stuttgart, Mainz (Verlag W. Kohlhammer), 674 S.
- STAUB, C., OTT, W., HEUSI, F., KLINGLER, G., JENNY, A. & HÄCKI, M. (2011): Indikatoren für Ökosystemleistungen: Systematik, Methodik und Umsetzungsempfehlungen für eine wohlfahrtsbezogene Umweltberichterstattung. – Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Wissen Nr. 1102, 106 S.
- TEEB DE (2012): Naturkapital Deutschland. Der Wert der Natur für Wirtschaft und Gesellschaft – Eine Einführung. ifuplan, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Bundesamt für Naturschutz, München, Leipzig, Bonn.
- TEEB DE (2015): Naturkapital Deutschland. Naturkapital und Klimapolitik – Synergien und Konflikte. Hrsg. von V. Hartje, H. Wüstemann und A. Bonn. Technische Universität Berlin, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Berlin, Leipzig.
- TEEB DE (2016a): Naturkapital Deutschland. Ökosystemleistungen in der Stadt – Gesundheit schützen und Lebensqualität erhöhen. Hrsg. von I. Kowarik, R. Bartz und M. Brenck. Technische Universität Berlin, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Berlin, Leipzig.

- TEEB DE (2016b): Naturkapital Deutschland. Ökosystemleistungen in ländlichen Räumen – Grundlage für menschliches Wohlergehen und nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung. Hrsg. von C. von Haaren und C. Albert. Leibniz Universität Hannover, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Hannover, Leipzig.
- THIELE, J., ALBERT, C., HERMES, J., VON HAAREN, C. (2020): Assessing and quantifying offered cultural ecosystem services of German river landscapes. – *Ecosystem Services*, DOI: 10.1016/j.ecoser.2020.101080.
- THIELE, V. & LÜDECKE, K. (2006). Die ökologische Sanierung der Nebel bei Hoppenrade beginnt. – *angeln in Mecklenburg-Vorpommern* 1/2006: 20-21.
- THIELE, V. (2008): Ökologische Effektivität von hydromorphologischen Verbesserungen an Fließgewässern am Beispiel der Nebel bei Hoppenrade. – Expertenworkshop 14./15.02.2008 im Umweltbundesamt Berlin, Materialien des UBA: 31-33.
- THIELE, V., GRÄWE, D., BERLIN, A., DEGEN, B., MEHL, D. & BLUMRICH, B. (2009): Bilder eines Flusses – Blaues Band „Nebel“. Ein Natur- und Wanderführer. – Bützow (Eigenverlag), 99 S.
- THIELE, V., DEGEN, B., KASPER, D., HOLL, S., ENGLISH, T. & WEINZIERL, I. (2011): Fließgewässerstrukturgütekartierung in Mecklenburg-Vorpommern. Handbuch zur Erfassung der Fließgewässerstrukturen und der Querbauwerke. – Materialien zur Umwelt 2/2011, Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern [Hrsg.], 109 S.
- THIELE, V., LÜDECKE, K. & KOCH, R. (2014): Ökologische Sanierung eines naturschutzfachlich hochsensiblen, niedermoorgeprägten Tieflandflusses. – *Wasser und Abfall* 16 (10): 36-43.
- THIELE, V., DEGEN, B., BERLIN, A., BLUMRICH, B., MELIß, C. (2015): Erfolge der ökologischen Sanierung eines kleinen Fließgewässers im mittleren Mecklenburg. – *Wasser und Abfall* 12: 50-56.
- THIELE, V., BERLIN, A., KEMPKE, D., LÜDECKE, K. & EISENBARTH, S. (2020): Auswirkungen von ökologischen Flusssanierungen auf die Insektenwelt. – *Naturschutz und Landschaftsplanung* 52 (3): 122-129.
- TINCH, R., BEAUMONT, N., SUNDERLAND, T., OZDEMIROGLU, E., BARTON, D., BOWE, C. et al. (2019): Economic valuation of ecosystem goods and services: a review for decision makers. In: *Journal of Environmental Economics and Policy* 92 (2): 1-20.
- TOCKNER, K., PENNETZDORFER, D., REINER, N., SCHIEMER, F. & WARD, J. V. (1999): Hydrological connectivity, and the exchange of organic matter and nutrients in a dynamic river-floodplain system (Danube, Austria). – *Freshwater Biology* 41 (3): 521-535.
- TREPEL, M. (2008): Nährstoffrückhaltung und Gewässerrenaturierung. – Tagungsband, Fachtagung Nährstoffrückhaltung in Fließgewässern und Feuchtgebieten möglich? – NNA – Alfred-Töpfer-Akademie für Naturschutz Schneverdingen vom 06. bis 09. April 2008, 6 S.
- TURNER, K., GEORGIU, S. & FISHER, B. (2008): Valuing Ecosystem Services: The Case of Multi-functional Wetlands. – London (Earthscan), 229 S.
- UBA (2014): Hydromorphologische Steckbriefe der deutschen Fließgewässertypen. Anhang 1 von „Strategien zur Optimierung von Fließgewässer-Renaturierungsmaßnahmen und ihrer Erfolgskontrolle“. – Umweltbundesamt [Hrsg.], UBA-Texte 43/2014, 288 S.
- UBA (2018): Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten. – Methodische Grundlagen. Umweltbundesamt, Dessau.
- UBA (2019): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2019. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2016. – Umweltbundesamt– UNFCCC-Submission [Hrsg.], *Climate Change* 23/2019, 947 S.

- UHLMANN, D. (1988): Hydrobiologie. Ein Grundriss für Ingenieure und Naturwissenschaftler. – Jena (Gustav Fischer Verlag), 3., überarb. Aufl., 298 S.
- UVPG: Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung in der Fassung der Bekanntmachung vom 24. Februar 2010 (BGBl. I S. 94), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513).
- VAN DER LEE, G. E. M., OLDE VENTERINK, H. O. & ASSELMAN, N. E. M. (2004): Nutrient retention in floodplains of the Rhine distributaries in The Netherlands. – *River Research and Applications* 20 (3): 315-325.
- VENOHR, M. (2006): Modellierung der Einflüsse von Temperatur, Abfluss und Hydromorphologie auf die Stickstoffretention in Flusssystemen. – *Berliner Beiträge zur Ökologie* 4: 1-193.
- VERMA, M., BAKSHI, N. & NAIR, R. P. K. (2001): Economic valuation of Bhoj Wetland for sustainable use. – unpublished project report for World Bank assistance to Government of India, Environmental Management Capacity-Building, Bhopal: Indian Institute of Forest Management 35.
- VERMAAT, J. E., WAGTENDONK, A. J., BROUWER, R., SHEREMET, O., ANSINK, E., BROCKHOFF, T. et al. (2016): Assessing the societal benefits of river restoration using the ecosystem services approach. – *Hydrobiologia* 769 (1): 121–135.
- VON HAAREN, C. [Hrsg.] (2004): Landschaftsplanung. – Stuttgart (Eugen Ulmer Verlag), UTB, 528 S.
- 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 (8): 1335-1346.
- WALDMAN, J., SHARMA, S., AFSHARI, S. & FEKETE, B. (2019): Solar-power replacement as a solution for hydropower foregone in US dam removals. – *Nature Sustainability* 2 (9): 1-7. DOI: 10.1038/s41893-019-0362-7.
- WARD, J. V. (1989): The four-dimensional nature of lotic ecosystems. – *Journal of the North American Benthological Society* 8: 2-8.
- WaStrG: Bundeswasserstraßengesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Mai 2007 (BGBl. I S. 962; 2008 I S.1980), zuletzt geändert durch Artikel 4 des Gesetzes vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2237).
- WENDLING, U., SCHELLIN, H.-G. & THOMÄ, M. (1991): Bereitstellung von täglichen Informationen zum Wasserhaushalt des Bodens für Zwecke der agrarmeteorologischen Beratung. – *Zeitschrift für Meteorologie* 34: 82-85.
- WFD CIS Guidance No 12 (2003): Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance document No 12. Horizontal Guidance on the Role of Wetlands in the Water Framework Directive. – European Communities, 61 S.
- WHG: Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG) vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 4. Dezember 2018 (BGBl. I S. 2254) geändert worden ist.
- 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.
- WRRL (Europäische Wasserrahmenrichtlinie): 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 EG Nr. L 327/1 vom 22.12.2000.

- WSA Koblenz (2018a): Abschätzung von Wirkungszusammenhängen und Möglichkeiten einer Staulegung an der Lahn. Diskussionspapier. Teil 1: Auswirkungen auf bestehende Nutzungen. – Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Koblenz, 51 S. + Anlagen.
- WSA Koblenz (2018b): Lahn-GIS. Umfangreiche Zusammenstellung und Normierung von Geodaten für das Einzugsgebiet und den Fluss Lahn in einem geographischen Informationssystem. – Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Koblenz.
- WSA Koblenz (2019a): Lahnkonzept. Statusanalyse. Hauptbericht. – Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Koblenz, 43 S.
- WSA Koblenz (2019b): Lahnkonzept. Statusanalyse. Teilbericht „Bauwerke und Strecke“. – Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Koblenz, 43 S.
- WSA Koblenz (2019c): Lahnkonzept. Statusanalyse. Teilbericht „Historie und Denkmalschutz“. – Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Koblenz, 15 S.
- WSA Koblenz (2019d): Lahnkonzept. Statusanalyse. Teilbericht „Ökologie und Naturschutz“. – Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Koblenz, 9-68 S.
- WSA Koblenz (2019e): Lahnkonzept. Statusanalyse. Teilbericht „Wasserbezogene Naherholung und Wassertourismus“. – Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Koblenz, 97 S.
- WSA Koblenz (2019f): Lahnkonzept. Statusanalyse. Teilbericht „Wasserwirtschaft“. – Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Koblenz, 77 S.
- WÜSTEMANN, H. (2011): Ökonomische Bewertung der Gewässerschutzwirkung von Naturschutzmaßnahmen. – Working Paper on Management in Environmental Planning 030/2011, Technische Universität Berlin.
- WÜSTEMANN, H., HARTJE, V., BONN, A. HANSJÜRGENS, B., BERTRAM, C., DEHNHARDT, A., DÖRING, R., DOYLE, U., ELSASSER, P., MEHL, D., OSTERBURG, B., REHDANZ, K., RING, I., SCHOLZ, M. & VOHLAND, K. (2014): Naturkapital Deutschland – TEEB DE. Naturkapital und Klimapolitik – Synergien und Konflikte. Kurzbbericht für Entscheidungsträger. – Technische Universität Berlin, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Leipzig, 77 S., <http://www.naturkapitalteeb.de>.
- ZAJICEK, P. & WOLTER, C. (2019): The effects of recreational and commercial navigation on fish assemblages in large rivers. – Science of The Total Environment 646: 1304-1314.
- ZAJICEK, P. & WOLTER, C. (2020): Ökologische Konsequenzen der Freizeit-Schifffahrt für Fische. – KW Korrespondenz Wasserwirtschaft 13 (2): 96-100.