

Albert, Christian et al.

## Article

# Indikatoren und Methoden zur Erfassung und Bewertung von Ökosystemleistungen in metropolitanen Räumen

Raumforschung und Raumordnung / Spatial Research and Planning

## Provided in Cooperation with:

Leibniz-Forschungsnetzwerk "R – Räumliches Wissen für Gesellschaft und Umwelt | Spatial Knowledge for Society and Environment"

*Suggested Citation:* Albert, Christian et al. (2022) : Indikatoren und Methoden zur Erfassung und Bewertung von Ökosystemleistungen in metropolitanen Räumen, Raumforschung und Raumordnung / Spatial Research and Planning, ISSN 1869-4179, oekom verlag, München, Vol. 80, Iss. 1, pp. 22-39,  
<https://doi.org/10.14512/rur.75>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/251974>

## Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

## Terms of use:

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*







*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# Indikatoren und Methoden zur Erfassung und Bewertung von Ökosystemleistungen in metropolitanen Räumen

Christian Albert , Reinhard Henke , Janette Iwanowski , Antje Kosan , Dietmar Mehl ,  
Claudia Romelli 

Eingegangen: 21. Januar 2021 ■ Angenommen: 1. Dezember 2021 ■ Online veröffentlicht: 31. Januar 2022

## Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird am Beispiel eines ausgewählten metropolitanen Raums ein wissenschaftlich fundierter und zugleich praxisrelevanter Vorschlag für Indikatoren und Methoden zur Erfassung und Bewertung von Ökosystemleistungen mit Relevanz für die Flächennutzungs- und Landschaftsplanung unterbreitet. Die Forschungsfragen zielen auf geeignete Ökosystemleistungen, Indikatoren und Methoden sowie auf eine Bewertung der vorgeschlagenen Ökosystemleistungsindikatoren hinsichtlich der Datenverfügbarkeit und des Erhebungsaufwandes. Als Fallbeispiel dient der Ballungsraum Frankfurt/

Rhein-Main. Das methodische Vorgehen besteht aus der Erarbeitung einer angepassten Indikatorenliste auf der Basis relevanter Vorarbeiten und einer expertenbasierten, anwendungsorientierten Evaluation. Die entwickelte Vorschlagsliste für den Ballungsraum Frankfurt/Rhein-Main umfasst insgesamt 27 Ökosystemleistungen mit jeweils einem oder mehreren Indikatoren. Die anwendungsorientierte Evaluation zeigt, dass in metropolitanen Räumen üblicherweise für fast alle Ökosystemleistungsindikatoren geeignete Daten vorliegen, die mit insgesamt moderatem, aber individuell unterschiedlichem Aufwand erhoben und bewertet werden können. Abschließend werden Empfehlungen für die Umsetzung in der Praxis gegeben.

✉ **Prof. Dr. Christian Albert**, Geographisches Institut, Ruhr Universität Bochum, Universitätsstraße 150, 44805 Bochum, Deutschland  
[christian.albert@rub.de](mailto:christian.albert@rub.de)

**Reinhard Henke**, Regionalverband FrankfurtRheinMain, Poststraße 16, 60329 Frankfurt am Main, Deutschland  
[henke@region-frankfurt.de](mailto:henke@region-frankfurt.de)

**Janette Iwanowski**, biota – Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH, Nebenring 15, 18246 Bützow, Deutschland  
[janette.iwanowski@institut-biota.de](mailto:janette.iwanowski@institut-biota.de)

**Antje Kosan**, Regionalverband FrankfurtRheinMain, Poststraße 16, 60329 Frankfurt am Main, Deutschland  
[kosan@region-frankfurt.de](mailto:kosan@region-frankfurt.de)

**Dr. Dr. Dietmar Mehl**, biota – Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH, Nebenring 15, 18246 Bützow, Deutschland  
[dietmar.mehl@institut-biota.de](mailto:dietmar.mehl@institut-biota.de)


**Claudia Romelli**, Geographisches Institut, Ruhr Universität Bochum, Universitätsstraße 150, 44805 Bochum, Deutschland  
[claudia.romelli@rub.de](mailto:claudia.romelli@rub.de)

**Schlüsselwörter:** Ökosystemleistungen ■ Indikatoren ■ Flächennutzungsplanung ■ Landschaftsplanung ■ Strategische Umweltprüfung ■ Frankfurt/Rhein-Main

## Indicators and methods for assessing and evaluating ecosystem services in metropolitan regions

### Abstract

This paper presents a scientifically credible and practically relevant set of indicators and methods to assess and evaluate ecosystem services of relevance for land use and landscape planning. The research questions are (i) to identify suitable ecosystem services, indicators, and methods, and (ii) to assess the proposed indicators regarding the respective data availability and assessment effort. The region of Frankfurt/Rhein-Main (Germany) serves as the case study. The methods include the synthesis of a specifically adapted list of ecosystem services indicators based on relevant prior research and an expert-based and application-oriented evaluation. The proposed list for the region of Frankfurt/Rhein-Main contains

 © 2022 Albert; licensee oekom verlag. This Open Access article is published under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

27 ecosystem services, with one or more associated indicators each. The evaluation reveals that metropolitan regions in Germany usually provide sufficient data to assess almost all ecosystem services. The assessment effort differs, but is generally moderate. The paper concludes with recommendations for practical application in the Frankfurt region and beyond.

**Keywords:** Ecosystem services ■ Indicators ■ Land use planning ■ Landscape planning ■ Strategic environmental assessment ■ Frankfurt/Rhein-Main

## 1 Einleitung

Die anhaltende Urbanisierung in Deutschland betrifft insbesondere metropolitane Räume, wobei Umlandgemeinden verstädtern und Landschaften im Regelfall naturferner werden. Es entstanden und entstehen weiterhin peri-urbane Landschaften mit einem Mosaik aus städtischen Strukturen, Agrar- und Forstflächen sowie naturnahen Lebensräumen. Diese Entwicklung zeigt sich beispielhaft im schnell wachsenden Ballungsraum Frankfurt/Rhein Main, in dem derzeit zwar noch circa 75 % der Fläche unbebaut ist, aber für die nächsten Jahrzehnte eine erhebliche Zunahme der Siedlungsfläche erwartet wird (Regionalverband Frankfurt-RheinMain 2016; Regionalverband FrankfurtRheinMain 2019).

Gerade in diesen schnell wachsenden metropolitanen Räumen kommt der Sicherung und nachhaltigen Nutzung von Ökosystemleistungen als Beiträge von Natur und Landschaft zum menschlichen Wohlergehen (TEEB 2010: 19) eine große gesellschaftliche Bedeutung zu. Das Konzept der Ökosystemleistungen wird in den letzten Jahren sowohl in der Wissenschaft als auch zunehmend in der Praxis der räumlichen Planung intensiv diskutiert (Albert/von Haaren/Galler 2012: 142; Grünwald/Wende 2013: 177; Heiland/Kahl/Sander et al. 2016: 313; Podschun/Thiele/Dehnhardt et al. 2018: 454). Das Konzept ähnelt damit demjenigen der Landschaftsfunktionen, Landnutzungsfunktionen und Naturraumpotenziale, fokussiert aber deutlicher auf eine Berücksichtigung des gesamten Spektrums privater und öffentlicher Leistungen und betont stärker auch quantitative Erfassungen und ökonomische Bewertungsverfahren (Albert/von Haaren/Galler 2012: 143; Schrapp/Garschhammer/Meyer et al. 2019: 530). Unterschieden werden häufig drei wesentliche Klassen von Ökosystemleistungen (vgl. MEA 2005: 7; TEEB 2010: 21; Díaz/Pascual/Stenseke et al. 2018: 271; Haines-Young/Potschin 2018: 9): Versorgungsleistungen wie Nahrung und Trinkwasser, Regulierungsleistungen wie Lokalklima und Hochwasserregulierung und kulturelle Leistungen wie Ästhetik und Erholung. Zusätzlich werden

in der letzten Zeit auch abiotische Ökosystemleistungen mitberücksichtigt (z. B. Haines-Young/Potschin 2018: 4).

Wesentliche Herausforderungen für eine Sicherung und nachhaltige Nutzung von Ökosystemleistungen in metropolitanen Räumen bestehen dabei unter anderem in folgenden Gesichtspunkten (TEEB DE 2016a: 17–18):

- Zersiedelungen im Umland führen häufig zum Verlust produktiver landwirtschaftlicher Flächen, zur Beeinträchtigung naturnaher Lebensräume und zur Landschaftszerstörung.
- Bestrebungen zur Priorisierung der Innenentwicklung vor der Außenentwicklung können zwar dazu beitragen, Zersiedelungen im Umland zu vermindern. Gleichzeitig gehen jedoch Freiflächen im Innenbereich mitsamt ihres Nutzens für die Biodiversität, für regulierende Ökosystemleistungen, für die Erholung und Gesundheit der Menschen verloren.
- Umweltbelastungen in den Kernstädten können zu Abwanderungen in das Umland führen, damit soziale Segregationen fördern und die Umweltgerechtigkeit beeinträchtigen.
- Der Klimawandel führt absehbar zu erhöhten Belastungen durch Wärmeeffekte, Dürren und Starkregenereignisse, die den Bedarf an regulierenden Ökosystemleistungen erhöhen und gleichzeitig die Funktionsfähigkeit der städtischen Freiräume beeinträchtigen.
- Die biologische Vielfalt ist in Städten so zu fördern, dass die Anforderungen und Interessen unterschiedlicher Akteure gleichermaßen integrativ berücksichtigt werden.

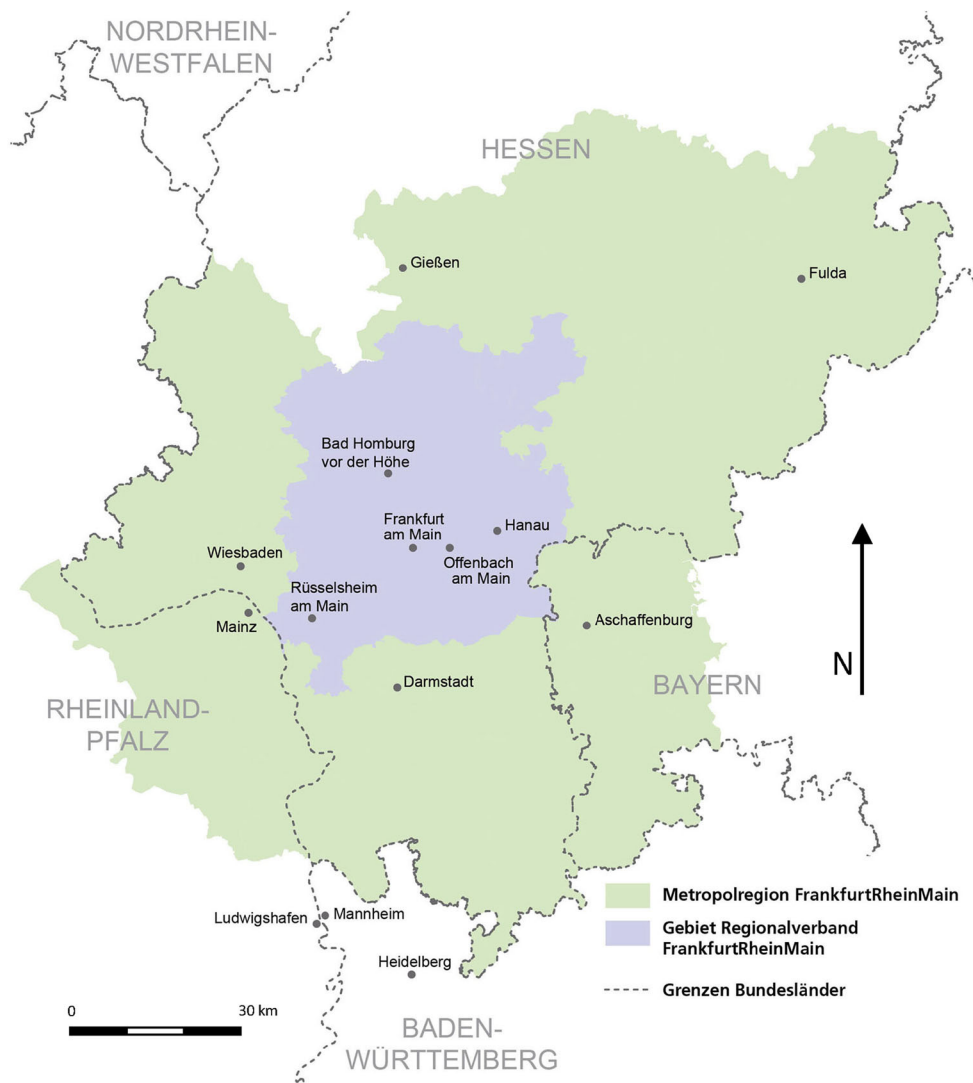
Eine quantitative Erfassung und Bewertung von Ökosystemleistungen könnte helfen, diese Herausforderungen zu bewältigen und räumliche Planungen in metropolitanen Räumen sinnvoll zu unterstützen. In den letzten Jahren wurde von der Wissenschaft eine große Zahl an Konzepten, Indikatoren und Methoden für die Erfassung und Bewertung von Ökosystemleistungen vorgelegt (wesentliche Studien: MEA 2005; TEEB 2010; Haines-Young/Potschin 2018; Díaz/Pascual/Stenseke et al. 2018) und teilweise wurden erste wissenschaftliche Studien zur Anwendung in der Landschafts- und Raumplanung durchgeführt (z. B. Koschke/Fürst/Frank et al. 2012; Albert/Galler/Hermes et al. 2016; Deppisch/Heitmann/Lezuo et al. 2020; Schrapp/Garschhammer/Meyer et al. 2020). Einen aktuellen Überblick über den Stand der Forschung zu Methoden der Erfassung urbaner Ökosystemleistungen gibt beispielsweise die Überblicksstudie von Dworczyk und Burkhard (2020). Eine wichtige Wissenslücke besteht jedoch in der Kenntnis geeigneter Indikatoren und Methoden, welche in der Planungspraxis eingesetzt werden und gleichzeitig belastbare Ergebnisse für Entscheidungen liefern (vgl. Albert/

Schröter-Schlaack/Hansjürgens et al. 2017: 76; Schrapp/Garschhammer/Meyer et al. 2019: 530; Albert/Fürst/Ring et al. 2020: 2–3; Schrapp/Garschhammer/Meyer et al. 2020: 118).

Ziel dieses Beitrags ist es, am Beispiel eines ausgewählten metropolitenen Raums einen wissenschaftlich fundierten und zugleich praxisrelevanten Vorschlag für Indikatoren und Methoden zur Erfassung und Bewertung von Ökosystemleistungen mit Relevanz für die Raum- und Landschaftsplanung zu unterbreiten. Zwei Forschungsfragen stehen dabei im Mittelpunkt:

1. Welche Ökosystemleistungen, Indikatoren und Methoden sind wissenschaftlich robust und praktisch geeignet, um planungsrelevante Informationen zu generieren?
2. Wie sind die vorgeschlagenen Ökosystemleistungsindikatoren hinsichtlich des Vorhandenseins relevanter Daten sowie des notwendigen Erhebungsaufwandes vor Ort zu bewerten?

Die besondere Innovation des Beitrags liegt damit in der substanziellen Erweiterung des bisherigen Standes des Wissens, indem nicht nur Indikatoren wissenschaftlich-konzeptionell erörtert, sondern explizit mit Bezug auf die Anwendung in der Planungspraxis vor Ort ausgewählt und hin-



**Abbildung 1** Räumliche Einordnung: Metropolregion FrankfurtRhineMain und Gebiet des Regionalverbands FrankfurtRhineMain. Anmerkung: Das Gebiet des Regionalverbands entspricht dem Ballungsraum. Quelle: Regionalverband FrankfurtRhineMain





**Abbildung 2** Siedlungsstrukturen und Freiräume in Frankfurt am Main. Quelle: Regionalverband FrankfurtRheinMain

sichtlich praktischer Anwendbarkeit in dem konkreten Untersuchungsgebiet evaluiert werden. Der Beitrag basiert im Wesentlichen auf den Ergebnissen einer unveröffentlichten Studie (Mehl/Iwanowski/Albert 2020) und weiterführenden Überlegungen.

Im folgenden Kapitel wird das Fallbeispiel Frankfurt/Rhein-Main charakterisiert. Das dritte Kapitel dient der Beschreibung der Methoden. In Kapitel 4 werden die Ergebnisse der Untersuchung vorgestellt. Diese werden in Kapitel 5 diskutiert und Kapitel 6 unterbreitet die Schlussfolgerungen des Beitrags.

## 2 Fallbeispiel Ballungsraum Frankfurt/Rhein-Main

Als Fallbeispiel wird der Ballungsraum Frankfurt/Rhein-Main als Teil der Metropolregion FrankfurtRheinMain herangezogen (vgl. Abbildung 1). Der Ballungsraum umfasst eine Fläche von rund 2670 qkm mit 80 Kommunen und ist die Heimat von mehr als 2,4 Millionen Menschen. Der Ballungsraum beinhaltet mit den Städten Frankfurt und Offenbach urbane Verdichtungsräume sowie ländlich geprägte Gebiete wie dem Hintertaunus. Aufgrund der prognostizierten positiven Wirtschaftsentwicklung wird im Ballungsraum ein erheblicher Siedlungsdruck erwartet (Regionalverband FrankfurtRheinMain 2019; vgl. auch Abbildung 2), was wiederum eine fortgesetzte Flächennachfrage mit sich bringt. Gleichzeitig bietet der Ballungsraum im Vergleich mit anderen Metropolregionen überdurchschnitt-

lich umfangreiche Datengrundlagen zum Zustand von Natur und Landschaft. Eine Besonderheit besteht in diesem Ballungsraum darin, dass der Regionale Flächennutzungsplan (RegFNP) zusammen mit dem Regionalplan Südhessen einen gemeinsamen Plan bildet (vgl. Abbildung 1). Damit können Planungsaussagen auf regionaler und kommunaler Ebene für 80 Kommunen getroffen werden. Der Regionale Flächennutzungsplan und der Regionale Landschaftsplan werden vom Regionalverband FrankfurtRheinMain für das Gebiet des gesamten Ballungsraums im Maßstab 1:25.000 erstellt. Dieser Regionale Flächennutzungsplan wird derzeit für das Zieljahr 2030 neu aufgestellt. Insofern bestehen besondere Chancen, damit anstehende Herausforderungen wie den Siedlungsdruck, den Flächenverbrauch und die Freiraumsicherung nachhaltig zu steuern. Eine Erfassung und Bewertung von Ökosystemleistungen könnte den Prozess der Planerstellung sinnvoll ergänzen und auch bessere Möglichkeiten der öffentlichen Information zulassen.

## 3 Methoden

Dem methodischen Vorgehen sind zwei wesentliche Aufgaben zugeordnet, nämlich die Erarbeitung einer wissenschaftlich fundierten und zugleich ortsspezifisch praktikablen Liste an relevanten Ökosystemleistungen und geeigneten Indikatoren sowie eine anwendungsorientierte Evaluation der vorgeschlagenen Indikatoren hinsichtlich der Datenverfügbarkeit und des Erhebungsaufwandes.

Die Erarbeitung der Liste wissenschaftlich robuster und praktisch relevanter Ökosystemleistungen und Indikatoren erfolgt in drei Schritten. Im Rahmen einer fokussierten Literaturstudie werden zunächst etablierte und relevante Systematiken von Ökosystemleistungen identifiziert. Berücksichtigt werden zum einen im internationalen Kontext verbreitete Systematiken wie diejenigen des *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA 2005), der Studie „The Economics of Ecosystems and Biodiversity“ (TEEB 2010), der *Common International Classification of Ecosystem Services* (Haines-Young/Potschin 2018) sowie des Biodiversitätsrates der Vereinten Nationen (Díaz/Pascual/Stenseke et al. 2018). Zum anderen werden zahlreiche im deutschen Kontext verwendete Systematiken identifiziert und berücksichtigt, insbesondere Arbeiten aus der Studie „Naturkapital Deutschland“ (TEEB DE 2015; TEEB DE 2016a; TEEB DE 2016b), zu Fließgewässern in Deutschland (Podschun/Thiele/Dehnhardt et al. 2018), zu Gewässern und Feuchtgebieten in urbanen Räumen (Mehl/Hoffmann/Iwanowski et al. 2018a; Mehl/Hoffmann/Iwanowski et al. 2018b; Mehl/Hoffmann/Schneider et al. 2018; Mehl/Renner/Gottelt-Traub et al. 2018), zu kulturellen Ökosystemleistungen (Riechers/Barkmann/Tscharntke 2015; Hermes/Albert/von Haaren 2018) sowie Arbeiten zur deutschlandweiten Erfassung und Bewertung von Ökosystemleistungen (Albert/Bonn/Burkhard et al. 2016; Albert/Neßhöver/Schröter et al. 2017; Grunewald/Pekker/Zieschank et al. 2019). In einem zweiten Schritt wurde für die identifizierten Ökosystemleistungen aus der Literatur eine Auswahl von Ökosystemleistungen mit besonderer Relevanz für das Untersuchungsgebiet des Ballungsraums Frankfurt/RheinMain getroffen. Für die Auswahl flächennutzungsplan- und landchaftsplanrelevanter Ökosystemleistungen waren folgende Voraussetzungen ausschlaggebend:

- Inhaltliche Relevanz für den Ballungsraum Frankfurt/Rhein-Main und dabei insbesondere für den unbebauten Außenbereich (in Anlehnung an § 35 BauGB<sup>1</sup>).
- Eignung für eine Erfassung auf der (noch groben und detailräumlich unbestimmten) Maßstabsebene der Flächennutzungsplanung im Sinne einer ausreichenden „Parametersensitivität“ (Lassen sich mit den relevanten Ökosystemleistungen, zugehörigen Ökosystemfunktionen und geeigneten/sachgerechten Indikatoren und Methoden quantitative und qualitative Unterschiede zwischen Ausgangs-/Ist- und einem Planzustand detektieren?).

- Möglichkeit, die Ökosystemleistungen mit Geodaten (geographisch-kartographisch vorliegenden Daten) zu untersuchen.
- Ausgewogenheit im Sinne des Verhältnisses zwischen den Hauptgruppen versorgende, regulative, kulturelle sowie weitere (abiotische) Ökosystemleistungen.
- Vermeidung einer Doppelbewertung von Einzelleistungen.
- Soweit sinnvoll: Möglichkeiten einer monetären Bewertung der ausgewählten Ökosystemleistungen.

Der dritte Schritt besteht in der Bestimmung geeigneter Indikatoren und Methoden für die ausgewählten Ökosystemleistungen. Indikatoren werden verstanden als bestimmbare, soweit möglich messbare Eigenschaften der Ökosystemleistungen. Dabei liegt das Augenmerk darauf, nicht Belastungen und Beeinträchtigungen, sondern die Leistung zu messen (Grunewald/Walz/Herold et al. 2015: 307). Für die Erfassung und Bewertung von Ökosystemleistungen kommt prinzipiell ein breites Spektrum möglicher Indikatoren infrage (vgl. z. B. Dworczyk/Burkhard 2020 für eine jüngere Metastudie zu Indikatoren urbaner Ökosystemleistungen). Um jedoch insbesondere solche Indikatoren zu identifizieren, die für die Planung relevant und nutzbar sind, orientierten sich Analyse und Abwägung nicht nur an den Kriterien guter Ökosystemleistungsindikatoren (van Oudenhoven/Schröter/Drakou et al. 2018: 423–425), sondern auch an folgenden Voraussetzungen:

- Repräsentativität und ausreichende Sensitivität der Indikatoren für die ausgewählte Ökosystemleistung (bzw. Ökosystemleistungsfunktion) (vgl. z. B. Mehl/Hoffmann/Iwanowski et al. 2018b: 151–152; Mehl/Hoffmann/Schneider et al. 2018: 200; Mehl/Renner/Gottelt-Traub et al. 2018: 257),
- Eigenschaft bzw. Möglichkeit einer räumlichen und nutzungsabhängigen Differenzierung der Ökosystemleistungen,
- Prinzipielles Vorhandensein geeigneter Fach-/Geodaten für die Bestimmung indikatorabhängiger Methoden/Verfahren einer Quantifizierung/Bewertung,
- Berücksichtigung von Fragen einer sinnvollen/sachgerechten Informationsdichte und einer über alle Indikatoren hinweg einheitlichen Darstellung (vgl. Grunewald/Walz/Herold et al. 2015: 307),
- GIS-Analysefähigkeit als wesentliche Voraussetzung bzw. großem Vorteil (vgl. auch Podschun/Thiele/Dehnhardt et al. 2018: 458; Kempa/Lovett 2019: 77),
- Szenariofähigkeit bei der Anwendung der Indikatoren (Varianten der räumlichen Entwicklung) (vgl. z. B. Mehl/Hoffmann/Iwanowski et al. 2018a: 14–15),

<sup>1</sup> Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634), das zuletzt durch Artikel 9 des Gesetzes vom 10. September 2021 (BGBl. I S. 4147) geändert worden ist.

- Nachfolgende Möglichkeit der EDV-gestützten Weiterverarbeitung und einer – sofern möglich – indikatorbezogenen Monetarisierung.

Die anwendungsorientierte Evaluation der vorgeschlagenen Indikatoren erfolgt hinsichtlich üblicherweise in Metropolregionen verfügbaren Datengrundlagen und des voraussichtlichen Bedarfs zur Datengenerierung sowie des Aufwands zur Bewertung. Dazu wird für jeden vorgeschlagenen Ökosystemleistungsindikator der Datenbedarf benannt und einer Abschätzung der in Metropolregionen in Deutschland üblicherweise verfügbaren Daten gegenübergestellt. Die Bewertung des Bedarfs zur Datengenerierung sowie des Aufwands zur Bewertung erfolgt im Rahmen einer Experteneinschätzung auf einer dreistufigen ordinalen Skala (sehr hoch, hoch, gering). Die Bewertung des Aufwands wird aufgrund von Erfahrungswerten aus der planerischen Praxis vorgenommen. Die Experteneinschätzungen werden von einem Teil des Autorenteam vorgeschlagen und von den Koautorinnen/Koautoren kritisch geprüft und diskutiert. Die abschließende Experteneinschätzung spiegelt daher den Konsens der beteiligten Fachleute aus Wissenschaft, Planungsberatung und Planungspraxis wider.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Ökosystemleistungen und Indikatoren mit Relevanz für Planungszwecke des Regionalverbandes FrankfurtRheinMain

Die Vorschlagsliste wissenschaftlich robuster und praktisch relevanter Ökosystemleistungen und Indikatoren mit Relevanz für Planungszwecke des Regionalverbandes FrankfurtRheinMain umfasst insgesamt 27 Ökosystemleistungen (vgl. Tabelle 1). Diese gliedern sich in sieben Ökosystemleistungen im Bereich der Versorgungsleistungen sowie zehn in den Bereichen der Regulierungsleistungen, fünf im Bereich der kulturellen Leistungen sowie fünf im Feld der abiotischen Ökosystemleistungen. Für jede Ökosystemleistung werden ein oder mehrere Indikatoren vorgeschlagen.

### 4.2 Einschätzungen bezüglich des Bedarfs zur Datengenerierung und des Bewertungsaufwandes

Die Ergebnisse der anwendungsorientierten Evaluation der vorgeschlagenen Indikatoren im Hinblick auf die Anwendbarkeit in Metropolregionen ist in Tabelle 2 dargestellt. Die Abschätzung ergibt, dass in Metropolregionen üblicherweise für fast alle Ökosystemleistungen geeignete Daten vorliegen, um entsprechende Bewertungen vornehmen zu können.

Der jeweilige Aufwand unterscheidet sich zwar und hängt unter anderem auch vom fachlichen sowie vom GIS-Knowhow der Bearbeitenden ab, doch ist er insgesamt als moderat einzuschätzen.

Der Regionalverband FrankfurtRheinMain verfügt sogar über sehr gute Datengrundlagen und hohe GIS-Kenntnisse, sodass eine Anwendbarkeit der vorgeschlagenen Ökosystemleistungsindikatoren hier vergleichsweise einfach realisierbar wäre.

## 5 Diskussion

Die in diesem Beitrag präsentierten Ergebnisse, basierend auf Mehl, Iwanowski und Albert (2020), legen erstmals ein gleichzeitig wissenschaftlich fundiertes und praxisrelevantes Set an Ökosystemleistungen und geeigneten Indikatoren für die Flächennutzungs- und Landschaftsplanung vor. Das Indikatorenset ermöglicht, die Flächen im unbeplanten Außenbereich des Ballungsraumes Frankfurt/Rhein-Main im Hinblick auf das Dargebot an Ökosystemleistungen zu erfassen und bewerten. Zudem erlauben die Indikatoren prinzipiell eine Abschätzung möglicher Auswirkungen von Szenarien zur Raumentwicklung, wobei gegebenenfalls weitere Annahmen zur Konkretisierung der Art der Flächennutzung notwendig sein können.

Eine praktische Anwendung des Indikatorensets kann sinnvoll auf der planerischen Ebene des Flächennutzungsplanes (im Sinne eines vorbereitenden Bauleitplanes) für die bauliche und sonstige Nutzung der Grundstücke in einer Gemeinde entsprechend § 1 Absätze 1 und 2 BauGB erfolgen. Bauleitpläne sollen unter anderem eine nachhaltige städtebauliche Entwicklung sicherstellen, die insbesondere auch natürliche Lebensgrundlagen schützt sowie Klimaschutz und -anpassung fördert (§ 1 Abs. 5 BauGB). Gerade der Vermeidung und dem Ausgleich voraussichtlich erheblicher Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes sowie der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts in seinen Bestandteilen (Eingriffsregelung nach dem Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG)) sind dabei entsprechendes Augenmerk zu widmen (§ 1a Abs. 3 BauGB).

Eine Anwendung des Ökosystemleistungsansatzes auf der Ebene der Flächennutzungsplanung eröffnet damit die Chance zu mehr Vorsorge im Hinblick auf die oben genannten Handlungsfelder nachhaltiger Raumentwicklung. Allerdings muss nach wie vor vieles vor dem Hintergrund geeigneter und tatsächlich verfügbarer Grundlagendaten gesehen werden; dies wirkt häufig limitierend. Ohne dies hier bereits abschließend rechtlich beurteilen zu wollen und zu können, werden folgende Möglichkeiten der Integration des Ökosystemleistungsansatzes (Analyse und Bewertung, möglichst

**Tabelle 1** Ökosystemleistungen und Indikatoren mit Relevanz für Planungszwecke des Regionalverbandes FrankfurtRheinMain

Ökosystemleistung	Indikator(en)	Mögliche Methoden
<b>Versorgungsleistungen</b>		
<b>Subgruppe: Nahrungsmittel</b>		
Landwirtschaftliche, gartenbauliche Kulturpflanzen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bodenfruchtbarkeit</li> <li>– Feldkapazität</li> <li>– Bezüglich Bestäubungsfunktionen: Lebensraumvernetzung und Habitatfragmentierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ertragspotenzial</li> <li>– Ackerwertzahl</li> <li>– Grünlandwertzahl</li> <li>– Soil Quality Rating (SQR) (Müller/Schindler/Behrendt et al. 2007; DWA 2018)</li> <li>– Wasserspeichervermögen</li> <li>– Anteil naturnaher Biotope (Bürger 2004: 10–14)</li> <li>– Lage im/Nähe zum Biotopverbund (BMU 2018)</li> </ul>
Pflanzliche Biomasse für den Einsatz in der Tierproduktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bodenfruchtbarkeit</li> <li>– Feldkapazität</li> <li>– Bezüglich Bestäubungsfunktionen: Lebensraumvernetzung und Habitatfragmentierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ertragspotenzial</li> <li>– Ackerwertzahl</li> <li>– Grünlandwertzahl</li> <li>– Soil Quality Rating (SQR) (Müller/Schindler/Behrendt et al. 2007; DWA 2018)</li> <li>– Wasserspeichervermögen</li> <li>– Anteil naturnaher Biotope (Bürger 2004: 10–14)</li> <li>– Lage im/Nähe zum Biotopverbund (BMU 2018)</li> </ul>
Trinkwasser (Grundwasser, Quellenwasser)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Grundwassermenge</li> <li>– Grundwasserqualität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Grundwasserneubildung (mittlere) in Trinkwassereinzugsgebieten sowie Gebieten mit Auftreten von Mineralquellen</li> <li>– Eigenschaften des Untergrundes (Boden, tieferer Untergrund, Grundwasserleiter) im Hinblick auf den Geschütztheitsgrad des Grundwassers</li> </ul>
<b>Subgruppe: Rohstoffe</b>		
Pflanzliche Rohstoffe für eine Verarbeitung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bodenfruchtbarkeit</li> <li>– Feldkapazität</li> <li>– Bezüglich Bestäubungsfunktionen: Lebensraumvernetzung und Habitatfragmentierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ertragspotenzial</li> <li>– Ackerwertzahl</li> <li>– Grünlandwertzahl</li> <li>– Soil Quality Rating (SQR) (Müller/Schindler/Behrendt et al. 2007, DWA 2018)</li> <li>– Wasserspeichervermögen</li> <li>– Anteil naturnaher Biotope (Bürger 2004: 10–14)</li> </ul>
Brauchwasser in Industrie und Landwirtschaft (Oberflächen- und Grundwasser)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Nachhaltig nutzbare Grundwassermenge</li> <li>– Grundwasserqualität</li> <li>– Nachhaltig nutzbare Abflussmenge (oberirdisch)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mittlere Grundwasserneubildung, davon 70 %</li> <li>– Eigenschaften des Untergrundes (Boden, tieferer Untergrund, Grundwasserleiter) im Hinblick auf den Geschütztheitsgrad des Grundwassers</li> <li>– Mittlere jährliche Abflussmenge in Höhe von maximal 0,25 MNQ (mittlerer Niedrigwasserdurchfluss) entsprechend LAWA-Verfahrensanleitung „Wasserhaushalt“ (Mehl/Hoffmann/Schönrock et al. 2017: 33)</li> </ul>
Geogene mineralische und nichtmineralische Rohstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verbreitung, Vorkommen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Geologische Bedingungen</li> </ul>
<b>Subgruppe: Energie</b>		
Pflanzliche und Energierohstoffe aus Landwirtschaft, Kurzumtriebsplantagen, Holzwirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bodenfruchtbarkeit</li> <li>– Feldkapazität</li> <li>– Bezüglich Bestäubungsfunktionen: Lebensraumvernetzung und Habitatfragmentierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ertragspotenzial</li> <li>– Ackerwertzahl</li> <li>– Grünlandwertzahl</li> <li>– Soil Quality Rating (SQR) (Müller/Schindler/Behrendt et al. 2007; DWA 2018)</li> <li>– Wasserspeichervermögen</li> <li>– Anteil naturnaher Biotope (Bürger 2004: 10–14)</li> </ul>



Tabelle 1 (Fortsetzung)

Ökosystemleistung	Indikator(en)	Mögliche Methoden
<b>Regulierungsleistungen</b>		
<b>Subgruppe: Extremabfluss</b>		
Hochwasserregulation	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Flächen gleicher/ähnlicher Abflussbildungsbereitschaft</li> <li>– Volumen von Senken/Mulden und kleineren/temporären Fließgewässern/Abflussbahnen</li> <li>– Rauigkeit der Geländeoberfläche, Rauigkeit im Bereich von Abflussbahnen, Abflusshindernisse in kleineren/temporären Fließgewässern (Hecken, Wälle, Dämme, Durchlässe, Gebäude etc.)</li> <li>– Retentionsbestimmende Eigenschaften des Hochwasserrückhalteraaumes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Hydrologisch determinierte Kombination der Faktoren: Versiegelungsgrad, Bodenart/Untergrundbeschaffenheit, Nutzung/Bodenbedeckung, Geländegefälle</li> <li>– Analyse von Abflussbahnen (Lage, Funktion/Hierarchie)</li> <li>– Senkenanalyse (Volumenbestimmung)</li> <li>– Analyse von Abflussbahnen</li> <li>– <i>Factsheet</i> bei Podschun/Albert/Costea et al. (2018: 61): Volumenverhältnis der rezenten Aue zur morphologischen Aue, Rauigkeit der Kompartimente Sohle, Ufer, Land (Daten zur Fließgewässerstruktur)</li> </ul>
Niedrigwasserregulation	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Grundwasser</li> <li>– Relative Höhe des Niedrigwasserabflusses</li> <li>– Abflussregimetypen</li> <li>– Fließgewässerstruktur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bilanzierungen und/oder Modellierungen für Grundwasserneubildungsraten</li> <li>– Regionalisierte Koeffizienten (z. B. Quartil Q25 % im Verhältnis zu Q50 % oder zu mittlerem Abfluss MQ), z. B. regionalisierter Koeffizient MHQ (mittlerer Hochwasserabfluss), MNQ (mittlerer Niedrigwasserabfluss) (Mehl 2004)</li> <li>– <i>Factsheet</i> bei Podschun/Albert/Costea et al. (2018: 65): Analyse über die Fließgewässerstrukturgüte der Kompartimente Sohle, Ufer</li> </ul>
<b>Subgruppe: Böden und Gewässersedimente (inkl. Schwebstoffe)</b>		
Regulation von Bodenerosionsprozessen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Erosionsgefährdung durch Wasser</li> <li>– Hangrutschungsgefahr</li> </ul>	
Bodenbildung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Gesamtbewertung Bodenschutz, ohne Erosionsgefährdung</li> </ul>	
Sedimentregulation im Gewässersystem	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bewertung des gewässerinternen Sedimenthaushalts und von Kolmationsprozessen über die Naurnähe morphologischer Strukturen und die Auswirkungen von Querbauwerken auf die Sedimentdurchgängigkeit/morphologische Wirkung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Factsheet</i> bei Podschun, Albert, Costea et al. (2018: 68): Analyse über die Fließgewässerstrukturgüte des Kompartimentes Sohle</li> </ul>
<b>Subgruppe: Abbau/Retention von Pflanzennährstoffen (Makronährstoffe)</b>		
Retention von Nitrat	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Nitratrückhalt in Böden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Filter- und Pufferfunktion, Nitratfiltervermögen</li> </ul>
<b>Subgruppe: Globales Klima</b>		
Rückhalt von Treibhausgasen/Kohlenstoffsequestrierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kohlenstoffvorratsänderung im Boden sowie in unter- und oberirdischer Biomasse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Methodik des Nationalen Inventarberichts (NIR) zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2016 des Umweltbundesamtes (UBA 2018), durch Einzel-Prozessbezogenheit (Ansätze für jedes einzelne Treibhausgas (Kohlenstoffdioxid, Distickstoffmonoxid, Methan) sowie Unterscheidung zwischen Boden und oberirdischer Biomasse), aber Überlagerung notwendig und Ökosystemleistungs-Anfangszustand muss expertengestützt definiert werden</li> </ul>

Tabelle 1 (Fortsetzung)

Ökosystemleistung	Indikator(en)	Mögliche Methoden
<b>Subgruppe: Regional-/ Lokalklima</b>		
Kühlwirkung (Gewässer und Böden)	– Verdunstungshöhe	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wasserhaushalt</li> <li>– Wasserhaushaltsberechnung und Multiplikation mit spezifischer Verdunstungswärme (gegebenenfalls nur für Sommertage <math>\geq 25^\circ \text{C}</math>)</li> <li>– Gesamtmethodik nach Mehl/Hoffmann/Schneider et al. (2018), basierend auf Kastler, Molt, Kaufmann-Boll et al. (2015) und dem BAGLUVA-Verfahren zur Wasserhaushaltsberechnung und weiteren Ansätzen (Bagrov 1953; Wendling/Schellin/Thomä 1991; Glugla/Müller/Jankiewicz et al. 1999; BfG 2003)</li> </ul>
Kühlwirkung durch regionale/lokale Windsysteme	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kaltluftentstehungsgebiete</li> <li>– Kaltflussbahnen (hindernisfreie oder -arme Leitbahnen)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Vereinfachte Flächenbewertung im Hinblick auf die Kaltluftentstehung/Kaltluftproduktion (z. B. Wiese, Wald, Acker, Siedlung) inklusive Lage/Geländegefälle oder Methodik nach Marks/Müller/Leser et al. (1992): Klimameliorations- und bioklimatische Funktion</li> <li>– Bestimmung/Bewertung der Kaltluftabflussbahnen über GIS-Abflussbahnenanalyse und Beachtung einer Mindestbreite der Bahnen inklusive Gewässertälern</li> </ul>
<b>Subgruppe: Biologische Vielfalt</b>		
Habitatbereitstellung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Habitatqualität</li> <li>– Lebensraumvernetzung</li> <li>– Habitatfragmentierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Flächenbewertung nach Anteil und Habitatqualität (mit zu entwickelnder Bewertungsmatrix)</li> <li>– Bewertung der Verbundfunktionen (auch GIS-gestützt)</li> <li>– Bewertung der Habitatfragmentierung (auch GIS-gestützt)</li> </ul>
<b>Kulturelle Leistungen</b>		
<b>Subgruppe: Kognitives und emotionales Erleben von Natur und Landschaft</b>		
Landschaftsästhetik	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Vielfalt des Landschaftsbildes</li> <li>– Erlebbarkeit/Sichtbarkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Landschaftsbildbewertung mittels Landschaftsstrukturmaßen: Landnutzungsvielfalt, Strukturvielfalt und topographische Vielfalt</li> <li>– Einsehbarkeit des Geländes (Sichtbarkeitsanalyse)</li> </ul>
Bildung und Wissenschaft	– Landschaftsteile mit besonderer Eignung für Bildung und Wissenschaft, vgl. u. a. § 6 BNatSchG (Beobachtung von Natur und Landschaft, Anhang V WRRL bzw. OGewV und GrwV und entsprechende wissenschaftliche Grundlagen des Gewässerschutzes)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Geodatenanalyse: Schutzgebiete, besonders naturnahe Ausprägungen, Geo- und Biotope, Lehrpfade, Schautafeln, Bodenaufschlüsse, Freiluftmuseen etc.</li> </ul>
Allgemeine Erholung und Tourismus	– Erholungs- und Erlebniswert der Landschaft	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Möglichkeit, eine Landoberfläche (einschließlich Wasserflächen) zu erleben oder für spezifische Tätigkeiten zu nutzen; GIS-Analyse, Expertenbewertung, z. B. Verfahren nach Marks/Müller/Leser et al. (1992)</li> </ul>
Spezifische Erholungs-, Sport- und Erlebnisformen		<ul style="list-style-type: none"> <li>– z. B. Verfahren nach Marks/Müller/Leser et al. (1992) und Adaption/Erweiterung (z. B. Eignung für spezifische Erholungs-, Sport- und Erlebnisformen)</li> </ul>

Tabelle 1 (Fortsetzung)

Ökosystemleistung	Indikator(en)	Mögliche Methoden
<b>Subgruppe: Spirituelle oder symbolische Bedeutung von Natur und Landschaft</b>		
Natur- und Kulturerbe	– Kultur- und Sachgüter	– Geodatenanalyse
<b>Abiotische Ökosystemleistungen</b>		
Solare Energie	– Solares Potenzial	– Analyse des räumlichen Potenzials und Berechnung des möglichen mittleren Jahresertrages und der Speicherung
Windenergie	– Windkraftpotenzial	– Ertragspotenzial unter Berücksichtigung von Mindestabständen (ohne Bewertung weiterer Umweltschutzaspekte wie Naturschutz, Landschaftsbild) – Abstände zu bebauten Flächen
Geothermische Energie	– Geothermisches Potenzial	– Hydrogeologische und wasserwirtschaftliche Standortbeurteilung (vgl. HLNUG 2019) und Abschätzung des Potenzials über Heiz- und Kühlbedarf der Gebäude entsprechend Flächennutzungsplan-Nutzungskategorie
Thermische Energie der Oberflächengewässer	– Hydrothermisches Potenzial	– Abschätzung über Gewässergröße/-tiefe, Abfluss und Nähe zu potenziell bebauten Flächen
Wasserkraft	– Wasserkraftpotenzial – Mittlerer Durchfluss, Gefälle und mittlere Höhendifferenz auf Gewässerstrecken bezogen – Höhendifferenz an Staustufen (ohne Berücksichtigung von hydraulischen und mechanischen Verlusten und Verlusten infolge Energieumwandlung (in Strom))	– Berechnung/Bewertung des energetischen Potenzials mit $m$ = mittlere Wassermasse je Zeiteinheit (mit $1 \text{ m}^3 = 1 \text{ t}$ ), $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$ – (Fallbeschleunigung), $h_{\text{Diff}}$ = Höhendifferenz in m $\text{Ind}_{WK} = \frac{E_{\text{AuSeg}}}{E_{\text{Max}}}$ wobei $E_{\text{AuSeg}} = \frac{m \times g \times h_{\text{Diff}}}{3600} / 1000$

BNatSchG = Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3908) geändert worden ist; WRRL = Wasserrahmenrichtlinie – EU-Richtlinie zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik; OGewV = Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373), die zuletzt durch Artikel 2 Absatz 4 des Gesetzes vom 9. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2873) geändert worden ist; GrwV = Grundwasserverordnung vom 9. November 2010 (BGBl. I S. 1513), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 4. Mai 2017 (BGBl. I S. 1044) geändert worden ist.

inklusive umweltökonomischer Analyse und Bewertung) gesehen:

- Transparentes und integratives (Vor)prüfen von Raumentwicklungsoptionen im Sinne von Handlungsoptionen mit Ausweis von Vor- und Nachteilen sowie untereinander bestehenden Abhängigkeiten (*trade offs*) im Hinblick auf mögliche Änderungen im Dargebot von Ökosystemleistungen. So sind im Planungsraum erhebliche Erweiterungen von Wohn-, Industrie und Gewerbeflächen geplant.
- Anwendung zunächst parallel zur Strategischen Umweltprüfung (SUP) (§§ 33-46 UVPG<sup>2</sup>) bei der Aufstellung

des Flächennutzungsplanes nach § 2 BauGB. Zur Strategischen Umweltprüfung besteht sogar bereits eine Internetanwendung des Regionalverbandes im Sinne eines Entscheidungsunterstützungssystems.

- Letztendlich Integration der Ergebnisse in den Umweltbericht entsprechend § 40 Abs. 4 UVPG. Hiernach können „Angaben, die der zuständigen Behörde aus anderen Verfahren oder Tätigkeiten vorliegen, [...] in den Umweltbericht aufgenommen werden, wenn sie für den vorgesehenen Zweck geeignet und hinreichend aktuell sind“. Hier böten Ergebnisse einer Bewertung von Ökosystemleistungen gute Anknüpfungspunkte.

Vorteile einer solchen Einbeziehung des Ökosystemleistungsansatzes liegen insbesondere in der integrativen Betrachtung eines breiten Spektrums von Ökosystemleistungen und möglicher Wechselwirkungen sowie in der dadurch ermöglichten Erweiterung der Entscheidungsgrundlagen

<sup>2</sup> Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. März 2021 (BGBl. I S. 540), das durch Artikel 14 des Gesetzes vom 10. September 2021 (BGBl. I S. 4147) geändert worden ist.

**Tabelle 2** Einschätzungen zur Datenverfügbarkeit und zum Bewertungsaufwand für die Erfassung und Bewertung von Ökosystemleistungsindikatoren in deutschen Metropolregionen

Ökosystemleistung und Indikator(en)	Benötigte Datengrundlagen	Evaluation auf Basis von Expertenabschätzungen:	
		■ sehr hoch ● hoch ● gering	
		Bedarf zur Datengenerierung	Aufwand zur Bewertung
<b>Versorgungsleistungen</b>			
<b>Subgruppe: Nahrungsmittel</b>			
Kulturpflanzen: Bodenfruchtbarkeit Feldkapazität Lebensraumvernetzung Habitatfragmentierung	– Ertragspotenzial – Biotop- und Nutzungstypen, geschützte Biotope – Biotopverbundsysteme	●	●
Pflanzliche Biomasse für den Einsatz in der Tierproduktion: Bodenfruchtbarkeit Feldkapazität Lebensraumvernetzung Habitatfragmentierung	– Ertragspotenzial – Biotop- und Nutzungstypen, geschützte Biotope – Biotopverbundsysteme	●	●
Trinkwasser (Grundwasser, Quellenwasser): Grundwassermenge Grundwasserqualität	– Grundwassereinzugsgebiete – Trinkwassereinzugsgebiete – Grundwasserneubildungsraten – Bodenkundliche Daten – Geologische und hydrogeologische Daten (Dicke von sperrenden/schützenden Schichten (Wasserdurchlässigkeitswerte nach Schichtung), Eigenschaften von Grundwasserleitern, Verweilzeiten des Grundwassers, Grundwasserleiter und -stockwerke	●	●
<b>Subgruppe: Rohstoffe</b>			
Pflanzliche Rohstoffe für eine Verarbeitung: Bodenfruchtbarkeit Feldkapazität Lebensraumvernetzung Habitatfragmentierung	– Ertragspotenzial – Biotop- und Nutzungstypen, geschützte Biotope – Biotopverbundsysteme	●	●
Brauchwasser in Industrie und Landwirtschaft (Oberflächen- und Grundwasser): Nachhaltig nutzbare Grundwassermenge Grundwasserqualität Nachhaltig nutzbare Abflussmenge (oberirdisch)	– Grundwassereinzugsgebiete – Grundwasserneubildungsmenge – Bodenkundliche Daten – Geologische und hydrogeologische Daten (Dicke von sperrenden/schützenden Schichten (Wasserdurchlässigkeitswerte nach Schichtung)), Eigenschaften von Grundwasserleitern, Verweilzeiten des Grundwassers, Grundwasserleiter und -stockwerke – Amtliche Abflussdaten (Pegel und regionalisiert)	●	●
Geogene mineralische und nichtmineralische Rohstoffe: Verbreitung, Vorkommen	– Geologische Karte	●	●
<b>Subgruppe: Energie</b>			
Pflanzliche und tierische Energierohstoffe aus Landwirtschaft, Kurzumtriebsplantagen, Holzwirtschaft: Bodenfruchtbarkeit Feldkapazität Lebensraumvernetzung Habitatfragmentierung	– Ertragspotenzial – Biotop- und Nutzungstypen, geschützte Biotope – Biotopverbundsysteme	●	●



Tabelle 2 (Fortsetzung)

Ökosystemleistung und Indikator(en)	Benötigte Datengrundlagen	Evaluation auf Basis von Expertenabschätzungen: ■ sehr hoch ● hoch • gering	
<b>Regulierungsleistungen</b>			
<b>Subgruppe: Extremabfluss</b>			
Hochwasserregulation: Flächen gleicher/ähnlicher Abflussbildungsbe- reitschaft Volumen von Senken/Mulden und kleineren/ temporären Fließgewässern/Abflussbahnen Rauigkeit der Geländeoberfläche, Rauigkeit im Bereich von Abflussbahnen, Abflusshindernis- se in kleineren/temporären Fließgewässern Volumenverhältnis der rezenten Aue zur mor- phologischen Aue Rauigkeit der Kompartimente Sohle, Ufer, Land	– Bodenkundliche Daten – Geologische Daten – Digitales Geländemodell (DGM) – Realnutzungskartierung – Digitale Gewässerdaten (Polygone) – Fließgewässerstrukturgüte-Kartierung (FGSK) – Abgrenzungen für rezente und morphologische Aue – Ergebnisse der Auenzustandsbewertung mit neuester Methodik (Koenzen/Kurth/Mach et al. 2021a; Koenzen/Kurth/Mach et al. 2021b) bzw. zur Berechnung erforderliche topographische Daten, Landnutzungsdaten, naturschutzfach- liche Daten, Daten des Digitalen Geländemo- dells	■	■
Niedrigwasserregulation: Grundwasser Relative Höhe des Niedrigwasserabflusses Abflussregimetypen Fließgewässerstruktur	– Grundwassereinzugsgebiete – Grundwasserneubildungsmenge – Möglichst räumlich hoch aufgelöste Abflussda- ten (Pegel) und/oder modellierte Daten – Factsheet bei Podschun/Albert/Costea et al. (2018: 65): Analyse über die Fließgewässer- struktur	■	■
<b>Subgruppe: Böden und Gewässersedimente (inkl. Schwebstoffe)</b>			
Regulation von Bodenerosionsprozessen: Erosionsgefährdung durch Wasser Hangrutschungsgefahr	– Bodenkundliche Daten – Geologische Daten – Digitales Geländemodell (DGM) – Realnutzungskartierung	•	●
Bodenbildung: Gesamtbewertung Bodenschutz, ohne Erosi- onsgefährdung	– Bodenkundliche Daten – Geologische Daten – Digitales Geländemodell (DGM) – Realnutzungskartierung	•	●
Sedimentregulation im Gewässersystem: Bewertung des gewässerinternen Sediment- haushalts und von Kolmationsprozessen über die Naturnähe morphologischer Strukturen und die Auswirkungen von Querbauwerken auf die Sedimentdurchgängigkeit/morphologische Wirkung	– Digitale Gewässerdaten (Polygone) – Fließgewässerstrukturgüte-Kartierung (FGSK)	•	•
<b>Subgruppe: Abbau/Retention von Pflanzen- nährstoffen (Makronährstoffe)</b>			
Retention von Stickstoff: Stickstoffrückhalt im Boden	– Bodenkundliche Daten – Geologische Daten – Nutzbare Feldkapazität	•	•
<b>Subgruppe: Globales Klima</b>			
Rückhalt von Treibhausgasen/ Kohlenstoffsequestrierung: Kohlenstoffvorratsänderung	– Realnutzungskartierung – Bodenkundliche Daten – Geologische Daten – Grundwasserflurabstand	•	■

Tabelle 2 (Fortsetzung)

Ökosystemleistung und Indikator(en)	Benötigte Datengrundlagen	Evaluation auf Basis von Expertenabschätzungen: ■ sehr hoch ● hoch • gering	
<b>Subgruppe: Regional-/Lokalklima</b>			
Kühlwirkung (Gewässer und Böden): Verdunstungshöhe	– Verdunstungshöhe – Realnutzungskartierung – Geologische und bodenkundliche Karten – Hydrogeologische Daten – Hydroklimatische Daten (Deutscher Wetterdienst)	■	■
Kühlwirkung durch regionale/lokale Windsysteme: Kaltluftentstehungsgebiete Kaltabflussbahnen (hindernisfreie oder -arme Leitbahnen)	– Realnutzungskartierung – Digitales Geländemodell (DGM) – Gewässerachsen	●	●
<b>Subgruppe: Biologische Vielfalt</b>			
Habitatbereitstellung: Habitatqualität	– Flächenanteil Natura 2000-Gebiete – Nutzungsintensität – Flächenanteil an standorttypischen Lebensräumen und geschützten Biotopen – Hotspots der Biodiversität – Strukturgüte der Fließgewässer – Seeuferstruktur – Ökologischer Zustand nach Wasserrahmenrichtlinie (Gewässer) – Erhaltungszustand von FFH-Lebensraumtypen – Biotopverbundfunktion(en) inklusive ökologische Durchgängigkeit (Gewässer) – Naturnähe der Bodenlebewelt	•	●
<b>Kulturelle Leistungen</b>			
<b>Subgruppe: Kognitives und emotionales Erleben von Natur und Landschaft</b>			
Landschaftsästhetik: Vielfalt des Landschaftsbildes Erlebbarkeit/Sichtbarkeit	– Digitales Geländemodell/Relief – Randeffekt im Umkreis von attraktiven Landschaftsbestandteilen – Flächennutzung	■	■
Bildung und Wissenschaft: Landschaftsteile mit besonderer Eignung für Bildung und Wissenschaft, vgl. § 6 BNatSchG (Beobachtung von Natur und Landschaft, Anhang V WRRL bzw. OGewV und GrwV und entsprechende wissenschaftliche Grundlagen des Gewässerschutzes)	– Kultur- und Sachgüter – Flächenkulisse der naturschutzrechtlich geschützten Flächen (§§ 20-30 sowie §§ 31-36 BNatSchG) – Naturnahe Gewässer	•	●
Allgemeine Erholung und Tourismus: Erholungs- und Erlebniswert	– Digitales Geländemodell/Relief – Randeffekt im Umkreis von attraktiven Landschaftsbestandteilen Flächennutzung	■	■
Spezifische Erholungs-, Sport- und Erlebnisformen	– Vorgeprägte/gewidmete Flächennutzungskategorien	•	•
<b>Subgruppe: Spirituelle oder symbolische Bedeutung von Natur und Landschaft</b>			
Natur- und Kulturerbe: Kultur- und Sachgüter	– Schutzgebietskulissen – Karten der Kultur- und Sachgüter	•	•

Tabelle 2 (Fortsetzung)

Ökosystemleistung und Indikator(en)	Benötigte Datengrundlagen	Evaluation auf Basis von Expertenabschätzungen: ■ sehr hoch ● hoch • gering	
Abiotische Ökosystemleistungen			
Solare Energie: Solares Potenzial	<ul style="list-style-type: none"><li>– Meteorologische Daten (langjährige Mittelwerte): Globalstrahlung (Summe aus direkter und diffuser Strahlung)</li><li>– Abschätzung über Bebauungsparameter (bauliche Ausnutzung, Dachformen, Ausrichtung, Dachneigung, Verschattung)</li><li>– Abschätzung, räumliche Definition der Flächen für Freiflächenanlagen</li></ul>	■	■
Windenergie: Windkraftpotenzial	<ul style="list-style-type: none"><li>– Ertragspotenzial unter Berücksichtigung von Mindestabständen (ohne Bewertung weiterer Umweltschutzaspekte, z. B. Naturschutz, Landschaftsbild)</li><li>– Abstände zu bebauten Flächen</li></ul>	■	■
Geothermische Energie: Geothermisches Potenzial	<ul style="list-style-type: none"><li>– Hydrogeologische und wasserwirtschaftliche Standortbeurteilung</li><li>– Abschätzung des Potenzials über Heiz- und Kühlbedarf der Gebäude entsprechend Flächennutzungsplan-Nutzungskategorie</li></ul>	•	•
Thermische Energie der Oberflächengewässer: Hydrothermisches Potenzial	<ul style="list-style-type: none"><li>– Abschätzung über Gewässergröße/-tiefe, Abfluss und Nähe zu potenziell bebauten Flächen</li></ul>	●	●
Wasserkraft: Wasserkraftpotenzial	<ul style="list-style-type: none"><li>– Abflussdaten</li><li>– Höhendaten</li></ul>	●	●

BNatSchG = Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3908) geändert worden ist; WRRL = Wasserrahmenrichtlinie – EU-Richtlinie zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik; OGewV = Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373), die zuletzt durch Artikel 2 Absatz 4 des Gesetzes vom 9. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2873) geändert worden ist; GrwV = Grundwasserverordnung vom 9. November 2010 (BGBl. I S. 1513), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 4. Mai 2017 (BGBl. I S. 1044) geändert worden ist.

mit stärkerem Bezug auf die Leistungen von Natur und Landschaft für das menschliche Wohlergehen. Besondere Bedeutung für den Einsatz von Informationen zu Ökosystemleistungen als erweiterte Entscheidungsgrundlage hat es, zwischen Flächen mit indisponiblen und disponiblen Naturschutzziele zu unterscheiden (Albert/von Haaren/Galler 2012: 147). Indisponible naturschutzfachliche Ziele, die durch rechtliche Vorgaben wie der Ausweisung von Naturschutzgebieten bereits politisch legitimiert vorgegeben sind, dürfen durch Abschätzungen von Ökosystemleistungen nicht infrage gestellt werden. Auf Flächen mit disponiblen naturschutzfachlichen Zielen, wo also aus naturschutzrechtlicher Perspektive alternative Handlungsoptionen möglich sind, können Abwägungen der Wirkungen dieser Handlungsoptionen auf Ökosystemleistungen die Planungsprozesse jedoch sehr hilfreich unterstützen. Nichtsdestotrotz müssen auch hier im weiteren Planungs- und Entscheidungsprozess die bestehenden planerischen Vorgaben wie die Eingriffsregelung nach Naturschutzrecht eingehalten werden. Die Vorteile einer Kombination der Stärken der Bauleitplanung (und der damit gekoppelten

Landschaftsplanung) mit den Vorzügen und Chancen des Ökosystemleistungsansatzes heben unter anderen bereits von Haaren, Lovett und Albert (2019: 7–8) hervor.

Prinzipiell könnten neben der hier vorgelegten Liste an Ökosystemleistungen auch weitere Leistungen von Natur und Landschaft berücksichtigt werden. Mit der Absicht, ein gleichermaßen relevantes und machbares Set an Ökosystemleistungen zu erstellen, mussten jedoch pragmatische Einschränkungen im Umfang der zu betrachtenden Ökosystemleistungen vorgenommen werden. Da teilweise gleiche oder gleichartige Indikatoren, Daten und Methoden für verschiedene Ökosystemleistungen (z. B. für Trinkwasser und für Brauchwasser) verwendet werden (können), ist eine spätere Gruppierung/Aggregation der Ökosystemleistungen und/oder eine methodisch einheitliche Behandlung sinnvoll (vgl. die Vorschläge in Albert/Burkhard/Daube et al. 2015: 8). Zudem ist die praktische Relevanz und Nutzbarkeit bisher nur geschätzt und bedarf weitergehender vertiefter Analysen. Insbesondere bedarf es einer politischen Meinungsbildung, welchen Ökosystemleistungen eine besondere Priorität in einer Region eingeräumt werden sollte.

Der Ökosystemleistungsansatz lässt sich besonders gut durch die Anwendung von geographischen Informationssystemen (GIS) und deren Analyse- und Darstellungsmöglichkeiten operationalisieren. GIS-gestützte Methoden und Modelle zur Erfassung und Bewertung von Ökosystemleistungen haben in den letzten Jahren erheblich zugenommen (z. B. Grêt-Regamey/Weibel/Kienast et al. 2015: 16–17) und zeigen sich vorteilhaft in der Beschreibung räumlicher Aspekte des Dargebots und der Nachfrage an Ökosystemleistungen sowie in der Analyse von zukunftsfähigen Perspektiven bzw. Szenarios. Planungsverfahren können dadurch nicht nur von dem umfangreichen und informativen Potenzial von Ökosystemleistungen profitieren, sondern auch von der von geoinformatischen Ansätzen gewährleisteten Vergleichbarkeit und Nachnutzungsfähigkeit.

In Bezug auf das spezifische Fallbeispiel des Ballungsraums Frankfurt/Rhein-Main wäre eine Integration der Analyse von Ökosystemleistungen in das vorhandene planerische GIS-Web-Tool vorteilhaft, welches in Form der WebSUP (GIS-gestützte strategische Umweltprüfung) eingesetzt wird. Die WebSUP lässt systematisch die Auswirkungen von Plänen und Programmen abschätzen und ermöglicht kartographische Darstellungen. Zudem ermöglicht das Tool über eine Web-GIS-Funktion den Zugriff von externen Internetnutzerinnen und -nutzern und kann damit kommunale Verwaltungen und Landkreise bei ihren Planungsvorhaben unterstützen und Anspruchsberechtigte (*stakeholder*) informieren.

## 6 Schlussfolgerungen

Auf der Basis der Erfahrungen mit der Entwicklung von Ökosystemleistungsindikatoren für den Ballungsraum Frankfurt/Rhein-Main können folgende Empfehlungen für die Anwendung auch in anderen metropolitenen Regionen gegeben werden:

- Ökosystemleistungsindikatoren kontextspezifisch auswählen: Das Vorhandensein von Umweltinformationen und deren Datenverfügbarkeit, die politischen Interessen der Stakeholder sowie Kapazitäten und Ressourcen der zuständigen Planungsbehörden spielen eine wichtige Rolle bei der Auswahl zu berücksichtigender Ökosystemleistungen und geeigneter Indikatoren. Ökosystemleistungen sollen dabei helfen, die Diversität der lokalen/regionalen Landschaften zu widerspiegeln und die möglichen Auswirkungen auf das menschliche Wohlbefinden aufgrund deren Veränderungen abzubilden. Verfügbare Listen von Ökosystemleistungen müssen daher kontextspezifisch angepasst werden.
- Auf eine wissenschaftlich fundierte Methode für die Ökosystemleistungserfassung und -bewertung festlegen und diese transparent kommunizieren: Angesichts der hohen Diversität an möglichen Definitionen von Ökosystemleistungen (vgl. MEA 2005; TEEB 2010; Díaz/Pascual/Stenseke et al. 2018), der Betrachtung unterschiedlicher Aspekte sowie Bewertungsmethoden ist es notwendig, die verwendete Konzeption (Methode) zu klären, zu begründen und transparent zu kommunizieren.
- Die Auswahl von geeigneten Ökosystemleistungen an Aufwand- und Ressourcenabschätzungen orientieren: Im Hinblick auf die Bewertung von Ökosystemleistungen müssen die verfügbaren Ressourcen und Kapazitäten im Vorhinein abgeschätzt und in die Überlegungen eingebracht werden, sollten aber nicht dazu führen, planungsrelevante Aspekte unberücksichtigt zu lassen. Im Mittelpunkt anwendungsorientierter Verfahren zur Erfassung und Bewertung von Ökosystemleistungen dürfen nicht allein Interessen an einem besseren, wissenschaftlichen Verständnis liegen, sondern vor allem die Suche nach robusten Indikatoren, die angesichts von Ressourcenknappheit möglichst entscheidungsrelevante und ausreichend verlässliche Informationen für Entscheidungsprozesse liefern.

**Danksagung** Wir danken Charlotte Suttmeier für die hilfreiche Unterstützung bei der Anfertigung des Manuskripttextes.

## Literatur

- Albert, C.; Bonn, A.; Burkhard, B.; Daube, S.; Dietrich, K.; Engels, B.; Frommer, J.; Götzl, M.; Grêt-Regamey, A.; Job-Hoben, B.; Koellner, T.; Marzelli, S.; Moning, C.; Müller, F.; Rabe, S.-E.; Ring, I.; Schwaiger, E.; Schweppe-Kraft, B.; Wüstemann, H. (2016): Towards a national set of ecosystem service indicators: Insights from Germany. In: *Ecological Indicators* 61, 1, 38–48. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.08.050>
- Albert, C.; Burkhard, B.; Daube, S.; Dietrich, K.; Engels, B.; Frommer, J.; Götzl, M.; Grêt-Regamey, A.; Job-Hoben, B.; Keller, R.; Marzelli, S.; Moning, C.; Müller, F.; Rabe, S.-E.; Ring, I.; Schwaiger, E.; Schweppe-Kraft, B.; Wüstemann, H. (2015): Empfehlungen zur Entwicklung bundesweiter Indikatoren zur Erfassung von Ökosystemleistungen. Diskussionspapier. Bonn. = BfN-Skripten 410.
- Albert, C.; Fürst, C.; Ring, I.; Sandström, C. (2020): Research note: Spatial planning in Europe and Central Asia – Enhancing the consideration of biodiversity and ecosystem services. In: *Landscape and Urban Plan-*



- ning 196, 103741. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103741>
- Albert, C.; Galler, C.; Hermes, J.; Neuendorf, F.; von Haaren, C.; Lovett, A. (2016): Applying ecosystem services indicators in landscape planning and management: The ES-in-Planning framework. In: *Ecological Indicators* 61, 1, 100–113. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.029>
- Albert, C.; Neßhöver, C.; Schröter, M.; Wittmer, H.; Bonn, A.; Burkhard, B.; Dauber, J.; Döring, J.; Fürst, C.; Grunewald, K.; Haase, D.; Hansjürgens, B.; Hauck, J.; Hinzmann, M.; Koellner, T.; Plieninger, T.; Rabe, S.-E.; Ring, I.; Spangenberg, J. H.; Stachow, U.; Wüstemann, H.; Görg, C. (2017): Towards a National Ecosystem Assessment in Germany: A plea for a comprehensive approach. In: *GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society* 26, 1, 27–33. <https://doi.org/10.14512/gaia.26.1.8>
- Albert, C.; Schröter-Schlaack, C.; Hansjürgens, B.; Dehnhardt, A.; Döring, R.; Job, H.; Köppel, J.; Krätzig, S.; Matzdorf, B.; Reutter, M.; Schaltegger, S.; Scholz, M.; Siegmund-Schultze, M.; Wiggering, H.; Woltering, M.; von Haaren, C. (2017): An economic perspective on land use decisions in agricultural landscapes: Insights from the TEEB Germany Study. In: *Ecosystem Services*, 25, 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.03.020>
- Albert, C.; von Haaren, C.; Galler, C. (2012): Ökosystemdienstleistungen – Alter Wein in neuen Schläuchen oder ein Impuls für die Landschaftsplanung? In: *Naturschutz und Landschaftsplanung* 44, 5, 142–148.
- Bagrov, N. A. (1953): O srednem mnogoletnem isparenii s poverchnosti susi (Über den vieljährigen Durchschnittswert der Verdunstung von der Oberfläche des Festlandes). Leningrad.
- BfG – Bundesanstalt für Gewässerkunde (2003): BAGLUVA – Wasserhaushaltsverfahren zur Berechnung vieljähriger Mittelwerte der tatsächlichen Verdunstung und des Gesamtabflusses. Koblenz. = BfG-Bericht 1342.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und nukleare Sicherheit (2018): Bericht des Bundes über Kenntnisstand, aktuelle Forschungen und Untersuchungen zum Insektensterben sowie dessen Ursachen. Schriftlicher Bericht für die 90. Umweltministerkonferenz vom 6.-18. Juni 2018 in Bremen. Bonn.
- Bürger, C. (2004): Die Bedeutung der Landschaftsstruktur für die Bienendiversität und Bestäubung auf unterschiedlichen räumlichen Skalen. Dissertation an der Georg-August-Universität Göttingen.
- Deppisch, S.; Heitmann, A.; Lezuo, D.; Marzelli, S. (2020): Ökosystemleistungen in der Landschaftsplanung: Eine exemplarische Untersuchung in den Stadtregionen München und Rostock. Hamburg. = landmetamorphosis working papers 02.
- Díaz, S.; Pascual, U.; Stenseke, M.; Martín-López, B.; Watson, R. T.; Molnár, Z.; Hill, R.; Chan, K. M. A.; Baste, I. A.; Brauman, K. A.; Polasky, S.; Church, A.; Lonsdale, M.; Larigauderie, A.; Leadley, P. W.; van Oudenhoven, A. P. E.; van der Plaats, F.; Schröter, M.; Lavorel, S.; Aumeeruddy-Thomas, Y.; Bukvareva, E.; Davies, K.; Demissew, S.; Erpul, G.; Failler, P.; Guerra, C. A.; Hewitt, C. L.; Keune, H.; Lindley, S.; Shirayama, Y. (2018): Assessing nature's contributions to people. In: *Science* 359, 6373, 270–272. <https://doi.org/10.1126/science.aap8826>
- DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (2018): Merkblatt DWA-M 920-4 Bodenfunktionsansprache. Teil 4: Ableitung von Kennwerten des landwirtschaftlichen Ertragspotenzials nach dem Müncheberger Soil Quality Rating. Hildesheim.
- Dworczyk, C.; Burkhard, B. (2020): Urbane Ökosystemleistungen erfassen und bewerten. Stand der Forschung, Indikatoren und zukünftige Perspektiven. In: *Naturschutz und Landschaftsplanung* 52, 4, 176–183.
- Glugla, G.; Müller, E.; Jankiewicz, P.; Rachimow, C.; Lojek, K. (1999): Entwicklung von Verfahren zur Berechnung langjähriger Mittelwerte der flächendifferenzierten Abflussbildung. Abschlussbericht. Berlin.
- Grêt-Regamey, A.; Weibel, B.; Kienast, F.; Rabe, S.-E.; Zulian, G. (2015): A tiered approach for mapping ecosystem services. In: *Ecosystem Services* 13, 16–27. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.10.008>
- Grünwald, A.; Wende, W. (2013): Integration des ÖSD-Konzepts in die Landschaftsplanung. In: Grunewald, K.; Bastian, O. (Hrsg.): *Ökosystemdienstleistungen – Konzept, Methoden und Fallbeispiele*. Berlin, 177–185. <https://doi.org/10.1007/978-3-8274-2987-2>
- Grunewald, K.; Pekker, R.; Zieschank, R.; Hirschfeld, J.; Schweppe-Kraft, B.; Syrbe, R.-U. (2019): Grundlagen einer Integration von Ökosystemen und Ökosystemleistungen in die Umweltökonomische Gesamtrechnung in Deutschland. In: *Natur und Landschaft* 94, 8, 330–338. <https://doi.org/10.17433/8.2019.50153719.330-338>
- Grunewald, K.; Walz, U.; Herold, H.; Syrbe, R.-U. (2015): Ökosystemleistungen erfassen und bewerten. Erste Vorschläge für die nationale Ebene in Deutschland. In: *Naturschutz und Landschaftsplanung* 47, 10, 305–310.
- Haines-Young, R.; Potschin, M. (2018): Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1. Guidance on the Application of the Revised Structure. Nottingham.
- Heiland, S.; Kahl, R.; Sander, H.; Schliep, R. (2016): Ökosystemleistungen in der kommunalen Landschaftsplanung. Möglichkeiten der Integration. In: *Naturschutz und Landschaftsplanung* 48, 10, 313–320.
- Hermes, J.; Albert, C.; von Haaren, C. (2018): Assessing the aesthetic quality of landscapes in Germany. In: Eco-

- system Services 31, C, 296–307. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.02.015>
- HLNUG – Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2019): Erdwärmennutzung in Hessen. Leitfaden für Erdwärmesondenanlagen zum Heizen und Kühlen. Wiesbaden.
- Kastler, M.; Molt, C.; Kaufmann-Boll, C.; Steinrücke, M. (2015): Kühlleistung von Böden. Leitfaden zur Einbindung in stadtklimatische Konzepte in NRW. Recklinghausen. = LANUV-Arbeitsblatt 29.
- Kempa, D.; Lovett, A. A. (2019): Using GIS in Landscape Planning. In: von Haaren, C.; Lovett, A. A.; Albert, C. (Hrsg.): Landscape Planning with Ecosystem Services. Theories and Methods for Application in Europe. Dordrecht, 77–88. [https://doi.org/10.1007/978-94-024-1681-7\\_6](https://doi.org/10.1007/978-94-024-1681-7_6)
- Koenzen, U.; Kurth, A.; Mach, S.; Modrak, P.; Gohrbrandt, S.; Ackermann, W.; Ruff, A.; Günther-Diringer, D. (2021a): Anleitung für die Erfassung und Bewertung des Auenzustandes an Flüssen. Band 1. Grundlagen und Vorgehensweise. Bonn. = BfN-Skripten 548. <https://doi.org/10.19217/skr548>
- Koenzen, U.; Kurth, A.; Mach, S.; Modrak, P.; Gohrbrandt, S.; Ackermann, W.; Ruff, A.; Günther-Diringer, D. (2021b): Anleitung für die Erfassung und Bewertung des Auenzustandes an Flüssen. Band 2. Benutzerhandbuch zur Software-Anwendung AuenZEB 1.0. Bonn. = BfN-Skripten 549. <https://doi.org/10.19217/skr549>
- Koschke, L.; Fürst, C.; Frank, S.; Makeschin, F. (2012): A multi-criteria approach for an integrated land-cover-based assessment of ecosystem services provision to support landscape planning. In: Ecological Indicators 21, 54–66. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.12.010>
- Marks, R.; Müller, M. J.; Leser, H.; Klink, H.-J. (1992): Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes (BA LVL). Trier. = Forschungen zur deutschen Landeskunde 229.
- MEA – Millennium Ecosystem Assessment (2005): Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Washington, DC.
- Mehl, D. (2004): Grundlagen hydrologischer Regionalisierung: Beitrag zur Kennzeichnung der hydrologischen Verhältnisse in den Flussgebieten Mecklenburgs und Vorpommerns. Dissertation an der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald.
- Mehl, D.; Hoffmann, T.G.; Schönrock, S.; Miegel, K. (2017): Klassifizierung des Wasserhaushalts von Einzugsgebieten und Wasserkörpern – Verfahrensempfehlung. (a) Handlungsanleitung. Herausgegeben von der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Ständiger Ausschuss „Oberirdische Gewässer und Küstengewässer“. Magdeburg.
- Mehl, D.; Hoffmann, T. G.; Iwanowski, J.; Lüdecke, K.; Thiele, V. (2018a): 25 Jahre Fließgewässerrenaturierung an der mecklenburgischen Nebel: Auswirkungen auf den ökologischen Zustand und auf regulative Ökosystemleistungen. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 62, 1, 6–24. [https://doi.org/10.5675/HyWa\\_2018,1\\_1](https://doi.org/10.5675/HyWa_2018,1_1)
- Mehl, D.; Hoffmann, T. G.; Iwanowski, J.; Schneider, M.; Foy, T. (2018b): Ein Beitrag zur Analyse und Bewertung der Ökosystemleistungen kleiner urbaner Gewässer und Feuchtgebiete am Beispiel der Hansestadt Rostock. Teil 1: Einleitung, Zielstellung, Grundlagen und Vorgehensweise. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft 11, 3, 148–153.
- Mehl, D.; Hoffmann, T. G.; Schneider, M.; Iwanowski, J.; Ewert, J.; Foy, T. (2018): Ein Beitrag zur Analyse und Bewertung der Ökosystemleistungen kleiner urbaner Gewässer und Feuchtgebiete am Beispiel der Hansestadt Rostock. Teil 2: Methoden und Ergebnisse für ausgewählte regulative Ökosystemleistungen. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft 11, 4, 200–205.
- Mehl, D.; Renner, M.; Gottelt-Trabandt, C.; Böx, S.; Hoffmann, T. G.; Iwanowski, J. (2018): Ein Beitrag zur Analyse und Bewertung der Ökosystemleistungen kleiner urbaner Gewässer und Feuchtgebiete am Beispiel der Hansestadt Rostock. Teil 3: Methoden und Ergebnisse für ausgewählte regulative und kulturelle Ökosystemleistungen, nutzenbasierte ökonomische Bewertung, Diskussion und Schlussfolgerungen. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft 11, 5, 257–264.
- Mehl, D.; Iwanowski, J.; Albert, C. (2020): Erarbeitung von Grundlagen für die Erfassung und Bewertung von Ökosystemleistungen der Flächen im bisher unbebauten Außenbereich. Unveröffentlichte Studie im Auftrag des Regionalverbandes FrankfurtRheinMain. Bützow.
- Müller, L.; Schindler, U.; Behrendt, A.; Eulenstein, F.; Dannowski, R. (2007): Das Müncheberger Soil Quality Rating (SQR). Ein einfaches Verfahren zur Bewertung der Eignung von Böden als Farmland. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 110, 2, 515–516.
- Podschun, S. A.; Albert, C.; Costea, G.; Damm, C.; Dehnhardt, A.; Fischer, C.; Fischer, H.; Foeckler, F.; Gelhaus, M.; Gerstner, L.; Hartje, V.; Hoffmann, T. G.; Hornung, L.; Iwanowski, J.; Kasperidus, H.; Linnemann, K.; Mehl, D.; Rayanov, M.; Ritz, S.; Rumm, A.; Sander, A.; Schmidt, M.; Scholz, M.; Schulz-Zunkel, C.; Stammel, B.; Thiele, J.; Venohr, M.; von Haaren, C.; Wildner, M.; Pusch, M. (2018): RESI – Anwendungshandbuch: Ökosystemleistungen von Flüssen und Auen erfassen und bewerten. Berlin. = Berichte des Leibniz-Instituts für Gewässerökologie und Binnenfischerei. In: IGB-

- Schriftenreihe 31/2018. <https://doi.org/10.4126/FRL01-006410777>
- Podschun, S. A.; Thiele, J.; Dehnhardt, A.; Mehl, D.; Hoffmann, T. G.; Albert, C.; von Haaren, C.; Deutschmann, K.; Fischer, C.; Scholz, M.; Costea, G.; Pusch, M. T. (2018): Das Konzept der Ökosystemleistungen – eine Chance für integratives Gewässermanagement. In: *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 62, 6, 453–468. [https://doi.org/10.5675/HyWa\\_2018.6\\_7](https://doi.org/10.5675/HyWa_2018.6_7)
- Regionalverband FrankfurtRheinMain (2016): Planning from Outer Space – Fresh thinking on Regional Landscape Planning to protect open space and to regulate development in the Außenbereich of the Ballungsraum Frankfurt/Rhein-Main. Unveröffentlichtes Manuskript. Frankfurt am Main.
- Regionalverband FrankfurtRheinMain (2019): Forschungs- und Innovationsagenda. Living Lab Frankfurt, EU-ROBUST-Projekt. Unveröffentlichte Powerpoint-Präsentation. Frankfurt am Main.
- Riechers, M.; Barkmann, J.; Tschardt, T. (2015): Bewertung kultureller Ökosystemleistungen von Berliner Stadtgrün entlang eines urbanen-periurbanen Gradienten. Göttingen. = Georg-August-Universität Göttingen, Agrarökologie, Department für Nutzpflanzenwissenschaften und Umwelt- und Ressourcenökonomik, Department Agrarökonomie und Rurale Entwicklung Diskussionsbeitrag 1507.
- Schrapp, L.; Garschhammer, J.; Meyer, C.; Reinke, M.; Blum, P. (2019): Integration von Ökosystemleistungen in die kommunale und regionale Landschaftsplanung. In: *Naturschutz und Landschaftsplanung* 51, 11, 530–537.
- Schrapp, L.; Garschhammer, J.; Meyer, C.; Blum, P.; Reinke, M.; Mewes, M. (2020): Ökosystemleistungen in der Landschaftsplanung. Bonn. = BfN-Skripten 568. <https://doi.org/10.19217/skr568>
- TEEB – The Economics of Ecosystems and Biodiversity (2010): The Economics of Ecosystems and Biodiversity. Ecological and economic foundations. London.
- TEEB DE – Naturkapital Deutschland (2015): Naturkapital und Klimapolitik – Synergien und Konflikte. Berlin.
- TEEB DE – Naturkapital Deutschland (2016a): Ökosystemleistungen in der Stadt – Gesundheit schützen und Lebensqualität erhöhen. Berlin.
- TEEB DE – Naturkapital Deutschland (2016b): Ökosystemleistungen in ländlichen Räumen – Grundlage für menschliches Wohlergehen und nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung. Hannover.
- UBA – Umweltbundesamt (2018): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2018. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2016. Dessau-Roßlau. = Climate Change 12/2018.
- van Oudenhoven, A. P. E.; Schröter, M.; Drakou, E. G.; Geijzendorffer, I. G.; Jacobs, S.; van Bodegom, P. M.; Chazee, L.; Czucz, B.; Grunewald, K.; Lillebø, A. I.; Mononen, L.; Nogueira, A. J. A.; Pacheco-Romero, M.; Perennou, C.; Remme, R. P.; Rova, E.; Syrbe, R.-U.; Tratalos, J. A.; Vallejos, M.; Albert, C. (2018): Key criteria for developing ecosystem service indicators to inform decision making. In: *Ecological Indicators* 95, 1, 417–426. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.020>
- von Haaren, C.; Lovett, A.A.; Albert, C. (2019): Landscape Planning and Ecosystem Services: The Sum is More than the Parts. In: von Haaren, C.; Lovett, A.A.; Albert, C. (Hrsg.): *Landscape Planning with Ecosystem Services. Theories and Methods for Application in Europe*. Dordrecht, 3–9. [https://doi.org/10.1007/978-94-024-1681-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-024-1681-7_1)
- Wendling, U.; Schellin, H.-G.; Thomä, M. (1991): Bereitstellung von täglichen Informationen zum Wasserhaushalt des Bodens für die Zwecke der agrarmeteorologischen Beratung. In: *Zeitschrift für Meteorologie* 41, 6, 82–85.