

Sabine Bicking¹, Felix Müller¹

¹ Institut für Natur- und Ressourcenschutz, Abt. Ökosystemmanagement, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Olshausenstraße 75, 24118 Kiel

sbicking@ecology.uni-kiel.de

Die „Matrix“ - Ein Werkzeug zur Bewertung von Ökosystemleistungen



Darßer Ort. (Foto: Felix Müller)

Die Ökosystemleistungsmatrix ist ein qualitativer Bewertungsansatz zur Abschätzung von Ökosystemleistungspotenzialen. Die Matrix ist ein einfaches Werkzeug zur Bewertung von Land-, Küsten- und Meereslandschaften im Hinblick auf deren Fähigkeiten Versorgungs-, Regulierungs- und kulturelle Ökosystemleistungen bereitzustellen. Sie umfasst auch Indikatoren für den Zustand von Ökosystemen unter Anwendung der Ökosystem-Integrität. Im Text werden die methodischen Schritte der Matrixentwicklung beschrieben und die resultierenden Experten-Abschätzungen werden durch die Charakterisierung verschiedener Ökosystemtypen, die Analyse verschiedener Ökosystemleistungen und die Darstellung der Ergebnisse in Form von Radardiagrammen und GIS-basierten Karten veranschaulicht.

Ein Blick in die wissenschaftliche Literatur zeigt ebenso wie die voranstehenden Ausführungen, dass das Konzept der Ökosystemleistungen in den vergangenen Jahren sehr schnell und effektiv gewachsen ist und dass mittlerweile eine breite und bewährte theoretische Grundlage für Anwendungen in der Umweltpraxis bereitsteht. Solcherlei Umsetzungen sind allerdings noch ausgesprochen selten zu finden. Der Hauptgrund dafür liegt neben dem jugendlichen Alter des Konzepts in der großen Komplexität, mit der sich der Anwender bei diesem Ansatz auseinandersetzen muss. So sind für die Entscheidungsvorbereitung stets umfangreiche Bündel von mehreren Ökosystemleistungen zu betrachten, und diese treffen in der Landschaft auf sehr vielfältige Ökosystemtypen, die jeweils unterschiedliche Leistungsprofile aufweisen.

Aus diesen Kombinationen ergeben sich sehr heterogene Verhältnisse und für den Anwender tritt oftmals ein Dilemma auf: Entweder man untersucht sehr wenige Ökosystemleistungen sehr genau und erzeugt quantitativ verlässliche Daten oder man legt Wert auf die Vielfalt des Leistungsspektrums und muss konsequenterweise mit einigen potenziellen Ungenauigkeiten leben. Die Forderung nach einer integrativen und interdisziplinären Umweltbewertung im Rahmen des nachhaltigen Landschaftsmanagements legt diesen zweiten Standpunkt nahe. Inmitten dieser polarisierten Anforderungen zwischen Exaktheit und Anwendbarkeit bietet das Matrix-Konzept einen Kompromiss: eine durch viele Experten abgesicherte Darstellung der relativen Ökosystemleistungsfähigkeiten von Ökosystem-Typen, die in ihrer regionalen Verteilung flächenhaft vorliegen oder relativ leicht abbildbar sind.

Die im Folgenden vorgestellte Ökosystemleistungs-Matrix basiert auf einer Entwicklungsreihe, die 2008 gestartet und konsequent verbessert und gestaffelt ausgebaut wurde (vgl. [2],[3],[4],[6],[1]). Zuletzt wurde sie im Jahr 2018 einem Test durch mehr als 50 Experten unterworfen. Die resultierende Matrix besteht in der vertikalen Achse aus einer Auflistung von 7 Integritäts - Parametern, 14 Versorgungsleistungen, 11 Regulationsleistungen und 6 kulturellen Ökosystemleistungen. In der Abbildung 1 werden diese mit Hinweisen zu den auftretenden Unsicherheiten sowie mit der Dokumentation einiger Mittelwerte und Kenngrößen wiedergegeben.

Auf der horizontalen Achse finden sich 62 verschiedene Ökosystemtypen, die im terrestrischen Bereich der CORINE-Land Cover – Klassifizierung der EU entsprechen und die im Küsten- und Meeresbereich einer Gruppierung durch die KüNO-Vorhaben SECOS und BACOSA entstammen (vgl. Tabelle 1, Abbildungen 1 und 2). Während die terrestrische Differenzierung durch die Anlehnung an die Satellitenbilder des CORINE-Datensatzes bereits flächenhaft vorliegt, werden die küstennahen und marinen Kartierungseinheiten derzeit lokal fixiert und digitalisiert.

Für jeden Schnittpunkt bzw. für jedes Feld in der Tabelle wurde die Frage gestellt: „Wie groß ist das Potenzial des Ökosystemtyps (X), Beiträge zur Ökosystemleistung (Y) bereitzustellen?“ Die Bewertung erfolgte auf einer Gesamt-Skala von Ökosystemleistungspotenzialpunkten zwischen 0 (absolut keine Leistungskapazität) und 100 (optimale Leistungskapazität), wobei in der hier vorliegenden allgemeinen Matrix-Version eine Einschränkung auf den Bewertungsbereich zwischen 10 und 90 erfolgte, um mögliche Varianten innerhalb der Typen mit extremeren Profilen bei detaillierteren Untersuchungen berücksichtigen zu können. Beispielsweise umfasst der CORINE-Landbedeckung-Typ „nicht bewässertes Ackerland“ fast alle Ackersysteme in Norddeutschland. Für genauere Aussagen macht es aber häufig Sinn, eine weitere Differenzierung nach Anbaufrüchten (z. B. Mais, Weizen, Kartoffeln, ...) zu erarbeiten, weil diese zum Beispiel sehr unterschiedliche Erträge hervorbringen. Hierbei treten dann für die Ertragsfähigkeit Werte über der allgemeinen Kenngröße 90 auf.

Tab. 1: Differenzierte Ökosystemtypen-Gruppen innerhalb der Ökosystemleistungsmatrix

Klassen	Gruppierungen von Typen	Beispiele
Terrestrische Ökosystemtypen	Siedlungs-, Verkehrs- und terrestrische Infrastrukturflächen	Industrieflächen, Verkehrsflächen
	Agrarökosystem-Typen	Äcker, Grünland
	Wäldökosystem-Typen	Nadelwald, Laubwald
	Naturnahe Ökosystemtypen	Moore, Heiden
	Feuchtgebiets-Typen	Salzmarschen, Inland-Marschen
Ökosystemtypen an der Küstenlinie	Binnengewässer-Typen	Fluss, See
	Küstenökosystemtypen	Sandstrand, Aktives Kliff
Marine Ökosystem-Typen und -Kompartimente	Küsteninfrastruktur-Flächentypen	Deich, Wellenbrecher
	Marine Habitat-Typen	Schilf, Seegraswiese
	Marine Sediment-Typen	Sandig, Steinig
	Marine Wasserkörper-Typen	Wasserkörpertypen gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie

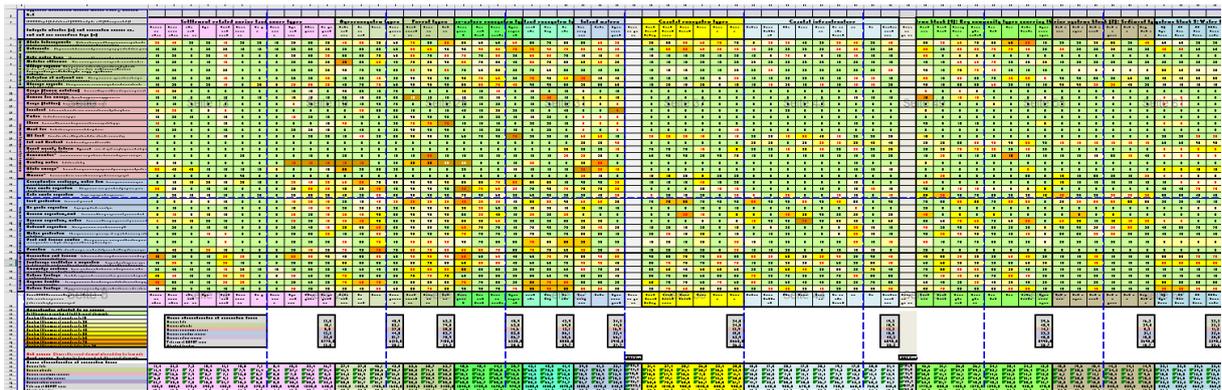
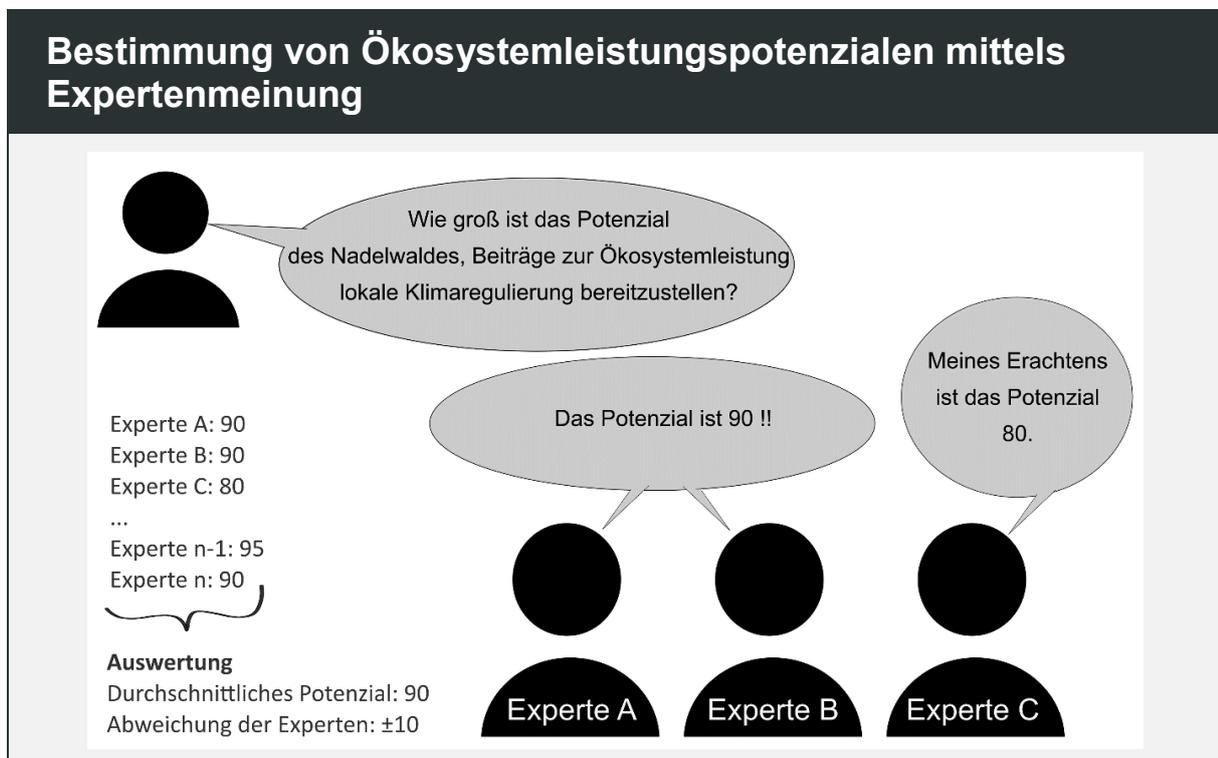


Abb. 1: Verkleinerte Darstellung der allgemeinen Ökosystemleistungsmatrix für terrestrische und marine Standorte in Norddeutschland. Auf der horizontalen Achse finden sich die verschiedenen Ökosystemtypen, vertikal sind verschiedene Ökosystemleistungen angeordnet, und die Knotenpunkte repräsentieren das Potenzial des jeweiligen Ökosystemtyps, die gewählte Ökosystemleistung hervorzubringen. Die Färbung der einzelnen Felder zeigt den Grad der Unsicherheit bei der Expertenabschätzung der Potenzialwerte an: Je rötlicher der Ton umso größer waren die Variabilitäten der Expertenabschätzungen; grüne Töne stehen für die geringsten Schwankungen. Rote Zahlen zeigen an, dass eine Veränderung der Potenzialwerte beim letzten Durchlauf der Expertenbefragung stattgefunden hat.

Upgraded Ecosystem Service Matrix Table - Version 6.0		35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	
Integrity Indicator (y) and ecosystem service vs. land and sea cover/use type (x)		Coastal infrastructure										Marine systems block (1): Key ec			
		Harbour	Masonry, bulkhead	Dike	Groyne	Revetment	Promenade beach	Jetties	Piers	Breakwaters and artificial reefs	Marine compartments	Reed zone	Sand bank	Macrophytes on soft bottom	Macrophytes hard substrate
1	Abiotic heterogeneity The diversity of abiotic structures and the capacity of an ecosystem to provide suitable habitats for different species, for functional groups of species and for processes. It is essential for the functioning of ecosystems.	5	30	20	40	30	20	40	20	40		50	20	60	70
2	Biodiversity The presence and absence of selected species, (functional) groups of species, biotic habitat components or species composition.	10	30	20	30	30	20	30	30	30		50	20	80	80
3	Biotic water flows The water ecology affected by plant processes in the system; ratio of transpiration/vapor evaporation	10	5	70	5	5	10	10	10	10		80	5	5	5
4	Metabolic efficiency The amount of energy necessary to maintain a specific biomass or to contribute to biomass increase	20	20	20	20	20	10	20	10	10		40	10	60	60
5	Energy capture The capacity of ecosystems to enhance the input of usable energy. Energy is derived from thermodynamics and measures the energy fraction that can be transformed into mechanical work. In ecosystems, the captured energy is used to build up biomass (e.g. primary production) and structures.	20	20	30	20	20	20	20	20	30		90	10	70	70
6	Reduction of nutrient loss The capacity of an ecosystem to prevent the irreversible output of elements from the system; relates also to nutrient and matter cycling, nutrient retention	10	10	20	20	10	10	10	10	10		80	10	80	80
7	Storage capacity The capacity of an ecosystem to store nutrients, energy and water when available and to release them when needed.	10	10	30	10	10	10	10	10	20		90	10	50	50
8	Crops (human nutrition) Cultivation of edible plants and harvest of these plants on agricultural fields and gardens which are used for human nutrition.	5	5	5	5	5	5	5	5	5		5	5	5	5
9	Biomass for energy Plants used for energy conversion (e.g. sugar cane, maize)	5	5	5	5	5	5	10	10	10		10	5	10	10
10	Crops (fodder) Cultivation and harvest of fodder for domestic animals.	5	5	5	5	5	5	5	5	5		5	5	5	5
11	Livestock Production and utilization of domestic animals for nutrition and use of related products (e.g. dairy, wool)	5	5	30	5	5	5	5	5	5		5	5	5	5
12	Timber Wood used for construction purposes.	5	5	5	5	5	5	5	5	5		5	5	5	5
13	Fibers Cultivation and harvest of natural fibre (e.g. cotton, jute, sisal, silk, cellulose) for, e.g. cloths, fabric, paper.	5	5	5	5	5	5	10	5	5		90	5	10	10
14	Wood fuel Wood used for energy conversion and/or heat production.	5	5	5	5	5	5	5	5	5		5	5	5	5
15	Wild food Harvest of berries, mushrooms, (edible) plants, hunted wild animals, fish/catch from recreational fishing	20	20	10	50	40	10	30	30	30		10	5	5	5
16	Fish and Seafood Catch of fish, seaweed/algae for food, fish meal and fish oil.	30	30	5	20	20	10	30	40	40		30	30	80	80
	Beach wrack, Flotsam Organic Material from submerged macrophytes (e.g. seaweed and algae) which is accumulated.	20	20	10	30	40	30	20	20	20		20	20	20	20

Abb. 2: Ausschnittvergrößerung aus der allgemeinen Ökosystemleistungsmatrix für terrestrische und marine Standorte in Norddeutschland mit einigen Beispielen für Küstenzonen. Der Ausschnitt zeigt Potenziale für die ökologische Integrität (als ökologische Zustandskennzeichnung) und einige Versorgungsleistungen. Die aktuelle Ökosystemleistungsmatrix kann als Anhang zu diesem Text unter der Adresse https://doi.org/10.18453/rosdok_id00002524 heruntergeladen werden.

Innerhalb der abgebildeten Matrix treten weiterhin einige gelblich und rötlich hinterlegte Felder auf. Diese kennzeichnen die Spannweiten der Veränderungsvorschläge der befragten Experten. Je intensiver die Färbung ausfällt, umso unsicherer sind die Experten in Bezug auf das genannte Potenzial.



Ökologische Integrität

Die Funktionen eines Ökosystems werden benutzt, um den Zustand von Ökosystemen zu beschreiben. Dafür wird auf Variablen der ökologischen Integrität zurückgegriffen. Diese bezieht sich auf die Erhaltung und Entwicklung der Prozesse und Strukturen, die wesentliche Voraussetzungen für die ökologische Selbstorganisation sind. Dementsprechend bildet die ökologische Integrität auch die Grundlage eines Ökosystems für die Erbringung von Versorgungs-, Regulierungs- und kulturellen Ökosystemleistungen ab. In der Ökosystemleistungsmatrix werden die folgenden Variablen der ökologischen Integrität bewertet:

- Abiotische Heterogenität (Vielfalt von Relief, Boden, Hydromorphie, Geologie)
- Biodiversität (Vielfalt von Organismen)
- Biotische Wasserflüsse (Transpirierte Wassermenge, Wasserkreislauf-Funktion)
- Metabolische Effizienz (Energetischer Aufwand für Produktion und Entwicklung)
- Exergieaufnahme (Brutto- und Nettoprimärproduktion)
- Verminderung der Nährstoffverluste (Kreislaufführung von Nährelementen)
- Speicherkapazität (Retention von Energie und Stoffen)

Allen genannten Indikatoren ist gemein, dass sie im Verlauf ungestörter Entwicklungen schrittweise optimiert werden. Sie reflektieren damit in ihrem Zusammenwirken auch die Naturnähe des untersuchten Ökosystems und dessen Grad an Selbstorganisation. Darüber hinaus bilden die genannten Indikatoren eine ganzheitliche Darstellung der strukturell- funktionalen Wirkungsgefüge von Ökosystemen ab.

Zu den Services mit den größten Unterschieden zwischen einzelnen Experten-Empfehlungen zählen die Kategorien Trinkwasser, Klimaregulation, Hochwasserschutz, Naturerbe und Erholung. Auf der anderen Seite gab es kaum Verbesserungsvorschläge zu den Versorgungsleistungen Futter, Viehhaltung und Holzernte. Diese konsensualen Leistungen wurden durch grüne Felder in der Tabelle gekennzeichnet. Unter den Ökosystemtypen haben Aquakulturen, Flüsse, Laub- und Nadelwälder für sehr unterschiedliche Bewertungen gesorgt, während vor allem bezüglich der städtisch-gewerblichen Flächen einheitliche Auffassungen herrschten.

Für die Kontrolle und zur einsichtigeren Darstellung der Potenziale einzelner Ökosystemtypen wurden sogenannte Ökosystemleistungs-Profile erstellt. Die Abbildung 3 zeigt ein Beispiel für die Schilfzone (Reed zone) mit vergleichenden Hinterlegungen der Werte eines Mischwaldes (Mixed forest) und eines städtischen Ökosystems (Continuous urban fabric). Alle Achsen folgen der Skalierung zwischen 0 und 100. Im rechten oberen Bereich finden sich die einzelnen Indikatoren für die ökologische Integrität. Sie ist keine Ökosystemleistung, sondern stellt eine Charakterisierung des ökologischen Zustands der untersuchten Einheit dar. Es ist ersichtlich, dass hier die Schilf-Bewertungen zwischen den beiden Polen des naturnahen Mischwaldes und des stark anthropogen geprägten städtischen Ökosystems liegen. Die weiteren Achsen auf der rechten Seite beziehen sich insgesamt auf die Versorgungsleistungen, wobei das Schilf nur bei Fasern, Fisch und Gewässer-Nahrungsprodukten einen wesentlichen

Ausschlag zeigt. Auf der linken Seite des Diagramms erscheinen die Regulationsleistungen. Hier weist das Schilf bei der Regulierung der Luftqualität, der Winderosion oder der Bestäubung geringe Potenziale auf. Schließlich ergeben sich relativ hohe Werte für die kulturellen Ökosystemleistungen.

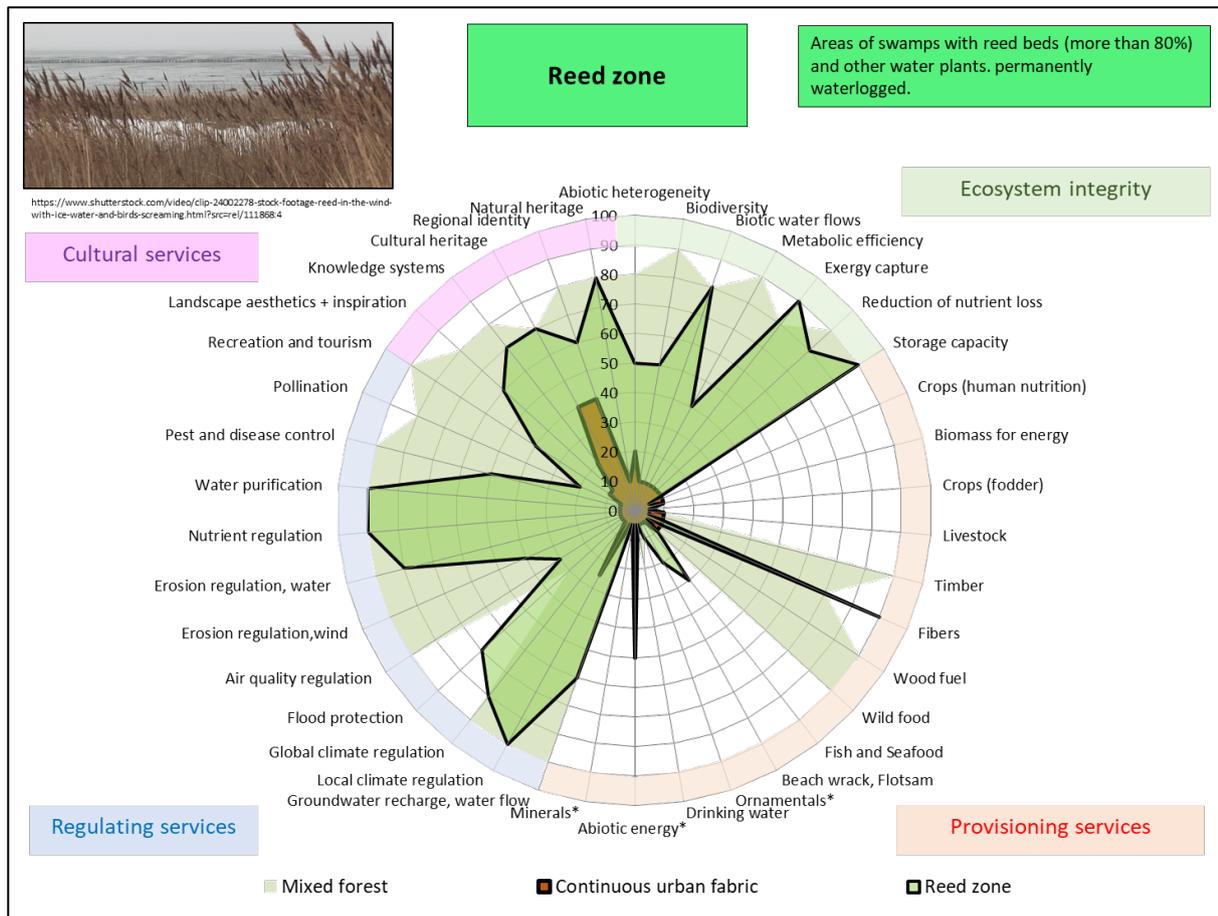


Abb. 3: Vergleichende Ökosystemleistungsprofile für die drei exemplarischen Ökosystemtypen Mischwald, Innenstadt und Schilfzone. Hierbei werden die Potenzialwerte aus der Matrix aus Gründen der Übersichtlichkeit im Spinnendiagramm zusammengestellt. So finden sich an den einzelnen Achsen oben rechts die Potenziale zur Bereitstellung von Integritäts-Indikatoren, gefolgt von den Versorgungsleistungen (rechts unten), den Regulationsleistungen (links unten) und den kulturellen Ökosystemleistungen (links oben). Es ist zu erkennen, dass sich die drei Ökosystemtypen erheblich voneinander unterscheiden, und es kann ein mittleres Gesamtpotenzial der einzelnen Typen visual abgeleitet werden.

Mithilfe der geschilderten Verfahren können nun einzelne Ökosystemleistungen ebenso wie einzelne Ökosystem-Typen umfassend analysiert und charakterisiert werden. Es wird möglich, Potenzialverluste oder -gewinne nach Eingriffen oder Restaurierungsmaßnahmen abzuschätzen und vor allem wird es ermöglicht, die flächenhafte Ausbreitung von Ökosystemleistungspotenzialen kartographisch darzustellen. Diese Interpretationsweise verspricht eine wesentliche Hilfe und Zusatzinformation bei der Bewertung von Umweltzuständen und umweltrelevanten Planungs-Maßnahmen. Auch die Aussichten auf nachhaltige Entwicklungspfade in Szenarien können mit Hilfe der Ökosystemleistungs-Bilanzen verschiedener Entwicklungs-Varianten regionalisierend als Entscheidungsgrundlagen verwendet werden.

Spinnen-Diagramm-Analyse: Beispiel Treibsel

Viele Gemeinden an den deutschen Küsten müssen sich mit dem ständig wachsenden Aufkommen von Treibsel auseinandersetzen. Dabei handelt es sich um angeschwemmte Reste von Makrophyten aus dem Meer, die mit Wind und Strömung an die Küste verfrachtet werden. Da beim biologischen Abbau der Substanzen interessante Gerüche entstehen und weil die dunklen Flächen am Strand von Touristen nicht bevorzugt werden, wird das Treibsel-Material an vielen Küsten abtransportiert und als Abfall weiterbehandelt, obwohl es für verschiedene Nutzungen weiterverwendet werden könnte. Diese Problematik wurde gemeinsam mit der Projekt-Studie „POSIMA“ (<https://posima.de/>) unter dem Gesichtspunkt der Ökosystemleistungen analysiert. Dabei ergab sich das in Abbildung B1 dargestellte Bild als Illustration von qualitativen Szenarien, mit der die komplexen Zusammenhänge zusammenführend dargestellt werden können.

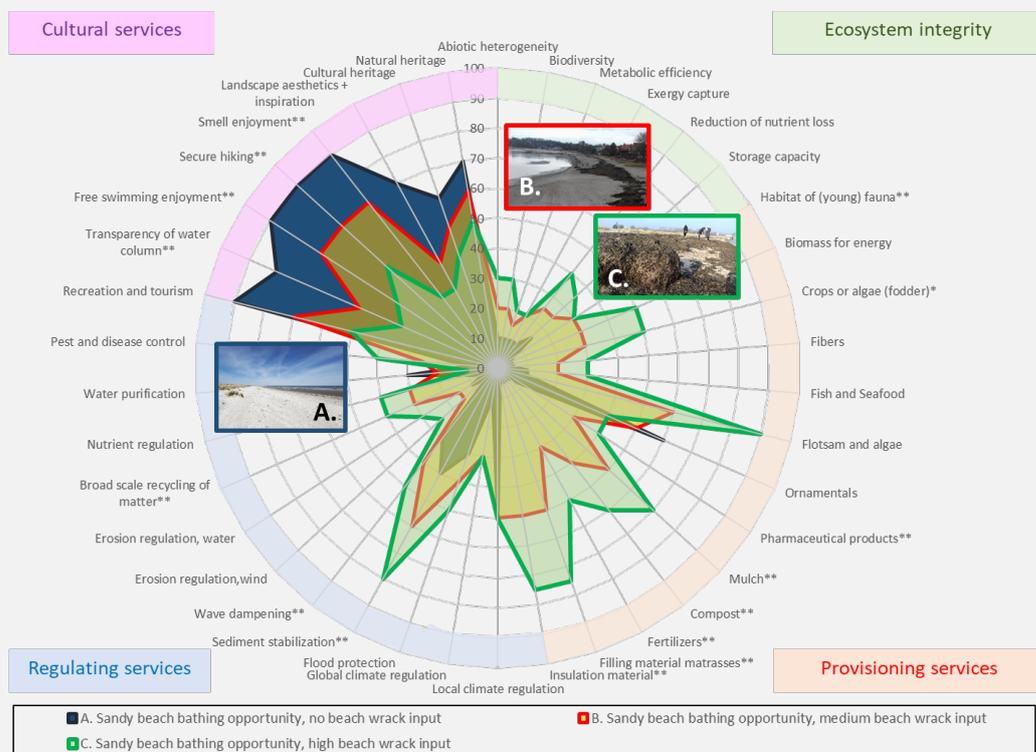


Abb. B1: Darstellung verschiedener Varianten von Treibselaufkommen an der Küste mit modifizierten Ökosystemleistungs-Kategorien auf der Basis der Ökosystemleistungsmatrix. Neben den bekannten Ökosystemleistungsklassen werden auch Integritäts-Parameter dargestellt. Die Varianten bezeichnen Küstensteifen mit Badestrand ohne Treibselanlandung (A), mit mittlerem (B) und hohem Treibselaufkommen (C). Es wird deutlich, dass bei den Versorgungsleistungen und den Regulationsleistungen Potenziale auftreten, die durchaus einer modifizierten Nutzung zugeführt werden könnten. Darüber hinaus wird die gegenläufige Wichtung potenzieller Nutzungen als Versorgungsleistungen und der Wertschätzung als kulturelle Leistung deutlich.

Abbildung 4 zeigt ein Beispiel für die regionalisierende Anwendung der Ökosystemleistungsmatrix im terrestrischen Bereich. Die Karte stellt die räumliche Verteilung des Ökosystemleistungspotenzials für lokale Klimaregulation in Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern auf der Basis des CORINE-Datensatzes und einer Küsten-

und Meeresklassifikation nach Schumacher et al. [5] dar. Durch eine Verknüpfung der Matrix mit diesen Flächendaten wird die Kartierung der räumlichen Verteilung des Ökosystemleistungspotenzials ermöglicht.

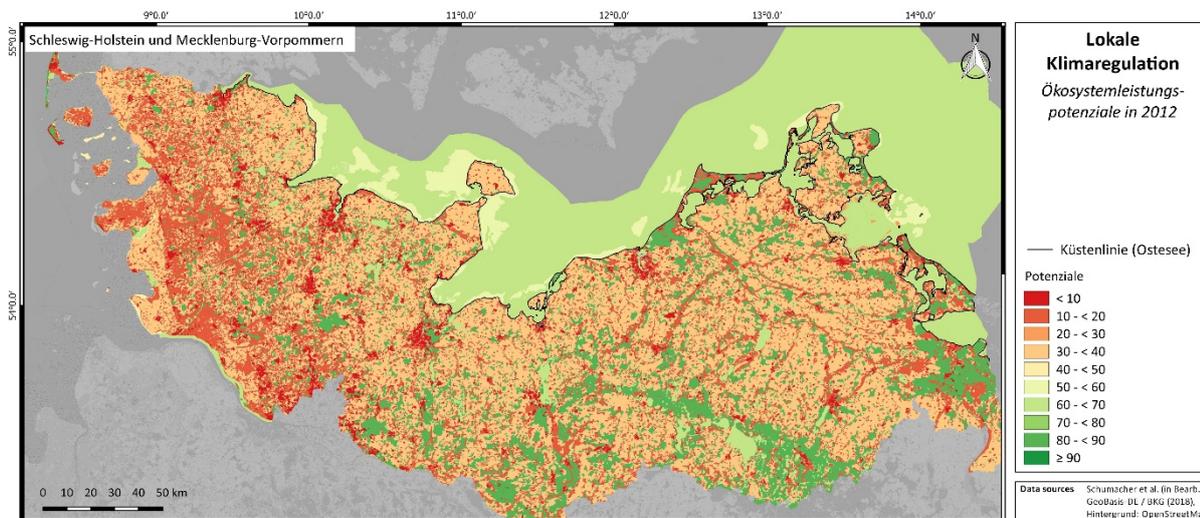


Abb. 4: Ökosystemleistungspotenziale für die lokale Klimaregulation in Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern auf der Basis des CORINE-Landbedeckungs-Datensatzes, einer Küsten- und Meeresökosystemklassifikation [5] und der oben beschriebenen Ökosystemleistungsmatrix. Die Potenziale der Flächen liegen zwischen geringen Werten kleiner 10 und hohen Werten bis zu 100.

Im küstennahen und marinen Bereich werden in Kooperation mit dem Vorhaben SECOS II (https://www.io-warnemuende.de/projekt/141/secos_ii.html) zeitnah die abschließenden Überarbeitungen der Bezugsdaten getroffen und Konzepte für die Verknüpfung der Informationen zu Habitaten, Sedimenten und Wasserkörper entwickelt. Auf dieser Basis kann in der nahen Zukunft eine effiziente Anwendung der Matrix und eine möglichst realitätsnahe Kartierung der räumlichen Verteilung der Ökosystemleistungspotenziale in diesen terrestrisch-marinen Kontaktzonen ermöglicht werden.

Literatur

- [1] Burkhard, B., 2017. Ecosystem services matrix. In: Burkhard B. & Maes, J. (Hrsg.), Mapping Ecosystem Services. Pensoft Publishers, Sofia, 225–230.
- [2] Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F. & Windhorst, W., 2009. Landscapes' Capacities to Provide Ecosystem Services – a Concept for Land-Cover Based Assessments. Landscape Online 15: 1–22.
- [3] Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S. & Müller, F., 2012. Mapping supply, demand and budgets of ecosystem services. Ecological Indicators 21: 17–29.
- [4] Burkhard, B., Kandziora, M., Hou, Y. & Müller, F., 2014. Ecosystem Service Potentials, Flows and Demands – Concepts for Spatial Localisation, Indication and Quantification. Landscape Online 34: 1–32.
- [5] Schumacher, J., Bicking, S., Inácio, M., Schernewski, G. & Müller, F., (in Bearbeitung). Spatial distribution of ecosystem services in the German Baltic Sea. In: Schubert, H. Bathmann, U. & Müller, F. (Hrsg., in Bearbeitung) Southern Baltic Coastal Analysis. Ecological Studies, Springer.

- [6] Stoll, S., Frenzel, M., Burkhard, B., Adamescu, M., Augustaitis, A., Baeßler, C., Bonet, F. J., Carranza, M. L., Cazacu, C., Cosor, G. L., Díaz-Delgado, R., Grandin, U., Haase, P., Hämäläinen, H., Loke, R., Müller, J., Stanisci, A., Staszewski, T. & Müller, F., 2015. Assessment of spatial ecosystem integrity and service gradients across Europe using the LTER Europe network. *Ecological Modelling* 295: 75–87.