

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., FOECKLER, 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., FOECKLER, F., GELHAUS, M., HARTJE, V., HOFFMANN, T. G., KASPERIDUS, H. D., MEHL, D., PUSCH, M., RITZ, S., RUMM, A., SCHULZ-ZUN- KEL, 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 Treibhaus- gasen / 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., FOECKLER, 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., FOECKLER, 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., FOECKLER, 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., FOECKLER, 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. FOECKLER	

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 Quantifizierung und Bewertung von Ökosystemleistungen vor und nach der Renaturierung der Nebel

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

Inhaltsverzeichnis

1	Modellregion	274
2	Durchgeführte Renaturierungsmaßnahmen	277
3	Wirkungen auf regulative Ökosystemleistungen.....	280
3.1	Systematik und Vorgehen	280
3.2	Datengrundlagen	281
3.3	Hochwasserregulation.....	282
3.4	Niedrigwasserregulation.....	284
3.5	Sedimentregulation	284
3.6	Bodenbildung in Auen	286
3.7	Rückhalt von Treibhausgasen/Kohlenstoffsequestrierung.....	287
3.8	Kühlwirkung (Gewässer und terrestrische Böden)	288
3.9	Habitatbereitstellung	289
4	Fazit.....	290
5	Literaturverzeichnis.....	291

1 Modellregion¹

Der mehr als 70 km lange Tieflandfluss Nebel stellt mit seinen Niederungen bzw. Auen ein RESI-Modellgebiet dar. Das 998 km² umfassende und überwiegend landwirtschaftlich genutzte Einzugsgebiet der Nebel liegt zentral im mittleren Mecklenburg. Größere Städte an der Nebel sind Güstrow und Bützow. Bei letzterer mündet die Nebel in die Warnow, die wiederum bei Rostock-Warnemünde die Ostsee erreicht (Abb. 1). Die mittlere Jahrestemperatur für die Deutsche Wetterdienst (DWD)-Station Laage (knapp außerhalb und nördlich des Einzugsgebietes) liegt bei 8,7° C; der mittlere Jahresniederschlag beträgt für die im Osten des Nebelgebietes gelegene DWD-Station Lalendorf 609 mm (Zeitreihe 1981-2010, DWD 2017).

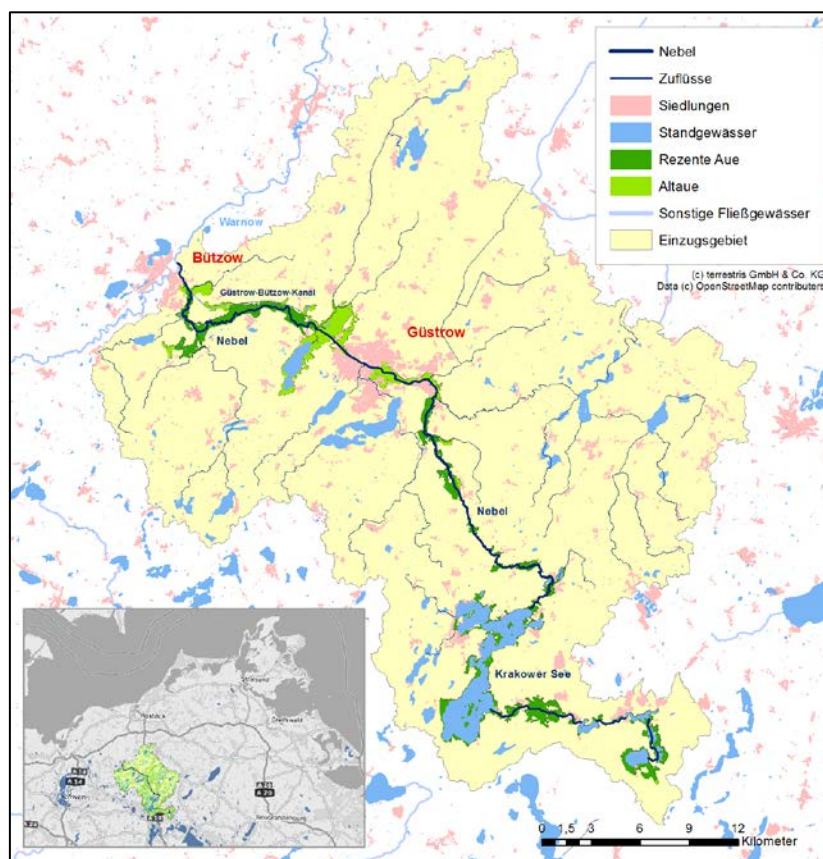


Abb. 1: Einzugsgebiet der Nebel und Lage in Mecklenburg-Vorpommern (aus Mehl et al. 2018)

Die Nebel ist ein ausgesprochen vielgestaltiger Tieflandfluss, der unterschiedliche, für Deutschlands Nordosten typische Naturräume durchfließt. Besonders hervorzuheben sind die Strecken mittelgebirgsartiger, schmaler Durchbruchstäler in Endmoränenlagen. In den z. T. ausgedehnten Niederungen dominieren dagegen Versumpfungs-, Verlandungs- und Durchströmungsmoore (Mehl & Thiele 1998, 2018). Unter dem Einfluss der landwirtschaftlichen Nutzung und der dafür vorgenommenen künstlichen Entwässerung der Moore erfolgte auf dem Gros der Flächen eine Degradation der Torfe (Mehl et al. 1995). Die Nebel durchfließt im Oberlauf mehrere Seen. Darunter ist der Krakower See mit einer Seefläche von rund 15 km² der Größte. Die Auenflächen an der Nebel umfassen entsprechend der Methodik von Brunotte et al. (2009) 22,9 km² rezente Aue sowie 13,2 km² Altaue.

¹ Die nachfolgenden textlichen Darstellungen sind in Teilen Mehl et al. (2018) entlehnt.

Entlang der Nebel und auch an den integrierten Seen erstrecken sich flächenhaft große Schutzgebiete des Natura-2000-Netzes (Special Areas of Conservation: SAC, Special Protection Area: SPA, Abb. 2). Bedeutsamste Gebiete sind das sich entlang der gesamten Nebel erstreckende FFH-Gebiet „Nebeltal mit Zuflüssen, verbundenen Seen und angrenzenden Wäldern“ (DE 2239-301), das für den Oberlauf und den Krakower See bedeutsame SPA-Gebiet „Nossentiner/Schwinzer Heide“ (DE 2239-402 (nahezu deckungsgleich mit dem gleichnamigen Naturpark) sowie das SPA-Gebiet „Warnowtal, Sternberger Seen und untere Mildenitz“ im Nebelunterlauf (DE 2137-401).

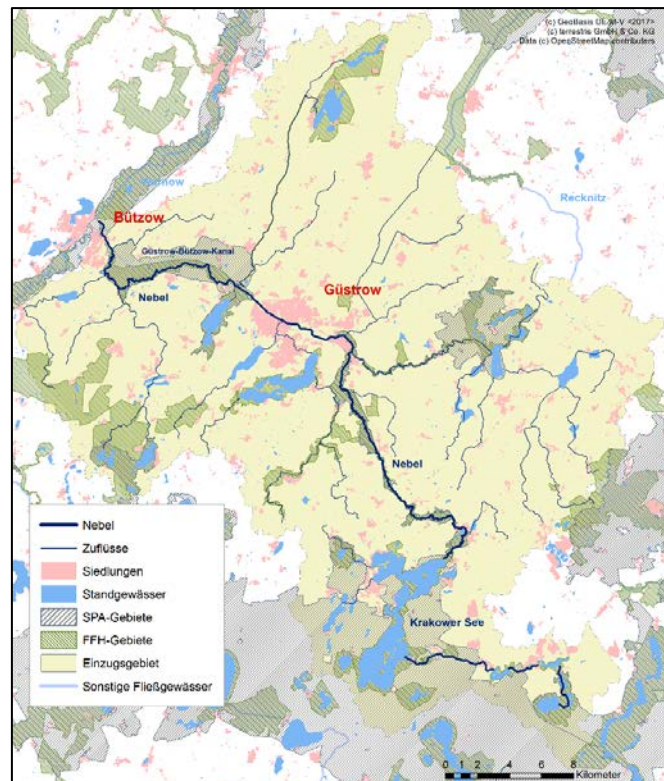


Abb. 2: Natura-2000-Gebietskulisse im Einzugsgebiet der Nebel

Land- und spezifische Gewässernutzungen haben über die Jahrhunderte an der Nebel zu vielfältigen und tiefgreifenden Veränderungen geführt. Hydromorphologisch bedeutsam sind vor allem Mühlenstau, Wehre, die Anlage des Güstrow-Bützow-Kanals als Wasserstraße sowie der Gewässerausbau zur Vorflutoptimierung und Flächenentwässerung (Begradigung, Vertiefung hydraulisch optimierte Profile), der auch ein verstärktes Gewässerunterhaltungserfordernis nach sich zieht (Tab. 1).

Vor allem die gefällereichen Fließstrecken in den Durchbruchstätern der Nebel blieben aber weitestgehend von umfangreichen Umgestaltungsmaßnahmen verschont, so dass die Nebel selbst zur politischen Wende 1989/1990 noch eines der natürlichsten und strukturell vielfältigsten Gewässer Mecklenburg-Vorpommerns war. Das zeigt sich u. a. am Artenreichtum der unterschiedlichen Lebensräume. Bereits in den 1990-er Jahren konnten 23 Fisch- und Rundmaularten nachgewiesen werden, darunter Steinbeißer, Bauchneunauge, Bachforelle, Hecht und Quappe (z. B. Winkler et al. 1995). Auch lassen sich Referenzbiozönosen bei den Wasserwirbellosen (z. B. Berlin & Mehl 1997) und den Niederungsartengruppen belegen (z. B. Berlin & Thiele 2012). Zudem werden in zahlreichen Bereichen der Nebel die z. T. hochgradig geschützten Taxa der Windelschnecken (u.a. *Vertigo moulinsiana*) und Bachmuscheln (u. a. *Unio crassus*) in reproduzierenden Beständen gefunden.

Tab. 1: Zeittafel wichtiger dokumentierter (früherer, nutzungsorientierter) 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 Fischteiche Dobbin
Ende der 1960er Jahre	Ausbau der Nebel zum Vorfluter für den Au Graben
Anfang der 1970er 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 Zeppelin 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

2 Durchgeführte Renaturierungsmaßnahmen²

Bereits Anfang der 1990-er Jahre wurden auf der damaligen rechtlichen Grundlage von Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) und dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) Maßnahmen zur Verbesserung der ökologischen Situation eingeleitet. Diese sind besonders seit dem Inkrafttreten von der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) im Jahr 2000 und einer nachhaltigeren Verfolgung der Ziele von Fauna-Flora-Richtlinie (FFH-RL) und der Vogelschutzrichtlinie (VSchRL) auch in der Umsetzung systematisch angegangen worden. Die explizit auf stoffliche Belastungsreduktion ausgerichteten Vorhaben, z. B. Kläranlagensanierung und -ausbau, sollen hier nicht betrachtet werden; vielmehr stehen hydromorphologisch orientierte Maßnahmen im Vordergrund (Abb. 3 und 4, Tab. 2).

Die Renaturierungsmaßnahmen an der Nebel wurden konzeptionell und gutachterlich übergreifend vorbereitet und erst danach planerisch und baulich umgesetzt. Zentraler Ausgangspunkt waren Gewässerentwicklungspläne für die beiden Gewässerteile ober- und unterhalb des Krakower Sees (BIOTA 1994, 1995) sowie ein etwas später erarbeiteter Pflege- und Entwicklungsplan für das Naturschutzgebiet „Nebetal“ (BIOTA 1998). Seit 1994 wurden mehr als 7 Mio. Euro Fördermittel von EU, Bund und Land für die Maßnahmenplanung und vor allem für die -umsetzung an der Nebel eingesetzt (LU 2015).

Alle Konzeptionen und Planungen integrieren grundsätzlich Entwässerungs- und Bewirtschaftungsfragestellungen durch spezifische Lösungen, wie

- Konsequentes Anwenden hydrologischer und hydraulischer Modellierungstechniken zur Wirkungsabschätzung von Maßnahmen,
- Begrenzung der hydrologischen Auswirkungen auf die prognostizierten Auswirkungsräume,
- Anpassung einmündender Grabensysteme und Dränsammler und
- Schaffung von Grenzgräben und neuen Ent-/Bewässerungslösungen (z. B. Einstaumöglichkeiten in Gräben zur Optimierung des Wasserrückhaltes in Mooren).

Wegen zahlreicher geschützter Lebensräume und Arten, gerade in Niedermoorbereichen, bedurfte es häufig einer intensiven naturschutzfachlichen Betreuung (Umsetzen von Arten, Kontrolle von Sedimentdrift, ökologische Baubegleitung usw.), s. hierzu Thiele et al. (2014).

Betroffener Landeigentümer und -nutzer wurden von Anfang an kooperativ beteiligt. Um die Flächenverfügbarkeit abzusichern, wurde bevorzugt auf die Instrumente der integrierten Landentwicklung und der Bodenordnung gesetzt (Mehl & Bittl 2005, Mehl et al. 2008, 2011). Insofern erfolgten viele Genehmigungen auf Grundlage des Landwirtschaftsanpassungsgesetzes (LwAnpG) und des Flurbereinigungsgesetzes (FlurbG). Das konzertierte und letztlich sehr erfolgreiche Zusammenwirken von Wasserwirtschaftsverwaltung und Flurneuordnungsbehörde bildete somit eine zentrale Säule der Nebel-Renaturierung (Bittl & Kolbow 2014).

² Die nachfolgenden textlichen Darstellungen sind in Teilen Mehl et al. (2018) entlehnt.

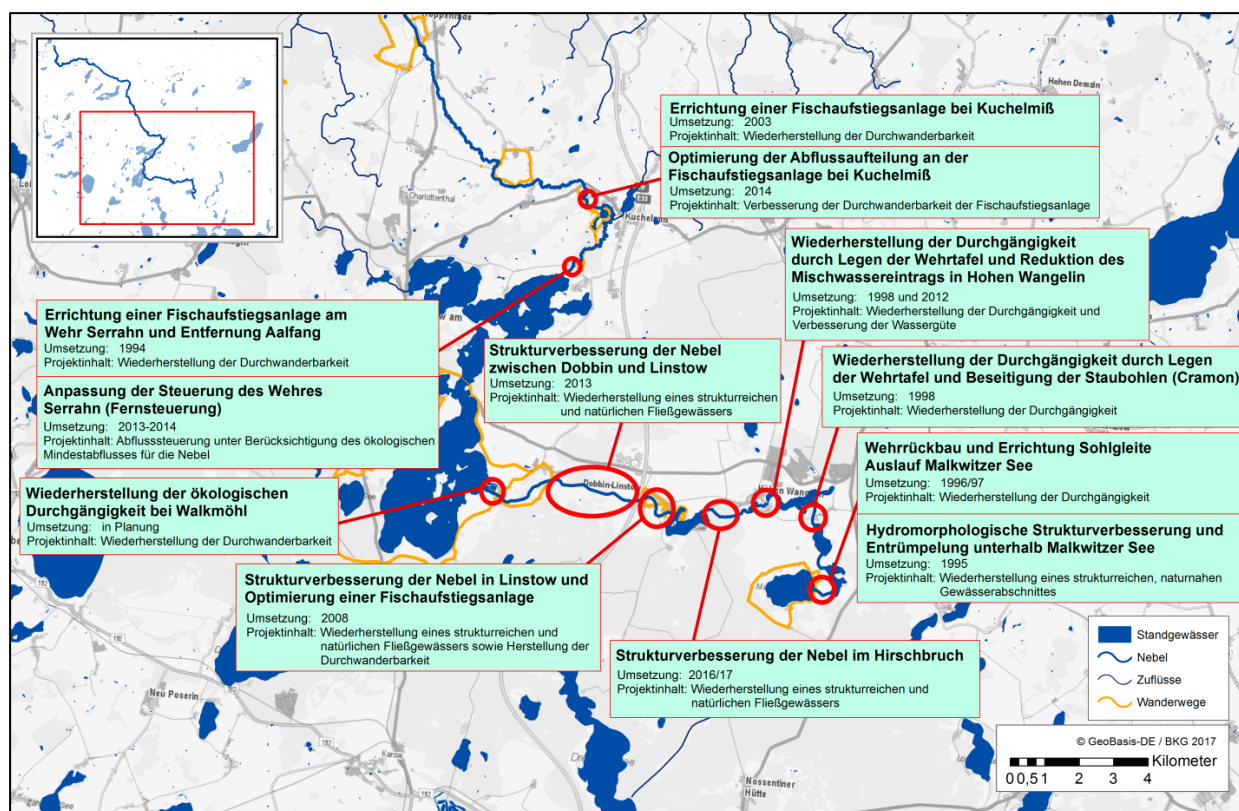


Abb. 3: Umgesetzte Renaturierungsvorhaben an der oberen Nebel, aus Mehl et al. 2018

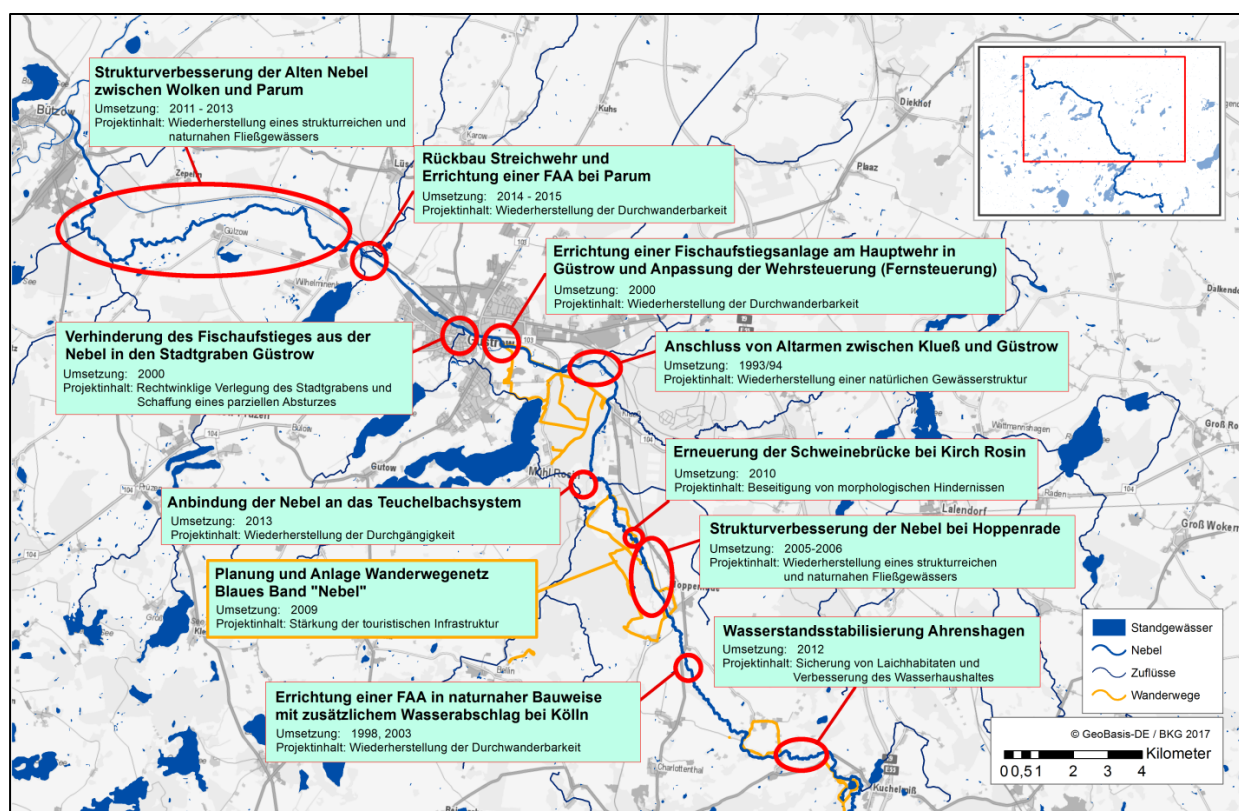


Abb. 4: Umgesetzte Renaturierungsvorhaben an der unteren Nebel, aus Mehl et al. 2018

Tab. 2: Kennzeichen ausgewählter Einzelvorhaben an der Nebel, aus: Mehl et al. (2018)

Maßnahmenbereich Umsetzungszeitraum	Maßnahmenumfang und -ergebnisse	Kosten
Nebel bei Hoppenrade 2005 bis 2006	• Verlegung der Nebel in ein neues, naturnahes Bett mit wechselnden Breiten und Tiefen, naturraumtypische Lauform (stark schwingend) • Laufverlängerung von 1,5 km auf 2,5 km in diesem Gewässerabschnitt • 50 bis 150 m breiter Entwicklungskorridor einschließlich einer 25 bis 70 m breiten Wasserwechselzone (insgesamt ca. 20 ha)	ca. 300.000 € Baukosten, integriert in ein laufendes Bodenordnungsverfahren nach LwAnpG
Nebel im Abschnitt Linstow-Dobbin 2012 bis 2013	• Neuprofilierung des zuvor geraden Nebellaufes auf 2,5 km Länge als mäßig geschwungenes Gewässer inkl. Einbau von Totholz, dabei Schaffung typspezifischer Breiten- und Tiefenvarianz • 7 bis 10 m breite Wasserwechselzone auf Höhe des Mittelwasserstandes • Durchgehender, 40 m breiter Entwicklungskorridor; hier Etablierung natürlicher Vegetation, keine Bewirtschaftung (insgesamt ca. 10 ha) • abschnittsweise Initialbepflanzung (als Abgrenzung Korridor – Nutzfläche)	ca. 340.000 € Baukosten, integriert in zwei laufende Bodenordnungsverfahren nach LwAnpG
Alte Nebel 2011 bis 2013 Errichtung Fischaufstiegsanlage bei Parum 2014 bis 2015	• Hydrologische Bevorteilung durch deutlich erhöhten Durchfluss und weitgehend unregelmäßige hydrologische Dynamik (realisiert über Errichtung einer entsprechend konzipierten neuen Fischaufstiegsanlage; im Güstrow-Bützow-Kanal jetzt nur noch Mindestwasserführung) • Mindestens 45 m breite Wasserwechselzone auf Höhe des Mittelwasserstandes und engerer Entwicklungskorridor; hier Etablierung natürlicher Vegetation, keine Bewirtschaftung (insgesamt ca. 100 ha) • Weiterer Entwicklungskorridor auf ca. 300 ha Fläche mit Erhöhung der Grundwasserstände im Moorkörper und entsprechender Anpassung der Grünlandnutzungsintensität • Altarmanschlüsse, Laufverlängerung von vormals 14,0 km auf 15,4 km; flache, strukturierte und unbefestigte Ufer	ca. 1.500.000 € Baukosten Alte Nebel ca. 500.000 € Kosten für ein Flurbereinigungsverfahren nach FlurbG ca. 1.700.000 € Baukosten Fischaufstiegsanlage

3 Wirkungen auf regulative Ökosystemleistungen

3.1 Systematik und Vorgehen

Mit Hilfe der oben dargestellten Ökosystemleistung (ÖSL)-Bewertungsansätze erfolgten Bewertungen der ausgewählten regulativen Ökosystemleistungen (1) Hochwasserregulation (Kap. 3.3), (2) Niedrigwasserregulation (Kap. 3.4), (3) Sedimentregulation (Kap. 3.5), (4) Bodenbildung in Auen (Kap. 3.6), (5) Rückhalt von Treibhausgasen bzw. Kohlenstoffsequestrierung (Kap. 3.7), (6) Kühlwirkung (Gewässer und Auenböden) (Kap. 3.8) und (7) Habitatbereitstellung (Kap. 3.9). Bei Eignung wurde auch eine Monetarisierung durchgeführt (vgl. Mehl et al. 2018). Für die Vergleiche werden aktuelle sowie Daten des Zeitraumes Anfang der 1990-er Jahre für einen historischen Vergleich genutzt. Es kann gezeigt werden, dass der Nutzen für den Menschen und somit die gesamtgesellschaftlichen Vorteile der Gewässerrenaturierung erheblich weiter zu fassen sind, als es eine singuläre Betrachtung ökologischer Kriterien erwarten ließe.

Eine gute und für die Nebel vollständige Vergleichsmöglichkeit des morphologischen Zustandes vor und nach den Renaturierungsmaßnahmen bietet auch die Fließgewässerstrukturgütekartierung, da durch BIOTA (1994) bereits seinerzeit mit einem annähernd der heutigen Methodik entsprechenden Parametersatz kartiert wurde und auch die Auswertung als adäquat angesehen werden kann (u.a. bereits 5-stufige Klassifizierungsskala wie bei der WRRL). Um eine Vergleichsbasis zu erhalten, wurde im Jahr 2016 die Nebel mit dieser Methodik neu kartiert (Abb. 5).

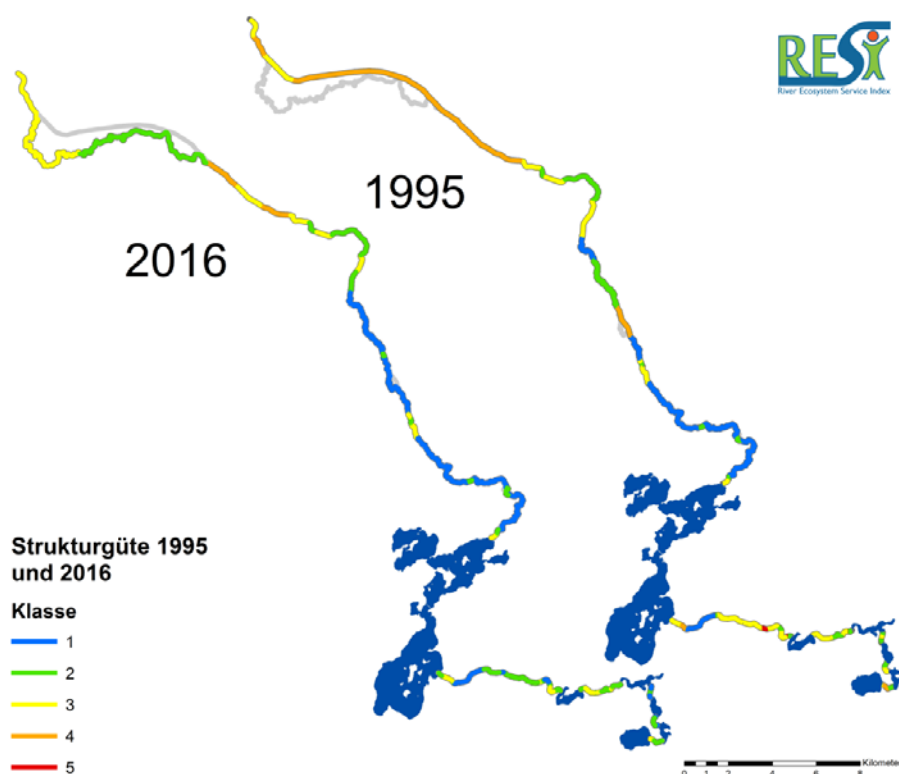


Abb. 5: Klassifizierung der Fließgewässerstruktur der Nebel auf Grundlage der Daten und Methodik von BIOTA (1994, 1995); Vergleich der Jahre 1995 und 2016 (aus: Mehl et al. 2018)

Hiernach zeigt sich infolge der Renaturierung auf vielen Teilstrecken eine deutliche Verbesserung des morphologischen Zustandes. Von im Jahr 1995 ca. 46 % der Gewässerstrecke mit sehr guter und guter Gesamtklassifizierung verändert sich das Ergebnis im Jahr 2016 auf ca. 68 %, was einer Zunahme von fast 50 % der Fließstrecke entspricht. Am deutlichsten bemerkbar machen sich die Veränderungen in den Klassifizierungen der Sohle (Klasse 1 und 2 in 1995: ca. 42 %, in 2016: 64 %) und des Ufers (Klasse 1 und 2 in 1995: ca. 44 %, in 2016: 65 %). Wegen der langen Entwicklungszeit standorttypischer Landvegetation ist das Ergebnis für das Kompartiment „Land“ (noch) nicht so deutlich.

Analog zu Brunotte et al. (2009) wurde die Nebel mit ihrem Auenraum in 57 orthogonal geschnittene 1-km-Fluss-Auen-Segmente untergliedert; durchflossene Seen sind integriert worden. Die sich ergebenden 57 Auen-Segmente bilden die räumliche Bezugsbasis für die nachstehenden Auswertungen (Abb. 6). Gegenüber der stärker schwingenden Fließstrecke der Nebel (ca. 70 km) ist die Länge der Auen mit maximal 57 km natürlich kürzer. Für eine übersichtliche und einheitliche Darstellung werden die ÖSL Werte in gleichgroßen Abschnitten (Bänder) stellvertretend für die jeweiligen Auen-Segmente dargestellt.

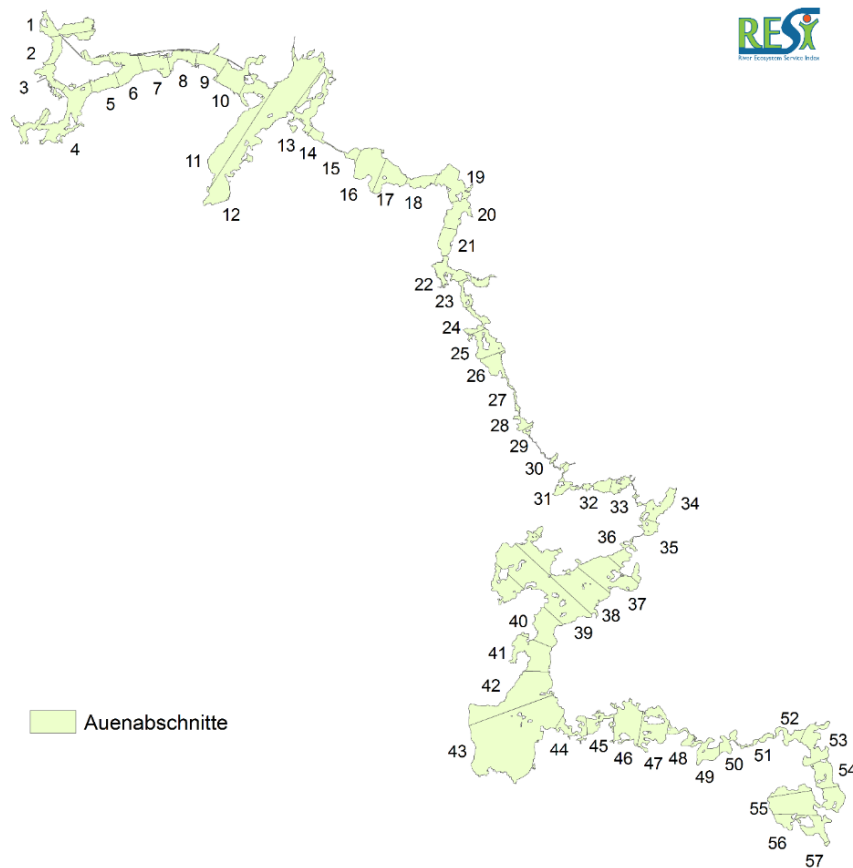


Abb. 6: Gebildete Auen-Segmente/-abschnitte an der Nebel (aus: Mehl et al. 2018)

3.2 Datengrundlagen

Die genutzten Datengrundlagen (Tab. 3) variieren inhaltlich etwas in Bezug auf die beiden Vergleichsjahre 1995 und 2016. Etwaige Abweichungen sind aber vernachlässigbar, weil die Daten dessen ungeachtet für die Landschafts- und Gewässerverhältnisse der Jahre 1990 und 2016 repräsentativ sind.

Tab. 3: Wesentliche Datengrundlagen zur Bestimmung der Ökosystemleistungen, aus: Mehl et al. (2018)

Sektor	Grundlage	Stand	Quelle
Gewässerroute	Gewässernetz M-V: Gewässerrouten: WBV-Routen ohne Ein-/Ausleitabschnitte	2016	GeoBasis-DE/M-V (2017)
Topographische Karten	Historische topographische Karten 1:25 000 Normalblattschnitt (TK25-N)	1990	GeoBasis-DE/M-V (2017)
	WebAtlasDE.light	2016	GeoBasis-DE/BKG (2017)
Boden	Analyse des Bodenpotentials (Bodenfunktionsbereiche)	1993 bis 1996	GeoBasis-DE/M-V (2017)
Landnutzungsdaten	Digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland (LBM-DE)	2012	GeoBasis-DE/BKG (2017)
	Biotop- und Nutzungstypenkartierung Mecklenburg-Vorpommern	1991	GeoBasis-DE/M-V (2017)
Hochwasserregulation	DGM 10: Digitales Geländemodell der Auflösung 10 m x 10 m	2006 bis 2012	GeoBasis-DE/BKG (2017)
Hydrometeorologie	Klimadaten nahegelegener Klima- und Niederschlagsstationen	2016	Deutscher Wetterdienst (2016), Homepage
Fließgewässerstruktur-güte	Altdaten und Neukartierung nach gleicher Methodik (2016)	1994 und 2016	BIOTA (1994, 1995)
Feuchtlebensräume	Flächenanteil an Feuchtlebensräumen und geschützten Biotopen	2016	Fuchs et al. (2010), update BfN 2016
Natura 2000	Natura2000 Gebiete (FFH-Richtlinie und Vogelschutzrichtlinie)	2016	Brunotte et al. (2009) Scholz et al. 2012

3.3 Hochwasserregulation³

Der Indikator „Hochwasserrückhaltevolumen“ der ÖSL Hochwasserregulation nimmt im zeitlichen Vergleich zwischen 1995 und 2016 praktisch nur im Bereich der Alten Nebel (Unterlauf) zu, da hier gegenüber dem Güstrow-Bützow-Kanal eine deutliche Laufverlängerung und Wiedererschließung größerer Teile der ehemaligen morphologischen Aue durch die Maßnahmenumsetzung zu konstatieren ist (Abb. 7). Der Hochwasserrückhalteraum an der Nebel beträgt nach dieser Abschätzung für das Jahr 1990 ca. 44.562.280 m³ und für das Jahr 2016 ca. 51.534.561 m³, was einer Zunahme von rund 16 % entspricht.

³ Die nachfolgenden textlichen Darstellungen sind in Teilen Mehl et al. (2018) entlehnt.

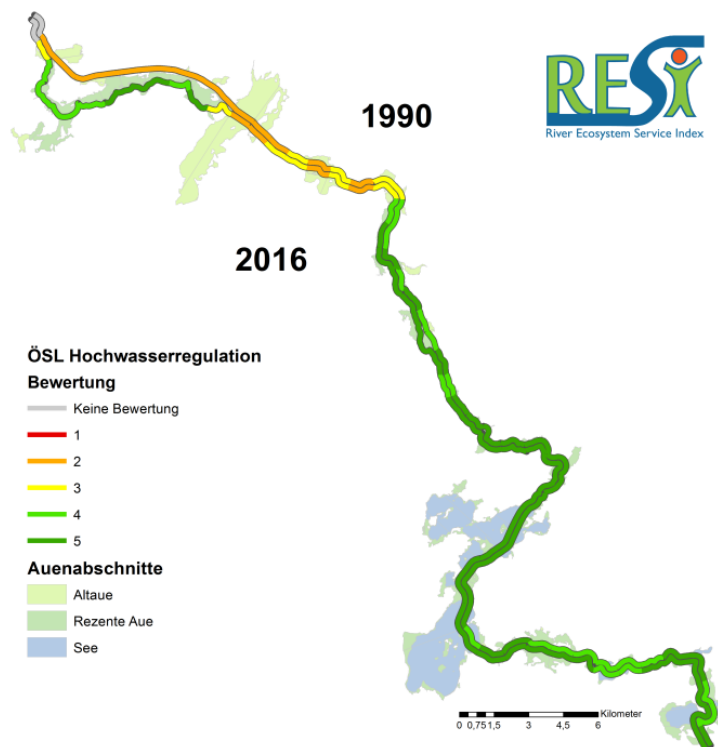


Abb. 7: Klassifizierte Ökosystemleistung Hochwasserregulation an der Nebel 1990 und 2016, aus: Mehl et al. (2018), 5 = sehr hoch; 4 = hoch; 3 = mittel; 2 = gering; 1 = sehr gering

Monetär lässt sich diese Ökosystemleistung plausibel über die Ersatzkosten einer technischen Rückhaltung über volumengleiche (ungesteuerte) Polder abbilden. Als Kostensatz wurde ein Wert von 25 Euro/m³ angesetzt, was dem Mittelwert für Erdbau, Bodenverbringung, Planung und Untersuchung aus umgesetzten regionalen Vorhaben entspricht. Nicht berücksichtigt werden hingegen Kosten für eine Flächenverfügbarkeit (im Regelfall Erwerb). Auch weitere mögliche Kosten sind zunächst schwer prognostizierbar. Deshalb stellt der o. g. Kostensatz eher eine Annahme minimaler Kosten dar.

Die Differenzbetrachtung der Volumina in 1990 und in 2016 ergibt so einen monetären Vorteil in Höhe von 174 Mio. Euro. Relevante Hochwasserrisikoabschnitte nach der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (HWRM-RL) sind im Gewässersystem unterhalb der Gewässerabschnitte der Warnow bei Bützow und bei Schwaan zu lokalisieren (Mehl et al. 2014). Die hohe mögliche Mengenableitung über den Abschlag/die Fischauftiegsanlage bei Parum (Güstrow-Bützow-Kanal/Alte Nebel) wirkt im Übrigen auch nach oberhalb (Stadt Güstrow) hydraulisch verbessernd, weil der Kanal seine hydraulische Leistungsfähigkeit behalten hat. Somit wird hier eine ÖSL bereitgestellt, die jedoch ober- und unterhalb genutzt wird. Der Einfluss solcher Leistungen ist damit nicht nur bedeutsam für landschaftliche Prozesse, sondern zeigt die Vorteile systemübergreifenden Gewässermanagements gerade für den Hochwasserschutz auf.

Als weiterer Indikator wurde der Mittelwert der Klassifizierungen für Ufer, Sohle und Land der Fließgewässerstrukturgüte (s. o.) verwendet, da die Strukturgütedaten die hydraulischen Einflüsse auf die Rauigkeit und damit die Fließgeschwindigkeit bzw. die Wellenabflachung (Scheiteldämpfung) hilfsweise abbilden.

Bei der abschließenden Bewertung wurden die Klassifizierungsergebnisse beider Ansätze gemittelt (arithmetisches Mittel), um das hydraulische Zusammenwirken darzustellen (Abb. 5). Die Gewässer-/Auentypabhängigkeit einer Bewertung wird in diesem Fall durch die Ausgangsdaten abgesichert (Strukturgüte, ggf. Auenzustandsklasse).

3.4 Niedrigwasserregulation⁴

Als Indikator wurde 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). Die Ergebnisse zeigen, dass die Renaturierungsmaßnahmen deutliche Verbesserungen bringen (Abb. 8). Eine monetäre Bewertung kann zusammen mit der Ökosystemleistung „Sedimentregulation“ über die Ersatzkostenmethode und entsprechende Renaturierungskosten erfolgen.

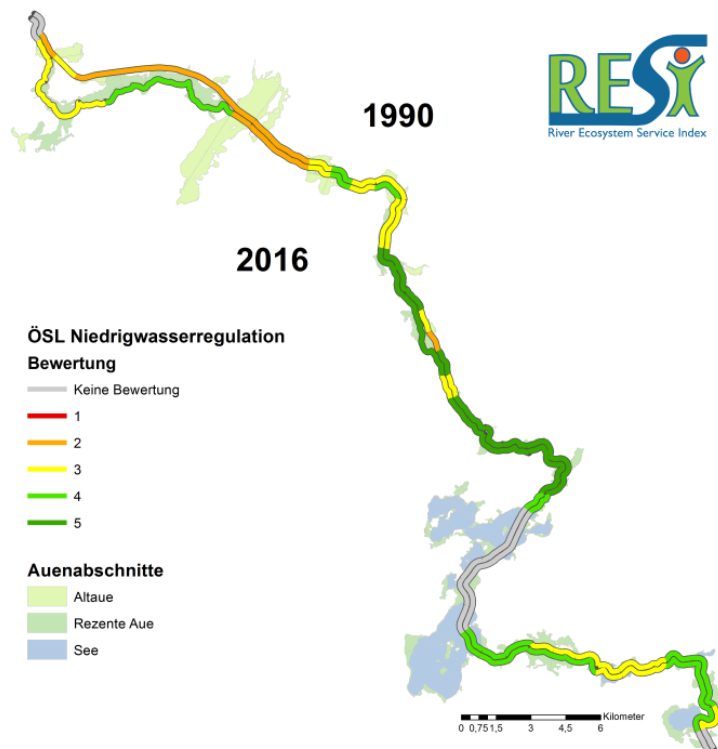


Abb. 8: Klassifizierte Ökosystemleistung Niedrigwasserregulation an der Nebel 1990 und 2016, aus: Mehl et al. (2018), 5 = sehr hoch; 4 = hoch; 3 = mittel; 2 = gering; 1 = sehr gering

3.5 Sedimentregulation⁵

Als Indikator für die Sedimentregulation wurde die Klassifizierung für „Sohle“ der Fließgewässerstrukturgüte verwendet. Die Gewässer-/Auentypabhängigkeit einer Bewertung wird in diesem Fall wiederum durch die Ausgangsdaten abgesichert (Strukturgüte). Auch hier zeigen die Ergebnisse, dass die Renaturierungsmaßnahmen wirken (Abb. 9).

⁴ Die nachfolgenden textlichen Darstellungen sind in Teilen Mehl et al. (2018) entlehnt.

⁵ Die nachfolgenden textlichen Darstellungen sind in Teilen Mehl et al. (2018) entlehnt.

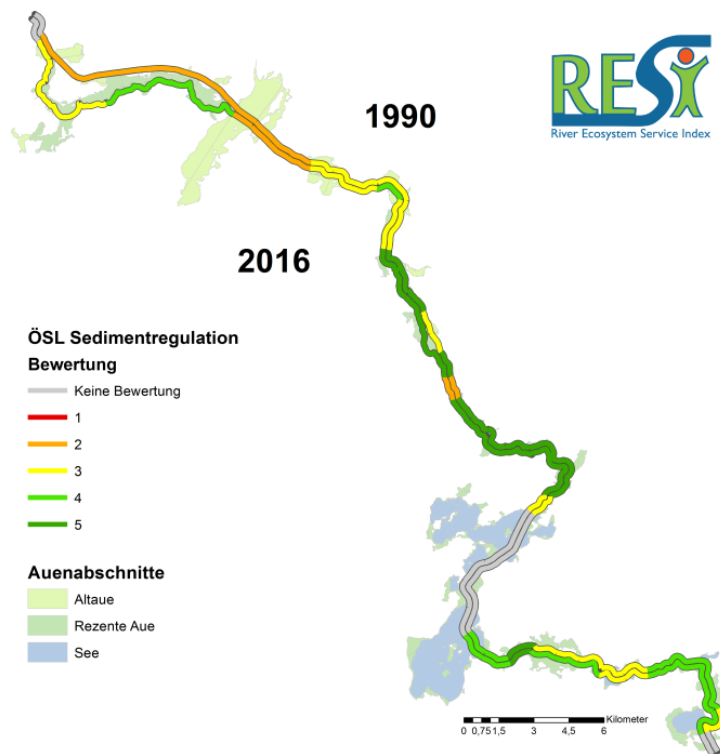


Abb. 9: Klassifizierte Ökosystemleistung Sedimentregulation an der Nebel 1990 und 2016, aus: Mehl et al. (2018), 5 = sehr hoch; 4 = hoch; 3 = mittel; 2 = gering; 1 = sehr gering

Für die Monetarisierung von Niedrigwasser- sowie Sedimentregulation kann auf die Ersatzkostenmethode zurückgegriffen werden. Hierzu wurden die Renaturierungskosten zur Erreichung des sehr guten hydromorphologischen Zustands ins Verhältnis zum jeweiligen Ausgangszustand gesetzt. Bei einer Differenz „Strukturgüteklasse 5 zur -klasse 1“ wurden 100 % der Renaturierungskosten veranschlagt, 75 % bei Klasse 4, 50 % bei Klasse 3 und 25 % der Kosten bei Klasse 2. Die Renaturierungskosten wurden für die Nebel nach der jeweiligen Gewässergröße ohne Spezialbauwerke wie z. B. Fischauflastungsanlagen und ohne die integrierten Seen abgeschätzt (Tab. 4). Hiernach ergibt sich summarisch ein Unterschiedsbetrag vom Jahr 1990 zu 2016 in Höhe von 4,7 Mio. Euro (Tab. 5).

Tab. 4: Abgeschätzte Renaturierungskosten für die Nebel nach Größenordnungen (je km Lauflänge), aus: Mehl et al. (2018)

Kostenposition	Kleines Gewässer	Mittleres Gewässer	Mittelgroßes Gewässer
Sohlbreite	< 2 m	≥ 2 bis < 5 m	≥ 5 m
Aushubmengen je laufenden Meter	ca. 8 m ³	ca. 15 m ³	ca. 25 m ³
Baukosten brutto	159.600 €	223.600 €	307.100 €
Planungskosten brutto	65.600 €	81.600 €	100.300 €
Begleituntersuchungen/-arbeiten brutto	24.400 €	24.400 €	24.400 €
Summe brutto	249.600 €	329.600 €	431.800 €

Tab. 5: Berechnung der Ersatzkosten entsprechend der Differenz „Strukturgüteklasse 5 zur -Klasse 1“, der Gewässergröße, der Renaturierungskosten sowie der Lauflänge, aus: Mehl et al. (2018)

Güteklassendifferenz (Kostenansatz)	Gewässergröße	Ersatzkosten € pro m	Lauflänge in m	Renaturierungskosten
keine	klein	-	3.226	-
keine	mittel	-	3.081	-
keine	mittelgroß	-	29.140	-
1 (25 %)	klein	62,40 €	615	38.376 €
1 (25 %)	mittel	82,40 €	3.923	323.255 €
1 (25 %)	mittelgroß	107,95 €	5.790	625.031 €
2 (50 %)	mittelgroß	215,90 €	11.518	2.486.674 €
3 (75 %)	mittelgroß	323,85 €	3.847	1.245.851 €
Gesamt				4.719.187 €

3.6 Bodenbildung in Auen⁶

Als weitere Ökosystemleistung wurde die Bodenbildung bewertet. Die Dominanz der Niedermoore an der Nebel rechtfertigt, dass bei dieser ÖSL auf die natürliche Moorbildung (Torfakkumulation) bzw. die anthropogen verursachte Moordegradation abgestellt wird. In moorerfüllten Niederungen können Gewässervertiefungen, Grundwasserspiegelabsenkungen und die Veränderung der Überschwemmungsdynamik zur Moordegradation führen.

Als wesentliche Datengrundlage wurde auf das digitale Geländemodell zurückgegriffen. Die Grundwasserflurstände wurden auf der Basis der mittleren Wasserstände in der Nebel ermittelt. (einfaches Wasserspiegellagenmodell). Die Typspezifität der Aue wurde über die Flächengewichtung, bezogen auf die Moorfläche, berücksichtigt.

Die Ergebnisse (Abb. 10) zeigen, dass der Moorzustand an der Nebel nur in einzelnen Auenabschnitten als gut zu bewerten ist; vornehmlich wegen der landwirtschaftlichen Nutzung ist der Umfang der Moorentwässerung einfach zu groß. Immerhin konnten mit den Renaturierungsmaßnahmen im Gewässernahbereich auch ökologisch nachweisbare Verbesserungen und in vielen Fällen deutliche Stützungen der Grundwasserstände erreicht werden.

⁶ Die nachfolgenden textlichen Darstellungen sind in Teilen Mehl et al. (2018) entlehnt.

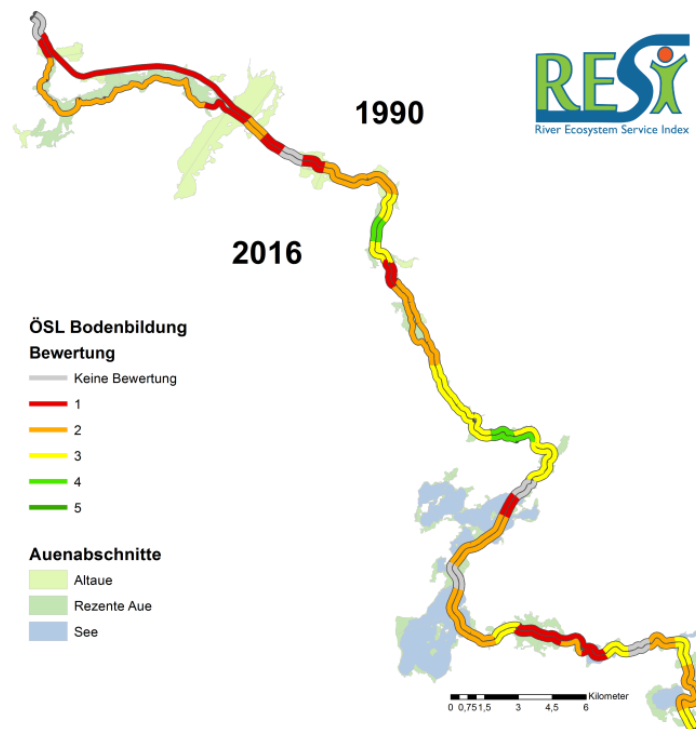


Abb. 10: Klassifizierte Ökosystemleistung Bodenbildung an der Nebel 1990 und 2016, aus: Mehl et al. (2018), 5 = sehr hoch; 4 = hoch; 3 = mittel; 2 = gering; 1 = sehr gering

3.7 Rückhalt von Treibhausgasen/Kohlenstoffsequestrierung⁷

Die Berechnungs- und Bewertungsergebnisse zeigen, dass die Freisetzung der Treibhausgase (THG) in vielen Auen-Segmenten infolge der Renaturierungsmaßnahmen abgenommen hat, besonders stark im Unterlauf infolge der Renaturierung der Alten Nebel (Abb. 11 und 12). In den Auen-Segmenten an den oberen Nebelseen sind die Werte des Jahres 2016 im Vergleich zu 1990 teilweise leicht erhöht. Dies ist insofern plausibel, da der Wasserstand von Beginn der 1990-er Jahre bis zumindest ca. 2009 beispielsweise im Orthsee klimatisch bedingt um ca. 2 Dezimeter gefallen ist und zusätzliche Verlandungstendenzen wirken. Der größere Flächenumfang an randlichen Feuchtgebieten vergrößert damit die THG-Freisetzung.

Insgesamt führen die Renaturierungsmaßnahmen an der Nebel aber zur deutlichen Reduktion der THG-Freisetzung: 1990: 46.711 t a⁻¹ CO₂-Äquivalent, 2016: 37.748 t a⁻¹ CO₂-Äquivalent. Dies drückt sich in einer sehr deutlichen Schadenskostenreduktion von ca. 720.000 € je Jahr aus.

⁷ Die nachfolgenden textlichen Darstellungen sind in Teilen Mehl et al. (2018) entlehnt.

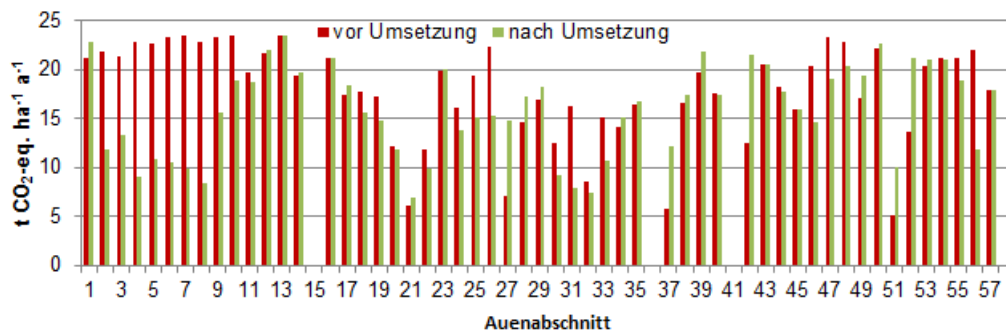


Abb. 11: Freisetzung von THG in den Auen-Segmenten der Nebel in Tonnen CO₂-Äquivalent je ha und Jahr (Fließrichtung von rechts nach links), aus: Mehl et al. (2018)

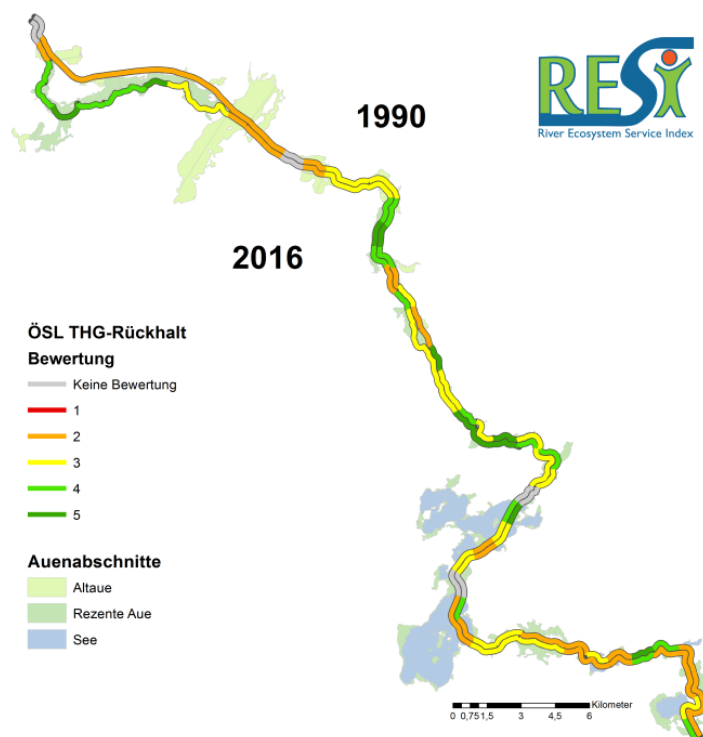


Abb. 12: Klassifizierte Ökosystemleistung THG-Rückhalt an der Nebel 1990 (rechtes Band) und 2016 (linkes Band), aus: Mehl et al. (2018), 5 = sehr hoch; 4 = hoch; 3 = mittel; 2 = gering; 1 = sehr gering

3.8 Kühlwirkung (Gewässer und terrestrische Böden) ⁸

Für die Kühlwirkung der Gewässeroberflächen und der terrestrischen Böden in den Auen-Segmenten zeigt sich im Vergleich zwischen dem Jahr 1990 und dem Jahr 2016 vor allem die sehr positive Wirkung der Renaturierung der Alten Nebel (Unterlauf; Abb. 13). Im Jahr 1990 betrug danach die jährliche Kühlleistung ca. 11.480 GWh, 2016 ca. 13.295 GWh, was einer Zunahme um mehr als 12 % entspricht.

⁸ Die nachfolgenden textlichen Darstellungen sind in Teilen Mehl et al. (2018) entlehnt.

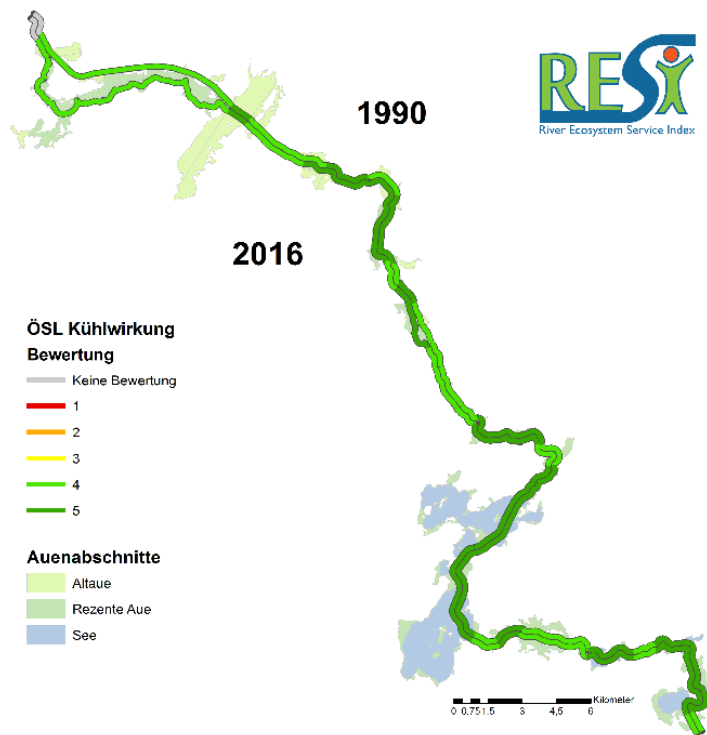


Abb. 13: Klassifizierte Ökosystemleistung Kühlwirkung an der Nebel 1990 und 2016, aus: Mehl et al. (2018), 5 = sehr hoch; 4 = hoch; 3 = mittel; 2 = gering; 1 = sehr gering

3.9 Habitatbereitstellung

Für die ÖSL Habitatbereitstellung erfolgte die Bewertung des Bezugszustandes für 2016 nach der in Scholz et al. (2020) beschriebenen Methode mittels dem bundesweitem Ansatz. Die Zusammenfassung des Habitatwertes auf Segmentebene ergibt, dass für die Nebel 24 % der Auen-Segmente eine „sehr geringe“ (10 %) bis „geringe“ (14 %) Bedeutung und 33 % eine „hohe“ (26 %) bis „sehr hohe“ (7 %) Bedeutung für autotypischen Arten und Lebensräume aufweisen. Die „sehr hohen“ und „hohen“ Habitatwerte spiegeln die naturnahen Bereiche der Nebel wider. Für 43 % wird eine „mittlere“ Bedeutung der Habitatbereitstellung festgestellt (Abb. 14). Mittels Index werden unterschiedliche Bewertung von Unter-, Mittel und Oberlauf deutlich. Dabei wurde der Mittellauf hauptsächlich mit „sehr hohen“ und „hohen“, der Oberlauf mit „mittel“ und „hohen“ und der Unterlauf mit „mittel“ und „geringen“ Habitatwerten bewertet. Die „sehr geringen“ Habitatwerte treten vorrangig im Unterlauf, vor allem im Bereich der Stadt Güstrow, auf.

Für den Bereich des Kanals wurde die rezente Aue von 2016 für 1990 in Altaue umgewandelt und erhielt einen Altauen- sowie Rückstau-Malus. Für das Merkmal Flächenanteil an Feuchtlebensräumen und geschützten Biotopen wurden für 1990 die Flächen in die Berechnung einbezogen, die vor 1990 kartiert wurden. Da die Erfassung der Natura 2000-Gebiete erst ab 1996 erfolgte, wurde für das Merkmal Flächenanteil an Natura 2000-Gebieten keine Änderungen im Vergleich zu 2016 vorgenommen. Eine Verbesserung des Habitatwertes durch Renaturierungsmaßnahmen erfolgt somit hauptsächlich im Bereich des ehemaligen Kanals (Unterlauf) (Abb. 14) vorrangig durch den Wegfall des Altauen- und Rückstau-Malus.

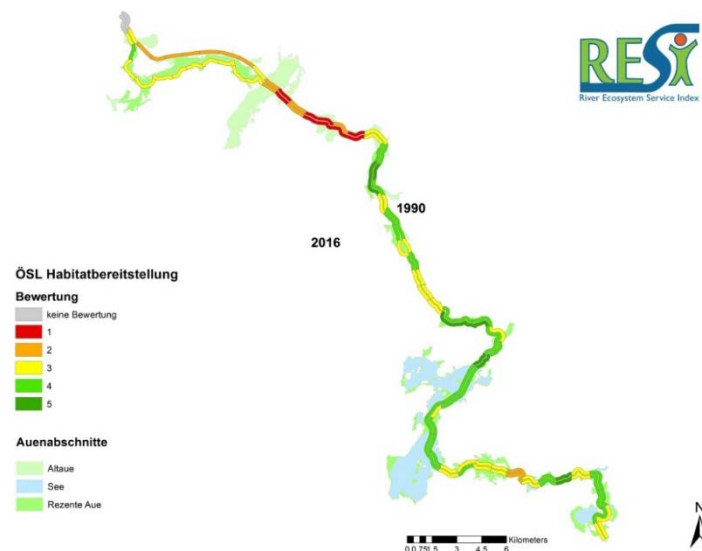


Abb. 14: :Resi-Habitat-Index mittels bundesweiten Ansatz auf Segmentebene für das Projektgebiet Nebel Für Bezugszustand 2016 und Bezugszustand 1990. 5 = sehr hoch; 4 = hoch; 3 = mittel; 2 = gering; 1 = sehr gering

Durch die unterschiedliche Datengrundlage (1990: Biotop- und Nutzungstypenkartierung (BNTK), 2016: CORINE Land Cover) zur Berechnung der Landnutzungsklassen (LN 7) nach Brunotte et al. (2009) kam es in 2 Segmenten (ID 17000-Alt-Li, ID 44000-Alt-Li) zu einer Abwertung des Habitatwertes. Für das zweite Segment (ID 44000-Alt-Li) wurde eine Fischzuchtanlage 1990 der Landnutzung Gewässer, hingegen 2016 der Landnutzung Siedlung zugeordnet. Es kam zu einer Anpassung, indem für 1990 und 2016 die Landnutzung Siedlung angenommen wurde. Für das Segment ID 17000-Alt-Li wurden 1990 Bereiche der Landnutzung Wald und 2016 der Landnutzung Grünland zugeordnet. Hier kam es zu keiner Anpassung, sodass es 2016 zu einer Abwertung für das entsprechende Segment kam.

4 Fazit

Insgesamt wurde durch die Renaturierungsmaßnahme eine Verbesserung der betrachteten ÖSL in 2016 gegenüber 1990 erreicht. Dies erfolgte vorwiegend durch die Reaktivierung der Altaue zur rezenten Aue, den Wegfall des Rückstaus durch den 1990 noch vorhandenen Kanal, der Laufverlängerung und Umwandlung in auentypische Biotope.

Die Ergebnisse für die Fallstudie Nebel zeigen, dass der die einzelnen ÖSL-Indizes trotz unterschiedlicher Datengrundlage für 1990 und 2016 für einen Vorher-Nachher-Vergleich geeignet sind.

5 Literaturverzeichnis

- Berlin, A. & Mehl, D. (1997): Die Trichoptera der Nebel (Mecklenburg-Vorpommern). – *Lauterbornia* 31: 83-97.
- Berlin, A. & Thiele, V. (2012): Ephemeroptera, Plecoptera und Trichoptera. Ansprüche, Bioindikation, Gefährdung. Friedland (Steffen-Verlag), 304 S.
- BIOTA (1994): Modellvorhaben "Gewässerpflegeplan Nebel". – biota – Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH im Auftrag von Umweltministerium Mecklenburg-Vorpommern/Staatliches Amt für Umwelt und Natur Rostock.
- BIOTA (1995): Gewässerentwicklungsplan „Obere Nebel“. – biota – Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH im Auftrag von Landesnationalparkamt Mecklenburg-Vorpommern/Naturpark Nossentiner/Schwinzer Heide.
- BIOTA (1998): Erarbeitung eines Pflege- und Entwicklungsplanes für das Naturschutzgebiet „Nebeltal“. biota – Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH im Auftrag des Staatlichen Amtes für Umwelt und Natur Rostock.
- Bittl, R. & Kolbow, D. (2014): Zusammenwirken von Wasserwirtschaftsverwaltung und Flurneueordnungsbehörde bei der Umsetzung von Maßnahmen nach WRRL. – *Wasser und Abfall* 12: 16-22.
- BNatSchG: Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz - BNatSchG) vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), zuletzt geändert durch Gesetz vom 07.08.2013 (BGBl. I S. 3154) m. W. v. 15.08.2013.
- Brunotte, E., Dister, E., Günther-Diringer, D., Koenzen, U. & Mehl, D. (Hrsg.) (2009): Flussauen in Deutschland. Erfassung und Bewertung des Auenzustandes. – *Naturschutz und biologische Vielfalt* 87, 141 S.
- DWD (Deutscher Wetterdienst) (2017): Daten des Deutschen Wetterdienstes, <https://www.dwd.de/> (Stand: 07.04.2017).
- Fuchs, D., Hänel, K., Lipski, A., Reich, M., Finck, P. & Riecken, U. (2010): Länderübergreifender Biototypverbund in Deutschland – Grundlage und Fachkonzept. – *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 96, 193 S.
- LU (Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern) (2015): Renaturierung der Nebel abgeschlossen. – Pressemitteilung Nr. 334/15 des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern vom 09.10.2015.
- Mehl, D. & Bittl, R. (2005): Der Beitrag integrierter ländlicher Entwicklungskonzepte und der Flurneueordnung zur Umsetzung von FFH- und Wasserrahmenrichtlinie in Mecklenburg-Vorpommern. – *zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement* 130 (2): 63-69.
- 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., Bollmohr, A., Zedler, S., Reimann, T., Bittl, R. & Winkelmann, D. (2011): Funktion und Bedeutung der Flurneueordnung bei der Integrierten ländlichen Entwicklung am Fallbeispiel eines Regionalmanagements nach GAK-Grundsätzen. – *Allgemeine Vermessungsnachrichten* 2/2011: 49-58.
- Mehl, D. & Thiele, V. (1998): Fließgewässer- und Talraumtypen des Norddeutschen Tieflandes am Beispiel der Naturräume Mecklenburg-Vorpommerns. Buchverlag im Blackwell Wissenschaftsverlag (Berlin, Parey), 261 S.

- 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., Disster, E. & Egger, G. (Hrsg.): Biodiversität der Flussauen Deutschlands. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 163: 337-351.
- Mehl, D., Hoffmann, T. G., Bollmohr, A. & J. Schentschischin (2014): Leitfaden Hochwasserrisikomanagementplanung in Mecklenburg-Vorpommern. – Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.), 84 S.
- Mehl, D., Hoffmann, T. G., Iwanowski, J., Lüdecke, K. & Thiele, V. (2018): 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., Könker, H., Hellmuth, O. & Pivarci, R. (1995): Das Flussgebiet der Nebel - eine naturräumliche Charakterisierung. – In: Mehl, D. & Thiele, V. (Hrsg.): Ein Verfahren zur Bewertung nordostdeutscher Fließgewässer und deren Niederungen unter besonderer Berücksichtigung der Entomofauna. Nachr. entomol. – Ver. Apollo, Suppl. 15: 19-40.
- Scholz, M., Mehl, D., Schulz-Zunkel, C., Kasperidus, H. D., W. Born, W. & Henle, K. (2012): Ökosystemfunktionen von Flussauen. Analyse und Bewertung von Hochwasserretention, Nährstoffrückhalt, Kohlenstoffvorrat, Treibhausgasemissionen und Habitatfunktion. – Naturschutz und biologische Vielfalt 124, 257 S.
- Scholz, M., Fischer-Bedtke, C., Rumm, A., Damm, C., Foeckler, F., Gelhaus, M., Gerstner, L., Kasperidus, H. D., Stammel, B. & Henle, K. (2020): Analyse und Bewertung der Ökosystemleistung Habitatbereitstellung“ – bundesweiter Ansatz für die Aue. In diesem Buch.
- Thiele, V., Lüdecke, K. & Koch, R. (2014): Ökologische Sanierung eines naturschutzfachlich hochsensiblen, niedermoor geprägten Tieflandflusses. – Wasser und Abfall 16 (10): 36-43.
- Winkler, H. M., Lill, D. & Lemcke, R. (1995): Die Fischfauna der Nebel - ein Indikator zur Bewertung des ökologischen Gewässerzustandes. - In Mehl, D. & Thiele, V. (Hrsg.): Ein Verfahren zur Bewertung nordostdeutscher Fließgewässer und deren Niederungen unter besonderer Berücksichtigung der Entomofauna. – Nachr. entomol. Ver. Apollo, Suppl. 15: 215-230.