

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

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

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

Redaktion:

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

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



Förderhinweis:

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

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



UFZ-BERICHT 2|2020

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ

ISSN 0948-9452

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

Inhaltsverzeichnis

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

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

Ergebnisse der ÖSL-Quantifizierung und -bewertung für geplante Hochwasserschutzmaßnahmen an der Donau von der Iller- bis zur Lechmündung

GELHAUS, M., PODSCHUN, S. A., ALBERT, C., BECKER, A., CHAKHVASHVILI, E., FISCHER-BEDTKE, C., FISCHER, H., DAMM, C., GERSTNER, L., HOFFMANN, T. G., IWANOWSKI, J., KASPERIDUS, H. D., LINNEMANN, K., MEHL, D., PUSCH, M., RAYANOV, M., RITZ, S., RUMM, A., SANDER, A., SCHOLZ, M., SCHULZ-ZUNKEL, C., THIELE, J., VENOHR, M., VON HAAREN, C., WILDNER, M. & B. STAMMEL

Inhaltsverzeichnis

1	Modellregion Donau von der Iller- bis zur Lechmündung	327
1.1	Bezugszustand	327
1.2	Planungszustände.....	327
1.2.1	Annahmen für die ungesteuerten Rückhalteräume:	328
1.2.2	Annahmen für die gesteuerten Rückhalteräume:	329
2	Der RESI und die betrachteten Ökosystemleistungen (ÖSL)	329
3	Ergebnisse	330
3.1	ÖSL landwirtschaftliches Ertragspotenzial.....	330
3.1.1	Bezugszustand.....	330
3.1.2	Planungszustand 1.....	332
3.1.3	Planungszustand 2.....	332
3.1.4	Vergleich der Planungszustände und Fazit für die ÖSL landwirtschaftliches Ertragspotenzial	334
3.2	ÖSL Nährstoffretention	334
3.2.1	Bezugszustand.....	334
3.2.2	Planungszustand 1.....	336
3.2.3	Planungszustand 2.....	338
3.2.4	Vergleich der Planungszustände und Fazit für die ÖSL Nährstoffretention	338
3.3	ÖSL Hochwasserregulation	339
3.3.1	Bezugszustand.....	339
3.3.2	Planungszustand 1.....	340
3.3.3	Planungszustand 2.....	340
3.3.4	Vergleich der Planungszustände und Fazit für die ÖSL Hochwasserregulation...	341
3.4	ÖSL Niedrigwasserregulation.....	341
3.4.1	Bezugszustand.....	341
3.4.2	Planungszustand 1 und 2.....	342
3.4.3	Vergleich der Planungszustände und Fazit für die ÖSL Niedrigwasserregulation	342

3.5	ÖSL Sedimentregulation	342
3.5.1	Bezugszustand.....	342
3.5.2	Planungszustand 1 und 2.....	343
3.5.3	Vergleich der Planungszustände und Fazit für die ÖSL Sedimentregulation	343
3.6	ÖSL Bodenbildung.....	343
3.6.1	Bezugszustand.....	343
3.6.2	Planungszustand 1.....	344
3.6.3	Planungszustand 2.....	345
3.6.4	Vergleich der Planungszustände und Fazit für die ÖSL Bodenbildung	346
3.7	ÖSL Kühlwirkung.....	346
3.7.1	Bezugszustand.....	346
3.7.2	Planungszustand 1 und 2.....	347
3.7.3	Vergleich der Planungszustände und Fazit für die ÖSL Kühlwirkung	347
3.8	ÖSL Habitatbereitstellung.....	347
3.8.1	Bezugszustand.....	347
3.8.2	Planungszustand 1.....	348
3.8.3	Planungszustand 2.....	350
3.8.4	Vergleich der Planungszustände und Fazit für die ÖSL Habitatbereitstellung	351
3.9	Kulturelle Ökosystemleistungen	353
3.9.1	Bezugszustand.....	353
3.9.2	Planungszustand 1.....	356
3.9.3	Planungszustand 2.....	357
3.9.4	Vergleich und Fazit für die kulturellen Ökosystemleistungen.....	358
4	Synthese der Bewertungen und Veränderungen der Ökosystemleistungen im Planungsraum.....	358
5	Literaturverzeichnis.....	363

1 Modellregion Donau von der Iller- bis zur Lechmündung

Die Modellregion „Donau von Iller- bis zur Lechmündung“ war die erste Modellregion, anhand derer der River Ecosystem Service Index (RESI) getestet wurde. Die Region eignete sich besonders gut, da sich hier zum Zeitpunkt des RESI-Projektes großflächige Hochwasserschutzprojekte in Planung befanden. Das RESI-Konsortium konnte die Planungen begleiten und den damaligen Stand der Flächenabgrenzung für die Hochwasserrückhalteräume zur Quantifizierung und Berechnung der einzelnen ÖSL nutzen (Mehl et al. 2020, Ritz et al. 2020, Dehnhardt et al. 2020, Fischer-Bedtke et al. 2020 und Thiele et al. 2020 in diesem Bericht und Referenzen darin) sowie erstmals 13 von 27 ÖSL gemeinsam auswerten und analysieren. Dabei wurde das RESI-Konsortium vom Wasserwirtschaftsamt Donauwörth (WWA DON), dem Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) und der Höheren Naturschutzbehörde der Regierung von Schwaben unterstützt und die Ergebnisse von diesen auf Plausibilität überprüft.

1.1 Bezugszustand

Die Modellregion erstreckt sich von Neu-Ulm bis Donauwörth (ca. 80 km Fließstrecke). Innerhalb des Gebietes befinden sich neun Staustufen, die beidseitig mit einem Stauhaltungsdamm von ca. 2,5 bis 5 km Länge versehen sind. Zwischen der Staustufe Faimingen und der Stadt Donauwörth befindet sich südseitig ein großflächiges natürliches Überschwemmungsgebiet, der sogenannte Riedstrom. Ab ca. 700 m³/s Donauabfluss (ca. 2-jährliches Hochwasser (HQ₂)) wird die Stauhöhe an der Staustufe Faimingen und zwei weiteren Staustufen erhöht, so dass oberhalb der Staustufen Donauwasser über feste Auslaufschwelle in den Riedstrom austritt und flussabwärts bei Donauwörth über die Zusam und die Schmutter wieder in die Donau zurückfließt. Die vom Riedstrom überflutete Fläche ist aufgrund des flachen Reliefs sehr großflächig. Die genauen räumlichen Grenzen der Überflutungsfläche sind nicht in einem shapefile quantifiziert und mussten deshalb mit Annahmen untersetzt werden. Der Riedstrom wurde daher auf der Grundlage der Hochwassergefahrenkarte HQ_{häufig} (LfU 2016), das entspricht an der Donau einer Hochwasserwahrscheinlichkeit von 5 bis 20 Jahren, im Norden und Süden abgegrenzt. Die westliche Grenze wurde anhand der Überlaufschwelle im Damm festgelegt. Im Osten ist die Fläche durch den Zufluss in Schmutter und Zusam begrenzt.

1.2 Planungszustände

Zwischen Neu-Ulm und Donauwörth waren im Rahmen des Hochwasserschutz-Aktionsprogramms des WWA DON zum Zeitpunkt der Bearbeitung der Modellregion drei gesteuerte Rückhalteflächen sowie sechs ungesteuerte Rückhalteräume in Konzeption, die allerdings durch festgelegte Einstromschwelle gekennzeichnet und vom Wasserstand der Donau abhängig sind (Abb. 1). Das WWA DON setzte zur effektiven Umsetzung des Hochwasserschutzes dabei auf eine Kombination von gesteuerten und ungesteuerten Rückhalteräumen. Daher werden diese auch im Weiteren zusammen betrachtet und berechnet. Zum Zeitpunkt der Bearbeitung lag ein erster Entwurf der flächenscharfen Abgrenzungen für die gesteuerten Rückhalteflächen vor (s. Kap. 1.2.2). Für die ungesteuerten Rückhalteräume bzw. die Unterlassung von Deichneubauten oder der Deichunterhaltung lagen diese Grenzen noch nicht vor und wurden daher vom Aueninstitut Neuburg in Absprache mit dem WWA DON abgegrenzt. Für vier der sechs ungesteuerten Rückhalteräume sowie für zwei der drei gesteuerten Rückhalteräume gibt es dabei zwei Planungszustände mit Unterschieden in der Flächengröße der Landnutzungsausstattung der gefluteten Fläche und der Häufigkeit der Flutung (Tab. 1). Durch die Deichrückverlegungen wird es zu Deichwegeverlagerungen kommen, weshalb als vereinfachter Ansatz auf der Landseite des Deiches jeweils ein neuer Weg (ca. 4 m Breite) angenommen wurde (Deichbreite ca. 40 m).

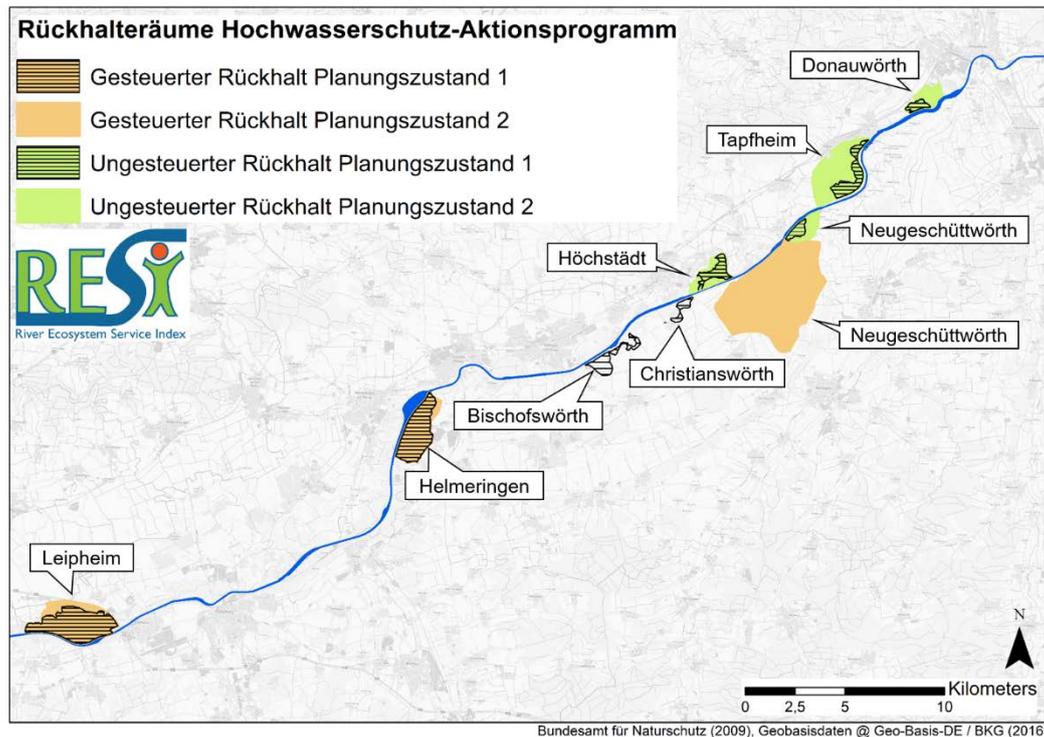


Abb. 1: Lage und Größe der angenommenen Rückhalteflächen in der Modellregion „Donau von Iller- bis Lechmündung“.

Wesentliche Unterschiede zwischen den beiden Planungszuständen sind die Art der Landnutzung sowie die Flutungshäufigkeit. Während in Planungszustand 1 (PZ 1) keine landwirtschaftlichen Flächen in den Rückhalteräumen liegen, diese aber mehrmals im Jahr ökologisch geflutet werden, sind im Planungszustand 2 (PZ 2) auch landwirtschaftlich genutzte Flächen im Hochwasserfall betroffen. Allerdings werden hier keine ökologischen Flutungen durchgeführt.

Tab. 1: Übersicht über die Flächenverteilung der gesteuerten und ungesteuerten Rückhalteräume in Planungszustand (PZ) 1 und 2.

	Gesteuerte Rückhalte	Ungesteuerte Rückhalte
	PZ 1: Leipheim, Helmeringen	PZ 1: Bischofswörth, Christianswörth, Neugeschüttwörth, Höchstädt, Tapfheim, Donauwörth
	PZ 2: Leipheim, Helmeringen, Neugeschüttwörth	PZ 2: Neugeschüttwörth, Höchstädt, Tapfheim, Donauwörth
Planungszustand 1	874,1 ha	496,9 ha
Planungszustand 2	2831,0 ha	1031,7 ha

1.2.1 Annahmen für die ungesteuerten Rückhalteräume:

- Planungszustand 1:

Ökologische Flutungen bis zu dreimal im Jahr (ab $HQ_{0,3}$) sind vorgesehen, allerdings auf kleinerer Fläche. Geflutet werden (überwiegend) Wald- und Wasserflächen, keine landwirtschaftlichen Flächen. Auf den nicht ökologisch gefluteten Flächen bleibt die derzeitige Überflutungswahrscheinlichkeit von HQ_{100} bestehen. Eine neue (i.d.R. längere) Deichlinie zum Schutz der angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen ist nötig. Die Maßnahmen betreffen alle ungesteuerten Rückhalte-

räume (Bischofswörth, Christianswörth, Neugeschüttwörth, Höchstädt, Tapfheim und Donauwörth).

- Planungszustand 2:

Seltene Flutungen (ab HQ_{50}) sind auf größerer Fläche vorgesehen. Geflutet werden Wald-, Wasser- und landwirtschaftliche Flächen, aber es werden keine ökologischen Flutungen durchgeführt. Eine neue Deichlinie wird zum Schutz der angrenzenden Bebauungen errichtet. Die Überflutungshäufigkeit steigt im Vergleich zum Bezugszustand lediglich von einer 100-jährlichen Überflutungswahrscheinlichkeit (HQ_{100}) auf eine 50-jährliche (HQ_{50}). Diese Maßnahmen sind für die ungesteuerten Rückhalteräume Neugeschüttwörth, Höchstädt, Tapfheim und Donauwörth vorgesehen. Ausgenommen sind die Rückhalteräume Christianswörth und Bischofswörth, da diese im Riedstrom liegen und derzeit bereits bei einer Überflutungswahrscheinlichkeit von ca. HQ_2 geflutet werden.

1.2.2 Annahmen für die gesteuerten Rückhalteräume:

Gesteuerte Rückhalteräume werden bei HQ_{extrem} über Einlasswehre geflutet, um die Scheitelspitze des Hochwassers zu kappen. Das ausgeleitete Wasser wird nach dem Abfließen der Welle möglichst schnell in die Donau zurückgeleitet. Die gesteuerten Rückhalteräume Helmeringen und Neugeschüttwörth liegen bereits im Riedstrom, d.h. sie werden derzeit ab HQ_2 geflutet.

- Planungszustand 1:

Die Rückhalteräume im PZ 1 sind kleiner als die im PZ 2. Dafür finden in den Rückhalteräumen Helmeringen und Leipheim zusätzlich großflächige ökologische Flutungen der Waldflächen mehrmals im Jahr ($HQ_{0,3}$) statt. In Neugeschüttwörth ist dies nicht möglich, da hier nur landwirtschaftliche Flächen vorhanden sind, die nicht häufiger geflutet werden sollen als bisher (HQ_{100}).

- Planungszustand 2:

Der Hochwasserrückhalt ist auf größerer Fläche vorgesehen. Flutung finden nur bei HQ_{extrem} (keine ökologischen Flutungen) statt. Dies betrifft alle gesteuerten Rückhalteräume (Leipheim, Helmeringen und Neugeschüttwörth). Die Flutung durch den Riedstrom (HQ_2) bleibt bei Helmeringen und Neugeschüttwörth bestehen.

2 Der RESI und die betrachteten Ökosystemleistungen (ÖSL)

Die methodischen Grundlagen der ÖSL-Erfassung in RESI werden bei Podschun et al. 2020 (in diesem Bericht und Referenzen darin) näher erläutert. Als einheitlicher Bewertungsraum wurden für den RESI Fluss-Auen-Segmente mit einer Länge von je 1 km gewählt. Die Segmente untergliedern sich in Querrichtung in die Kompartimente Fließgewässer, Altaue und rezente Aue (Brunotte et al. 2009). Die berechneten ÖSL wurden in der fünfstufigen Bewertungsskala von 1 (sehr gering bis fehlend) bis 5 (sehr hoch) abgebildet (s. Podschun et al. 2020 in diesem Bericht).

Für die Modellregion Donau wurden insgesamt 13 verschiedene ÖSL betrachtet, die zu den drei Hauptgruppen der versorgenden, regulativen und kulturellen ÖSL zusammengefasst werden können. Der Bezugszustand der Modellregion liegt für die versorgende ÖSL landwirtschaftliches Ertragspotential, für die regulativen ÖSL Stickstoffretention, Phosphorretention, Hochwasserregulation, Niedrigwasserregulation, Sedimentregulation, Bodenbildung, Kühlwirkung, Habitatbereitstellung und für die kulturellen ÖSL Landschaftsbild, Natur- und Kulturerbe, unspezifische Interaktion und wasserbezogene Aktivitäten vor. Soweit möglich wurden die Veränderungen für die Planungszustände des Szenarios für die ÖSL quantitativ berechnet. Falls die Datengrundlage für die Berechnung von ÖSL nicht ausreichend war, wurde ein qualitativer Ansatz gewählt, d.h. eine

schriftliche Ausführung zu den zu erwartenden Änderungen der ÖSL-Bereitstellung.

Für die versorgende ÖSL, für alle kulturellen ÖSL, die regulativen ÖSL Habitatbereitstellung, Stickstoffretention und Phosphorretention liegen die ÖSL für die detaillierte Kompartiment-Ebene vor. Für die regulativen ÖSL Bodenbildung, Sedimentregulation, Niedrigwasserregulation, Hochwasserregulation und Kühlwirkung erfolgte die ÖSL Bewertung, aufgrund der großflächigeren Funktionszusammenhänge und Eingangsdaten, auf der Ebene der Fluss-Auen-Segmente. Für die Synthese zum Gesamt-RESI wurden über flächengewichtete Mittelwerte alle ÖSL auf Segmentebene zusammengeführt, die eine integrierende Darstellung ermöglicht. Für alle Segmente wurden Polargrafiken der ÖSL (s. Kapitel 4) erstellt, die die Werte aller 13 ÖSL darstellen. Anhand der Zusammensetzung der ÖSL-Strahlen in den jeweiligen Segmenten können in der integrierten Darstellung Wechselwirkungen (Trade-Offs und Synergien) zwischen den einzelnen ÖSL abgelesen werden.

Die Methodenbeschreibungen zur Quantifizierung und Berechnung der einzelnen ÖSL sind in folgenden Beiträgen des Berichtes zu finden:

- Landwirtschaftliches Ertragspotential: siehe Dehnhardt et al. 2020 in diesem Bericht
- Nährstoffretention: siehe Ritz et al. 2020 in diesem Bericht
- Hochwasserregulation: siehe Mehl et al. 2020 in diesem Bericht
- Niedrigwasserregulation: siehe Mehl et al. 2020 in diesem Bericht
- Sedimentregulation: siehe Mehl et al. 2020 in diesem Bericht
- Bodenbildung: siehe Mehl et al. 2020 in diesem Bericht
- Kühlwirkung: siehe Mehl et al. 2020 in diesem Bericht
- Habitatbereitstellung: siehe Fischer-Bedtke et al. 2020 in diesem Bericht
- Kulturelle Ökosystemleistungen: siehe Thiele et al. 2020 in diesem Bericht

Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse für die einzelnen ÖSL für den Bezugszustand sowie die Veränderungen (Differenz zum Bezugszustand) im Planungszustand 1 und Planungszustand 2 erläutert. Im Anschluss folgt eine integrierte Betrachtung aller ÖSL.

3 Ergebnisse

3.1 ÖSL landwirtschaftliches Ertragspotenzial

3.1.1 Bezugszustand

Für die ÖSL landwirtschaftliches Ertragspotential ergibt sich insgesamt ein sehr heterogenes Bild für den betrachteten Donauabschnitt (Abb. 2). Dies liegt vor allem an den unterschiedlichen Anteilen der Acker- und Grünlandflächen in den Kompartimenten. Die Ertragsstufen für die landwirtschaftlich genutzten Standorte sind insgesamt sehr hoch. Es besteht zumindest eine Tendenz, dass die Kompartimente der rezenten Aue eine geringere Bedeutung für den Ackerbau haben, was aber auch methodisch durch die Annahme bedeutender Ernteverluste durch Hochwasser begründet sein kann.

Die Rückhalteräume wurden mit Rücksicht auf vorhandene Ackerflächen gewählt; so ist deren Flächenanteil in den betroffenen Kompartimenten gering, was ein entsprechend geringeres landwirtschaftliches Ertragspotenzial im Bezugszustand bedeutet. Der Index sollte daher immer im

Zusammenhang mit dem Anteil der landwirtschaftlich genutzten Fläche am jeweiligen Kompartiment interpretiert werden.

Um die Hochwassergefährdung auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen im Bezugszustand zu schätzen, wurden Statistiken von den Pegeln Günzburg, Dillingen und Donauwörth herangezogen (Tab. 2). Die mittleren Hochwasserabflüsse (MHQ) entsprechen demnach ungefähr den Hochwässern aller 2 Jahre (HQ_2) und etwa dem 4- bis 5-fachen der mittleren Abflüsse (MQ). Die dabei auftretenden Wasserstandsänderungen nehmen in Fließrichtung zu. Etwa bei Erreichen von MHQ bzw. HQ_2 werden Flutmulden bzw. Ausleitungen in der rezenten Aue beaufschlagt.

Damit wird die Annahme bekräftigt, dass ein Hochwasser mit einer zweijährigen Eintrittswahrscheinlichkeit (HQ_2) als das den Bezugszustand prägende Ereignis in der gesamten bzw. in großen Teilen der rezenten Aue gelten kann. Auf dieser Grundlage wird der Einfluss von Hochwasser auf die Landwirtschaft und auf Überflutungsflächen in der rezenten Aue geschätzt. Bei der Berechnung wurde daher auf den Überflutungsflächen des Riedstromes ein Ernteausfall aller 2 Jahre angenommen. Auf der restlichen rezenten Aue wurde der Ertrag nur geringfügig um 10 % reduziert, was einem 50-prozentigen Ausfall bei 5-jährigen Ereignissen (HQ_5) entspricht (Annahme).

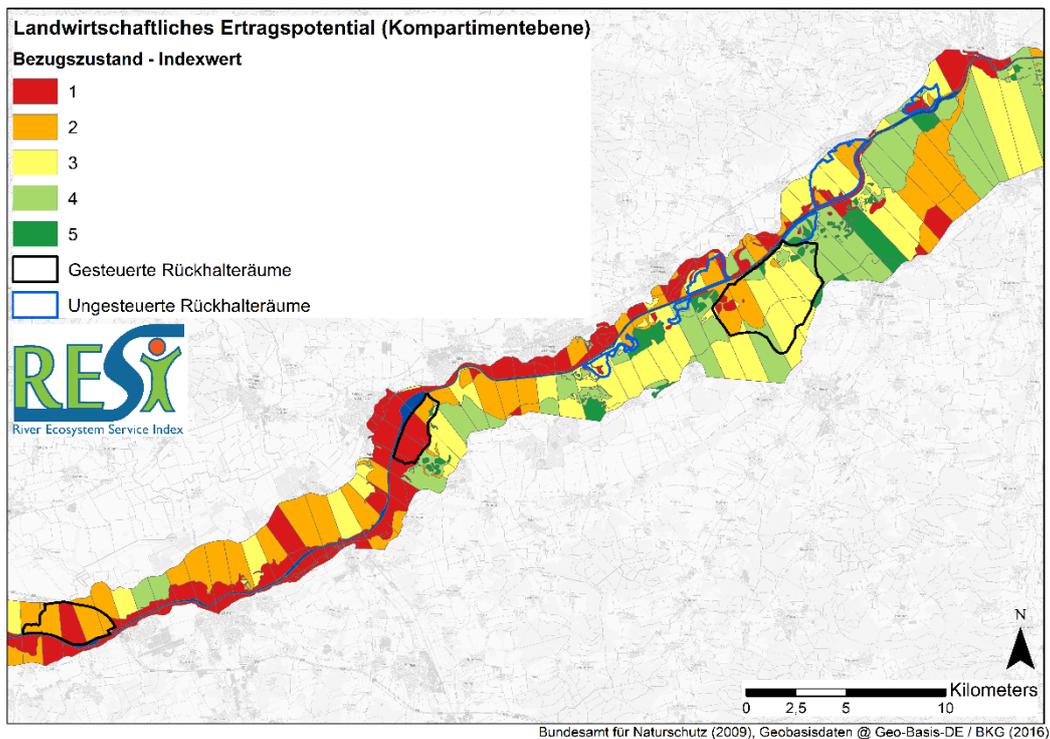


Abb. 2: ÖSL landwirtschaftliches Ertragspotential auf Acker- und Grünlandflächen für die einzelnen Auen-Kompartimente der Modellregion; jeweils maximale Ausdehnung der Rückhalteräume. Die ÖSL wird mit einem Indexwert von 5 = sehr hoch bis 1= gering bis nicht vorhanden dargestellt.

Ergebnisse: Hochwasserschutzmaßnahmen an der Donau

Tab. 2: Pegel­daten von in der Modellregion vorhandenen Pegeln (Hochwassernachrichtendienst (HND): //www.hnd.bayern.de/pegel/donau_bis_kelheim; Günzburg u. d. Günz­mündung: Jahresreihe 1964-2012 für Wasserstände, Jahresreihe 1924-2012 für Abflüsse; Dillingen und Donauwörth: Jahresreihe 1980-2012 für Wasserstände, 1924-2012 für Abflüsse.

	Günzburg u. d. Günz­mündung	Dillingen	Donauwörth
MQ	137 m ³ /s	162 m ³ /s	191 m ³ /s
MHQ	640 m ³ /s	700 m ³ /s	754 m ³ /s
MW	121 cm	289 cm	162 cm
MHW	289 cm	509 cm	490 cm
Δ(MHW-MW)	168 cm	220 cm	328 cm
HQ ₁	Stau d. Stufe Offingen	630 m ³ /s	680 m ³ /s
HQ ₂	Stau d. Stufe Offingen	740 m ³ /s	800 m ³ /s
HW-Marke bei MHW	Beginn der Ausleitung im Bereich der Staustufe Faimingen (700 m ³ /s) in den Riedstrom	Beginn der Ausleitung im Bereich der Staustufe Höchstädt (750 m ³ /s) in den Riedstrom	Donauwörth; Flutmulde III; Auslauf

Mittlerer Abfluss (MQ), mittlerer Hochwasserabflusses (MHQ), mittlerer Wasserstand (MW), mittlerer höchster Wasserstand (MHW), 1-jährliches Hochwasser (HQ₁), 2-jährliches Hochwasser (HQ₂), Hochwasser (HW)

3.1.2 Planungszustand 1

Im Planungszustand 1 sollen keine landwirtschaftlich genutzten Flächen überflutet werden. Daher gibt es auch keine Veränderungen beim landwirtschaftlichen Ertragspotenzial.

Im betrachteten Beispiel ergab die Verschneidung der Überflutungsflächen mit den Ackerflächen entgegen der Erwartungen eine betroffene Fläche mit einer Größe von etwa 0,3 ha. Solche Ergebnisse sollten natürlich als Einzelfälle geprüft werden. Im vorliegenden Fall könnte eine unterschiedliche Abgrenzung der Ackerflächen in den zugrundeliegenden Landnutzungskarten zu der Überlagerung führen. Dies zeigt auch, dass das Vorgehen für die Ableitung präziser Aussagen über einzelne (Teil-) Flächen bestimmte Anwendungsgrenzen hat, die beispielsweise in der Genauigkeit der Flächendefinitionen liegen können. Eine andere vorstellbare Grenze wäre die Genauigkeit bei der Vorhersage von Überflutungsintervallen und der Ausdehnungen der betroffenen Flächen, welche wahrscheinlich sogar bedeutsamer ist. Bei Ableitung der Flutfolgen aus dieser Verschneidung bestehen ebenfalls Unsicherheiten, da die Wirkung der Überflutung stark von der Bewirtschaftung abhängen kann (Stahl et al. 2005). Trotz dieser Unwägbarkeiten kann der RESI sehr gut für eine Schätzung der Auswirkungen von Überflutungsszenarien in Abschnitten von Flussauen herangezogen werden, wie das folgende Kapitel zeigen soll.

3.1.3 Planungszustand 2

Hinsichtlich des Standortpotenzials für die Landwirtschaft ist dieser Planungszustand lediglich dahingehend bedeutsam, als dass es im (seltenen) Überflutungsfall zu Ernteausfällen auf den betroffenen Flächen kommt. Das Standortpotenzial an sich ändert sich durch die Überflutung zunächst nicht, vorausgesetzt, dass Schadstoffeinträge durch die Flut keine Rolle spielen. Gegebenenfalls können hohe Nährstofffrachten zu einer kurzfristigen Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit führen; dieser stehen allerdings temporäre Vernässungen gegenüber, wodurch die Abschätzung der temporären Veränderung des landwirtschaftlichen Ertragspotenzials erschwert wird.

Insgesamt bewirken sehr seltene Flutereignisse keine zu prognostizierenden Veränderungen der landwirtschaftlichen Ertragspotenzials. Eine Ermittlung der betroffenen Flächen kann jedoch zur Abschätzung von im Hochwasserfall auftretenden Schäden (Ernteverluste, Flächeninstandsetzung) sinnvoll sein. Für die Berechnung des Index für die landwirtschaftlichen Ertragspotenzials wird ein vollständiger Ausfall der Ernte im überfluteten Gebiet nach einem HQ_{100} bzw. HQ_{extrem} angenommen (Abb. 3).

Insgesamt wird eine landwirtschaftlich genutzte Fläche von ca. 1870 ha im Planungszustand 2 geflutet. Zusätzlich dazu muss infolge der Bodenvernässung mit Ernteaussfällen auf direkt angrenzenden Flächen gerechnet werden. Die Schadenskosten sind zudem stark vom Zeitpunkt und Verlauf des Hochwassers abhängig. Im Einzelfall können sich hierdurch große Unterschiede ergeben, weshalb eine Schadenabschätzung auf Grundlage detaillierterer Szenarien (Flutzeitpunkt, Flutverlauf, tatsächlich angebaute Feldfrüchte, Status der Bearbeitung, usw.) erfolgen sollte. Die Veränderung des Bewertungsindex ist im Bereich des Riedstromes geringer als in anderen Bereichen, da hier bereits im Bezugszustand von Ernteaussfällen alle zwei Jahre ausgegangen wurde.

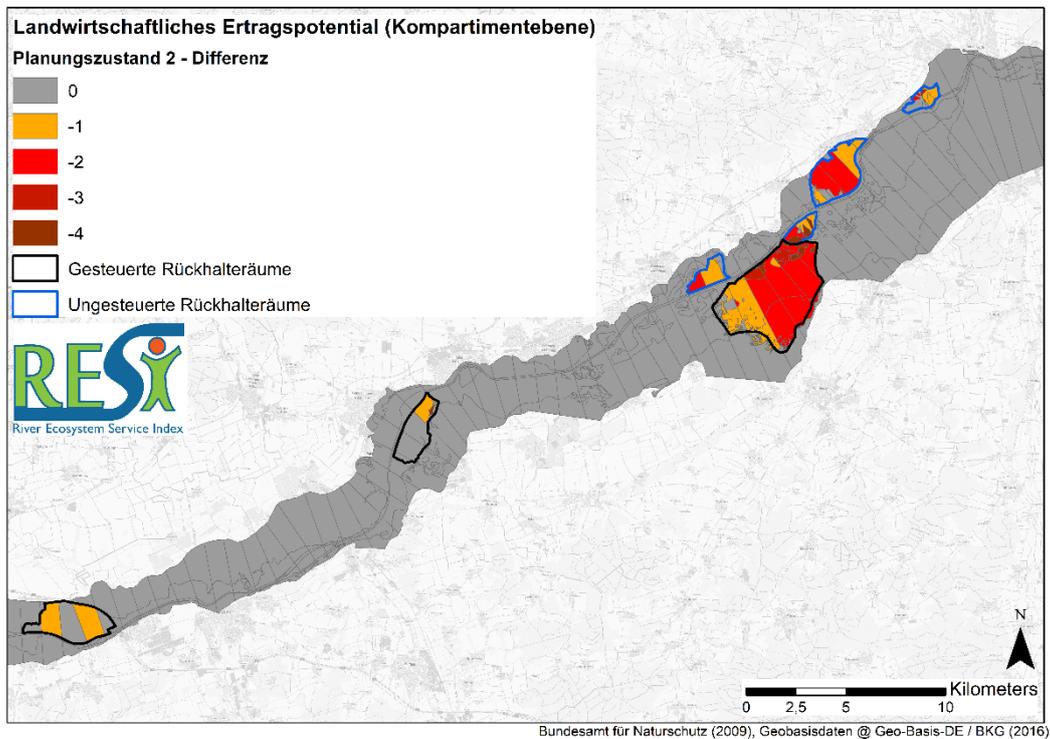


Abb. 3: Differenz zwischen Planungszustand 2 (Extremhochwasser) und Bezugszustand für die ÖSL landwirtschaftliches Ertragspotential für ungesteuerte und gesteuerte Rückhalteräume. Die angegebenen Differenzklassen entsprechen der Anzahl der Stufen, um die der Wert der ÖSL landwirtschaftliches Ertragspotential des Bezugszustands für das Kompartiment des angenommenen Rückhalteräume abgewertet wird.

3.1.4 Vergleich der Planungszustände und Fazit für die ÖSL landwirtschaftliches Ertragspotenzial

Der Index zeigt eine angemessene Sensitivität gegenüber großflächigen Flutereignissen und ist daher zunächst für eine vergleichende Bewertung von Szenarien und Entwicklungsalternativen hilfreich. Bei den betrachteten Planungszuständen waren die deutlichen Veränderungen im Planungszustand 2 aufgrund der deutlich größeren betroffenen Fläche zu erwarten. Dabei sind teilweise große Anteile von Kompartimenten mit bedeutenden Ackerflächenanteilen betroffen. So sind auch Abwertungen des Index um mehrere Stufen möglich. Bereiche, in denen keine Veränderung des Index auftritt, enthalten entweder keine größeren betroffenen Ackerflächen oder wurden schon im Bezugszustand mit einem niedrigen Indexwert geführt.

3.2 ÖSL Nährstoffretention

3.2.1 Bezugszustand

3.2.1.1 Stickstoff (N)-Retention

Die N-Retention wird für 76 % der 1 km-Fluss-Auen-Abschnitte in der Modellregion als sehr hoch (Klasse 5), für 13 % als hoch (Klasse 4) und für 11 % als mäßig (Klasse 3) eingestuft. Regionen mit einer mäßigen Retention befinden sich bei Neu-Ulm und Donauwörth in Bereichen mit einem erhöhten Siedlungsanteil (Abb. 4). Der hohe Rückhalt von N ist in diesem Abschnitt der Donau vor allem auf die Retention in der rezenten Aue zurückzuführen. In der Modellregion befinden sich große Areale an rezenter Aue, die hauptsächlich durch Wald, Feuchtgebiete und Gewässer geprägt sind und daher eine hohe Retentionsleistung aufweisen. Die N-Retention im Fluss ist im Vergleich zu anderen Fließgewässern dagegen als gering einzustufen (s. Ritz et al. 2020 in diesem Bericht). Lediglich in den Stauhaltungen bei Oberelchingen, Faimingen, Höchstädt und Bertoldsheim kommt es aufgrund der geringeren Fließgeschwindigkeiten, der erhöhten Akkumulation von organischem Material und dem erhöhten Sauerstoffverbrauch zu einem Anstieg der Denitrifikation und damit zu einer höheren N-Retention im Fluss (Ritz et al. 2020 in diesem Bericht).

Der Prozess N-Retention wirkt nur im Fluss und in der rezenten Aue. Im Bezugszustand befindet sich die rezente Aue innerhalb der Abgrenzungen für den ungesteuerten Rückhalt von Planungszustand 1 lediglich auf 236 ha (48 %) der Gesamtfläche von 497 ha. Die übrigen 261 ha (52 %) sind als Altaue abgegrenzt. Damit trägt im Bezugszustand knapp die Hälfte der Flächen bereits zur N-Retention bei, wobei alle Flächen mit der Klasse 5 bewertet wurden (Abb. 4). Vier der sechs Retentionsräume weisen dabei einen Flächenanteil von über 60 % rezenter Aue auf (Bischofswörth = 107 ha; Neugeschüttwörth = 44 ha; Donauwörth = 36 ha; Christianswörth = 27 ha). In den Retentionsräumen Höchstädt und Tapfheim ist der Anteil rezenter Aue mit 12 ha (13 %) und 10 ha (6 %) jedoch vergleichsweise gering. Die gesteuerten Rückhalteräume für den Planungszustand 1 erstrecken sich über eine Fläche von 847 ha. Von der Gesamtfläche tragen 374 ha (42 %) bereits zur N-Retention bei (Abb. 4), wobei die Retentionsleistung auf den Rückhalteraum Helmeringen mit 367 ha rezenter Aue zurückzuführen ist, wohingegen in Leipheim lediglich 7 ha von 500 ha Gesamtfläche für die N-Retention zur Verfügung stehen. In Helmeringen wurden alle Flächen mit 5 bewertet, während in Leipheim die sehr kleinen Retentionsflächen Wertstufen von 3 bis 5 aufweisen (Abb. 4).

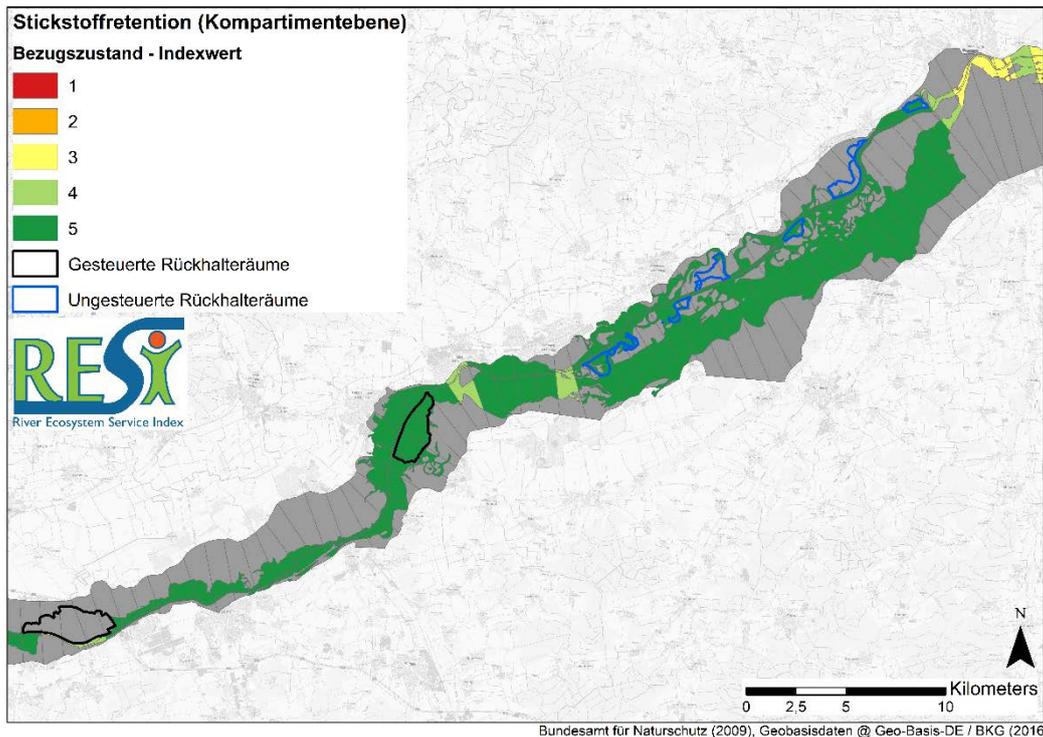


Abb. 4: Bewertung der ÖSL N-Retention in den 1 km-Fluss-Auen-Abschnitten der Modellregion; eingrahmt ist jeweils die Ausdehnung der Rückhalteräume für Planungszustand 1. Farblich dargestellt ist die, für die Retention tatsächlich wirksame Fläche der rezenten Aue. Die ÖSL wird mit einem Indexwert von 5 = sehr hoch bis 1= gering bis nicht vorhanden dargestellt. Graue Flächen = keine Bewertung.

3.2.1.2 Phosphor (P)-Retention

Die P-Retention wird für 95 % der 1 km Fluss-Auen-Abschnitte in der Modellregion als sehr hoch (Klasse 5), für 1 % als hoch (Klasse 4), für 2 % als mäßig (Klasse 3) und für 1 % als sehr gering (Klasse 1) eingestuft. Für die Regionen mit einer mäßigen Retention befinden sich bei der Stauhaltung Leipheim und Oberelchingen (Abb. 5). Ähnlich wie bei der N-Retention ist der hohe Rückhalt von P in den Fluss-Auen-Abschnitten der Modellregion vor allem auf die hohe Rauigkeit der waldbestandenen rezenten Aue zurückzuführen. Der Prozess wird dabei ebenfalls von der Größe der rezenten Aue und der Anbindung an den Fluss beeinflusst. Im Fluss spielt die P-Retention keine große Rolle. Die flussinterne P-Retention erfolgt hauptsächlich durch die Sedimentation, die in der Jahresbilanz jedoch meist durch Mineralisierung und der damit verbundenen PO_4 -Freisetzung aus dem Sediment wieder rückgängig gemacht wird. Daher findet flussintern nur eine sehr geringe Retention oder eine Freisetzung statt (Ritz et al. 2020 in diesem Bericht).

Da bei der Bewertung der P-Retention die gleichen Flächen wie bei der N-Retention betrachtet wurden, ändert sich nichts an der Verteilung der bewerteten Flächen innerhalb der Abgrenzungen für den Planungszustand 1.

In den Flächen für den ungesteuerten Rückhalt von Planungszustand 1 wurden wie bei der N-Retention 48 % der Fläche im Bezugszustand mit 5 bewertet. Von den gesteuerten Rückhalteräumen weisen 43 % der Flächen bereits eine sehr hohe Retention auf und <1 % der Flächen eine mäßige bis hohe Retention (Abb. 5).

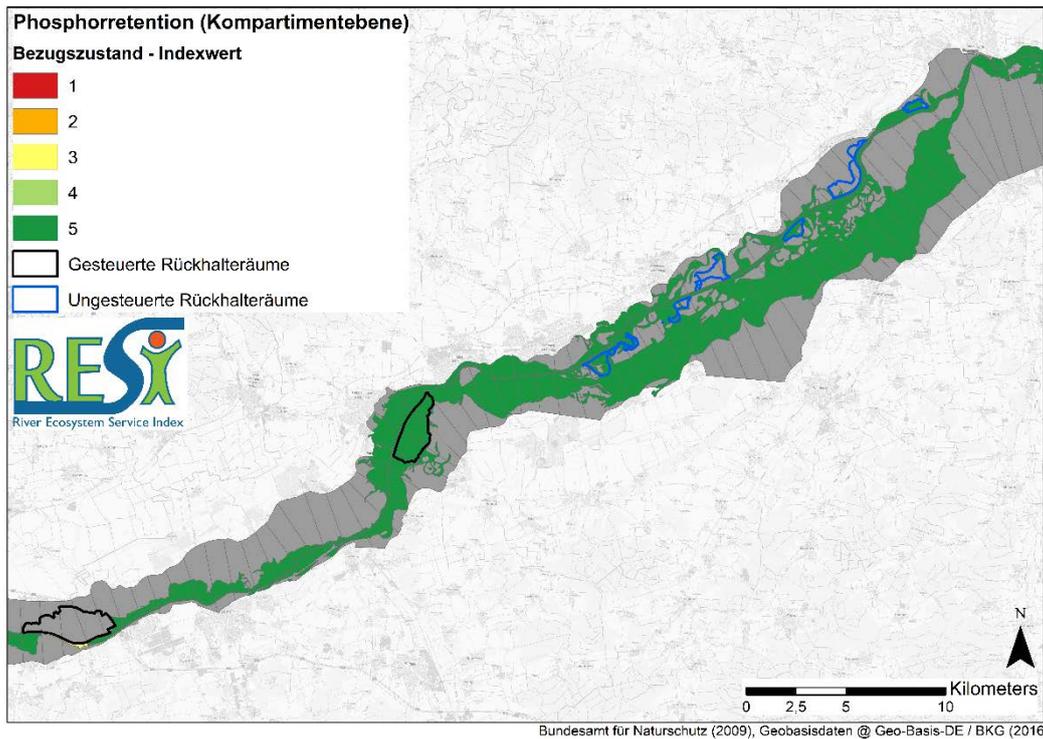


Abb. 5: Bewertung der ÖSL P-Retention in den 1 km-Fluss-Auen-Abschnitten der Modellregion; eingrahmt ist jeweils die Ausdehnung der Rückhalteräume für Planungszustand 1. Farblich dargestellt ist die für die Retention tatsächlich wirksame Fläche der rezenten Aue. Die ÖSL wird mit einem Indexwert von 5 = sehr hoch bis 1= gering bis nicht vorhanden dargestellt. Graue Flächen = keine Bewertung.

3.2.2 Planungszustand 1

Durch die Ausdehnung der Überflutungsflächen in Planungszustand 1 mit einer hohen Überflutungswahrscheinlichkeit (gesteuerte als auch ungesteuerte Retentionsräume), kommt es zu einer deutlichen Verbesserung der Nährstoffretention für N und P (Abb. 6 und Abb. 7). Da die meisten Flächen bereits im Bezugszustand aufgrund der extensiven Landnutzung mit hohem Waldanteil mit einer Klasse von 5 bewertet wurden, zeigt sich die Verbesserung vor allem durch die Zunahme der rezenten Aue bzw. bewerteten Flächen für die Rückhaltefläche Leipheim (Abb. 8 und Abb. 9). Schlechter bewertete Flächen der Klassen 3 und 4 werden jetzt auch mit 5 bewertet. Dadurch, dass nun mehr Fläche für den Stoffumsatz zur Verfügung steht, kommt es zu einer zusätzlichen Retentionsleistung von ca. 77 t N a⁻¹ durch Denitrifikation und 3,5 t P a⁻¹ durch Sedimentation im Planungszustand 1.

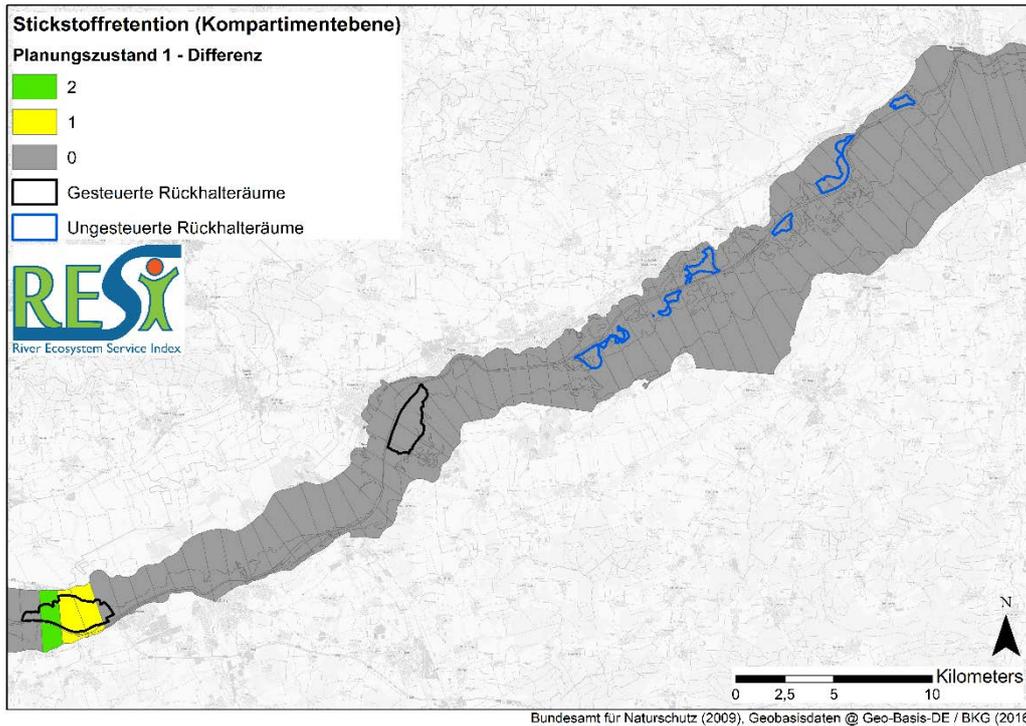


Abb. 6: Differenz zwischen Planungszustand 1 und Bezugszustand für die ÖSL N-Retention. Die angegebenen Differenzklassen entsprechen der Anzahl der Stufen, um die der Wert der ÖSL N-Retention des Bezugszustands für das Kompartiment des angenommenen Rückhalteriums aufgewertet wird.

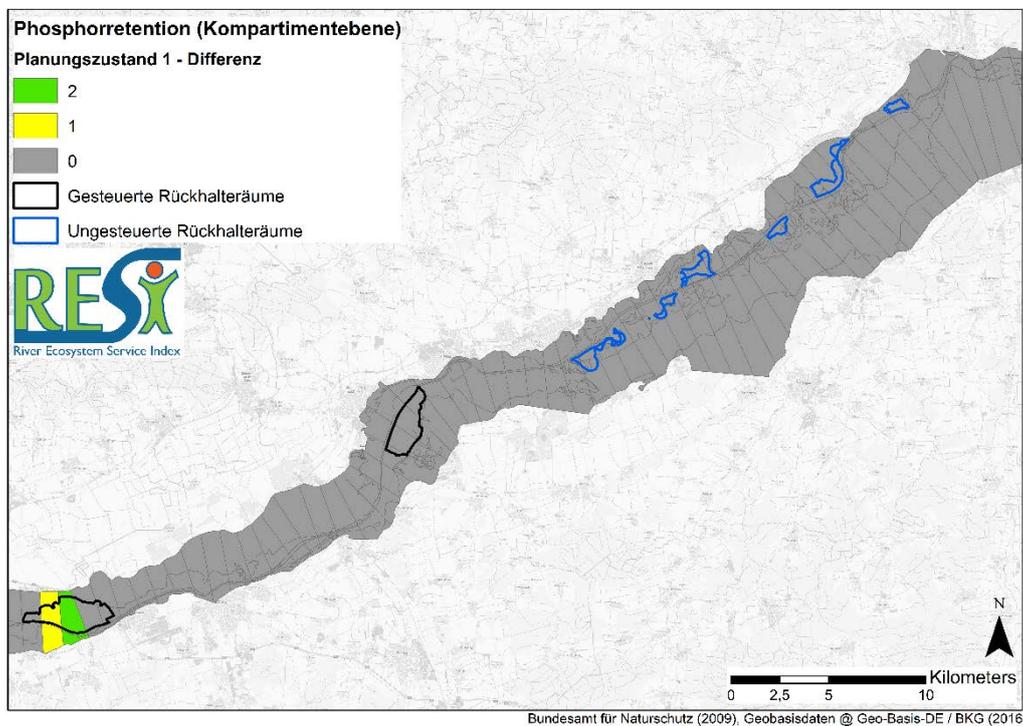


Abb. 7: Differenz zwischen Planungszustand 1 und Bezugszustand für die ÖSL P-Retention. Die angegebenen Differenzklassen entsprechen der Anzahl der Stufen, um die der Wert der ÖSL P-Retention des Bezugszustands für das Kompartiment des angenommenen Rückhalteriums aufgewertet wird.

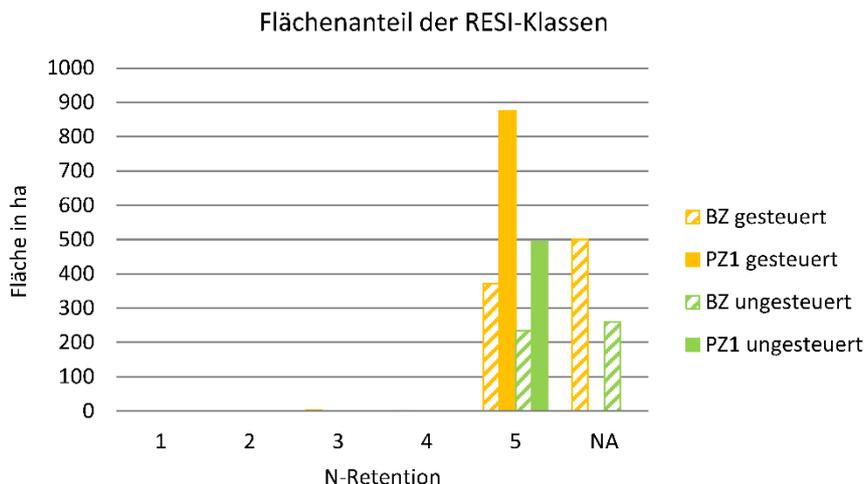


Abb. 8: Flächenanteile der RESI-Klassen für die ÖSL N-Retention an den gesteuerten und ungesteuerten Rückhalteräumen von Planungszustand 1. BZ: Bezugszustand; PZ: Planungszustand; NA: nicht bewertete Flächen (=Altaue).

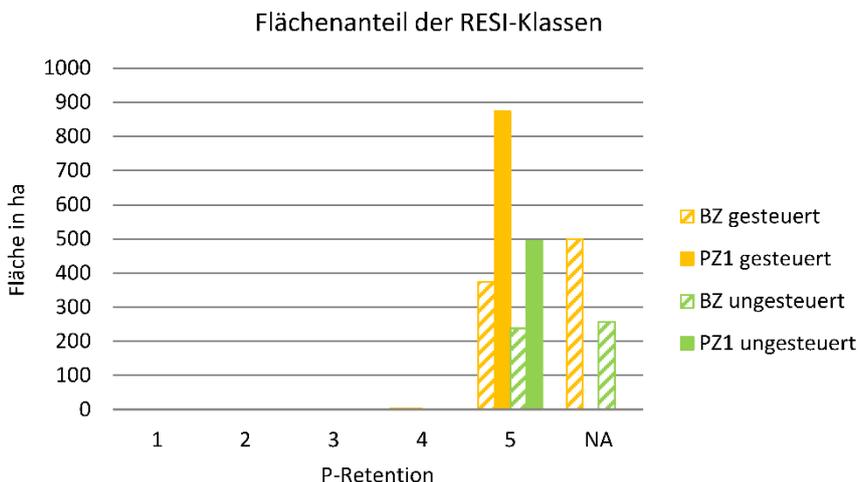


Abb. 9: Flächenanteile der RESI-Klassen für die ÖSL P-Retention an den gesteuerten und ungesteuerten Rückhalteräumen von Planungszustand 1. BZ: Bezugszustand; PZ: Planungszustand; NA: nicht bewertete Fläche (=Altaue).

3.2.3 Planungszustand 2

Im Planungszustand 2 wird nur von einer Flutung bei einer Hochwasserwahrscheinlichkeit von größer HQ_{50} oder HQ_{extrem} ausgegangen. Folglich tritt dieses Ereignis nur alle 50 Jahre oder deutlich seltener auf, so dass die Berechnung der jeweiligen N- und P-Retention wenig sinnvoll ist. Im Planungszustand 2 hätten allerdings bei einem Anschluss an ein normales Hochwassergeschehen insbesondere die naturnahen Flächen ein sehr hohes Potenzial für eine Nährstoffretention.

3.2.4 Vergleich der Planungszustände und Fazit für die ÖSL Nährstoffretention

Eine Zunahme der Überflutungsbereiche mit einer naturnahen Überflutungsdynamik und -dauer sind für die N- und P-Retention ein deutlicher Mehrgewinn. Durch die Ausdehnung der rezenten Aue würde nur im Planungszustand 1 mehr Fläche für den Umsatz von N und P zur Verfügung stehen, da hier das Überflutungsgeschehen zum Tragen kommt und zu einer Verdopplung der Flächen an rezenter Aue führt. Vor allem in den Retentionsräumen Höchstädt und Tapfheim ist im

Planungszustand 1 mit einer deutlichen Verbesserung der Retentionsleistung zu rechnen. Im Planungszustand 2 wurde keine zusätzliche Retentionsleistung angenommen, da das Überflutungs-geschehen als wichtigste Steuergröße hier nicht zum Tragen kommt. Allerdings bestünde bei einer naturnahen Überflutungsdynamik hier ein großes Potenzial.

3.3 ÖSL Hochwasserregulation

3.3.1 Bezugszustand

In Abbildung 10 sind die Ergebnisse für die ÖSL Hochwasserregulation im Bezugszustand für Fluss-Auen-Segmente abgebildet. Die Bewertungen bewegen sich in der Spanne von 1 bis 3, wobei sich die Klassen fast gleichmäßig auf die Anzahl der zu betrachtenden Fluss-Auen-Segmente verteilen (1 = 32 %, 2 = 35 %, 3 = 33 %). Die höchste Bewertung (Klasse 3), die im Bezugszustand erreicht wird, ist vor allem im Bereich des Riedstroms vertreten, da durch die häufigen Überflutungen (HQ₂) durch den Riedstrom ein hohes Rückhaltevermögen erzeugt wird. Zu einer besseren Bewertung kann es aufgrund der schlechten Strukturbewertung des Gewässers (meist Struktur-güteklasse 5) nicht kommen. Grundsätzlich gilt: Je schmaler die rezente Aue (verursacht durch Abdeichungen, andere Hochwasserschutzeinrichtungen etc.) und je geringer die Naturnähe des Gewässers ist, desto schlechter fällt auch die Bewertung aus. Besonders im Umfeld von Leipheim trifft dies zu, da hier die rezente Aue räumlich stark eingeschränkt ist.

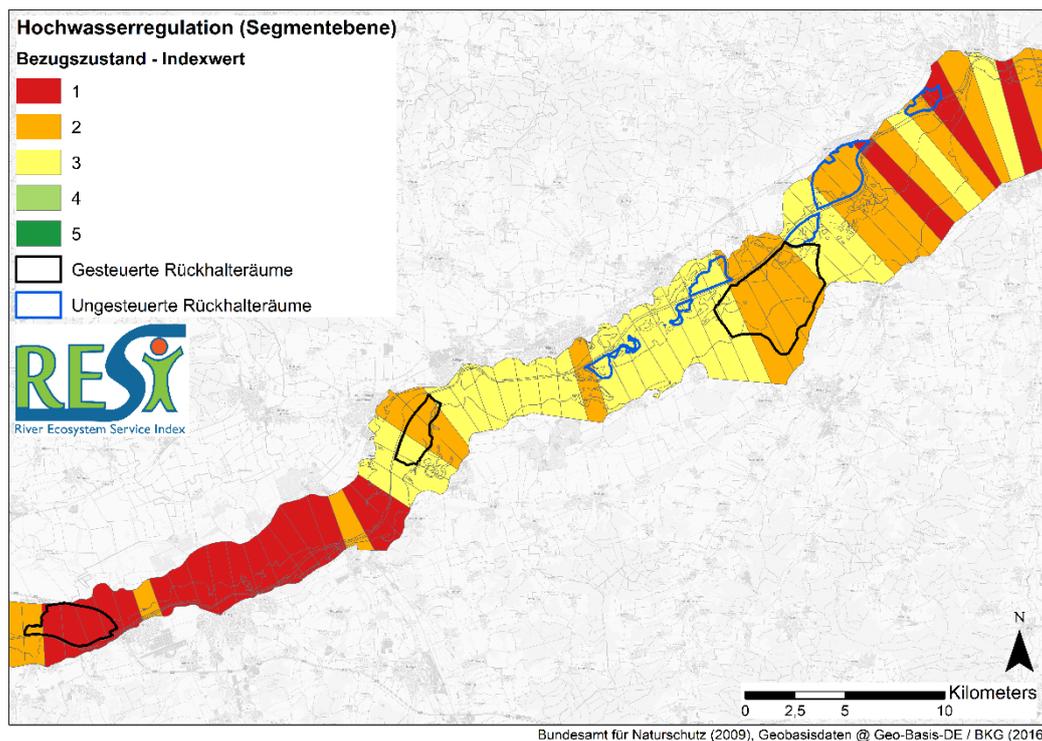


Abb. 10: Bewertung der ÖSL Hochwasserregulation für die einzelnen Fluss-Auen-Segmente der Modellregion im Bezugszustand; jeweils maximale Ausdehnung der Rückhalteflächen. Die ÖSL wird mit einem Indexwert von 5 = sehr hoch bis 1= gering bis nicht vorhanden dargestellt.

3.3.2 Planungszustand 1

Um maximal zwei Bewertungsklassen wird die Hochwasserregulation durch den gesteuerten Polder Leipheim verbessert (Abb. 11), da durch die hohe Überflutungshäufigkeit ($HQ_{0,3}$) ein größeres Rückhaltevolumen erzielt wird. Zudem ist in diesen Fluss-Auen-Segmenten die bisherige rezente Aue sehr schmal und führt bei räumlicher Ausdehnung somit zu mehreren Klassensprüngen. In den restlichen geplanten Rückhalteräumen kommt es zu keiner Klassenänderung aufgrund der Flächegegebenheiten (zu kleine Polderfläche, wenig neu dazugewonnenes Volumen) oder der Lage in einem bereits mäßig bewerteten Segment (Riedstrom). In Letzteren wird aber keine Änderung der strukturellen Bedingungen vorgenommen und es kann somit zu keiner Aufwertung kommen.

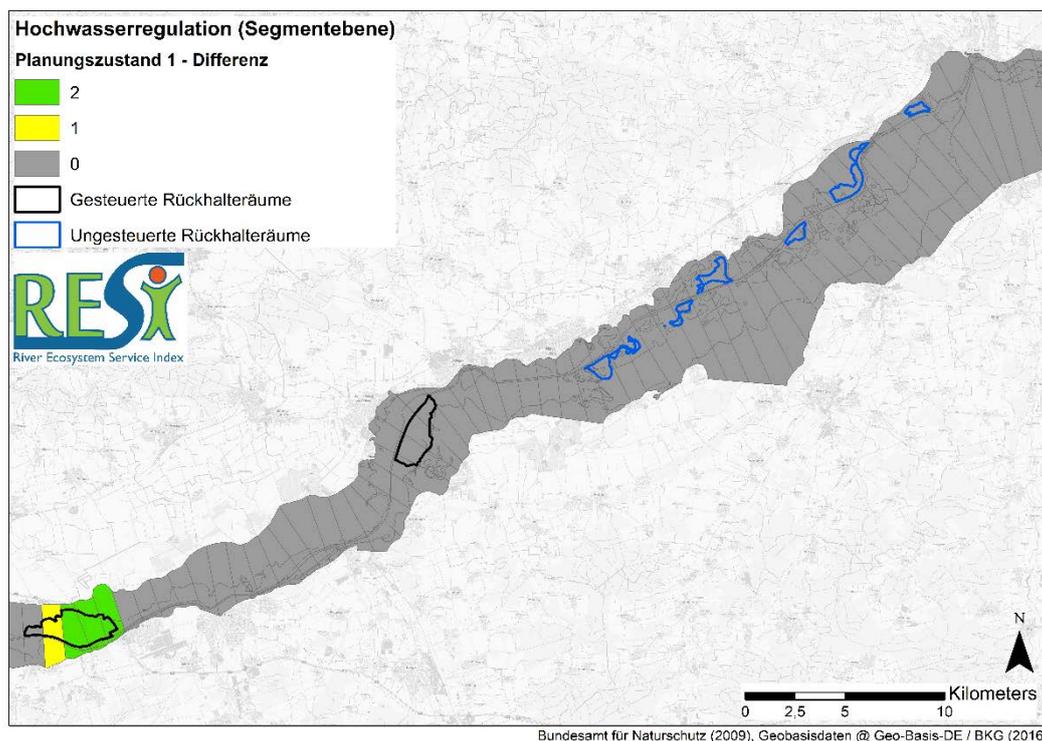


Abb. 11: Differenz zwischen Planungszustand 1 und Bezugzustand für die ÖSL Hochwasserregulation. Die angegebenen Differenzklassen entsprechen der Anzahl der Stufen, um die der Wert der ÖSL Hochwasserregulation des Bezugzustands für das Segment des angenommenen Rückhalteräume aufgewertet wird.

3.3.3 Planungszustand 2

Aufgrund der Polderfläche und der Überflutungshäufigkeit ist eine Zunahme des Rückhaltevolumens in den gesteuerten Poldern und somit eine Verbesserung von bis zu zwei Klassen gegeben (Abb. 12). Die Auswirkung der ungesteuerten Rückhalteräume ist zu gering, um eine Klassenverbesserung zu bewirken; zum einen aufgrund ihrer geringeren Größe, zum anderen führte die fehlende Steuerungsmöglichkeit zu einer geringeren Gewichtung, da die Aufnahmekapazität bereits vor dem Eintreffen der Hochwasserwelle erreicht ist.

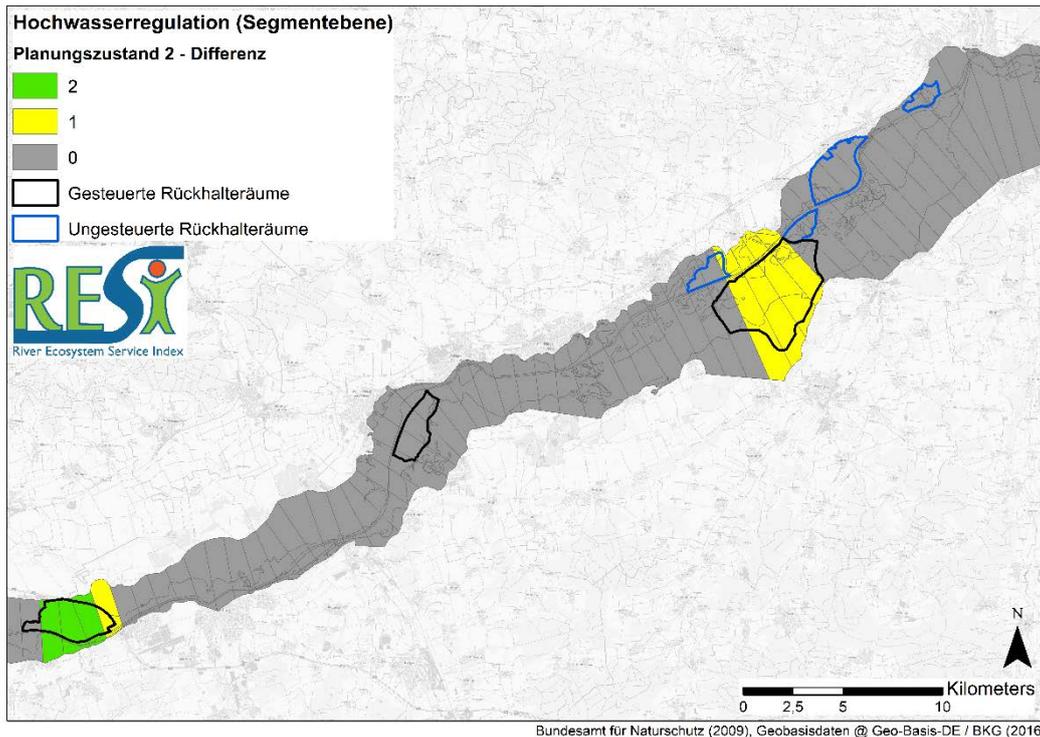


Abb. 12: Differenz zwischen Planungszustand 2 und Bezugszustand für die ÖSL Hochwasserregulation. Die angegebenen Differenzklassen entsprechen der Anzahl der Stufen, um die der Wert der ÖSL Hochwasserregulation des Bezugszustands für das Segment des angenommenen Rückhalteräume aufgewertet wird.

3.3.4 Vergleich der Planungszustände und Fazit für die ÖSL Hochwasserregulation

Durch den Vergleich der beiden Planungszustände wird ersichtlich, dass besonders die gesteuerten Rückhalteräume eine hohe Wirksamkeit bei der Hochwasserregulation entfalten und somit eine Verbesserung bewirken. Geringere Auswirkungen auf die Hochwasserregulation hingegen haben die ungesteuerten Rückhalteräume.

3.4 ÖSL Niedrigwasserregulation

3.4.1 Bezugszustand

Im Ergebnis für die ÖSL Niedrigwasserregulation (Abb. 13) sind alle Bewertungsklassen vertreten (1 = 40 %, 2 = 9 %, 3 = 9 %, 4 = 7 %, 5 = 35 %). Die maximalen Werte (Bewertungsklasse 5) sind durch den Rückstau, erzeugt von Querbauwerken (Stauanlagen), zu erklären. In diesem Fall wird durch menschlichen Input die ÖSL optimiert. Die sehr schlechten Bewertungen (Klasse 1) resultieren aus dem naturfernen Zustand des Gewässers.

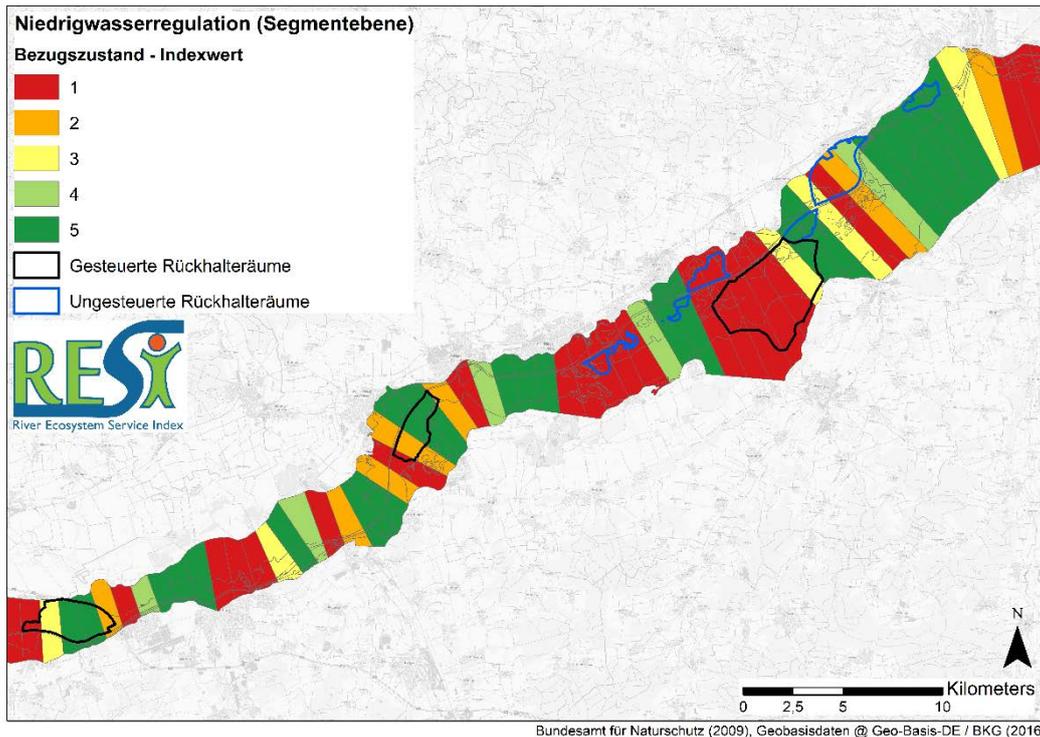


Abb. 13: Bewertung der ÖSL Niedrigwasserregulation für die einzelnen Fluss-Auen-Segmente der Modellregion im Bezugszustand; jeweils maximale Ausdehnung der Rückhalteräume. Die ÖSL wird mit einem Indexwert von 5 = sehr hoch bis 1= gering bis nicht vorhanden dargestellt.

3.4.2 Planungszustand 1 und 2

Für beide Planungszustände tritt keine Veränderung der ÖSL Niedrigwasserregulation ein, da keine strukturellen Verbesserungen wie z. B. Uferdynamisierungen ausgeführt werden, die eine Verbesserung der Sohl- und Uferstruktur zur Folge hätten.

3.4.3 Vergleich der Planungszustände und Fazit für die ÖSL Niedrigwasserregulation

Die geplanten Rückhalte der Planungszustände 1 und 2 haben keine Auswirkungen auf die Niedrigwasserregulation. Um Verbesserungen zu erreichen, müssten strukturelle Maßnahmen, besonders in den schlecht bewerteten Fluss-Auen-Segmenten, angesetzt werden.

3.5 ÖSL Sedimentregulation

3.5.1 Bezugszustand

Aufgrund der Beeinflussung durch Stauanlagen und anderer Querbauwerke auf die Hydraulik und Morphologie des Gewässers und der schlechten Bewertung der Sohlstruktur in der ganzen Modellregion kann höchstens die Bewertungsstufe 2 erreicht werden (Abb. 14).

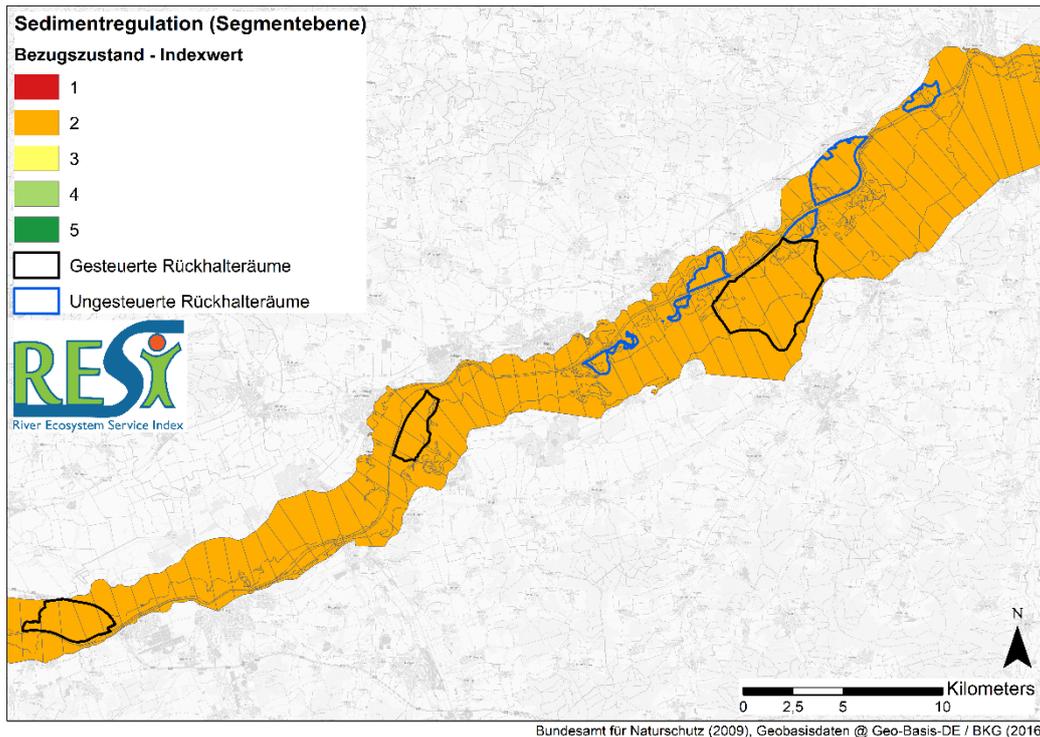


Abb. 14: Bewertung der ÖSL Sedimentregulation für die einzelnen Fluss-Auen-Segmente der Modellregion im Bezugszustand; jeweils maximale Ausdehnung der Rückhalteräume. Die ÖSL wird mit einem Indexwert von 5 = sehr hoch bis 1= gering bis nicht vorhanden dargestellt.

3.5.2 Planungszustand 1 und 2

Für beide Planungszustände kann keine Veränderung der ÖSL Sedimentregulation abgebildet werden, da keine Verbesserung der morphologischen Strukturen wie z. B. Sohlstrukturierungen oder Querbauwerksänderungen (Rückbau, Umbau) ausgeführt werden, die eine Verbesserung des Sedimenthaushalts hervorrufen würden.

3.5.3 Vergleich der Planungszustände und Fazit für die ÖSL Sedimentregulation

Die geplanten Rückhalte der Planungszustände 1 und 2 haben keine abbildbaren Effekte auf die Sedimentregulation. Um Verbesserungen zu erreichen, müssten Maßnahmen zur Sohlstruktur und Querbauwerksänderungen ergriffen werden.

3.6 ÖSL Bodenbildung

3.6.1 Bezugszustand

Für die Fluss-Auen-Segmente um Leipheim und östlich von Donauwörth wird eine sehr schlechte Bodenbildung ermittelt, da nur ein sehr geringer Anteil an rezenter Aue in diesen Bereichen zur Verfügung steht und somit die Wasserverfügbarkeit, welche eine der entscheidenden Faktoren der Bodenbildung ist, nur im geringen Maße gegeben ist (Abb. 15). Durch den Riedstrom bedingte Überflutungen führen bis zu einer sehr guten Bewertung der ÖSL Bodenbildung.

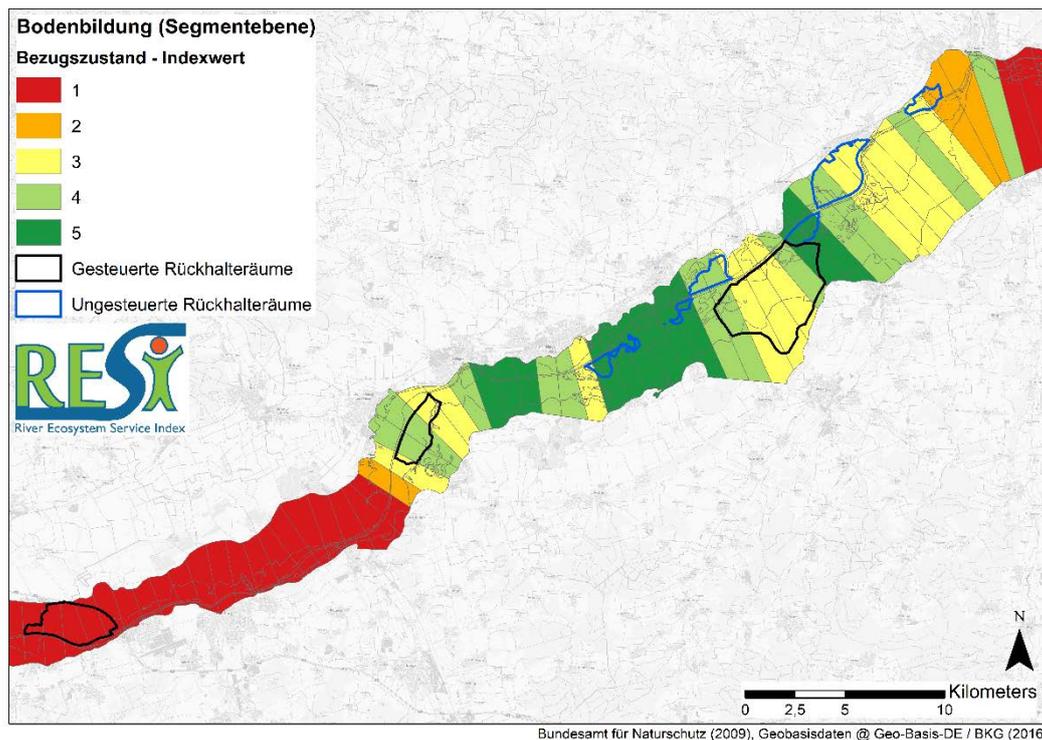


Abb.15: Bewertung der ÖSL Bodenbildung für die einzelnen Fluss-Auen-Segmente der Modellregion im Bezugszustand; jeweils maximale Ausdehnung der Rückhalteräume. Die ÖSL wird mit einem Indexwert von 5 = sehr hoch bis 1= gering bis nicht vorhanden dargestellt.

3.6.2 Planungszustand 1

Durch die Zunahme der rezenten Aue in den Fluss-Auen-Segmenten des gesteuerten Rückhalte-raums Leipheim kann eine Aufwertung der Bodenbildung um bis zu 4 Klassen erfolgen (Abb. 16). Die höhere Überflutungshäufigkeit von $HQ_{0,3}$ (hier wurde eine ganzflächige Überflutung angenommen) begünstigt die Bodenbildung. Die übrigen Rückhalteräume entfalten, aufgrund der bereits im Bezugszustand oftmals guten Bewertung, nur eine geringe in den Karten nicht darstellbare Wirksamkeit.

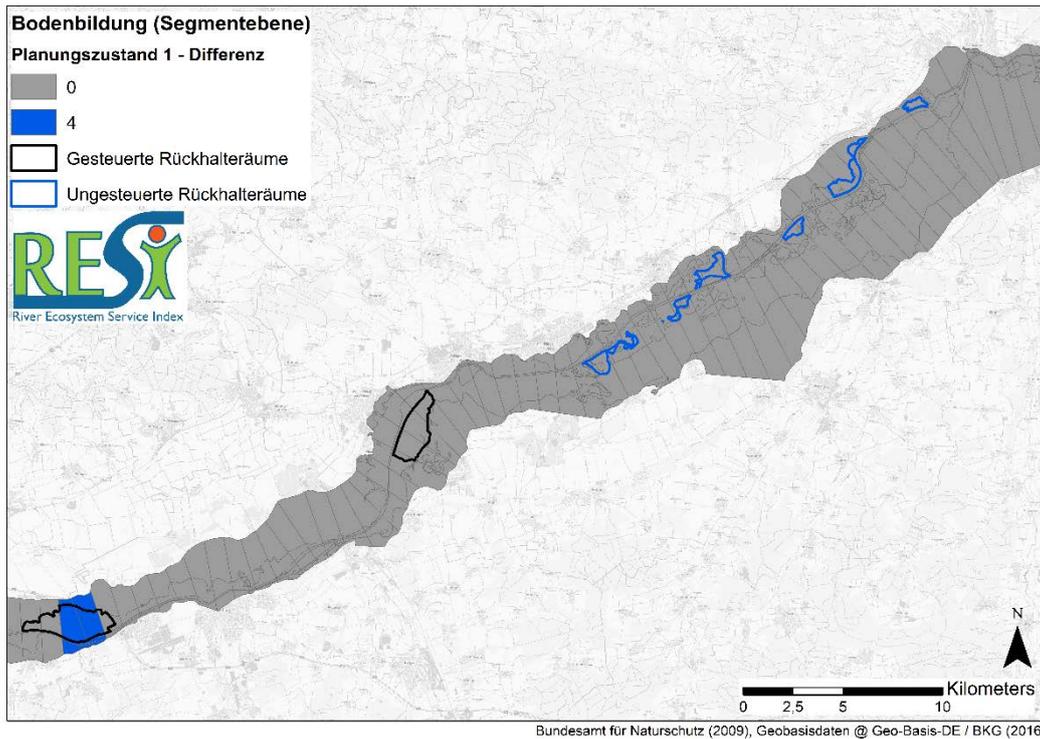


Abb. 16: Differenz zwischen Bezugszustand und Planungszustand 1 für die ÖSL Bodenbildung. Die angegebenen Differenzklassen entsprechen der Anzahl der Stufen, um die der Wert der ÖSL Bodenbildung des Bezugszustands für das Segment des angenommenen Rückhalteräume aufgewertet wird.

3.6.3 Planungszustand 2

Durch nur seltene Überflutungen bei extremeren Ereignissen kann sich keine dynamisch vollwertige Aue mit einem ungestörten Sedimenthaushalt ausbilden. Demnach kommt es zu einer Abwertung um eine Klasse (Abb. 17), besonders wenn die betroffenen Polderflächen in der rezenten Aue angelegt sind. Somit sind auch zwei Segmente des gesteuerten Rückhalteräume Neugeschüttwörth und ein Segment des Rückhalteräume Helmeringen von der Verschlechterung betroffen, da in diesen Segmenten der Großteil der Fläche nicht vom Riedstrom regelmäßig geflutet wird.

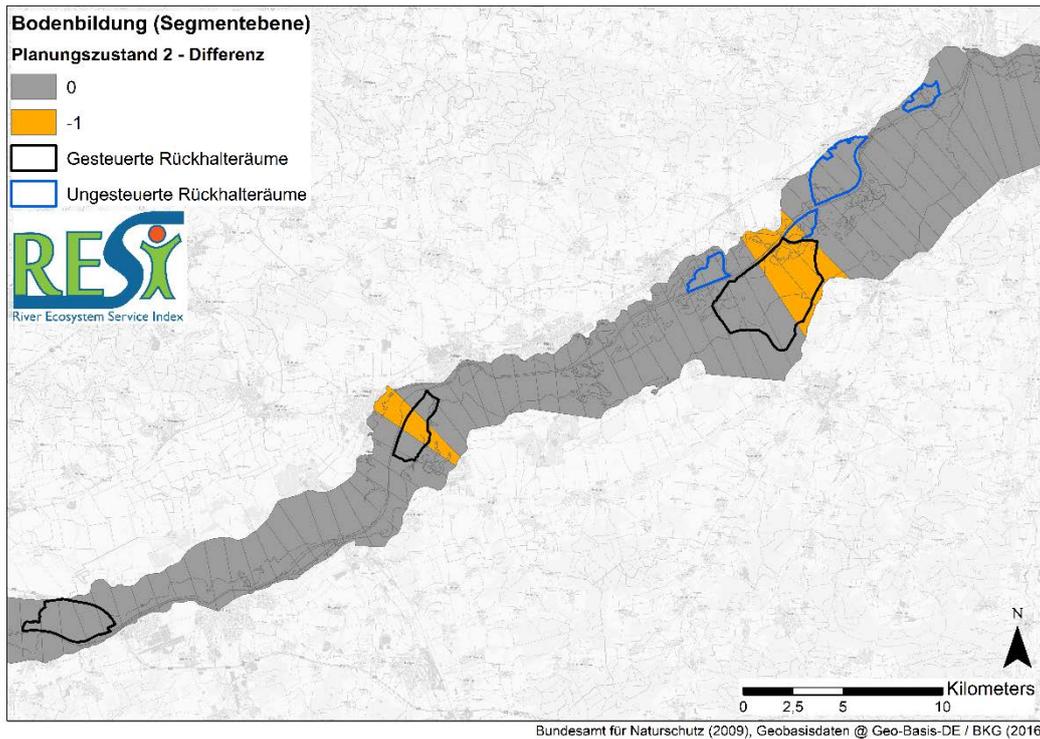


Abb. 17: Differenz zwischen Bezugszustand und Planungszustand 2 für die ÖSL Bodenbildung. Die angegebenen Differenzklassen entsprechen der Anzahl der Stufen, um die der Wert der ÖSL Bodenbildung des Bezugszustands für das Segment des angenommenen Rückhalterraums abgewertet wird.

3.6.4 Vergleich der Planungszustände und Fazit für die ÖSL Bodenbildung

Durch den Vergleich der beiden Planungszustände wird ersichtlich, dass besonders die Rückhalteräume, insbesondere die $HQ_{0,3}$, für eine Aufwertung der Bodenbildung sorgen. Leicht negative Auswirkungen haben die Rückhalteräume, die eine seltene Überflutungshäufigkeit HQ_{50} erwirken und in der rezenten Aue verortet sind. In diesen Bereichen kann sich kein ungestörter Sedimenthaushalt ausbilden und so wird die ÖSL Bodenbildung gemindert.

3.7 ÖSL Kühlwirkung

3.7.1 Bezugszustand

Im Bezugszustand der ÖSL Kühlwirkung werden die Bewertungsklassen 3 und 4 erreicht, wobei die Klasse 4 überwiegt (Abb. 18). Demnach besitzen die Gewässer und Feuchtgebiete des Modellgebiets weitestgehend ein hohes Potenzial im Hinblick auf die Temperatur- und Feuchteregulierung, vermehrt in den dichter besiedelten Bereichen ist eine geringere bzw. nur mäßige Leistung abzuleiten.

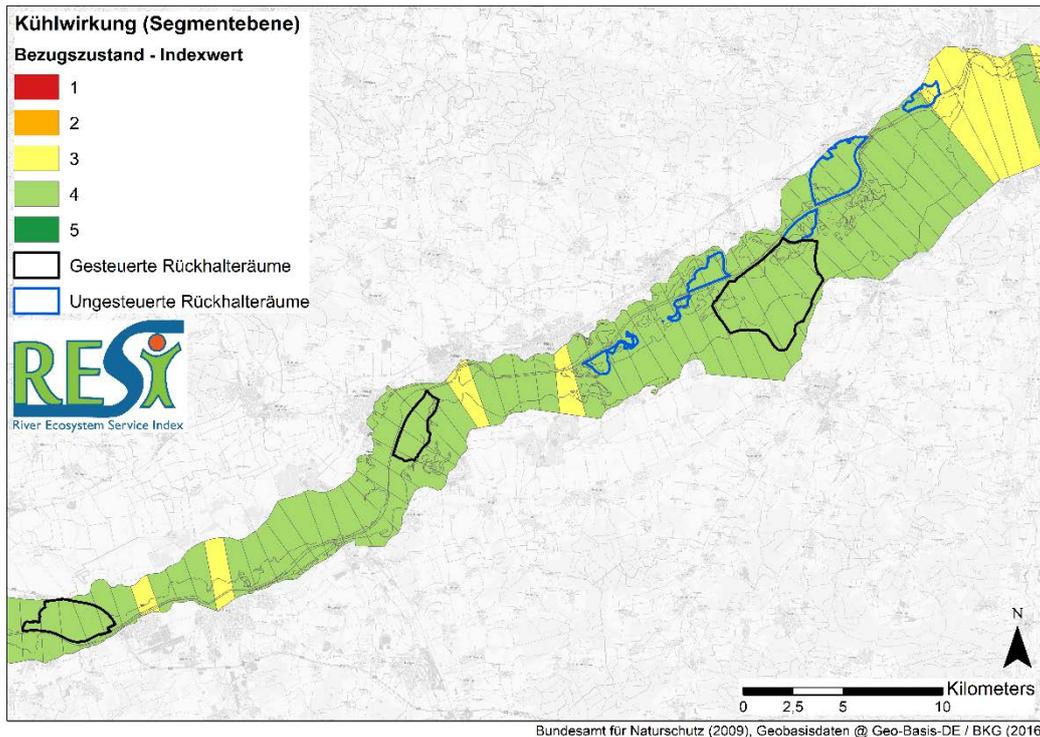


Abb. 18: Bewertung der ÖSL Kühlwirkung für die einzelnen Fluss-Auen-Segmente der Modellregion im Bezugszustand; jeweils maximale Ausdehnung der Rückhalteräume. Die ÖSL wird mit einem Indexwert von 5 = sehr hoch bis 1= gering bis nicht vorhanden dargestellt.

3.7.2 Planungszustand 1 und 2

Für beide Planungszustände kann keine Veränderung der ÖSL Kühlwirkung abgebildet werden, da keine Änderungen in der Landnutzung beschrieben sind. Zwar entstehen durch die Polder punktuelle Wasserregimeänderungen, die jedoch mit dieser Methode nicht abgebildet werden können.

3.7.3 Vergleich der Planungszustände und Fazit für die ÖSL Kühlwirkung

Die geplanten Rückhalte der Planungszustände 1 und 2 haben keine Auswirkungen auf die Kühlwirkung; um Verbesserungen zu erzielen, müssten größere Landnutzungsänderungen integriert werden. Für punktuelle Wasserregimeänderungen ist das Verfahren, das hier Anwendung findet, nicht sensitiv genug.

3.8 ÖSL Habitatbereitstellung

3.8.1 Bezugszustand

Im Bezugszustand der Modellregion sind alle fünf Klassen für die ÖSL Habitatbereitstellung vertreten (Abb. 19), auch wenn die Flächen mit einer sehr guten Habitatbereitstellung (5) unter 1 % ausmachen. Die guten Habitatwerte, vor allem im westlichen Bereich, ergeben sich aus den dort vorkommenden Waldflächen in der rezenten Aue, welche einen hohen Biotoptypwert aufweisen. Ebenfalls gut erkennbar ist eine Trennung in rezente Aue und Altaue, vor allem zwischen den Rückhalteräumen Leipheim und Helmeringen. Die vom Riedstrom überfluteten Flächen werden hinsichtlich der ÖSL Habitatbereitstellung als sehr gering bis mittel bewertet. Die angenommenen gesteuerten Rückhalteflächen besitzen derzeit einen Habitatwert von 1 bis 4. Der Leipheimer Rückhalteraum ist dabei der Einzige, der auf ca. 1/3 seiner Fläche (1 Segment) einen hohen Habitatwert (Klasse 4) aufweist. Im Rückhalteraum Helmeringen ist die ÖSL Habitatbereitstellung in

allen Kompartimenten gleich (Klasse 3), wohingegen im Rückhalteraum Neugeschüttwörth der Habitatwert von gering bis mittel variiert. Dabei besitzen ca. 2/3 der Fläche aufgrund der überwiegend landwirtschaftlichen Flächen sehr geringe oder geringe Habitatwerte (Klasse 1 und 2). In den angenommenen ungesteuerten Rückhalteräumen überwiegen im Bezugszustand sehr geringe bis geringe Habitatwerte (Klasse 1 und 2, 82,8 % der Gesamtfläche), weitere 17,2 % der Flächen weisen mittlere Habitatwerte (Klasse 3) auf. Lediglich auf 0,03 ha im Rückhalteraum Tapfheim ist ein guter Habitatwert (Klasse 4) vorhanden. Insgesamt ist die Bewertung der ÖSL Habitatbereitstellung in den angenommenen Rückhalteräumen gering (Mittelwert 2), was einerseits auf der Biotopausstattung (vor allem Äcker und Grünland), andererseits auf dem Einfluss der Stauhaltungen und der damit eingeschränkten Konnektivität und Wasserstandsdynamik und deren Folgen beruht.

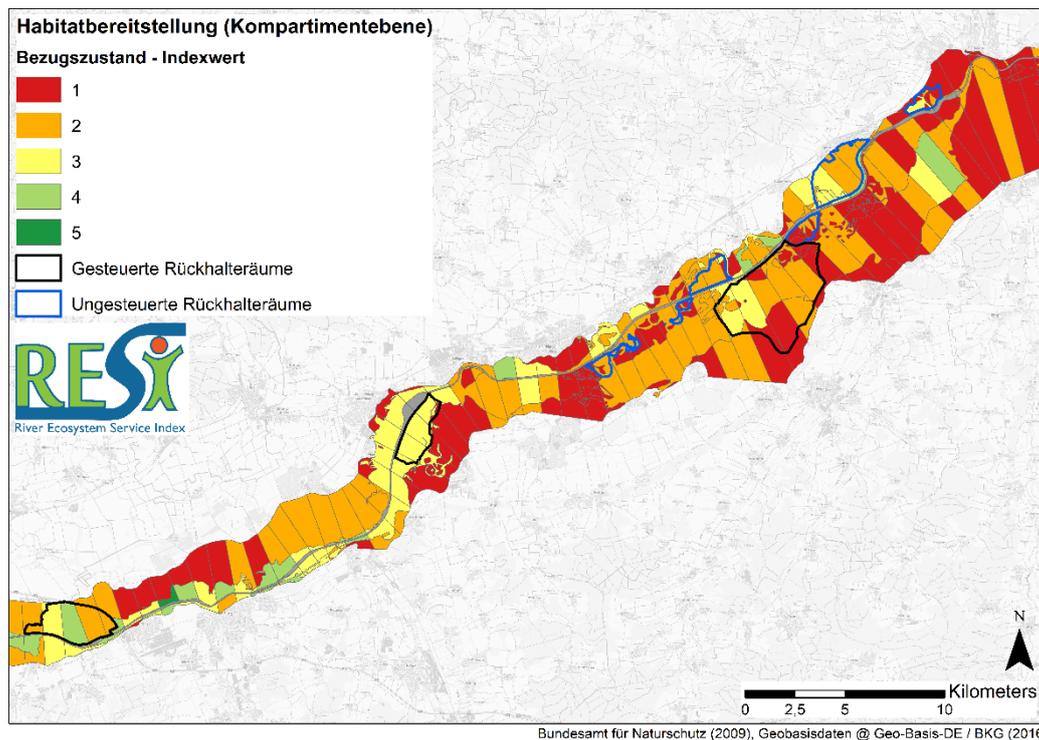


Abb. 19: Bewertung der ÖSL Habitatbereitstellung für die einzelnen Auen-Kompartimente und prozentuale Flächenanteile der Habitat-Klassen der Modellregion; jeweils maximale Ausdehnung der Rückhalteräume. Die ÖSL wird mit einem Indexwert von 5 = sehr hoch bis 1= gering bis nicht vorhanden dargestellt.

3.8.2 Planungszustand 1

Durch die Umsetzung der Maßnahmen des Planungszustands 1 werden Verbesserungen des Habitatwerts um eine oder zwei Stufen bei 2/3 der Rückhalteflächen prognostiziert, davon 585 ha um eine Stufe und 459 ha um zwei Stufen. In den restlichen Flächen erfolgt keine Veränderung des Habitatwertes. In den gesteuerten Rückhalteräumen Leipheim und Helmeringen wird von 874 ha nach Umsetzung der Maßnahmen bei 465 ha (53 %) ein guter Habitatwert (Klasse 4) und auf 191 ha sogar ein sehr guter Habitatwert (Klasse 5) durch die zu erwartende bessere Anbindung an das Überflutungsgeschehen und durch die angenommene Umwandlung der Biotoptypen hin zu auentypischen Biotoptypen angenommen (Abb. 20). Im Bezugszustand waren es nur 178 ha mit einem guten Habitatwert (Klasse 4) (Abb. 21). Von den ursprünglich 696 ha mit einer mittleren Habitatbereitstellung (Klasse 3) verbleiben im Planungszustand 1 nur noch 218 ha. Flä-

chen mit einem sehr geringen oder geringen Habitatwert (Klasse 1 und 2) werden nicht prognostiziert.

In der Prognose für die ungesteuerten Rückhalteräume weisen 89 % der Flächen (entspricht 444 ha) einen guten Habitatwert (Klasse 4) auf (Abb. 21), was auf der Annahme einer Änderung der Biotoptypen zu einer auentypischeren Ausstattung beruht. Die verbleibenden 54 ha (10 %) besitzen einen mittleren Habitatwert (Klasse 3). Die ungesteuerten Rückhalteräume, die größtenteils vollständig im Rückstaubereich liegen und damit einer hohen Beeinträchtigung der hydrologischen Bedingungen unterliegen, können somit im Gegensatz zu den gesteuerten Rückhalteflächen keinen sehr hohen Habitatwert erreichen. Zusätzlich führt die angenommene vollflächige häufige Überflutung im Planungszustand 1, die eine optimistische Planungsgrundlage darstellt, in den gesteuerten Rückhalteräumen in der Bewertung der Habitatbereitstellung zu einem positiven Ergebnis.

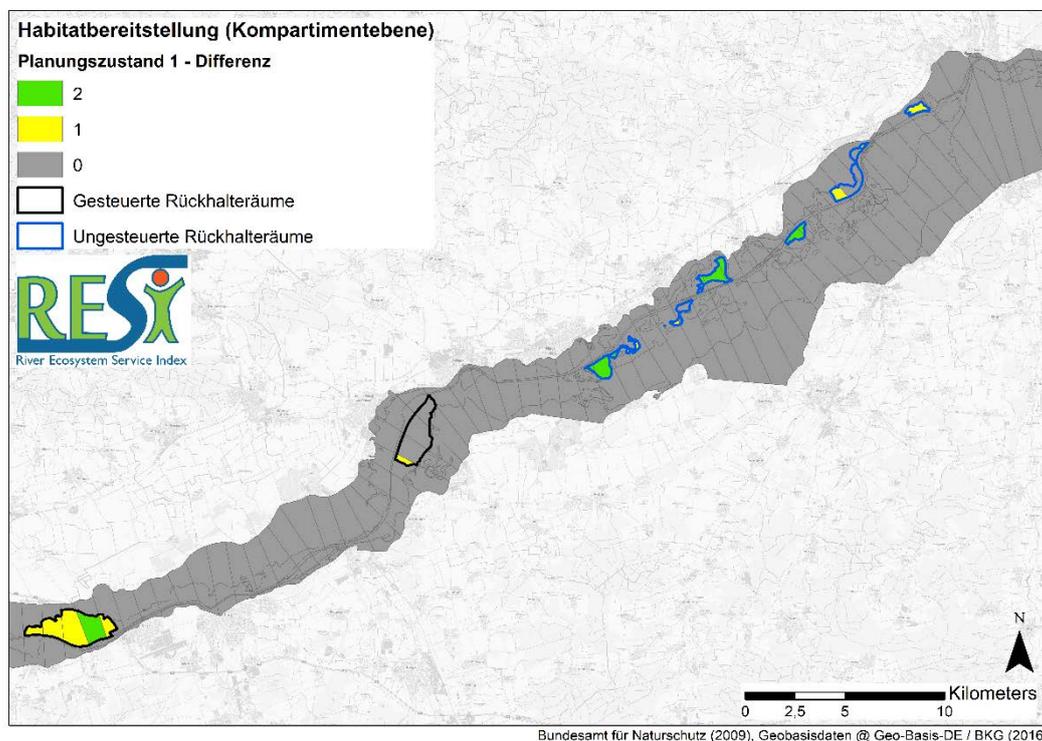


Abb. 20: Differenz zwischen Bezugszustand und Planungszustand 1 für die ÖSL Habitatbereitstellung. Die angegebenen Differenzklassen entsprechen der Anzahl der Stufen, um die der Habitatwert des Bezugszustands für das Kompartiment des angenommenen Rückhalteriums aufgewertet wird.

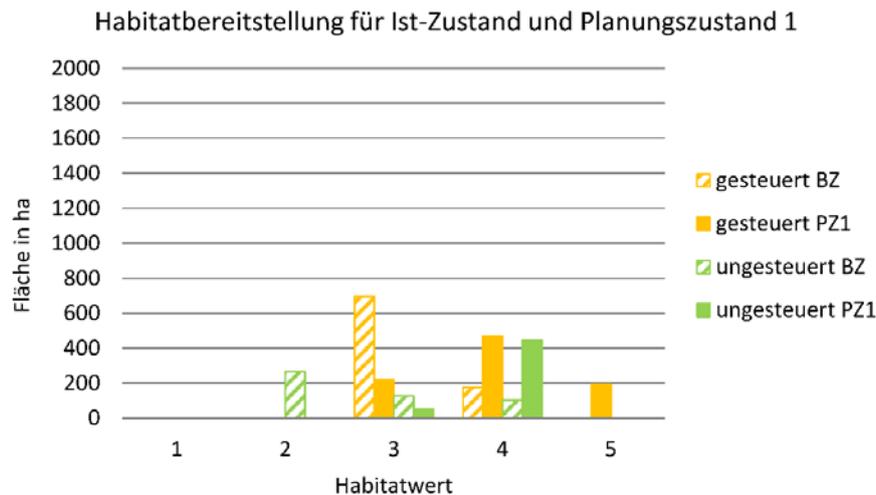


Abb. 21: Flächenanteile der RESI-Klassen der ÖSL Habitatbereitstellung für den Bezugszustand und Planungszustand für die gesteuerten und ungesteuerten Rückhalteräume in ha.

3.8.3 Planungszustand 2

In den gesteuerten Rückhalteflächen (Gesamtfläche 2831 ha) führt die Flutung im extremen Hochwasserfall (HQ_{extrem}) bei 1042 ha (entspricht 37 %) zu einer Verschlechterung des Habitatwertes um eine Stufe (Abb. 22). Diese Verschlechterung beruht auf dem zusätzlichen Malus von -0,25 für auentypische Biotope in der Berechnung des Habitatwertes. Es handelt sich dabei meist um Kompartimente mit einem derzeit mittleren Habitatwert (Klasse 3). Der Großteil der Auen-Kompartimente mit einer Fläche von 1688 ha (entspricht 60 %) verschlechtert sich durch den Planungszustand 2 aber nicht (Abb. 23), da sie keinen Malus erhalten. Es handelt sich entweder um Ackerflächen oder um Flächen, die innerhalb des Riedstroms liegen und somit einer regelmäßigen Überschwemmung ausgesetzt und daran angepasst sind. Der höchste Habitatwert, der durch Umsetzung des Planungszustands 2 erreicht wird, ist eine 4, allerdings nur auf einer kleinen Fläche von 1 ha. Die wenigen Flächen (381 ha, entspricht 13 % der gesteuerten Gesamtfläche), die im Bezugszustand mit einer guten Habitatbereitstellung bewertet werden, verschlechtern sich in der Prognose des Planungszustands 2 (Abb. 23).

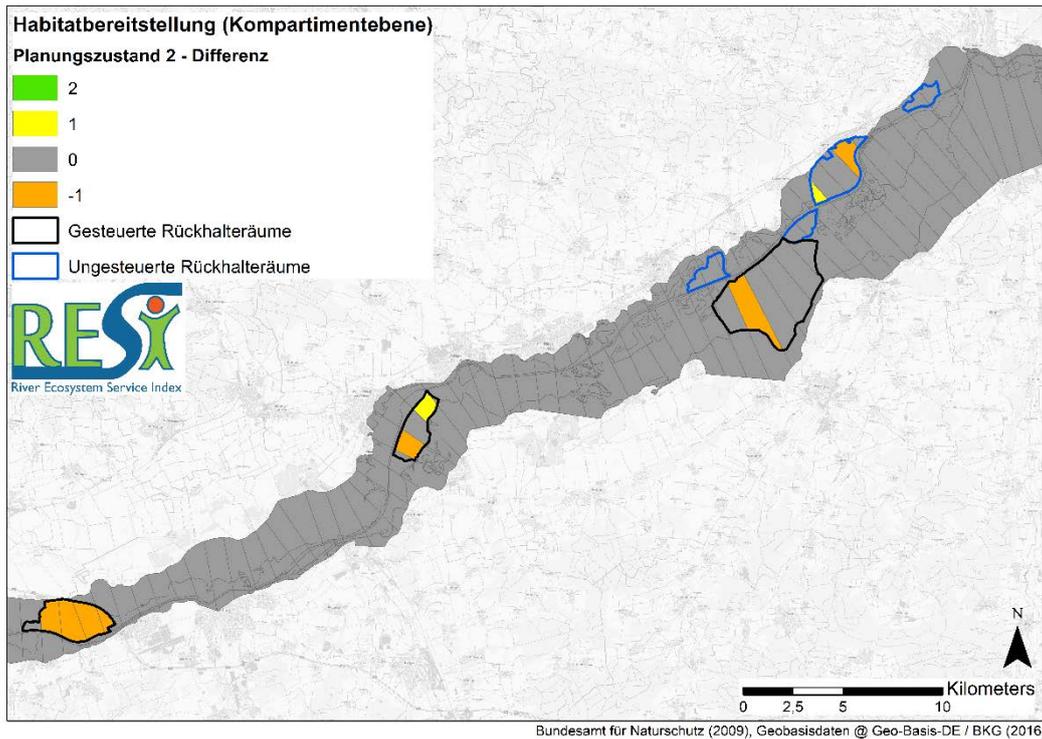


Abb. 22: Differenz zwischen Bezugszustand und Planungszustand 2 für die ÖSL Habitatbereitstellung. Die angegebenen Differenzklassen entsprechen der Anzahl der Stufen, um die der Habitatwert des Bezugszustands für das Kompartiment des angenommenen Rückhalteräume auf- oder abgewertet wird.

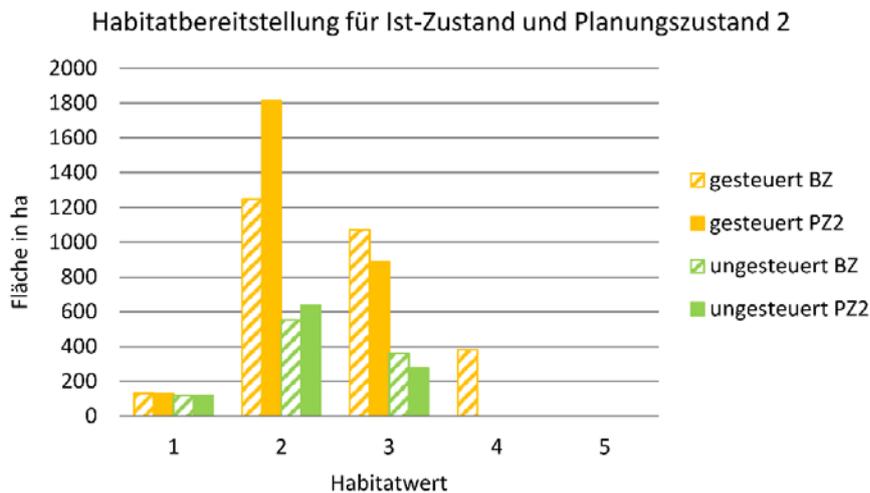


Abb.23: Flächenanteile der RESI-Klassen der ÖSL Habitatbereitstellung für den Bezugszustand und Planungszustand 2 für die gesteuerten und ungesteuerten Rückhalteräume in ha.

3.8.4 Vergleich der Planungszustände und Fazit für die ÖSL Habitatbereitstellung

Durch Vergleich der anzunehmenden Veränderungen der beiden Planungszustände wird deutlich, dass durch häufige ökologische Flutungen der Rückhalteräume größtenteils Verbesserungen der ÖSL Habitatbereitstellung zu erwarten sind (Abb. 24a), was im Wesentlichen auf die angenommene Entwicklung hin zu einer auentypischeren Biotopausstattung zurückzuführen ist. Auf diese Weise kann für einen Großteil der Flächen die ÖSL Habitatbereitstellung verbessert werden

(Werte 4 und 5) (Abb. 24a). Durch den Planungszustand 2 (Flutung nur im Extremfall) bleibt der Habitatwert dagegen oftmals gleich (64 %) auf einem geringen bis mittleren Niveau, vor allem in den gesteuerten Rückhalteräumen kommt es aber zu Verschlechterungen (Abb. 24b).

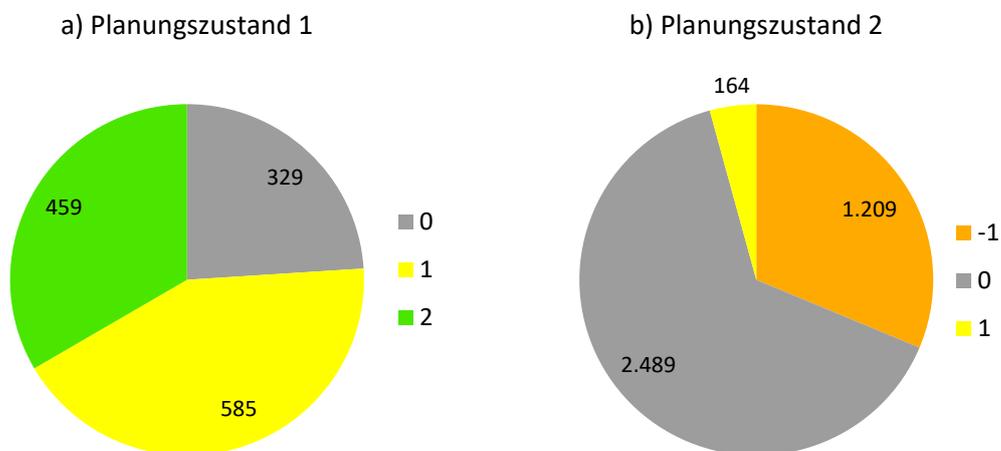


Abb. 24: Änderungen der Habitatwerte für alle Rückhalteraumflächen (gesteuert und ungesteuert) der beiden Planungszustände. Die Zahlenangabe bezieht sich auf die Flächengröße in ha. a) Planungszustand 1: ökologische Flutungen, nur Wald- und Wasserflächen sind betroffen; b) Planungszustand 2: Flutung nur im Retentionsfall, auch landwirtschaftliche Flächen.

Im Rückhalteraum Leipheim verschlechtert sich der Habitatwert fast auf der gesamten Fläche. Wohingegen in den gesteuerten Rückhalteräumen Helmeringen und Neugeschüttwörth auf den Flächen, die weiterhin regelmäßig durch den Riedstrom geflutet werden, größtenteils keine deutliche Verschlechterung im fünfstufigen Habitatwert abgebildet werden kann. Damit zeigt der berechnete Index den Vorteil der dort bestehenden Anpassung der Lebensgemeinschaften an Überflutungen auf. Eine Aufwertung der ÖSL Habitatbereitstellung kommt im Planungszustand 2 nur dann zu Stande, wenn durch die neuen Deiche ehemalige Ackerflächen in Grünlandflächen umgewandelt werden und somit einen um zwei Stufen höheren Habitatwert erhalten.

Ein direkter Vergleich der beiden Planungszustände, insbesondere für die ungesteuerten Rückhalteräume, ist nur bedingt möglich, da sich die Flächenausdehnungen der einzelnen Rückhalteräume in den Planungszuständen stark unterscheiden. Dennoch ist ein deutlicher Trend zu erkennen. Während der Planungszustand 1 die Flächen um ein bis zwei Stufen aufwertet, kommt es durch Planungszustand 2 größtenteils zu keiner oder aber zu einer schlechten Entwicklung der ÖSL Habitatbereitstellung.

3.9 Kulturelle Ökosystemleistungen

3.9.1 Bezugszustand

Die kulturelle ÖSL Landschaftsbild wurde für die gesteuerten Rückhalteflächen und die südlich der Donau gelegenen ungesteuerten Rückhalteflächen als gering bis sehr gering eingestuft (Klasse 1 und 2). Lediglich die nördlich gelegenen Flächen Donauwörth, Tapfheim und Höchstädt erlangten eine mittlere Bewertung (Klasse 3)(Abb. 25).

In Donauwörth, Tapfheim und Leipheim wurde der Hauptindikator landschaftliche Vielfalt zur Berechnung der ÖSL Landschaftsbild hoch bewertet. In Höchstädt, Bischofswörth, Christianswörth und Neugeschüttwörth fiel die Bewertung der landschaftlichen Vielfalt hingegen geringer aus. In Helmeringen wurden nur im nördlichen Teil hohe Werte für die landschaftliche Vielfalt errechnet. Die Planungsräume wurden für die zweite Landschaftsbildvariable Natürlichkeit mittel bis hoch bewertet. Niedrigere Bewertungen, wie beispielsweise in Leipheim, sind vor allem auf störende Verkehrsinfrastruktur (z. B. Autobahn A8) zurückzuführen. Die dritte Variable für die Berechnung des Landschaftsbildes, die landschaftliche Eigenart, wurde in allen Planungsräumen mit gering bis sehr gering bewertet. Sehr geringe Werte sind in Neugeschüttwörth und in Bischofswörth zu finden. Die Planungsräume Donauwörth, Tapfheim und Leipheim erhielten hingegen eine höhere Bewertung der Eigenart.

Der Bezugszustand der Bereitstellungsbewertung der kulturellen ÖSL Natur- und Kulturerbe ergab vor allem auch im deutschlandweiten Vergleich, der zur Bewertung herangezogen wurde, eine sehr geringe Bewertung für die Rückhalteräume Tapfheim, Donauwörth, Bischofswörth und den westlichen Teil von Leipheim (Abb. 26). In diesen geplanten Rückhalteflächen ist die Dichte an Boden-, Bau- und Naturdenkmälern sehr gering bis fehlend (vgl. Thiele et al. 2020 in diesem Bericht). Dementgegen ist die Bewertung im östlichen Teil der geplanten Rückhaltefläche Leipheim sehr hoch, da in dieser Umgebung Natur- und Baudenkmäler vorhanden sind. Nahe der geplanten Rückhaltefläche Helmeringen wiesen die Ausgangsdaten Baudenkmäler auf, deswegen wurde diese Fläche immerhin mit 2 bewertet. Auch in der Umgebung des geplanten Rückhalts bei Neugeschüttwörth wurden Bau- und Bodendenkmäler lokalisiert. Durch die Berechnung der Dichte mit einem Suchradius von 1000 m erzielt diese Fläche dennoch nur einen geringen Wert (Thiele et al. 2020 in diesem Bericht).

Ergebnisse: Hochwasserschutzmaßnahmen an der Donau

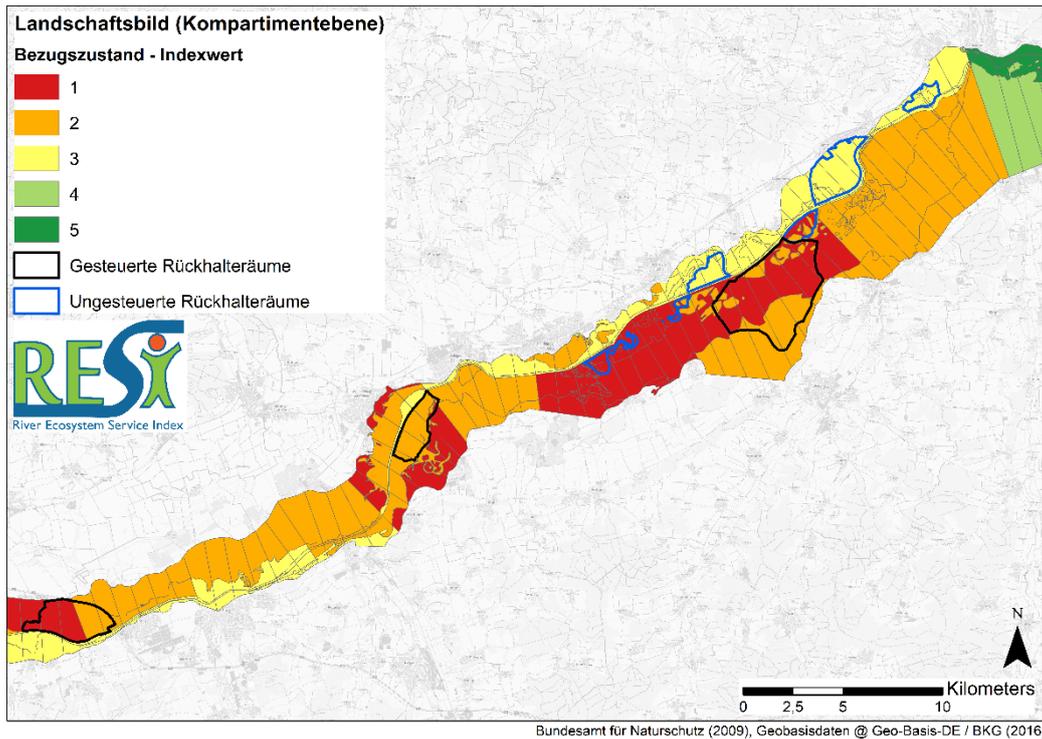


Abb. 25: Bewertung der kulturellen ÖSL Landschaftsbild für die einzelnen Auen-Kompartimente der Modellregion; jeweils maximale Ausdehnung der Rückhalteräume. Die ÖSL wird mit einem Indexwert von 5 = sehr hoch bis 1= gering bis nicht vorhanden dargestellt.

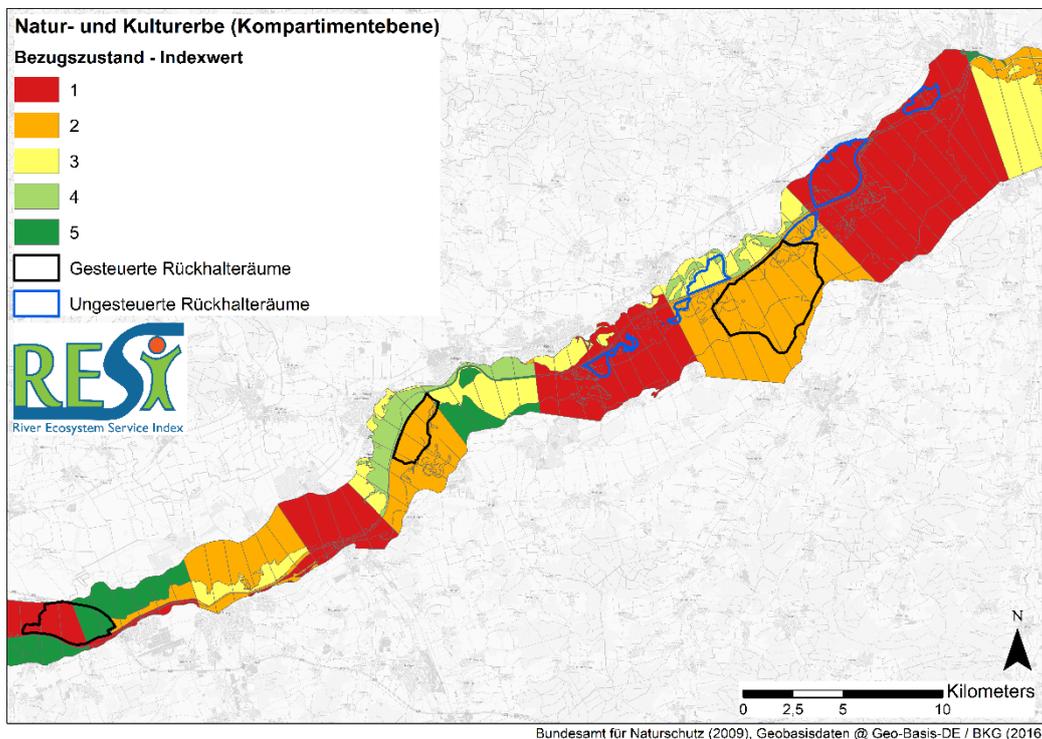


Abb. 26: Bewertung der kulturellen ÖSL Natur- und Kulturerbe für die einzelnen Auen-Kompartimente der Modellregion; jeweils maximale Ausdehnung der Rückhalteräume. Die ÖSL wird mit einem Indexwert von 5 = sehr hoch bis 1= gering bis nicht vorhanden dargestellt.

Die Bewertung der Bereitstellung der kulturellen ÖSL unspezifische Interaktion mit der Flusslandschaft ist im geplanten Rückhalt Neugeschüttwörth sowie in Tapfheim mittel bis gering (Abb. 27). Hier wurden die Variable Erlebarkeit des Raums eher gering und die Variable Anzahl von überlagerten Schutzgebietskategorien sehr gering bis fehlend bewertet. Die Variable Ufer- und Gewässerverfügbarkeit wurde in Neugeschüttwörth größtenteils ebenfalls als sehr gering bewertet, in Tapfheim dagegen etwas positiver. Die geplanten Rückhalteräume Helmeringen, Donauwörth, Höchstädt, Bischofswörth und Leipheim erhielten hingegen eine sehr hohe oder hohe Bewertung der Bereitstellung. Der geplante Rückhalt Helmeringen zeigt durchgehend eine sehr hohe Bewertung, für die Räume Leipheim, Höchstädt und zu großen Teilen Bischofswörth ist lediglich die Variable Anzahl von überlagerten Schutzgebietskategorien gering bewertet.

Die Bewertung der Bereitstellung für die kulturelle ÖSL wasserbezogene Aktivitäten ist im geplanten Rückhalt Neugeschüttwörth mittel oder sehr gering (Abb. 28). Ebenso wurde eine mittlere Bewertung auf den geplanten Rückhalten von Helmeringen, Christianswörth und Tapfheim festgestellt. Die Fläche Leipheim ist im östlichen Teil gering bewertet, hingegen weist der westliche Teil eine hohe Bewertung, v. a. aufgrund der hohen Strukturgüte auf. Höchstädt und Donauwörth erzielten eine sehr hohe Bewertung dieser kulturellen ÖSL, da Zuflüsse, wie beispielsweise der Klosterbach bei Höchstädt, eine mäßig veränderte oder gering veränderte Strukturgütekartierung aufwiesen (vgl. Erläuterung des Indikators und der Variablen in Thiele et al. 2020 in diesem Bericht).

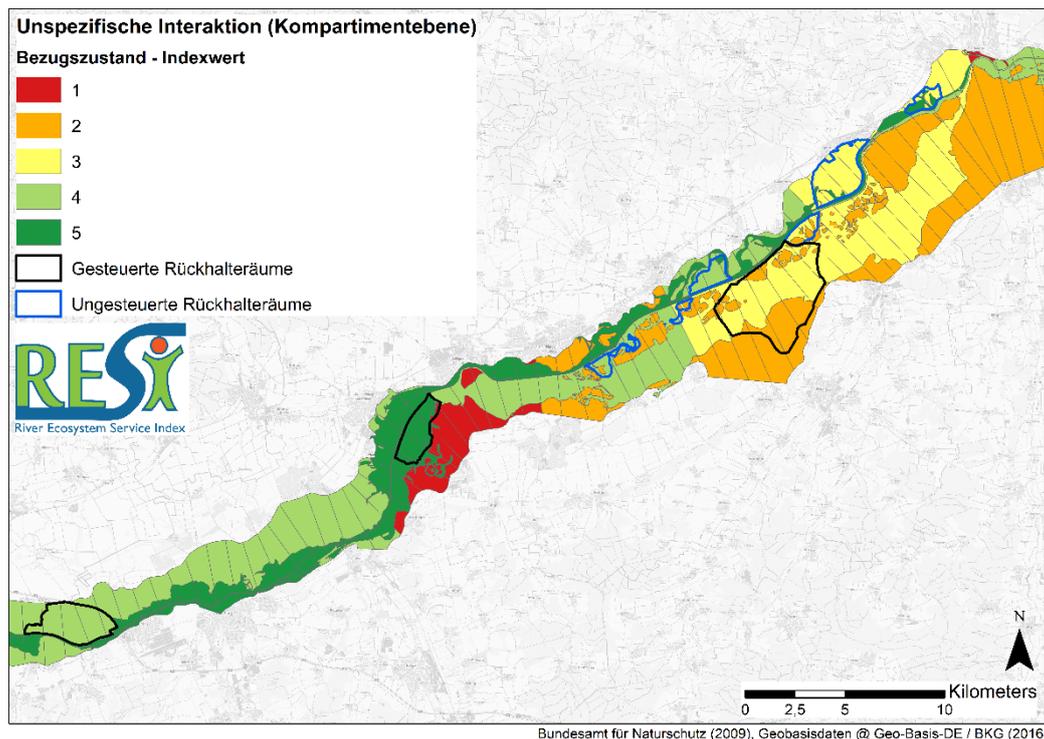


Abb. 27: Bewertung der kulturellen ÖSL unspezifische Interaktion für die einzelnen Auen-Kompartimente der Modellregion; jeweils maximale Ausdehnung der Rückhalteräume. Die ÖSL wird mit einem Indexwert von 5 = sehr hoch bis 1= gering bis nicht vorhanden dargestellt.

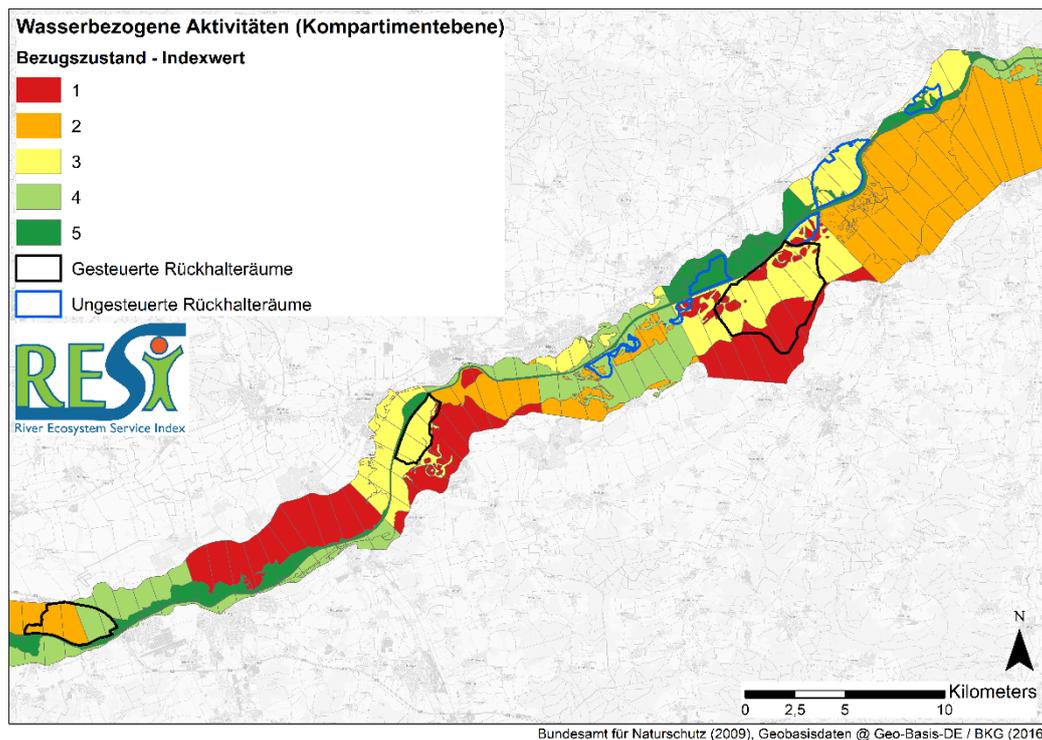


Abb.28: Bewertung der kulturellen ÖSL wasserbezogene Aktivitäten für die einzelnen Auenkompartimente der Modellregion; jeweils maximale Ausdehnung der Rückhalteräume. Die ÖSL wird mit einem Indexwert von 5 = sehr hoch bis 1= gering bis nicht vorhanden dargestellt.

3.9.2 Planungszustand 1

Auswirkungen auf die Bereitstellung der kulturellen ÖSL Landschaftsbild:

Nur ein für die ÖSL Landschaftsbild relevanter Indikator verändert sich durch den Planungszustand 1: Nadelwald wird sich zu Laubwald/Auwald entwickeln. Jedoch ist der Nadelwaldanteil derzeit 1,5 %, so dass dies für die Berechnung auf Auen-Kompartimentebene kaum relevant ist. Durch die Entwicklung von Nadelwald zu Auwald wird der Subindikator wahrgenommene Natürlichkeit des Hauptindikators Natürlichkeit leicht erhöht, während sich ein anderer Subindikator des Indikators Natürlichkeit, nämlich Abwesenheit von technischen Elementen, durch die Errichtung der Deiche und der Auslassbauwerke durch diesen Planungszustand leicht verschlechtern könnte. Beim Hauptindikator Vielfalt haben diese Veränderungen keinen nennenswerten Einfluss. Beim dritten Hauptindikator Eigenart sind Flächentypen (z. B. Wasser- oder Waldflächen) die wertgebenden Parameter, die sich aber im Planungszustand 1 nicht ändern. Die nur zeitlich begrenzte Ausbildung von Wasserflächen wird hier nicht weiter betrachtet, da ihre Erlebbarkeit oftmals auch aus Sicherheitsgründen nicht möglich ist. So werden durch den Planungszustand 1 für die Rückhalteräume keine Veränderungen hervorgerufen.

Auswirkungen auf die Bereitstellung der kulturellen ÖSL Natur- und Kulturerbe:

Die Maßnahmen des Planungszustands 1 haben keine Auswirkungen auf die Bereitstellung dieser kulturellen ÖSL, solange keine Boden-, Bau- oder Naturdenkmäler durch die häufigen Flutungen (Planungszustand 1) betroffen sind.

Auswirkungen auf die Bereitstellung der kulturellen ÖSL unspezifische Interaktion mit der Flusslandschaft

Der Planungszustand 1 hat nur temporäre Auswirkungen auf die Variable Ufer- und Gewässerverfügbarkeit, da durch die häufigen Flutungen Wasserflächen entstehen würden, die sich jedoch nicht für wasserbezogene Aktivitäten eignen. Diese Wasserflächen würden sich ebenfalls temporär negativ auf die Variable Erlebbarkeit des Raums auswirken, da die Aue in der Überflutungszeit nur eingeschränkt für die Erholung genutzt werden könnte. Da davon auszugehen ist, dass die Vielfalt des Artenspektrums durch das Szenario eher zunehmen wird, hat der Planungszustand positive Effekte auf die Variable Anzahl von überlagerten Schutzgebietskategorien. Insgesamt wird der zu erwartende Effekt des Planungszustands auf diese ÖSL positiv eingeschätzt.

Auswirkungen auf die Bereitstellung der kulturellen ÖSL wasserbezogenen Aktivitäten:

Durch die häufigen Überflutungen können an den wenigen Fließgewässern in den geplanten Rückhalteräumen auch Sand- und Kiesbänke entstehen. Aufgrund der geringen Größe der Gewässer (oftmals Gräben oder Stillgewässer) sind diese aber kaum für wasserbezogene Aktivitäten nutzbar.

3.9.3 Planungszustand 2

Auswirkungen auf die Bereitstellung der kulturellen ÖSL Landschaftsbild:

Beim Planungszustand 2 ist durch die nur sehr seltenen Flutungsereignisse nicht mit einer Veränderung der Flächenausprägungen hinsichtlich Natürlichkeit und Vielfalt zu rechnen. Die Natürlichkeit kann sich dagegen im Bereich der Deichbauten und der Ein- und Auslassbauwerke teilweise verschlechtern, auf das Auen-Kompartiment bezogen und aufgrund der geringen Bewertung des Bezugszustands wird sich dies jedoch kaum in einer Wertänderung zeigen.

Auswirkungen auf die Bereitstellung der kulturellen ÖSL Natur-und Kulturerbe:

Solange keine Boden-, Bau- oder Naturdenkmäler durch die seltenen Flutungen betroffen sind, haben die Maßnahmen keine Auswirkungen auf das Natur- und Kulturerbe.

Auswirkungen auf die Bereitstellung der kulturellen ÖSL unspezifische Interaktion mit der Flusslandschaft:

Durch die Maßnahmen des Planungszustands 2 würde sich die Vielfalt des Artenspektrums durch eine Verschlechterung der Habitatbereitstellung verringern und könnte sich somit negativ auf die Variable Anzahl von überlagerten Schutzgebietskategorien auswirken. Da aber die anderen beiden Variablen keiner Veränderung im Vergleich zum Bezugszustand unterliegen, dürfte sich die Bereitstellung der ÖSL unspezifische Interaktion mit der Flusslandschaft voraussichtlich nicht verändern.

Auswirkungen auf die Bereitstellung der kulturellen ÖSL wasserbezogenen Aktivitäten:

Die Basisvariablen wären von diesem Planungszustand nicht betroffen, es gäbe folglich keine Veränderungen.

3.9.4 Vergleich und Fazit für die kulturellen Ökosystemleistungen

In Tabelle 3 werden die zu erwartenden Auswirkungen der beiden Planungszustände auf die vier kulturellen ÖSL gegenübergestellt. Während im Planungszustand 1 durch das naturnähere Überflutungsregime mit geringen Verbesserungen beim Landschaftsbild und bei den unspezifischen und wasserbezogenen Interaktionen gerechnet werden kann, muss beim Planungszustand 2 von keiner Veränderung, teilweise aber auch von leicht negativen Veränderungen durch die teilweise massiven Deichbauten ausgegangen werden. Die temporären Effekte durch die wenige Tage dauernden Flutungen im Planungszustand 1 oder auch die länger andauernden Flutungen im Fall des Planungszustands 2 werden hier nicht weiter betrachtet.

Für die Bereitstellung von Natur- und Kulturerbe haben beide Planungszustände keine Auswirkungen, wenn durch sie kein Verlust an Bau-, Boden- oder Naturdenkmälern verursacht wird.

Tab. 3: Zusammenfassung der Auswirkungen der Planungszustände auf den Bezugszustand der Bereitstellung der kulturellen ÖSL im RESI

	PZ 1 - ungesteuerte Rückhalte	PZ 2 - ungesteuerte Rückhalte
Landschaftsbild	Kein großer Effekt, lediglich in Bereichen mit Nadelwald könnte es zu einer positiven Zunahme kommen, wenn sich dieser zu Auwald entwickeln würde.	Keine Veränderungen
Natur- und Kulturerbe	Solange keine Boden-, Bau- oder Naturdenkmäler durch die häufigen (z. B. PZ 1) oder seltenen Flutungen (PZ 2) betroffen sind, bestehen keine Auswirkungen.	
unspezifische Interaktion mit der Flusslandschaft	Temporäre Auswirkungen auf die Variable Ufer- und Gewässerverfügbarkeit → kein Nutzen für die Erholung Temporär negative Auswirkungen auf die Basisvariable Erlebbarkeit des Raums Zunahme der Basisvariable „Anzahl von überlagerten Schutzgebietskategorien“	Keine Veränderungen Evtl. Abnahme der Basisvariable „Anzahl von überlagerten Schutzgebietskategorien“
wasserbezogene Aktivitäten	Leichte positive Auswirkungen auf die Basisvariable Sand- und Kiesbank möglich Temporär negative Effekte auf die tatsächliche Nutzung wie auch schon im Bezugszustand	Keine Veränderungen

4 Synthese der Bewertungen und Veränderungen der Ökosystemleistungen im Planungsraum

Zusammenfassend werden für den Bezugszustand in dem gesamten Donauabschnitt auf Fluss-Auen-Segmentebene folgende Bandbreiten von ÖSL-Einzelbewertungen erreicht: Klassen 1-5 für P-Retention, Niedrigwasserregulation, Bodenbildung und Habitatbereitstellung, Klassen 1-4 für landwirtschaftliches Ertragspotenzial, Landschaftsbild und Natur- und Kulturerbe, Klassen 2-5 für die kulturellen ÖSL unspezifische Interaktion und wasserbezogene Aktivitäten, Klassen 3-5 für N-Retention sowie Klassen 1-3 für Hochwasserregulation. Während die Bewertungen des landwirtschaftlichen Ertragspotenzials, der Habitatbereitstellung und der kulturellen ÖSL sehr heterogen über das Gebiet verteilt sind, treten für die Hochwasserregulation größere Gebiete mit gleicher Bewertung in insgesamt nur drei Klassen auf. Eine sehr homogene Bewertung über das gesamte Gebiet hinweg zeigen N- und P-Retention, Sedimentregulation und Kühlwirkung.

Im Bezugszustand für den Donauabschnitt (Abb. 29) unterscheiden sich die einzelnen Segmente bereits teilweise erheblich hinsichtlich der Gesamtsumme der verfügbaren ÖSL. Rechnerisch be-

trägt die mögliche Höchstsumme über alle 13 erfassten ÖSL 65. In der Praxis zeigen sich Wechselwirkungen (Trade-Offs) zwischen den ÖSL, da diese z. B. räumlich in direkter Konkurrenz stehen oder auf den gleichen Treiber reagieren. Daher erreicht im betrachteten Donauabschnitt die Summe aller ÖSL nur einen Höchstwert von 50 (entsprechend einer mittleren ÖSL-Bewertung von RESI = 3,9) im Segment zwischen Lauingen und Dillingen (DON-303000), das bereits als sehr hoch einzustufen ist. Hohe Werte werden auch bei Höchstädt (zwei Segmente) und bei Buttenwiesen erreicht.

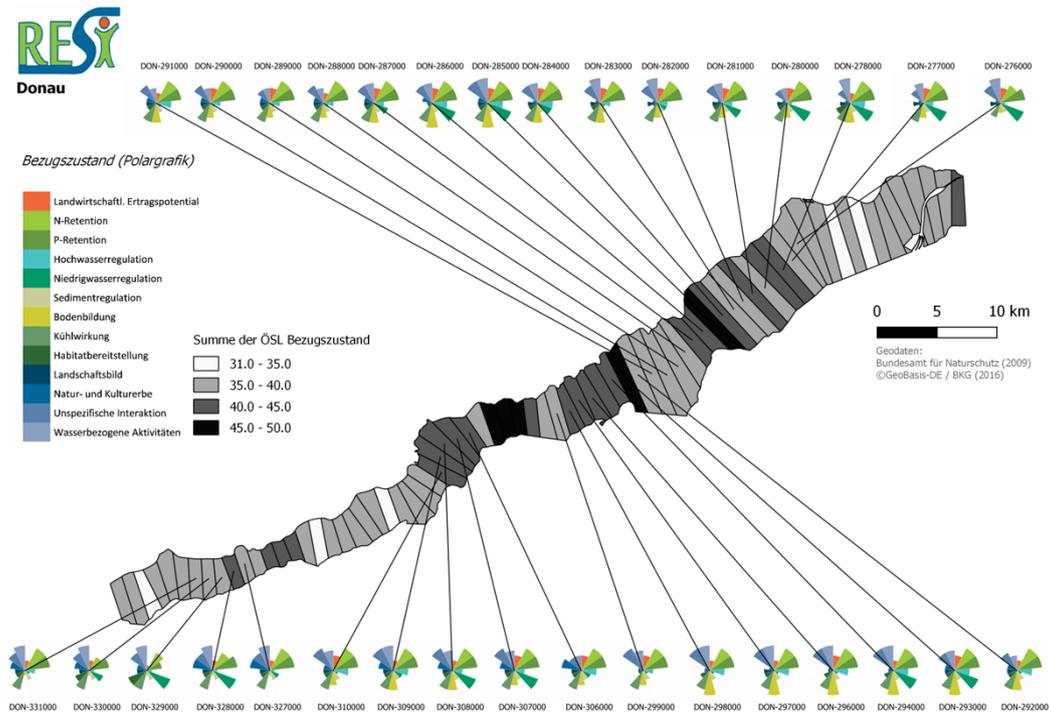


Abb. 29: Synthese für den Bezugszustand des Donauabschnittes. Die Polargrafiken zeigen jeweils die Werte für die 13 ÖSL im Bereich von 1-5. Die Fluss-Auen-Segmente zeigen die Gesamtsumme der ÖSL Bewertung.

Für den Planungszustand 1 (Abb. 30) ergeben sich insgesamt Änderungen des RESI für 6 Segmente, die von einer Verbesserung von +1 bis +9 reichen. Dabei ergeben sich keine Veränderungen der Bewertung für das landwirtschaftliche Ertragspotenzial, Niedrigwasserregulation, Sedimentregulation, Kühlwirkung und die kulturellen ÖSL (da die Methoden nicht sensibel genug waren), während es für die Habitatbereitstellung, die N- und P-Retention sowie die Hochwasserregulation und die Bodenbildung infolge der häufigeren Flutungen teilweise zu einem Anstieg der Werte kam. So verbessert sich beispielsweise in der Region Helmeringen im Planungszustand 1 die Habitatbereitstellung um 1 (DON-309000) oder im Segment DON-327000 die Hochwasserregulation um 2 Wertstufen. Hervorzuheben ist der gesteuerte Rückhalteraum Leipheim (DON-327000 bis 331000). Hier zeigen sich parallele Verbesserungen in den ÖSL Habitatbereitstellung, N- und P-Retention, Bodenbildung und Hochwasserregulation. Für zwei Segmente (DON-328000, DON-329000) werden in diesem Planungszustand dadurch neue ÖSL-Hotspots erreicht.

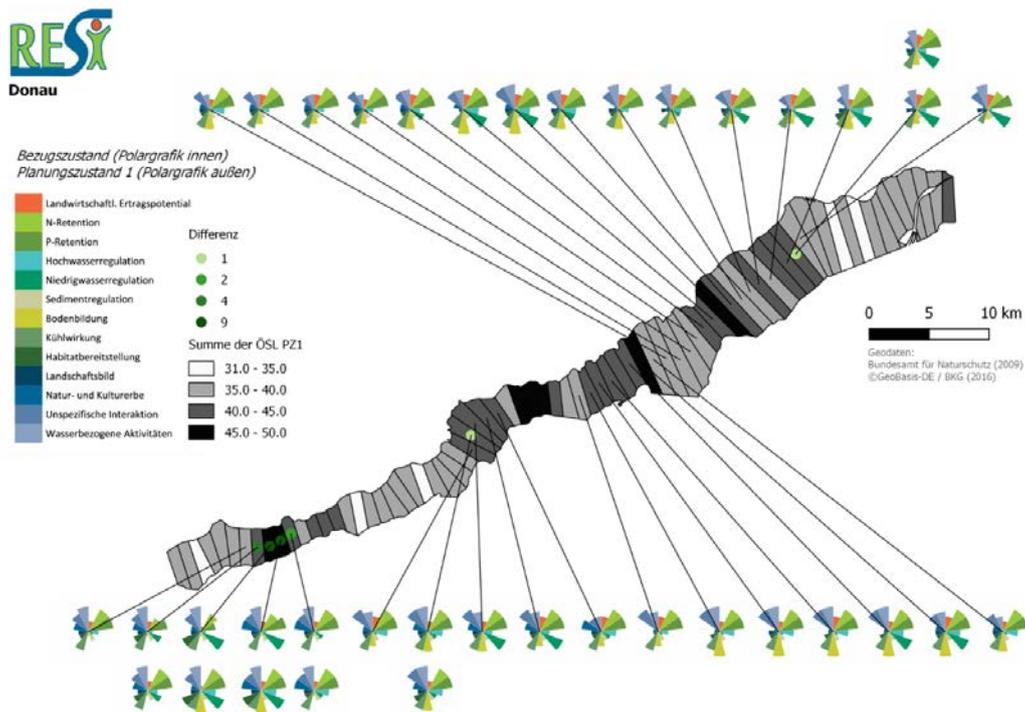


Abb. 30: Synthese für den Vergleich von Planungszustand 1 und Bezugszustand. Die Polargrafiken zeigen jeweils die Werte für die 13 ÖSL im Bereich von 5-1. Die Segmente zeigen die Gesamtsumme der ÖSL Bewertung. Die Differenz wird über Punkte (1 bis 9 positiv siehe Legende) auf den Segmenten illustriert.

Da es auf der Segmentebene zu keiner Verschlechterung des RESI kam, werden die im Planungszustand 1 angenommenen Flutungen auf überwiegend Wald- und Wasserflächen, die mehrmals im Jahr stattfinden sollen, somit insgesamt als positiv für die Bereitstellung von ÖSL bewertet (siehe Beschreibung der Planungszustände Kap. 1.2). Allerdings haben diese Verbesserungen auf kleinen Flächen oftmals nur einen geringen oder gar keinen Einfluss auf den Gesamtwert pro Segment, d.h. es kommt nicht immer zu einer höheren Bewertungsstufe für das gesamte Segment. Die Flutungen für die Polder Leipheim und Helmeringen zeigen aber deutlich positive Effekte. Neben einer Steigerung der Hochwasserregulation verbessern häufige Flutungen die Bodenbildung und es können sich atypischere Biotope entwickeln, was sich in der Steigerung der Habitatbereitstellung widerspiegelt. Eine Zunahme der Vielfalt des Artenspektrums hätte ebenfalls einen positiven Einfluss auf die kulturelle ÖSL „unspezifische Interaktion mit der Flusslandschaft“, der hier aber aus methodischen Gründen nicht quantifizierbar war. Auch die Retentionsleistung für N und P steigt durch häufigere Flutungen weiter an, diese ist aber bereits im Bezugszustand auf einem sehr hohen Niveau. Durch zusätzliche strukturelle Maßnahmen könnten hier auch weitere Verbesserungen in der Niedrigwasserregulation, Sedimentregulation und Kühlwirkung erreicht werden.

Für den Planungszustand 2 (Abb. 31) ergaben sich insgesamt Änderungen für 16 Segmente, die von einer Verschlechterung um -2 bis hin zu einer Verbesserung um +2 gegenüber dem Bezugszustand reichen. Für 2 Segmente (DON-280000, 282000) ergab sich nur eine Verschlechterung in Bezug auf das landwirtschaftliche Ertragspotential, da angenommen werden kann, dass es im Hochwasserfall zu Ernteaufschlägen kommt. Allerdings sind diese Werte nicht als dauerhafte Veränderungen des landwirtschaftlichen Ertragspotenzials zu interpretieren, sondern lediglich temporär als eine Angabe von im (extrem seltenen) Hochwasserfall auftretenden Schäden. Für die ÖSL

Habitatbereitstellung kommt es teilweise in den gesteuerten Rückhalteräumen zu einer Verschlechterung (DON-284000, 285000). Gleichzeitig gibt es auch Segmente mit rein positiven Einflüssen des Planungszustands 2 (DON-277000, DON-327000). Die Bewertung der Sedimentregulation, Niedrigwasserregulation und der N- und P-Retention reagiert nicht auf die Maßnahmen des Planungszustands 2. Neben diesen eindeutigen Tendenzen gibt es für den Planungszustand 2 insgesamt 8 Segmente, in denen sich sowohl negative als auch positive Effekte zeigen (Abb. 31, weiße Punkte). Im Bereich Leipheim (DON-328000 bis 330000) zeigen sich Verschlechterungen der ÖSL Habitatbereitstellung und des landwirtschaftlichen Ertragspotenzials parallel zu einer deutlichen Verbesserung der Hochwasserregulation und der Bodenbildung.

Insgesamt sind die sehr viel größeren Flächen im Planungszustand 2 als positiv einzuschätzen, da diese eine merkliche Veränderung der Funktionstüchtigkeit der Landschaft zulassen würden, was sich im Falle der ÖSL Hochwasserregulation bereits zeigt. Allerdings lassen die sehr seltenen Flutungen kaum eine Anpassung von Biotopen erwarten, was sich negativer auf die Habitatbereitstellung auswirkt. Im Bereich Neugeschüttwörth (DON-287000 bis 290000) zeigten sich Verschlechterungen des landwirtschaftlichen Ertragspotenzials und der Bodenbildung bei gleichzeitiger Verbesserung der Hochwasserregulation. Der gesteuerte Rückhalteraum Neugeschüttwörth liegt bereits im Riedstrom und wird daher häufiger geflutet. Da beide Planungszustände keine strukturellen Maßnahmen oder Landnutzungsänderungen mit einbeziehen, gab es keine Veränderungen hinsichtlich der Niedrigwasserregulation, Sedimentregulation und Kühlwirkung.

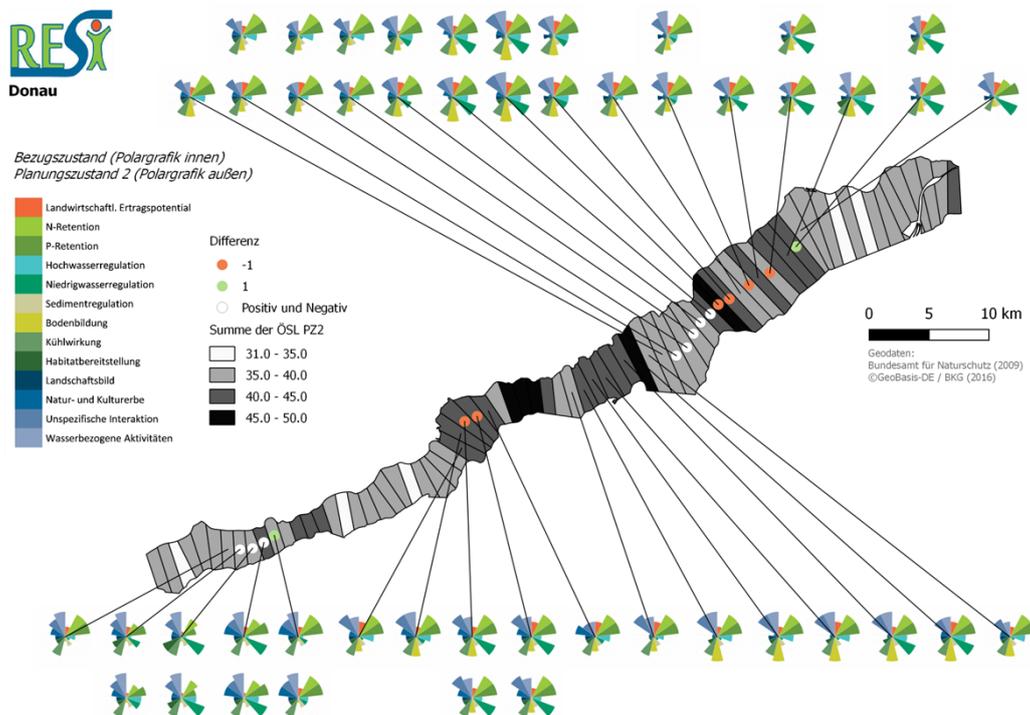


Abb. 31: Synthese für den Vergleich von Planungszustand 2 und Bezugszustand. Die Polargrafiken zeigen jeweils die Werte für die 13 ÖSL im Bereich von -1 bis 1. Die Segmente zeigen die Gesamtsumme der ÖSL Bewertung. Die Differenz wird über Punkte (-1 negativ bis 1 positiv, sowie sowohl positiv als auch negativ in Weiß) auf den Segmenten illustriert.

Die Summe der Veränderungen in allen überplanten Segmenten hinsichtlich der Bewertungen einzelner Ökosystemleistungen zeigt – wie oben im Einzelnen ausgeführt – für den Planungszustand 1 ausschließlich positive Veränderungen auf Segmentebene (Abb. 32). Einzig das landwirtschaftliche Ertragspotential (Kulturpflanzen) erfährt durch die Maßnahmen keine Änderung zum jetzigen Zustand.

Ergebnisse: Hochwasserschutzmaßnahmen an der Donau

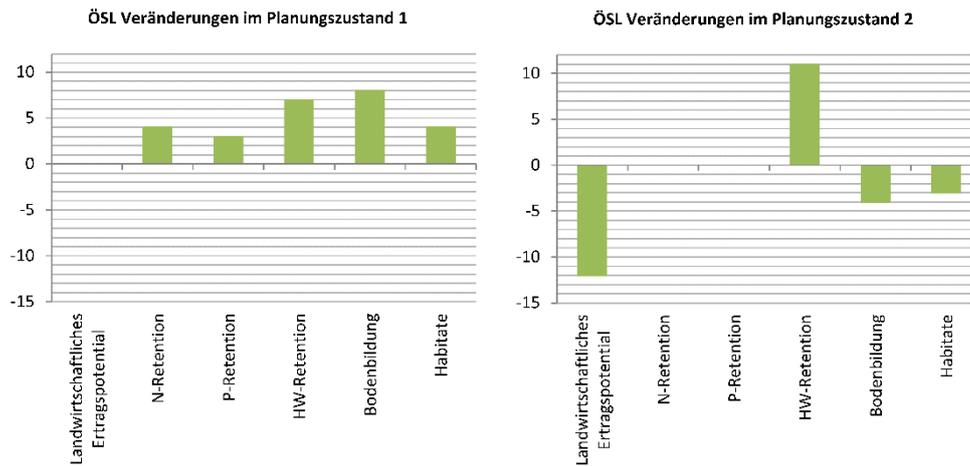


Abb. 32: Zusammenfassung der über alle Segmente summierten Veränderungen der Bewertungen einzelner Ökosystemleistungen im Planungsgebiet für den Planungsstatus 1 (links) und den Planungsstatus 2 (rechts).

Der Planungsstatus 2 zeigt eine demgegenüber noch höhere Hochwasserregulation, aber deutliche Einbußen beim landwirtschaftlichen Ertragspotenzial sowie eine Verschlechterung der Habitatbereitstellung und der Bodenbildung. Die regulativen ÖSL N-Retention und P-Retention verändern sich im Planungsstatus 2 nicht gegenüber dem Bezugszustand. Der Zuwachs der ÖSL Hochwasserregulation würde somit mit deutlichen Verlusten bei anderen Ökosystemleistungen einhergehen. Dabei könnten die Verluste an landwirtschaftlichem Ertragspotenzial prinzipiell durch Nutzung anderer Flächen außerhalb der Aue kompensiert werden. Im Gegensatz dazu können auentypische Habitats gar nicht und Stickstoff- und Phosphorrückhalt nur mit erheblichem Aufwand außerhalb von Flussauen bereitgestellt werden, so dass diese Verluste nicht oder schlecht ausgeglichen werden können. Hier zeigt sich anschaulich, dass Maßnahmen zur Optimierung einzelner ÖSL wie der Hochwasserregulation entweder so gestaltet werden können, dass es zu Synergien mit anderen ÖSL kommt, oder aber in einer Weise, die andere ÖSL deutlich beeinträchtigt. Durch die integrierte Darstellung über den RESI können verschiedene Planungsstatus fachübergreifend verglichen werden, um auf dieser Grundlage eine nachhaltige Strategie zu entwickeln, die Synergien fördert.

In dieser Situation können landschaftsplanerische Entscheidungsprinzipien herangezogen werden, wonach solchen Landnutzungen der Vorzug gegeben werden sollte, die solche Ökosystemleistungen bereitstellen oder durch Synergien fördern, welche fast ausschließlich nur in Auengebieten verfügbar sind, wie etwa naturnaher Rückhalt von Hochwasser und Düngestoffen (Stickstoff und Phosphor) oder die Bereitstellung auentypischer Habitats.

5 Literaturverzeichnis

- Brunotte, E., Dister, E., Günther-Diringer, D., Koenzen, U. & Mehl, D. (2009): Flussauen in Deutschland – Erfassung und Bewertung des Auenzustandes. Naturschutz und Biologische Vielfalt 87, 244 S.
- Dehnhardt, A., Rayanov, M., Hartje, V., Sander, A. Horlitz, T. & Benner, T. (2020): Quantifizierung und Bewertung versorgender Ökosystemleistungen. In diesem Buch.
- Fischer-Bedtke, C., Rumm, A., Damm, C., Foeckler, F., Gelhaus, M., Gerstner, L., Kasperidus, H. D., Stammel, B. & Scholz, M. (2020): Quantifizierung und Bewertung der Ökosystemleistung Habitatbereitstellung –Detailansatz für die Aue. In diesem Buch.
- LfU (Bayerisches Landesamt für Umwelt) (2016): Biotopkartierung Bayern. – www.lfu.bayern.de
- Mehl, D., Hoffmann, T. G. & Iwanowski, J. (2020): Quantifizierung und Bewertung regulativer Ökosystemleistungen: Quantifizierung und Bewertung regulativer Ökosystemleistungen: Rückhalt von Treibhausgasen/Kohlenstoffsequestrierung, Hochwasser-, Niedrigwasser- und Sedimentregulation, Bodenbildung in Auen sowie Kühlwirkung der Gewässer und terrestrischen Böden. In diesem Buch.
- Ritz, S., Linnemann, K., Becker, A., Kasperidus, H. D., Scholz, M., Schulz-Zunkel, Venohr, M., Wildner, M. & Fischer, H. (2020): Quantifizierung und Bewertung regulativer Ökosystemleistungen: Retention. In diesem Buch.
- Stahl, H., Zacharias, S. & Röhricht, C. (2005). Veränderte Landnutzungssysteme in hochwassergefährdeten Gebieten. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 12, 10.Jg. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Pflanzliche Erzeugung, Dresden.
- Thiele, J., Albert, C. & von Haaren, C. (2020): Erfassung und Bewertung kultureller Ökosystemleistungen von Flusslandschaften. In diesem Buch.